ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2019;19(5):1221-1227

Investigation on the Effect of Guaranteed Selling of Generated Electric Power and Other Effective Parameters on the Application of CHP System in Iranian Industries

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Sanjari B.[1] *MSc,*
Iranmanesh M.*[2] *PhD*

How to cite this article
Sanjari B, Iranmanesh M. Investigation on the Effect of Guaranteed Selling of Generated Electric Power and Other Effective Parameters on the Application of CHP System in Iranian Industries. Modares Mechanical Engineering. 2019;19(5):1221-1227.

ABSTRACT

Industrial sector is always recognized as one of the largest energy consumers in each country. Besides the high energy consumption of industrial sector, a significant amount of energy is lost due to inefficient use and old machines. Combined heat and power (CHP) systems have always been considered as an efficient system to reduce energy consumption and increase productivity in the industry. The aim of this paper is techno-economic analysis of application of CHP systems in a few samples of different types of almost high energy consumer industries, considering the different approaches, on which the electrical capacity of the system is designed. In this study, a combination of various parameters such as different types of prime movers (gas turbine or reciprocating engine), different types of fuel (natural gas and diesel fuel), and guaranteed selling of generated electric power (GSGEP) in different industries are considered. Finally, after determining the capacity of the simultaneous production system for the selected factories, some important economic indicators like net present value (NPV), simple payback periods (SPB), and levelized cost of electricity (LCOE) were considered by two coupled software, MATLAB and Excel. The results showed that in all scenarios, the use of reciprocating engine as the prime mover and natural gas as its fuel is the best choice to satisfy the techno-economical goals.

Keywords CHP System; Fuel Type; Prime Mover; Techno-economic Analysis; Guaranteed Selling of Generated Electric Power

[1]Energy Conversion & Renewable Energies Department, Institute of Science & High Technology & Environmental Sciences, Kerman Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran
[2]Energy Institute, Institute of Science & High Technology & Environmental Sciences, Kerman Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Correspondence
Address: Energy Institute, Kerman Graduate University of Advanced Technology, Haft Bagh Highway, Kerman, Iran. Postal Code: 7631818356
Phone: +98 (34) 33778502
Fax: +98 (34) 33778502
m.iranmanesh@kgut.ac.ir

Article History
Received: August 18, 2018
Accepted: December 06, 2018
ePublished: May 01, 2019

CITATION LINKS

[1] Energy consumption in Iran: Past trends and future directions [2] A review and assessment of the energy utilization efficiency in the Turkish industrial sector using energy and exergy analysis method [3] Energy intensity determinants in an energy-exporting developing economy: Case of Iran [4] Energy intensity and its components in Iran: Determinants and trends [5] Assessment of energy utilization in Iran's industrial sector using energy and exergy analysis method [6] Cogeneration and renewables: Solutions for a low-carbon energy future [7] High efficiency cogeneration: CHP and non-CHP energy [8] The optimal selection of on-site CHP systems through integrated sizing and operational strategy [9] Small scale biomass CHP plant: An assessment for an animal feed industry [10] Optimal operation of industrial cogeneration for load management [11] Energy optimization in a pulp and paper mill cogeneration facility [12] An economic analysis of a clean-development mechanism project: A case introducing a natural gas-fired combined heat-and-power facility in a Chinese industrial area [13] Economic justification of cogeneration systems for industrial steam users and utility systems [14] Economical comparison of CHP systems for industrial user with large steam demand [15] IEngineering economy: Economic evaluation of industrial projects [16] A decision support model for combined heat and power economic evaluation [17] Combined heat and power evaluation protocol

Copyright© 2019, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

بررسی اثر فروش تضمینی برق و سایر پارامترهای موثر در به‌کارگیری سامانه تولید همزمان قدرت و حرارت در صنایع ایران

بهنام سنجری MSc
گروه تبدیل انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
مسعود ایرانمنش* PhD
پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

چکیده
بخش صنعت همواره به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی در هر کشور شناخته می‌شود که علاوه بر پُرمصرف‌بودن این بخش، مقدار قابل توجهی از انرژی به‌دلیل استفاده ناکارآمد و تجهیزات قدیمی تلف می‌شود. به‌کارگیری سیستم‌های تولید همزمان قدرت و حرارت، همواره به‌عنوان یکی از بهترین راه‌حل‌ها برای کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری انرژی مورد توجه قرار داشته است. در این مقاله به بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم‌های تولید همزمان قدرت و حرارت در تعدادی از صنایع پُرمصرف منتخب با درنظرگرفتن رویکردهای مختلف پرداخته شده که براساس آنها ظرفیت الکتریکی سیستم طراحی شده است. در این بررسی پارامترهای مختلفی از جمله نوع محرک اولیه سیستم (توربین گاز یا موتور رفت و برگشتی)، نوع سوخت مصرفی (گاز طبیعی و گازوییل) و با درنظرگرفتن قیمت فروش تضمینی برق به شبکه سراسری در صنایع مختلف برای تامین نیاز الکتریکی و حرارتی پرداخته شده است. نهایتاً پس از تعیین ظرفیت سیستم تولید همزمان برای کارخانه‌های منتخب، با استفاده از نرم‌افزارهای MATLAB و Excel به‌صورت کوپل‌شده به بررسی شاخص‌های مهم اقتصادی استفاده از این سیستم‌ها در صنعت از جمله ارزش خالص فعلی، دوره بازگشت سرمایه (تنزیل نشده) و هزینه ترازشده برق پرداخته شده است. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که در تمام رویکردها، استفاده از موتور رفت و برگشتی به‌عنوان محرک اولیه با سوخت گاز طبیعی نتایج رضایت‌بخشی به‌دنبال دارد.
کلیدواژه‌ها: تولید همزمان قدرت و حرارت، نوع سوخت، محرک اولیه، تحلیل فنی و اقتصادی، فروش تضمینی برق

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵
*نویسنده مسئول: m.iranmanesh@kgut.ac.ir

۱- مقدمه

انرژی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای بررسی‌های اقتصادی ارایه‌شده در سال‌های اخیر شناخته می‌شود. همچنین مصرف انرژی به‌عنوان یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر اقتصاد هر کشور، به‌خصوص کشورهای در حال توسعه به شمار می‌رود. در حال حاضر میزان مصرف و بازده انرژی، دو عامل تاثیرگذار بر تمامی فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی به شمار می‌روند[1]. بخش صنعت همواره به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی در هر کشور شناخته می‌شود. همچنین علاوه بر پُرمصرف‌بودن این بخش، مقدار قابل توجهی از انرژی به‌دلیل استفاده ناکارآمد و تجهیزات قدیمی تلف می‌شود[2]. مقدار اتلافات انرژی در ایران بین شش تا هفت‌میلیارد دلار در سال ۲۰۰۸ بوده است. مصرف انرژی در ایران بسیار بالاتر از استانداردهای جهانی است. در پژوهشی[1] اشاره شده است که ایران یکی از کشورهای پُرمصرف انرژی در جهان به شمار می‌رود، به‌طوری که مصرف انرژی سرانه ایران ۱۵برابر ژاپن و ۱۰برابر کشورهای عضو اتحادیه اروپا است. همچنین به‌علت یارانه‌های عظیم تعلق‌یافته به بخش انرژی (نفت، گاز و برق) که حدود ۸۴میلیارد دلار در سال ۲۰۰۸ بوده است، ایران یکی از ناکارآمدترین کشورها در بخش مصررف انرژی در دنیا به شمار می‌رود، به‌طوری که شدت مصرف انرژی در ایران ۳برابر متوسط جهانی و ۲/۵برابر منطقه خاورمیانه است[1].

در سال ۲۰۰۸، بخش صنعت با حدود ۲۳% مصرف انرژی کلی، به‌عنوان سومین مصرف‌کننده بزرگ انرژی در ایران شناخته شده است. مصرف انرژی در بخش صنعت در این سال معادل ۲۳۸/۸۶میلیون بشکه نفت خام (MBOE) بوده که نسبت به سال قبل ۱۱/۰۸% رشد داشته است. طبق پیش‌بینی انجام‌شده در سال ۲۰۰۸، متوسط رشد سالیانه مصرف انرژی در این بخش حدود ۵% در نظر گرفته شده است[3]. براساس آخرین گزارش آژانس بین‌المللی، انرژی مصرف انرژی در بخش صنعت در ایران در سال ۲۰۱۵ برابر با ۲۹۱/۳۲میلیون بشکه نفت خام بوده است[4]. استفاده کارآمد از انرژی به‌عنوان عامل کلیدی برای توسعه پایدار شناخته می‌شود[5]. از همین رو و به‌منظور کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری در بخش صنعت باید به‌دنبال راه‌ها و روش‌های کارآمد بود که سیستم‌های تولید همزمان گرما و برق (CHP) همواره به‌عنوان نمونه‌ای از سیستم‌ها که دارای ویژگی‌های فوق بوده، مورد توجه قرار گرفته است. براساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، بیش از ۴۷% انرژی مورد استفاده در صنعت به‌منظور تولید حرارت است[6].

معمولاً برق مورد نیاز واحدهای صنعتی، ساختمان‌های تجاری و ساختمان‌های مسکونی از نیروگاه‌های عمده کشور تامین می‌شود، در حالی که نیاز حرارتی تمام آنها در همان محل تولید می‌شود. سیستم تولید همزمان بیشترین بهره‌وری در مصرف انرژی سوخت را دارد، به‌گونه‌ای که متوسط راندمان یک مولد برق حدود ۳۵% و متوسط راندمان یک بویلر ۹۰% است، در حالی که یک سیستم تولید همزمان با تولید هر دوی این محصولات یعنی حرارت و الکتریسته، راندمانی بیش از ۸۵% دارد[7]. استفاده از سیستم تولید همزمان در صنعت و به‌خصوص صنایع پُرمصرف، یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی و مدیریت بهینه استفاده از انرژی بوده که در سال‌های اخیر به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است. *قدیمی* و همکاران به بررسی رویکرد عملکرد و انتخاب بهینه نوع و سایز سیستم‌های تولید همزمان پرداختند و سپس تئوری خود را روی یک کارخانه دارو به اجرا درآوردند. آنها به این نتیجه رسیدند که انتخاب درست سایز و نوع سیستم، علاوه بر تاثیرگذاری موثر بر بازده کلی باعث کاهش هزینه‌های سیستم تولید همزمان نیز می‌شوند[8]. *دی‌ماسیدورودریگز* و همکاران به امکان‌سنجی استفاده از سیستم تولید همزمان مقیاس کوچک در یک کارخانه تولید خوراک دام پرداختند. آنها از یک سیستم تولید همزمان با سوخت زیست‌توده با دو نوع سوخت مختلف استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیستم تولید همزمان با سوخت زغال چوبی ضمن برآوردن نیاز حرارتی و الکتریکی، دارای ارزش خالص فعلی (NPV) برابر با ۹/۴۴میلیون دلار، نرخ بهره داخلی (IRR) برابر با ۵۰/۲۵% و دوره بازگشت سرمایه (PBP) معادل ۳/۳ سال است[9]. *آشوک* و *بانرجی* به بررسی عملکرد بهینه سیستم تولید همزمان در صنعت و به‌طور خاص پتروشیمی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که استفاده از تولید همزمان در صنعت یک پتانسیل قابل توجه در کاهش تقاضای همزمان دارد[10]. *مارشمن* و همکاران به بهینه‌سازی استفاده از سیستم تولید همزمان در یک کارخانه کاغذ پرداختند. نتایج آنها منافع بین ۱۰ تا ۵۰% در سه موردی که مطالعه شده بود را نشان داد[11].

کاسوگی و همکاران یک مطالعه امکان‌سنجی اقتصادی به‌منظور استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت گازسوز را برای یک منطقه صنعتی در چین ارایه کردند. توسعه مدل آنها شامل بهینه‌سازی ظرفیت نصب سیستم تولید همزمان براساس بالانس تامین و تقاضای انرژی (حرارات/الکتریسیته) و همچنین هزینه انرژی و انتشار آلاینده‌ها می‌شود. نتیجه‌گیری آنها بیشتر بر انتشار آلاینده‌ها تمرکز داشت[12]. *فرگال* و همکاران یک روش بهینه‌سازی با هدف پیداکردن بهترین سیستم تولید همزمان جایگزین برای تولید برق و حرارت (بخار) برای یک کاربر صنعتی ارایه کردند[13]. طبق پژوهشی[14] پس از ارایه مقدمه‌ای بر اصول تولید همزمان، روشی برای تحلیل پایه‌ای اقتصادی برای سیستم تولید همزمان ارایه دادند. نتایج این تحلیل در یک کارخانه فرآوری مواد غذایی به کار برده شد که نیاز حرارتی و الکتریکی آن براساس داده‌های سالیانه کارخانه مورد نظر مشخص شده بود.

هدف این مقاله، بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم‌های تولید همزمان قدرت و حرارت در تعدادی از صنایع پُرمصرف ایران است. در این تحقیق، اثر پارامترهای مختلف از قبیل نوع سوخت، نوع محرک اولیه و نرخ فروش تضمینی برق به شبکه سراسری در قالب رویکردهای مختلف که براساس نحوه محاسبه ظرفیت الکتریکی سیستم طراحی شده‌اند، تحلیل شده که تاکنون این موارد به‌طور همزمان مورد بررسی قرار نگرفته است. به‌دلیل وجود نقص در اطلاعات دریافتی به‌خصوص اطلاعات مربوط به مصرف گاز و همچنین به‌دلیل این که سیستم‌های تولید همزمان معمولاً براساس ظرفیت الکتریکی دسته‌بندی می‌شوند، سه رویکرد مختلف به شرحی که در ادامه خواهد آمد در نظر گرفته شده است.

۲- تحلیل فنی و اقتصادی

برای تحلیل فنی و اقتصادی به‌منظور به‌کارگیری سامانه تولید همزمان برق و حرارت در صنایع لازم بوده که ابتدا در هر کارخانه اطلاعات مصرف انرژی بررسی شود که شامل دو بخش انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی است. سپس با توجه به روش تعیین ظرفیت سامانه تولید همزمان و توجه به نوع سیستم انتخابی و نوع سوخت آن به محاسبه هزینه‌های مربوط به آن پرداخته و آن گاه تحلیل اقتصادی نتایج برای هر کارخانه انجام می‌شود. بنابراین فاکتورهای مورد بررسی در این تحلیل عبارت از نوع محرک اولیه، نوع سوخت، قیمت سوخت، میزان و قیمت فروش برق تولیدی مازاد و ظرفیت سیستم پیشنهادی هستند که در ادامه به بررسی جزئیات تحلیل فنی و اقتصادی پرداخته می‌شود.

۲-۱- بررسی اطلاعات مصرف انرژی واحدهای صنعتی منتخب

با استفاده از اطلاعات اخذشده از شرکت توزیع برق و شرکت گاز، مصرف انرژی در هر کارخانه مورد بررسی دقیق قرار گرفت. اطلاعات ارایه‌شده در این قسمت شامل مصرف سالیانه، مصرف ماهانه و تقاضای مصرفی بودند. با تحلیل مصرف ماهانه برق و گاز کارخانه‌های مورد نظر در سه سال متوالی، الگوی مصرف کارخانه‌های مورد نظر مشخص شد. فاکتورهای مهمی که در این تحلیل مورد توجه قرار گرفت، عبارت از کل مصرف برق و مصرف گاز در سال، میزان پیک مصرف و نسبت توان به حرارت در هر کارخانه هستند. به‌دلیل این که برای هیچ کدام از صنایع انتخاب‌شده، نحوه مصرف گاز (مصرف در فرآیند صنعتی یا به‌عنوان منبع حرارتی) مشخص نشده، در این بررسی فرض بر این بوده که گاز مصرفی برای تولید گرمایش به کار رفته است. با توجه به این که واحدهای اداری و تجاری صنایع مورد مطالعه در محل کارخانه نیستند، این فرض از صحت بالایی برخوردار است. جدول ۱، اطلاعات مربوط به مصرف انرژی کارخانه‌های منتخب را ارایه می‌کند.

جدول ۱) اطلاعات مصرف انرژی کارخانه‌های منتخب

نام کارخانه	مصرف سالانه برق (Gwh)	مصرف سالانه حرارت (گاز؛ Gwh)	پیک مصرف سالانه برق (KW)	نسبت توان به حرارت
فولاد تنبور	۲/۹۳	۷/۵	۳۸۰	۰/۳۹
پلی‌اتیلن	۴/۱۴	۱/۴۹	۵۸۰	۲/۷۸
کشتارگاه	۰/۴۹	۰/۹۹	۸۴	۰/۴۹
کاراپلاستیک	۰/۷۳	۱۰/۱۹	۹۴	۰/۰۷
ذوب‌آهن	۷/۱۳	۲۷/۳۳	۹۹۴	۰/۲۶

۲-۲- رویکردهای تعیین ظرفیت و نوع سیستم تولید همزمان

با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده در قسمت قبل، سه رویکرد برای انتخاب ظرفیت سیستم تولید همزمان در نظر گرفته شد. رویکرد اول، انتخاب ظرفیت سیستم براساس متوسط مصرف سالیانه، به‌منظور تامین مصرف برق واحدهای مورد نظر بود. در این روش، تمام برق واحد مورد نظر و بخشی از نیاز حرارتی آن توسط سیستم تولید همزمان تامین می‌شود. همچنین این نکته قابل ذکر است که در این روش، تولید مازاد برق وجود ندارد. معادله ۱ نحوه انتخاب ظرفیت براساس این رویکرد را مشخص می‌کند.

$$L_{el.Anu.Ave} = \frac{\text{مصرف سالانه برق}}{\text{Hr}} \quad (۱)$$

که در آن $L_{el.Anu.Ave}$ متوسط سالیانه بار الکتریکی و Hr ساعات کارکرد کارخانه در طول سال است.

رویکرد دوم، تعیین ظرفیت سیستم بر پایه پیک متوسط ساعتی سالیانه است. در این روش با توجه به این که در سایر ساعات به‌جز ساعت پیک، مصرف واحد صنعتی مورد نظر کمتر از ظرفیت تولیدی است، با تولید مازاد برق مواجه هستیم. با توجه به خرید تضمینی برق تولیدی سیستم‌های تولید همزمان در ایران، می‌توان برق تولیدی مازاد را به شبکه سراسری برق فروخت. معادله ۲ نحوه انتخاب ظرفیت براساس این رویکرد را مشخص می‌کند.

$$L_{el.Anu.Max} = \text{Max}\left(\frac{\text{مصرف ماهانه برق}}{\text{Hr}_{\text{Monthly}}}\right) \quad (۲)$$

که در آن $L_{el.Anu.Max}$ پیک متوسط ساعتی سالیانه و $\text{Hr}_{\text{Monthly}}$ ساعات کارکرد کارخانه در ماه است.

رویکرد سوم برای تعیین ظرفیت سیستم تولید همزمان براساس تامین حرارت مورد نیاز واحد مورد نظر است. در این روش فرض بر این است که برق تولیدی سیستم تولید همزمان به شبکه سراسری فروخته می‌شود. معادله ۳ نحوه انتخاب ظرفیت براساس این رویکرد را مشخص می‌کند.

$$L_{th.Anu.Ave} = \frac{\text{مصرف سالانه حرارت}}{\text{Hr}} \quad (۳)$$

که در آن $L_{th.Anu.Ave}$ بار متوسط حرارتی سالیانه مورد نظر است.

در این مقاله از توربین گاز (GT) و موتور رفت و برگشتی (RE) به‌عنوان محرک اولیه استفاده شده است. جدول ۲ ظرفیت و نوع سیستم تولید همزمان پیشنهادشده برای هر کارخانه را ارایه می‌کند.

۲-۳- تحلیل اقتصادی

در این بخش با بررسی پارامترهای اقتصادی مختلف، به بررسی اقتصادی استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت در صنعت

پرداخته شده است. بدین منظور از پارامترهای ارزش خالص فعلی (NPV)، دوره بازگشت سرمایه (SPB) و هزینه ترازشده برق تولیدی (LCOE) استفاده شده است. معادله‌های ۴ تا ۶، روش محاسبه این فاکتورها را مشخص می‌کنند[15].

$$\mathrm{NPV} = -\mathrm{IC} + \frac{\sum_{t=1}^{n} \mathrm{ACF_t}}{(1+\mathrm{i})^{t}} \qquad (۴)$$

که در آن IC هزینه یا سرمایه‌گذاری اولیه، ACF درآمد سالیانه پس از کسر هزینه‌ها در سال tام، i نرخ جذب‌کننده یا حداقل نرخ مورد انتظار بوده که ۱۸% در نظر گرفته شده و n عمر مفید پروژه بوده که ۲۵ سال در نظر گرفته شده است[15].

$$-P + \sum_{j=1}^{n} (CF)_j = 0 \qquad (۵)$$

CF برابر درآمد خالص در پایان سال jام و P برابر سرمایه‌گذاری اولیه است. بنابراین هر مقدار n که در رابطه ۵ صدق کند، مشخص‌کننده دوره بازگشت سرمایه است.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}} \qquad (۶)$$

که I_t هزینه سرمایه‌گذاری در سال tام، M_t هزینه تعمیر و نگهداری و عملیاتی در سال tام، F_t هزینه سوخت در سال tام و E_t برق تولیدشده در سال tام هستند. n عمر پروژه و r نرخ بهره بازار بوده که ۱۸% در نظر گرفته شده است.

۲-٤- هزینه‌های اولیه، سالیانه و درآمدها

به‌منظور انجام تحلیل اقتصادی با استفاده از روابط ارایه‌شده لازم است تا هزینه‌ها و درآمدها برای هر رویکرد مشخص شود. به همین منظور در ادامه به نحوه محاسبه این مقادیر پرداخته خواهد شد. با توجه به این که هزینه خریداری و نصب تجهیزات برحسب دلار در دسترس است، سایر هزینه‌های ریالی با توجه به زمان آغاز مطالعات یعنی ابتدای سال ۱۳۹۶ با نرخ ۴۰۰۰تومان به واحد یکسان دلار تبدیل شده‌اند.

۲-٤-۱- هزینه‌های اولیه

در این بخش، هزینه‌های اولیه مربوط به هر یک از سیستم‌های تولید همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور، این هزینه‌ها به دو بخش هزینه خرید تجهیزات و هزینه نصب و راه‌اندازی تقسیم شده‌اند. عوامل مهم در قیمت تجهیزات عبارت از ظرفیت الکتریکی، ظرفیت حرارتی و نوع محرک اولیه هستند. هزینه نصب و راه‌اندازی تجهیزات، ۱۰% هزینه تجهیزات اولیه در نظر گرفته شده است[16]. هزینه‌های اولیه در جدول ۳ ارایه شده است. در این مقاله فرض شده است که تمام هزینه‌های سرمایه‌گذاری (اولیه) به‌صورت شخصی و بدون استفاده از تسهیلات بانکی تامین می‌شوند.

جدول ۲) نوع و ظرفیت پیشنهادشده براساس رویکردهای مختلف

نام کارخانه	نوع محرک	ظرفیت پیشنهادی (کیلووات)		
		رویکرد اول	رویکرد دوم	رویکرد سوم
فولاد تنبور	توربین گاز	۳۵۰	۴۰۰	۶۰۰
	موتور رفت و برگشتی	۳۵۰	۴۸۴	۶۰۰
پلی‌اتیلن	توربین گاز	۴۹۰	۶۰۰	۱۲۰
	موتور رفت و برگشتی	۴۹۰	۶۰۰	۱۲۰
کشتارگاه	توربین گاز	۶۰	۹۰	۹۰
	موتور رفت و برگشتی	۶۰	۱۰۰	۱۰۰
کاراپلاستیک	توربین گاز	۹۰	۱۳۰	۱۰۰۰
	موتور رفت و برگشتی	۹۰	۱۲۰	۱۰۰۰
ذوب‌آهن	توربین گاز	۸۵۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
	موتور رفت و برگشتی	۸۵۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

جدول ۳) هزینه‌های اولیه و هزینه‌های سالیانه برای هر کارخانه به تفکیک رویکردهای بررسی‌شده

نام کارخانه	رویکرد	فولاد تنبور			پلی‌اتیلن			کشتارگاه			کاراپلاستیک			ذوب‌آهن		
هزینه اولیه (هزاردلار)	۱	۴۴۰	۱۶۰/۹		۵۵۰	۱۲۴/۹		۷۸/۵	۱۹/۹		۱۲۷/۵	۲۹/۹		۸۴۱	۳۹۷/۸	
	۲	۵۱۷	۱۹۹/۲		۶۶۶	۱۸۶/۸		۱۲۴	۳۴/۴		۱۷۵/۵	۳۸/۴		۱۰۵۷	۴۱۵/۳	
	۳	۷۵۶	۲۶۵		۱۶۵	۳۸/۴		۱۲۳	۳۴/۳		۱۰۷۱	۴۱۹		۱۰۷۱	۴۱۹	
نوع سوخت		گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل
هزینه سالیانه سوخت (هزاردلار)	۱	۲۳/۱	۲۳/۱	۶۲	۳۲/۵	۳۳	۸۸	۳/۸	۱۰	۳/۸	۵/۷	۵/۷	۱۵/۵	۵۶	۵۶	۱۵۱
	۲	۲۶/۵	۳۲/۱	۸۶	۳۹/۷	۳۹/۷	۱۰۷	۵/۹	۶/۶	۱۷/۸	۸/۶	۷/۹	۲۱/۴	۶۶/۲	۶۶/۲	۱۷۸
	۳	۳۹/۷	۳۹/۷	۱۰۷	۷/۹	۷/۹	۲۱	۵/۹	۶/۶	۱۷/۸	۶۶/۲	۶۶/۲	۱۷۸	۶۶/۲	۶۶/۲	۱۷۸
کل هزینه‌های سالیانه (هزاردلار)	۱	۳۱/۹	۲۴/۷	۶۳/۹	۵۴/۵	۳۸	۹۳	۵/۴	۱۱	۴	۸/۳	۵/۹	۱۵/۷	۷۲/۸	۶۴	۱۵۹
	۲	۳۶/۸	۳۴/۲	۸۸/۵	۴۶/۳	۱۱۲	۹۳	۸/۴	۱۸/۱	۶/۸	۱۲/۱	۸/۲	۲۱/۷	۸۷/۳	۷۰	۱۸۲
	۳	۶۹/۹	۵۰/۳	۱۱۷	۱۴/۵	۹/۴	۲۳	۸/۴	۱۸/۱	۶/۸	۱۰۹	۸۳	۱۹۵	۱۰۹	۸۳	۱۹۵

۲-٤-۲- هزینه سالیانه

هزینه‌های سالیانه شامل هزینه تعمیر، نگهداری و هزینه سوخت هستند. معمولاً هزینه تعمیرات و نگهداری سالیانه، بین ۲ تا ٤% هزینه اولیه در نظر گرفته می‌شود[16]. در این مقاله این هزینه، ۲% هزینه اولیه در نظر گرفته شده است. سوخت مصرف‌شده توسط هر سیستم به نوع سیستم و راندمان آن بستگی دارد. با توجه به نوع سیستم‌های استفاده‌شده و راندمان آنها، سوخت مصرف‌شده و در نتیجه، هزینه سالیانه سوخت محاسبه شده است. برای انجام محاسبات از ارزش حرارتی پایین (LHV) سوخت استفاده شده است. سوخت‌های استفاده‌شده در این بررسی، گاز طبیعی با ارزش حرارتی ۸۲۹۲کیلوکالری و قیمت واحد ۱۰۰تومان به‌ازای هر متر مکعب و گازوئیل با ارزش حرارتی ۹۲۳۲کیلوکالری و قیمت واحد ۳۰۰تومان به‌ازای هر لیتر در نظر گرفته شده است. با توجه به این که برای دستگاه‌های استفاده‌شده، راندمان کارکرد در شرایط مختلف در کاتالوگ دستگاه موجود است، در نتیجه، با توجه به معادله ۷ می‌توان سوخت مصرف‌شده را برای هر حالت محاسبه کرد[17].

$$\mathrm{FC} = \frac{\frac{P_R}{\eta_e} \times Hr}{LHV} \qquad (۷)$$

که η_e راندمان الکتریکی سیستم مورد نظر، P_R توان نامی الکتریکی سیستم، FC سوخت مصرف‌شده، LHV ارزش حرارتی پایین سوخت و Hr ساعات کارکرد سیستم (با توجه به زمان

اورهال، سالانه دستگاه ۸۴۲۴ ساعت است) است. هزینه مصرف سوخت هر سیستم در طول یک سال در جدول ۳ ارایه شده است.

۲-٤-۳- درآمدها

درآمدهای حاصل از استفاده از سیستم تولید همزمان به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول درآمد مربوط به فروش برق مازاد به شبکه سراسری و دسته دوم، درآمد حاصل از صرفه‌جویی انرژی هستند.

طبق مصوبه وزارت نیروی ایران، خرید تضمینی برق با قیمت واحد ۱۰۹تومان به‌ازای هر کیلووات ساعت، فقط از سیستم‌های تولید همزمان با راندمان کلی بالاتر از ۵۵% صورت می‌گیرد. در این مقاله، درآمد حاصل از فروش برق مازاد برای کارخانه‌هایی که سیستم به‌کاررفته در آنها به راندمان مجاز رسیده، محاسبه شده است. درآمد حاصل از فروش برق با معادله ۸ محاسبه شده است.

$$I_{el} = (Prod_{el} - Dem_{el}) \times CR \qquad (۸)$$

که منظور از I_{el} درآمد حاصل از فروش برق، Dem_{el} تقاضای الکتریکی و CR قیمت فروش تضمینی برق به شبکه سراسری است.

برای محاسبه میزان درآمد حاصل از صرفه‌جویی انرژی باید میزان انرژی را در نظر گرفت که نسبت به حالت پایه مصرف می‌شود و قرار است توسط سیستم تولید همزمان، تولید شود. معادله ۹ میزان صرفه‌جویی انرژی را مشخص می‌کند.

$$ECS = (Prod_{thr} \times CR_{thr}) + (Dem_{el} \times CR_{el}) \qquad (۹)$$

در معادله ۹، منظور از ECS میزان صرفه‌جویی انرژی، CR_{el} نرخ محاسبه هر کیلووات انرژی الکتریکی است که با توجه به قیمت برق خریداری‌شده از شبکه سراسری تعیین می‌شود و CR_{th} نرخ محاسبه هر کیلووات انرژی حراراتی است که با توجه به قیمت گاز طبیعی خریداری‌شده از شبکه گاز تعیین می‌شود.

۳- بحث و بررسی نتایج

در این بخش با توجه به رویکردهای ذکرشده در قسمت قبل، به بررسی و تحلیل اقتصادی استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت پرداخته شده است. به‌منظور یکسان‌بودن شرایط، برای بررسی‌های اقتصادی انجام‌شده در هر کارخانه، فرضیات یکسانی در نظر گرفته شده است. بدین منظور در تمامی تحلیل‌های انجام‌شده، عمر پروژه ۲۵ سال، نرخ تورم ۹%، نرخ بهره بازار ۱۸%، نرخ افزایش قیمت سالیانه سوخت ۵%، نرخ افزایش هزینه تعمیرات سالیانه ۲/۵% و نرخ افزایش سالیانه قیمت فروش تضمینی برق ۵% در نظر گرفته شده است. برای بررسی نتایج، تحلیل‌های انجام‌شده به سه دسته براساس رویکردهای بیان‌شده تقسیم شده‌اند.

۳-۱- نتایج رویکرد اول (میزان تولید براساس متوسط مصرف برق سالیانه)

در این حالت، ظرفیت انتخاب‌شده برای سیستم تولید همزمان برای هر کارخانه به‌گونه‌ای است که در تمام ساعات به‌جز ساعات پیک صرف، نیاز الکتریکی را تامین می‌کند و با توجه به ظرفیت حرارتی هر کارخانه، همه یا بخشی از نیاز حرارتی تامین می‌شود.

در صورت نیاز به بار الکتریکی اضافی، این مقدار از شبکه تامین خواهد شد. با توجه به جدول ۴، مقادیر مربوط به ارزش خالص فعلی، دوره بازگشت سرمایه و هزینه ترازشده برق نشان می‌دهد که تنها استفاده از موتور رفت و برگشتی با سوخت گاز طبیعی دارای توجیه اقتصادی است و دو حالت دیگر یعنی استفاده از موتور رفت و برگشتی با سوخت دیزل و استفاده از توربین گاز دارای توجیه اقتصادی نیست. همان طور که در بخش قبل هم اشاره شد، به‌علت گران‌تربودن سوخت دیزل نسبت به گاز طبیعی در ایران، در این حالت (رویکرد اول)، استفاده از موتور رفت و برگشتی به‌همراه سوخت دیزل، نتایج رضایت‌بخشی به‌همراه نخواهد داشت. برای استفاده از توربین گاز، همان گونه که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد، برای هیچ کدام از کارخانه‌های مورد بررسی، نتایج حاصل، قابل قبول نیستند. در این موارد، علاوه بر ارزش خالص فعلی منفی، دوره بازگشت سرمایه طولانی و هزینه ترازشده برق بیشتری در مقایسه با حالت استفاده از موتور رفت و برگشتی به‌همراه سوخت گاز طبیعی داریم.

۳-۲- نتایج رویکرد دوم (میزان تولید براساس پیک مصرف ساعتی سالانه)

در این رویکرد، با توجه به ظرفیت‌های انتخاب‌شده برای هر کارخانه، تولید مازاد برق در تمامی موارد وجود دارد. با توجه به مصوبه وزارت نیروی جمهوری اسلامی ایران، برق تولیدی سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در صورت رسیدن به راندمان کلی ۵۵% با قیمت هر کیلووات ۱۰۹تومان خریداری می‌شود. بنابراین در این حالت، اساس رویکرد تامین ۱۰۰% برق مورد نیاز، تامین حرارت قابل بازیافت و فروش برق مازاد بوده است. با توجه به مقادیر مربوط به ارزش خالص فعلی، دوره بازگشت سرمایه و هزینه ترازشده برق برای موتور رفت و برگشتی که در جدول ۵ ارایه شده است، مشاهده می‌شود که علی‌رغم استفاده از ظرفیت یکسان در هر دو حالت، استفاده از سوخت گاز طبیعی بر خلاف سوخت دیزل دارای توجیه اقتصادی بوده است. همچنین مقادیر ارزش خالص فعلی منفی، دوره بازگشت سرمایه طولانی و هزینه ترازشده برق نسبتاً زیاد نیز نشان می‌دهند که استفاده از توربین گاز در این حالت توجیه اقتصادی ندارد، هر چند که مقادیر هزینه ترازشده برق تولیدشده، نسبت به حالت استفاده از موتور رفت و برگشتی با استفاده از سوخت دیزل، کمتر هستند، اما ارزش خالص فعلی منفی، استفاده از این نوع سیستم را توجیه‌پذیر نمی‌کند.

۳-۳- نتایج رویکرد سوم (میزان تولید براساس متوسط مصرف حرارت سالیانه)

در این حالت، نحوه انتخاب ظرفیت سیستم براساس میزان حرارت مورد نظر بوده و فرض شده است که تمام برق تولیدشده به شبکه فروخته خواهد شد. با توجه به نتایج ارایه‌شده در جدول ۶، از آنجایی که درآمد فروش برق افزایش پیدا کرده، در این حالت، علاوه بر قابل قبول‌بودن نتایج برای سوخت گاز طبیعی، برای سوخت دیزل نیز مقادیر قابل قبولی به دست آمده است. اما در این حالت علی‌رغم مثبت‌شدن مقدار ارزش خالص فعلی، مقادیر مربوط به هزینه ترازشده برق، بسیار زیاد بوده، به‌طوری که به‌صورت متوسط حدود ۳برابر حالات قبلی هستند. از همین رو، در این حالت نیز استفاده از موتور رفت و برگشتی با سوخت گاز طبیعی نسبت به سوخت دیزل گزینه مطلوب‌تری است.

همچنین برای توربین گاز مشاهده می‌شود که برای ظرفیت یک‌مگاوات، مقدار ارزش خالص فعلی قابل قبول است، هر چند که مقادیر مربوط به دوره بازگشت سرمایه و هزینه ترازشده برق نسبت به موتور رفت و برگشتی با استفاده از سوخت گاز طبیعی بیشتر هستند. لذا این گونه به نظر می‌رسد که استفاده از توربین گاز به‌عنوان محرک اولیه در موارد با ظرفیت بالا دارای توجیه اقتصادی است.

جدول ۴) نتایج تحلیل‌های اقتصادی انجام‌شده برای رویکرد اول

نام کارخانه	فولاد تنبور			پلی‌اتیلن			کشتارگاه			کاراپلاستیک			ذوب‌آهن		
نوع محرک	توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی	
نوع سوخت	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل
ظرفیت اسمی الکتریکی (KW)	۳۵۰	۳۵۰		۴۹۰	۴۹۰		۶۰	۶۰		۹۰	۹۰		۸۵۰	۸۵۰	
ارزش خالص فعلی (10^4 $)	-۲۱/۹	۱۰/۷	-۱۷/۷	-۳۶	۱۶/۲	-۲۴	-۴/۲	۲/۵	-۲/۲	-۷/۴	۳/۷	-۳/۳	-۲۸	۲۳	-۴۶
دوره بازگشت سرمایه (سال)	۱۱/۵	۳/۵	۲۲/۱	۱۶/۳	۲/۴	۲۸/۸	۱۲/۵	۲/۵	۱۴/۹	۱۳/۸	۲/۵	۱۴/۹	۱۱/۵	۳/۴	۲۲
هزینه ترازشده برق تولیدی ($/Mwh)	۱۳/۸	۱۱/۲	۲۹/۱	۱۶/۲	۱۱/۸	۲۹/۸	۱۴	۱۰/۹	۲۸/۸	۱۴/۲	۱۰/۹	۲۸/۸	۱۳/۵	۱۲/۲	۳۱

جدول ۵) نتایج های تحلیل‌های اقتصادی انجام‌شده برای رویکرد دوم

نام کارخانه	فولاد تنبور			پلی‌اتیلن			کشتارگاه			کاراپلاستیک			ذوب‌آهن		
نوع محرک	توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی	
نوع سوخت	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل
ظرفیت اسمی الکتریکی (KW)	۴۰۰	۴۸۴		۶۰۰	۶۰۰		۹۰	۱۰۰		۱۳۰	۱۲۰			۱۰۰۰	
ارزش خالص فعلی (10^4 $)	-۲۴	۲۵/۵	-۱۳/۹	-۵۵	۶/۱	-۴۵/۵	-۴/۸۶	۶/۹	-۱/۲	-۶/۸	-۲۳	۲۵/۵	-۱۴	-۵۵	۶/۰۸
دوره بازگشت سرمایه (سال)	۱۱/۱	۲/۷	۱۰/۹	۳۰/۴	۳/۹	**	۱۲/۵	۲/۱	۷/۱۷	۱۰/۵	۱۱/۱	۲/۷	۱۰/۹	۳۰/۴	۳/۹۳
هزینه ترازشده برق تولیدی ($/Mwh)	۱۳/۸	۱۱/۲	۲۹/۱	۱۶/۲	۱۲	۳۰/۱	۱۴	۱۰/۹	۲۸/۸	۱۴	۱۳/۸	۱۱/۱	۲۹/۱	۱۶/۲	۱۱/۹

جدول ۶) نتایج تحلیل‌های اقتصادی انجام‌شده برای رویکرد سوم

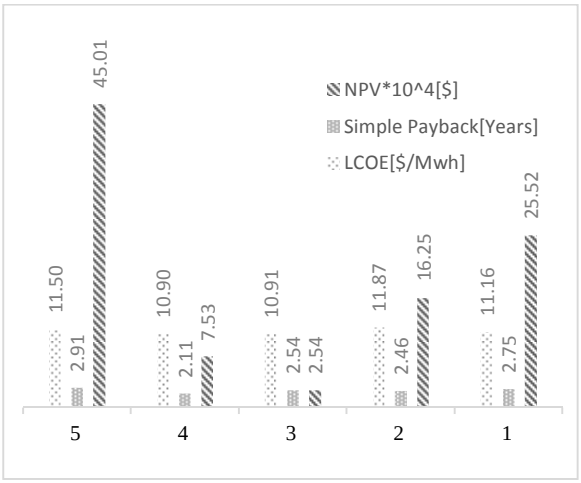
نام کارخانه	فولاد تنبور			پلی‌اتیلن			کشتارگاه			کاراپلاستیک			ذوب‌آهن		
نوع محرک	توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی		توربین گاز	موتور رفت و برگشتی	
نوع سوخت	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل
ظرفیت اسمی الکتریکی (KW)		۶۰۰			۱۲۰		۹۰	۱۰۰			۱۰۰۰			۱۰۰۰	
ارزش خالص فعلی (10^4 $)	۹/۸	۵۱/۶	۲/۶	-۳/۴	۱۲/۱	۲/۳	-۱/۳	۱۰/۴	۲/۳	۵/۱	۹/۸	۵۱/۶	۲/۶	-۳/۴	۱۲/۱
دوره بازگشت سرمایه (سال)	۸/۷	۲/۴	۶/۵	۹/۶	۱/۷	۴/۴	۸/۲	۱/۷	۴/۲	۷/۲	۸/۷	۲/۴	۶/۵	۹/۶	۱/۷
هزینه ترازشده برق تولیدی ($/Mwh)	۱۷	۱۲/۸	۳۰/۷	۱۷/۶	۱۲/۲	۳۰/۱	۱۴/۲	۱۰/۹	۲۸/۸	۱۶	۱۶/۹	۱۲/۸	۳۰/۷	۱۷/۶	۱۲/۲

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با بررسی مصرف انرژی در پنج نوع کارخانه پُرمصرف ایران، به تحلیل اقتصادی استفاده از سیستم‌های تولید همزمان با بررسی تاثیر عوامل مختلف مانند نوع محرک اولیه، نوع سوخت و با درنظرگرفتن فروش تضمینی برق پرداخته شد. همچنین با درنظرگرفتن سه رویکرد مختلف برای انتخاب ظرفیت الکتریکی سیستم، تاثیر هر رویکرد در تحلیل اقتصادی مد نظر قرار گرفت. در این تحلیل، سه شاخص ارزش خالص فعلی، دوره بازگشت سرمایه و هزینه ترازشده برق تولیدی سیستم تولید همزمان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که سیستم تولید همزمان با محرک اولیه موتور رفت و برگشتی و استفاده از سوخت گاز طبیعی در همه رویکردهای درنظرگرفته‌شده، از نظر اقتصادی نتایج قابل قبولی در پی دارد. همچنین در این بررسی مشخص شد که استفاده از توربین گاز صرفاً در موارد با ظرفیت زیاد (بیشتر از یک‌مگاوات) و در صورت فروش عمده برق تولیدی، می‌تواند دارای توجیه اقتصادی باشد. جمع‌بندی نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بین سه رویکرد بررسی‌شده، بیشترین مقدار ارزش خالص فعلی در همه موارد و کمترین مقدار دوره بازگشت سرمایه، در اکثر موارد مربوط به رویکرد سوم است، اما با توجه به این که هزینه ترازشده برق تولیدی توسط سیستم تولید همزمان برای توجیه اقتصادی، نسبت به دو شاخص دیگر عامل مهم‌تری به شمار می‌رود، در جدول ۷ بهترین گزینه یا در واقع قابل قبول‌ترین گزینه اقتصادی برحسب کمترین مقدار هزینه ترازشده برق به‌دست‌آمده معرفی شده است. همچنین برای مقایسه بهتر سایر فاکتورها، این نتایج در نمودار ۱ ارایه شده است.

جدول ۷) بهترین حالت براساس کمترین مقدار هزینه ترازشده برق تولیدی برای هر کارخانه

حالت	فولاد تنبور	پلی‌اتیلن	کشتارگاه	کاراپلاستیک	ذوب‌آهن
شماره ارجاع در نمودار	۱	۲	۳	۴	۵
نوع محرک اولیه	موتور رفت و برگشتی	موتور رفت و برگشتی	موتور رفت و برگشتی	موتور رفت و برگشتی	موتور رفت و برگشتی
نوع سوخت	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز
ظرفیت پیشنهادی (KW)	۴۸۴	۴۹۰	۶۰	۱۲۰	۱۰۰۰
نوع رویکرد	رویکرد دوم	رویکرد اول	رویکرد اول	رویکرد دوم	رویکرد دوم
هزینه ترازشده برق تولیدی ($/Mwh)	۱۱/۱۶	۱۱/۸۷	۱۰/۹۱	۱۰/۹۰	۱۱/۵۰



نمودار۱) بهترین نتیجه برای هر کارخانه

تشکر و قدردانی: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از شرکت توزیع برق جنوب استان کرمان بواسطه حمایت مالی از طرح پژوهشی انجام شده در این رابطه مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام نمایند.

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان متعهد هستند که مطالب این مقاله را در هیچ مجله دیگری به چاپ نرسانده‌اند.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان بیان نشده است.

سهم نویسندگان: بهنام سنجری (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۴۰%)؛ مسعود ایرانمنش (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۶۰%)

منابع مالی: شرکت توزیع برق جنوب استان کرمان.

منابع

1- Gudarzi Farahani Y, Varmazyari B, Moshtaridoust Sh. Energy consumption in Iran: Past trends and future directions. Procedia Social and Behavioral Sciences. 2012;62:12-17.

2- Utlu Z, Hepbasli A. A review and assessment of the energy utilization efficiency in the Turkish industrial sector using energy and exergy analysis method. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007;11(7):1438-1459.

3- Dargahi H, Biabany Khamene K. Energy intensity determinants in an energy-exporting developing economy: Case of Iran. Energy. 2019;168:1031-1044.

4-Farajzadeh Z, Nematollahi MA. Energy intensity and its components in Iran: Determinants and trends. Energy Economics. 2018;73:161-177.

5- Sanaei SM, Furubayashi T, Nakata T. Assessment of energy utilization in Iran's industrial sector using energy and exergy analysis method. Applied Thermal Engineering. 2012;36:472-481.

6- IEA. Cogeneration and renewables: Solutions for a low-carbon energy future [Internet]. Paris: International Energy Agency; 2011 [cited 2018 Aug 01]. Available from: http://yon.ir/bXURb

7-Gvozdenac D, GvozdenacUrošević B, Menke C, Urošević B, Bangviwat A. High efficiency cogeneration: CHP and non-CHP energy. Energy. 2017;135:269-278.

8- Ghadimi P, Kara S, Kornfeld B. The optimal selection of on-site CHP systems through integrated sizing and operational strategy. Applied Energy. 2014;126:38-46.

9- De Macedo Rodrigues ML, Arrieta FRP, Sodré JR. Small scale biomass CHP plant: An assessment for an animal feed industry. Applied Thermal Engineering. 2013;59(1-2):174-181.

10- Ashok S, Banerjee R. Optimal operation of industrial cogeneration for load management. IEEE Transactions on Power Systems. 2003;18(2):931-937.

11- Marshman DJ, Chmelyk T, Sidhu MS, Gopaluni RB, Dumont GA. Energy optimization in a pulp and paper mill cogeneration facility. Applied Energy. 2010;87(11):3514-3525.

12- Kosugi T, Tokimatsu K, Zhou W. An economic analysis of a clean-development mechanism project: A case introducing a natural gas-fired combined heat-and-power facility in a Chinese industrial area. Applied Energy. 2005;80(2):197-212.

13- Farghal SA, El-Dewieny RM, Riad AM. Economic justification of cogeneration systems for industrial steam users and utility systems. IEE Proceedings C Generation Transmission and Distribution. 1989;136(2):100-107.

14- Giaccone L, Canova A. Economical comparison of CHP systems for industrial user with large steam demand. Applied Energy. 2009;86(6):904-914.

15- Oskounejad MM. Engineering economy: Economic evaluation of industrial projects. 46th Edition. Tehran: Amir Kabir University of Technology; 2015. [Persian]

16- Konstantakos V, Pilavachi PA, Polyzakis A, Theofylaktos C. A decision support model for combined heat and power economic evaluation. Applied Thermal Engineering. 2012;42:129-135.

17- Kurnik CW, Simons G, Barsun S. Combined heat and power evaluation protocol. The uniform methods project: Methods for determining energy efficiency savings for specific measures [Internet]. Golden: National Renewable Energy Lab; 2017 [cited 2018 Aug 01]. Available from: https://www.osti.gov/biblio/1406987