



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

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

²Energy 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] Engineering 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

بررسى اثر فروش تضمينى برق و ساير پارامترهاى موثر در بهكارگيرى سامانه توليد همزمان قدرت و حرارت در صنايع ايران

بهنام سنجرى MSc

گروه تبديل انرژى و انرژى‌هاى تجديدپذير، پژوهشگاه علوم و تكنولوجى پيشرفته و علوم محيطى، دانشگاه تحصيلات تكميلى صنعتى و فناورى پيشرفته، کرمان، ايران

مسعود ايرانمنش PhD

پژوهشگاه انرژى، پژوهشگاه علوم و تكنولوجى پيشرفته و علوم محيطى، دانشگاه تحصيلات تكميلى صنعتى و فناورى پيشرفته، کرمان، ايران

چکيده

بخش صنعت همواره به‌عنوان يکى از بزرگ‌ترين مصرف‌کننده‌هاى انرژى در هر کشور شناخته مى‌شود که علاوه بر پرمصرف بودن اين بخش، مقدار قابل توجهى از انرژى به دليل استفاده ناکارآمد و تجهيزات قديمى تلف مى‌شود. به‌کارگيرى سيستم‌هاى توليد همزمان قدرت و حرارت، همواره به‌عنوان يکى از بهترين راه‌حل‌ها براى کاهش مصرف و افزايش بهره‌ورى انرژى مورد توجه قرار داشته است. در اين مقاله به بررسى فنى و اقتصادى استفاده از سيستم‌هاى توليد همزمان قدرت و حرارت در تعدادى از صنايع پرمصرف منتخب با در نظر گرفتن رويکردهاى مختلف پرداخته شده که براساس آنها ظرفيت الکترىکى سيستم طراحى شده است. در اين بررسى پارامترهاى مختلفى از جمله نوع محرک اوليه سيستم (توربين گاز يا موتور رفت و برگشتى)، نوع سوخت مصرفى (گاز طبيعى و گازوييل) و با در نظر گرفتن قيمت فروش تضمينى برق به شبکه سراسرى در صنايع مختلف براى تامين نياز الکترىکى و حرارتى پرداخته شده است. نهايتاً پس از تعيين ظرفيت سيستم توليد همزمان براى کارخانه‌هاى منتخب، با استفاده از نرم‌افزارهاى MATLAB و Excel به‌صورت کوپل شده به بررسى شاخص‌هاى مهم اقتصادى استفاده از اين سيستم‌ها در صنعت از جمله ارزش خالص فعلى، دوره بازگشت سرمايه (تنزيل نشده) و هزينه تراز شده برق پرداخته شده است. بررسى‌هاى انجام شده نشان داد که در تمام رويکردها، استفاده از موتور رفت و برگشتى به‌عنوان محرک اوليه با سوخت گاز طبيعى نتايج رضايت‌بخشى به‌دنبال دارد.

کلیدواژه‌ها: توليد همزمان قدرت و حرارت، نوع سوخت، محرک اوليه، تحليل فنى و اقتصادى، فروش تضمينى برق

تاريخ دريافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲

تاريخ پذيرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵

*نويسنده مسئول: m.iranmanesh@kgut.ac.ir

۱- مقدمه

انرژى به‌عنوان يکى از مهم‌ترين فاکتورهاى بررسى‌هاى اقتصادى ارايه شده در سال‌هاى اخير شناخته مى‌شود. همچنين مصرف انرژى به‌عنوان يکى از عوامل مهم و تاثيرگذار بر اقتصاد هر کشور، به‌خصوص کشورهاى در حال توسعه به شمار مى‌رود. در حال حاضر ميزان مصرف و بازده انرژى، دو عامل تاثيرگذار بر تمامى فعاليت‌هاى اقتصادى و صنعتى به شمار مى‌روند^[1]. بخش صنعت همواره به‌عنوان يکى از بزرگ‌ترين مصرف‌کننده‌هاى انرژى در هر کشور شناخته مى‌شود. همچنين علاوه بر پرمصرف بودن اين بخش، مقدار قابل توجهى از انرژى به دليل استفاده ناکارآمد و تجهيزات قديمى تلف مى‌شود^[2]. مقدار اتلافات انرژى در ايران بين شش تا هفت ميليارد دلار در سال ۲۰۰۸ بوده است. مصرف انرژى در ايران بسيار بالاتر از استانداردهاى جهانى است. در پژوهشى^[1] اشاره شده است که ايران يکى از کشورهاى پرمصرف انرژى در جهان به شمار مى‌رود، به‌طورى که مصرف انرژى سرانه ايران ۱۵ برابر ژاپن و ۱۰ برابر کشورهاى عضو اتحاديه اروپا است. همچنين به‌علت يارانه‌هاى عظيم تعلق‌يافته به بخش انرژى (نفت، گاز و برق) که حدود

۸۴ ميليارد دلار در سال ۲۰۰۸ بوده است، ايران يکى از ناکارآمدترين کشورها در بخش مصرف انرژى در دنيا به شمار مى‌رود، به‌طورى که شدت مصرف انرژى در ايران ۳ برابر متوسط جهانى و ۲/۵ برابر منطقه خاورميانه است^[1].

در سال ۲۰۰۸، بخش صنعت با حدود ۲۳٪ مصرف انرژى کلى، به‌عنوان سومين مصرف‌کننده بزرگ انرژى در ايران شناخته شده است. مصرف انرژى در بخش صنعت در اين سال معادل ۲۳۸/۸۶ ميليون بشکه نفت خام (MBOE) بوده که نسبت به سال قبل ۱۱/۰۸٪ رشد داشته است. طبق پيش‌بينى انجام شده در سال ۲۰۰۸، متوسط رشد ساليانه مصرف انرژى در اين بخش حدود ۵٪ در نظر گرفته شده است^[3]. براساس آخرين گزارش آژانس بين‌المللى، انرژى مصرف انرژى در بخش صنعت در ايران در سال ۲۰۱۵ برابر با ۲۹۱/۳۲ ميليون بشکه نفت خام بوده است^[4]. استفاده کارآمد از انرژى به‌عنوان عامل کليدى براى توسعه پايدار شناخته مى‌شود^[5]. از همين رو و به‌منظور کاهش مصرف و افزايش بهره‌ورى در بخش صنعت بايد به‌دنبال راه‌ها و روش‌هاى کارآمد بود که سيستم‌هاى توليد همزمان گرما و برق (CHP) همواره به‌عنوان نمونه‌اى از سيستم‌ها که داراى ويژگى‌هاى فوق بوده، مورد توجه قرار گرفته است. براساس گزارش آژانس بين‌المللى انرژى، بيش از ۴۷٪ انرژى مورد استفاده در صنعت به‌منظور توليد حرارت است^[6].

معمولاً برق مورد نياز واحدهاى صنعتى، ساختمان‌هاى تجارى و ساختمان‌هاى مسكونى از نيروگاه‌هاى عمده کشور تامين مى‌شود، در حالى که نياز حرارتى تمام آنها در همان محل توليد مى‌شود. سيستم توليد همزمان بيشترين بهره‌ورى در مصرف انرژى سوخت را دارد، به‌گونه‌اى که متوسط راندمان يک مولد برق حدود ۳۵٪ و متوسط راندمان يک بويلر ۹۰٪ است، در حالى که يک سيستم توليد همزمان با توليد هر دوى اين محصولات يعنى حرارت و الکترىسته، راندمانى بيش از ۸۵٪ دارد^[7]. استفاده از سيستم توليد همزمان در صنعت و به‌خصوص صنايع پرمصرف، يکى از راه‌هاى کاهش مصرف انرژى و مديريت بهينه استفاده از انرژى بوده که در سال‌هاى اخير به‌خصوص در کشورهاى در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است. قديمى و همکاران به بررسى رويکرد عملکرد و انتخاب بهينه نوع و سايز سيستم‌هاى توليد همزمان پرداختند و سپس تئورى خود را روى يک کارخانه دارو به اجرا درآوردند. آنها به اين نتيجه رسيدند که انتخاب درست سايز و نوع سيستم، علاوه بر تاثيرگذارى موثر بر بازده کلى باعث کاهش هزينه‌هاى سيستم توليد همزمان نيز مى‌شوند^[8]. دى‌ماسيدورودريگر و همکاران به امکان‌سنجى استفاده از سيستم توليد همزمان مقباس کوچک در يک کارخانه توليد خوراک دام پرداختند. آنها از يک سيستم توليد همزمان با سوخت زيست‌توده با دو نوع سوخت مختلف استفاده کردند و به اين نتيجه رسيدند که استفاده از سيستم توليد همزمان با سوخت زغال چوبى ضمن برآوردن نياز حرارتى و الکترىکى، داراى ارزش خالص فعلى (NPV) برابر با ۹/۴۴ ميليون دلار، نرخ بهره داخلى (IRR) برابر با ۵۰/۲۵٪ و دوره بازگشت سرمايه (PBP) معادل ۳/۳ سال است^[9]. آشوک و بانرجى به بررسى عملکرد بهينه سيستم توليد همزمان در صنعت و به‌طور خاص پتروشيمى پرداختند. نتايج آنها نشان داد که استفاده از توليد همزمان صنعت يک پتانسيل قابل توجه در کاهش تقاضاى همزمان دارد^[10]. مارشمن و همکاران به بهينه‌سازى استفاده از سيستم توليد همزمان در يک کارخانه کاغذ پرداختند. نتايج آنها منافع بين ۱۰ تا ۵۰٪ در سه موردى که مطالعه شده بود را نشان داد^[11].

صحت بالایی برخوردار است. جدول ۱، اطلاعات مربوط به مصرف انرژی کارخانه‌های منتخب را ارائه می‌کند.

جدول ۱) اطلاعات مصرف انرژی کارخانه‌های منتخب

نام کارخانه	مصرف سالانه برق (Gwh)	مصرف سالانه حرارت (Gwh: گاز)	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.

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

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.

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

که در آن $L_{el.Anu.Max}$ پیک متوسط ساعتی سالیانه و $Hr_{Monthly}$ 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.

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

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 پیشنهاد شده برای هر کارخانه را ارائه 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

کاسوگی و همکاران یک مطالعه امکان‌سنجی اقتصادی به‌منظور استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت گازسوز را برای یک منطقه صنعتی در چین ارائه کردند. توسعه مدل آنها شامل بهینه‌سازی ظرفیت نصب سیستم تولید همزمان براساس بالانس تامین و تقاضای انرژی (حرارت/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 پیدا کردن بهترین سیستم تولید همزمان جایگزین برای تولید برق و حرارت (بخار) برای یک کاربر صنعتی ارائه کردند [13]. طبق پژوهشی [14] پس از ارائه مقدمه‌ای بر اصول تولید همزمان، روشی برای تحلیل پایه‌ای اقتصادی برای سیستم تولید همزمان ارائه 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 پرمصرف 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 اخذ شده از شرکت توزیع برق و شرکت گاز، مصرف انرژی در هر کارخانه مورد بررسی دقیق قرار گرفت. اطلاعات ارائه شده 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 انتخاب شده، 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

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

$$NPV = -IC + \frac{\sum_{t=1}^n ACF_t}{(1+i)^t} \quad (4)$$

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].

$$-P + \sum_{j=1}^n (CF)_j = 0 \quad (5)$$

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

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (6)$$

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 تولید شده در سال tام هستند. n عمر پروژه و r نرخ بهره بازار بوده که ۱۸٪ در نظر گرفته شده است.

۲-۴-۲- هزینه‌های اولیه، سالیانه و درآمدها

به‌منظور انجام تحلیل اقتصادی با استفاده از روابط ارائه شده 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 ۴۰۰۰ تومان به واحد یکسان دلار تبدیل شده‌اند.

۲-۴-۲- 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 ارائه 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 پیشنهاد شده 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 بررسی شده

نام کارخانه	رویکرد	فولاد تنبور	پلی‌اتیلن	کشتارگاه	کاراپلاستیک	ذوب‌آهن
هزینه اولیه (هزار دلار)	۱	۴۴۰	۱۶۰/۹	۵۵۰	۱۲۴/۹	۷۸/۵
	۲	۵۱۷	۱۹۹/۲	۶۶۶	۱۸۶/۸	۱۲۴
	۳	۷۵۶	۲۶۵	۱۶۵	۳۸/۴	۱۲۳
نوع سوخت						
هزینه سالیانه سوخت (هزار دلار)	۱	۲۳/۱	۲۳/۱	۲۳/۱	۳۲/۵	۳۳
	۲	۲۶/۵	۳۲/۱	۸۶	۳۹/۷	۳۹/۷
	۳	۳۹/۷	۳۹/۷	۱۰۷	۷/۹	۷/۹
کل هزینه‌های سالیانه (هزار دلار)	۱	۳۱/۹	۲۴/۷	۶۳/۹	۵۴/۵	۳۸
	۲	۳۶/۸	۳۴/۲	۸۸/۵	۴۶/۳	۱۱۲
	۳	۶۹/۹	۵۰/۳	۱۱۷	۱۴/۵	۹/۴

۲-۴-۲- هزینه سالیانه

هزینه‌های سالیانه شامل هزینه تعمیر، نگهداری و هزینه سوخت هستند. معمولاً هزینه تعمیرات و نگهداری سالیانه، بین ۲ تا ۴٪ هزینه اولیه در نظر گرفته می‌شود [16]. در این مقاله این هزینه، ۲٪ هزینه اولیه در نظر گرفته شده است. سوخت مصرف شده توسط هر سیستم به نوع سیستم و راندمان آن بستگی دارد. با توجه به نوع سیستم‌های استفاده شده و راندمان آنها، سوخت مصرف شده و در نتیجه، هزینه سالیانه سوخت محاسبه شده است. برای انجام محاسبات از ارزش حرارتی پایین (LHV) سوخت استفاده شده است. سوخت‌های استفاده شده در این بررسی، گاز طبیعی با ارزش حرارتی ۸۲۹۲ کیلوکالری و قیمت واحد ۱۰۰ تومان به‌ازای هر متر

مکعب و گازوئیل با ارزش حرارتی ۹۲۳۲ کیلوکالری و قیمت واحد ۳۰۰ تومان به‌ازای هر لیتر در نظر گرفته شده است. با توجه به این که برای دستگاه‌های استفاده شده، راندمان کارکرد در شرایط مختلف در کاتالوگ دستگاه موجود است، در نتیجه، با توجه به معادله ۷ می‌توان سوخت مصرف شده را برای هر حالت محاسبه کرد [17].

$$FC = \frac{P_R}{\eta_e} \times \frac{Hr}{LHV} \quad (7)$$

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

و برگشتی با سوخت دیزل و استفاده از توربین گاز دارای توجیه اقتصادی نیست. همان طور که در بخش قبل هم اشاره شد، به علت گران تر بودن سوخت دیزل نسبت به گاز طبیعی در ایران، در این حالت (رویکرد اول)، استفاده از موتور رفت و برگشتی به همراه سوخت دیزل، نتایج رضایت بخشی به همراه نخواهد داشت. برای استفاده از توربین گاز، همان گونه که نتایج جدول ۴ نشان می دهد، برای هیچ کدام از کارخانه های مورد بررسی، نتایج حاصل، قابل قبول نیستند. در این موارد، علاوه بر ارزش خالص فعلی منفی، دوره بازگشت سرمایه طولانی و هزینه تراز شده برق بیشتری در مقایسه با حالت استفاده از موتور رفت و برگشتی به همراه سوخت گاز طبیعی داریم.

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

در این رویکرد، با توجه به ظرفیت های انتخاب شده برای هر کارخانه، تولید مازاد برق در تمامی موارد وجود دارد. با توجه به مصوبه وزارت نیروی جمهوری اسلامی ایران، برق تولیدی سیستم های تولید همزمان برق و حرارت در صورت رسیدن به راندمان کلی ۵۵٪ با قیمت هر کیلووات ۱۰۹ تومان خریداری می شود. 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 تراز شده برق برای موتور رفت و برگشتی که در جدول ۵ ارایه شده است، مشاهده می شود که علی رغم 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 تراز شده برق نسبتاً زیاد نیز نشان می دهند که استفاده از توربین گاز در این حالت توجیه اقتصادی ندارد، هر چند که مقادیر هزینه تراز شده برق تولید شده، 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 توجیه پذیر نمی کند.

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 تولید شده به شبکه فروخته خواهد شد. با توجه به نتایج ارایه شده در جدول ۶، از آنجایی که درآمد فروش برق افزایش پیدا کرده، در این حالت، علاوه بر قابل قبول بودن نتایج برای سوخت گاز طبیعی، برای سوخت دیزل نیز مقادیر قابل قبولی به دست آمده است. اما در این حالت علی رغم مثبت شدن مقدار ارزش خالص فعلی، مقادیر مربوط به هزینه تراز شده برق، بسیار زیاد بوده، به طوری که به صورت متوسط حدود ۳ برابر 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 مطلوب تری است.

همچنین برای توربین گاز مشاهده می شود که برای ظرفیت یک مگاوات، مقدار ارزش خالص فعلی قابل قبول است، هر چند که مقادیر مربوط به دوره بازگشت سرمایه و هزینه تراز شده برق نسبت به موتور رفت و برگشتی با استفاده از سوخت گاز طبیعی بیشتر هستند. لذا این گونه به نظر می رسد که استفاده از توربین گاز به عنوان محرک اولیه در موارد با ظرفیت بالا دارای توجیه اقتصادی است.

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

۲-۴-۳- درآمدها

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

طبق مصوبه وزارت نیروی ایران، خرید تضمینی برق با قیمت واحد ۰۹ اتومان به ازای هر کیلووات ساعت، فقط از سیستم های تولید همزمان با راندمان کلی بالاتر از ۵۵٪ صورت می گیرد. در این مقاله، درآمد حاصل از فروش برق مازاد برای کارخانه هایی که سیستم به کاررفته در آنها به راندمان مجاز رسیده، محاسبه شده است. درآمد حاصل از فروش برق با معادله ۸ محاسبه شده است.

$$I_{el} = (Prod_{el} - Dem_{el}) \times CR \quad (8)$$

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 صرفه جویی انرژی باید میزان انرژی را در نظر گرفت که نسبت به حالت پایه مصرف می شود و قرار است توسط سیستم تولید همزمان، تولید شود. معادله ۹ میزان صرفه جویی انرژی را مشخص می کند.

$$ECS = (Prod_{thr} \times CR_{thr}) + (Dem_{el} \times CR_{el}) \quad (9)$$

در معادله ۹، منظور از ECS میزان صرفه جویی انرژی، CR_{el} نرخ محاسبه هر کیلووات انرژی الکتریکی است که با توجه به قیمت برق خریداری شده از شبکه سراسری تعیین می شود و CR_{th} نرخ محاسبه هر کیلووات انرژی حرارتی است که با توجه به قیمت گاز طبیعی خریداری شده از شبکه گاز تعیین می شود.

۳- بحث و بررسی نتایج

در این بخش با توجه به رویکردهای ذکر شده در قسمت قبل، به بررسی و تحلیل اقتصادی استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت پرداخته شده است. به منظور یکسان بودن شرایط، برای بررسی های اقتصادی انجام شده در هر کارخانه، فرضیات یکسانی در نظر گرفته شده است. بدین منظور در تمامی تحلیل های انجام شده، عمر پروژه ۲۵ سال، نرخ تورم ۹٪، نرخ بهره بازار ۱۸٪، نرخ افزایش قیمت سالیانه سوخت ۵٪، نرخ افزایش هزینه تعمیرات سالیانه ۵/۲٪ و نرخ افزایش سالیانه قیمت فروش تضمینی برق ۵٪ در نظر گرفته شده است. برای بررسی نتایج، تحلیل های انجام شده به سه دسته براساس رویکردهای بیان شده تقسیم شده اند.

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

در این حالت، ظرفیت انتخاب شده برای سیستم تولید همزمان برای هر کارخانه به گونه ای است که در تمام ساعات به جز ساعات پیک صرف، نیاز الکتریکی را تامین می کند و با توجه به ظرفیت حرارتی هر کارخانه، همه یا بخشی از نیاز حرارتی تامین می شود.

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 تراز شده برق نشان می دهد 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

نام کارخانه												فولاد تنبور				پلی اتیلن				کشتارگاه				کاراپلاستیک				ذوب آهن		
نوع محرک		توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	توربین	موتور رفت و	
نوع سوخت		گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز
ظرفیت اسمی الکتریکی (KW)		۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰
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	۱۴/۹	۱۳/۸	۲/۵	۱۴/۹	۲/۵	۱۱/۵	۳/۴	۲۲														
هزینه تراز شده 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) نتايج هاى تحليل هاى اقتصادى انجام شده براى رويکرد دوم

نام کارخانه		فولاد تنبور		پلی اتیلن		کشتارگاه		کاراپلاستیک		ذوب آهن	
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	موتور رفت و برگشتی
نوع سوخت	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز
ظرفیت اسمی الکتریکی (KW)	۴۰۰	۴۸۴	۶۰۰	۹۰	۱۰۰	۱۳۰	۱۲۰	۱۰۰۰			
ارزش خالص فعلی (10 ⁴ \$)	۲۴	۲۵/۵	۱۳/۹	۵۵	۶/۱	۴۵/۵	۴/۸۶	۱/۲	۶/۸	۲۳	۲۵/۵
دوره بازگشت سرمایه (سال)	۱۱/۱	۲/۷	۱۰/۹	۳۰/۴	۳/۹	۳۰/۴	۱۲/۵	۲/۱	۷/۱۷	۱۰/۵	۲/۷
هزینه تراز شده برق تولیدی (\$/Mwh)	۱۳/۸	۱۱/۲	۲۹/۱	۱۶/۲	۱۲	۳۰/۱	۱۴	۱۰/۹	۲۸/۸	۱۴	۱۳/۸

جدول ۶) نتايج تحليل هاى اقتصادى انجام شده براى رويکرد سوم

نام کارخانه			فولاد تنبور			پلی اتیلن			کشتارگاه			کاراپلاستیک			ذوب آهن	
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	توربین گاز	موتور رفت و برگشتی	توربین گاز	موتور رفت و برگشتی	توربین گاز	موتور رفت و برگشتی	نوع محرک
گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	گاز	دیزل	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	نوع سوخت
۶۰۰	۱۲۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰											ظرفیت اسمی الکتریکی (KW)
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	۲/۳	ارزش خالص فعلی (10 ⁴ \$)
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	۴/۲	دوره بازگشت سرمایه (سال)
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	۱۷/۶	هزینه تراز شده برق تولیدی (\$/Mwh)

۴- نتيجه گيرى

در اين مقاله با بررسى مصرف انرژى در پنج نوع كارخانه پُرمصرف ايران، به تحليل اقتصادى استفاده از سيستم هاى توليد همزمان با بررسى تاثير عوامل مختلف مانند نوع محرك اوليه، نوع سوخت و با درنظرگرفتن فروش تضمينى برق پرداخته شد. همچنين با درنظرگرفتن سه رويکرد مختلف براى انتخاب ظرفيت الكتريكى سيستم، تاثير هر رويکرد در تحليل اقتصادى مد نظر قرار گرفت. در اين تحليل، سه شاخص ارزش خالص فعلى، دوره بازگشت سرمايه و هزينه تراز شده برق توليدى سيستم توليد همزمان مورد بررسى قرار گرفت. با توجه به نتايج به دست آمده مشخص شد كه سيستم توليد همزمان با محرك اوليه موتور رفت و برگشتى و استفاده از سوخت گاز طبيعى در همه رويكردهاى درنظرگرفته شده، از نظر اقتصادى نتايج قابل قبولى در پى دارد. همچنين در اين بررسى مشخص شد كه استفاده از توربين گاز صرفاً در موارد با ظرفيت زياد (بيشتر از يك مگاوات) و در صورت فروش عمده برق توليدى، مى تواند داراى توجيه اقتصادى باشد. جمع بندى نتايج به دست آمده نشان مى دهد كه بين سه رويکرد بررسى شده، بيشترين مقدار ارزش خالص فعلى در همه موارد و كمترين مقدار دوره بازگشت سرمايه، در اكثر موارد مربوط به رويکرد سوم است، اما با توجه به اين كه

هزينه تراز شده برق توليدى توسط سيستم توليد همزمان براى توجيه اقتصادى، نسبت به دو شاخص ديگر عامل مهم ترى به شمار مى رود، در جدول ۷ بهترين گزينه يا در واقع قابل قبول ترين گزينه اقتصادى برحسب كمترين مقدار هزينه تراز شده برق به دست آمده معرفى شده است. همچنين براى مقايسه بهتر ساير فاكورها، اين نتايج در نمودار ۱ ارايه شده است.

جدول ۷) بهترين حالت براساس كمترين مقدار هزينه تراز شده برق توليدى براى هر كارخانه

حالت	فولاد تنبور	پلى اتيلن	كشتارگاه	كاراپلاستيك	ذوب آهن
شماره ارجاع در نمودار	۱	۲	۳	۴	۵
نوع محرك اوليه	موتور رفت و برگشتى	موتور رفت و برگشتى	موتور رفت و برگشتى	موتور رفت و برگشتى	موتور رفت و برگشتى
نوع سوخت	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز
ظرفيت پيشنهادهى (KW)	۴۸۴	۹۰	۶۰	۱۲۰	۱۰۰۰
نوع رويکرد	رويکرد دوم	رويکرد اول	رويکرد اول	رويکرد دوم	رويکرد دوم
هزينه تراز شده برق توليدى (\$/Mwh)	۱۱/۱۶	۱۱/۸۷	۱۰/۹۱	۱۰/۹۰	۱۱/۵۰

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, Sodr  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.

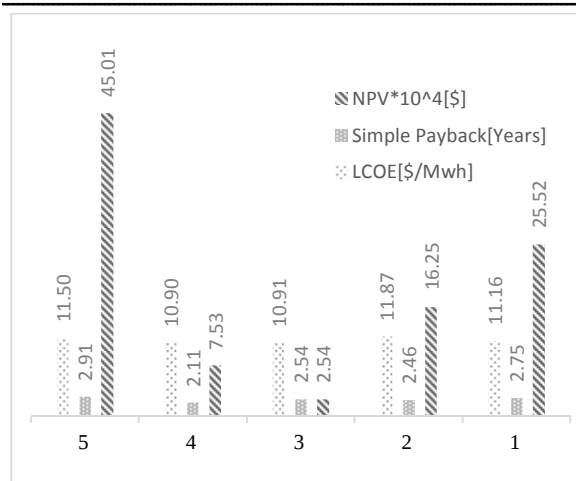
14- Giaccone L, Canova A. Economical comparison of CHP systems for industrial user with large steam demand. *Applied Energy*. 2009;86(6):904-914.

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>



نمودار ۱) 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.

تأییدیه 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 سنجرى (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, Moshtari 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*