



Analysis of different walls and the building's location impact on energy consumption and designing solar water heaters: case study of Andisheh city

Rahim Zahedi¹, Arash Gitifar², Alireza Aslani^{3*}

¹ PhD Candidate, Energy Systems Engineering, Department of New Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

² Bachelor Student, Department of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of New Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

* Corresponding Author: Alireza.aslani@ut.ac.ir, 14399-57131, Tehran, Iran

Received: 8 June 2022 Revised: 31 August 2022 Accepted: 26 October 2022

Abstract

Energy is a key factor of countries' development and is also needed by the next generation. In recent years, the issue of energy supply has been one of the significant challenges, the main reason for which is the limited supply of fuel and oil. The solution seems to optimize energy consumption and re-switch to renewable energy. In this research, a building in Andisheh new city is analyzed considering environmental conditions and geographical directions using Carrier software (HAP 4.90) and its thermal and cooling loads are examined for two different compositions of external walls. After selecting the optimal mode, in order to find the optimal possible energy consumption situation, the building is rotated clockwise in eight directions, the minimum and maximum heating and cooling load required are equal to 124502.8 and 129579.3 kcal/hr and 53.53, 55.44 tons of cooling, respectively. Then, to use renewable energy and the potential of average daily radiation of 5.2 kWh in Andisheh city, the project of hot water consumption using solar energy was considered, which led to savings of 18945.16 m³/year natural gas. The result shows that the return on investment of solar water heaters is 11.26 years, which is not cost-effective in the current situation.

Keywords: Energy, Energy Efficiency, Renewable Energy, Solar Water Heater, Natural Gas Saving

1. INTRODUCTION

Since cities are the primary consumers of energy [1], the continuation of energy services is essential for their effective operation [2] In recent years, the issue of energy supply, which is one of the needs of the next generation, has been a factor in the current situation of countries.

On the other hand, climate changes and their dependence on fossil fuels and, consequently, costs [3], the global dimension of the importance of the energy issue [4], also in Iran, the issue of subsidies for energy carriers Has also been further caused; In Canada, for example, energy efficiency measures save 29 to 31 percent on electricity and 19 to 32 percent on natural gas in low-rise office buildings in Edmonton, Ottawa, and Vancouver [5].

Iran is one of the most suitable countries in the world in terms of solar energy consumption, which according to statistics in most parts of it is more than 300 sunny days [6]. Buildings provide about 40% of the total energy consumption of communities. Using a solar water heater can provide about 70 percent of the energy needed to heat water annually. Buildings provide about 40% of the total energy consumption of

communities. Using a solar water heater can provide about 70 percent of the energy needed to heat water annually. Reduce the energy consumption cost to provide the spa by about 70%. Fires, explosions, poisonings, electric shocks, Etc., are among the events that will have a decreasing trend if solar energy is used [7].

In this research, in the materials and methods section, first, the geographical location of the new city of Andisheh is studied. The best combination for the walls will be selected. By calculating and comparing the minimum and maximum thermal and refrigeration loads, the best and the optimal orientation for the construction of the building is given. The solar water heater will be designed and analyzed for the desired building in the next part. Then the economic issues, economic trends, and return on investment will be examined, and finally, conclusions will be made.

In recent years, many researchers have focused on improving the energy efficiency of buildings [8,9]. Most studies focus on reducing the energy consumption required by buildings [10-12].

2. Methodology

The new city of Andisheh with a population of more

than 116 thousand people to maintain the ecological balance of the region, attracting the overflow population of Tehran urban area, proximity to work, housing, and urban services preventing suburbanization and developing abnormal expansion of cities with water and relatively hot and dry weather in summer and cold in winter and altitude 1200 to 1250 meters above sea level is located 30 km west of the metropolis of Tehran. The geographical location of the new city of Andisheh Is given based on Google Earth data.

2.1. Compare the composition of external walls and find the best position of the building

In this research, an educational-cultural building in the new city of Andisheh, first for two different combinations in the external walls, Heating and cooling loads are calculated, and after reaching the only state to find the best possible state in terms of energy consumption, the building is rotated in 45-degree directions in a clockwise direction, which by examining eight different directions, the least and the most heating and cooling loads were calculated.

In the first reference mode, despite the smaller thickness of the outer wall than the second reference mode, both heating and cooling loads are less, and the appropriate choice is more. The building was redirected in 45-degree directions and clockwise, and it is Heating, and cooling loads were calculated.

The simulation results are in the carrier software, and mode 5 (with 225 degrees rotation relative to the reference position) has the lowest cooling load. In the study of maximum loads can be concluded that mode 1 (with 45 degrees rotation relative to the reference position) has the highest heating load, and mode 3 (with 135 degrees rotation relative to the reference position) has the maximum load is cooling.

Finally, by examining the sum of heating and cooling loads, it is observed that mode 5 (with 225 degrees of rotation relative to the reference position) has the lowest total load at 334.2 kW and mode 6 (with 270 degrees of rotation relative to the reference position) has the maximum total load is 339.6 kW.

2.2. Analysis of the use of solar water heaters to supply water for project consumption

In the second step, in order to reduce the consumption of fossil fuels and the resulting environmental pollution, the use of solar water heaters to supply hot water for the building was investigated.

The heat load due to hot water supply (in terms of BTU per hour) is obtained from the following equation:

$$Q = V \times 8.33 \times (T_2 - T_1) \times 1.10 \tag{1}$$



Figure 1. World Atlas of the Sun data for the new city of Andisheh

According to the data in Figure (1), it can be concluded that the new city of Andisheh, with average daily radiation of 2.5 kWh per square meter, has a good potential for using solar energy and, consequently, the solar water heater is used to supply the hot water used for the project under study.

3. Results and Discussion

According to the Iranian National Gas Company tariff, the tariff per cubic meter of natural gas in the year 1400 AH for academic units is equal to 926 Rials. The cost saved due to the use of solar energy instead of natural gas in the first year will be equal to 17.54 million rials. On the other hand, considering that the initial purchase and installation of a set of pumped solar water heaters under the required pressure (with all equipment used) is equal to 700 million rials and the annual inflation rate according to the Statistics Center of Iran in the winter of 1400 is 42.4%. The liquidity value is assumed to be equal to the minimum long-term profit of state-owned banks at 16%.

It can be seen that the payback period is 11.26 years, and in this case, the use of solar water heaters is not economically justified and is not cost-effective.

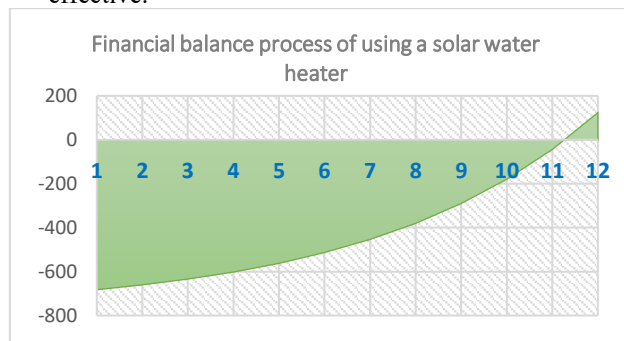


Figure 2. Financial balance trend of using solar water heaters with internal rate of natural gas

4. Conclusions

According to the country's energy and environmental needs, a comprehensive study of the location and use of insulation materials with high thermal resistance in external walls in the design stage and before the construction of buildings can solve some of the country's energy problems. At least in the field of housing and construction. Also, despite the outstanding potential in Iran to use solar energy, for three main reasons:

- Lack of clear, codified, and targeted policies for the use and development of renewable energy
- High initial costs for the construction and operation of renewable energy systems
- Existence of cheap sources of fossil fuel prices

However, according to the economic analysis, it does not seem possible except with the government's full support and the provision of long-term and even gratuitous incentive loans, because otherwise, the fulfillment of environmental commitments, in particular, will not be possible in the dimensions of global agreements.

5. References

- [1] T. Abergel, B. Dean, and J. Dulac, Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector: Global Status Report 2017, *UN Environment and International Energy Agency: Paris, France*, Vol. 22, 2017.
- [2] M. Alberti and P. Waddell, An integrated urban development and ecological simulation model, *Integrated Assessment*, Vol. 1, No. 3, pp. 215-227, 2000.
- [3] W. Wu, Economic analysis of energy consumption based on thermoeconomic cost analysis model, *International Journal of Heat and Technology*, Vol. 37, No. 2, pp. 620-624, 2019.
- [4] E. Rodrigues, M. S. Fernandes, A. R. Gaspar, Á. Gomes, and J. J. Costa, Thermal transmittance effect on energy consumption of Mediterranean buildings with different thermal mass, *Applied Energy*, Vol. 252, p. 113437, 2019.
- [5] S. Chidiac, E. Catania, E. Morofsky, and S. Foo, Effectiveness of single and multiple energy retrofit measures on the energy consumption of office buildings, *Energy*, Vol. 36, No. 8, pp. 5037-5052, 2011.
- [6] H. K. Yousefi, A. Ranjbaran, p. Katoli, A review of spatial criteria for the construction of solar power plants in Iran, *Scientific-Extensive Journal of Surveying Engineering and Spatial Information*, Vol. 8, 2018.
- [7] F. K. N. Atabi, A. Musazadeh Namini, A, Technical, economic and environmental analysis of the use of solar water heaters in residential buildings., *Iranian Journal of Energy*, Vol. 14, No. 4, 2012.
- [8] C. Micono and G. Zanzottera, Energy Modeling for NZEBs: a case-study, *Energy Procedia*, Vol. 78, pp. 2034-2039, 2015.
- [9] C. Dotzler, S. Botzler, D. Kierdorf, and W. Lang, Methods for optimising energy efficiency and renovation processes of complex public properties, *Energy and Buildings*, Vol. 164, pp. 254-265, 2018.
- [10] X. Oregi, P. Hernandez, and R. Hernandez, Analysis of life-cycle boundaries for environmental and economic assessment of building energy refurbishment projects, *Energy and Buildings*, Vol. 136, pp. 12-25, 2017.
- [11] L. F. Cabeza, L. Rincón, V. Vilarinho, G. Pérez, and A. Castell, Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy

analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review, *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 29, pp. 394-416, 2014.

- [12] T. Ramesh, R. Prakash, and K. Shukla, Life cycle energy analysis of buildings: An overview, *Energy and buildings*, Vol. 42, No. 10, pp. 1592-1600, 2010.

تحلیل تاثیر انواع دیوارها و موقعیت قرارگیری ساختمان در انرژی مصرفی و طراحی آبگرمکن خورشیدی: مطالعه موردی شهر اندیشه

رحیم زاهدی¹، آرش گیتی‌فر²، علیرضا اصلانی^{3*}

1- دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

2- دانشجوی مقطع کارشناسی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران

3- دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* تهران، 57131-14399، Alireza.aslani@ut.ac.ir

چکیده

انرژی عامل اصلی رشد اقتصادی کشورها و مورد نیاز تمامی نسل‌ها است. در سال‌های اخیر از جمله چالش‌های مهم، تأمین انرژی بوده که عمده‌ترین دلیل آن، وابستگی شدید به منابع‌های محدود سوخت‌های فسیلی است. به نظر می‌رسد که راهکار پایان‌دادن به این مشکل، بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. در این مقاله با در نظر گرفتن شرایط محیطی و جهت‌های جغرافیایی، یک ساختمان آموزشی - فرهنگی که اطلاعات آن در دسترس بود به صورت رندم در شهر جدید اندیشه انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار تهویه مطبوع کریر بررسی شده و بارهای حرارتی و برودتی آن برای دو ترکیب مختلف دیوارهای خارجی (گزینه اول ترکیب پیشنهادی و گزینه دوم ترکیب رایج در ساختمان‌ها) محاسبه شده‌است. پس از انتخاب حالت بهینه از لحاظ مصرف انرژی، ساختمان در جهت‌های 45 درجه در راستای عقربه‌های ساعت چرخانده شده‌است که با بررسی 8 جهت مختلف، کمترین و بیشترین بار گرمایشی مورد نیاز به ترتیب برابر 124502/8 و 129579/3 کیلوکالری بر ساعت و کمترین و بیشترین بار سرمایشی آن به ترتیب برابر 53/53 و 55/44 تن تبرید بوده‌است. در گام دوم با توجه به میانگین تابش روزانه 5/2 کیلووات-ساعت در شهر جدید اندیشه و به جهت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، تأمین آب گرم مصرفی پروژه با استفاده از انرژی خورشیدی مدنظر قرار گرفت که منجر به صرفه‌جویی 18945/16 مترمکعب گاز طبیعی در سال خواهد شد. بررسی اقتصادی این موضوع نشان می‌دهد که بازگشت سرمایه استفاده از آبگرمکن خورشیدی 11/26 سال بوده که با وضعیت اقتصادی فعلی مقرون به صرفه نیست. **کلیدواژه‌گان:** انرژی، بهینه‌سازی مصرف انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر، آبگرمکن خورشیدی، صرفه‌جویی گاز طبیعی.

Analysis of different walls and the building's location impact on energy consumption and designing solar water heaters: case study of Andisheh city

Rahim Zahedi¹, Arash Gitifar², Alireza Aslani^{1*}

1-PhD Candidate, Energy Systems Engineering, Department of New Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

2-Bachelor Student, Department of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

3-Associate Professor, Department of New Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 14399-57131, Tehran, Iran, Alireza.aslani@ut.ac.ir

Received: 8 June 2022 Accepted: 26 October 2022

Abstract

As the main factor of countries' economic development, which are also needed by all generations. In recent years, the issue of energy supply has been one of the significant challenges, the main reason for which is dependence to the limited supply of fuel. The way to end this problem seems to optimize energy consumption and re-switch to renewable energy. In this research, a building in the new city of Andisheh is analyzed considering environmental conditions and geographical directions using Carrier air conditioning software, and its thermal and cooling loads are examined for two different compositions of external walls. After selecting the optimal mode, the building is rotated 45 degrees clockwise, which by examining eight different directions, the minimum and maximum heating load required are equal to 124502.8 and 129579.3 kcal per hour and its cooling load were equal to 53.53 and 55.44 tons of cooling, respectively. In the second step, in order to use renewable energy considering the average daily radiation of 5.2 kWh in the new city of Andisheh, the project of hot water consumption using solar energy led to savings of 18945.16 Cubic meters of natural gas per year. The economic study of this issue shows that the return on investment of solar water heaters is 11.26 years, which is not cost-effective in the current economic situation.

Keywords: Energy, Energy Optimization, Renewable Energy, Solar Water Heater, Natural Gas Saving.

1- مقدمه

استفاده از آبگرمکن خورشیدی می‌توان سالانه حدود 70 درصد از انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب را تأمین کرد که این موضوع تا حدود 70 درصد از هزینه‌های انرژی مصرفی جهت تأمین آب گرم را کاهش می‌دهد. آتش‌سوزی، انفجار، مسمومیت، برق‌گرفتگی و غیره از جمله حوادثی هستند که در صورت استفاده از انرژی خورشیدی، روند کاهشی خواهد داشت [14].

در این پژوهش در بخش مواد و روش‌ها، ابتدا به بررسی موقعیت جغرافیایی شهر جدید اندیشه پرداخته می‌شود، سپس به انتخاب بهترین ترکیب برای دیوارها پرداخته خواهد شد و با محاسبه و مقایسه کمینه و بیشینه بارهای حرارتی و برودتی به انتخاب بهترین و بهینه‌ترین جهت‌گیری برای بناکردن ساختمان پرداخته می‌شود. در قسمت بعد به طراحی و تحلیل آبگرمکن خورشیدی برای ساختمان موردنظر پرداخته می‌شود و در ادامه به بررسی مسائل اقتصادی، روند اقتصادی و بازگشت سرمایه پرداخته می‌شود و در انتها به بررسی و تحلیل نتایج حاصل از این پژوهش پرداخته خواهد شد.

2- پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر، بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها مورد توجه بسیاری از محققان بوده است [15، 16] که بیشتر پژوهش‌ها بر کاهش انرژی مصرفی مورد نیاز ساختمان تمرکز دارند [17-19].

عتابی و همکاران [14]، استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی را در شهر یزد بوسیله نرم‌افزار رتسکرین¹ بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان صرفه‌جویی سالانه در مصرف گاز طبیعی در ساختمان‌های مسکونی ویلایی و مجتمع‌های آپارتمانی شهر یزد به ترتیب برابر 66960000 متر مکعب و 168240000 متر مکعب و میزان صرفه‌جویی اقتصادی سالانه به ترتیب برابر 16560000 دلار و 41520000 دلار است.

در مطالعه موردی انجام‌گرفته در یک مجتمع مسکونی در کشور فرانسه [20]، مشخص گردید که حدود 40٪ از انرژی مصرفی برای گرمایش آب را می‌توان از طریق سیستم آبگرمکن خورشیدی تأمین کرد.

عبدالرحمن و السلیمان [21]، امکان‌سنجی جایگزینی آبگرمکن‌های الکتریکی با سیستم آبگرمکن‌های خورشیدی را در بخش خانگی توسط نرم‌افزار رتسکرین بررسی کردند. شبیه‌سازی برای پنج شهر عربستان سعودی (جده، ظهران، تبوک، ریاض و بيشه) انجام شد که نتایج نشان داد، شهر بيشه مناسب‌ترین مکان و شهر تبوک نامناسب‌ترین مکان از میان پنج شهر انتخابی برای اجرای سیستم آبگرمکن خورشیدی در کشور عربستان سعودی است.

بر اساس نتایج بدست‌آمده در تحقیق زاهدی و همکاران [22] در حالت بهینه‌ی جهت جغرافیایی و مصالح دیوارها، میزان صرفه‌جویی در سوخت گاز طبیعی 2332 متر مکعب در سال و میزان کاهش گازهای آلاینده برابر 2/1 تن دی‌اکسیدکربن در سال است. همچنین با در نظر گرفتن دو سناریوی نرخ داخلی و نرخ جهانی گاز طبیعی، میزان سرمایه‌گذاری اولیه طرح به ترتیب 138312550 ریال و 4618 دلار با قابلیت سوددهی 4/2٪ و 23/5٪ و دوره بازگشت سرمایه 19/9 سال و 6/4 سال برآورد شد.

چارلز و همکاران [23] در مطالعه موردی یک ساختمان اداری دو طبقه ساخته‌شده در اواخر دهه 1960 واقع در ونکوور، معیارهای بهره‌وری انرژی را ارزیابی کردند. در این ساختمان از گاز طبیعی برای گرمایش و برق برای

از آنجا که شهرها مصرف‌کنندگان اصلی انرژی هستند [1]، تداوم خدمات انرژی برای عملکرد مؤثر آن‌ها ضروری است [2]. با توجه به اینکه یکی از ریسک‌های مهم در فعالیت‌های اقتصادی، ریسک انرژی است، با توجه به تقاضای روزافزون انرژی، تأمین منابع انرژی، یکی از موضوع‌های مهم کشورها به شمار می‌رود [3-6]. مسئله تأمین انرژی، عاملی اساسی در فعالیت‌های اقتصادی و رشد کنونی کشورها و یکی از نیازهای نسل آینده محسوب می‌شود. تغییرات اقلیمی [7] و ارتباط آن با مصرف سوخت‌های فسیلی و افزایش گازهای گلخانه‌ای [8]، ابعاد جهانی به مسئله انرژی داده است [9]. در ایران موضوع یارانه حامل‌های انرژی نیز مزید بر علت شده است. در اکثر کشورهای صنعتی اقدام‌های اساسی از جمله تدوین مباحث و مقررات در زمینه اصلاح الگوی مصرف با استفاده از ابزارها و روش‌های مختلف صورت پذیرفته است. در ایران با وجود یارانه حامل‌های انرژی، اقدام‌های انجام‌شده در سال‌های اخیر تأثیر زیادی بر مسئله کاهش مصرف انرژی نداشته است و نگرانی‌ها در این زمینه همچنان ادامه دارد.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، به نظر می‌رسد که راهکار پایان‌دادن به این مشکل، در گام اول بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده صحیح از سوخت‌های فسیلی موجود، استفاده از مصالح استاندارد با ضریب انتقال حرارت پایین بر اساس مبحث 19 مقررات ملی ساختمان (به خصوص در جداره‌های بیرونی و در تماس با هوای خارج از ساختمان) و در گام دوم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است؛ به عنوان مثال، در کشور کانادا، اقدام‌های بهینه‌سازی انرژی موجب صرفه‌جویی 29 تا 31 درصدی در مصرف برق می‌شود و 19 تا 32 درصد مصرف گاز طبیعی را در ساختمان‌های اداری کم ارتفاع در ادمونتون، اتاوا و ونکوور کاهش می‌دهد [10].

خورشید از منابع‌های نامحدود و رایگان انرژی با دمای داخلی 15 میلیون درجه سانتی‌گراد است. انرژی خورشید از همجوشی هسته‌ای عناصر مختلف به وجود می‌آید که در هر ثانیه حدود $3/8 \times 10^{26}$ ژول انرژی به صورت تابشی از آن خارج می‌شود [11]. انرژی خورشید به شکل نور مرئی، فروسرخ و فرابنفش به زمین می‌رسد که مقدار آن در هر مترمربع به طور متوسط حدود 1120 وات است [12]. چنانچه بتوان فقط 0/1 درصد از انرژی خورشیدی تابیده شده به سطح زمین را با بازده 10 درصد به انرژی الکتریکی تبدیل کرد می‌توان بیش از 3000 گیگاوات توان تولید کرد، که بیش از 4 برابر مصرف انرژی جهانی است [13].

از سال 1940، استفاده از انرژی خورشیدی در گرمایش ساختمان‌ها در کشورهای مختلف توسعه یافت. بحران انرژی در سال 1973، اهمیت استفاده از این نوع انرژی را افزایش داد و سرمایه‌گذاری‌های زیادی به‌ویژه در کشورهای صنعتی برای دستیابی به کاربردهای بهینه انرژی خورشیدی انجام شد [14].

ایران یکی از مناسب‌ترین کشورهای جهان از نظر میزان دریافت انرژی خورشیدی است که بر اساس آمار موجود در اکثر نقاط آن بیش از 300 روز آفتابی وجود دارد [13]. ساختمان‌ها حدود 40 درصد از کل انرژی مصرفی جامعه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد که در حدود 20 الی 30 درصد انرژی مصرفی در خانه‌ها صرف گرمایش آب مورد نیاز ساکنین ساختمان می‌شود. با

1. RETScreen

نمونه از پلان‌های معماری پروژه مورد بررسی در طبقه اول و دوم نشان داده شده است.



شکل 2 پلان طبقه همکف پروژه



شکل 3 پلان طبقه اول پروژه

جدول 1 نشان دهنده مشخصات عمومی پروژه است. نتایج خروجی از نرم افزار کریر برای دو حالت مرجع (حالت پیشنهادی) و حالت رایج در ساخت و ساز به ترتیب در جدول‌های 2 و 3 ارائه شده است.

جدول 1 مشخصات عمومی پروژه

مساحت قابل سرمایه‌گذاری و گرمایش	۱۱۲۷ مترمربع
قاب پنجره‌ها	آلومینیوم ترمال بریک
ترکیب شیشه‌ها	دوجداره شامل ۳ میلی‌متر شیشه شفاف + ۱۳ میلی‌متر گاز آرگون + ۵ میلی‌متر شیشه شفاف
ترکیب سقف (در ارتباط با هوای خارج)	لایه هوای داخل + ۳ سانتی‌متر گچ + ۱۳ سانتی‌متر بلوک سیمانی + ۳ سانتی‌متر پشم سنگ + ۳ سانتی‌متر سیمان کم وزن سانتی‌متر + ۶ سانتی‌متر پوکمه معدنی + ۳ سانتی‌متر

روشنایی، سرمایش و سایر نیازها استفاده می‌شد. از مطالعه پارامتریک، عایق‌بندی دیوارها و سقف، هواپندی و تعویض پنجره بیشترین تأثیر را در صرفه‌جویی در مصرف انرژی داشته و باعث کاهش 45 درصدی انرژی مصرفی سالانه می‌شود. با این پیشرفت‌ها می‌توان بیش از 70 تن کربن‌دی‌اکسید در این سال صرفه‌جویی کرد. همچنین نرخ بازگشت سرمایه ساختمان مذکور در این تحقیق، 7/7 سال بود.

3- روش تحقیق

شهر جدید اندیشه با جمعیت بیش از 116 هزار نفر با هدف حفظ تعادل اکولوژی منطقه، جذب جمعیت سرریز شهر تهران، نزدیکی محل کار، مسکن و خدمات شهری به یکدیگر، جلوگیری از حاشیه نشینی و جلوگیری از گسترش ناهنجار شهرها با آب و هوای نسبتاً گرم و خشک در تابستان و سرد در زمستان احداث شده است. ارتفاع شهر جدید اندیشه از سطح دریا 1200 تا 1250 متر و در 30 کیلومتری غرب کلان شهر تهران قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی شهر جدید اندیشه در شکل 1 به وسیله گوگل ارث¹ نمایش داده شده است.



شکل 1 موقعیت شهر جدید اندیشه

3-1- مقایسه ترکیب دیوارهای خارجی و یافتن بهترین وضعیت قرارگیری ساختمان

در این تحقیق یک ساختمان آموزشی- فرهنگی در شهر جدید اندیشه با دو ترکیب مختلف در دیوارهای خارجی (ترکیب‌های پیشنهادی و رایج در ساخت و ساز کشور ایران) در نظر گرفته شد و سپس به محاسبه بارهای گرمایشی و سرمایشی توسط نرم‌افزار تهویه مطبوع کریر پرداخته شد. پس از دستیابی به بهترین موقعیت، برای یافتن بهینه‌ترین حالت ممکن از لحاظ مصرف انرژی، ساختمان در جهت‌های 45 درجه در راستای عقربه‌های ساعت چرخانده شده است که با بررسی 8 جهت مختلف، کمترین و بیشترین بارهای گرمایشی و سرمایشی مورد محاسبه قرار گرفتند. در شکل‌های 2 و 3 چند

2. Google Earth

با توجه به جدول 4 که شامل نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار کریر است، ملاحظه می‌گردد که در حالت 2 (با 90 درجه چرخش نسبت به موقعیت مرجع) کمترین بار گرمایشی رخ می‌دهد و در حالت 5 (با 225 درجه چرخش نسبت به موقعیت مرجع) دارای کمترین بار گرمایشی است. در بررسی حداکثر بارها (بدترین حالت با بررسی جداگانه بارهای گرمایشی و سرمایشی) می‌توان نتیجه گرفت که حالت 1 (با 45 درجه چرخش نسبت به موقعیت مرجع) دارای بیشترین بار گرمایشی و حالت 3 (با 135 درجه چرخش نسبت به موقعیت مرجع) دارای بیشترین بار سرمایشی است. در انتها، با بررسی مجموع بارهای گرمایشی و سرمایشی ملاحظه می‌شود که حالت 5 (با 225 درجه چرخش نسبت به موقعیت مرجع) دارای کمترین مقدار مجموع بارها به میزان 334/2 کیلووات و حالت 6 (با 270 درجه چرخش نسبت به موقعیت مرجع) دارای بیشترین مقدار مجموع بارها به میزان 339/6 کیلووات است.

2-3- تحلیل استفاده از آبگرمکن خورشیدی برای تأمین آب گرم مصرفی

پروژه

در گام دوم در راستای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های محیط زیستی ناشی از آن، استفاده از آبگرمکن خورشیدی جهت تأمین آب گرم مصرفی ساختمان مذکور مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نقشه‌های پروژه، مقدار مصرف، نوع و تعداد مصرف‌کننده‌های نهایی آب گرم بر اساس جدول 5 است؛ همچنین اطلاعات موجود در جدول 6 به عنوان داده‌های ورودی جهت بدست آوردن بار حرارتی ناشی از تأمین آب گرم مصرفی فرض شده است.

جدول 5 مقدار آب گرم مصرفی

مصرف کننده نهایی	تعداد	مقدار مصرف (GPH)
دستشویی و توالت عمومی	23	15
سینک آبدارخانه عمومی	6	20
دوش خصوصی	1	20
تی شویی	5	1
حداکثر مصرف آبگرم		490

جدول 6 اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه آب گرم مصرفی

موضوع	مقدار
دمای آب ورودی به سیستم (آب شهر)	60 °F
دمای آب خروجی از سیستم	140 °F
تأمین آب گرم	0/6
ضریب تقاضا	0/6
ضریب ذخیره منبع	1

سیمان کم وزن + 2 سانتی متر عایق رطوبتی + لایه هوای خارج

جدول 2 نتایج خروجی از نرم افزار کریر برای حالت مرجع 1 (پیشنهادی)

ترکیب دیوارها (در ارتباط با هوای خارج)	لایه هوای داخل + 3 سانتی متر گچ + 17 سانتی متر بلوک لیکا + 5 سانتی متر سیمان نما + لایه هوای خارج	مقاومت حرارتی دیوار خارجی	مقاومت حرارتی سقف	بار گرمایشی کل ساختمان	بار سرمایشی کل ساختمان
		$m^2 \cdot k/w$	$m^2 \cdot k/w$	Kcal/hr	R. T
		1/11	1/76	126481/7	54/02

جدول 3 نتایج خروجی از نرم افزار کریر برای حالت مرجع 2 (رایج در ساخت و ساز)

ترکیب دیوارها (در ارتباط با هوای خارج)	لایه هوای داخل + 3 سانتی متر گچ + 20 سانتی متر سفال + 3 سانتی متر ملات سیمان + 2 سانتی متر سنگ نمای گرانیت + لایه هوای خارج	مقاومت حرارتی دیوار خارجی	مقاومت حرارتی سقف	بار گرمایشی کل ساختمان	بار سرمایشی کل ساختمان
		$m^2 \cdot k/w$	$m^2 \cdot k/w$	Kcal/hr	R. T
		0/65	1/76	147045/8	56/01

با بررسی دو حالت فوق (حالت‌های ذکر شده در جدول 2 و 3) ملاحظه می‌شود که در حالت مرجع اول با وجود ضخامت کمتر دیوار خارجی نسبت به حالت مرجع دوم، هر دو بار گرمایشی و سرمایشی مقدار کمتری داشته و انتخاب مناسب‌تری است. برای پیدا کردن بهینه‌ترین وضعیت حالت مرجع اول، ساختمان در جهت‌های 45 درجه و به صورت ساعتگرد (بر اساس جدول 4) چرخانده شد و بارهای گرمایشی و سرمایشی در هر زاویه محاسبه گردید.

جدول 4 نتایج حاصل از نرم افزار کریر برای چرخش جهت حالت مرجع 1

حالت (ساعتگرد)	جهت چرخش	بار سرمایشی R. T	بار گرمایشی Kcal/hr	از به	
				NE	N
1	N	53/93	129579/3		
2	N	54/98	124502/8	E	
3	N	55/44	129321/1	SE	
4	N	54/16	128202/6	S	
5	N	53/53	125535/3	SW	
6	N	54/42	127514/2	W	
7	N	55/10	126653/8	NW	

شکل 4 نتایج حاصل از اطلس جهانی خورشید^۲ در معیار سالیانه برای شهر جدید اندیشه است که شامل تابش عادی مستقیم^۳، تابش افقی جهانی^۴، تابش افقی پراکنده^۵، تابش شیب‌دار جهانی در زاویه بهینه^۶، شیب بهینه ماژول‌های خورشیدی^۷، دمای هوا^۸ و ارتفاع زمین^۹ است. در شکل 5 مسیر حرکت خورشید از طلوع تا غروب و در روزهای با تابش بیشینه در سال (منحنی بالایی) و روزهای با تابش کمینه در سال (منحنی پایینی) نشان داده شده است. محور عمودی بیانگر زاویه ارتفاع خورشید نسبت به افق و محور افقی بیانگر زاویه قرارگیری خورشید نسبت به جهت شمال است. همچنین منحنی‌هایی که با بردار (پیکان) مشخص شده‌اند محل قرارگیری خورشید در یک ساعت مشخص در روزهای مختلف سال هستند.

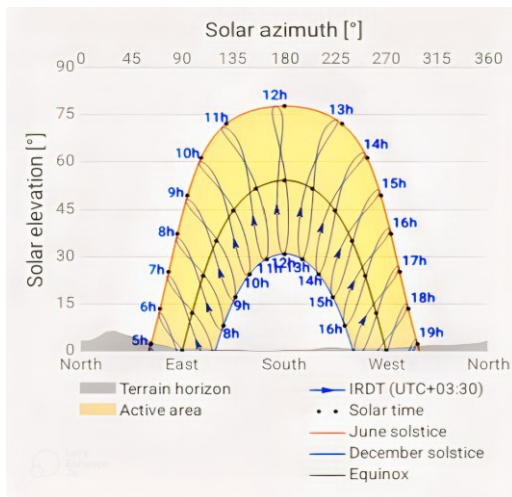
Andisheh City

35.705241 °, 051.029623 °
Golha ye Gharbi Boulevard, Andisheh City, Tehran Province, Iran
Time zone: UTC+03:30, Asia/Tehran [IRDT]

Report generated: 22 Jan 2022

SITE INFO		
Map data		Per year
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1762.1 kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	1925.4 kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	1932.2 kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	740.4 kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTT opt α	2216.0 kWh/m ²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	33 / 180 °
Air temperature	TEMP	17.0 °C
Terrain elevation	ELE	1207 m

شکل 4 داده‌های اطلس جهانی خورشید برای شهر جدید اندیشه



1. Global Solar Atlas (GSA)
2. Direct Normal Irradiation (DNI)
3. Global Horizontal Irradiation (GHI)
4. Diffuse Horizontal Irradiation (DHI)
5. Global Tilted Irradiation (GTI)
6. Optimum Tilt of PV Modules (OPTA)
7. Air Temperature (TEMP)
8. Terrain Elevation (ELE)

با توجه به اینکه ساختمان در کل طول روز مورد استفاده قرار نگرفته است و همچنین کلیه وسایل بهداشتی مصرف‌کننده آب گرم، به صورت همزمان مشغول به کار نیستند، بنابراین برای تأمین این هدف، ضریب تقاضا مطرح شده است؛ همچنین با توجه به اینکه پس از مصرف 70 الی 75 درصد آب گرم موجود در منبع، آب باقی‌مانده در آن سرد خواهد شد. برای جلوگیری از این موضوع ضریب ذخیره منبع در محاسبه‌ها اعمال شده است. بر پایه این توضیح، مقدار واقعی آب گرم مصرفی و حجم منبع ذخیره بصورت رابطه 1 و 2 نمایش داده می‌شود.

مقدار واقعی آب گرم مصرفی در ساعت

ضریب تقاضا =

$$\text{حداکثر مصرف آب گرم در ساعت} \times \text{ضریب تقاضا} = \text{مقدار واقعی آب گرم مصرفی در ساعت} \quad (1)$$

ضریب تقاضا \times ضریب ذخیره منبع = حجم منبع آب گرم

$$\text{حداکثر مصرف آب گرم در ساعت} \times \text{ضریب تقاضا} = \text{حجم منبع آب گرم} \quad (2)$$

همچنین بار حرارتی ناشی از تأمین آب گرم مصرفی (بر حسب بی‌تی‌یو بر ساعت^۱) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q = V \times \rho \times (T_2 - T_1) \times \alpha \quad (3)$$

در رابطه 3، V ، T_1 ، T_2 ، ρ و α به ترتیب نشان‌دهنده مقدار واقعی آب گرم مصرفی (بر حسب گالن در ساعت)، وزن مخصوص آب برابر با 8/33 (بر حسب پوند بر گالن)، دمای آب ورودی به سیستم (بر حسب درجه فارنهایت)، دمای آب خروجی از سیستم تأمین آب گرم (بر حسب درجه فارنهایت) و ضریب اطمینان برابر با 1/10 هستند [8]. مقدار سوخت مورد نیاز برای تولید آب گرم مصرفی سالیانه از رابطه 4 قابل محاسبه است.

$$\text{مقدار سوخت مصرفی در سال} = \frac{\text{تعداد روز فعال در سال} \times \text{بار حرارتی روزانه ارزش حرارتی سوخت}}{\quad} \quad (4)$$

با فرض اینکه ارزش حرارتی گاز طبیعی مصرفی 8600 کیلوکالری بر مترمکعب است و ساختمان 300 روز در سال فعال است و در هر روز 10 ساعت فعالیت می‌کند، مطابق جدول 7 خواهیم داشت:

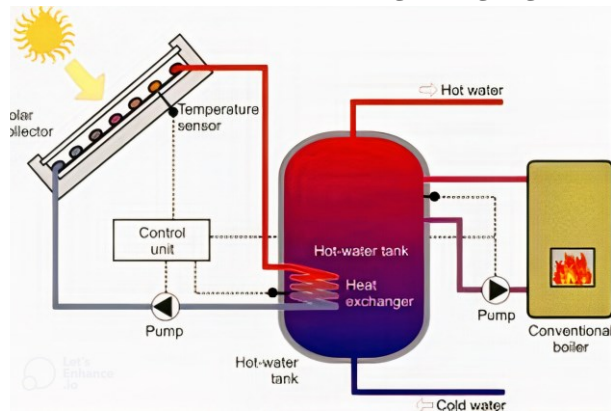
جدول 7 نتایج محاسبات برای آب گرم مصرفی

موضوع	مقدار	واحد
مقدار واقعی آب گرم مصرفی	294	GPH
بار حرارتی ناشی از تأمین آبگرم مصرفی	54309/5	Kcal/hr
حجم منبع ذخیره	294	Gallon
مقدار گاز طبیعی مورد نیاز در سال	18945/16	m ³

1. BTU/h

شکل 4 افق و مسیر خورشید در پرتابش‌ترین و کم‌تابش‌ترین روز سال برای شهر جدید اندیشه

با توجه به داده‌های ذکر شده در شکل 4 می‌توان به این نتیجه رسید که شهر جدید اندیشه با داشتن میانگین تابش روزانه 5/2 کیلووات‌ساعت بر مترمربع از پتانسیل مناسبی جهت استفاده از انرژی خورشیدی برخوردار است. در نتیجه آبگرمکن خورشیدی برای تأمین آب‌گرم مصرفی پروژه مورد مطالعه قابل استفاده است. در این راستا و با استفاده از جدول 7 و نیز با در نظر گرفتن بازده 85 درصدی آبگرمکن‌های خورشیدی مورد استفاده (با تمام اتلاف‌ها و تبدیل‌ها)، سطح موردنیاز برای کلکتورهای خورشیدی بکار رفته در این پروژه برابر با 143 مترمربع برآورده می‌شود. همچنین در آبگرمکن‌های خورشیدی، از سیستم کمکی مبدل حرارتی برپایه استفاده از گاز طبیعی برای روزهای ابری پی‌در پی پیش‌بینی شده است.



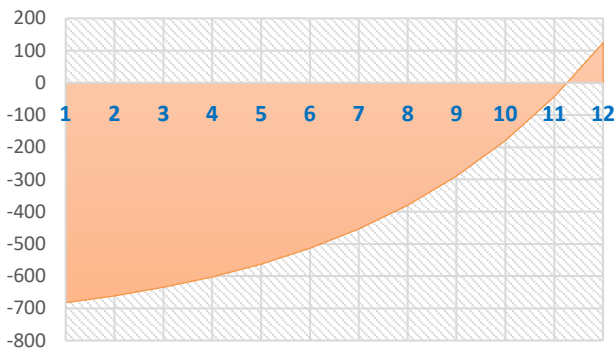
شکل 5 شماتیک آبگرمکن خورشیدی مورد استفاده با سیستم کمکی بر پایه گاز طبیعی

$$\text{ارزش واقعی مبلغ صرفه جویی شده در سال } t \text{ ام} = \frac{\text{ارزش فعلی مبلغ صرفه جویی شده در سال } t \text{ ام}}{(1+i)^t} \quad (6)$$

با بررسی جدول 8 و نمودار موجود در شکل 7 مشاهده می‌شود که دوره بازگشت سرمایه 11/26 سال است و در این صورت استفاده از آبگرم‌کن خورشیدی از منظر اقتصادی قابل توجیه نبوده است و مقرون به صرفه نیست.

جدول 8 تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی (میلیون ریال)

(مطابق راهنمای نویسندگان جدول در صفحه 7 آورده شده است)



شکل 6 روند تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با نرخ داخلی گاز طبیعی

4- نتیجه گیری

با توجه به نیازهای حوزه انرژی و محیط زیست کشور، بررسی همه‌جانبه موقعیت قرارگیری ساختمان و استفاده از مصالح عایق با مقاومت حرارتی بالا در دیواره‌های خارجی در مرحله طراحی می‌تواند راهگشای مقداری از مشکل‌های انرژی کشور در حوزه مسکن و ساختمان باشد. در این راه، نظارت زیرمجموعه‌های وزارت راه و شهرسازی (همچون مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شرکت عمران شهرهای جدید و...)، شهرداری و نظام مهندسی بر تولیدکنندگان مصالح ساختمانی و پیمان‌کاران پروژه‌های عمرانی به عنوان متولیان اصلی ساخت و ساز مسکن به موضوع موردنظر (بررسی همه‌جانبه موقعیت قرارگیری و استفاده از مصالح عایق با مقاومت حرارتی بالا در دیواره‌های خارجی) می‌تواند بسیار تاثیرگذار واقع شود.

در این راستا، اولین گام را می‌توان نظارت بر اجرای موضوع ذکر شده در هنگام طراحی و ساخت ساختمان‌های با مالکیت دولتی یا تحت نظارت آن‌ها توسط سازمان ذکر شده در نظر گرفت. همچنین با وجود پتانسیل‌های بسیار مناسب در ایران به منظور استفاده از انرژی خورشیدی، به سه دلیل عمده زیر، بهره‌برداری از پتانسیل‌های موجود کم‌اکن جدی گرفته نشده است:

- عدم وجود سیاست‌گذاری‌های شفاف، مدون و هدفدار در جهت بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه آن.
- هزینه‌های اولیه بالا جهت احداث و راه‌اندازی سیستم‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر.
- وجود منابع ارزان قیمت سوخت‌های فسیلی.

3-3- محاسبه‌های مربوط به بازگشت سرمایه استفاده از آبگرمکن‌های

خورشیدی

با فرض اینکه تحقیق مذکور، به عنوان یک پروژه با کاربری آموزشی توسط اداره گاز منطقه مورد قبول واقع شود که بدیهی است در غیر این صورت تعرفه گاز بالاتری شامل پروژه خواهد شد (بر اساس تعرفه شرکت ملی گاز ایران تعرفه هر مترمکعب گاز طبیعی در سال 1400 هجری شمسی برای واحدهای آموزشی برابر 926 ریال است)، با در نظر گرفتن مقدار گاز طبیعی محاسبه شده در جدول 7، هزینه صرفه‌جویی شده ناشی از استفاده از انرژی خورشیدی به جای گاز طبیعی در سال اول برابر 17/54 میلیون ریال خواهد بود.

از طرفی، با در نظر گرفتن اینکه خرید اولیه و نصب مجموعه آبگرمکن‌های خورشیدی با پمپ تحت فشار (با تمام تجهیزات مورد استفاده) برابر 700 میلیون ریال بوده و نرخ تورم سالیانه بر اساس اعلام مرکز آمار ایران در زمستان سال 1400 برابر با 42/4 درصد اعلام شده و ارزش نقدینگی نیز برابر حداقل سود بلندمدت بانک‌های دولتی (16 درصد) فرض شده است. با استفاده از رابطه‌های 5 و 6 تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی در صورتی که از ابتدای سال 1401 نصب شده و مورد استفاده قرار گیرد، محاسبه و در جدول 8 درج شده است.

$$\text{ارزش فعلی مبلغ صرفه جویی شده در سال } t \text{ ام} = \text{مبلغ صرفه جویی شده سال قبل} \times \text{نرخ تورم سالیانه} \quad (5)$$

با بررسی مجموع بارهای گرمایشی و سرمایشی ساختمان ملاحظه شد که حالت با 225 درجه چرخش نسبت به موقعیت مرجع دارای کمترین

با توجه به آنالیزهای اقتصادی انجام شده جز با حمایت‌های همه‌جانبه دولت و ارائه وام‌های تشویقی بلندمدت و حتی بلاعوض امکان‌پذیر به‌نظر

	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412
میلیون ریال	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412
هزینه اولیه	-700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
مبلغ صرفه جویی گاز با در نظر گرفتن نرخ تورم و ارزش واقعی پول تفاضل هزینه و صرفه جویی	17/54 -682/5	21/48 -661/02	26/37 -634/65	32/37 -602/27	39/74 -562/53	48/79 -513/74	59/89 -453/85	73/52 -380/33	90/25 -290/08	110/79 -179/29	136/01 -43/29	166/96 123/67

نمی‌رسد چرا که در غیر این صورت دستیابی به تعهدهای محیط زیستی به‌خصوص در ابعاد توافقنامه‌های جهانی امکان‌پذیر نخواهد بود.

مقدار مجموع بارها به میزان 334/2 کیلووات و حالت با 270 درجه چرخش نسبت به موقعیت مرجع دارای بیشترین مقدار مجموع بارها به میزان 339/6 کیلووات است. با توجه به داده‌های ذکر شده می‌توان به این نتیجه رسید که شهر جدید اندیشه با داشتن میانگین تابش روزانه 5/2 کیلووات-ساعت بر مترمربع از پتانسیل مناسبی جهت استفاده از انرژی خورشیدی برخوردار است.

جدول 8 تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی (میلیون ریال)

[6] J. Rosenow, E. Bayer, Q. Genard, M. Toporek, and B. Rososińska, Efficiency First: From principle to practice. Real world examples from across Europe, *Energy Union Choices*, 2016.

[7] Y. Wang, Z. Ni, S. Chen, and B. Xia, Microclimate regulation and energy saving potential from different urban green infrastructures in a subtropical city, *Journal of cleaner production*, Vol. 226, pp. 913-927, 2019.

[8] W. Wu, Economic analysis of energy consumption based on thermoeconomic cost analysis model, *International Journal of Heat and Technology*, Vol. 37, No. 2, pp. 620-624, 2019.

[9] E. Rodrigues, M. S. Fernandes, A. R. Gaspar, A. Gomes, and J. J. Costa, Thermal transmittance effect on energy consumption of Mediterranean buildings with different thermal mass, *Applied Energy*, Vol. 252, p. 113437, 2019.

[10] S. Chidiac, E. Catania, E. Morofsky, and S. Foo, Effectiveness of single and multiple energy retrofit measures on the energy consumption of office buildings, *Energy*, Vol. 36, No. 8, pp. 5037-5052, 2011.

[11] D. Williams, Sun Fact Sheet. NASA Goddard Space Flight Center, ed, 2013.

[12] M. K. Panjwani and G. B. Narejo, Effect of humidity on the efficiency of solar cell (photoVoltaic), *International Journal of Engineering Research and General Science*, Vol. 2, No. 4, pp. 499-503, 2014.

[13] H. K. Yousefi, A. Ranjbaran, p. Katoli, A review of spatial criteria for the construction of solar power plants in Iran, *Scientific-Extensive Journal of Surveying Engineering and Spatial Information*, Vol. 8, 2018.

[14] F. K. N. Atabi, A. Musazadeh Namini, A, Technical, economic and environmental analysis of the use of solar water heaters in residential buildings., *Iranian Journal of Energy*, Vol. 14, No. 4, 2012.

5- فهرست علائم

Q بار حرارتی ناشی از تامین آب گرم مصرفی
 T_1 دمای آب ورودی به سیستم (°F)
 T_2 دمای آب خروجی از سیستم تأمین آب گرم (°F)

علائم یونانی

ρ وزن مخصوص آب برابر با 8/33 (برحسب پوند برگالن)
 α ضریب اطمینان برابر با 1.10

6- مراجع

[1] T. Abergel, B. Dean, and J. Dulac, Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector: Global Status Report 2017, *UN Environment and International Energy Agency: Paris, France*, Vol. 22, 2017.

[2] M. Alberti and P. Waddell, An integrated urban development and ecological simulation model, *Integrated Assessment*, Vol. 1, No. 3, pp. 215-227, 2000.

[3] Y. Chen, T. Hong, and M. A. Piette, Automatic generation and simulation of urban building energy models based on city datasets for city-scale building retrofit analysis, *Applied Energy*, Vol. 205, pp. 323-335, 2017.

[4] Q. Chen, R.-H. Fu, and Y.-C. Xu, Electrical circuit analogy for heat transfer analysis and optimization in heat exchanger networks, *Applied Energy*, Vol. 139, pp. 81-92, 2015.

[5] R. Cowart, Unlocking the promise of the Energy Union: efficiency first is key, *The Regulatory Assistance Project, Montpelier, VT*, 2014.

- [15] C. Micono and G. Zanzottera, Energy Modeling for NZEBs: a case-study, *Energy Procedia*, Vol. 78, pp. 2034-2039, 2015.
- [16] C. Dotzler, S. Botzler, D. Kierdorf, and W. Lang, Methods for optimising energy efficiency and renovation processes of complex public properties, *Energy and Buildings*, Vol. 164, pp. 254-265, 2018.
- [17] X. Oregi, P. Hernandez, and R. Hernandez, Analysis of life-cycle boundaries for environmental and economic assessment of building energy refurbishment projects, *Energy and Buildings*, Vol. 136, pp. 12-25, 2017.
- [18] L. F. Cabeza, L. Rincón, V. Vilarinho, G. Pérez, and A. Castell, Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review, *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 29, pp. 394-416, 2014.
- [19] T. Ramesh, R. Prakash, and K. Shukla, Life cycle energy analysis of buildings: An overview, *Energy and buildings*, Vol. 42, No. 10, pp. 1592-1600, 2010.
- [20] B. van der Ree *et al.*, SolTherm Europe-Campaign Guidelines, *Online unter: <http://www.solarthermalworld.org/node/1330>*, *Abrufdatum*, Vol. 2, p. 2010, 2003.
- [21] H. M. Abd-ur-Rehman and F. A. Al-Sulaiman, Techno-economic evaluation of different types of solar collectors for water heating application in domestic sector of Saudi Arabia, in *2014 5th International Renewable Energy Congress (IREC)*, 2014: IEEE, pp. 1-6.
- [22] R. Zahedi, S. Gitifar, and A. Aslani, "Modeling and Analysis of Building Cooling Energy Supply System Using Variable Solar Refrigerant Flow System," *Journal of sustainable Energy Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 51-70, 2021.
- [23] A. Charles, W. Maref, and C. M. Ouellet-Plamondon, Case study of the upgrade of an existing office building for low energy consumption and low carbon emissions, *Energy and Buildings*, Vol. 183, pp. 151-160, 2019.