Journal of Cold Climate Architecture and Environment
Spring 2026 Vol 1 Issue 2
ISSN (Online): 3134-0822
https://ccae.ubonab.ac.ir



Research Paper

Development of a Performance-based Roof Geometry Optimization Model for Heating Energy Efficiency in Cold Regions

Sonya Silvayeh[1], Mohammad Javad Mahdavinejad[2*]:

1- PhD at the Architecture of Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.
2- Professor at the Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 2025/10/23
Accepted: 2026/03/01
PP: 1-18

Scan the QR code below to access and read this article.

Keywords: Heating efficiency, Roof form design, Thermal comfort, Solar energy, Cold regions, Computer simulation.

Abstract

Nowadays, energy is recognized as one of the main indicators of economic development. It is evident that due to excessive consumption and the depletion of energy resources, we are facing a growing challenge concerning extraction and exploitation costs. Various solutions can contribute to reducing and optimizing energy consumption, among which the use of renewable energies-such as solar energy through building roofs- plays a vital role in decreasing environmental pollution. Since buildings are among the key components of a country's development and consume a large portion of energy and environmental resources, the proper design of building elements, particularly roofs, can have a significant impact on reducing unnecessary energy consumption and ensuring thermal comfort.

The present study aims to achieve a better understanding of roof forms by comparing the amount of solar energy received by different types of roofs. The research adopts a case study approach for examining the selected samples, and computer simulation is used to analyze the overall behavior of the projects.

In general, the results of this study indicate four design and selection options, with the ranking of solar radiation absorption (in watts) throughout the year as follows: Sloped 45-45 > Sloped 60-30 > Domed > Flat.

The rate of solar radiation absorption (in watts per square meter) in various months is as follows:

1. In December, January, and February: Flat > Sloped 60-30 > Domed > Sloped 45-45
2. In November and April: Flat > Domed > Sloped 45-45 > Sloped 60-30
3. In March, May, October, September, June, July, and August: Flat > Domed > Sloped 60-30 > Sloped 45-45.

Citation: Silvayeh. S., Mahdavinejad. MJ. (2026). Development of a Performance-based Roof Geometry Optimization Model for Heating Energy Efficiency in Cold Regions. *Journal of Cold Climate Architecture and Environment*,Vol 13, No 51, PP: 1-18.
DOI:

[*] **Corresponding author:** Sonya Silvayeh, **Email:** S.Silvayeh@tabriziau.ac.ir, **Tel:** 09126015905

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه بناب

Journal of Cold Climate Architecture and Environment
Spring 2026 Vol 1 Issue 2
ISSN (Online): 3134-0822
https://ccae.ubonab.ac.ir



Extended Abstract

Introduction

Nowadays, the management and accessibility of energy resources are recognized as some of the most critical and defining indicators of global economic dynamism. Looking back at the final decades of the twentieth century, the emergence of severe energy crises-resulting directly from rampant consumption patterns and the subsequent depletion of non-renewable resources-brought to light the stark reality that the modern world is grappling with an escalating challenge regarding the mounting costs of energy consumption and operational management. In response to these pervasive challenges and in a concerted effort to mitigate energy demand within the architectural and construction sectors, relying solely on conventional thermal insulation is no longer sufficient. Instead, it is imperative to implement a holistic, multifaceted set of strategies to enhance energy efficiency and curtail waste. One of the most prominent and viable solutions involves the intelligent integration of renewable energy sources, particularly solar energy, by harnessing the rooftops of buildings. This approach not only alleviates financial burdens but also plays a pivotal role in reducing environmental pollution through the transition toward sustainable, clean energy alternatives.

Given that buildings serve as the fundamental pillars of national development, they inevitably account for a substantial portion of global energy consumption and natural resource extraction. Consequently, the precise, engineering-oriented design of building components-most notably the roof-can exert a profound and transformative influence on curbing excessive energy consumption while simultaneously ensuring optimal thermal comfort for inhabitants. The roof, as an essential element of any structure, is constantly exposed to the direct impact of atmospheric conditions, diurnal temperature fluctuations, and environmental variables throughout the day and night cycle. Furthermore, due to its significant surface area relative to other building components, the roof serves as a critical nexus for heat transfer and energy loss, thereby underscoring its strategic importance in building design.

In general, the imperative to prioritize climatic conditions and solar radiation patterns during the design and construction phases is justified from two fundamental perspectives: Firstly, a structure that is intelligently harmonized with the local climate can provide a superior quality of living space and enhanced thermal comfort for its occupants. Secondly, this climatic synchronization inherently leads to significant and sustainable energy conservation. Therefore, it can be concluded that informed decision-making in the design process, coupled with the strategic selection of building components and the optimization of roof forms, represents a highly effective pathway toward achieving energy-efficient and sustainable architecture.

The primary purpose of this research is to gain a deeper understanding of roof geometries to facilitate efficient design by comparing solar energy gain across various roof configurations. Considering the environmental and economic impacts of fossil fuel consumption, alongside Iran's geographical potential for significant solar energy harvesting, implementing appropriate roof design patterns through passive design strategies can effectively reduce building energy consumption. The overarching goal of this study is to highlight the importance of roof design among architects and construction professionals, emphasizing its substantial impact on optimizing building energy efficiency. **The specific objectives** of this study are as follows:

Reviewing various building roof types and selecting the most prevalent ones for detailed investigation.

Comparing four common roof configurations based on their solar energy absorption potential in cold climates to identify the most efficient model. In line with these objectives, the study addresses the following **research questions:**

Is there a correlation between building roof geometry and energy consumption during the cold seasons? If so, what is the nature of this relationship?

How can architectural design and the selection of an optimal roof form reduce building energy consumption during the cold seasons? In recent years, numerous studies have addressed building envelopes, such as walls and roofs, focusing on energy efficiency and consumption reduction to achieve higher performance. However, there remains a research gap regarding the design of optimal roof forms to maximize heat gain specifically using prevalent roof types in cold climates. This study seeks to address this issue through a comprehensive investigation of roof geometries to identify the form that yields the highest solar energy absorption.

To answer the research questions, a library-based study was conducted to establish the literature review and background. The research employs a case study approach, utilizing computer simulation for the holistic analysis of the projects. Computer simulation provides a controlled environment to analyze the thermal behavior of building roofs incrementally, allowing for a more precise estimation of the potential and performance of various roof types. Since investigating the thermal behavior of diverse roof forms at a real-world scale and volume is

فصلنامه معماری و محیط اقلیم سرد
دوره ۱، شماره ۲، بهار ۱۴۰۵
شاپا الکترونیکی: ۰۸۲۲ -۳۱۳۴
https://ccae.ubonab.ac.ir

impractical, this study employs a numerical-comparative method, maintaining the area of other building components constant.

Due to the diversity of roof forms and to ensure a comprehensive and accurate assessment of energy reception, only the most common roof types found in Iranian architecture were selected. Specifically, four prevalent roof types-flat, domed, 30/60 pitched, and 45/45 pitched-are considered. Each type is analyzed individually across different months of the year using Energy Plus software to reach optimal conclusions. To ensure the precision of the simulation results, all other variables-including building materials, internal and external cladding (considering the varying thermal conductivity of different materials), building area, window size and type, orientation, roof color, and other components-are kept constant across all four models.

Ultimately, based on the data extracted from the energy analysis software, it is concluded that the 30/60 pitched roof emerges as the most viable option.

The selection of the 30/60 pitched roof is justified by several critical factors. A detailed examination of the solar radiation tables (measured in W/m2W/m^2W/m2) reveals that while the flat roof achieves higher energy gain during the specified cold months compared to the 30/60 pitched roof, it also experiences the highest solar absorption during the peak summer month (June). This excessive summer heat gain constitutes a significant thermal disadvantage. Furthermore, considering the study site is located in the Velenjak region-an area characterized by high precipitation (snow and rain)-the implementation of flat roofs is impractical due to drainage and structural concerns. Consequently, the 30/60 pitched roof is identified as the superior design choice for this context.

Regarding the design of roof forms in cold climates, the findings suggest that roof geometries should minimize their exposed surface area to mitigate heat loss. Ideally, the design should aim for a higher volume-to-surface area ratio, ensuring that a larger interior volume is enclosed by a relatively smaller external surface.

Furthermore, the study highlights several advantages of pitched roofs:

Thermal Buffer Zone: The attic or the interstitial space between the pitched roof and the interior ceiling can function as a thermal buffer zone.

Energy Conservation: This buffer zone acts as an intermediary space, significantly reducing thermal energy loss and enhancing overall energy efficiency.

Aesthetic Value: Beyond functional benefits, these roof forms contribute to the architectural aesthetics of the building.

Based on the analyzed data, the hierarchical ranking of roof forms according to their solar energy absorption capacity is as follows:"

The results of the solar radiation absorption analysis are summarized as follows:

1. Annual Solar Radiation Absorption (Total Wattage):

In terms of cumulative annual solar absorption (measured in Watts), the hierarchy of roof forms is ranked as follows:

45/45 Pitched > 30/60 Pitched > Domed > Flat

2. Monthly Solar Radiation Absorption (Intensity in W/m2**):**

Regarding the solar radiation intensity (measured in W/m2) during the specific cold months (December, January, and February), the ranking is as follows:

Flat > 30/60 Pitched > Domed > 45/45 Pitched"

Journal of Cold Climate Architecture and Environment
Spring 2026 Vol 1 Issue 2
ISSN (Online): 3134-0822
https://ccae.ubonab.ac.ir



تدوین الگوی طراحی فرم بهینه سقف ساختمان ها جهت بهره وری از انرژی گرمایشی درمناطق سرد

سیلوایه، سونیا*: دکتری معماری دانشکده هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

مهدوی‌نژاد، محمدجواد: استاد دانشکده هنر و معماری دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۱
شماره صفحات: ۱۸-۱

برای مطالعه این مقاله کد زیر را اسکن کنید

واژه‌های کلیدی:
بهره‌وری گرمایشی، طراحی فرم سقف، آسایش حرارتی، انرژی خورشیدی، مناطق سرد، شبیه‌سازی کامپیوتری.

چکیده

مساله: امروزه انرژی به عنوان یکی از اصلی‌ترین شاخصه‌های اقتصادی شناخته می‌شود. واضح است که با توجه به مصرف بی‌رویه و کاهش منابع انرژی با هزینه‌های استخراج و بهره‌برداری روبه‌رشدی روبه‌رو هستیم. با راه حل‌های مختلفی می‌توان در کاهش و بهبود مصرف انرژی سهیم شد از جمله این راه حل‌ها، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر جهت کاهش آلودگی‌های محیط زیستی نظیر انرژی خورشیدی از طریق سقف می‌باشد، زیرا ساختمان‌ها یکی از ارکان‌های اصلی توسعه کشورها می‌باشند که بخش زیادی از انرژی و منابع محیط زیستی را مصرف می‌کنند، از این روی، طراحی صحیح اجزای ساختمان‌ها از جمله سقف آن‌ها می‌تواند تاثیر شایانی در کاهش مصرف بی‌رویه انرژی و تامین آسایش حرارتی داشته باشد.

هدف از پژوهش حاضر، درک و فهم بهتر فرم سقف‌ها جهت طراحی کارآمد و مناسب از طریق مقایسه میزان دریافت انرژی خورشیدی سقف‌های مختلف می‌باشد. برای انجام کار از

روش مورد پژوهی در برخورد با نمونه‌ها استفاده می‌شود و روش تحقیق شبیه‌سازی کامپیوتری در تحلیل کلیت پروژه‌ها به کار گرفته می‌شود.

نتایج: نتایج این تحقیق ۴ گزینه برای طراحی و انتخاب وجود دارد که ترتیب جذب انرژی آن‌ها را می توان بدین گونه عنوان کرد: میزان جذب پرتوهای خورشیدی بر حسب وات و در ماه‌های مختلف به ترتیب بدین صورت است: در کل ماه‌های سال: شیب‌دار ۴۵-۴۵ >شیب‌دار ۶۰-۳۰ > گنبدی > مسطح و میزان جذب پرتوهای خورشیدی بر حسب وات بر متر مربع و در ماه‌های مختلف نیز بدین ترتیب است: ۱.در دی، بهمن و آذر ماه: مسطح >شیب‌دار ۶۰-۳۰ > گنبدی >شیب‌دار ۴۵-۴۵ ۲.در آبان و فروردین ماه: مسطح > گنبدی > شیب‌دار ۴۵-۴۵ > شیب‌دار ۶۰-۳۰ ۳.در اسفند، اردیبهشت، مهر، شهریور، خرداد، مرداد و تیر ماه: مسطح > گنبدی > شیب‌دار ۶۰-۳۰ > شیب‌دار ۴۵-۴۵.

استناد: سیلوایه، سونیا؛ مهدوی‌نژاد، محمدجواد. (۱۴۰۵). بهینه‌سازی معماری مسکن در شهرهای سرد از طریق اصلاح چیدمان فضایی: تأثیر بر آسایش صوتی در تبریز. *فصلنامه معماری و محیط اقلیم سرد*، ۱(۲)، صفحات: ۱۸-۱

DOI:

* **نویسنده مسئول:** سونیا سیلوایه، **پست الکترونیکی:** S.Silvayeh@tabriziau.ac.ir، **تلفن:** 09126015905

۱- مقدمه

امروزه انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اقتصادی و ابزارهای سیاسی دولت‌ها شناخته می‌شود که با درنظر گرفتن محدودیت منابع انرژی و هزینه‌های استخراج و بهره‌برداری، شاهد افزایش مداوم هزینه انرژی مصرفی هستیم که در این میان، ساختمان‌ها بخش زیادی از انرژی و منابع طبیعی را مصرف می‌کنند، میزان این بخش از مصرف انرژی، به اندازه ۳۰ تا ۵۰ درصد و از سهم تولید گازهای گلخانه‌ای به میزان، ۴۰ تا ۵۰ درصد می‌باشد. (ذکاوت و همکاران، ۱۴۰۲، ص ۱۸۷). افزایش مصرف انرژی در دنیای امروزی، علاوه بر تهدید اتمام منابع فسیلی، تغییرات خطرناکی برای کل جوامع نیز به همراه دارد. (مهدوی‌نژاد، ۱۳۹۲، ص ۳۶). این میزان مصرف نشانگر لزوم توجه ویژه به این مساله بوده و در این راستا باید تلاش‌های لازمه را انجام داد، برای پاسخگویی به این مهم اقدامات بسیاری صورت گرفته است که علاوه بر این اقدامات، راه‌حل دیگری نیز برای این مساله وجود دارد و آن بهبود بازده مصرف انرژی و صرفه‌جویی آن در ساختمان است. صرفه‌جویی در مصرف انرژی به عنوان یک سرمایه‌گذاری می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های عمومی شود که امری بسیار مفید و سازنده به شمار می‌آید. میزان انرژی مصرفی در یک ساختمان به عوامل زیادی بستگی دارد، که مهمترین آن ها عبارتند از: ۱. میزان تبادل و نفوذ هوا. ۲. اختلاف دمای میان فضای داخلی کنترل شده و محیط بیرونی ساختمان در فصول مختلف سال. ۳. میزان انرژی طبیعی و رایگان دریافت شده طی دوره های زمانی مختلف. ۴. ضریب انتقال حرارت مربوط به پوسته خارجی ساختمان.

طراحی معماری یک بنا و در نظر داشتن تاثیرات اقلیمی همچون، چگونگی قرارگیری یک بنا، تابش خورشید، پوشش بیرونی و تهویه طبیعی است. طراحی کلی فضا و توجه داشتن به عناصر معماری نظیر دیوارهای بنا و بام آن، نسبت به آفتاب در فصل‌های گوناگون سال اهمیت فراوانی در میزان مصرف انرژی با تمرکز بر فضای کنترل شده آن بنا دارد. این خصوصیات در گام ابتدایی یک فرایند طراحی، اهمیت اساسی دارد. (معماریان و همکاران، ۱۳۹۶، ص ۱۱۸). در این میان، باید بر مساله مصرف انرژی ساختمان نیز از همان مراحل ابتدایی طراحی، تمرکز نمود که به طور کلی، دو رویکرد در این خصوص وجود دارد: ۱. طراحی جهت کاهش نیاز انرژی ساختمان. ۲.طراحی جهت ذخیره و دریافت انرژی‌های پاک برای استفاده در بنا. لذا ساختمان باید به‌نحوی طراحی گردد که نیاز به انرژی‌های فسیلی جهت تامین آسایش حرارتی کاهش یابد که این امر از راه‌هایی همچون توجه به جهت‌گیری، فرم، مصالح و ... قابل انجام است.

پوسته‌های یک بنا، از جمله سقف ساختمان‌ها، نقش مهمی در میزان انتقال حرارت در ساختمان ایفا می‌کنند، لذا سقف یکی از بخش‌های اصلی ساختمان است، با توجه به اینکه شکل هندسی و فرم سقف، درصد زیادی از پوسته و سطح ساختمان را دربر می‌گیرد، می‌توان گفت که این عامل، نقش مهمی در میزان مصرف انرژی و ایجاد آسایش حرارتی در یک ساختمان ایفا می‌کند، به نحوی که در با شرایط اقلیمی گوناگون، واکنش فرم‌های مختلف بام به شکلی متفاوت است. توجه به اهدافی همچون بالارفتن میزان تابش و حرارت دریافتی از خورشید و همچنین مانع شدن از انتقال آب باران به داخل فضاها، برای انتخاب فرم مناسب بام ضروری می‌باشد. (تکباش و همکاران، ۱۴۰۳، ص ۱۸۷). توجه به این نکته حائز اهمیت است که اتلاف حرارتی بام‌ها با مساحت قابل توجه آن، این عنصر ساختمانی را حائز اهمیت نموده است، بام‌ها، بیشترین اتلاف را در زمستان دارند که باید در برابر این مساله، به گونه‌ای مناسب محافظت شوند.

۲- انرژی، معماری اقلیمی و بام‌ها

۲-۱-انرژی ساختمان

با توجه به آنکه منابع انرژی‌های فسیلی در قرن‌های آینده جوابگوی نیاز انرژی جهان برای بقاء، تکامل و توسعه نخواهد بود بنابراین استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی به جای منابع فسیلی امری الزامی است. (دفتر برنامه‌ریزی کلان انرژی، ۱۳۸۷، صص ۴-۶). امروزه افزایش نیاز روزافزون به انرژی، باعث آلودگی محیط ناشی از سوختن این منابع می‌شود که این آلودگی دارای پیامدهایی نظیر باران‌های اسیدی، به‌وجود آمدن پدیده گلخانه‌ای، افزایش دی اکسید کربن، بالا رفتن حرارت و گرمای زمین و در نهایت بیشتر شدن سطح آب‌های آزاد را به‌همراه دارد که این مسائل صرفا تعداد اندکی از این مشکلات می‌باشد، لذا بحران‌های موجود در خصوص افزایش آلودگی ناشی از تولید گازهای گلخانه‌ای، نیاز به ایجاد تغییر و دگرگونی در جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های پایان ناپذیری همچون انرژی خورشیدی را به اثبات می‌رساند. (شفیع‌پور و سلیمانی، ۱۴۰۲، ص ۳۰۲). کره زمین تمامی انرژی خود را به دو شکل مستقیم و غیرمستقیم از نور خورشید دریافت می‌کند.در نتیجه این تابش، دما نیز تغییر می‌کند که تمام موجودات به‌صورت مستقیم از این دما متاثر هستند. (جعفرپور، ۱۳۹۲، ص ۲۱۰). ساختمان‌ها نیز به طور کلی از نظر شرایط بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، به دو گونه تقسیم می‌شوند: ۱.ساختمان‌های دارای امکان بهره‌گیری

مناسب از انرژی خورشیدی، و ۲.ساختمان‌های دارای محدودیت در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی. (مبحث نوزده ،۱۳۹۹، ص ۳۰). که در شیوه‌های بهره‌وری از انرژی گرمایشی دو روش در ساختمان‌ها وجود دارد: روش فعال یا پویا (active) و غیرفعال یا ایستا (passive).

سیستم‌های پویا (فعال): گردآورنده‌های خورشیدی: جهت استفاده از انرژی خورشیدی لازم است که پرتوهای خورشیدی به طور مناسبی جذب گردند و براساس کاربردهای خاصی که مدنظر است تجهیزات خاصی طراحی و ساخته می‌شود، در این سیستم‌ها با استفاده از مجموعه بسیار زیادی از گردآورنده‌های خورشیدی، پرتوهای مستقیم خورشیدی متمرکز شده و انرژی گرمایی آن‌ها جذب می‌شود، (مازریا، ۱۳۸۵، ص ۴۳). در این سیستم بسیار مهم است که گردآورها در هنگام جذب انرژی (۹ صبح تا ۳ بعداز ظهر) به سمت خورشید باشند که تا حد ممکن کارآمد باشد. سیستم‌های ایستا (غیرفعال): این گونه سیستم‌ها بر پایه رویکردی هماهنگ پدر طراحی ساختمان شکل گرفته‌اند، به طوری که اجزای اصلی ساختمان نظیر پنجره‌ها، دیوارها و کف‌ها تا حد امکان عملکردهای متنوعی دارند. سه نوع از سامانه‌های خورشیدی ایستا را می‌توان نام برد که عبارتند از: ۱.جذب مستقیم. ۲.دیوار ترومب. ۳.فضای خورشیدی (لکنر، ۱۳۹۶، صص ۱۶۲-۱۷۴). از طریق این روش‌ها اجزای مختلف یک ساختمان، به طور همزمان الزامات معماری، بحث سازه و انرژی یک ساختمان را فراهم می‌سازند. بنابراین انرژی خورشیدی، از منابعی است که به‌راحتی در دسترس می‌باشد، به گونه‌ای که تغییر در نوع مصرف انرژی از فسیلی به خورشیدی می‌تواند راهکاری موثر جهت کاهش معضلات سوخت‌های فسیلی باشد که در این راستا، طراحی مناسب برای فضاهای شهری و بناهای مسکونی با دقت در مصرف بهینه از منابع انرژی موجود و هماهنگی ساختمان با شرایط محیطی و اقلیمی، راهکاری موثر و کارآمد می‌باشد.

در این میان، تاثیرپذیرترین جز ساختمان در برابر عوامل اقلیمی، بام ساختمان است. سطح بام به‌طور معمول بیشترین تاثیر را از میزان جذب تابش خورشیدی دارد. ذکر این نکته لازم است که تا حد زیادی این میزان و نوسانات آن، به فرم بام و نوع رنگ سطح آن بستگی دارد. در بناهای با یک طبقه، سطح بام حدودا برابر سایر سطوح جانبی است و لذا باید بیشتر مورد توجه باشد و چون در فصل زمستان تابش به صورت مایل است، لذا بیشترین میزان جذب انرژی می‌تواند از طریق پشت بام و دیوار جنوبی باشد و باید بهره‌وری از این انرژی به میزان حداکثر صورت گیرد. (قبادیان، ۱۴۰۰، ص ۹۸)

۲-۲-بام‌ها: سقف محدوده فضای بین خودش و سطح زمین را تعریف می‌کند. از آن‌جا که لبه‌های این محدوده به وسیله لبه‌های سطح بالای سر ایجاد می‌شود، شکل این فضا توسط شکل و اندازه سطح بالای سر و ارتفاع آن از سطح زمین تعریف می‌گردد. از نظر دی.کی. چینگ (۱۳۹۸،صص ۱۳۰- ۱۳۴)، شکل سطح سقف فضای داخلی می‌تواند معرف شکل سیستم سازه‌ای باشد که کف بالا یا سطح بام را نگه داشته است، با کنترل فرم، رنگ، بافت و شکل سطح سقف نیز می‌توان کیفیات آکوستیکی فضا را بهبود بخشید یا به آن کیفیت جهت‌گیری یا سمت مشخصی داد. بام، یکی از تاثیرپذیرترین اجزای ساختمان در برابر شرایط اقلیمی محسوب می‌شود. عواملی نظیر تابش خورشید و بارش برف، نسبت به سایر بخش‌های ساختمان تاثیر بیشتری بر بام دارند. بام‌ها در ساختمان‌ها نقش حفاظتی دارند که شامل کنترل خورشید، ذخیره حرارت و سرمایش تبخیری می‌باشد.

- کنترل خورشیدی: در ساختمان‌ها، با دریافت و جذب انرژی تابش خورشیدی از سطح بام، دما افزایش یافته و حرارت به فضای داخلی ساختمان، هوای اطراف و همچنین به آسمان منتقل می‌شود. این افزایش دمای سطح تا بالاتر از دمای محیط به میزان ضریب جذب خورشیدی سطح وابسته است.

- ذخیره سازی حرارت: انرژی خورشید به شکل گرما و حرارت در دیوارها، پارتیشن‌ها، کف‌ها و سقف ساختمان‌ها جذب و ذخیره می‌شود. این فرآیند به حفظ و تثبیت دمای داخلی در شرایط نوسان حرارتی کمک می‌کند.

- سرمایش تبخیری: جریان کلی گرما با توجه به اثرات تبخیری و جابه‌جایی، به دما و رطوبت محیط بستگی دارد و در انتقال انرژی نقش مهمی ایفا می‌کند. در طول روز، دمای بام تقریبا همیشه از دمای هوای اطراف بالاتر است، بنابراین این تعادل بیشتر در شب و برای عملکرد خنک‌کنندگی اهمیت پیدا می‌کند. دو شیوه برای سرمایش تبخیری بام موجود است. از یک طرف، حوضچه‌های روی بام و آب‌پاشی بام که می‌توان آن را روشی برای دفع گرمای خورشیدی که در سطح بام جذب می‌گردد، به حساب آورد (واتسون و لبز، ۱۴۰۱، صص ۷۹-۸۴). بام بخشی از جداره حرارتی ساختمان است که به طور مستقیم در معرض تغییرات آب و هوایی قرار می‌گیرد، تعامل‌های میان بام و محیط بیرونی شامل این موارد می‌باشد: ۱. دفع حرارت. ۲. جذب حرارت.۳. بازتاب نور خورشیدی (براون و دی‌کی، ۱۳۹۹، ص ۲۲۱). در صورت عدم تدابیر مناسب، این تغییرات از طریق بام به فضای داخلی منتقل شده و منجر به اتلاف انرژی خواهد شد.

به‌طور کلی، سه روش اصلی برای طراحی پوسته بام قابل دسته‌بندی است: ۱. برنامه‌ریزی برای جداسازی ساختمان از شرایط محیطی با استفاده از مقاومت حرارتی (عایق‌بندی). ۲. طراحی برای تنظیم زمان واکنش ساختمان نسبت به شرایط محیطی (جرم حرارتی). ۳. طراحی

پوسته به‌عنوان یک کانال حرارتی جهت جذب، انتقال و توزیع گرما. در روش سوم، برخلاف دو روش نخست، پوسته به گونه‌ای طراحی می‌شود که خود نقش فعالی در افزایش انتقال انرژی حرارتی در سراسر ساختمان ایفا می‌کند. (نیلسن، ۱۳۸۹، صص ۹۸-۱۰۰). جهت طراحی پوسته بام با بهترین شکل ممکن باید به جنبه های مختلفی نیز همچون ارتفاع سقف طبقات زیرین، توجه جهت ایجاد تهویه و طراحی متناسب برای حفاظت از سقف در برابر باران باید توجه کافی را داشت. آنچه که در چارچوب فرم در معماری قابل درک است، دربرگیرنده مجموعه‌ای از عوامل می‌باشد که شامل اندازه، رنگ، شکل و تعادل بصری می‌باشد. (صفدریان و کوثری حقیقی، ۱۳۹۶، ص ۳۲). فرم‌های گوناگون بام، با توجه به واکنش آن‌ها نسبت به شرایط خاص اقلیمی، می‌توانند تاثیرات متفاوتی داشته باشند. در هنگام انتخاب فرم مناسب برای بام لازم است موارد زیر مدنظر قرار گیرد: محافظت در برابر تابش خورشید به منظور کاهش انتقال گرما، ضروری است. ایجاد جریان هوا برروی سطوح می‌تواند به فرایند خنک‌سازی کمک کند. همچنین حفاظت در برابر بارش باران باید به گونه‌ای باشد که آب به سهولت از روی سطوح عبور کند و از پنجره‌ها دور شود.



شکل ۱: طرح‌های مختلف بام (منبع: نگارندگان)

- بام ساده: این نوع بام به سه دسته اصلی بام تخت، بام شیب‌دار و بام قوسی تقسیم می شود. در بام‌های تخت، جنس مصالح خارجی، عامل موثری بر رنگ بام است و در مواردی که نیاز به تاثیرگذاری بیشتر باشد، معمولا از تهویه در فضای داخلی بهره گرفته می‌شود. این نوع بام، تنها سطحی است که به طور کامل کنترل‌پذیر می‌باشد. بام شیب‌دار نیز براساس میزان و جهت شیب خود، مقدار متفاوتی از انرژی تابشی خورشیدی را جذب می‌کند. این گونه بام‌ها، به همراه بام‌های گنبدی و قوسی تبادل گرما را از طریق تابش تعدیل می‌کنند. در این نوع طراحی‌ها، بخش محدودی از سطح بام در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد و بام‌های قوسی (گنبدی) نیز برخلاف بام‌های تخت، در طور روز همیشه بخشی از سطح خود را در سایه نگه می‌دارند. این نوع سقف از دیدگاه هندسی از چرخش نوعی چفد حول محوری قائم به‌وجود می‌آید. (گلابچی و جوانی دیزجی، ۱۴۰۱، ص ۱۴۲). استفاده از سطوح گنبدی باعث افزایش مساحت سطح کلی بام می‌شود. این افزایش مساحت، نقش مثبتی در انتقال و تبادل حرارت ایفا کرده و موجب کاهش حرارت جذب شده در طول روز و افزایش بازدهی از دست دادن حرارت در شب می‌گردد که چنین ویژگی موجب بهتر شدن دمای فضا می‌شود. (نیلسن، ۱۳۸۹، صص ۵۵-۵۶). هر سه نوع بام ذکر شده از یک پوسته تک لایه تشکیل شده‌اند که به همین دلیل به آن‌ها بام ساده گفته می‌شود.

- بام مرکب: به ساختار بامی اطلاق می‌گردد که به صورت چند لایه باشد. این نوع بام، شامل: بام با دو پوسته، حوضچه بام و بام سبز می‌باشد. بام دو پوسته در ابتدا به شکل گنبدهای دو پوسته و شیروانی بوده اما امروزه در نوع بام تخت سقف کاذب نیز قابل مشاهده است. (کسمایی، ۱۳۹۹، ص ۴۵). شکل کلی این بام‌ها متشکل از دو لایه است که در آن‌ها بام و سقف متفاوت از یکدیگرند و در میان این دو، فاصله وجود دارد. در حوضچه بام (یا همان بام آبی)، بر روی یک بام تخت فلزی، کیسه‌های پلاستیکی به رنگ سیاه و پرشده از آب را قرار می‌دهند که در طول روزهای زمستان، این کیسه‌ها توسط نور خورشید گرم می‌شوند که این گرما به روش هدایت به سمت پایین جریان پیدا می‌کنند و از سقف به فضای نشیمن تابیده می‌شوند. در طول شب نیز، این عایق آب را جهت حفظ گرما و عدم دفع آن به سمت آسمان می‌پوشاند. (لکنر، ۱۳۹۶، صص ۱۸۲-۱۸۴). ایده بام آبی مشابه دیوار ترومب است، تنها تفاوت آن‌ها در این است که در اینجا بام، ذخیره ساز حرارت می‌باشد. با وجود بام سبز نیز مساله گیاهان از بین رفته در فضاهای شهری حل می‌گردد، بام‌های سبز سیستم‌های پایداری هستند که دارای مزایای مختلف برای محیط زیست، بحث‌های زیبایی‌شناسانه و همچنین بهینه‌سازی مصرف انرژی است. (ضرغامی و ادیبی، ۱۳۹۵، ص ۷۶). بام سبز به دو شکل گسترده (با یک یا دو نوع گیاه)و همچنین متمرکز (باغ بام و شامل انواع مختلفی از گیاهان) که باعث کاهش مصرف انرژی سالیانه می‌شود. (Jaffal et al, 2012, p 159). بام‌ها یکی از اجزای اصلی ساختمان‌ها هستند که در طراحی چندان مورد توجه نبوداند. لذا برای طراحی مطلوب آن‌ها، می‌توان با ارائه راه‌کارهایی موثر، موجب صرفه‌جویی در میزان مصرف انرژی شد. که در

این راستا، با بررسی چگونگی عملکرد حرارتی و تغییرات این عملکرد در ساعات و فصول مختلف می‌توان به این مهم دست یافت. بدین معنا هم مباحث اقلیمی و هم آیین‌نامه‌های ساخت و مقررات را در آن‌ها رعایت کرد. مواردی نظیر سقف‌های دوپوسته، عایق‌کاری و ... از جمله این راهکارها هستند که در بهبود شرایط عملکرد حرارتی نقش موثر دارند اما در پژوهش پیش‌روی، مطالعه بر روی میزان جذب انرژی از تابش خورشید در سقف ساختمان‌ها با چهار نوع فرم متغیر؛ سقف مسطح، گنبدی، شیبدار ۴۵-۴۵ و شیبدار ۳۰-۶۰ در یک فضای با مساحت و شکل و ارتفاع ثابت برای هر چهار مورد، در مناطق سرد مدنظر می‌باشد که در این خصوص از روش مشابه‌سازی محاسباتی در نرم‌افزارهای مربوطه به‌عنوان روش تحقیق استفاده شده است.

۳- پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متعددی در زمینه بهره‌وری از انرژی خورشیدی، تاثیر سقف و همچنین صرفه‌جویی در مصرف انرژی انجام شده است که اهم آن‌ها با تکیه بر پژوهش‌های داخلی و به صورت مختصر بدین شرح می‌باشد:

در تحقیقی که ذکاوت، طاهباز و حافظی (۱۴۰۱)، راجع به تاثیر موقعیت قرارگیری ساختمان با هدف کمینه‌سازی مصرف انرژی و هزینه ساخت در آپارتمان‌های مسکونی تهران انجام داده‌اند، به این صورت بوده است که آپارتمان‌های از تمامی جنبه‌ها نظیر مساحت زیربنا، تعداد طبقات، سیستم‌های گرمایش و سرمایشی و سایر مشخصات با هم برابر بوده و تنها تفاوت آن‌ها در موقعیت قرارگیری در یک گذر می‌باشد که در نهایت و با کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر و الگوریتم ژنتیک به این نتیجه رسیده‌اند که بهینه‌ترین حالت را بلوک‌ها با بیان میزان درصد نورگیری آن‌ها درتمامی جبهه‌ها بیان می‌کنند. در پژوهش دیگری که توسط Runsheng و همکارانش به انجام رسیده است، میزان جذب انرژی خورشیدی در بام‌های گنبدی و طاق‌دار در مقایسه با بام‌های تخت مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که در فصل گرم، آسایش حرارتی در سقف‌های منحنی به شکل بهتری فراهم می‌شود. در تحقیقی شفیع‌پور یوردشاهی و سلیمانی (۱۴۰۲) به بررسی عملکرد سقف‌های افقی و شیبدار در دو نوع سیستم خورشیدی فتوولتاییک BAPV و BIPV با شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار PVsys7.2 در منطقه‌ای سرد نظیر شهر ارومیه می‌پردازند. نتایج حاصل از این بررسی در زوایای مختلف بیانگر آن است که برای سقف شیبدار با زاویه ۳۵ درجه بیشترین جذب انرژی و بهترین بازدهی پنل‌ها را دارد. در پژوهش شرقی و عظیمی فریدنی (۱۳۹۵)، با شبیه‌سازی در نرم‌افزار رویت و تحلیل آن در انرژی پلاس به بررسی چهار نوع سقف تخت، شیبدار یک طرفه، دو طرفه و چهار طرفه و با زوایای مختلف در اقلیم سرد کوهستانی با هدف دست‌یابی به فرم و زاویه بهینه سقف شیب‌دار براساس دریافت انرژی تابشی می‌پردازند. در این تحقیق مشخص می‌شود که سقف دو طرفه ۸-۴۵ بهترین کارکرد را در زمستان دارد. پژوهش تکباش، حاتمیان و فرشچی (۱۴۰۳)، به تاثیر طراحی فرم بام بر عملکرد اقلیمی در یک منطقه گرم و خشک با فرم‌های بام مسطح، بام با سایبان صاف و منحنی، سقف طاقی در دو جهت طولی و عرضی با طاق آهنگ و سقف گنبدی با تحلیل نرم‌افزاری پرداخته‌اند. یافته‌ها بیانگرآن است که سقف طاق عرضی در مناسب‌ترین عملکرد اقلیمی و پس از آن سقف مسطح ارتفاع ۶ متری و سقف با سایه‌بان گنبدی به یک اندازه عملکرد اقلیمی داشتند و در نهایت سقف گنبدی و سقف طاق طولی و همچنین سقف مسطح ارتفاع ۳ متری نیز با عملکرد اقلیمی نامناسب بوده‌اند. در تحقیقی زین العابدین زاده، مدی و مافی (۱۴۰۰) نیز جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی به بررسی فرم و ارتفاع آتریوم در اقلیمی سرد و خشک مشهد پرداخته‌اند که دراین پژوهش نیز از نرم‌افزار فلوئنت و معادلات ریاضی بهره گرفته شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بالاترین طبقه و زیر سقف نورگیر محدوده بحرانی محسوب می‌شود و میزان مصرف انرژی آن جهت تامین آسایش حرارتی زیاد می‌باشد که با استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا می‌توان این میزان مصرف را کاهش داد. در مقاله دیگری نیز یوسفی و همکاران (۱۴۰۰)، سیستم زمین گرمایی عمودی در ساختمان‌های شهر تهران جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی را با کمک نرم‌افزار کامپیوتری (Designbuilder) مورد بررسی قرار داده‌اند و در آن به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از این سیستم جهت تامین نیاز حرارتی، سبب حذف مصرف گاز طبیعی می‌شود و به تبع آن تولید کربن نیز کاهش می‌یابد. به طور کلی، در سالیان اخیر، تحقیقات متعددی در خصوص پوسته‌های ساختمانی نظیر جداره‌ها و یا سقف‌ها و همچنین بحث بهروری انرژی و صرفه‌جویی در مصرف آن جهت دستیابی به کارایی بیشتر به انجام رسیده است اما در زمینه طراحی فرم بهینه برای سقف‌ها جهت جذب انرژی گرمایشی بیشتر و با سقف‌های رایج در اقلیمی سرد، پژوهشی صورت نگرفته است. در مطالعه پیش‌روی، نویسندگان در نظر دارند تا با نگاهی جامع‌تر به مساله مطرح شده در پژوهش، به بررسی فرم سقف‌ها با شکل‌های مسطح، انحنادار (گنبدی)، زاویه‌دار ۳۰-۶۰ و ۴۵-۴۵ در راستای بالاترین دریافت انرژی خورشیدی و یافتن فرم بهینه بپردازند.

٤- سوال و روش تحقیق

با مطالعه ساختمان‌های بومی این نکته حاصل می‌شود که این ساختمان‌ها کاملا براساس اصول اقلیمی و در جهت استفاده حداکثری از انرژی تجدیدپذیر طراحی و ساخته شده‌اند. در این نوع معماری با در نظر گرفتن کاربری‌های مختلف و قابلیت‌های آن‌ها سعی شده است که هر بخش از فضا بسته به کاربری خود در ساعات مختلف شبانه روز در محلی قرار گیرد که بیشترین آسایش را برای کاربران فراهم کند. این در حالی است که امروزه یکی از مسائل بحرانی که بشر با آن سروکار دارد بحث استفاده بیش از حد از منابع انرژی فسیلی و آلودگی محیط زیست و تغییرات آب و هوایی ناشی از تولید گازهای گلخانه‌ای حاصل از این سوخت‌هاست که به صورت موضوعی جدی درآمده است. (بیشمی و اسماعیلی جولادی، ۱۴۰۳، ص ۷۱۳). در این راستا مناسب‌ترین و سریع‌ترین راه‌کار که از لحاظ زیست محیطی نیز مناسب می‌باشد، افزایش بهره‌وری انرژی است.

اما با توجه به گستردگی اقلیم سرد و خشک در نیم‌کره شمالی و همچنین در کشور ایران، تمرکز بر اصول طراحی برای شرایط سرد مورد توجه است، زیرا در این اقلیم که نیاز بیشتری به مصرف انرژی فسیلی برای بناها می‌باشد با طراحی مناسب و کارآمد، می‌توان بخش عمده‌ای از کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و درنتیجه کمتر شدن آلودگی‌های ناشی از این مصرف را شاهد بود، به گونه‌ای که تمامی اجزای ساختمان (از جمله سقف‌ها) طبق اصول و قوانین مربوطه طراحی و ساخته شوند. این‌جاست که نقش بسیار مهم طراحی معماری در ساخت ساختمان‌ها و در بام آن‌ها نمایان می‌شود. لذا مساله اصلی آن است که بدانیم سقف‌ها چه تاثیری در میزان جذب انرژی خورشیدی و بهره‌وری بیشتر دارند، به‌گونه‌ای که با طراحی مناسب و با به‌کارگیری روش‌های درست در اقلیم‌های مرتبط به آن‌ها، باعث ذخیره بیشتر انرژی شد. هدف کلی که در این پژوهش مدنظر قرار دارد، متوجه ساختن جامعه معماران و طراحان حیطه ساخت در تمرکز بیشتر به طراحی عنصری همچون بام و تاثیر زیاد آن در بهینه‌سازی مصرف انرژی بناها می‌باشد، اما اهدافی که در زیرمجموعه هدف کلی و در راستای این پژوهش مدنظر می‌باشد عبارت است از:

- بررسی انواع سقف ساختمان‌ها و انتخاب پرکاربردترین سقف‌ها در بناهای ساخته شده جهت بررسی دقیق‌تر در پژوهش.
- مقایسه چهار نوع سقف متداول از نظر بالاترین میزان جذب انرژی خورشیدی در مناطق سرد جهت دست‌یابی به بهترین نوع سقف.

در این پژوهش سوالاتی که مطرح می‌شود بدین قرار است:

۱-آیا رابطه‌ای میان فرم بام ساختمان و میزان مصرف انرژی ساختمان در فصل‌های سرد سال وجود دارد؟ و این رابطه چگونه است؟

۲- چگونه می‌توان با استفاده از طراحی معماری و انتخاب فرم بهینه سقف مصرف انرژی ساختمان را در فصل‌های سرد سال کاهش داد؟

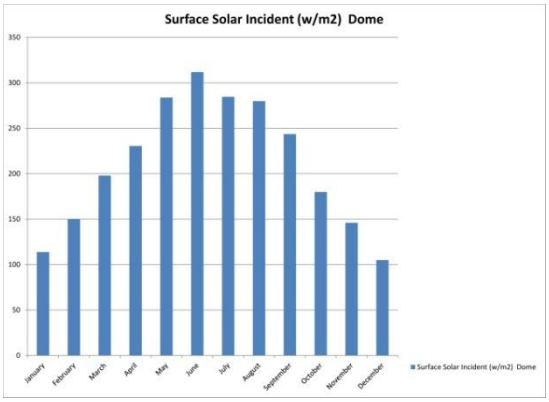
روش دست‌یابی به پاسخ سوالات، استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای جهت بدست آوردن اطلاعات مربوط به پیشینه تحقیق و ادبیات موضوع است که برای انجام کار از روش مورد پژوهی در برخورد با نمونه‌ها می‌توان بهره‌مند شد و روش تحقیق شبیه‌سازی- مدل‌سازی در تحلیل کلیت پروژه‌ها و برای دستیابی به نتایج مورد نظر را می‌توان به کار گرفت (گروت و وانگ، ۱۴۰۰، ص ۲۸۰). از آن‌جایی که اقلیم در رفتار سقف‌ها از نظر جذب پرتوهای خورشیدی تاثیر بسیار زیادی دارد بنابراین محدود مکانی که برای طرح در نظر گرفته شده است که به اقلیم کوهپایه‌ای شمال تهران مربوط می‌شود و سایت پیشنهادی محدوده ولنجک می‌باشد.

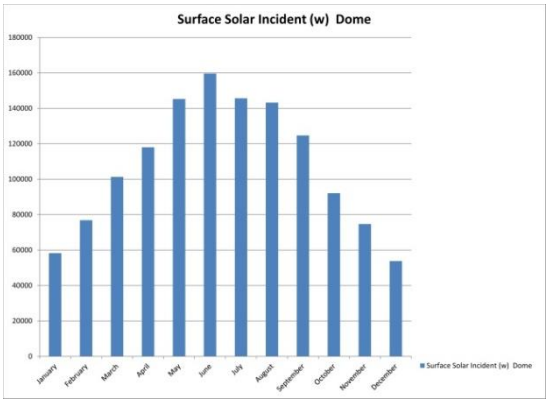
۵- شبیه‌سازی و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار انرژی پلاس

در نمونه انتخابی به دلیل وجود تنوع در فرم سقف‌ها و جهت بررسی کامل و افزایش دقت در چگونگی دریافت انرژی آن‌ها، صرفا سقف‌هایی انتخاب شده‌اند که ساخت آن‌ها در ساختمان‌های ایران متداول‌تر می‌باشد. لذا در این تحقیق، ۴ نوع از سقف‌های متداول یعنی سقف مسطح، گنبدی، شیب‌دار ۶۰-۳۰ و شیب‌دار ۴۵-۴۵ در نظر گرفته شده است که هر کدام به طور جداگانه و در ماه‌های سال در برنامه نرم‌افزاری انرژی پلاس بررسی و مورد تحلیل قرار گرفته‌اند تا از این طریق بتوان به نتیجه مطلوب دست یافت و سعی در آن بوده است که سایر موارد نظیر مصالح و پوشش درونی و بیرونی ساختمان (با توجه به تاثیر ضریب هدایت حرارتی مصالح گوناگون)، مساحت بنا، اندازه و نوع بازشوها، جهت‌گیری بنا، رنگ سقف و سایر اجزا به صورت ثابت و برابر برای هر چهار مدل در نظر گرفته شود. با این روش، می‌توان به نتایج دقیق‌تری در شبیه‌سازی دست یافت، همچنین جهت تحلیل در نرم‌افزار انرژی پلاس باید نمودارهای حاصل از آن را بررسی، تجزیه و تحلیل کرد. داده‌های حاصل از برنامه انرژی پلاس برای این تحقیق بر حسب وات بر متر مربع می‌باشد. هنگامی که اساس را بر حسب وات قرار دهیم، مساحت سطح مورد نظر را در عدد به دست آمده از انرژی پلاس ضرب کرده و میزان کل انرژی دریافتی سطح مورد نظر حاصل می‌گردد. در صورتی‌که مبنا را بر حسب وات بر متر مربع در نظر بگیریم، میزان متوسط انرژی دریافتی سطح مورد نظر نشان داده می‌شود.

مطرح کردن تمامی جداول و نمودارهای حاصله از این برنامه در این تحقیق نمی‌گنجد لذا جداول و نمودارهای مربوط به تک تک سقف‌ها در پیوست ذکر می‌شود و در این جا تنها جدولی از مقایسه کل سقف‌ها قرار داده می‌شود.

۵-۱- سقف گنبدی در کل ماه‌های سال





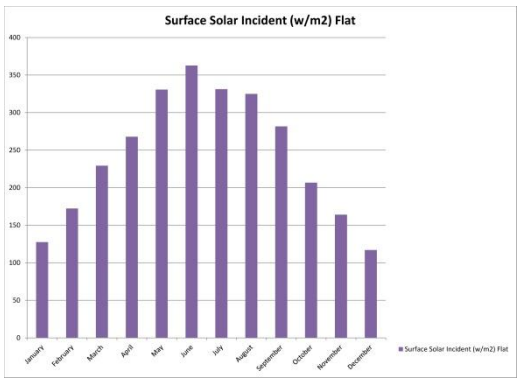
شکل ۲. سقف گنبدی بر حسب وات در کل ماه‌های سال (سمت راست). منبع: نگارندگان.

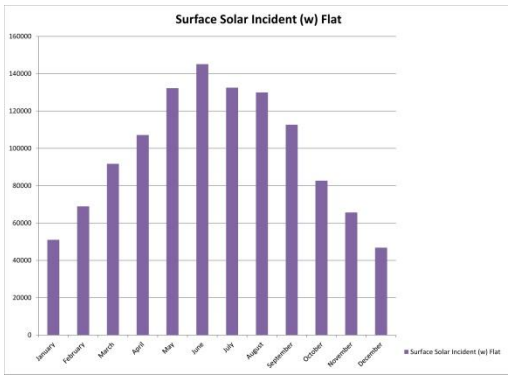
شکل ۳. سقف گنبدی بر حسب وات بر متر مربع در کل ماه‌های سال (سمت چپ). منبع: نگارندگان.

با توجه به دو نمودار فوق می‌توان گفت که سقف در هر دو حالت نمودار در تیرماه که گرم‌ترین فصل سال است و شدت تابش آفتاب بسیار زیاد می‌باشد بیشترین میزان انرژی (به طورتقریبی ۱۶۰۰۰۰ وات و ۳۱۱ وات بر مترمربع) و در دی ماه که شدت آفتاب بسیار کم است، کمترین میزان انرژی را دریافت می‌کند (تقریبا ۵۴۰۰۰ وات و ۱۰۵ وات بر مترمربع). به همین ترتیب بعد از تیرماه از میزان دریافت‌های انرژی کاسته می‌شود، به‌گونه‌ای که در مرداد ماه به طورتقریبی ۱۴۶۰۰۰ وات و ۲۸۴ وات بر مترمربع، در خرداد ماه ۱۴۵۰۰۰ وات و ۲۸۳ وات بر مترمربع، درشهریور ماه ۱۴۳۰۰۰ وات و ۲۷۹ وات بر مترمربع، در مهر ماه ۱۲۵۰۰۰ وات و ۲۴۳ وات بر مترمربع، در اردیبهشت ماه ۱۱۸۰۰۰ وات و ۲۳۰ وات بر مترمربع، در فروردین ماه ۱۰۱۰۰۰ وات و ۱۹۷ وات بر مترمربع، در آبان ماه ۹۲۰۰۰ وات و ۱۷۹ وات بر مترمربع، در اسفند ماه ۷۷۰۰۰ وات و ۱۵۰ وات بر مترمربع، در آذر ماه ۷۵۰۰۰ وات و ۱۴۵ وات بر مترمربع، در بهمن ماه ۵۸۰۰۰ وات و ۱۱۳ وات بر مترمربع می‌شود. ترتیب جذب انرژی خورشیدی را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:

تیر> مرداد> خرداد> شهریور> مهر> اردیبهشت> فروردین> آبان> اسفند> آذر> بهمن> دی

۵-۲- سقف مسطح در کل ماه‌های سال





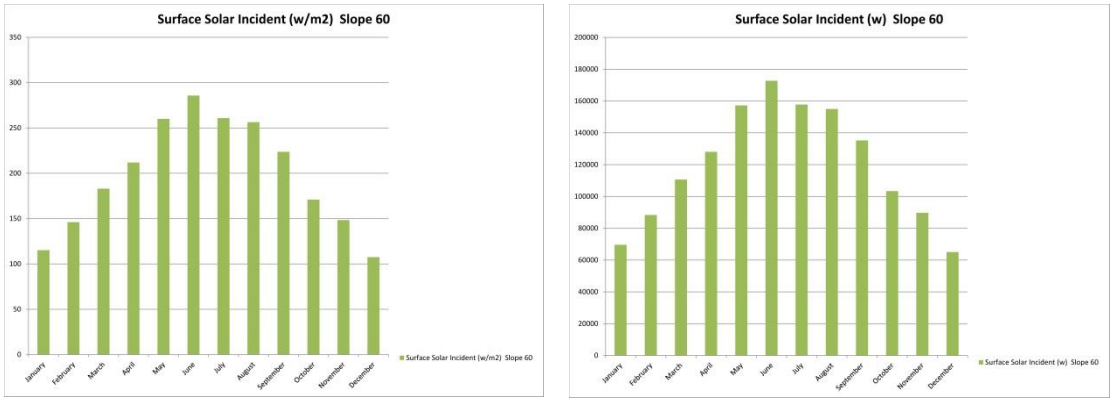
شکل ۴. سقف مسطح بر حسب وات در کل ماه‌های سال (سمت راست). منبع: نگارندگان.

شکل ۵. سقف مسطح بر حسب وات بر متر مربع در کل ماه‌های سال (سمت چپ). منبع: نگارندگان.

در نمودار سقف مسطح بیشترین میزان به تیر ماه مربوط می‌شود که به طور تقریبی ۱۴۵۰۰۰ وات و ۳۶۲ وات بر مترمربع است، به همین ترتیب از میزان دریافت پرتوهای خورشیدی کاسته می‌شود، که به ترتیب در مرداد ماه دریافت ۱۳۳۰۰۰وات و ۳۳۱ وات بر مترمربع، در خرداد ماه ۱۳۲۰۰۰ وات و ۳۳۰ وات بر مترمربع، در شهریور ماه ۱۳۰۰۰۰ وات و ۳۲۴ وات بر مترمربع، در مهر ماه ۱۱۳۰۰۰ وات و ۲۸۱ وات بر مترمربع، در اردیبهشت ماه ۱۰۷۰۰۰ وات و ۲۶۷ وات بر مترمربع، در فروردین ماه ۹۲۰۰۰ وات و ۲۲۹ وات بر مترمربع، در آبان ماه ۸۳۰۰۰ وات و ۲۰۶ وات بر مترمربع، در اسفند ماه ۶۹۰۰۰ وات و ۱۷۲ وات بر مترمربع، در آذر ماه ۶۶۰۰۰ وات و ۱۶۳ وات بر مترمربع، در بهمن ماه ۵۱۰۰۰ وات و ۱۲۷ وات بر مترمربع و در نهایت در دی ماه که به دلیل شدت تابش پایین، کمترین میزان را به خود اختصاص می‌دهد یعنی ۴۷۰۰۰ وات و ۱۱۷ وات بر مترمربع می‌باشد. ترتیب جذب انرژی خورشیدی را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:

تیر> مرداد>خرداد> شهریور> مهر> اردیبهشت> فروردین> آبان> اسفند> آذر> بهمن> دی

۵-۳- سقف شیب‌دار ۶۰- ۳۰ در کل ماه‌های سال



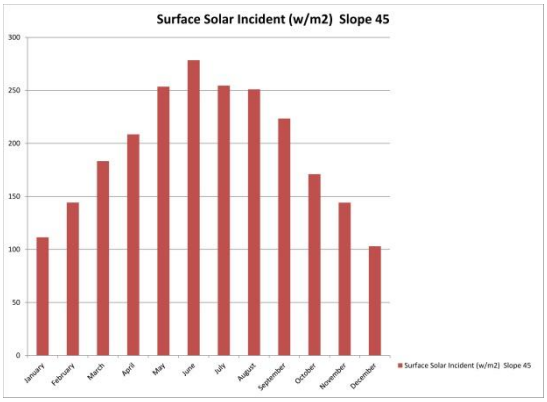
شکل ۶. سقف شیب‌دار ۶۰-۳۰ بر حسب وات در کل ماه‌های سال (سمت راست). منبع: نگارندگان.

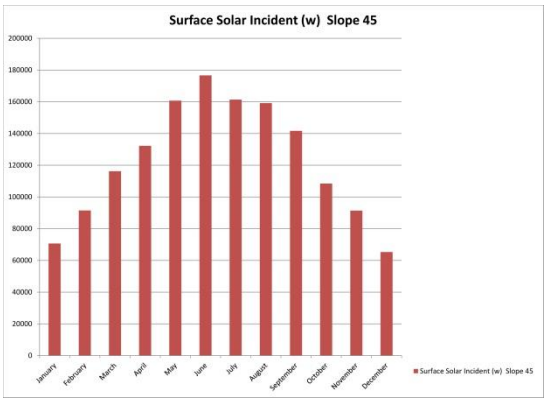
شکل ۷. سقف‌شیب دار ۶۰-۳۰ بر حسب وات بر متر مربع در کل ماه‌های سال (سمت چپ). منبع: نگارندگان.

طبق نمودار چنین برداشت می‌شود که در این نوع سقف نیز همانند نمونه‌های قبلی بیشترین میزان دریافت پرتوهای خورشیدی در تیر ماه می‌باشد که میزان آن به طور تقریبی ۱۷۳۰۰۰ وات و ۲۸۵ وات بر مترمربع است، به همین روال از میزان این دریافت در ماه‌های بعدی کاسته می‌شود که ترتیب آن بدین صورت می‌باشد: در مرداد ماه ۱۵۸۰۰۰ وات و ۲۶۰ وات بر مترمربع، در خرداد ماه ۱۵۷۰۰۰ وات و ۲۶۰ وات بر مترمربع، در شهریور ماه ۱۵۵۰۰۰ وات و ۲۵۶ وات بر مترمربع، در مهر ماه ۱۳۵۰۰۰ وات و ۲۲۳ وات بر مترمربع، در اردیبهشت ماه ۱۲۸۰۰۰ وات و ۲۱۱ وات بر مترمربع، در فروردین ماه ۱۱۱۰۰۰ وات و ۱۸۳ وات بر مترمربع، درآبان ماه ۱۰۳۰۰۰ وات و ۱۷۰ وات بر مترمربع، در آذر ماه ۹۰۰۰۰ وات و ۱۴۸ وات بر مترمربع، در اسفند ماه ۸۸۰۰۰ وات و ۱۴۶ وات بر مترمربع، در بهمن ماه ۷۰۰۰۰ وات و ۱۱۵ وات بر مترمربع و در نهایت در دی ماه که کمترین میزان را نیز دارد ۶۵۰۰۰ وات و ۱۰۷ وات بر مترمربع می‌باشد، تفاوتی که در این‌جا با دو نمونه قبلی مشاهده می‌شود این است که برخلاف نمونه‌های قبلی که بررسی شدند و در آن‌ها میزان دریافت در اسفند ماه بیشتر از آذر ماه بوده است ولی در این نمونه میزان دریافت انرژی در آذر ماه بیشتر از اسفند ماه می‌باشد، علاوه بر این در نمونه‌های قبلی میزان این دریافت‌ها در مرداد ماه بیشتر از خرداد ماه بوده است ولی در این نمونه این دو تقریبا با هم برابرند. ترتیب جذب انرژی خورشیدی را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:

تیر> مرداد≥ خرداد> شهریور> مهر> اردیبهشت> فروردین>آبان> آذر> اسفند> بهمن> دی

۵-٤- سقف شیب‌دار ٤٥- ٤٥ در کل ماه‌های سال





شکل ۸. سقف شیب‌دار ۴۵-۴۵ بر حسب وات در کل ماه‌های سال (سمت راست). منبع: نگارندگان.

شکل ۹. سقف‌شیب دار ۴۵-۴۵ بر حسب وات بر متر مربع در کل ماه‌های سال (سمت چپ). منبع: نگارندگان.

در این نمونه تفاوت در میزان جذب انرژی در ماه‌های مختلف تفاوت‌شان با هم کمتر می‌شود و اعداد به هم نزدیک هستند، بیشترین میزان انرژی متعلق به تیر ماه است که میزان آن ۱۷۷۰۰۰ وات و ۲۷۸ وات بر مترمربع است، به همین روال در مرداد ماه ۱۶۱۰۰۰ وات و ۲۵۴ وات بر مترمربع، در خرداد ماه ۱۶۱۰۰۰ وات و ۲۵۳ وات بر مترمربع، در شهریور ماه ۱۵۹۰۰۰ وات و ۲۵۱ وات بر مترمربع، در مهر ماه ۱۴۲۰۰۰ وات و ۲۲۳ وات بر مترمربع، در اردیبهشت ماه ۱۳۲۰۰۰ وات و ۲۰۸ وات بر مترمربع، در فروردین ماه ۱۱۶۰۰۰ وات و ۱۸۳ وات بر مترمربع، در آبان ماه ۱۰۹۰۰۰ وات و ۱۷۱ وات بر مترمربع، در اسفند ماه ۹۲۰۰۰ وات و ۱۴۴ وات بر مترمربع، در آذر ماه ۹۱۰۰۰ وات و ۱۴۴ وات بر مترمربع، در بهمن ماه ۷۰۰۰۰ وات و ۱۱۱ وات بر مترمربع و در نهایت در دی ماه ۶۵۰۰۰ وات و ۱۰۲ وات بر مترمربع می‌باشد. در این نمونه میزان جذب انرژی در ماه‌های مرداد و خرداد بر حسب وات با هم برابر است، همچنین در ماه‌های اسفند و آذر بر حسب وات بر مترمربع نیز با هم برابرند. ترتیب جذب انرژی خورشیدی را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:

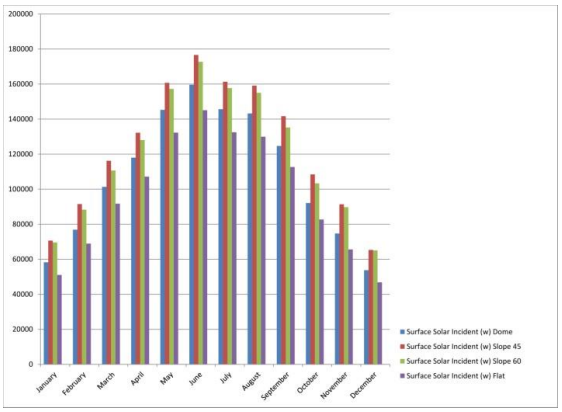
تیر> مرداد≥ خرداد> شهریور> مهر> اردیبهشت> فروردین> آبان> اسفند≥ آذر> بهمن> دی

۵-۵- مقایسه کل سقف‌ها با همدیگر

جدول ۱. مقایسه کل سقف‌ها در دریافت انرژی مستقیم و غیرمستقیم در طول سال برحسب وات.

Date/Time	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Surface Solar Incident (w) Dome	۵۸۲۵۳.۶۵	۷۶۸۷۸.۳۷	۱۰۱۳۰۸	۱۱۷۹۹۳.۵	۱۴۵۲۵۸.۷	۱۵۹۶۱۳.۹	۱۴۵۶۴۲.۳	۱۴۳۲۰۹.۳	۱۲۴۶۶۹	۹۲۰۷۵.۷۲	۷۴۶۷۵.۹۱	۵۳۷۴۸.۱۸
Surface Solar Incident (w) Flat	۵۱۰۱۷.۳۴	۶۸۹۰۵.۷۳	۹۱۷۱۰.۰۱	۱۰۷۱۵۸.۶	۱۳۲۲۶۷.۳	۱۴۵۰۷۹.۸	۱۳۲۴۴۸.۵	۱۲۹۹۶۵	۱۱۲۶۴۸.۲	۸۲۶۶۹.۰۸	۶۵۵۹۵.۳۴	۴۶۸۰۲.۷۲
Surface Solar Incident (w) Slope 60	۶۹۵۸۷.۱۸	۸۸۲۹۸.۳۱	۱۱۰۶۴۱.۵	۱۲۸۰۷۲.۶	۱۵۷۲۱۹.۶	۱۷۲۷۴۰.۹	۱۵۷۷۵۶	۱۵۵۰۱۹.۷	۱۳۵۲۱۸.۳	۱۰۳۳۳۹.۲	۸۹۶۷۵.۳۷	۶۵۰۱۱.۱۵
Surface Solar Incident (w) Slope 45	۷۰۶۴۶.۱۲	۹۱۴۶۴.۳۷	۱۱۶۱۹۹.۲	۱۳۲۲۰۸.۱	۱۶۰۷۲۱.۲	۱۷۶۶۰۹.۲	۱۶۱۳۶۵.۵	۱۵۹۱۴۴.۱	۱۴۱۶۵۱.۶	۱۰۸۴۲۱.۹	۹۱۳۷۴.۹۷	۶۵۲۷۸.۸۹

منبع: یافته‌های میدانی پژوهش

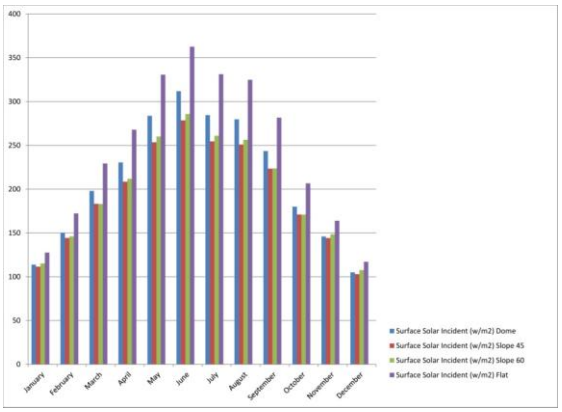


شکل ۱۰. مقایسه کل سقف‌ها در دریافت انرژی مستقیم و غیر مستقیم در طول سال بر حسب وات. منبع: نگارندگان.

جدول ۲. مقایسه کل سقف‌ها در دریافت انرژی مستقیم و غیرمستقیم در طول سال برحسب وات بر مترمربع.

Date/Time	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Surface Solar Incident (w/m2) Dome	۱۱۳.۸۱۸۹	۱۵۰.۱۳۰۷	۱۹۷.۹۴۰۷	۲۳۰.۵۴۱۶	۲۸۳.۸۱۳۷	۳۱۱.۸۶۱۶	۲۸۴.۵۶۳۲	۲۷۹.۸۰۹۶	۲۴۳.۵۸۴۵	۱۷۹.۹۰۲۲	۱۴۵.۹۰۵۵	۱۰۵.۰۱۵۹
Surface Solar Incident (w/m2) Flat	۱۲۷.۵۴۳۴	۱۷۲.۲۶۴۳	۲۲۹.۲۷۵	۲۶۷.۸۹۶۵	۳۳۰.۶۶۸۲	۳۶۲.۶۹۹۶	۳۳۱.۲۱۸۶	۳۲۴.۹۱۲۴	۲۸۱.۶۲۰۶	۲۰۶.۶۷۲۷	۱۶۳.۹۸۸۳	۱۱۷.۰۰۶۸
Surface Solar Incident (w/m2) Slope 60	۱۱۵.۱۰۵	۱۴۶.۰۵۵۳	۱۸۳.۰۱۳۵	۲۱۱.۸۴۶۵	۲۶۰.۰۵۸۹	۲۸۵.۷۳۲۷	۲۶۰.۹۴۶۱	۲۵۶.۴۲	۲۳۳.۶۶۶۳	۱۷۰.۹۱۸	۱۴۸.۳۳۳۱	۱۰۷.۵۳۵۷
Surface Solar Incident (w/m2) Slope 45	۱۱۱.۴۲۲۵	۱۴۴.۲۵۶۹	۱۸۳.۲۶۸۵	۲۰۸.۵۱۷۷	۲۵۳.۴۸۸۲	۲۷۴.۵۴۶۷	۲۵۴.۵۰۴۴	۲۵۱.۰۰۰۹	۲۲۳.۴۱۱۹	۱۷۱.۰۰۲۳	۱۴۴.۱۱۵۹	۱۰۲.۹۵۷

منبع: یافته‌های میدانی پژوهش



شکل ۱۱. مقایسه کل سقف‌ها در دریافت انرژی مستقیم و غیر مستقیم در طول سال بر حسب وات بر مترمربع. منبع: نگارندگان.

با توجه به نمودارها و جداول فوق می‌توان گفت که اگر میزان جذب انرژی بر حسب وات مدنظر باشد، در آن صورت کل انرژی در کل سطح محاسبه می‌شود، بنابراین مساحت کل سقف به گونه‌ای در محاسبه تاثیر دارد که هرچه این مساحت بیشتر باشد جذب انرژی نیز بیشتر می‌شود. با محاسبه مساحت کل سقف‌ها مشخص شد که سقف شیب‌دار ۴۵-۴۵ مساحتی برابر با ۶۳۴/۰۳۸ مترمربع و به همین ترتیب سقف شیب‌دار ۶۰-۳۰ مساحتی برابر با ۶۰۴/۵۵۴ مترمربع و سقف گنبدی مساحتی برابر با ۵۱۱/۸۱ مترمربع و در نهایت سقف مسطح که کمترین مساحت را یعنی برابر با ۴۰۰ مترمربع دارد.

میزان جذب پرتوهای خورشیدی را بر حسب **وات** و در ماه‌های مختلف به ترتیب به صورت زیر می‌توان عنوان کرد:

در کل ماه‌های سال: شیب‌دار ۴۵-۴۵ >شیب‌دار ۶۰-۳۰ > گنبدی > مسطح

ولی هنگامی که بخواهیم میزان جذب انرژی بر حسب وات بر مترمربع را محاسبه کنیم آنگاه انرژی جذب شده در یک متر به یک مترمربعی هر سقف محاسبه می‌شود، در آن صورت نتیجه به طور تقریبی عکس می‌شود، یعنی اگر بخواهیم در هر متر سقف‌ها محاسبه کنیم میزان جذب انرژی در سقف مسطح در کل ماه‌های سال از بقیه سقف‌ها بیشتر می‌شود، در فصل سرد یعنی در ماه‌های آذر، دی و بهمن به دلیل اینکه بخشی از سقف گنبدی در بیشتر مواقع در سایه قرار می‌گیرد و به طور کلی میزان جذب آن کاهش می‌یابد در این سه ماه جذب پرتوهای خورشیدی سقف شیب‌دار ۶۰-۳۰ بیشتر از سقف گنبدی (مساحت سقف گنبدی کمتر از سقف شیب‌دار ۶۰-۳۰ است ولی سقف گنبدی نسبت به آن بیشتر در سایه قرار می‌گیرد) است، ولی مساحت سقف شیب‌دار ۴۵-۴۵ از بقیه سقف‌ها بیشتر است به همین دلیل نمی‌تواند از سقف گنبدی جذب بیشتری داشته باشد، بنابراین نتیجه عکس می‌شود یعنی در سطح پایین‌تری از لحاظ جذب انرژی از بقیه سقف‌ها قرار می‌گیرد. بنابراین طبق نمودار داریم: میزان جذب پرتوهای خورشیدی را بر حسب وات بر متر مربع و در ماه‌های مختلف به ترتیب به صورت زیر می‌توان عنوان کرد:

در دی، بهمن و آذر ماه: مسطح >شیب‌دار ۶۰-۳۰ > گنبدی >شیب‌دار ۴۵-۴۵

در آبان و فروردین ماه: مسطح > گنبدی > شیب‌دار ۴۵-۴۵ > شیب‌دار ۶۰-۳۰

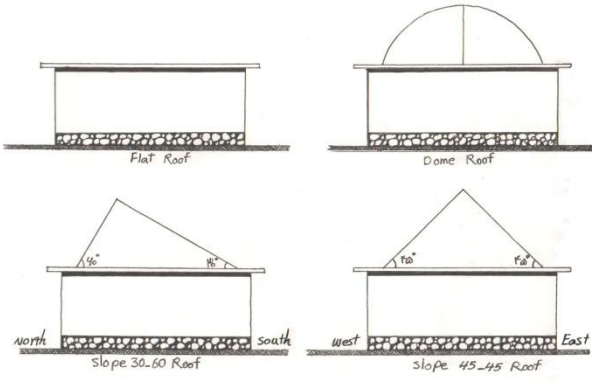
در اسفند، اردیبهشت، مهر، شهریور، خرداد، مرداد و تیر ماه: مسطح > گنبدی > شیب‌دار ۶۰-۳۰ > شیب‌دار ۴۵-۴۵

٦- نتیجه‌گیری

در این بخش به ارائه الگوی طراحی شده، گزینه‌هایی که برای طراحی وجود دارند و در نهایت انتخاب گزینه بهینه پرداخته می‌شود که در قالب آن پاسخ به سوالاتی که قبلا ذکر شده‌اند، محقق خواهد شد. لازم به ذکر است که انتخاب گزینه بهینه از میان گزینه‌های طراحی با توجه به این نکته که تنها شکل سقف تغییر می‌کند انجام می‌شود و عوامل کلی و یا جزیی دیگری که می‌تواند در این انتخاب سهیم باشد عواملی همچون باد، مصالح، تغییر جهت و نحوه قرارگیری ساختمان و . . . در این تحقیق به طور ثابت فرض شده‌اند تا از این طریق بتوان پیشنهاداتی در زمینه انتخاب نوع و چگونگی سقف ساختمان‌ها با این هدف که دریافت بیشتری از انرژی خورشیدی در فصول سرد داشته باشیم را ارائه داد و در نهایت از طریق طراحی درست و انتخاب گزینه مناسب برای سقف ساختمان‌ها می‌توان باعث بهره‌وری بیشتر از انرژی و در نتیجه آن کاهش مصرف انرژی شد.

در این تحقیق جهت بررسی چگونگی دریافت انرژی سقف‌ها، ۴ نوع از سقف‌های متداول یعنی سقف مسطح، گنبدی، شیب‌دار ۶۰-۳۰ و شیب‌دار ۴۵-۴۵ در نظر گرفته شده است که هر کدام به طور جداگانه و در ماه‌های سال بررسی و در نهایت این ۴ سقف در ۴ روز انقلابین و اعتدالین نیز در یک نمودار قرار داده شده‌اند که تفاوت آن‌ها بیشتر نمایان شود.

در ابتدای کار پس از اینکه سایت انتخاب شد، در این سایت زمینی به طول و عرض ۲۰ متر یعنی به مساحت ۴۰۰ مترمربع در نظر گرفته می‌شود، پس از آن، طراحی در این زمین صورت می‌گیرد، پلانی که طراحی می‌شود برای کل سقف‌ها ثابت و یکسان می‌باشد، همچنین ارتفاع و مصالح دیوارها، مصالح سقف و . . . نیز در طول جریان این تحقیق ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته شده است، دلیل این امر مقایسه سقف‌ها بدون دخالت دادن عوامل جانبی است و تنها عامل متغیر شکل و فرم سقف‌ها می‌باشد. به طور کلی در این تحقیق ۴ گزینه برای طراحی و انتخاب وجود دارد که در ابتدا این چهار نمونه عنوان می‌شود و پس از آن پلان مذکور نیز قرار داده می‌شود.



شکل ۱۲. نمای سقف‌های مورد بررسی در تحقیق (گزینه‌های طراحی). منبع: نگارندگان.

هدف این پژوهش ارائه پیشنهادهایی جهت کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری از آن می‌باشد، از آن جا که منابع انرژی روبه اتمام است و نیز این منابع باید برای نسل آینده حفظ شوند، علاوه‌بر این باتوجه به آنکه استفاده از این منابع بسیار هزینه‌بر و آلاینده‌های زیست محیطی حاصل استفاده از این منابع تجدیدناپذیر است، لذا برای جلوگیری از عواملی که در اثر استفاده از این منابع به وجود می‌آید می‌توان از انرژی‌های تجدیدپذیر (از جمله انرژی خورشیدی) استفاده بیشتری داشت برای این امر روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از این روش‌ها بررسی فرم سقف‌ها و تاثیری که سقف‌ها در بهره‌وری از انرژی دارند، لذا در این زمینه سوالاتی مطرح می‌شود که از جمله می‌توان عنوان کرد که:

۱-آیا رابطه‌ای میان فرم بام ساختمان و میزان مصرف انرژی ساختمان در فصل‌های سرد سال وجود دارد؟ و این رابطه چگونه است؟
۲-چگونه می‌توان با استفاده از طراحی معماری و انتخاب فرم بهینه سقف مصرف انرژی ساختمان را در فصل‌های سرد سال کاهش داد؟
در مطالب قبل مشخص شد که سقف‌ها در زمینه انرژی بیشترین سهم را دارند، لذا در این پژوهش ۴ نوع سقف متداول در نظر گرفته شد که هر یک از این موارد به صورت جداگانه در نرم‌افزارهای اکوتکت و انرژی پلاس بررسی و تجزیه و تحلیل شدند، از این میان نمونه‌ای که در فصل سرد سال یعنی در ماه‌های آذر، دی و بهمن بیشترین جذب انرژی را دارند می‌تواند مفید و ارزشمند واقع شود. با توجه به جداول مربوطه مشخص می‌شود که سقف شیب‌دار ۶۰-۳۰ از این نظر مورد قبول است. دلیل انتخاب سقف شیب‌دار ۶۰-۳۰: با دقت در جدول دریافت انرژی بر حسب وات بر متر مربع معلوم می‌شود که سقف مسطح در ماه‌های سرد ذکر شده بیشتر از سقف شیب‌دار ۶۰-۳۰ دریافت انرژی دارد ولی از طرف دیگر سقف مسطح در گرم‌ترین ماه سال یعنی تیرماه نیز بیشترین میزان جذب انرژی را دارد و این امر نکته‌ای منفی محسوب می‌شود، علاوه بر این سایت در منطقه ولنجک قرار دارد، یعنی جایی که میزان بارش برف و باران فراوان است لذا به نظر می‌رسد انتخاب سقف مسطح صحیح نباشد، پس به دلیل نکاتی که عنوان شد گزینه دوم یعنی سقف شیب‌دار ۶۰-۳۰ می‌تواند گزینه‌ی بهتری برای استفاده و طراحی باشد. لذا برای طراحی می‌توان به‌گونه‌ای عمل کرد که به کارگیری بیشتر و مناسب از این سقف نیز مدنظر قرار گیرد. راجع به طراحی فرم سقف‌ها در مناطق سرد می‌توان گفت که فرم سقف نباید سطح گسترده‌ای داشته باشد، بدین معنی سطحی که در مقابل عوامل بیرونی قرار می‌گیرد مساحت کمتری داشته باشد، علاوه بر این نسبت حجم به سطح بیشتر باشد یعنی فرم سقف به نوعی باشد که حجم بیشتری در مقابل سطح کمتری داشته باشد و در نهایت با توجه به داده‌های جداول و تجزیه و تحلیل‌هایی که صورت گرفت استفاده از فرم‌های سقف که جذب انرژی بیشتری دارند به ترتیب می‌تواند بدین صورت باشد:
میزان جذب پرتوهای خورشیدی را بر حسب وات و در ماه‌های مختلف به ترتیب به صورت زیر می‌توان عنوان کرد: در کل ماه‌های سال:
شیب‌دار ۴۵-۴۵ > شیب‌دار ۶۰-۳۰ >گنبدی > مسطح
میزان جذب پرتوهای خورشیدی را بر حسب وات بر متر مربع و در ماه‌های مختلف به ترتیب به صورت زیر می‌توان عنوان کرد:
در دی، بهمن و آذر ماه: مسطح > شیب‌دار ۶۰-۳۰ > گنبدی >شیب‌دار ۴۵-۴۵
راجع به سقف شیب‌دار ذکر این نکات مهم می‌باشد:
۱. فضای بین سقف شیب‌دار و فضای داخل می‌تواند به عنوان یک فضای حائل در نظر گرفته شود.

۲. این فضای حائل می‌تواند باعث شود که انرژی کمتری از دست برود، به عبارتی همانند یک فضای واسط عمل می‌کند، که این عمل باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود.

۳. این سقف‌ها باعث زیبایی ظاهری ساختمان نیز می‌شوند.

References:

Adibi, E and Zarghami, E. (2016). Thermal Performance Evaluation of Green Roof on Sustainability and Energy Efficiency in Residential Buildings in Hot and Dry Climates of Iran. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 4 (1), 75- 90.

Architecture. (1rd ed). Aval & Akhar.

Beishami, B and Esmaili, S. (2024). Strategies for Using Passive Solar Energy in Construction of Eco-Lodge in Xerothermic Climate Villages (Case Study of Dehsalm Village). *Journal of Advanced Environmental Sciences*, 22 (4), 711-728.

Bishemi, B., & Esmaeili Jouladi, S. (2024). Passive solar energy utilization strategies in designing eco-tourism accommodations in hot and arid villages. Journal of Environmental Sciences, 22(4), 711–728. [In Persian]

Brown, G. Z., & DeKay, M. (2020). Sun, wind & light: Architectural design strategies (S. Aghaei, Trans.; 3rd ed.). Parham Naghsh Publications. [In Persian]

Brown, G.Z & Mark, D. (2020). *Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies* (Trans Saied Aghaei; 3rd ed). Parham Naghsh.

D. K. (2019). Architecture: Form, space, and order (Z. Gharagozloo, Trans.; 15th ed.). University of Tehran Press. [In Persian]

D. K. Ching, F. (2019). *Architecture: Form, Space and Order (*Trans Zahra Gharegozlo; 15rd ed). University of Tehran.

Ghalabchi, M., & Javani Dizaji, A. (2022). Building technology in Iranian architecture (4th ed.). University of Tehran Press. [In Persian]

Ghobadian, V. (2021). *Climatic Analysis of Traditional Iranian Sustainable Buildings*. (11rd ed). University of Tehran.

Ghobadian, V. (2021). Climatic analysis of traditional sustainable buildings in Iran (11th ed.). University of Tehran Press. [In Persian]

Golabchi, M and Javani Dizgi, A. (2022). *Iranian Architecture Technology*. (4rd ed). University of Tehran.

Groat, L and Vang, D. (2021). *Architectural Research Methods* (Trans Alireza Ainifar). (11rd ed). University of Tehran.

Groat, L., & Wang, D. (2021). Architectural research methods (A. Einifar, Trans.; 11th ed.). University of Tehran Press. [In Persian]

Jafarpoor, E. (2013). Climatology (9th ed.). University of Tehran Press. [In Persian]

Jafarpour, E. (2013). *Climatology*. (9rd ed). University of Tehran.

Jaffal, I; Ouldboukhitine, S.E and Belarbi, R. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance, *Journal of Renewable Energy*, 43, 157-164.

Kasmaei, M. (2020). Climate and architecture (9th ed.). Khak Publications. [In Persian]

Kasmaei, M. (2020). *Climate And Architecture*. (9rd ed). Khak.

Lechner, N. (2017). Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects (M. A. Keynejad & R. Azari, Trans.; 3rd ed.). Tabriz Islamic Art University Press. [In Persian]

Lekner, N. (2017). *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects* (Trans Mohammad Ali Kay Nezhad, Rahman Azari: 3rd ed). University of Tabriz Islamic Art.

Mahdavi-Nejad, M. J. (2013). Energy-friendly building design based on the thermal behavior of roofs. Journal of Naqsh-e Jahan, 3(2), 35–42. [In Persian]

Mahdavinezhad, M.J; Badri, N and Fakhari, M. (2014). Stablishment of Optimum Designing Pattern in Buildings Roof Shape Based on Energy Loss. *Journal of Naqshejahan*, 3 (2), 35- 42.

Mazria, E. (2006). *The Passive Solar Energy* (Trans Bizhan Aghazadeh; 1rd ed). Peyk Adabiat.

Mazria, E. (2006). The passive solar energy book (B. Aghazadeh, Trans.; 1st ed.). Peyk-e Adabiat Publications. [In Persian]

Memarian, G. H., Modahi, S. M., Aini, S., & Abdollahi, A. (2017). Investigating the role of building envelopes in reducing energy consumption in the traditional-residential fabric of Kashan

(Case study: Borujerdi House). Armanshahr Architecture & Urban Development, 10(21), 113–124. [In Persian]

Memarian, GH. H; Madahi, S. M; Aeini, S and Abdolahi, A. (2018). Investigating the Effects of Walls on Reducing Energy Consumption in Traditional-residential Areas of Kashan, Case Study: Boroujerdi House. *Journal of Armanshahr Architecture & Urban Development*, 10 (21), 113-124.

National Building Regulations Office. (2020). *Nineteen Topic of National Building Regulations: Energy Saving*. (4rd ed). Tosei Iran.

Nielsen, H. (2010). Natural ventilation: A design guide for hot climates (M. Ahmadi-Nejad, Trans.; 1st ed.). Khak Publications. [In Persian]

Nilson, H. K. (2020). *Natural Ventilation* (Trans Mohammad Ahmadi Nezhad). (1rd ed). Khak.

Office of National Building Regulations. (2020). National Building Regulations of Iran, Part 19: Energy conservation (4th ed.). Tose'e Iran Publications. [In Persian]

Safadarian, Gh., & Kowsari Haghighi, H. (2017). Explaining the position of form in contemporary Iranian architecture (1st ed.). Aval va Akhar Publications. [In Persian]

Shafiepour Yordshahi, P., & Soleimani, H. (2023). Analysis and evaluation of the performance of flat and pitched roofs in BAPV and BIPV solar systems (Case study: Urmia). Karafen Scientific Quarterly, 20(4), 297–317. [In Persian]

Shafipour Yourdshahi, P and Soleimani, H. (2024). Analysis and Evaluation of the Performance of Horizontal and Sloped Roofs in BAPV and BIPV Solar Systems (Case Study: Urmia City). *Journal of Karafan*, 20 (4), 297- 317.

Takbash, M., Hatamian, M. R., & Farshchi, H. R. (2024). The effect of roof form design on its climatic performance in hot and arid regions. Karafen Scientific Quarterly, 21(4), 169–192. [In Persian]

Takbash, M; Hatamian, M and Farshchi, H. (2024). The Effect of Room Form Design on its Climatic Performance in a Hot and Location: Software Analysis in the Climate of Kashan Ciry. *Journal of Karafan*, 21 (4), 169- 192.

Watson, D and Labs, K. (2022). *Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices* (Trans Mohammad Feiz Mahdavi; 18rd ed). University of Tehran.

Watson, D., & Labs, K. (2022). Climatic design: Theory and practice of energy use in buildings (M. Feyz-Mahdavi, Trans.; 18th ed.). University of Tehran Press. [In Persian]

Zarghami, E., & Adibi, E. (2016). Evaluation of the thermal performance of green roofs in promoting sustainability and optimizing energy consumption in residential buildings in the hot and arid climate of Iran. Journal of Sustainable Architecture, 4(1), 75–90. [In Persian]

Zekavat, M., Tahbaz, M., & Hafezi, M. R. (2023). The role of building design and location in optimizing energy consumption (Case study: Engineered buildings in Tehran). Journal of Islamic Art Studies, 20(50), 186–212. [In Persian]

Zekavat, M; Tahbaz, M and Hafezi, M (2023). The Role of Building Design and Location in Optimizing Energy Consumption (Case Example: Engineering Building in Tehran). *Journal of Scientific Quarterly Islamic Art*, 20 (50), 186- 212.