



## آنالیز اقتصادی یک سیستم تولید همزمان سه گانه (برق، حرارت و برودت) کمک خورشیدی بر روی یک هتل در تهران

سید کاظم موسوی<sup>1</sup>، سید محمد حجت محمدی<sup>2\*</sup>، ابراهیم جهانشاهی جوارانه<sup>2</sup>، مهران عامری<sup>3</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

3- کرمان، استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

\* کرمان، صندوق پستی 7631133131، smh.mohammadi@kgut.ac.ir

### چکیده

استفاده از سیستم های تولید همزمان کوچک مقیاس، با بهره گیری از میکروتوربین ها، امکان تامین الکتریسیته و حرارت مورد نیاز هتل ها و مجتمع های مسکونی را در طول سال فراهم کرده است. هتل های مجهز به سیستم CCHP به این علت که گرمای اتلافی تولید همزمان را به انرژی مناسب برای کاربردهای سرمایش و گرمایش تبدیل می کنند، دارای راندمان انرژی بالاتری نسبت به سایر تامین کننده های انرژی می باشند، از مهمترین مزیت های سیستم های تولید همزمان میتوان به کاهش مصرف سوخت، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و حذف آلودگی های نیروگاهی به محیط زیست را نام برد. به همین منظور در این تحقیق سعی شده تا ضمن آشنایی با این سیستم ها و همچنین نحوه کارکرد و بررسی اقتصادی آن ها در سطح کشور، استفاده هرچه بیشتر از آنها را برای کاربری های اداری، صنعتی، تجاری و مجتمع های مسکونی ترویج دهیم، و از مزایای گوناگون آن بهره مند شویم. یکی از راه کارهای بررسی شده استفاده از تابش روزانه خورشید جهت تامین درصدی از گرمایش مورد نیاز برای تامین آب گرم مصرفی در این سیستم ها می باشد. بنابراین با بهره گیری از الگوی مصرف انرژی هتل نامبرده در طول سال، با طرح سناریوهای مصرف انرژی، برای کاربری یک هتل بزرگ در سطح کشور، با استفاده از روش مقایسه ای دوره بازگشت سرمایه، جهت تحلیل اقتصادی هر یک از سناریوها، نگرشی مثبت نسبت به استفاده از سیستم های تولید همزمان انرژی و بهره گیری از تجهیزات خورشیدی جهت تامین کسری از انرژی گرمایشی مورد نیاز ایجاد کنیم.

کلید واژگان: تولید همزمان، میکروتوربین، کلکتور صفحه تخت، تحلیل اقتصادی

## Economic analysis of the solar assisted triple co-generation system on a Hotel in Tehran

Seyad kazem Mousavi<sup>1</sup>, Seyed Mohamad Hoojjat Mohamadi<sup>1\*</sup>, Ebrahim Jahanshahi javaranehran<sup>1</sup>, Mehran Ameri<sup>2</sup>

1- Department of Energy, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

P.O.B. 7631133131, Kerman, Iran, smh.mohammadi@kgut.ac.ir

### ABSTRACT

Small-scale cogeneration systems, by using the micro-turbines, have provided required electricity and heat in Hotels and residential complexes over the years. Hotels with CCHP system has higher energy efficiency compared to other energy systems, since usescogeneration waste heat for heating and cooling applications. The main advantages of cogeneration systems are reduction in fuel consumption, lower greenhouse gas emissions and environmental pollutions. In this study, it was tried to further introduce these systems, their function and economic analysis at the national level, in order to extend their usage in different places such as office, industrial, commercial and residential complexes. One method is to use solar radiation to provide part of energy required for water heating. Energy consumption pattern in a large hotel over the years was considered and economic analysis was performed for different energy consumption scenarios. Payback period were computed of each scenario, in order to make a positive attitude towards the use of cogeneration systems utilizing solar energy.

**Keywords:** Co-generation, Micro-turbine, Flat plate collector, Economic analysis

### 1- مقدمه

استفاده شد که می توان از آن به عنوان اولین نمونه عملی CHP<sup>1</sup> نام برد. در حالت عادی بازدهی سیستم های تولید برق، کمتر از 50 % می باشد که با به کارگیری این سیستم ها این مقدار به تا 96 % قابل افزایش است. به همین دلیل در حال حاضر بسیار مورد استقبال در کشورهای مختلف قرار گرفته است. وانگ و همکارانش در سال 2010 یک تحلیل مقایسه ای بر روی سیستم

پیدایش تولید همزمان به دهه 1880 میلادی در اروپا و آمریکا باز می گردد. موتورهای پیستونی در سال 1880 میلادی اولین ژنراتور را به کار انداختند. این سیستم ها بخار اتلافی زیاد و بازده پایینی داشتند که تولید کنندگان برق را به فکر انداخت تا علاوه بر تامین برق مصرفی، حرارت اتلافی را نیز برای گرمایش به کار برند. از حرارت اتلافی موتورهای پیستونی برای اولین بار در سال 1884 میلادی برای تامین انرژی گرمایی هتل دل کرنادو در سن دیگو

<sup>1</sup> Combining heating and power

Please cite this article using:

S.K.Mousavi, S.M.H.Mohamadi, E.Jahanshahi javaranehran, M.Ameri, Economic analysis of the solar assisted triple co-generation system on a Hotel in Tehran, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 248-251, 2016 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

S.K.Mousavi, S.M.H.Mohamadi, E.Jahanshahi javaranehran, M.Ameri, Economic analysis of the solar assisted triple co-generation system on a Hotel in Tehran, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 248-251, 2016 (in Persian)

### 3- سناریوهای مصرف انرژی

در سناریو اول مصرف انرژی الکتریسیته و گاز مورد نیاز جهت مصارف مختلف هتل (گرمایش، سرمایش، آب گرم مصرفی، پخت و پز و سایر تجهیزات) توسط شبکه شهری تامین می‌شود، به عبارتی تامین‌کننده نیاز برق هتل تنها شبکه محلی توزیع برق می‌باشد که پس از پرداخت دیماند ماهانه می‌تواند متقاضی هر میزان الکتریسیته در طول سال باشد، و برای تامین گاز هتل، شبکه گاز شهری تامین‌کننده میزان مصرف می‌باشد، که این میزان در ماه‌های مختلف سال متفاوت می‌باشد. تمامی اطلاعات مصرف الکتریسیته و گاز با توجه به شکل‌های 2 و 3 این هتل در این سناریو توسط قبوض برق و گاز در طی یک سال بدست آمده‌اند.

در سناریو دوم به صورت میانگین مصرف ماهانه برق که معادل با 153 کیلو وات در نظر گرفته شده است، که از چهار میکروتوربین به ظرفیت نامی 35 کیلووات و مطابق با مشخصات مندرج توسط شرکت کپستون آمریکا طراحی شده است. در این سناریو با توجه به نیاز الکتریسیته در ماه‌های مختلف نیازمند خرید یا فروش بخشی از الکتریسیته مورد نیاز یا مازاد تولید شده به شبکه توزیع محلی می‌باشیم.

در سناریو سوم سیستم تولید همزمان (CCHP)<sup>1</sup> برای حالتی مناسب می‌باشد که متقاضی تامین تمام بار الکتریسیته در تمام ماه‌های سال به صورت جدا از شبکه باشیم، که در این حالت میزان بیشینه بار الکتریسیته در سیستم تولید همزمان که معادل با 214 کیلووات است، که وجود شش میکروتوربین 35 کیلوواتی تامین‌کننده این نیاز می‌باشد، بنابراین در این سناریو در تمام ماه‌های سال امکان فروش درصدی الکتریسیته وجود دارد به جز شهریورماه که بیشینه مصرف برق در سال می‌باشد.

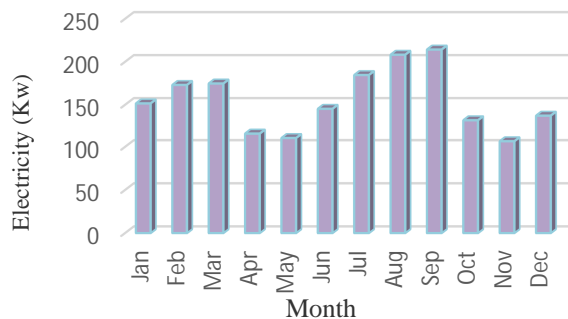


Fig.2 the comparison of electricity consumption in during the year  
شکل 2 مقایسه مصرف الکتریسیته هتل در طول سال

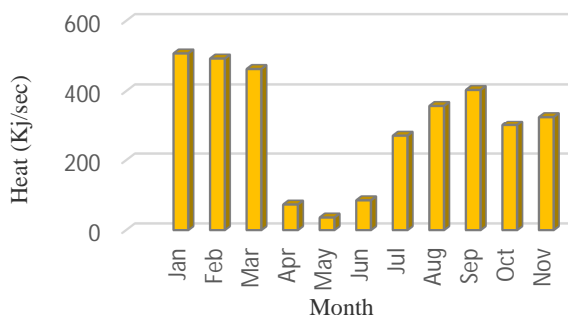


Fig.3 Comparison of energy consumption for heating of the Hotel  
شکل 3 مقایسه مصرف انرژی مورد نیاز گرمایش هتل

تولید همزمان سه گانه انجام دادند که موضوعات مورد مطالعه قرار گرفته شامل ذخیره‌سازی انرژی اولیه، کاهش انتشار دی اکسیدکربن و میزان صرفه‌جویی اقتصادی آن‌ها بر روی ساختمان‌های فرضی در پنج منطقه متفاوت در کشور چین می‌باشد. خالد در سال 2009، [1] یک سیستم تولید همزمان انرژی با سیکل برایتون پیشنهاد کرد که حرارت خروجی از آن صرف گرمایش و فرایندهای گرمایشی چیلر جذبی می‌شد، او همچنین نشان داد بیشینه تخریب انرژی در قسمت احتراق و فرایند تولید بخار می‌باشد. آلانه و همکارانش [2] روشی با چند شاخص برای انتخاب سیستم تولید سه گانه بهینه برای ساختمان مسکونی از نظر اقتصادی و تاثیر بر محیط ارائه کردند. استوانگ و همکارانش [3] پیشنهاد داده‌اند به یک سیستم تولید سه گانه که مولد اولیه آن انرژی خورشیدی می‌باشد. با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی شده که تابع هدف آن راندمان انرژی اجزا می‌باشد. سید [4] توسط کلکتورهای صفحه تخت به تامین انرژی یک چیلر جذبی تک اثره 35 کیلو واتی در شهر مادرید اسپانیا پرداخته است، که بیشینه راندمان لحظه ای چیلر 0.6، میانگین روزانه راندمان 0.42 و راندمان دوره‌ای آن نیز 0.34 گزارش شده است. و برای تحلیل انرژی کلکتور صفحه تخت نیز در سال 2004 تورس ریز و همکارانش [5]، توسط روابطی بی‌بعد برای اکسرژی، دمای بهینه سیال و طول مسیر بهینه جریان سیال را برای یک کلکتور صفحه تخت هوایی در یک سری از شرایط عملکردی یافتند و ضریب افت حرارت کلی را از یک سری روابط تجربی محاسبه کردند. اما این روابط محدودیت‌های خاصی دارند. در سال 2005 لومینوسو و همکارانش ضمن ثابت فرض کردن ضریب افت حرارت کلی کلکتور و سایر ضرایب انتقال حرارت، به پیدا کردن شرایط بهینه‌ی اقتصادی کارکرد کلکتور صفحه تخت پرداختند [6].

### 2- توصیف مسئله

در این مطالعه که با استفاده از اطلاعات مصرف انرژی در طول سال برای هتل استقلال (تهران)، به سعی به طراحی یک سیستم تولید همزمان تامین کننده انرژی سه گانه مطمئن و همچنین به مدل سازی انرژی و انرژی آن پرداخته ایم، زیربنای این هتل 33100 متر مربع است، و دارای 15 طبقه و 959 تخت می‌باشد. در زیر سیکل شبیه سازی شده برای این سیستم تولید همزمان سه گانه کمک خورشیدی آورده شده است، که محصولات خروجی میکروتوربین، بویلر کمکی و کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت عامل تولید گرمایش مورد نیاز می‌باشند. مطابق با "شکل 1" سیستم تولید همزمان سه گانه کمک خورشیدی با کمک روابط و معادلات ترمودینامیکی حاکم بر آن مدل سازی شده است.

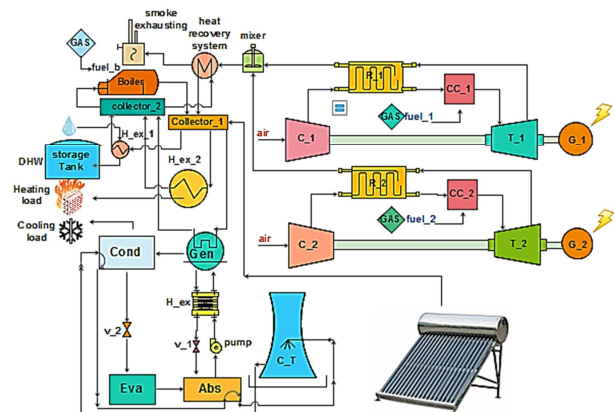


Fig.1 schematic of a solar assisted triple co-generation system

شکل 1 شماتیک سیستم تولید سه گانه (CCHP) کمک خورشیدی

<sup>1</sup> Combining Cooling, Heating and Power

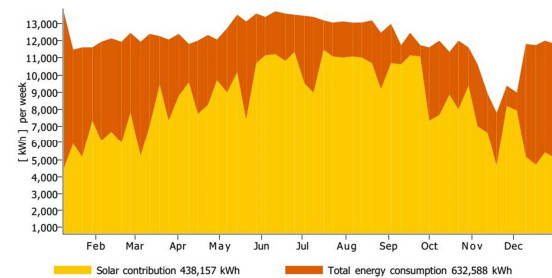


Fig.6 comparison of supplied energy by solar against total energy

شکل 6 مقایسه انرژی تامین شده توسط خورشید با کل انرژی کل

#### 4- تحلیل اقتصادی سناریوها

در این مطالعه تمامی نرخ‌ها برطبق آخرین نرخ نامه مصوب در سال 94 می‌باشد. لازم به ذکر است هزینه نهایی هر یک از تعرفه‌ها براساس میزان الگوی مصرف تعریف شده و در فصول سرد و گرم سال میزان تغییرات قیمت‌ها لحاظ شده است، و تمامی هزینه‌ها به دلار آمریکا که معادل با 34500 ریال می‌باشد، در نظر گرفته شده است. مقایسه‌ای از هزینه‌های سناریوهای در نظر گرفته شده در طول یک سال در "شکل 7" نمایش داده شده است.

در سناریو دوم میزان خرید برق از شبکه بیشتر از فروش آن به شبکه است، لذا سالانه متحمل هزینه‌ای جهت خرید برق از شبکه می‌باشیم، اما نرخ خرید و فروش متفاوت باعث شده از هزینه‌های سالیانه کاسته شود، مطابق با آخرین مصوب شورای اقتصاد [8] و مطابق با ماده 133 قانون برنامه پنجم توسعه و حمایت از سرمایه‌گذاران در تولید برق نیروگاه‌های (مولدهای) مقیاس کوچک، نرخ خرید هر کیلووات ساعت برق از مولدهای مذکور در سال 1359 برای اتصال به شبکه فشار متوسط، معادل 996 ریال بعلاوه نرخ معادل 0.2 متر مکعب گاز طبیعی خواهد بود. در سناریو سوم فروش برق به شبکه یک عامل سود آور سالیانه به حساب می‌آید و نقش مهمی در کم کردن هزینه‌های سالیانه دارد.

در سناریو چهارم به مقایسه هر یک از سناریو ها با حالت استفاده از انرژی خورشیدی (کلکتور صفحه تخت) می‌پردازیم، که در این صورت میزان 65% از گرمایش موردنیاز آب گرم مصرفی در هر سناریو مورد تحلیل اقتصادی قرار گرفته شده است.

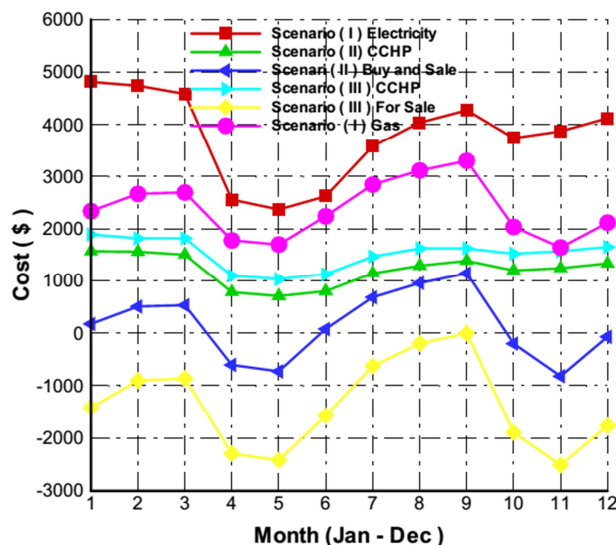


Fig.7 The comparison of the annual costs of defined scenarios

شکل 7 مقایسه هزینه‌های سالانه سناریوهای تعریف شده

Table 1 The comparison of initial and annual costs of each scenarios

سناریو سوم	سناریو دوم	سناریو اول	قیمت (دلار آمریکا)
---	---	28519	هزینه سالیانه برق
18280.96	14563.74	45356.64	هزینه سالیانه گاز
4162.2	4162.2	4162.2	هزینه سالیانه آب
6970.83	12197.93	---	هزینه تعمیرات و نگهداری
---	4099.31	---	هزینه سالانه خرید برق
16402.81	2391.09	---	سود سالانه فروش برق
13011.88	32632.09	78037.84	جمع هزینه‌های سالانه
697083.43	625374.54	---	هزینه اولیه سناریو
6.245	6.798	---	دوره بازگشت سرمایه (سال)

در سناریو چهارم به بررسی سه سناریو گذشته و اضافه کردن انرژی خورشیدی کمکی جهت تامین آب گرم مصرفی موردنیاز در کسر خورشیدی 65% خواهیم پرداخت. با توجه به اطلاعات ذکر شده از وضعیت تابش خورشید در منطقه جغرافیایی تهران و مدل سازی‌های انجام گرفته توسط نرم افزار T-sol، کسر خورشیدی متناسب با شرایط را مورد بررسی قرار داده‌ایم.

در این هتل 959 تخته طبق معیار طراحی [7] میزان حداکثر آب گرم مورد نیاز به ازای هر تخت 10 گالن بر ساعت می باشد که معادل است با 35000 لیتر بر روز و مصرف سالیانه 12775 هزار لیتر در سال است. الگوی مصرف آب برای کاربری این هتل در در طول یک شبانه‌روز در "شکل 4" آورده شده است، همچنین در "شکل 5" شماتیکی از سیکل تامین‌کننده آب گرم مصرفی برای کسر خورشیدی 65% با استفاده از کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت نمایش داده شده است.

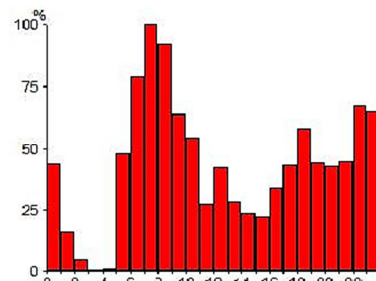


Fig.4 pattern consumption of water in Hotel for a day

شکل 4 الگوی مصرف آب هتل در یک شبانه روز

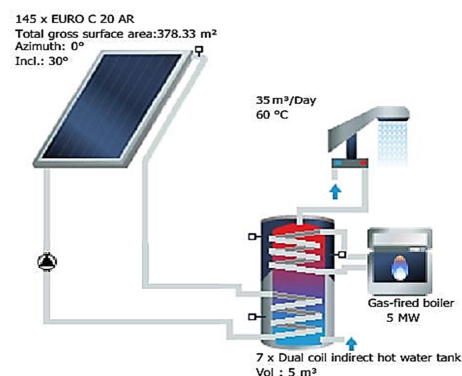


Fig.5 schematic of the DHW supplier cycle

شکل 5 شماتیکی از سیکل تامین کننده آب گرم مصرفی

(8 تا 10 سال) می توان برآورد کرد که کدام حالت دوره بازگشت مناسبی دارد و اقتصادی تر می باشد.

کشورهایی که نرخ سوخت به نسبت بیشتر می باشد، استفاده از انرژی های خورشیدی در تمام کاربری ها می تواند کاملاً اقتصادی و به صرفه باشد و در کاهش هزینه حامل های انرژی بهترین راهکار باشد.

### 6- مراجع

- [1] Khaliq, A. 2009. Exergy analysis of gas turbine tri-generation system for combined production of power, heat and refrigeration. *International Journal of Refrigeration* 32:534-45.
- [2] Alanne K, Salo A, Saari A, Gustafsson S-I. Multi-criteria evaluation of residential energy supply systems. *Energy Build* 2007; 39 (12):1218-26.
- [3] Wang JF, Zhao P, Niu XQ, Dai YP. Parametric analysis of a new combined cooling, heating and power system with transcritical CO<sub>2</sub> driven by solar energy. *Appl Energy* 2012; 94: 58-64.
- [4] Syed A, Izquierdo M, Rodriguez P, Maidment G, Missenden J, Lecuona A, et al. A novel experimental investigation of a solarcooling system in Madrid. *International Journal of refrigeration* 2005; 28: 859-71.
- [5] Torres-Reyes, E., Navarrete-Gonzalez, J.J., Cervantes-de Gortari, J.G., "Thermodynamic Optimization as an Effective Tool to Design Solar Heating Systems", *Energy*, PP. 2305-2315, 2004.
- [6] Luminosu, I., Fara, L., "Determination of the Optimal Operation Mode of a Flat Solar Collector by Exergetic Analysis and Numerical Simulation", *Energy*, PP. 731-747, 2005
- [7] Book of computing facility, chapter 3, seyed mojtaba tabatabaeii, 1387 (intration)
- [8] Country Website Department of Energy <http://www.iranhs-kco.com> 1395/6/1 (intration)

**Table 2** Economic analysis of the forth scenario

جدول 2 تحلیل اقتصادی سناریو چهارم	
65% DHW	سناریو چهارم
54510	هزینه اولیه سناریو اول (دلار)
6.329	دوره بازگشت سرمایه (سال)
679884.54	هزینه اولیه سناریو دوم (دلار)
6.758	دوره بازگشت سرمایه (سال)
751593.43	هزینه اولیه سناریو سوم (دلار)
6.223	دوره بازگشت سرمایه (سال)

### 5- نتیجه گیری

در این تحقیق، ابتدا با طراحی یک سیستم تولید همزمان برای تامین نیاز انرژی یک هتل در تهران، امکان بهینه سازی مصرف سوخت و کاهش تمامی هزینه های سوخت و الکتریسیته فراهم گردیده است. از سوی دیگر، راهکار تامین قسمتی از انرژی مورد نیاز برای تهیه آب گرم مصرفی با کمک انرژی خورشیدی برای کاهش هزینه های سوخت بسیار تاثیرگذار بوده است. همچنین با تحلیل اقتصادی راهکارهای مختلف، امکان انتخاب سیستم کاربردی تر براساس میزان هدف و سرمایه کارفرما ممکن گردیده است. بدون شک استفاده از انرژی خورشیدی گامی موثر در کم کردن مصرف سوخت های فسیلی می باشد و استفاده از کلکتورهای خورشیدی مطابق با نتایج حاصل شده می تواند تامین کننده درصدی از نیاز ما و آب گرم مصرفی باشد. اما با توجه به پارامترهای آنالیز اقتصادی مشاهده شد که میزان هزینه اولیه بسیار تاثیرگذار در دوره بازگشت سرمایه می باشد. لذا با توجه به برطرف کردن نیاز ما به انرژی در طول سال با دوره بازگشت سرمایه ای معقول بین