



Evaluation of photovoltaic performance integrated with shading system in optimizing building energy consumption in hot arid climates (Case study: an office building in Shiraz)

Leila Jafari¹, Seyedeh Mamak Salavatian^{2*}

1- Ph.D. Student, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

2- Assistant Professor, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

* P.O.B. 413353516 Rasht, Iran, salavatian@iaurasht.ac.ir

Received: 16 February 2022 Revised: 3 May 2022 Accepted: 19 May 2022

Abstract

Photovoltaic-integrated Shading systems, are multifunctional components to generate electricity and simultaneously provide the shade needed for building surfaces and walls. Applying integrated photovoltaic systems with building components, including fixed shadings, in addition to regulating the penetration of sunlight and saving energy, seems to be a fully functional approach due to the production of part of the buildings' energy. Therefore, to evaluate the performance of Photovoltaic-integrated Shading systems, in optimizing energy consumption, the need to study the effect of Photovoltaic-integrated Shading systems, on energy in Shiraz was considered. Therefore, 15 Photovoltaic-integrated Shading systems scenarios for the facade of an office space model were calculated using the DesignBuilder simulation program and PVsyst. According to the results, the Photovoltaic-integrated Shading systems, designed with 4 louvers with a slope angle of 45 degrees and zero degrees azimuth (facing south) has the highest efficiency compared to other scenarios and shows an energy efficiency of 35.54%, which indicates an acceptable decrease. The heating energy has been effective as well as its efficiency as a combined photovoltaic system in producing energy and controlling solar radiation simultaneously. The present study provides the required information on the parameters of Photovoltaic-integrated Shading systems and paves the way for the development of photovoltaic technology integrated with building components in the design steps.

Keywords: Photovoltaic-integrated, BIPV, shading system, hot arid climate, energy consumption.

1. Introduction

The photovoltaic system is one of the most promising clean energy technologies that can be a good alternative to fossil fuels that produce large amounts of greenhouse gases. Therefore, the use of photovoltaics in building design is one of the comprehensive approaches in the construction industry Building Integrated Photovoltaics and Building Applied Photovoltaics are the two main types of two solar installation integration techniques. Building Applied Photovoltaics is used to refer to the photovoltaics that is installed in the building after the construction is completed; Integrated photovoltaics, on the other hand, represent the concept of replacing conventional building envelopes such as windows, walls, and ceilings with photovoltaics [1]. Photovoltaic systems that are nowadays installed in existing building envelopes are known as building-integrated photovoltaics. Among these systems, include multifunctional elements, that also role as shading and are called Photovoltaic-integrated Shading systems that can reduce the internal heat gain and lighting needs and Operate as a power generator to achieve zero energy buildings [2].

Therefore, integrated photovoltaic systems, both as

part of the building envelope and as an on-site power generator, can simultaneously reduce the use of fossil fuels and greenhouse gas emissions [3]. During the last century, the ratio of transparent envelop in office buildings has increased significantly[4]. Therefore, the use of shadings systems, as a protection against the sun, can help the overall energy balance of these systems and as a cost-effective and aesthetically acceptable device, as well as integrate a renewable system in the building [5].

Based on the cases and literature review, it seems that the use of this type of photovoltaic system according to the design area, ie hot arid climate can play an effective role in reducing the annual energy consumption of the building; Because of the working hours of office buildings, which are mainly used during the day and at the same time with effective sunlight, we can expect good performance for photovoltaic systems. Therefore, choosing the optimal type of shading and its proper integration with photovoltaics can provide a high amount of energy efficiency in such buildings.

The goal of this research is to evaluate and compare different types of Photovoltaic-integrated Shading systems and their effect on optimizing energy performance in an office building with a conventional



structure in Shiraz as an example for such buildings.

Therefore, the following questions regarding the use of solar energy in office buildings are before researchers:

To what extent will the Photovoltaic-integrated Shading systems design be effective in improving the cooling and heating performance of the Shiraz office building?

Which types of photovoltaic arrangement integrated with the shading system designed will have the best energy performance in the office building in Shiraz?

2. Material and Method

The goal of this study is to determine the criteria and characteristics of Photovoltaic-integrated Shading systems; In this regard, by studying library resources and valid standards, the required data were collected and then by modeling in Design Builder software that allows simulation of architectural spaces taking into account climatic characteristics, the thermal performance of the model was made and Was tested. This software uses the Energy Plus modeling engine, which has been validated by Oak Rigg National Laboratory according to quality laboratory measurements [6]. According to the climatic data of Shiraz and based on the proper orientation of buildings in this climate, the dimensions of the spaces, the type of envelopes, the type of openings and their direction, and the amount of activity of users as fixed components in this study are assumed.

According to the start and end hours of the office buildings activity, the time of activity was considered between 7 in the morning and 4 in the afternoon. Also, according to the type of selected space, the level of occupation by individuals based on 0.33 per square meter was considered and the facilities and tools used in an office space were defined. The type of materials for the outer envelope of the building was determined based on the optimal thermal conductivity. Also, the variety of designed shades system according to the type, dimensions, size, and angle of installation was determined separately and the specifications related to each type of shade were determined.

In the next step, the amount of cooling and heating energy required for the sample was calculated according to the specifications of each sample. Then, in PVsyst software, according to the surface, angle, and type of shadings, photovoltaic panels were considered to be placed on the surface of the shadings for 15 studied samples, and finally, the energy production of these integrated panels was estimated according to the type of shading. This software works in a completely comprehensive and practical way in the field of working with photovoltaic systems, which includes a set of necessary tools for studying and researching and sizing, simulating, and analyzing data of photovoltaic systems. This software is continuously updated and is

one of the best and most widely used software in the field of the design of photovoltaic systems [7].

2.1. Radiation information related to the city of Shiraz.

Determining the photovoltaic performance in a climate is one of the most important factors in determining the amount of radiant energy in that area, the average annual radiation of Shiraz is equal to 2424 kWh per square meter per year [8].

2.2. Simulation process

To perform the simulation in Design Builder software, first Shiraz weather file in TMY format, which includes complete weather characteristics including exact latitude and longitude, monthly temperature, and other climatic characteristics, was entered into the software, then office space with Dimensions of 3×3 meters as the minimum standard of office space [9], and height of 3 meters and the specifications of windows with dimensions of 150×150 cm, which is 120 cm from the floor, all following the design of office spaces mentioned in the national regulations of office buildings It was designed on the south facade (the favorable front for receiving solar energy in this climate) with different shading types. Due to the latitude of Shiraz, the study of the vertical shadings system and also, two samples of horizontal shadings system were simulated and considered for comparison and selection of the best possible option. Other design specifications of the building in the Builder Design software environment were adjusted according to the definition of an office room, including the use of conventional electrical appliances, cooling and heating systems by working hours, and the number of users stationed. Also, according to the most desirable heat exchange coefficient, (suggested by the software itself), materials, wall coverings, and ceilings were determined.

The total amount of energy required by the samples according to each type of shading system will be obtained as the first output of the Design builder so that the effect of the type of shading system on the total energy will be determined.

According to the shading system designed for each sample in the next step, using PVsyst software, the photovoltaic panel was considered by the shading system designed. Initially, the angle of the panels was determined according to the angle, number, and length intended for each type of shading system, and the direction of the building in all options was considered to be south. Specifications of the type of panels designed for the 15 specimens conforming to the perfectly matched shading system were taken into consideration. Determining the characteristics of the

modules is the next step of the research, which is presented in Table 1.

Table1. Specifications of selected photovoltaic modules for each sample.

Sample	Sample area (square meters)	number/power
1,2	Module area:3 Cell area:2.1	Total number of modules: 8 Nominal power of the module: Wp30 Total system power (STC): 240
3,4	Module area:6 Cell area:4.2	Total number of modules: 16 Nominal power of the module: Wp30 Total system power (STC): 480
5,6	Module area:6 Cell area:4.2	Total number of modules: 16 Nominal power of the module: Wp30 Total system power (STC): 480
7,8	Module area:12 Cell area:9	Total number of modules: 17 Nominal power of the module: Wp60 Total system power (STC): 1020
9	Module area:1.5 Cell area:1.1	Total number of modules: 4 Nominal power of the module: Wp30 Total system power (STC): 120
10	Module area:3 Cell area:2.1	Total number of modules: 8 Nominal power of the module: Wp30 Total system power (STC): 240
11	Module area:4.5 Cell area:3.2	Total number of modules: 12 Nominal power of the module: Wp30 Total system power (STC): 360
12	Module area:6 Cell area:4.2	Total number of modules: 16 Nominal power of the module: Wp30 Total system power (STC): 480
13	Module area:0.7 Cell area:0.6	Total number of modules: 4 Nominal power of the module: Wp20 Total system power (STC): 80
14	Module area:1.5	Total number of modules: 14 Nominal power of the module: Wp10 Total system power (STC): 140
15	Module area:2.2 Cell area:1.8	Total number of modules: 12 Nominal power of the module: Wp20 Total system power (STC): 140

Then, in the next step, the amount of energy produced by the photovoltaic panel is calculated for each designed sample, and the amount of radiant energy is determined in terms of each sample.

Based on the analysis of the results, the studied samples 12 and 8 with the angle of inclination of the panel at zero degrees and 45 degrees, showed the

highest energy production with values equal to 803.9 and 725.9 kWh per year, respectively.

On the other hand, sample 9 Photovoltaic-integrated Shading systems showed the lowest amount of energy production with a value equivalent to 201 kWh per year. Since the studied samples 12 and 8 compared to other samples show better performance in terms of energy production according to the type of design, so the next step is to evaluate and measure the performance of photovoltaics in the direction of deviation to the southeast and southwest was addressed. The angles of the variable azimuths were examined.

According to the obtained results, the amount of change in the amount of energy produced by the Photovoltaic-integrated Shading systems by changing the degree of azimuth to the southeast and southwest was investigated to determine the effect on the energy output of the system.

In sample 12, the change of azimuth did not change the performance of the system, but in sample 8, due to the initial energy production of 725.8 kWh per year, this figure showed an increase in performance by changing the direction of rotation to the southwest, the highest value at an angle of 20 Indicates a degree to the southwest of 729.5; Also, the further deviation is not directly related to performance improvement and we see a decrease in system performance at a -30 degree angle. According to the amount of energy required for the building and the energy produced by Photovoltaic-integrated and according to 1 Equation, the efficiency of the system can be obtained. Yield estimates for all samples are presented in Figure 1.

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Power Out}}{\text{Power In}} \quad (1)$$

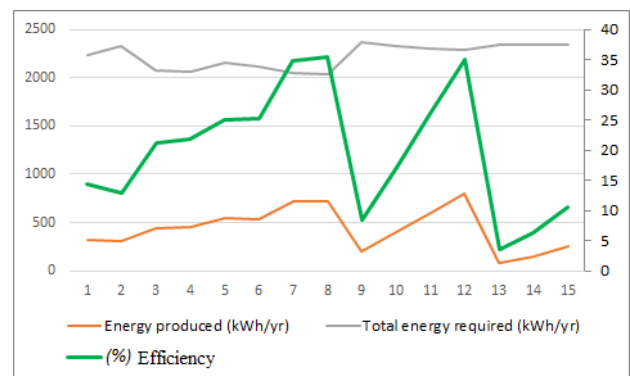


Figure 1. The Energy efficiency of simulated samples

According to the results obtained from Figure 1, the highest efficiency is observed in sample 8 Photovoltaic-integrated Louvre Shading systems with 4 blades and a slope angle of 45 degrees, and a width of 1 meter. This indicates that despite the shading of the blades on the

window surface, energy efficiency has increased with increasing blade angle and number and increasing the surface area of the panels. Sample 12, Photovoltaic-integrated horizontal shading systems with a width of 2 meters, shows the second rank of the best efficiency among the samples. This indicates that despite the shading of the blades on the window surface, energy efficiency has increased with increasing blade angle and the number and size of panel surfaces. Sample 12, Photovoltaic-integrated horizontal shading systems with a width of 2 meters, shows the second rank of the best efficiency among the samples.

3. Conclusions

Shading systems cure building energy performance and user comfort by controlling glare, natural light, and solar gain. On the other hand, the Photovoltaic-integrated Shading systems build new opportunities for integrated photovoltaics with the building; the performance of these systems in different conditions of integration is very different from the building. According to the simulation performed in the research, based on the climate and geographical location of Shiraz, the integrated photovoltaic system with a horizontal canopy shows good performance; As the photovoltaic system integrated with the horizontal canopy (Louvre) showed 35.54% energy efficiency, which indicates the efficiency and effectiveness of this system in reducing heating energy and energy production and controlling daylight simultaneously. Furthermore, the results showed that by applying a change in the azimuth of the system by 20 degrees to the southwest, we will see a 35.73% reduction in energy consumption. Therefore, considering the potential of such systems, they can be used as an efficient solution that in addition to providing thermal comfort to prevent radiation, provide part of the building energy. As it was found from the results of this study, the integration of the shading system with photovoltaics in addition to reducing the annual energy demand of the building through energy production improves the overall energy performance of the building and will play an important role in reducing energy consumption and to providing

thermal comfort. In the context of future research proposals, a wider variety of shading systems in other building orientations can be compared and evaluated. Also, the development of studies for other high-consumption buildings such as commercial and residential buildings and in other climatic areas of the country can be considered in future research.

4. References

- [1] P. Reddy, M. V. N. Surendra Gupta, S. Nundy, A. Karthick, A. Ghosh, Status of BIPV and BAPV System for Less Energy-Hungry Building in India- Review, *Applied Sciences*, Vol. 10, No. 7, 2020.
- [2] M. M. Fouad, A. Lamia Shihata, A. H. Mohamed, Modeling and Analysis of Building Attached Photovoltaic Integrated Shading Systems (BAPVIS) Aiming for Zero Energy Buildings in Hot Regions, *Journal of Building Engineering*, Vol. 21, pp. 18-27, 2018.
- [3] L. S. Aguacil, E. Rey, Active surfaces selection method for building integrated photovoltaics (BIPV) in renovation projects based on self-consumption and self-sufficiency, *Energy & Buildings*, Vol. 193, pp. 15-28, 2019.
- [4] G. Bizzarri, M. Gillott, V. Belpoliti, The potential of semitransparent photovoltaic devices for architectural integration. The development of device performance and improvement of the indoor environmental quality and comfort through a case-study application. *Sustainable Cities and Society*, Vol.1, No.3, pp. 178–185, 2011.
- [5] A. I. Palmero-Marrero, A. C. Oliveira, Evaluation of a solar thermal system using building louver shading devices, *Solar Energy*, Vol.80, pp. 545–554, 2006.
- [6] M. Hazbei, Natural ventilation in Shodan, Dezful city using CFD model, *Bagh-e Nazar*, Vol.30, pp. 37-48, 2013. (In Persian)
- [7] N. Amani, M. Mashad Moghadas, Feasibility study of building a zero energy building in a cold and semi-arid region, Case study of Mashhad, *Environmental Science and Technology*, Vol.22, No.5, pp. 57-71, 2018. (In Persian).
- [8] Solar radiation of Shiraz, Accessed 2 January 2021, <https://globalsolaratlas.info>. 2022.
- [9] Department of Housing and Urban Development Deputy Minister of Housing and Construction, *National Building Regulations of Iran*, The second issue Administrative systems, 2005. (In Persian).

ارزیابی عملکرد فتوولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان در اقلیم گرم و خشک (نمونه موردی ساختمان اداری در شهر شیراز)

لیلا جعفری^۱، سیده مامک صلواتیان^{۲*}

۱- دانشجوی دکترا، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲- استادیار، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

* رشت، صندوق پستی: ۴۱۳۳۵۳۵۱۶، salavatian@iaurasht.ac.ir

چکیده

سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با سایبان^۱ اجزای چندمنظوره‌ای برای تولید جریان برق و به‌طور هم‌زمان تأمین سایه موردنیاز سطوح و جداره‌های ساختمانی هستند. با توجه به کاربردی بودن سیستم‌های مذکور در صنعت ساخت‌وساز امروز و پاسخ به چالش‌های مصرف انرژی، به‌منظور ارزیابی عملکرد فتوولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان در بهینه‌سازی مصرف انرژی نیاز به مطالعه تأثیر فتوولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان بر انرژی در شهر شیراز موردتوجه قرار گرفت. از این‌رو، ۱۵ سناریوی فتوولتائیک یکپارچه با سایبان برای نمای یک اتاق اداری با استفاده از برنامه‌های دیزاین بیلدر^۲ و پی‌وی سیستم^۳ موردبررسی قرار گرفت؛ بر اساس نتایج پژوهش حاصل از تجزیه‌وتحلیل سناریوها، سیستم فتوولتائیک یکپارچه با سایبان با ۴ لور و زاویه شیب ۴۵ درجه و آزیموت صفر درجه (رو به جنوب) دارای بیشترین بازدهی با میزان بازدهی انرژی ۳۵.۵۴٪ در مقایسه با سایر سناریوها بوده که بیانگر کاهش مؤثر انرژی گرمایشی و کارآمدی آن به‌عنوان سیستم ترکیبی فتوولتائیک در تولید انرژی و کنترل تابش خورشید به‌صورت هم‌زمان بوده است. مطالعه حاضر با ارائه اطلاعات موردنیاز از پارامترهای طراحی فتوولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان، زمینه توسعه فناوری فتوولتائیک یکپارچه با اجزای ساختمان را در گام‌های طراحی مهیا می‌سازد.

کلیدواژگان: فتوولتائیک یکپارچه، سیستم سایبان، اقلیم گرم و خشک، مصرف انرژی

Evaluation of photovoltaic performance integrated with shading system in optimizing building energy consumption in hot arid climates (Case study: an office building in Shiraz)

Leila Jafari¹, Seyedeh Mamak Salavatian^{2*}

1- Ph.D. Student, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

2- Assistant Professor, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

* P.O.B. 413353516 Rasht, Iran, salavatian@iaurasht.ac.ir

Received: 16 February 2022 Accepted: 19 May 2022

Abstract

Photovoltaic-integrated Shading systems, are multifunctional components to generate electricity and simultaneously provide the shade needed for building surfaces and walls. Applying integrated photovoltaic systems with building components, including fixed shadings, in addition to regulating the penetration of sunlight and saving energy, seems to be a fully functional approach due to the production of part of the buildings' energy. Therefore, to evaluate the performance of Photovoltaic-integrated Shading systems, in optimizing energy consumption, the need to study the effect of Photovoltaic-integrated Shading systems, on energy in Shiraz was considered. Therefore, 15 Photovoltaic-integrated Shading systems scenarios for the facade of an office space model were calculated using the DesignBuilder simulation program and PVsyst. According to the results, the Photovoltaic-integrated Shading systems, designed with 4 louvers with a slope angle of 45 degrees and zero degrees azimuth (facing south) has the highest efficiency compared to other scenarios and shows an energy efficiency of 35.54%, which indicates an acceptable decrease. The heating energy has been effective as well as its efficiency as a combined photovoltaic system in producing energy and controlling solar

1. Photovoltaic Integrated Shading Systems (PVIS)

2. Design builder

3. PVsyst

radiation simultaneously. The present study provides the required information on the parameters of Photovoltaic-integrated Shading systems and paves the way for the development of photovoltaic technology integrated with building components in the design steps.

Keywords: Photovoltaic-integrated, BIPV, shading system, hot arid climate, energy consumption.

۱- مقدمه

سیستم فتوولتائیک یکی از امیدوارکننده‌ترین فناوری‌های تولید انرژی پاک است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی که مقدار زیادی گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کند، باشد. از این رو به‌کارگیری فتوولتائیک در طراحی ساختمان یکی از رویکردهای جامع در صنعت ساختمان است [۱]. ادغام فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در زیرساخت‌های انرژی موجود نقشی اساسی در بهبود پایداری شهرها دارد [۲].

سیستم فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان^۱ و بکار رفته در ساختمان^۲ دو نوع اصلی از کاربرد این نوع سیستم‌ها است. فتوولتائیک‌های به‌کاررفته در ساختمان برای اشاره به فتوولتائیک‌هایی به کار می‌روند که پس از تکمیل ساخت ساختمان، در آن نصب می‌شوند؛ درحالی‌که فتوولتائیک‌های یکپارچه ساختمان مفهوم جایگزینی پوشش معمول ساختمان مانند پنجره، دیوار، سقف توسط فتوولتائیک را نشان می‌دهد [۱]. سیستم‌های فتوولتائیک امروزه به پوسته‌های موجود ساختمان متصل می‌شوند، به‌عنوان فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان شناخته می‌شوند از جمله این سیستم‌ها، عناصر چندمنظوره‌ای هستند که به‌عنوان سایبان نیز ایفای نقش کرده و فتوولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان خوانده می‌شوند این سیستم‌ها می‌توانند باعث کاهش بار حرارتی داخلی و نیازهای شوند و به‌عنوان یک مولد برق در راستای دستیابی به ساختمان‌های انرژی صفر عمل کنند [۳]. از این رو سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه هم به‌عنوان بخشی از پوسته ساختمان و نیز به‌عنوان مولد برق در محل، می‌توانند به‌طور هم‌زمان استفاده از سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند [۴].

به‌طور کلی ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر ساختمان‌ها انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری بسته به موقعیت و ابعاد ساختمان، سیستم‌های روشنایی و سیستم‌های تهویه مطبوع، انواع و تعداد تجهیزات مورد استفاده در آن در محدوده بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلووات ساعت در هر مترمربع است [۵]. مطالعات انجام‌شده در ایالات متحده آمریکا نشان می‌دهد که به‌طور متوسط شدت مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری ۳۰۰ کیلووات ساعت در هر مترمربع است که حدود ۷۰ درصد آن در بخش روشنایی و تهویه مطبوع مصرف می‌شود؛ این در حالی است که در بریتانیا ۷۲ درصد [۶]، و در کانادا ۶۰ درصد [۷]، مصرف انرژی به این دو بخش تعلق دارد.

ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر کاربری‌ها بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در بخش ساختمان‌اند؛ از این رو با ارائه راهکارهای بهینه-سازی مصرف انرژی، ارتقای کارایی و اصلاح الگوی بهره‌برداری می‌توان با کاهش میزان انرژی مصرفی، آسایش موردنظر کاربران را فراهم کرد [۸].

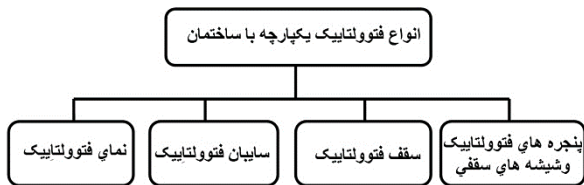
در طول قرن گذشته، نسبت پوسته شفاف ساختمان‌های اداری به میزان قابل‌توجهی افزایش‌یافته است [۹]. به دلیل خاصیت عایق حرارتی پایین

شیشه در مقایسه با مواد غیر شفاف ساختمانی، بخش شفاف پوسته ساختمان از جهت کنترل جریان انرژی خورشیدی به‌منظور حفظ حرارت و همچنین شرایط دیداری داخلی ساختمان نقش مهمی را دارد. لذا نمای شفاف به یک سیستم کنترل اضافی احتیاج دارد تا از تابش خورشید در دوره بیش‌ازحد گرم جلوگیری نموده و نیازهای حرارتی کافی را در طول دوره سرما فراهم کند و شرایط راحت بصری را در ساعات کاری تأمین نماید. با توجه به این واقعیت که سیستم‌های غیرفعال در اکثر مواقع برای کنترل تقاضای خورشیدی و حرارتی کاملاً کارآمد نیست، از سیستم‌های فعال به‌صورت مکمل برای رسیدن به تعادل فضای داخلی از نظر حرارتی و بصری استفاده می‌شود. در نتیجه، ساختمان‌های امروزی تحت کنترل سیستم‌های فنی گرمایش، سرمایش، تهویه هوا و روشنایی مصنوعی هستند که اغلب منجر به مصرف بالای انرژی الکتریکی می‌شود [۱۰]. به‌طور کلی، ارزیابی انواع مختلف سایبان‌های خارجی ثابت در مورد مصرف کل انرژی به نتیجه‌گیری قطعی نرسیده است [۱۱]. از سوی دیگر، توجه به جنبه‌های زیبا شناسانه در زمینه ادغام فتوولتائیک در نمای ساختمان در کنار توجه به کاهش مصرف انرژی و حداکثر تولید برق توسعه‌یافته است [۱۲]. لذا استفاده از سیستم‌های سایبان، به‌عنوان یک محافظ مضاعف در برابر تابش آفتاب، می‌تواند به توازن کلی انرژی این سیستم‌ها کمک کند و به‌عنوان وسیله‌ای مقرون‌به‌صرفه و قابل‌قبول از نظر زیبایی و همچنین در جهت ادغام با سیستم تجدیدپذیر در ساختمان‌ها لحاظ گردد [۱۳].

از جمله وظایف وزارت نیرو و سازمان‌های مربوط در برنامه‌های توسعه به‌خصوص برنامه چهارم و پنجم توسعه و سند بالادستی انرژی، تنوع‌بخشی به سبد انرژی کشور است. چراکه این امر موجب افزایش امنیت تأمین انرژی کشور خواهد شد که خود متضمن افزایش امنیت ملی است. لذا در کنار سایر منابع انرژی همانند انرژی هسته‌ای، توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر نیز از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۴]. با وجود خط‌مشی پیش‌بینی‌شده در برنامه‌های توسعه‌ای کشور، میزان وابستگی به سوخت‌های فسیلی در تأمین تقاضای انرژی کشور بسیار بالا است؛ بنابراین برای رسیدن به اهداف برنامه چهارم و پنجم، توسعه کاربرد انرژی‌های نو از جمله زمین‌گرمایی، باد، خورشید، برق‌آبی و زیست‌توده اهمیت بسیار بالایی دارد، اما توجه جدی به این موضوع صورت نمی‌پذیرد [۱۵].

ایران بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار دارد که از نظر پتانسیل دریافت انرژی خورشیدی موقعیت مطلوبی دارد و تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده می‌شود که بالاتر از میانگین جهانی است بر اساس گزارش‌ها، میانگین سالانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در بیش از ۹۰ درصد از خاک ایران ثبت می‌شود که منبع بالقوه انرژی بسیار قابل‌توجهی را تولید می‌کند [۱۶]. ظرفیت‌های بالقوه ایران در زمینه تأمین بخش چشمگیری از تقاضای انرژی خود با تأکید بر تولید برق از منابع تجدیدپذیر انرژی است. در حال حاضر ظرفیت کل نیروگاه‌های کشور در تولید برق موردنیاز ۶۵ هزار مگاوات است که امکان تولید ۲۲۰۸ مگاوات

1. BIPV
2. BAPV



شکل ۱ انواع فتولتائیک‌های یکپارچه با ساختمان [۲۰]

سیستم‌های فتولتائیک در پشت‌بام‌ها و نمای ساختمان‌های مسکونی با توان پایین (در محدوده چند کیلووات) در تأمین منابع انرژی توزیع شده و برنامه‌های شبکه هوشمند در آینده نقش عمده‌ای را دارا هستند [۲۱].

با این حال، سایه‌اندازی جزئی در چنین سیستم‌های فتولتائیک با توان کم که ناشی از آسمان ابری، ساختمان‌های همسایه، درختان و سایر اشیاست، مانع تولید حداکثر انرژی آن‌ها، به‌ویژه در مناطق شهری و نصب در ارتفاع پایین می‌شود [۲۲، ۲۳].

فتولتائیک یکپارچه با ساختمان به‌عنوان یک فناوری امیدوارکننده در نظر گرفته شده است که هزینه‌های چرخه عمر ساختمان را کاهش می‌دهد و به‌طور هم‌زمان در تولید انرژی نقش دارد. در این راستا، سیستم‌های سایه‌انداز فتولتائیک^۶ بخش مهمی از فتولتائیک‌های یکپارچه با ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهند که با ایجاد مانع در مقابل تابش مزاحم و همچنین کاهش مصرف انرژی سرمایشی، در تولید انرژی نقش دارند [۲۴]. بسیاری از انواع مختلف سلول‌های خورشیدی و روش‌های کاربردی برای سیستم فتولتائیک مانند سلول‌های خورشیدی کریستالی، سلول‌های خورشیدی با لایه‌نازک و فتولتائیک‌های یکپارچه با ساختمان به‌عنوان بازشو، سیستم‌های سایه‌انداز، نمای دوپوسته و غیره ساخته شده است که از نکات مهم آن نته‌نهای کارایی صفحه پانل خورشیدی بلکه کاربردهای مؤثر در شرایط مختلف ساختمان‌ها برای کاهش بار گرمایش و سرمایش است [۲۵]. تحقیقات مختلفی در زمینه یکپارچگی فتولتائیک با ساختمان انجام شده است. گیندی و همکاران [۲۶]، در تحلیلی که از سیستم فتولتائیک برای یک ساختمان اداری با توجه به شبیه‌سازی‌ها انجام دادند دریافتند که فتولتائیک یکپارچه در سقف و در ارتفاع جنوبی میزان تولید انرژی بهتری را نشان داده است. به دنبال آن دستگاه سایه‌انداز نصب شده در ارتفاع غرب با زاویه تمایل ۳۰ درجه غربی نشان داد که مدول‌های فتولتائیک با انتخاب جهت‌گیری مناسب، زاویه‌های شیب و انتخاب مناسب نوع مدول‌ها، در تأمین انرژی ساختمان‌های اداری دارای نقش مؤثری هستند. همچنین بر طبق تحقیقات ابراهیم و همکاران [۲۷]، مشخص گردید بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته بر بهینه‌سازی پارامترهای سیستم فتولتائیک و تأثیر آن بر عملکرد سیستم متمرکز بوده و مطالعات محدودی در مورد سیستم‌های یکپارچه فتولتائیک با سایبان وجود دارد که در آن‌ها از یک رویکرد جامع برای ارزیابی سیستم استفاده شده است و به‌طور کامل نقش همه عوامل تأثیرگذار مشخص شده است.

۳- انواع سایبان و نقش آن در مصرف انرژی

استفاده از سایبان ثابت باعث کاهش تابش انرژی خورشید می‌شود. این واقعیت، مسئله تعادل بین کاهش انرژی سرمایشی در تابستان و افزایش انرژی گرمایشی در زمستان را ایجاد می‌کند [۲۸، ۲۹]. مزایای قابل توجه سیستم‌های سایه‌انداز عبارتند از: حفظ درجه حرارت مناسب در فضای

به کمک انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد. حتی با یک نگاه خوش‌بینانه این رقم را می‌توان تا سقف ۱۰ هزار مگاوات نیز ارتقا بخشید [۱۵]. در ایران استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند جایگزین مناسبی برای مصرف سوخت فسیلی باشد که منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود. با توجه به راندمان انرژی بالای دستگاه سایبان (فتولتائیک یکپارچه با ساختمان) و همچنین پتانسیل بالای ایران برای دریافت تابش خورشیدی [۱۷]، و با توجه به موارد مطرح شده و تحقیقات گذشته به نظر می‌رسد که استفاده از این نوع سیستم فتولتائیک با توجه به منطقه موردنظر طراحی یعنی اقلیم گرم و خشک می‌تواند نقش مؤثری در کاهش انرژی سالیانه ساختمان ایفا کند؛ چراکه با توجه به آنکه ساعت کاری ساختمان‌های اداری که عمدتاً در طول روز و هم‌زمان با تابش مؤثر خورشید مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان انتظار عملکرد مناسبی را برای سیستم‌های فتولتائیک‌ها داشت. از این رو انتخاب نوع بهینه سایبان و تلفیق مناسب آن با فتولتائیک می‌تواند میزان بالایی از بهره‌وری انرژی در این‌گونه ساختمان‌ها را فراهم آورد.

هدف این مقاله ارزیابی و مقایسه‌ای بین انواع مختلف فتولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان خارجی ساختمان و تأثیر آن در بهینه‌سازی عملکرد انرژی در یک ساختمان اداری با ساختار متداول در شهر شیراز به‌عنوان نمونه‌ای برای این‌گونه ساختمان‌هاست.

لذا سؤالات زیر در خصوص بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در ساختمان‌های اداری پیش روی محققین قرار دارد:

- طراحی فتولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان تا چه اندازه در بهبود عملکرد سرمایشی و گرمایشی ساختمان اداری شهر شیراز مؤثر واقع خواهد شد؟
- کدام یک از انواع چیدمان فتولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان طراحی شده بهترین عملکرد انرژی در ساختمان اداری شهر شیراز خواهند داشت؟

۲- فتولتائیک در ساختمان

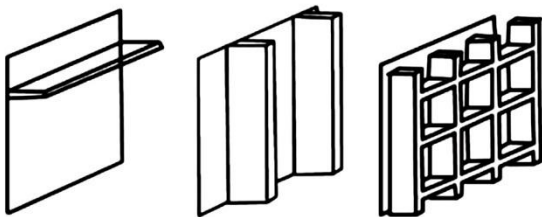
یک عامل مهم برای کاربرد فتولتائیک در ساختمان، استفاده از آن نته‌نهای به‌عنوان پنل‌های خورشیدی بلکه کاربرد مؤثرتر آن با اهدافی چندمنظوره در ساختمان‌ها است. به‌طور کلی، بیشتر سطوح ساختمان امکان ادغام مدول‌های فتولتائیک^۱ را دارا هستند که می‌تواند در چهار دسته اصلی دسته‌بندی شود: (۱) نمای فتولتائیک^۲ شامل جدار دیوارها، شیشه و غیره، (۲) سقف فتولتائیک^۳ شامل سفال، نورگیرهای سقفی و غیره، (۳) پنجره‌های فتولتائیک^۴ و شیشه‌های سقفی شامل فیلم نازک^۵، شیشه نازک شفاف^۶ و غیره، (۴) سایبان فتولتائیک^۵ شامل صفحات و لوورها و غیره [۱۸، ۱۹]. شکل ۱ نمای کلی از دسته‌بندی انواع فتولتائیک در ساختمان را ارائه می‌دهد.

1. PV
2. PV- Facades
3. Thin films
4. laser-etched thin films, transparent thin films
5. PV- Sunshades

6. PVSD

نتایج پژوهش‌های هرناندز و همکاران (۲۰۱۷)، نشان‌دهنده نقش مهم لوورها در آسایش بصری و حرارتی کاربران محیط است [۳۸]. در سال ۲۰۱۰ پژوهشی با عنوان تأثیر سیستم سایه‌انداز لوور بر میزان انرژی مصرفی ساختمان صورت گرفته است که به بررسی میزان تأثیر نصب لوورهای خارجی بر میزان مصرف انرژی می‌پردازد. این پژوهش نشان می‌دهد که ادغام سیستم سایه‌انداز لوور در ساختمان منجر به بهبود شرایط حرارتی در فضای داخلی می‌گردد و سبب کاهش مصرف انرژی در مقایسه با یک ساختمان معمولی می‌شود [۳۹]. مناسب بودن هر نوع سایه‌انداز به عوامل مختلفی مانند عرض و طول جغرافیایی محل، موقعیت ساختمان، زاویه تابش خورشید، شرایط آب و هوایی منطقه، جهت پنجره یا نما و غیره بستگی دارد [۳۳]. هنگامی که تابش خورشید به صورت مستقیم در زاویه بالا مانند جنوبی ساختمان قرار دارد، سیستم سایه‌انداز افقی مناسب‌ترین گزینه است [۴۰، ۴۱].

طبق اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده، ساختمان‌های اداری بیش از هر نوع ساختمان تجاری دیگر انرژی مصرف می‌کنند که این میزان مصرف انرژی دفاتر ۱۷٪ ثبت شده است [۴۲]. از جهت دیگر نمای ساختمان در جهت افزایش جنبه‌های زیبایی‌شناختی و عملکرد انرژی ساختمان، مهم‌ترین دغدغه معماران در روند ارتقا شرایط ساختمان است. به همین دلیل از اشکال مختلف جانمایی فتولتائیک در نما استفاده شده است؛ مانند استفاده از پانل‌های فتولتائیک به عنوان پوشش نهایی، ادغام پانل‌های فتولتائیک در پنجره‌های نمای و استفاده از فتولتائیک به عنوان سیستم‌های سایه‌انداز [۴۳].

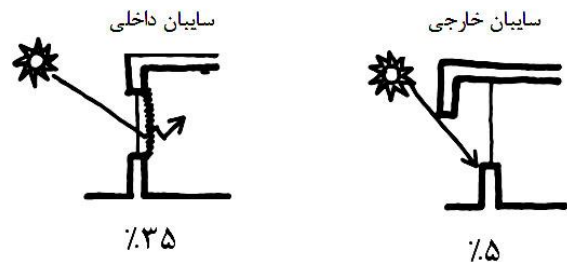


شکل ۳ عناصر سایه‌انداز خارجی از راست به چپ سه نوع افقی، عمودی و جعبه تخم‌مرغی [۳۵]

۳-۱- فتولتائیک یکپارچه با سایبان

سیستم فتولتائیک یکپارچه با سایبان نه تنها به عنوان یک سیستم برای تولید برق بلکه به عنوان سایه‌انداز برای کاهش بار انرژی سرمایشی مناسب هستند. تکنیک‌های مدل‌سازی برای شبیه‌سازی سیستم فتولتائیک به‌طور گسترده‌ای توسعه یافته است [۴۴]. به‌طور خاص، مدل‌های فتولتائیک استفاده شده به عنوان دستگاه سایه‌انداز در بسیاری از ساختمان‌ها در سراسر جهان طراحی و استفاده شده است. از سال ۱۹۹۶، در دانشگاه آلبانی از مدل‌های فتولتائیک برای سایبان‌هایی که با تولید انرژی ۱۵ کیلووات بر ثانیه به‌طور هم‌زمان بارهای انرژی سرمایشی را کاهش دهد، استفاده شده است [۴۵]. در یک سیستم ساختمانی، جهت‌گیری ساختمان به عنوان یکی از عوامل اصلی در بهینه‌سازی سیستم‌های سایه‌انداز فتولتائیک است [۴۶]. همچنین صفحات فتولتائیک برای عرض‌های جغرافیایی مختلف در نظر گرفته می‌شوند که به نظر می‌رسد جنوب و جنوب شرقی مناسب‌ترین جهت است [۴۷]. از سوی دیگر برای تعیین نوع مناسب سایه‌انداز برای یکپارچه‌سازی با ساختمان عواملی چون ابعاد، مکان و جهت و همچنین ضریب سایه‌اندازی و

داخلی (کاهش انرژی سرمایشی و کاهش تقاضای نور مصنوعی)، دید مناسب (کاهش تابش خیره‌کننده و بهبود بهره‌وری)، کنترل نور روز (حفظ سطح کافی نور روز)، تعامل کاربران و استفاده بیشتر از فضا (بهبود محیط)، حریم خصوصی محیطی (محافظت از فضاهای داخلی در برابر محیط خارجی) [۳۰]. انتخاب سایبان برای ساختمان‌های اداری با توجه به استانداردهای بسیار خاص آسایش بصری و حرارتی و نیاز به مصرف کم انرژی، از اهمیت بالایی برخوردار است [۳۱]. سایبان‌های انواع مختلفی دارند (۱) سایبان‌های خارجی: که در خارج از پنجره نصب می‌شوند؛ این‌گونه سایبان‌ها بیشترین عملکرد را در کاهش حرارت دریافتی از خورشید دارند. سایبان‌های خارجی قسمت عمده‌ای از تشعشعات خورشید را قبل از اینکه به سطح دیوار یا پنجره ساختمان برسد، کنترل می‌کنند. (۲) سایبان‌های داخلی: بیشتر در مکان‌هایی که حفاظت در برابر تابش آفتاب از لحاظ کنترل آسایش بصری دارای اهمیت است، مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ چراکه کارایی این‌گونه از سایبان‌ها در ممانعت از ورود گرما به فضای داخل، از سایبان‌های خارجی کمتر است. برای عملکرد بهتر این دسته از سایبان‌ها، استفاده از رنگ روشن در سمت رو به پنجره سبب می‌شود که سهم زیادی از نور خورشید به بیرون منعکس شده و همچنین فاصله بسیار اندک آن‌ها از سطح پنجره مانع از جریان یافتن هوای گرم اطراف پنجره به داخل ساختمان شود. (۳) سایبان‌های میانی: محل قرارگیری این‌گونه از سایبان بین دو جدار شیشه پنجره‌ها است. این نوع سایبان نسبت به سایبان‌های داخلی از عملکرد مناسب‌تری در جلوگیری از ورود انرژی گرمایی خورشید برخوردارند [۳۲]. همان‌طور که گفته شد سیستم‌های سایه‌انداز می‌توانند داخلی و خارجی باشند؛ اما سیستم‌های سایه‌انداز خارجی نسبتاً مطلوب‌تر هستند زیرا در کاهش تابش انرژی خورشیدی مؤثرتر هستند [۳۳، ۳۴]. سیستم سایه‌انداز خارجی تا ۹۵٪ از تابش خورشیدی را که به سطح ساختمان برخورد می‌کند، محدود می‌سازد مطابق شکل ۲ [۳۵].



شکل ۲ درصد نفوذ تابش خورشیدی به داخل با توجه به سایه‌انداز داخلی و درصد نفوذ تابش خورشیدی به داخل با توجه به سایه‌انداز خارجی [۳۵]

همان‌گونه که بیان شد استفاده از عناصر سایه‌انداز به عنوان یک استراتژی مؤثر در طراحی غیرفعال ساختمان و باهدف کاهش دریافت تابشی در ساختمان‌ها استفاده می‌شود. عناصر سایه‌انداز خارجی به سه نوع افقی، عمودی و جعبه تخم‌مرغی (ترکیب دو حالت قبلی) تقسیم می‌شوند شکل ۳ [۳۵]. علیرغم ویژگی‌های متفاوت ظاهری، عملکرد هسته اصلی استفاده از عناصر سایه‌انداز، به حداقل رساندن تابش دریافتی خورشید از سطح شیشه است [۳۶]. از جمله راهکارهای مناسب به منظور کنترل نور ورودی استفاده از سیستم‌های سایه‌انداز و محدودکننده نور مانند لوورها است [۳۷].

در نرم‌افزار دیزاین بیلدر^۱ که امکان شبیه‌سازی فضاهای معماری با در نظر گرفتن خصوصیات اقلیمی را فراهم می‌آورد، عملکرد حرارتی مدل ساخته‌شده مورد آزمون قرار گرفت. این نرم‌افزار از موتور مدل‌سازی انرژی پلاس استفاده می‌کند که با توجه به اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی باکیفیت توسط لابراتوار ملی اوک ریج^۲ مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است [۵۵]. این نرم‌افزار گرافیکی شبیه‌سازی مصارف انرژی در ساختمان است که حل مسئله آن توسط موتور قدرتمند «انرژی پلاس» انجام می‌شود. موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و به‌عنوان یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی شناخته شده است. اعتبار نرم‌افزار بر اساس استانداردهای بست آزمودن^۳ و اشری ۱۴ تأیید شده است [۵۶، ۵۷].

شهر شیراز در منطقه نیمه گرم و خشک ایران قرار گرفته و با توجه به مصرف انرژی برق در سال ۱۳۹۹ انرژی مصرفی مشترکین تحت پوشش شرکت برق منطقه‌ای فارس بالغ بر ۴۳۶۲۷۰۰ مگاوات ساعت بوده است که این مصرف مربوط به مشترکین بزرگ در بخش عمومی و صنعتی هست [۵۸]. همچنین با توجه به تابش خورشیدی شهر شیراز می‌توان دریافت که این منطقه از فراوانی تابش خورشید برخوردار است [۵۹]. کل تابش سالانه، میانگین تابش روزانه و درصد تکرار روزهای آفتابی به ترتیب ۷۲۵۰ میکرو ژول بر مترمربع، ۱۹۰۹ میکرو ژول بر مترمربع و ۵۸ درصد است [۶۰]. که امکان بهره‌گیری از تابش خورشید در راستای کاهش مصرف انرژی ساختمان در شهر شیراز را نمایان می‌سازد. با توجه به مطالب بیان شده و با توجه به تأمین آسایش حرارتی و لزوم کاهش مصرف انرژی با توجه به افزایش قیمت حامل‌های انرژی و حذف یارانه‌های این بخش، اهمیت توجه و کنترل مصرف انرژی و بهره‌گیری از انرژی‌های جایگزین مانند انرژی خورشیدی بیش‌ازپیش مشخص می‌گردد.

با توجه به داده‌های آب و هوایی شهر شیراز و بر اساس جهت‌گیری مناسب ساختمان‌ها در این اقلیم، ابعاد فضاها، جنس جداره‌ها، نوع بازشوهای متناسب و جهت آن‌ها و میزان فعالیت کاربران به‌عنوان مؤلفه‌های ثابت در این پژوهش مفروض است که مقادیر در نظر گرفته شده در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به ساعات شروع و پایان فعالیت ساختمان‌های اداری زمان فعالیت بین ۷ صبح تا ۴ بعدازظهر در نظر گرفته شد. همچنین با توجه به نوع فضای انتخابی، سطح اشغال توسط افراد بر اساس ۰.۳۳ به ازای هر مترمربع در نظر گرفته شده و امکانات و ابزار مورد استفاده یک فضای اداری تعریف گردید. نوع مصالح برای پوسته خارجی ساختمان نیز بر اساس ضریب هدایت حرارتی بهینه معین گردید. همچنین تنوع سایبان‌های طراحی شده با توجه به نوع و ابعاد و اندازه و زاویه استقرار به‌صورت مجزا مشخص گردید که مشخصات مرتبط با هر نوع سایبان در جدول ۳ و ۴ و ۵ به ترتیب نوع طراحی لحاظ شده آمده است. در مرحله بعد میزان انرژی سرمایشی و گرمایشی لازم برای مدل موردنظر با توجه به مشخصات هر نمونه محاسبه گردید. سپس در نرم‌افزار پی‌وی‌سیست با توجه به سطح و زاویه و نوع سایبان‌ها پنل‌های فتوولتائیک برای قرارگیری بر سطح سایبان‌ها برای ۱۵ نمونه مورد مطالعه در نظر گرفته شد و در نهایت میزان تولید انرژی این پنل‌های یکپارچه به تفکیک نوع سایبان برآورد شد. نرم‌افزار پی‌وی‌سیست در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک کاملاً جامع و کاربردی عمل می‌کند و شامل

ضریب نور روز باید در نظر گرفته شوند [۴۶]. ابعاد پنل‌های فتوولتائیک به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در مطالعات بسیاری مورد توجه قرار گرفته است [۲۷، ۴۸]. آن‌ها با توجه به طرح کلی سیستم‌ها انتخاب شده که از یک محصول به محصول دیگر متفاوت هستند و صرف‌نظر از سطح، ابعاد مختلف پاسخ‌های متفاوتی را نشان می‌دهند [۲۷، ۴۹].

سیستم‌های سایه‌انداز فتوولتائیک می‌توانند از دو طریق به کاهش مصرف کلی انرژی کمک کنند: با کاهش دریافت مستقیم انرژی خورشید در طول دوره بیش‌ازحد گرم و همچنین تولید برق برای گرمایش و روشنایی و عملکرد سیستم‌های سرمایش ساختمان، ادغام فتوولتائیک در سیستم‌های سایه‌انداز یک راه‌حل میانی است که بین «سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان» و «فتوولتائیک بکار رفته به ساختمان» وجود دارد [۵۰]. ترکیبی از تولید برق به همراه بهبود شرایط کیفی داخلی باعث می‌شود تلفیق سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان در سیستم‌های سایه‌اندازی کاربرد بسیار امیدوارکننده‌ای در فناوری ساختمان است [۵۱].

لی ژو و همکاران (۲۰۱۷)، بر اساس شبیه‌سازی انجام‌شده مشخص کردند که زاویه شیب بهینه سالانه و ماهانه سیستم‌های سایه‌انداز فتوولتائیک برای بهینه‌سازی انرژی مؤثر بوده و پنل‌های فتوولتائیک نصب‌شده در جهت جنوب دارای پتانسیل بیشتر صرفه‌جویی در انرژی نسبت به پنل‌های نصب‌شده در شرق و غرب برای تمام مناطق آب و هوایی هستند [۵۲]. همچنین با توجه به تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی‌ها مشخص گردید که نمای سایه‌انداز فتوولتائیک ۲۰ تا ۸۰ درصد صرفه‌جویی در انرژی را بسته به کارایی سیستم گرمایشی و سرمایشی نشان می‌دهد [۵۳]. همچنین در پژوهشی که توسط پیرسلامی و گلبهار حقیقی (۱۳۹۵)، صورت گرفت مشخص شد که شهر شیراز از پتانسیل مناسبی برای بهره‌گیری از پنل‌های خورشیدی با آرایه ثابت برخوردار است [۵۴].

علی‌رغم مزایا و ضرورت کاربرد منابع انرژی تجدیدپذیر، کشور ما با وجود پتانسیل بسیار بالا در کاربرد منابع تجدیدپذیر، در این زمینه رشد چشمگیری نداشته و فاصله میان نقطه تعالی در نظر گرفته شده در برنامه‌های توسعه‌ای کشور طی سال‌های اخیر برای رشد و توسعه کاربرد این منابع نسبت به وضعیت کنونی همچنان زیاد است. به‌منظور کاهش این فاصله، شناسایی دقیق و درست نقاط قوت و ضعف کاربرد این منابع در کشور و ارائه راه‌حلی منطقی و مناسب جهت توسعه آتی آن‌ها اهمیت دارد. لذا لزوم مطالعه در جهت ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان‌های اداری - به‌عنوان بخش مهم مصرف‌کننده انرژی - مورد توجه قرار گرفت و در این زمینه، سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان‌ها به‌عنوان یک استراتژی در جهت انطباق برای چالش‌هایی مانند کاهش مصرف انرژی ساختمان ارائه گردیده‌اند. باین‌حال، مطالعات محدودی به ارزیابی عملکرد این نوع سیستم‌ها در کشور و خصوصاً در شهر مورد مطالعه و اقلیم موردنظر پرداخته‌اند. در این پژوهش سعی شده است با ارائه دقیق و کمی از عملکرد این نوع سیستم‌ها با مشخص نمودن پتانسیل‌های موجود در این زمینه راهکارهای مناسب جهت طراحی این‌گونه سیستم‌ها ارائه دهد.

۴- روش تحقیق

هدف از این پژوهش، تعیین معیارها و ویژگی‌های سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با سایبان است؛ در این زمینه با مطالعه منابع کتابخانه‌ای و استانداردهای معتبر، داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری گردید و سپس با مدل‌سازی

1. Design builder
2. Oak Ridge National Laboratory
3. Building Energy Simulation Test (BESTEST)

دقیق جغرافیایی و درجه حرارت ماهانه و سایر مشخصات اقلیمی است در نرم‌افزار وارد شد. سپس فضای اداری با ابعاد ۳×۳ متر به‌عنوان حداقل استاندارد فضای اداری و ارتفاع ۳ متر و مشخصات پنجره‌های با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ سانتی‌متر که از کف ۱۲۰ سانتی‌متر فاصله دارد تماماً منطبق بر طراحی فضاهای اداری ذکر شده در مبحث مقررات ملی ساختمان‌های اداری [۶۳]، بروی جداره جنوبی (جبهه مطلوب برای دریافت انرژی خورشیدی در این اقلیم) با مدل‌های مختلف سایه‌انداز طراحی گردید. لازم به ذکر است که با توجه به پژوهشی که اخیراً در هند صورت گرفت، مشخص گردید که سیستم‌های سایه‌انداز عمودی در پنجره‌های رو به شمال و در مکان‌های با عرض‌های جغرافیایی در سطح استوایی و عرض جغرافیایی پایین عملکرد مناسب‌تری را خواهند داشت. دلیل این امر مسیر خورشید آن‌ها در تابستان ذکر شده است که خورشید از شمال شرقی طلوع می‌کند و در شمال غربی غروب می‌کند [۶۴].

جدول ۱ الگوی فعالیت در نظر گرفته شده برای نمونه‌های طراحی شده

الگوی فعالیت برای ۵ روز در هفته (با احتساب دو روز ایام تعطیل)		
افراد/مترمربع	تراکم اشغال	ساختمان
۰.۳۳		
زمان	مشخصات روز	معمول
شروع ساعت: ۷:۰۰ / ساعت خاموشی: ۱۶:۰۰	کاری	اداری
	کامپیوتر	سایر
شروع ساعت: ۷:۰۰ / ساعت خاموشی: ۱۶:۰۰	تجهیزات اداری	مصارف
	روشنایی عمومی	
دما		کنترل
دمای تنظیم ۲۴C		
دمای بازگشت تنظیم ۲۸C	سرمایش	محیطی
زمان		
شروع ساعت: ۷:۰۰ / ساعت خاموشی: ۱۶:۰۰		
دما		کنترل
دمای تنظیم ۲۲C		
دمای بازگشت تنظیم ۱۲C	گرمایش	محیطی
زمان		
شروع ساعت: ۷:۰۰ / ساعت خاموشی: ۱۶:۰۰		
الگوی فعالیت برای ۵ روز در هفته (با احتساب دو روز ایام تعطیل)		
افراد/مترمربع	تراکم اشغال	ساختمان
۰.۳۳		
زمان	مشخصات روز	معمول
شروع ساعت: ۷:۰۰ / ساعت خاموشی: ۱۶:۰۰	کاری	اداری
	کامپیوتر	سایر
شروع ساعت: ۷:۰۰ / ساعت خاموشی: ۱۶:۰۰	تجهیزات اداری	مصارف
	روشنایی عمومی	
دما		کنترل
دمای تنظیم ۲۴C	سرمایش	محیطی
دمای بازگشت تنظیم ۲۸C		

مجموعه ابزارهای لازم برای مطالعه و تحقیق و تعیین سایز، شبیه‌سازی و آنالیز داده‌های سیستم‌های فتوولتائیک است. همچنین این نرم‌افزار به‌صورت مستمر ارتقا یافته و یکی از بهترین و پرکاربردترین نرم‌افزارها در زمینه طراحی سیستم‌های فتوولتائیک است [۶۱].

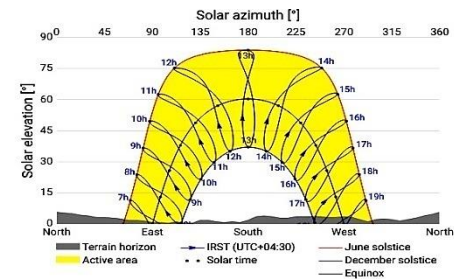
فرآیند پژوهش دارای دو فاز شبیه‌سازی اصلی و مرحله تجزیه و تحلیل نتایج است. بدین‌صورت که ابتدا عملکرد انرژی مصرفی ساختمان با تعریف سناریوهای مختلف از سایبان‌ها عمودی و افقی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام شده و سپس در فاز بعدی شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار پی وی سیستم جهت تعیین عملکرد سیستم فتوولتائیک یکپارچه با سایبان صورت خواهد گرفت؛ و در نهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از دو مرحله قبل سیستم بهینه مشخص خواهد گردید.

۱-۴- مکان پروژه: شهر شیراز

شهر شیراز، مرکز استان فارس به طول ۴۰ کیلومتر و عرضی متفاوت بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر با مساحت ۱۲۶۸ کیلومترمربع به شکل مستطیل و از لحاظ جغرافیایی در جنوب غربی ایران و در بخش مرکزی فارس قرار دارد. شهرستان شیراز با مختصات جغرافیایی ۵۲.۲۶ طول شرقی و ۲۹.۳۲ عرض شمالی در ارتفاع بیش از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا با وسعتی معادل ۱۰۶۸۸.۸ کیلومترمربع، تقریباً در مرکز استان فارس قرار دارد. میانگین دما در تیرماه (گرم‌ترین ماه سال) ۳۰ درجه سانتی‌گراد، در دی‌ماه سردترین ماه سال، ۵ درجه سانتی‌گراد، در فروردین‌ماه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و در مهرماه ۲۰ درجه سانتی‌گراد است و میانگین سالانه دما ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. میزان بارندگی سالیانه شهر شیراز ۳۳۷.۸ میلی‌متر است [۶۲].

۲-۴- اطلاعات تابشی مربوط به شهر شیراز

جهت تعیین عملکرد فتوولتائیک در یک اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین میزان انرژی تابشی آن منطقه هست لذا اطلاعات تابشی شهر شیراز مطابق با شکل ۴ منطبق با اطلس خورشیدی جهانی مشخص گردید. میانگین تابش سالانه شهر شیراز برابر با $2417.1 \text{ kWh/m}^2 \text{ per year}$ تعیین گردید.



شکل ۴ تابش خورشیدی شهر شیراز [۶۴]

۳-۴- روند شبیه‌سازی

جهت انجام شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، ابتدا فایل آب و هوایی شیراز با فرمت TMY که شامل مشخصات کامل آب و هوایی شامل طول و عرض

مشاهده شد که شیب ۲۰ درجه پوشش‌های BIPV از نوع سایه‌انداز برای حداکثر تولید توصیه می‌شوند، درحالی‌که به‌صورت ترکیبی برای تولید الکتریکی و کاهش بار خنک‌کننده، شیب بهینه، بسته به طول متغیر مختلف PV، ۳۰ تا ۵۰ درجه تغییر می‌کند. همچنین برای پوشش ثابت، شیب صفر درجه به‌عنوان شیب مطلوب مشخص گردید.	Sun &Yang (2010)	۱
جهت‌گیری جنوب غربی بیشترین صرفه‌جویی در مصرف انرژی را نسبت به سایر جهت‌ها نشان داد.	Sun &Yang (2012)	۲
برای زاویه شیب و طول یکسان، نسبت کاهش سرمایه‌ش سالانه با افزایش WWR ³ کاهش می‌یابد.	Sun et al, (2015)	۳
میانگین زاویه شیب بهینه پنل خورشیدی در شهر شیراز در فصل زمستان برابر با ۴۳.۱۳ درجه و در فصل تابستان به ۵ درجه می‌رسد. زاویه شیب بهینه برابر با ۲۸.۷۵ درجه نزدیک به عرض جغرافیایی منطقه مورد است.	پیرسلامی و گلپار حقیقی (۱۳۹۵)	۴
زاویه بهینه برای تولید برق ۳۰ درجه و برای تولید برق و کاهش بار خنک‌کننده، زاویه بهینه ۲۰ درجه مشخص گردید.	Zhang et al. (2017)	۵
برای بهینه‌سازی گرمایش و به حداقل رساندن روشنایی، مدول‌ها در ۹۰ درجه نسبت به صفحه عمودی تنظیم می‌شوند. هنگام بهینه‌سازی برای PV و تقاضای سرمایه‌ش، مدول‌ها بین ۱۵ تا ۴۵ درجه نسبت به صفحه عمودی تنظیم می‌شوند.	Jayathissa et al. (2017)	۶
بررسی پیکربندی‌های مختلف لوورهای متعدد در نما برای شیب بین صفر تا ۴۵، مشاهده شد که لوورهایی با زاویه شیب کمتر از صفر درجه و ۱۵ درجه برای تولید برق و حفظ UDI ⁴ بالای ۵۰ درصد مطلوب هستند.	Taveres-Cachat et al. (2017)	۷
مشخص شد که طول مدول‌های PV از ۰.۶۶۴ تا ۱.۱۵۶ متر برای شیب‌های مختلف (۰ تا ۹۰ درجه) متغیر است. نتایج نشان داد که موقعیت مدول PV باید با تغییر زاویه شیب دو بار در سال (۲۵ و ۶۵ درجه) تغییر کند. در مقایسه با سایه‌اندازی ثابت BIPV در ۳۵ درجه و ۴۰ درجه، کاهش بار حرارتی ۱۲٪ و ۱۵٪ مشاهده شد. با این حال، تولید برق سالانه برای PV متحرک تنها ۲٪ بیشتر از سایه‌انداز PV ثابت بود.	Li et al. (2019)	۸
افزایش تعداد لوورهای PV، توان خروجی را کاهش داد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که تقاضای انرژی خالص ساختمان‌ها عاملی تعیین‌کننده در انتخاب لوورها است.	Paydar (2020)	۹
شیب بهینه ۳۰ درجه را از نظر توان خروجی و کاهش تابش خیره‌کننده برای سه پیکربندی سایه PV یافتند.	Peres et al. (2020), Mesloub et al. (2020)	۱۰ ۱۱

3.Window-to-Wall Ratio

4. useful daylight illuminance

زمان	شروع ساعت: ۷:۰۰ / ساعت خاموشی: ۱۶:۰۰
دما	دمای تنظیم ۲۲C
گرمایش	دمای بازگشت تنظیم ۱۲C
زمان	شروع ساعت: ۷:۰۰ / ساعت خاموشی: ۱۶:۰۰

از این رو با توجه به عرض جغرافیایی شیراز بررسی سایبان عمودی به‌عنوان سایبان پیشنهادی گزینه‌ای برای بررسی قرار گرفت همچنین دو نمونه از سایبان‌های افقی جهت مقایسه و انتخاب بهترین گزینه ممکن شبیه-سازی و موردنظر قرار گرفت. سایر مشخصات طراحی ساختمان موردنظر طبق جدول ۱ و ۲ در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر متناسب با تعریف یک اتاق اداری شامل استفاده از وسایل الکتریکی معمول، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مطابق با ساعات کاری و استاندارد تعداد افراد مستقر تنظیم گردید. همچنین با توجه به مطلوب‌ترین ضریب تبادل حرارتی^۱، (پیشنهادی خود نرم‌افزار) تعیین مصالح، پوشش دیواره‌ها و سقف و صورت پذیرفت.

جدول ۲ نوع ساختار و بازشوها در نظر گرفته‌شده برای نمونه‌های طراحی شده.

ساختار		
دیوار خارجی	۴ لایه	بیرونی‌ترین تا درونی‌ترین دیوار خارجی
دیوار داخلی	۳ لایه	پنل گچی
سبب جبهه	0.350 W/m ² K U-VALUE	آجرکاری بیرونی
سبب جبهه	1.639 W/m ² K U-VALUE	پنل گچی
سبب جبهه		پلی استایرن اکسترود شده CO2-XPS
سبب جبهه		بلوک بتنی (متوسط)
سبب جبهه		اندود گچ
سبب جبهه		بی‌دررو ^۲
سبب جبهه		نوع مجاورت
سبب جبهه		بازشوها
سبب جبهه		نسبت پنجره به دیوار ۳۰٪
سبب جبهه		ارتفاع پنجره ۱.۵ متر
سبب جبهه		فاصله پنجره ۵ متر
سبب جبهه		ارتفاع آستانه ۱.۲ متر
سبب جبهه		در داخلی
سبب جبهه		عرض (برحسب متر) ۱.۱
سبب جبهه		طول (برحسب متر) ۲

با توجه به تحقیقات ذکرشده ذیل مندرج در جدول ۳ انتخاب زوایا و میزان عمق و پیش‌آمدگی‌ها همچنین میزان شیب مدول‌ها جهت دستیابی به روندی مطلوب جهت طراحی صورت پذیرفت.

جدول ۳ مقایسه تأثیر زاویه و شیب سیستم‌های سایه‌انداز در پژوهش‌های مختلف

ردیف	رفرنس	یافته‌ها
۱	U-VALUE	
۲	Adiabatic	

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۱۴۰۲، دوره ۱۰، شماره ۱

۵ - یافته‌های پژوهش

میزان انرژی کل موردنیاز محاسبه شده برای مدل موردنظر با توجه به هر نمونه سایبان در جدول ۷ آمده است. در این جدول میزان تأثیرگذاری نوع سایبان بر میزان انرژی کلی مشخص گردیده است.

جدول ۷ انرژی سالانه با توجه به نوع سایبان

نمونه	انرژی کل (kWh)	انرژی در واحد مساحت ساختمان (kWh/m ²)
۱	۲۲۳۳.۷۲	۳۰۵.۹۵
۲	۲۳۲۷.۰۱	۳۱۸.۷۳
۳	۲۰۸۱.۶۲	۲۸۵.۱۱
۴	۲۰۵۸.۹۰	۲۸۲.۰۰
۵	۲۱۵۸.۰۴	۲۹۵.۵۸
۶	۲۱۲۱.۲۵	۲۹۰.۵۴
۷	۲۰۵۴.۵۷	۲۸۱.۴۱
۸	۲۰۴۱.۳۰	۲۷۹.۵۹
۹	۲۳۷۶.۶۹	۳۲۵.۵۳
۱۰	۲۳۲۸.۰۴	۳۱۸.۸۷
۱۱	۲۳۰۲.۱۸	۳۱۵.۳۲
۱۲	۲۲۸۶.۵۴	۳۱۳.۱۸
۱۳	۲۳۴۷.۵۴	۳۲۱.۵۴
۱۴	۲۳۴۷.۵۴	۳۲۱.۵۴
۱۵	۲۳۴۷.۵۴	۳۲۱.۵۴

با توجه به سایبان‌های طراحی شده برای هر نمونه در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار پی وی سیستم پنل فتوولتائیک منطبق بر سایبان‌های طراحی شده مطابق با مشخصات جدول ۸ لحاظ گردید.

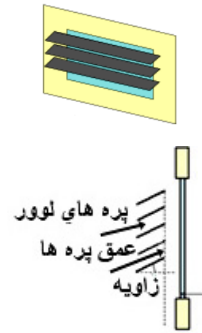
جدول ۸ مشخصات و جهت‌گیری پنل‌های فتوولتائیک

نمونه	جهت‌گیری		اجزای محافظ خورشیدی		
	آزیموت	شیب	تعداد محافظ‌ها	طول (متر)	عرض (متر)
۱	۳۰°	۰°	۲	۰.۳	۰.۵
۲	۴۵°	۰°	۲	۰.۳	۰.۵
۳	۳۰°	۰°	۴	۰.۳	۰.۵
۴	۴۵°	۰°	۴	۰.۳	۰.۵
۵	۳۰°	۰°	۲	۰.۳	۱
۶	۴۵°	۰°	۲	۰.۳	۱
۷	۳۰°	۰°	۴	۰.۳	۱
۸	۴۵°	۰°	۴	۰.۳	۱
۹	۰°	۰°	۱	۰.۳	۰.۵
۱۰	۰°	۰°	۱	۰.۳	۱
۱۱	۰°	۰°	۱	۰.۳	۱.۵
۱۲	۰°	۰°	۱	۰.۳	۲
۱۳	۹۰°	۰°	۲	۱.۵	۰.۵
۱۴	۹۰°	۰°	۲	۱.۵	۱
۱۵	۹۰°	۰°	۲	۱.۵	۱.۵

همچنین چهار نمونه سایبان افقی با میزان پیش‌آمدگی متفاوت در محیط نرم‌افزار مطابق جدول ۵ شبیه‌سازی گردید.

جدول ۴ نمونه سایبان‌های لوور شبیه‌سازی شده

نمونه ۲		نمونه ۱		لوور	
عمق (متر)	تعداد زاویه	عمق (متر)	تعداد زاویه	تعداد	زاویه
۰.۵	۴۵	۰.۵	۲	۲	۳۰
نمونه ۴		نمونه ۳			
عمق (متر)	تعداد زاویه	عمق (متر)	تعداد زاویه	تعداد	زاویه
۰.۵	۴۵	۰.۵	۴	۴	۳۰
نمونه ۶		نمونه ۵			
عمق (متر)	تعداد زاویه	عمق (متر)	تعداد زاویه	تعداد	زاویه
۱	۴۵	۱	۲	۲	۳۰
نمونه ۸		نمونه ۷			
عمق (متر)	تعداد زاویه	عمق (متر)	تعداد زاویه	تعداد	زاویه
۱	۴۵	۱	۴	۴	۳۰



جدول ۵ نمونه سایبان‌های افقی شبیه‌سازی شده

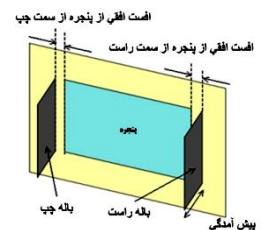
نمونه ۱۰		نمونه ۹		افقی	
پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)
۱	۰.۵	۱	۰.۵	۱	۰.۵
نمونه ۱۲		نمونه ۱۱			
پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)	پیش‌آمدگی (متر)
۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵



و در نهایت آخرین نمونه‌های سایبان‌ها یعنی سایبان‌های عمودی در سه حالت با اندازه باله‌های متفاوت مطابق جدول ۶ شبیه‌سازی گردید.

جدول ۶ نمونه سایبان‌های عمودی شبیه‌سازی شده

نمونه ۱۴		نمونه ۱۳		عمودی	
باله راست (متر)	باله چپ (متر)	باله راست (متر)	باله چپ (متر)	باله راست (متر)	باله چپ (متر)
۱	۱	۰.۵	۰.۵	۰.۵	۰.۵
نمونه ۱۵					
باله راست (متر)	باله چپ (متر)	باله راست (متر)	باله چپ (متر)	باله راست (متر)	باله چپ (متر)
۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵



جدول ۱۰ انرژی تولیدشده در نمونه‌های فتوولتائیک

نمونه	انرژی تولیدی (kWh/yr)	نمونه	انرژی تولیدی (kWh/yr)
۱	۳۲۰.۹	۹	۲۰۱.۰
۲	۳۰۱.۵	۱۰	۴۰۲.۰
۳	۴۴۳.۶	۱۱	۶۰۲.۹
۴	۴۵۰.۵	۱۲	۸۰۳.۹
۵	۵۴۲.۳	۱۳	۸۱۳.۷
۶	۵۳۴.۶	۱۴	۱۴۶.۹
۷	۷۱۴.۵	۱۵	۲۵۰.۴
۸	۷۲۵.۷		

بر اساس تجزیه تحلیل نتایج جدول به‌دست‌آمده می‌توان گفت که نمونه‌های مورد مطالعه ۸ و ۱۲ به ترتیب با زاویه شیب پنل صفر درجه و ۴۵ درجه بیشترین تولید انرژی را دارند که مقادیر آن به ترتیب برابر با ۸۰۳.۹ کیلووات ساعت در سال و ۷۲۵.۹ کیلووات ساعت در سال هست. از سوی دیگر سایبان ۹ کمترین میزان تولید انرژی با مقداری برابر با ۲۰۱ کیلووات ساعت در سال را نشان می‌دهد. از آنجاکه نمونه‌های مورد مطالعه ۱۲ و ۸ در مقایسه با سایر نمونه‌ها عملکرد بهتری از جهت تأمین تولید انرژی را با توجه به نوع طراحی نشان می‌دهد، لذا در مرحله بعد جهت بررسی و سنجش وضعیت عملکرد فتوولتائیک در جهت انحراف به جنوب شرقی و جنوب غربی، زاویه آزیموت‌های متغیر مورد بررسی قرار گرفتند. میزان چرخش سیستم و میزان انرژی تولیدشده در جدول ۱۱ آمده است.

جدول ۱۱ تغییر زاویه آزیموت محافظ خورشیدی در میزان انرژی تولیدشده نمونه‌های فتوولتائیک ۸ و ۱۲

نمونه	وضعیت محافظ خورشیدی آزیموت	انرژی تولیدی (kWh/yr)
	۱۰	۸۰۳.۹
(۱۲)	۲۰	۸۰۳.۹
وضعیت محافظ	۳۰	۸۰۳.۹
خورشیدی	-۱۰	۸۰۳.۹
شیب صفر	-۲۰	۸۰۳.۹
	-۳۰	۸۰۳.۹
	۱۰	۷۲۲.۷
(۸)	۲۰	۷۱۸.۴
وضعیت محافظ	۳۰	۷۱۱.۵
خورشیدی	-۱۰	۷۲۸.۳
شیب ۴۵°	-۲۰	۷۲۹.۵
	-۳۰	۷۲۷.۴

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۱۱ میزان تغییر مقادیر تولیدشده انرژی توسط سیستم فتوولتائیک یکپارچه با سایبان با تغییر درجه آزیموت به سمت جنوب شرقی و جنوب غربی مورد بررسی قرار گرفت تا

سپس زاویه پنل‌ها مطابق با زاویه و تعداد و طول در نظر گرفته‌شده هر نوع سایبان تعریف گردید و جهت استقرار ساختمان برای کلیه سناریوها رو به جنوب در نظر گرفته شد. تعیین مشخصات مدول‌ها مرحله بعدی پژوهش است که در جدول ۹ ارائه گردیده است.

جدول ۹ مشخصات مدول‌های فتوولتائیک انتخابی برای هر نمونه

نمونه	مساحت (مترمربع)	تعداد/ توان
۱ و ۲	مساحت مدول: ۲.۰ مساحت سلول: ۲.۱	تعداد کل مدول: ۸ توان اسمی مدول: ۳۰Wp توان کل سیستم (STC): ۲۴۰
۳ و ۴	مساحت مدول: ۶.۰ مساحت سلول: ۴.۲	تعداد کل مدول: ۱۶ توان اسمی مدول: ۳۰Wp توان کل سیستم (STC): ۴۸۰
۵ و ۶	مساحت مدول: ۶.۰ مساحت سلول: ۴.۲	تعداد کل مدول: ۱۶ توان اسمی مدول: ۳۰Wp توان کل سیستم (STC): ۴۸۰
۷ و ۸	مساحت مدول: ۱۲.۰ مساحت سلول: ۹.۰	تعداد کل مدول: ۱۷ توان اسمی مدول: ۶۰Wp توان کل سیستم (STC): ۱۰۲۰
۹	مساحت مدول: ۱.۵ مساحت سلول: ۱.۱	تعداد کل مدول: ۴ توان اسمی مدول: ۳۰Wp توان کل سیستم (STC): ۱۲۰
۱۰	مساحت مدول: ۲.۰ مساحت سلول: ۲.۱	تعداد کل مدول: ۸ توان اسمی مدول: ۳۰Wp توان کل سیستم (STC): ۲۴۰
۱۱	مساحت مدول: ۴.۵ مساحت سلول: ۳.۲	تعداد کل مدول: ۱۲ توان اسمی مدول: ۳۰Wp توان کل سیستم (STC): ۳۶۰
۱۲	مساحت مدول: ۶.۰ مساحت سلول: ۴.۲	تعداد کل مدول: ۱۶ توان اسمی مدول: ۳۰Wp توان کل سیستم (STC): ۴۸۰
۱۳	مساحت مدول: ۰.۷ مساحت سلول: ۰.۶	تعداد کل مدول: ۴ توان اسمی مدول: ۲۰Wp توان کل سیستم (STC): ۸۰
۱۴	مساحت مدول: ۱.۵	تعداد کل مدول: ۱۴ توان اسمی مدول: ۱۰Wp توان کل سیستم (STC): ۱۴۰
۱۵	مساحت مدول: ۲.۲ مساحت سلول: ۱.۸	تعداد کل مدول: ۱۲ قدرت ۲۰Wp توان کل سیستم (STC): ۴۸۰

در گام بعدی میزان انرژی تولیدی توسط پنل فتوولتائیک برای هر نمونه طراحی مشخص گردید همچنین میزان برخورداری از انرژی تابشی توجه به هر نمونه مشخص گردید که نتایج در جدول ۱۰ قابل مشاهده است.

مطلوبی را نشان می‌دهد؛ به طوری که سیستم فتوولتائیک یکپارچه با سایبان افقی (لور)، ۳۵.۵۴٪ بازدهی انرژی را نشان داد که نشانگر کارایی و تأثیر این سیستم در کاهش انرژی گرمایشی و تولید انرژی و کنترل نور روز به صورت هم‌زمان است. از سوی دیگر نتایج نشان داد که با اعمال تغییر در آیموت سیستم به میزان ۲۰ درجه به سمت جنوب غربی شاهد کاهش ۳۵.۷۳٪ مصرف انرژی خواهیم بود بازدهی ۳۵ درصدی مصرف انرژی با تغییر آیموت به سمت جهت جنوب غربی، منطبق با نتایج به دست آمده به عنوان جهت گیری مناسب برای عملکرد انرژی مصرفی است.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر افزایش طول سایبان بر بازدهی سیستم تأثیر داشته اما میزان این تأثیر نسبت به شیب در درجه اهمیت کمتری قرار می‌گیرد مطلبی که در تحقیقات (Li et al. (2019) نیز به آن اشاره گردیده است میزان شیب در مقایسه با طول سایبان عامل مهم‌تری در تعیین تفاوت بازدهی بین نمونه‌ها است بر طبق تحقیق صورت گرفته توسط Taveres- Cachat et al. (2017) افزایش زاویه لورها تا ۴۵ درجه میزان بازدهی انرژی مناسبی را در پژوهش حاضر نیز مشخص کرد. همچنین با توجه به تحقیقات پیرسلاسی و گلبهار در شهر شیراز زاویه ۳۳.۱۳ و تحقیق پایدار برای شهر تهران که زاویه ۳۵ تا ۴۰ درجه را به عنوان زاویه مطلوب مشخص کردند و با عنایت به بیشترین بازده در زاویه ۴۵ درجه تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که محدوده انتخاب زوایا و خصوصاً محدوده بین ۲۵ تا ۴۵ درجه برای اقلیم بیشترین بازده را خواهد داشت.

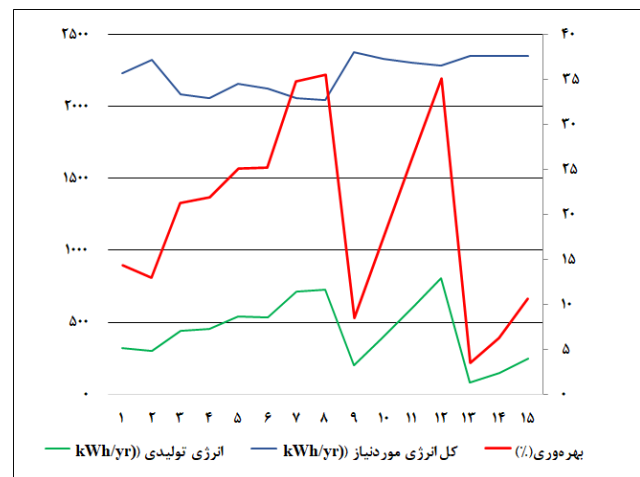
از دیگر سوی با توجه به مطالب بیان شده و نتایج حاصل می‌توان این سیستم‌ها را به عنوان یک راه‌حل کارآمد که علاوه بر تأمین آسایش حرارتی، در تأمین بخشی از انرژی ساختمان نقش دارند در طراحی‌های ساختمان‌های لحاظ کرد. همان‌گونه که از نتایج این پژوهش مشخص گردید، ترکیب سیستم سایبان با فتوولتائیک علاوه بر کاهش تقاضای انرژی سالانه ساختمان به واسطه تولید انرژی، عملکرد کلی انرژی ساختمان را بهبود بخشیده و نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ساختمان علاوه بر تأمین آسایش حرارتی کاربران خواهد داشت. در چارچوب پیشنهادها در پژوهشی آتی، می‌توان تنوع وسیع‌تری از سایبان‌ها را در جنبه‌های دیگر ساختمان مورد مقایسه و ارزیابی قرارداد. همچنین توسعه مطالعات برای کاربری‌های پرمصرف دیگر ساختمانی از قبیل بناهای تجاری و مسکونی و در حوزه‌های اقلیمی دیگر کشور، در پژوهش‌های آینده می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

۷- مراجع

- [1] P. Reddy, M. V. N. Surendra Gupta, S. Nundy, A. Karthick, A. Ghosh, Status of BIPV and BAPV System for Less Energy-Hungry Building in India- Review, *Applied Sciences*, Vol. 10, No. 7, 2020.
- [2] L. Antoine, N. M. Kuehnera, A. T. D. Silvia Coccoloa, N. Pereraa Mohajerla, Jean-Louis Scartezzinia, Extending building integrated photovoltaics (BiPV) using distributed energy hubs. A case study in Cartigny, Switzerland, in *International Conference - Future Buildings & Districts - Energy Efficiency from Nano to Urban Scale*, CISBAT, Lausanne, Switzerland, 2017.
- [3] M. M. Fouad, A. Lamia Shihata, A. H. Mohamed, Modeling and Analysis of Building Attached Photovoltaic Integrated Shading Systems (BAPVIS) Aiming for Zero Energy Buildings in Hot Regions, *Journal of Building Engineering*, Vol. 21, pp.18-27, 2018.
- [4] L. S. Aguacil, E. Rey, Active surfaces selection method for building integrated photovoltaics (BIPV) in renovation projects based on self-consumption and self-sufficiency, *Energy & Buildings*, Vol. 193, pp.15-28, 2019.
- [5] R. Benoit Cushman, A.I.o.o.p. Tanaka Cremonini, *Data, Statistics, and Useful Numbers for Environmental Sustainability*, Thayer

میزان تأثیرگذاری آن بر خروجی انرژی سیستم مشخص گردد. در نمونه ۱۲ تغییر آیموت بر عملکرد سیستم هیچ‌گونه تغییری را ایجاد نکرد اما در نمونه ۸ با توجه به تولید انرژی اولیه ۷۲۵۸ کیلووات ساعت در سال این رقم با تغییر جهت چرخش به سمت جنوب غرب افزایش عملکرد را نشان داده است که بیشترین مقدار آن در زاویه ۲۰ درجه به سمت جنوب غربی برابر با ۷۲۹.۵ را نشان می‌دهد؛ همچنین انحراف بیشتر با بهبود عملکرد رابطه کاملاً مستقیم نداشته و در زاویه ۳۰ درجه شاهد کاهش عملکرد سیستم هستیم. با در نظر گرفتن میزان انرژی موردنیاز ساختمان، محاسبه شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و انرژی تولیدی فتوولتائیک یکپارچه و با توجه به رابطه برآورد بهره‌وری می‌توان بازدهی سیستم را طبق فرمول ۱ به دست آورد. همچنین برآورد بازدهی برای کلیه نمونه‌ها در نمودارهای شکل ۵ ارائه شده است.

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Power Out}}{\text{Power In}} \quad (1)$$



شکل ۵ میزان بازدهی انرژی نمونه‌های شبیه‌سازی شده

با توجه به نمودارهای منعکس گردیده در شکل ۵، بیشترین میزان بازدهی در نمونه ۸ فتوولتائیک یکپارچه با سایبان لور با ۴ تیغه و زاویه شیب ۴۵ درجه و پهنای ۱ متر مشاهده می‌شود؛ که بیانگر آن است که به‌رغم سایه‌اندازی تیغه‌ها بر سطح پنجره، عملکرد انرژی با افزایش زاویه تیغه‌ها و تعداد و افزایش سطح پنل‌ها بالا رفته است. نمونه ۱۲، فتوولتائیک یکپارچه با سایبان افقی با عرض ۲ متر رتبه دوم بهترین بازدهی را از میان نمونه‌ها نشان می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری

سیستم‌های سایه‌انداز با کنترل تابش خیره‌کننده، نور طبیعی و بهره‌خوردی باعث بهبود عملکرد انرژی ساختمان و راحتی کاربران می‌شوند. از سوی دیگر ادغام فتوولتائیک در سیستم‌های سایه‌اندازی فرصت‌های جدیدی را برای فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان ایجاد می‌کند که عملکرد این سیستم‌ها در حالت‌های مختلف یکپارچگی با ساختمان بسیار متفاوت است. با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته در پژوهش با توجه به اقلیم و موقعیت جغرافیایی شهر شیراز، سیستم فتوولتائیک یکپارچه با سایبان افقی عملکرد

- Conference on Sustainability in Energy and Buildings*, Turin, ITALY, pp. 11-13, 2016.
- [28] M. C. Dubois, *Solar Shading and Building Energy Use, A Literature Review, Part I*, Lund University, Institute of Technology, 1997.
- [29] A. Tzempelikos, A. Athienitis, The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy*, Vol.81, pp. 369-382, 2016.
- [30] F. D. Miran, H. Abdullah, Evaluation of the Optimal Sola Shading Devices for Enhancing Daylight Performance of School Building, A case study of semi-arid climate-Erbil city, *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol.27, No.5, pp. 29-36, 2016.
- [31] A. Thomas, H. Rainer, J. Simone, K. Birgit, *A design manual: office buildings*, Basel, Boston, Birkhäuser, 2002.
- [32] F. Mohammadkhani, The effect of additional canopies and two-shell facade in reducing energy consumption, in *The Second International Conference on New Approaches to Energy Conservation*, Tehran, Iran, 2013. (In Persian)
- [33] W. N. Hien, A. D. Istiadji, Effects Of External Shading Devices On Daylighting And Natural Ventilation, in *the Eighth International IBPSA Conference*, Netherlands, 2003.
- [34] S. S. Saifelnasr, A Design Chart to Determine the Dimensions of a Horizontal Shading Device over an Equator-Facing Window as a Function of the Latitude and the Shading Height, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol.216, pp. 724-735, 2015.
- [35] M. Rashid, A. Jalil, S. Gulzar, A. M. Malik, The Efficacy of Shading Design in Commercial Buildings in The Semi-arid Climate of Lahore; Focusing on The Geometry of Horizontal Shade, *Technical Journal*, University of Engineering and Technology (UET), Vol.24, No.2, 2019.
- [36] C. Karkanias, S. N. Boemi, A. M. Papadopoulos, T. D. Tsoutsos, A. Karagiannidis, Energy efficiency in the Hellenic building sector: An assessment of the restrictions and perspectives of the market, *Energy Policy*, Vol.38, No.6, pp. 2776-2784, 2010.
- [37] M. J. Mahdavejad, M. Arbab, M. Arbab, The use of genetic algorithm in multi-objective optimization of external louvers in office buildings. *Architectural Thought*, Vol.3, No.5, 2019. (in Persian)
- [38] F. F. Hernández, J. M. C. López, J. M. Suárez, M. C. G. Muriano, S. C. Rueda, Effects of louvers shading devices on visual comfort and energy demand of an office building. A case of study. *Energy Procedia*, Vol.140, pp. 207-216, 2017.
- [39] A. I. Palmero-Marrero, A. C. Oliveira, Effect of louver shading devices on building energy requirements, *Applied Energy*, Vol.87, No.6, pp. 2040-2049, 2010.
- [40] N. Lechner, *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*, John Wiley & Sons, 2015.
- [41] B. A. Maleki, Shading: Passive Cooling And Energy Conversation in Building, *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, Vol.3, No.9, pp. 72-79, 2011.
- [42] (EIA), E.I.A., The Annual Energy Revie, *EIA*, 2006.
- [43] H. K. Abdullah, H. Z. Alibaba, Retrofits for Energy Efficient Office Buildings: Integration of Optimized Photovoltaics in the Form of Responsive Shading Devices, *Sustainability*, Vol.9, No.11, 2017.
- [44] D. F. Menicucci, J. P. Fernandez, Verification of photovoltaic system modeling codes based on system experiment data, in *17th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Kissimmee, FL, USA, pp. 1335-1340, 1984.
- [45] P. Eiffert, J. G. Kiss, *Building – Integrated photovoltaic, design for com-mercial and institutional structures: A source book for architects*, US Department of Commerce: Springfield, 2000.
- [46] W. Bahr, Integration of shading devices and photovoltaic panels into existing building facades, in *Green Retrofit Conference Dubai Knowledge Village*, Dubai, UAE, 2009.
- [47] W. Bahar, Optimal Design Parameters of The Blinds Integrated Photovoltaic Modules Based on Energy Efficiency and Visual Comfort Assessments, in *Proceedings of Central Europe towards Sustainable Building Conference*, Czech Republic, Prague, 2013.
- [48] M. Mandalaki, T. Tsoutsos, N. Papamanolis, Integrated PV in shading systems for Mediterranean countries: balance between energy production and visual comfort, *Energy Buildings*, Vol.77, pp. 445-456, 2014.
- School of Engineering, Dartmouth College, Hanover, NH, USA, 2021.
- [6] L.P. Lombarda, J. Ortiz, R. González, I. Maestrec, *Energy and Buildings*, Vol.41, pp. 272-278, 2009.
- [7] B. Shui, M. Evans, *Country Report on Building Energy Codes in Canada*, 2009.
- [8] J. Khodakarami, Ghobadi, P. Optimization of energy consumption in an office building equipped with intelligent management system, *Energy Engineering & Management*, Vol.6, No.2, 2016. (in Persian)
- [9] G. Bizzarri, M. Gillott, V. Belpoliti, The potential of semitransparent photovoltaic devices for architectural integration. The development of device performance and improvement of the indoor environmental quality and comfort through case-study application. *Sustainable Cities and Society*, Vol.1, No.3, pp. 178-185, 2011.
- [10] M. Mandalaki, K. Zervas, T. Tsoutsos, A. Vazakas, Assessment of shading devices with integrated PV for efficient energy use, *Solar Energy*, Vol.86, No. 9, 2012.
- [11] A. Guiavarch, B. Peupartier, Photovoltaic collector's efficiency according to their integration in buildings, *Solar Energy*, Vol.80, pp. 65-77, 2006.
- [12] T. J. N. Schoen, Building integrated PV installations in the Netherlands: examples and operational experiences, *Solar Energy*, Vol.70, pp. 467-477, 2001.
- [13] A. I. Palmero-Marrero, A. C. Oliveira, Evaluation of a solar thermal system using building louver shading devices, *Solar Energy*, Vol.80, pp. 545-554, 2006.
- [14] *Law of the Fourth Five-Year Development Plan of the Islamic Republic of Iran*, approved on 11/06/2004, Publications of the Islamic Consultative Assembly of Iran, 2010-2011. (in Persian)
- [15] S. M. Mousavi Shafaei, Y. Noorollahi, A. R. Ghiyabashi, H. Yousefi, A. H. Rezaian, Human Security and Challenges of Renewable Energy Development in Iran, with Emphasis on Environmental Security. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol.18, No. 5, 2016. (in Persian)
- [16] P. Alamdari, O. Nematollahi, A. A. Alemrajab, Solar energy potentials in Iran: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.21, pp. 778-788, 2013.
- [17] M. A. Paydar, Optimum Design of Building Integrated PV Module as a Movable Shading Device, *Sustainable Cities and Society*, Vol.62, 2020.
- [18] A. Stamatakis, M. Mandalaki, T. Tsoutsos, Multi-criteria analysis for PV integrated in shading devices for Mediterranean region *Energy and Buildings*, Vol.117, pp. 128-137, 2016.
- [19] L. Maturi, J. Adami, Building Integrated Photovoltaic (BIPV) in Trentino Alto Adige, *Green Energy and Technology*, Springer International Publishing, 2018.
- [20] S. Pester, F. Crick, *Performance of Photovoltaic Systems on Non-domestic Buildings*, IHS BRE Press, 2013.
- [21] S. Eftekharijad, V. Vittal, G. Thomas Heydt, B. Keel, J. Loehr, Impact of Increased Penetration of Photovoltaic Generation on Power Systems, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, Vol.28, No. 2, 2013.
- [22] E. I. Batzelis, P. S. Georgilakis, S. A. Papathanassiou, S.A., Energy Models for Photovoltaic Systems under Partial Shading Conditions: A Comprehensive Review, *Renewable Power Generation*, Vol.9, pp. 340-349, 2014.
- [23] T. D. Atmaja, Facade and Rooftop PV Installation Strategy for Building Integrated Photo Voltaic Application, *Energy Procedia*, Vol.32, pp. 105-114, 2013.
- [24] x. Zhang, siu-kit. lau, S. Siu Yu Lau, Z. Yong, Photovoltaic integrated shading devices (PVSDs): A review, *Solar Energy*, Vol.170, pp.947-968, 2018.
- [25] Yoo, S.H., Simulation for an optimal application of BIPV through parameter variation. *Solar Energy*, Vol.85, No.7, pp.1291-1301, 2011.
- [26] S. E. Gindi, A. R. Abdin, A. Hassan, Building integrated Photovoltaic Retrofitting in office buildings. *Energy Procedia*, Vol.115, pp. 239-252, 2017.
- [27] y. Ibraheem, E. R. P. Farr, P. Piroozfar, Embedding passive intelligence into building envelopes: a review of the state-of-the-art in integrated photovoltaic shading devices, in *8th International*

- [49] S. Kang, T. Hwang, J. Tai Kim, Theoretical analysis of the blinds integrated photovoltaic modules, *Energy Buildings*, Vol.46, pp. 86-91, 2012.
- [50] C. Peng, Y. Huang, Z. Wu, Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China, *Energy and Buildings*, Vol.43: pp. 3592-3598, 2011.
- [51] J.J. Bloem, Evaluation of a PV-integrated building application in a well-controlled outdoor test environment, *Building and Environment*, Vol.43, No.2, pp. 205-216, 2008.
- [52] X. Li, J. Peng, N. Li, M. Wang, C. Wang, Study on Optimum Tilt Angles of Photovoltaic Shading Systems in Different Climatic Regions of China, *Procedia Engineering*, Vol.205, pp. 1157-1164, 2017.
- [53] P. Jayathissa, M. Luzzatto, J. Schmidli, J. Hofer, Z. Nagy, A. Schlueter, Optimizing building net energy demand with dynamic BIPV shading, *Applied Energy*, Vol.202: pp. 726-735, 2017.
- [54] M. H. Pir Salami, Sh. Golbahar Haghighi, Determining the optimal angle of solar panels in Shiraz, *The first national conference on engineering sciences with a new energy approach*, 2016. (in Persian)
- [55] M. Hazbei, Natural ventilation in Shodan, Dezful city using CFD model, *Bagh-e Nazar*, Vol.30, pp. 37-48, 2013. (In Persian)
- [56] *National Building Regulations of Iran, Article 19, Save energy*, Office of National Building Regulations, Tehran, Iran, 2010. (in Persian)
- [57] Z. Zomorodian, M. Tahsildoost, Validation of energy simulation software in building with experimental and comparative approach, *Iranian Journal of Energy*, Vol.18, No9, 2015. (In Persian)
- [58] *Information base and statistics and electricity information of Fars region*, 2018. (In Persian)
- [59] K. Jafarpour, M. Yaghoubi, Solar radiation for Shiraz, Iran, *Solar & Wind Technology*, Vol.6, No.2, pp. 177-179, 1989.
- [60] A. A. Sabzi, B. Khatar, H. Mohabzadeh, Investigation and comparison of GIS capability in zoning of seasonal and annual distribution of total solar radiation (Case study: Central provinces of Iran.), *Iranian Journal of Geophysics*, Vol.9, No.2, pp.14-29 2015. (In Persian)
- [61] N. Amani, M. Mashad Moghadas, Feasibility study of building a zero energy building in cold and semi-arid region, Case study of Mashhad, *Environmental Science and Technology*, Vol.22, No.5, pp. 57-71, 2018. (In Persian).
- [62] A. A. Abdollahi, H. Ghazanfarpour, Z. Rezaei, Survey and evaluation of land use in 9 regions of Shiraz using LQ model in GIS environment, *Journal of Spatial Planning (Geography)*, Vol.5, No.1, 2014. (In Persian).
- [63] Department of Housing and Urban Development Deputy Minister of Housing and Construction, *National Building Regulations of Iran*, The second issue Administrative systems, 2005. (In Persian).
- [64] M. Alwetaishi, H. Al-Khatri, O. Benjeddou, A. Shamseldin, M. Alsehli, S. Alghamdi, R. Shrahily, An investigation of shading devices in a hot region: A case study in a school building, *Ain Shams Engineering Journal*, Vol.12, No.3, pp. 3229-3239, 2021.
- [64] *Solar radiation of Shiraz*, Accessed 2 January 2021, <https://globalsolaratlas.info>. 2022.