Karafan
Quarterly Scientific Journal of National University of Skill
Winter 2025, Vol. 21, No. 4, p. 169-192
Journal Homepage: https://karafan.nus.ac.ir/?lang=en
doi:10.48301/KSSA.2024.437319.2829

The Effect of Roof Form Design on its Climatic Performance in a Hot and Dry Location: Software Analysis in the Climate of Kashan City

Morteza Takbash[1], Mohammadreza Hatamian[2*], Hamidreza Farshchi[3]

[1]MSC in Architecture, University of Kashan, Kashan, Iran.
[2,3]Assistant Professor, Department of Achitecture, University of Kashan, Kashan, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 04.18.2024
Revised: 10.05.2024
Accepted: 11.19.2024

Keyword:
Hot and Dry Climate (Kashan)
Roof Climatic Performance
Climatic Software Analysis
Roof Form Design

***Corresponding Author:**
Mohammadreza Hatamian
Email: *hatamian@kashanu.ac.ir*

ABSTRACT

Cities consume 75% of the world's primary resources such as crude oil, coal, and natural gas, and also produce 60 to 80% of greenhouse gases. The share of buildings in this destructive impact is 60%. The roof is the most affected component of the building against climatic factors in hot and dry climates because it is exposed to the maximum amount of sunlight and heat exchange. Therefore, its climatic performance is necessary to improve the climatic performance of spaces. The current research presents the current forms of roofs in the hot and dry climate of Iran including flat and flat roofs, roofs with flat and dome canopies and flat roofs with a height of 3 meters and more than 3 meters, and in the traditional architectural model, arched roofs, the vaulted roof in two longitudinal and transverse directions and the track arch, and the dome roof using software analysis. The main purpose of this research was to compel the community of architects, designers and building managers to pay greater attention to the design of the form of spatial elements such as roofs and their impact on optimizing the energy consumption of buildings. The main question of the research was as follows: among the common forms of roof design in the hot and dry climate of Iran, which form has the best climatic performance or in other words, the lowest amount of cooling energy required to cool the roof and as a result the space covered by it? First, using the climatic data of the Meteorological Organization of Iran and climate consultant software based on ASHRAE Standard 55, the climatic characteristics of Kashan were analyzed. In the next section, using Autodesk Revit software and Insight 360 plugin, the cooling energy required for the space under each of the roof forms mentioned previously in Kashan climate was analyzed. Findings of the software analysis showed that the transverse arch roof has the most suitable climatic performance, followed by the 6-meter flat roof and a roof with a dome and fixed canopy, a dome roof, a longitudinal arch roof and finally, a flat roof with a height of 3 meters had the worst climatic performance.

©2025 the authors. Published by National University of Skill, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In the hot and dry climate of Iran, paying attention to the environmental conditions and architecture compatible with the climate plays a vital role to achieve thermal comfort and save energy. Cities in the desert regions of Iran, such as Kashan, are always faced with extreme heat in summer, extreme cold in winter, excessive dryness of the air, large fluctuations in daily, night and year-round temperatures, winds accompanied by cold and scorching winter, dust and scorching heat in summer. In this climate, despite the influence of all climatic factors, sunlight and lack of relative humidity are the most important factors. The main focus of this article is the scorching sun in this climate. In summer, when the sun shines almost vertically, parts of the building such as the roof, and east and west walls are more exposed to the sun and gain more energy than other surfaces. Still, a large part of the cities on the edge of the Iranian desert are made up of low-rise buildings, while in one-story buildings, the roof level is almost equal to all the side levels. Therefore, this doubles the importance of paying attention to roof design in this climate. The main purpose of this research was to identify forms of roofs of low-rise buildings that have a more appropriate performance in terms of climate. In other words, common form features that cause cooling of the roof, and reduce the cooling requirement of the space below it and, as a result, the cooling energy consumption as a whole. The main question of the research is: among the common forms of roof design in the hot and dry climate of Iran, which form has the best climatic performance or has the least amount of cooling energy required to cool the roof and, as a result, the space covered by it?

Methodology

First, using the climatic data of the National Meteorological Organization and the Climate Consultant software, based on the ASHRAE Standard 55, the climatic characteristics of Kashan were analyzed. In this section, meteorological data analysis for Kashan city was performed by the software so that the hot and dry climate characteristics of Kashan could be fully understood. This analysis was based on Kashan EPW data. In the next section, using a BIM software such as Autodesk Revit and the Insight 360 plugin, the energy required for the cooling load for the space under each of the models was analyzed; the common form of the roof in flat roofs, roofs with flat and dome roofs, flat roof with a height of 3 meters and more than 3 meters, the traditional architectural model, arched roof, arched roof in both longitudinal and transverse directions and pitched roof, and dome roof in warm and dry architecture were subjected to software analysis in Kashan climate. The different types of roofs previously mentioned were simplified in terms of form and compared to each other in terms of the comparison of the peak cooling load (the energy required to cool the space covered by this roof) in their software modelling. A lower peak cooling load number indicates less need to use cooling devices in summer. It should be noted that in the present research, the goal was not to quantitatively investigate the cooling load for the entire building and the year, but the main goal was the climatic performance of different roof forms in their position which affect the amount of annual energy consumption per unit area. In

other words, this is not quantitative research, but a quantitative comparison used for roof form performance. In comparing the cooling load of all the selected models, the number and size of the openings were fixed in all cases, the materials used were the same, the orientation of the building was considered as north-south, and only the roof form item was examined as a variable. In the first step, the types of roof forms were simplified, and a lower number indicated less need to use cooling devices in summer.

Results and discussion

Due to a large number of thermal load analysis tables taken from the Design-Builder software, only a 3-meter-high flat roof is presented as an example, and the comparison of the cooling load calculated by the software is provided in the summary. As can be seen in the table below and based on the proposed AIA design process, peak loads are the basis for measuring design measures and comparing them with each other.

Space Summary - 3m Flat Roof

Input Data	
Area (m^2)	21
Volume (m^3)	63.27
Wall Area (m^2)	0
Roof Area (m^2)	23
Door Area (m^2)	0
Partition Area (m^2)	0
Window Area (m^2)	3
Skylight Area (m^2)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	4
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**4,392.6**
Peak Cooling Month and Hour	July 5:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	3,672.6
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	720.0
Peak Cooling Airflow (CFM)	165
Peak Heating Load (Btu/h)	**758.6**
Peak Heating Airflow (CFM)	143

Figure 1. The cooling load of a flat roof with a height of 3 meters extracted from Insight 360 software.

Conclusion

According to the comparison of the peak cooling load required for the assumed space under the type of roof (the energy required to cool a space) in the modelling of various types of roof forms conducted by the software, a lower number indicates a lower need to use cooling devices or in other words energy consumption shows less for cooling in summer. The transverse arch roof is in the most suitable condition and it is placed in order of a 6-meter roof, a roof with a domed and fixed canopy of the same size, a domed roof, a longitudinal arch roof, and in the worst case, a flat roof with a height of 3 meters. Finally, it can be observed that among the most influential factors in the climatic design of the roof form in hot and dry climates are the three factors of increasing the height, shading (use of canopy) and arch form preferably transverse or perpendicular to the dominant direction of

radiation, which is southern radiation in the northern hemisphere. The comparison of the effect of roof form design on their climatic behaviour in peak cooling load demand is presented in the table below.

Default Spaces

Space Name	Area (m^2)	Volume (m^3)	Peak Cooling Load (Btu/h)	Cooling Airflow (CFM)	Peak Heating Load (Btu/h)	Heating Airflow (CFM)
3m Flat Roof	21	63.27	4,392.6	165	758.6	143
6m Flat Roof	21	126.54	2,937.4	110	2,237.3	143
Roof with canopy	21	63.27	2,937.4	110	2,237.3	143
Transverse arch roof	21	86.19	1,967.5	71	1,336.7	97
Langitudinal Arch Roof	21	102.56	3,609.2	136	3,299.2	197
Domed Canopy	21	63.27	2,937.4	110	2,237.3	143
Fixed Canopy	21	63.27	2,937.4	110	2,237.3	143
Domed Roof	21	95.35	3,003.0	112	2,430.8	153

Figure 2. Comparison of the peak cooling load of the space under the roof in various roof forms extracted from the Insight 360 software.

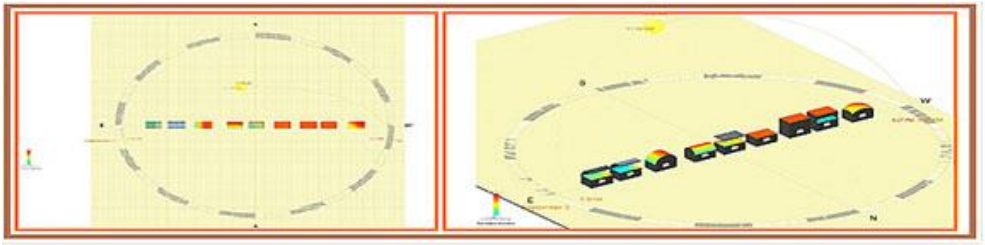


Figure 3. Modelled analysis in Design Builder software and Insight 360 plugin.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه ملی مهارت
زمستان ۱۴۰۳، دوره ۲۱، شماره ٤، ۱۹۲-۱۶۹
آدرس نشریه: https://karafan.nus.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2024.437319.2829

تأثیر طراحی فرم بام بر عملکرد اقلیمی آن در مکان گرم و خشک تحلیل نرم‌افزاری در اقلیم شهر کاشان

مرتضی تکباش[۱]، محمدرضا حاتمیان[۲*]، حمیدرضا فرشچی[۳]

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی معماری، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
۲ و ۳- استادیار گروه معماری، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰
بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴
پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹

کلید واژگان:
اقلیم گرم و خشک (کاشان)
عملکرد اقلیمی بام
تحلیل نرم‌افزاری اقلیمی
طراحی فرم بام

***نویسنده مسئول:** محمدرضا حاتمیان
پست الکترونیکی:
hatamian@kashanu.ac.ir

چکیده

شهرها ۷۵ درصد از منابع اولیه جهان را مصرف می‌کنند مانند نفت خام، زغال سنگ، گاز طبیعی و غیره و همچنین باعث تولید ۶۰ تا ۸۰ درصد گازهای گلخانه‌ای هستند. سهم ساختمان‌ها از این تأثیر مخرب ۶۰ درصد است. بام یکی از تأثیرپذیرترین اجزای ساختمان در برابر عوامل اقلیمی در اقلیم گرم و خشک است زیرا در برابر بیشترین میزان پرتو خورشیدی و تبادل حرارتی قرار دارد؛ از این‌رو بررسی عملکرد اقلیمی آن برای بهبود عملکرد اقلیمی فضاها ضرورت می‌یابد. نوشتار پیش رو، مدل‌های امروزی فرم رایج سقف در بام‌های مسطح با ارتفاع ۳ متر و بیش از ۳ متر (۶ متر) در یک و دو طبقه، بام با سایبان صاف و منحنی و در مدل معماری سنتی، سقف طاقی در دو جهت طولی و عرضی با طاق آهنگ، سقف گنبدی در معماری گرم و خشک را در اقلیم کاشان تحلیل نرم‌افزاری کرده است. هدف اصلی این نوشتار، متوجه‌ساختن جامعه معماران، طراحان و متولیان حوزه ساختمان در توجه بیشتر به طراحی فرم عناصر فضایی مانند بام و تأثیر آنها در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌هاست. پرسش اصلی پژوهش عبارت است از اینکه: در میان فرم‌های رایج طراحی بام در اقلیم گرم و خشک ایران، کدام فرم دارای بهترین عملکرد اقلیمی یا عبارتی کمترین میزان انرژی سرمایشی لازم برای خنک‌سازی بام و در نتیجه فضای پوشش داده‌شده توسط آن است؟ ابتدا با استفاده از داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی کشور و نرم‌افزار Claimate Consultant بر اساس استاندارد Ashrae Standard ۵۵ به تحلیل خصوصیات اقلیمی کاشان پرداخته شده است. در بخش بعدی با استفاده از نرم‌افزار Autodesk Revit و پلاگین Insight ۳۶۰ به تجزیه‌وتحلیل انرژی بار سرمایشی لازم برای فضای زیر هرکدام از فرم‌های بام که پیش‌تر اشاره شد در اقلیم کاشان پرداخته شده است. یافته‌های تحلیل نرم‌افزاری نشان می‌دهد که سقف طاق عرضی، در مناسب‌ترین عملکرد اقلیمی است و بعد از آن سقف مسطح ۶ متری، سقف با سایه‌بان گنبدی و ثابت به یک اندازه عملکرد اقلیمی داشتند و سقف گنبدی، سقف طاق طولی و سقف مسطح با ارتفاع ۳ متر دارای بدترین عملکرد اقلیمی بوده‌اند.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2025 the authors. Published by National University of Skill, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

بیان مسئله

در اقلیم گرم و خشک ایران توجه به شرایط زیست محیطی و معماری همساز با اقلیم برای رسیدن به آسایش حرارتی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، نقش حیاتی دارد. شهرهای مناطق کویری ایران مانند کاشان همواره با گرمای شدید تابستان، سرمای شدید زمستان، خشکی بیش‌ازحد هوا، نوسان زیاد دمای روزانه، شبانه و سالیانه، بادهای همراه با سوز سرد زمستان، گردو غبار و گرمای سوزان در تابستان مواجه هستند. در این اقلیم علی‌رغم تأثیر تمامی عوامل اقلیمی، تابش خورشید و کمبود رطوبت نسبی مهم‌ترین عوامل اقلیمی هستند. ایجاد رطوبت در فضاهای معماری، موضوعی مفصل است که نیاز به پژوهش‌های ویژه دارد و محور اصلی این نوشتار، تابش سوزان خورشید در این اقلیم است. در تابستان که خورشید تقریباً عمودی می‌تابد، قسمت‌هایی از ساختمان مانند پشت‌بام، دیوارهای شرقی و غربی بیشتر در مقابل تابش آفتاب قرار دارند و بیش از سایر سطوح انرژی کسب می‌کنند. در زمستان که از طریق دیوار جنوب و پشت‌بام امکان کسب بیشترین انرژی هست، باید با تدابیری از انرژی خورشیدی حداکثر استفاده صورت گیرد. هنوز هم بخش وسیعی از شهرهای حاشیه کویر ایران را ساختمان‌های کم‌ارتفاع تشکیل می‌دهند و این در حالی است که در ساختمان‌های یک طبقه، سطح بام، تقریباً برابر کلیه سطوح جانبی است؛ این خود اهمیت توجه به طراحی بام را در این اقلیم دوچندان می‌کند. هدف اصلی در این نوشتار، شناسایی فرم‌هایی از بام ساختمان‌های کم‌ارتفاع است که عملکرد مناسب‌تری به لحاظ اقلیمی دارند؛ به عبارتی، ویژگی‌های فرمی رایج که باعث خنک‌سازی بام می‌شود و در نتیجه نیاز سرمایشی فضای زیر خود و در نتیجه، مصرف انرژی سرمایشی را در کل کاهش می‌دهند. سؤال اصلی پژوهش عبارت است از اینکه: در میان فرم‌های رایج طراحی بام در اقلیم گرم و خشک ایران، کدام فرم دارای بهترین عملکرد اقلیمی است یا به عبارتی کمترین میزان انرژی سرمایشی لازم برای خنک‌سازی بام و در نتیجه فضای پوشش داده‌شده توسط آن را دارد؟

پیشینه

پژوهش‌های متعددی در حوزه عملکرد اقلیمی بام در ایران و جهان انجام شده است که اهم آنها با تکیه بر پژوهش‌های داخلی در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱. پژوهش‌های انجام‌شده در رفتار اقلیمی بام.

عنوان	مؤلف	نتایج
تحلیل اقلیمی ساختمان‌های پایدار سنتی در ایران	وحید قبادیان [۱]	- بام ساختمان به دلیل تابش زیاد خورشید و الگوی زندگی مردم درگذشته از مهم‌ترین عناصر ساختمان است. - ارتفاع سقف در تابستان‌نشین بیشتر از زمستان‌نشین و فرم آن به‌صورت طاقی یا گنبدی است
معماری همساز با اقلیم: اصول طراحی معماری زیست محیطی در مناطق گرم	هالگر کاک نیلسن[1] [۲]	- بام ساختمان از بااهمیت‌ترین قسمت‌های پوشش ساختمان درزمینه حفاظت حرارتی است زیرا مستقیماً تحت تابش نور و گرمای خورشید قرار دارد. - سقف‌های دوپوسته، مناسب‌ترین راهکار اقلیمی برای بهینه‌سازی سقف است.
آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم	محمود رازجویان [۳]	- ارائه راهکارهای مدرن برای حفاظت از بام در برابر تابش

[1] Helger Kock Nielsen

عنوان	مؤلف	نتایج
		- طراحی سایه‌بان‌های متحرک - خنک‌سازی بام از طریق برودت تبخیری
اصول طراحی همساز با اقلیم در ایران با رویکرد به معماری مسجد	شهربانو جلیلیان و منصوره طاهباز [۴]	- استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا، رنگ روشن و بافت ناهموار - استفاده از خاصیت برودت تابش جرم ساختمان - استفاده از بام مسطح
بام خنک: تجربه‌ای در خنک‌کردن بام از طریق تغییر رنگ	فرشاد رزمگاه [۵]	- مؤثرترین روش برای خنک‌شدن بام ایجاد سایه و جلوگیری از رسیدن تابش خورشید به سطح بام است. - ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش برای خنک‌شدن بام، رنگ‌آمیزی است.
ارزیابی چگونگی تأثیرگذاری بام سبز در کاهش دمای محیط	مهناز محمودی زرندی و همکاران [۶]	- بام سبز درنتیجه انتقال حرارت کمتر در نقاط مختلف دمای پایین‌تری دارد. - کمترین انتقال حرارت برای بام سبز با لایه فایبرگلاس می‌باشد.
بررسی فرم مناسب سقف و سودمندی استفاده از بادخور و بادگیر در تهویه طبیعی مسکن چابهار	امین‌اله احدی و بابک علیرضایی ورنو سفادرانی [۷]	- بهترین نوع سقف در چابهار به ترتیب: ۱. شیب‌دار (با درنظرگرفتن جهت شیب مخالف جهت باد)۲. منحنی ۳. مسطح - استفاده از دریچه ورود هوا و بادخور مؤثر بر افزایش حجم و سرعت تهویه بسیار است
شبیه‌سازی بام‌ها راهکار بررسی دقیق تأثیرات دمایی در محیطی مجازی	مریم مسندی و شاهین حیدری [۸]	بام سبز جوابگوی نیاز حرارتی تهران و تکنیکی مناسب برای این شهر بوده است
گنبد دوپوسته از منظر عملکرد حرارتی در اقلیم کویری کاشان	وحدانه فولادی و همکاران [۹]	- گنبد دوپوسته با پوسته خارجی به شکل ناری که پوسته داخلی و خارجی نسبت به هم دارای تناسباتی نزدیک به تناسب گنبد بقعه چهل‌دختران کاشان باشد. - ایجاد دریچه رو به باد در پوسته خارجی - تعبیه باد خان جهت تخلیه هوای گرم - پوشش خارجی گنبد کاشی رنگ روشن براق
اصول یک معماری کویری	منصوره طاهباز [۱۰]	- صاف‌کردن بخشی از پشت‌بام‌های منحنی - سقف‌های گنبدی، عایق مناسبی برای جلوگیری از نفوذ گرما به داخل هستند.
تنظیم شرایط همساز با بوم و اقلیم ایران	مهدی اختر کاوان و همکاران [۱۱]	- استفاده از حوضچه بام - استفاده از برودت تبخیری در بام برای اقلیم گرم و خشک
نقش فرم سقف در کاهش هدررفت انرژی با معیار انرژی تابشی دریافتی	علی شرقی، نازنین عظیمی فریدنی [۱۲]	- سقف شیبدار دوطرفه salt box در اقلیم کوهپایه‌ای کرج که نیاز غالب گرمایش است بهترین عملکرد اقلیمی را دارد.
تبیین الگوی انرژی دوستی در ساختمان‌ها بر اساس رفتار حرارتی انواع بام‌ها	مهدوی‌نژاد [۱۳]	- پنج الگوی فضایی ساده‌شده شامل: سقف تخت، گنبدی نیمکره، شیبدار ۴۵-۴۵ و شیبدار ۳۰- ۶۰ و ۶۰- ۳۰ - بهترین فرم سقف در میان فرم‌های مدل‌شده فرم سقف شیبدار ۶۰-۳۰ که سطح بیشتر (۳۰) سمت جنوب باشد و بدترین عملکرد حرارتی در فرم گنبدی با قوس رومی یا نیم‌دایره است.
ظرفیت بازتابش خورشیدی سطوح بام در کاهش مصرف انرژی سرمایشی مساکن شهری	امیرارسلان درویش و همکاران [۱۴]	- اهمیت طراحی اقلیمی بام ساختمان با شبیه‌سازی انرژی - افزایش بازتابش خورشیدی سطح بام به میزان ۰/۴، ۷ درصد در تابستان و ۱۰ درصد در زمستان صرفه‌جویی سالانه مصرف انرژی را به همراه خواهد داشت.
تأثیر فرم بر میزان سایه‌اندازی و جذب حرارت در گنبد آب‌انبارهای یزد	توحید شیری و همکاران [۱۵]	- اهمیت پوشش بام در عملکرد اقلیمی ساختمان با شبیه‌سازی انرژی با افزایش خیز گنبد و طاق میزان دریافت گرمایش خورشیدی کمتر می‌شود.

عنوان	مؤلف	نتایج
ارزیابی فرم بهینه سقف جهت به‌کارگیری بادخان در شهر اصفهان	الهه محمد رضایی و مقدی خدابخشیان [۱۶]	اهمیت فرم بام در عملکرد اقلیمی ساختمان با شبیه‌سازی انرژی، سه نوع سقف شیبدار، تخت و گنبدی بررسی و عملکرد بادخانی یا تهویه طبیعی در این سه نوع بررسی شده است که سقف شیبدار دوطرفه با شیب بین ۴۰ تا ۵۰ درجه بهترین عملکرد باد خانی را نشان داده‌اند. در بین سقف‌های گنبدی، خیز ۱ به ۴ دارای بهترین عملکرد بوده است.
بام سرد استراتژی مثبت جهت بهبود پارامترهای جزایر گرمایی شهری مدیریت انرژی و آسایش حرارتی	شکوه سادات اسداللهی و منصوره طاهباز [۱۷]	اهمیت پوشش بام در عملکرد اقلیمی ساختمان با شبیه‌سازی انرژی، بام سرد دارای عملکرد مناسب اقلیمی برای رساندن فضاهای داخلی به محدوده آسایش شناخته شد و در اقلیم گرم مانند گرم و مرطوب و گرم و خشک عملکرد بهتری دارد و استفاده از این سیستم در اقلیم معتدل و سرد تأثیر معکوس دارد و توصیه نمی‌شود.

مرور پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که در تمامی پژوهش‌هایی که منحصراً به عملکرد اقلیمی بام پرداخته‌اند عملکرد حرارتی بام بسیار بااهمیت دانسته شده است. بسیاری از این پژوهش‌ها یک نوع خاص از بام‌های رایج یا بام سرد را مورد کنکاش قرار داده‌اند یا به تحلیل پوشش‌هایی پرداخته‌اند مانند گنبدها و گنبدهای دو پوسته که دیگر در ساختمان‌سازی امروزی رایج نیستند. پارامترهای اختصاصی عملکرد حرارتی بام مانند بادخانی، بازتابش خورشیدی، سایه‌اندازی در عملکرد حرارتی بام مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. در پژوهش‌هایی، بی‌توجهی به فرم و هندسه ساختمان‌ها در حالت کلی از یک طرف و بی‌توجهی به جهت‌گیری ساختمان (رون) که بام را هم دربر می‌گیرد از طرف دیگر و تأثیر آن بر عملکرد اقلیمی مورد تأکید قرار گرفته است [۱۸; ۱۹]. از این میان، پژوهش احدی و همکاران در بوشهر و شرقی و عظیمی در کرج، قرابت بیشتری با نوشتار پیش رو دارند که در دو اقلیم گرم و تر بوشهر و کوهپایه‌ای کرج انجام شده و به تحلیل نقش فرم بام در عملکرد اقلیمی آن پرداخته‌اند. پژوهش مهدوی‌نژاد [۱۳] به لحاظ هدف پژوهش، نزدیک‌ترین پژوهش به نوشتار پیش رو می‌باشد اما پژوهش مذکور در شهر اصفهان و بنا بر تقسیم‌بندی اقلیمی کسمایی [۲۰] در پهنه‌بندی اقلیمی نیمه‌بیابانی انجام شده و در انتخاب فرم‌های سقف‌ها مطابق نوشتار پیش رو جهت و ارتفاع در اقلیم بیابانی و با تنوع بیشتر سقف‌ها در الگوهای امروزی و سنتی درنظر گرفته نشده است.

روش پژوهش

ابتدا با استفاده از داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی کشور و نرم‌افزار Climate Consultant بر اساس استاندارد اشری ۵۵ [۲۱] به تحلیل خصوصیات اقلیمی کاشان پرداخته شده است. در این بخش تحلیل داده‌های هواشناسی برای شهر کاشان توسط نرم‌افزار انجام می‌شود تا ویژگی‌های اقلیمی گرم و خشک کاشان کاملاً شناخته شوند. این تحلیل مبتنی بر داده‌های EPW کاشان [۲۲] انجام شده است که شامل داده‌های خروجی مطابق جدول ۲ است.

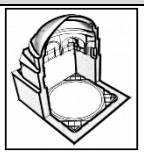
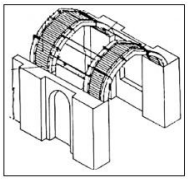
جدول ۲. داده‌های اقلیمی شهر کاشان استخراج‌شده از نرم‌افزار claimate consultant.

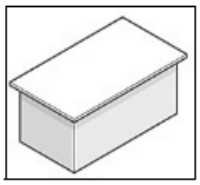
ردیف	پارامتر اقلیمی	مقدار	واحد اندازه‌گیری
۱	تابش افقی کل	میانگین ساعتی	Wh/sq.m
۲	تابش افقی کل	حداکثر مقدار ساعتی	Wh/sq.m
۳	تابش افقی کل	میانگین روزانه	Wh/sq.m
۴	جهت نرمال تابش	میانگین ساعتی	Wh/sq.m
۵	جهت نرمال تابش	حداکثر مقدار ساعتی	Wh/sq.m

ردیف	پارامتر اقلیمی	مقدار	واحد اندازه‌گیری
۶	جهت نرمال تابش	میانگین روزانه	Wh/sq.m
۷	پخش تابش	میانگین ساعتی	Wh/sq.m
۸	پخش تابش	حداکثر مقدار ساعتی	Wh/sq.m
۹	پخش تابش	میانگین روزانه	Wh/sq.m
۱۰	درجه حرارت خشک	میانگین ماهانه	Degrees C
۱۱	درجه حرارت نقطه شبنم	میانگین ماهانه	Degrees C
۱۲	رطوبت نسبی	میانگین ماهانه	percent
۱۳	جهت باد	حالت ماهانه	Degrees
۱۴	سرعت باد	میانگین ماهانه	m/s
۱۵	درجه حرارت عمق زمین	میانگین ماهانه	Degrees C

در بخش بعدی با استفاده از یک نرم‌افزار BIM مانند Autodesk Revit و پلاگین Insight ۳۶۰ انرژی بار سرمایشی لازم برای فضای زیر هرکدام از مدل‌های امروزی فرم رایج سقف در بام‌های مسطح با ارتفاع ۳ متر و بیش از ۳ متر (۶ متر) در یک و دو طبقه، بام با سایبان صاف و منحنی و در مدل معماری سنتی، سقف طاقی در دو جهت طولی و عرضی با طاق آهنگ، سقف گنبدی تک‌پوسته در معماری گرم و خشک، مورد تحلیل نرم‌افزاری در اقلیم کاشان قرار داده شده است. ابتدا حالت‌های مختلف انواع سقف بام‌ها که پیش‌تر اشاره شد به لحاظ فرمی ساده‌سازی شدند. ساده‌سازی و تبدیل نمونه بناهای اصلی به فرم‌های خلاصه‌شده برای شبیه‌سازی نرم‌افزاری در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. ساده‌سازی و تبدیل نمونه بناهای اصلی به فرم‌های خلاصه‌شده برای شبیه‌سازی نرم‌افزاری.

فرم خلاصه‌شده برای شبیه‌سازی نرم‌افزاری	نمونه بنای اصلی
۸- سقف گنبدی	
۴- سقف مسطح با سایه‌بان صاف	
۷- طاق عرضی ۶- طاق طولی	

فرم خلاصه‌شده برای شبیه‌سازی نرم‌افزاری	نمونه بنای اصلی
۱-سقف مسطح ارتفاع ۳متر ۲و۳- سقف مسطح ارتفاع ۶ متر	
۵- سقف مسطح با سایه‌بان منحنی	

ساختار تشکیل‌شده بام ساده‌سازی‌شده برای بام مسطح سیستم طاق ضربی و برای بام طاقی و گنبدی از سیستم طاق هرره یا رومی با ضخامت ۲۲ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. با توجه به نازک‌کاری‌های متنوعی که می‌تواند در بیرون و درون بام وجود داشته باشد از درنظرگرفتن نازک‌کاری صرفنظر شد زیرا ویژگی‌های مقاومت حرارتی و انتقال حرارت بام (U value & R value) موردنظر، هدف نوشتار نبود. برای ساختار سایبان‌ها چه به‌صورت مسطح و چه به‌صورت منحنی، از فریم لوله‌ای فولاد سبک و پوشش کارتن پلاست به ضخامت ۲۰ میلی‌متر درنظر گرفته شد.

با توجه به تفاوت اوج بار سرمایشی (انرژی لازم برای سردکردن فضایی که توسط این بام پوشش داده شده است) در مدل‌سازی نرم‌افزاری آنها با یکدیگر مقایسه شدند. عدد کمتر اوج بار سرمایشی، نیاز کمتر به استفاده از وسایل سرمایشی در تابستان را نشان می‌دهد. شایان ذکر است در این نوشتار، هدف، بررسی کمی بار سرمایشی برای کل ساختمان و سال نیست بلکه هدف اصلی، عملکرد اقلیمی فرم‌های مختلف بام در موضع خود است که مطمئناً در میزان مصرف انرژی سالیانه در واحد سطح تأثیر خواهد داشت؛ به عبارتی این یک پژوهش کمی نیست ولی از مقایسه کمی برای عملکرد فرمی بام استفاده شده است.

اقلیم گرم و خشک (کاشان)

اقلیم شهر کاشان

شرایط اقلیمی در هر منطقه، بستگی به عوامل زیر دارد: ۱. عرض جغرافیایی ۲. دوری و نزدیکی به دریا ۳. ارتفاع از سطح دریا ۴. جهت وزش بادهای فصلی ۵. میزان بارندگی و رطوبت هوا (Ibid). هوای شهر کاشان در تابستان گرم و خشک و در زمستان سرد و سوزان و دارای چهارفصل است. گاهی در تابستان گرمای هوا به بیش از پنجاه درجه و در زمستان به زیر صفر می‌رسد. دلیل ویژگی‌های اصلی هوای کاشان، مجاورت آن از سمت شمال‌شرق با دشت کویر است و هوای آن به‌تدریج خشک و سوزان می‌شود. در این اقلیم، افزایش دامنه افت و خیز دما و اختلاف درجه حرارت بین روز و شب بسیار زیاد است که به دلیل نبود ابر در آسمان، بارندگی و رطوبت کم و دوری از دریا به‌وجود آمده است. همچنین به دلیل نبودن ابر در آسمان در زمان زیادی از سال معمولاً با گرم‌شدن و حرکت لایه‌های هوای نزدیک به سطح زمین در بعدازظهر، بادهای همراه با گردوغبار، شن و خاک کویر و گاه مه و طوفان در سطح منطقه به راه می‌افتد.

تحلیل اقلیم کاشان با نرم‌افزار climate consultant براساس استاندارد اشری ۵۵

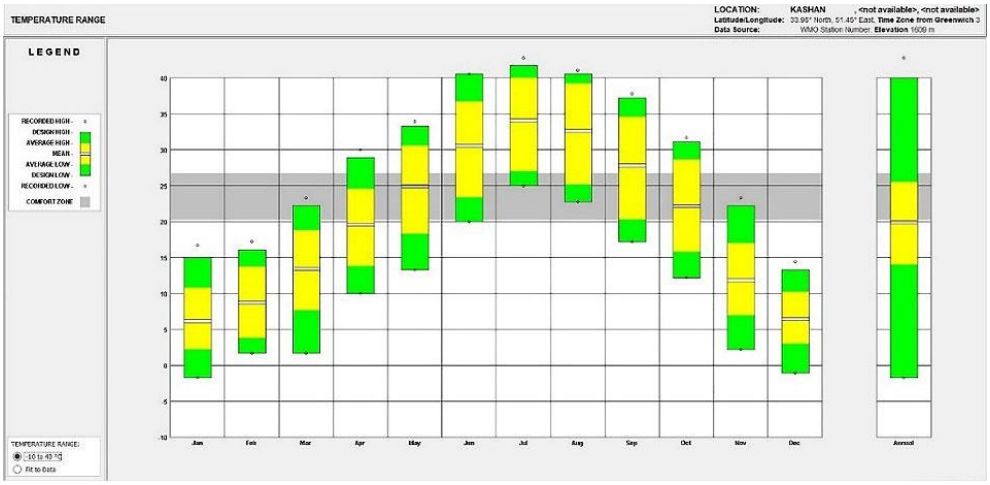
تحلیل‌های نرم‌افزار climate consultant در محورهای متعددی انجام می‌شود که مبتنی بر داده‌های اقلیمی شهر کاشان یا داده‌های epw [۲۲] متعلق به سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ است. در این راستا این تحلیل انجام شد و تنها محورهای مهم‌تر مرتبط با نوشتار در تحلیل اقلیمی شهر کاشان در ادامه آورده شده است. این تحلیل‌ها با محوریت تحلیل دمایی، پوشش قالب آسمان، نیاز به سایه و آفتاب و تقویم نیاز اقلیمی در طول یک سال آورده شده است.

محدوده دمایی

در نمودار ۱ محور عمودی، نشان‌دهنده دما و محور افقی، ماه‌های سال می‌باشد که محدوده طوسی‌رنگ، آسایش حرارتی در هر ماه از سال را نشان می‌دهد. بر اساس استاندارد اشری ۵۵ [۲۱] که این تحلیل‌ها بر اساس آن انجام شد محدوده دمای ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد، محدوده آسایش زمستانی و ۲۴ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد محدوده آسایش تابستانی درنظر گرفته می شود. به عبارتی محدوده آسایش، به دو قسمت تقسیم می‌شود. از این‌رو بر اساس خروجی‌های نرم‌افزار Climate Consultant در مورد ویژگی‌های دمایی شهر کاشان مستخرج از تحلیل این نرم‌افزار، نتایج زیر قابل مشاهده است:

- در ۷ ماه از سال یعنی از آوریل تا اکتبر، متوسط دمای بالا (خط پایین قسمت سبزرنگ بالا) در محدوده آسایش تابستانی قرار ندارد؛ به عبارتی از حدود اواسط فروردین‌ماه تا اواسط مهرماه در ساعات گرم روز نیاز سرمایشی، نیاز اقلیمی غالب شهر کاشان است.
- در همین بازه زمانی در ماه آوریل، میانگین دمای ماهانه از کمینه درجه آسایش زمستانی پایین‌تر است و در ساعات سرد شبانه‌روز (قسمت سبزرنگ پایین) نیز نیاز گرمایشی مشاهده می‌شود. در ماه اکتبر، میانگین دمای ماهیانه در محدوده آسایش زمستانی است ولی در ساعات سرد روز نیاز گرمایشی مشاهده می‌شود. به عبارتی در دو ماه از سال در ساعات گرم، نیاز سرمایشی و در ساعات سرد روز نیاز گرمایشی توأمان وجود دارد.
- در ۲ ماه مارچ و نوامبر، بیشینه دما در محدوده آسایش زمستانی قرار دارد و در بقیه ساعات شبانه‌روز نیاز گرمایشی مشاهده می‌شود.
- در ۳ ماه ژانویه، فوریه و دسامبر در تمام ساعات شبانه‌روز، نیاز غالب گرمایشی است.

تحلیل‌های دمایی شهر کاشان نشان می‌دهد که این اقلیم دارای شرایط ویژه و خاصی است که توجه به عوامل اقلیمی در معماری بناهای آن را دوچندان می‌کند. با توجه به اختلاف دمایی سایه و آفتاب در شهر کاشان، اهمیت ایجاد سایه در کل بنا در ماه‌های گرم سال و تعدیل ویژگی‌های دمایی با استفاده از ایجاد جریان طبیعی هوا با استفاده از عناصر معماری دارای اهمیت ویژه‌ای می‌شود [۲۳]. سقف به‌عنوان یک عنصر معماری در این شرایط اقلیمی اهمیت محوری دارد زیرا تمام سطح آن در معرض تبادل دمایی قرار دارد و به کمک سازمان فضایی نمی‌توان بر روی آن مانند جداره‌های بنا ایجاد سایه کرد. مشاهدات ذکرشده در بالا از خروجی تحلیل نرم‌افزار Climate Consultant مطابق نمودار ۱ آورده شده است.



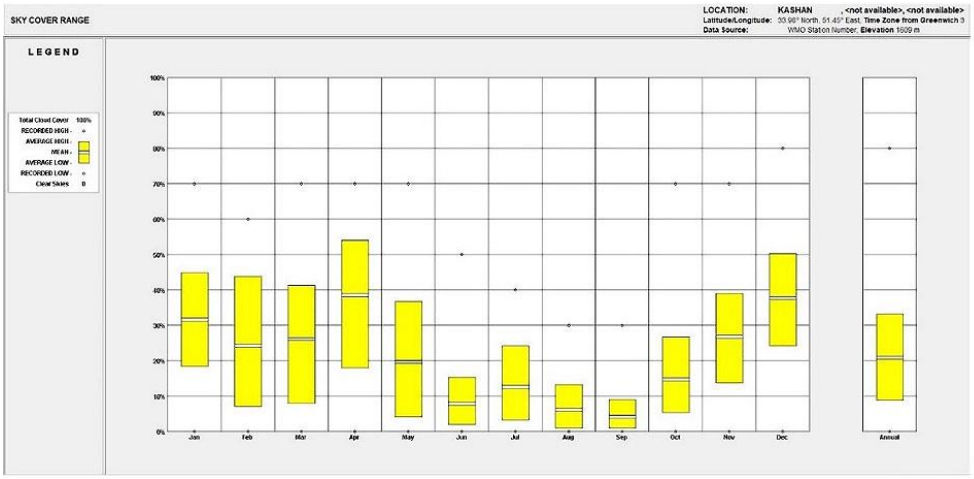
نمودار ۱. آنالیز محدوده دمایی کاشان استخراج‌شده از نرم‌افزار claimate consultant.

دامنه پوشش آسمان

در نمودار ۲ محور عمودی نشان‌دهنده درصد پوشش ابر و محور افقی ماه‌های سال می‌باشد. بر اساس استاندارد اشری ۵۵ [۲۱] که این تحلیل‌ها بر اساس آن انجام شد و بر اساس خروجی‌های نرم‌افزار Climate Consultant در مورد ویژگی‌های پوشش ابر شهر کاشان مستخرج از تحلیل این نرم‌افزار نتایج زیر قابل مشاهده است:

- تنها در ۲ ماه از سال یعنی ماه‌های آوریل و دسامبر، درصد پوشش ابر تا حدود ۵۰ درصد می‌رسد. این موضوع حاکی از تابش شدید آفتاب در کاشان است.

- در حد فاصل ماه‌های جون تا سپتامبر که ویژگی‌های دمایی در حالت حداکثر گرمایی و نیاز سرمایشی در حالت حداکثری قرار دارد پوشش ابر در حالت حداقل می‌باشد. این مشاهده حاکی از شرایط تابشی سخت در ماه‌های گرم سال در کاشان است. تحلیل‌های پوشش ابر شهر کاشان نشان می‌دهد که این اقلیم دارای شرایط ویژه و خاصی است که توجه به عوامل اقلیمی در معماری بناهای آن را دوچندان می‌کند. در فصول گرم سال که نیاز به محافظت از تابش خورشید کلیدی می‌شود شرایط اقلیمی بر وفق مراد نیست و باید با تدابیر معماری محافظت در برابر تابش خورشید طراحی گردد. مشاهدات بیان‌شده در بالا از خروجی تحلیل نرم‌افزار Climate Consultant مطابق نمودار ۲ آورده شده است.



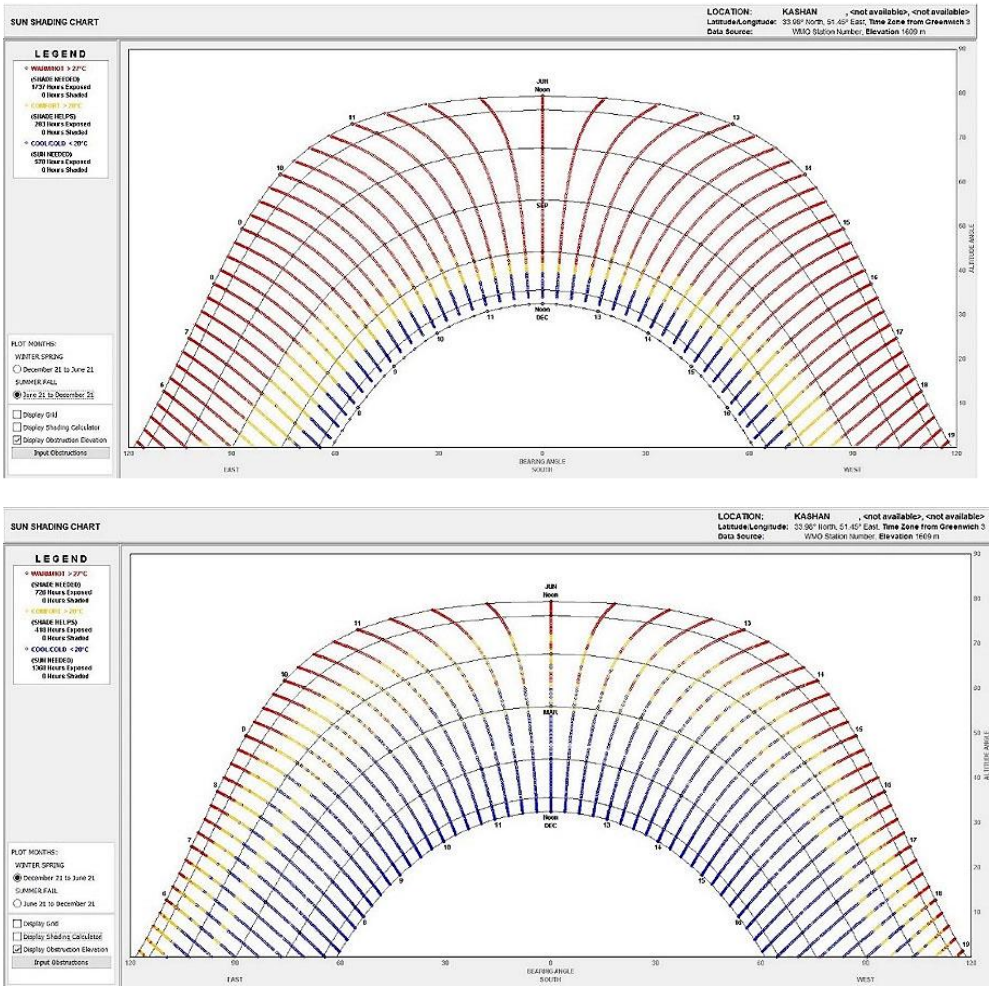
نمودار ۲. میزان پوشش ابر شهر کاشان استخراج‌شده از نرم‌افزار claimate consultant.

نمودار سایه آفتاب

در نمودار ۳ محور عمودی به زاویه عمودی خورشید نسبت به افق[1] و محور افقی به زاویه افقی خورشید نسبت به جهت شمال جغرافیایی[2] اشاره دارد. در این نمودار جهت خوانش دو زاویه نسبت به یکدیگر، جهت شرق در سمت چپ و غرب در سمت راست درنظر گرفته شده است. دو انحنا ساعات نیاز به سایه در قسمت بالا و نیاز به آفتاب در قسمت پایین را نشان می‌دهند. این نمودار به دو نمودار تقسیم می‌شود: اول نمودار نیاز سایه‌آفتاب از حدود اواسط ماه جون تا اواسط ماه دسامبر و نمودار دوم از حدود اواسط ماه دسامبر تا اواسط ماه جون می‌باشد. موارد زیر در مورد نیاز به سایه آفتاب در شهر کاشان قابل مشاهده هستند:

- همان‌طور که در نمودار اول مشاهده می‌شود در شهر کاشان نیاز به سایه از ماه جون تا ماه سپتامبر ادامه دارد البته به‌غیر محدوده زمانی ۹ صبح الی ۱۶ بعد از ظهردر ماه سپتامبر. در نمودار دوم از اواسط ماه آوریل تا ماه جون نیاز به سایه مشاهده می‌شود؛ به عبارتی در حدود ۶ ماه از سال نیاز به سایه در شهر کاشان دیده می‌شود.
- از اواخر سپتامبر تا اواسط اکتبر وضعیت آسایش سایه‌آفتاب مشاهده می‌شود و مبتنی بر جدول دوم مشاهده می‌شود که در حدود نیمی از ماه آوریل در آسایش سایه‌آفتاب قرار دارد؛ به عبارتی در مجموع حدود ۱ ماه از سال در شهر کاشان آسایش سایه‌آفتاب حاکم است.
- در جدول اول از نیمه ماه اکتبر و در ماه‌های نوامبر و دسامبر، نیاز آفتاب غالب است و در جدول دوم از ژانویه تا اواخر ماه مارچ، نیاز به آفتاب مشاهده می‌شود؛ به‌عبارتی در حدود ۵ ماه از سال در شهر کاشان نیاز به آفتاب مشاهده می‌شود. مشاهدات ذکرشده در بالا از خروجی تحلیل نرم‌افزار Climate Consultant مطابق نمودار ۳ آورده شده است.

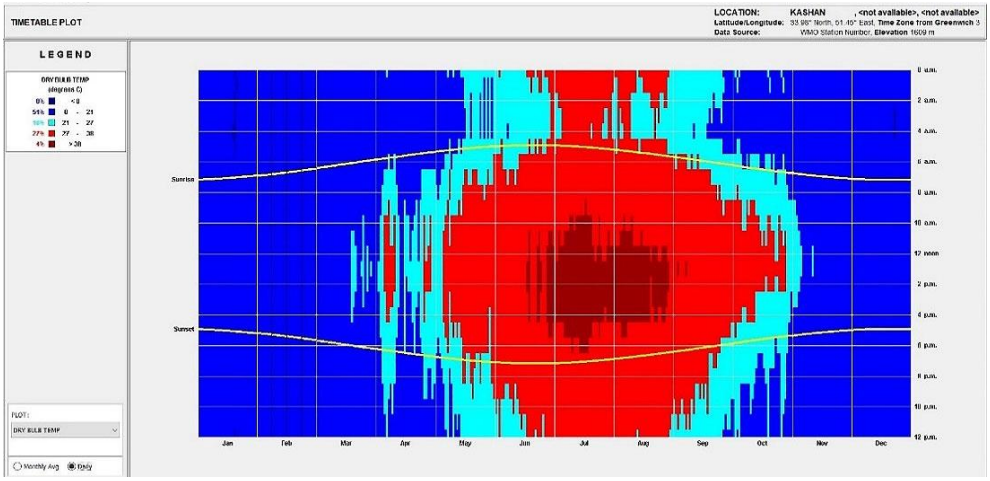
[1] Altitude Angle
[2] Azimuth Angle



نمودار ۳. سایه‌آفتاب شهر کاشان استخراج‌شده از نرم‌افزار claimate consultant.

تقویم نیاز اقلیمی

در نمودار ۴ تحلیل نرم‌افزاری اقلیم کاشان نشان می‌دهد که محدوده دمایی گرم یا روز درجه سرمایی، پوشش محدود ابر و نیاز غالب به سایه در اغلب ایام سال و نیاز اقلیمی سرمایش در این پهنه اقلیمی غالب است.



نمودار ۴. تقویم نیاز اقلیمی شهر کاشان استخراج‌شده از نرم‌افزار claimate consultant.

مجموعه تحلیل‌های اقلیمی که رئوس تأثیرگذارتر آن در موارد بالا آورده شد نشان می‌دهد که در اقلیم گرم و خشک شهر کاشان برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی سرمایشی در ایام گرم سال عملکرد اقلیمی عناصری از معماری که در معرض بیشتر تابش هستند نقش کلیدی‌تری را خواهد داشت از این‌رو نوشتار حاضر، موضوع خود را بر عملکرد اقلیمی فرم بام قرار داده است.

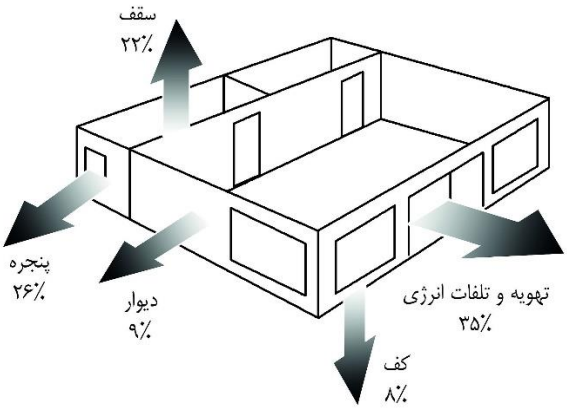
عملکرد اقلیمی بام

طراحی معماری یک ساختمان و تأثیر بر عملکرد اقلیمی آن شامل جهت‌گیری بنا و جرم آن[۱]، نور روز و تابش[۲]، آفتاب‌گیری و سایه[۳]، پوسته خارجی و نما[۴] و تهویه طبیعی[۵] است [۲۴]. طراحی سازمان کلی فضایی و فرم آنها همچنین چگونگی تعریف ویژگی‌های عناصر معماری مانند دیوارها و بام نسبت به خورشید در فصول مختلف اهمیت بسیاری در میزان مصرف انرژی سالیانه بر مبنای سطح فضای کنترل‌شده ساختمان دارد. این ویژگی‌ها که از آنها با عنوان طراحی غیرفعال[۶] نام برده می‌شود در قدم اولیه فرایند طراحی یا مرحله طرح کلی[۷] اهمیت محوری دارد و به خشت اول طراحی اقلیمی معماری بنا به‌شمار می‌آیند. با طراحی فرم مناسب می‌توان از ایجاد سایه قسمتی از فرم بر روی قسمت دیگر استفاده کرد که این موضوع در فصول و مکان‌های گرم بسیار بااهمیت است [۲۵]. علی‌رغم تأثیر تمامی ویژگی‌های اقلیمی، این عناصر مهم‌ترین قسمت از پوسته خارجی ساختمان در عملکرد اقلیمی بنا در رفتار حرارتی بام در اقلیم گرم و خشک می‌باشد زیرا بام ساختمان به‌صورت مستقیم تحت تابش نور و گرمای خورشید قرار دارد و حفاظت از آن در برابر دریافت این تابش نسبت به بخش‌های دیگر، مشکل‌تر است. عملکرد بام بستگی به مصالح به‌کاررفته در ساختار و فرم آن دارد. عکس‌العمل بام در برابر شرایط اقلیمی بدین صورت شرح داده شده است: سطح خارجی سقف زمانی که

[1] Massive & Orientation
[2] Daylight & Glare
[3] Solar & Shading
[4] Envelope & Façade
[5] Natural Ventilation
[6] Passive Design
[7] Schematic Design

دمای محیط بیرون از محیط داخل بیشتر است، حرارت را جذب می‌کند و گرم می‌شود. در این حالت، گرما از سطح بیرونی سقف به سطح داخلی انتقال می‌یابد و دمای هوایی را که با آن در تماس است بالا می‌برد تا هم‌دما شوند. این حرارت سرانجام به افراد ساکن در ساختمان و وسایل نیز سرایت خواهد کرد [۲].

مهم‌ترین مسئله در موضوع کنترل حرارتی داخل ساختمان، مقاومت حرارتی است. انتقال حرارت همواره از فضا و بدنه‌ها با دمای بیشتر به فضاهای با دماهای کمتر صورت می‌گیرد و بدین‌گونه انتقال حرارت بام‌ها در تابستان از خارج به داخل و در زمستان از داخل به خارج است. بام، بیشترین حرارت را در تابستان می‌گیرد و باید در برابر آن محافظت شود و همچنین بیشترین اتلاف را در زمستان دارد [۲۶].



تصویر ۱. میزان تلفات انرژی از هریک از جداره‌های ساختمان [۵].

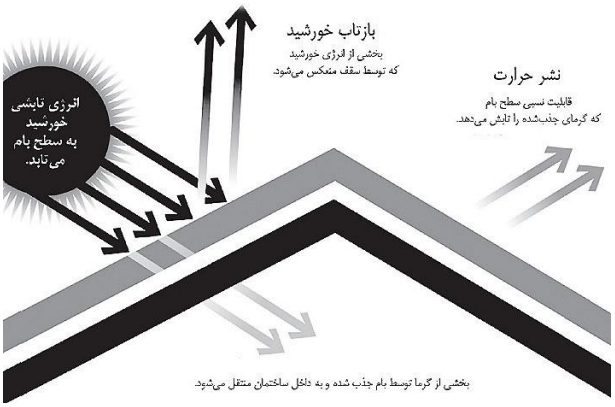
پارامترهای اثرگذار در عملکرد اقلیمی بام

تابش آفتاب

تأثیرپذیرترین جزء ساختمان در برابر عوامل اقلیمی، بام ساختمان است. سطح خارجی بام معمولاً تحت تأثیر بیشترین میزان تابش آفتاب و نوسان دمای هوا قرار دارد. البته تا حد زیادی میزان تأثیر این نوسان، به نوع بام و رنگ سطح خارجی آن بستگی دارد. در ساختمان‌های یک طبقه، سطح بام تقریباً برابر کلیه سطوح جانبی است و باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد. در تابستان تابش آفتاب و بارش برف و باران در زمستان، بیشترین تأثیر را بر بام ساختمان تا اجزای دیگر می‌گذارد؛ بنابراین خصوصاً در مناطق گرم حفاظت این قسمت از ساختمان‌ها در مقابل تابش آفتاب تابستان و انرژی حرارتی خورشید، امری ضروری است. علاوه بر این در مناطق سرد هنگام زمستان از بام برای دریافت انرژی خورشیدی استفاده می‌شود. هنگام شب در فصل زمستان، بام با ساطع‌کردن پرتوهایی با طول‌موج بلند از خود، بیشتر و سریع‌تر از دیوارها حرارت خود را ازدست می‌دهد؛ به همین دلیل بام ساختمان، بیشترین عامل هدررفت حرارت هوای داخل در مناطق سرد یا در فصل زمستان است. البته میزان انتقال حرارت، به مقاومت حرارتی مصالح به‌کاررفته در بام بستگی دارد. در زمستان چون خورشید مایل می‌تابد بیشترین میزان کسب انرژی از طریق دیوار جنوبی و پشت‌بام می‌باشد و باید استفاده از انرژی خورشیدی به‌وسیله پنجره و دیگر اجزا به میزان حداکثر صورت گیرد [۱].

برای به‌حداقل‌رسانیدن بخش عمده گرمای هوای داخلی ساختمان که از تابش خورشید بر جدار ساختمان سرچشمه می‌گیرد، رعایت سه شرط زیر الزامی است:

- الف) از نفوذ اشعه مستقیم خورشید از قسمت‌های شفاف جدار (شیشه، در و پنجره، ...) به داخل ساختمان جلوگیری شود.
- ب) برای جذب اشعه خورشید در قسمتی از ساختمان (دیوار و سقف) سایبان ساخته شود.
- ج) از شدت تابش اشعه خورشید بر جدار ساختمان کم شود [۳].

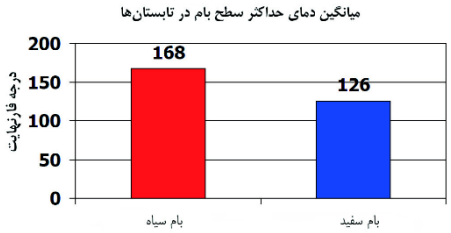


تصویر ۲. عملکرد بام در مقابل تابش آفتاب) [۵].

رنگ سطح خارجی

رنگ سطح خارجی بام در عوامل زیر نقش تعیین‌کننده دارد: ۱- مقدار حرارت پرتو منتشرشده با طول‌موج بلند هنگام شب ۲- مقدار انرژی خورشیدی جذب‌شده در بام در طول روز ۳- میزان تبادل حرارتی هوای داخل و خارج از طریق بام ۴- الگوی تغییر دمای سطح خارجی بام. گیونی معتقد است رنگ سطح خارجی بام در ساختمان‌هایی که بام عایق حرارتی ندارند و کنترل هوای داخلی آن‌ها با سیستم‌های مکانیکی است تا مقدار بسیار زیادی تعیین‌کننده بار سرمایی نسبت به مساحت بام است ولی در بقیه ساختمان‌هایی که این دو شرط در آنها رعایت نشده است، رنگ سطح خارجی بام در الگوی تغییرات دمای سقف و درنهایت وضعیت هوای داخل نسبت به منطقه آسایش، تعیین‌کننده است.

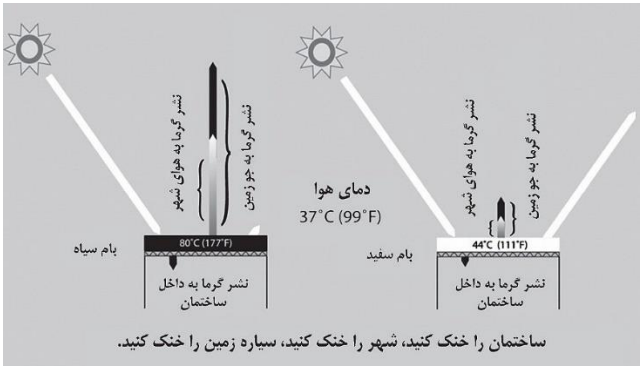
وقتی بام دارای رنگ سطح خارجی تیره باشد، دمای سطح آن تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از بیشینه دمای هوای خارج افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که برای اگر سطح سفیدرنگ باشد این افزایش فقط ۱ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، طی شب، انتقال حرارت با ساطع شدن پرتو با طول‌موج بلند از سقف به آسمان رخ می‌دهد و که این واقعه باعث می‌شود که متوسط دمای سطح بام‌هایی با رنگ سفید به میزان بسیار زیادی پایین‌تر از متوسط دمای هوا باشد. پژوهشی در سال ۲۰۰۱ در شهر آستین ایالت تگزاس امریکا با اقلیم گرم و خشک انجام شد و میانگین دمای حداکثر بام در تابستان مطابق نمودار ۵ مشاهده گردید.



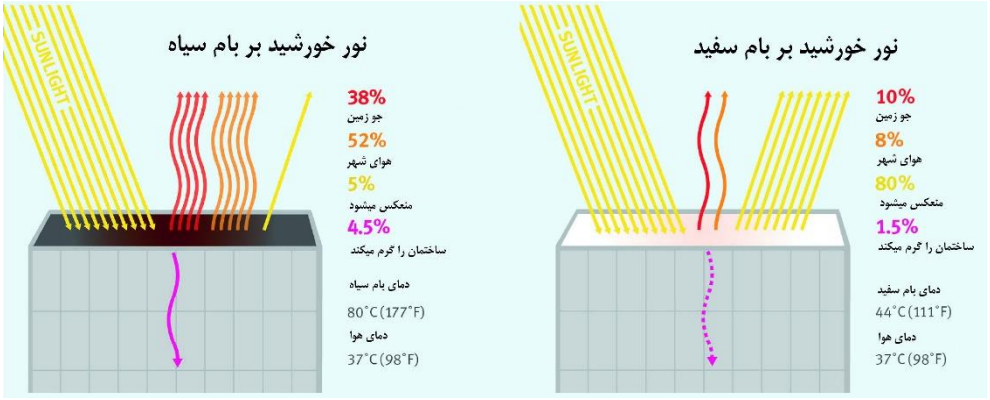
نمودار ۵. میانگین دمای حداکثر سطح بام در تابستان‌ها [۵].

البته اثرگذاری رنگ سطح خارجی بام در دمای سقف، به ظرفیت و مقاومت حرارتی مصالح استفاده‌شده در آن نیز بستگی دارد. با افزایش ضخامت، ظرفیت و مقاومت حرارتی مصالح، اختلاف بین بیشینه دمای بام که در نتیجه استفاده از رنگ‌های گوناگون در سطح خارجی ایجاد می‌شود، تقلیل می‌یابد.

در بام‌های مسطح توپر نیز تعویض رنگ سطح خارجی در دمای هوای زیر سقف آن‌ها اثربخش است. نتایج پژوهشی که در زمینه ساختمان‌هایی با بام‌های بتنی به رنگ سفید و خاکستری انجام شد نشان می‌دهد که در ارتفاع ۱/۲ متری از کف اختلاف بین دمای هوای این اتاق‌ها حدود ۱ درجه سانتی‌گراد است همچنین دمای سطح داخلی بام خاکستری، از هوای روی بام گرم‌تر است که نشان‌دهنده سرایت حرارت از بام، به هوای داخل ساختمان است. پایین‌تربودن دمای سطح خارجی یک بام با رنگ سفید براق نسبت به هوای خارج در بیشتر ساعت‌های روز نشان می‌دهد که حرارت از هوای داخل اتاق به بام سرایت می‌کند و بام عامل خنک‌کننده هوای داخل ساختمان است [۵].



تصویر ۳. مقایسه رنگ سیاه و سفید در خنک‌سازی بام [۵].



تصویر ۴. مقایسه شاخص بارتاب خورشیدی در بام سیاه و سفید) [۵].

ضخامت بام و ارتباط آن با مقاومت حرارتی

در شرایط هوای داخلی یک ساختمان، ضخامت و مقاومت حرارتی در بام‌های انسجام‌یافته و سخت با تأثیر رنگ سطح خارجی بام و افت و خیز درجه حرارت هوای روزانه در ارتباط است؛ به این صورت که با مقاومت حرارتی مصالح بام و افزایش ضخامت، تغییرات دمای سطح خارجی بام در مقایسه با تغییرات دمای سطوح داخلی کاهش

می‌یابد. همچنین نتایج زیر در بررسی تأثیر افزودن لایه‌های عایق حرارتی گوناگون به بام در کنترل دمای سقف، به‌دست آمده است:

۱- در مورد حداکثر دمای سقف، تأثیر تقریباً یکسانی دارد و حداکثر دمای سقف را حدود ۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد.

۲- در مورد حداقل دما، رنگ سفید براق مؤثرتر است زیرا با ساطع کردن پرتو با طول‌موج بلند باعث خنک‌شدن سقف در حد بام‌های عایق‌نشده می‌شود؛ درحالی‌که افزودن عایق حرارتی به بام در این حالت باعث افزایش حداقل دمای سقف می‌شود و درنتیجه هنگام شب میزان خنک‌شدن بام کاهش می‌یابد (همان).

فرم بام

یکی از عوامل مهم در طراحی ساختمان که معمار می‌تواند با طراحی فرم آن آسایش را برای استفاده‌کنندگان بنا فراهم کند، فرم بام است. انتقال حرارت در بام‌های دوپوسته (سقف و بام مستقیماً به هم نچسبیده‌اند)، از دو راه رسانش و تابش صورت می‌گیرد. اگر فضای بین سقف و بام کاملاً بسته باشد و امکان خروج هوای گرم وجود نداشته باشد خلأ ایجاد می‌شود؛ به این ترتیب دمای هوای حبس‌شده به‌شدت بالا می‌رود و در نتیجه انتقال حرارت بین دو سطح افزایش می‌یابد. در برابر شرایط اقلیمی گوناگون واکنش شکل‌های مختلف بام متفاوت است. توجه به اهداف زیر برای انتخاب فرم مناسب بام ضروری است:

۱- به‌منظور کاهش میزان حرارت دریافتی حفاظت از بام‌ها در برابر تابش خورشید

۲- کمک به فرایند سرمایش با حرکت هوا در عرض سطح

۳- جلوگیری از انتقال رطوبت باران به فضاهای داخلی و منحرف‌کردن مسیر حرکت آب از در، پنجره‌ها و دیوارها [۲].

تحلیل نرم‌افزاری

مقایسه بار سرمایشی انواع فرم بام‌ها با استفاده از نرم‌افزار Insight ۳۶۰

برای تجزیه‌وتحلیل انرژی از نرم‌افزار Autodesk Revit پلاگین Insight ۳۶۰ که بر اساس استاندارد اشری ۵۵ [۲۱] است استفاده شده است. ابتدا در نرم‌افزار، اطلاعات اقلیمی کاشان طول جغرافیایی ۵۱.۴۴ و عرض جغرافیایی ۳۳.۹۹ با میانگین دمای متوسط روزانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد به‌طور خودکار مورد پردازش قرار گرفت.

در مقایسه بار سرمایشی تمامی مدل‌های انتخابی، تعداد و اندازه بازشوها در همه حالت‌ها ثابت، مصالح یکسان و جهت‌گیری ساختمان نیز به‌صورت شمالی- جنوبی درنظر گرفته شد و فقط آیتم فرم سقف به‌صورت متغیر بررسی گردید. در اولین گام، انواع فرم سقف، ساده‌سازی شد و در مدل امروزی فرم رایج سقف مسطح و تخت، بام با سایبان صاف و گنبدی و بام مسطح با ارتفاع ۳متر و بیش از ۳متر و در مدل معماری سنتی، بام قوسی، سقف طاقی در دو جهت طولی و عرضی و طاق آهنگ، سقف گنبدی درنظر گرفته شد. عدد کمتر نشان‌دهنده نیاز کمتر استفاده از وسایل سرمایشی در تابستان است. ویژگی‌های مشترک مدل ساده‌سازی‌شده به لحاظ مؤلفه‌های ساختاری مؤثر در بار حرارتی[1] و محاسبه بار سرمایشی لازم برای سقف مسطح ارتفاع ۳ متر و طاق عرضی با اندازه بزرگ‌تر و سایر تحلیل‌ها با اندازه کوچک‌تر در جدول ۴ و ۵ آورده شده است.

[1] Base Case

جدول ۴. تحلیل شبیه‌سازی نرم‌افزاری بار سرمایشی سقف‌های موردنظر مقاله.

Space Summary - 1 سقف 3 متر

Input Data	
Area (m²)	21
Volume (m³)	63.27
Wall Area (m²)	0
Roof Area (m²)	23
Door Area (m²)	0
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	4
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**4,392.6**
Peak Cooling Month and Hour	July 5:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	3,672.6
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	720.0
Peak Cooling Airflow (CFM)	165
Peak Heating Load (Btu/h)	**758.6**
Peak Heating Airflow (CFM)	143

Space Summary - 4 طاق عرض

Input Data	
Area (m²)	21
Volume (m³)	86.19
Wall Area (m²)	7
Roof Area (m²)	8
Door Area (m²)	0
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**1,967.5**
Peak Cooling Month and Hour	July 6:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	1,939.6
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	27.9
Peak Cooling Airflow (CFM)	71
Peak Heating Load (Btu/h)	**1,336.7**
Peak Heating Airflow (CFM)	97

Space Summary - سقف 6 متر 3

Input Data	3
Area (m²)	21
Volume (m³)	63.27
Wall Area (m²)	0
Roof Area (m²)	23
Door Area (m²)	0
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**2,937.4**
Peak Cooling Month and Hour	July 6:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	2,909.5
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	27.9
Peak Cooling Airflow (CFM)	110
Peak Heating Load (Btu/h)	**2,237.3**
Peak Heating Airflow (CFM)	143

Space Summary - سقف 6 متر 2

Input Data	2
Area (m²)	21
Volume (m³)	126.54
Wall Area (m²)	0
Roof Area (m²)	23
Door Area (m²)	0
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**2,937.4**
Peak Cooling Month and Hour	July 6:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	2,909.5
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	27.9
Peak Cooling Airflow (CFM)	110
Peak Heating Load (Btu/h)	**2,237.3**
Peak Heating Airflow (CFM)	143

Space Summary - سایه بان گنبدی 5

Input Data	5
Area (m²)	21
Volume (m³)	63.27
Wall Area (m²)	0
Roof Area (m²)	23
Door Area (m²)	0
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**2,937.4**
Peak Cooling Month and Hour	July 6:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	2,909.5
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	27.9
Peak Cooling Airflow (CFM)	110
Peak Heating Load (Btu/h)	**2,237.3**
Peak Heating Airflow (CFM)	143

Space Summary - سایه بان ثابت 4

Input Data	4
Area (m²)	21
Volume (m³)	63.27
Wall Area (m²)	0
Roof Area (m²)	23
Door Area (m²)	0
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**2,937.4**
Peak Cooling Month and Hour	July 6:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	2,909.5
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	27.9
Peak Cooling Airflow (CFM)	110
Peak Heating Load (Btu/h)	**2,237.3**
Peak Heating Airflow (CFM)	143

Space Summary - گنبد 8

Input Data	8
Area (m²)	21
Volume (m³)	95.35
Wall Area (m²)	0
Roof Area (m²)	24
Door Area (m²)	0
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**3,003.0**
Peak Cooling Month and Hour	July 6:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	2,975.1
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	27.9
Peak Cooling Airflow (CFM)	112
Peak Heating Load (Btu/h)	**2,430.8**
Peak Heating Airflow (CFM)	153

Space Summary - طاق طولی 6

Input Data	6
Area (m²)	21
Volume (m³)	102.56
Wall Area (m²)	6
Roof Area (m²)	25
Door Area (m²)	0
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (VA)	227
Power Load (VA)	227
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (Btu/h)	250.0
Latent Heat Gain / Person (Btu/h)	200.0
Infiltration Airflow (CFM)	0
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	**3,609.2**
Peak Cooling Month and Hour	July 5:00 AM
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	3,573.3
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	35.9
Peak Cooling Airflow (CFM)	136
Peak Heating Load (Btu/h)	**3,299.2**
Peak Heating Airflow (CFM)	197

جدول ۵. مشخصات کلی درنظر گرفته‌شده (base case) برای مدلسازی بام‌های موردنظر با توجه به داده‌های اقلیمی شهر کاشان و محاسبه بارهای حرارتی استخراج‌شده از نرم‌افزار insight ۳۶۰.

Cooling Components	Total (Btu/h)	Percentage	North (Btu/h)	South (Btu/h)	East (Btu/h)	West (Btu/h)	Northeast (Btu/h)	Southeast (Btu/h)	Northwest (Btu/h)	Southwest (Btu/h)
Wall	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	2,359.2	53.71%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	238.6	5.43%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	238.6	5.43%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	1,556.2	35.43%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	4,392.6	100%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Heating Components	**Total (Btu/h)**	**Percentage**	North (Btu/h)	South (Btu/h)	East (Btu/h)	West (Btu/h)	Northeast (Btu/h)	Southeast (Btu/h)	Northwest (Btu/h)	Southwest (Btu/h)
Wall	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	2,792.1	57.86%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-238.6	-4.95%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-238.6	-4.95%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	1,556.2	-32.25%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	758.6	100%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

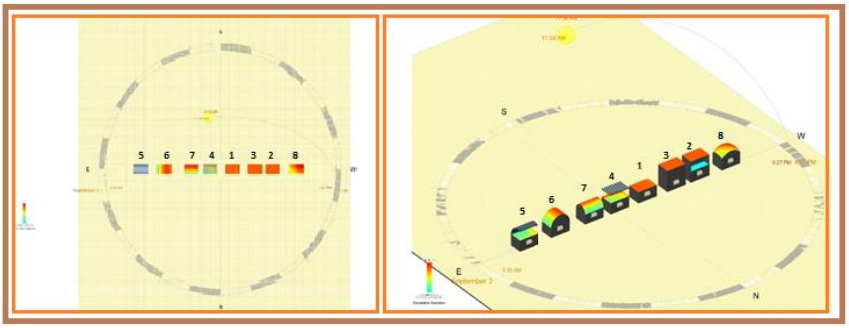
شایان ذکر است که برخی از این مؤلفه‌ها با توجه به فرم سقف دچار تغییراتی (تغییر در اندازه حجم موردنظر به دلیل تغییر در فرم‌ها) می‌شود که اندک است و در تحلیل نهایی قابل اغماض است اما تقریباً تمام داده‌ها به‌صورت مشترک از مورد پایه[1] استفاده شده‌اند؛ همان‌طور که در جداول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود و مبتنی بر فرایند پیشنهادی طراحی AIA بارهای پیک[2] مبنای سنجش تدابیر طراحی و مقایسه آنها با یکدیگر هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مقایسه اوج بار سرمایشی لازم برای فضای مفروض زیر نوع سقف (انرژی لازم برای سردکردن یک فضا) در مدل‌سازی انواع فرم سقف که توسط نرم‌افزار انجام شده است؛ عدد کمتر نشان‌دهنده نیاز کمتر به استفاده از وسایل سرمایشی یا به عبارتی مصرف انرژی کمتر برای سرمایش در تابستان است. سقف طاق عرضی در مناسب‌ترین حالت است و به‌ترتیب سقف ۶متری، سقف با سایه‌بان گنبدی و ثابت به یک اندازه، سقف گنبدی، سقف طاق طولی و در بدترین حالت سقف مسطح با ارتفاع ۳متری قرار می‌گیرد. درنهایت مشاهده می‌شود که از تأثیرگذارترین عوامل در طراحی اقلیمی فرم بام در اقلیم گرم و خشک، سه عامل افزایش ارتفاع، سایه‌اندازی (استفاده از سایبان) و فرم طاقی با ارجحیت عرضی یا عمود بر جهت غالب تابش که در نیم‌کره شمالی تابش جنوبی است می‌باشد. مقایسه تأثیر طراحی فرم انواع بام‌ها بر رفتار اقلیمی آنها در نیاز اوج بار سرمایشی در تصویر ۱ آورده شده است.

Default Spaces

No	Space Name	Area (m²)	Volume (m³)	Peak Cooling Load (Btu/h)	Cooling Airflow (CFM)	Peak Heating Load (Btu/h)	Heating Airflow (CFM)
1	سقف 3 متر 1	21	63.27	4,392.6	165	758.6	143
2	سقف 6 متر 2	21	126.54	2,937.4	110	2,237.3	143
3	سقف 6 متر 2	21	126.54	2,937.4	110	2,237.3	143
7	طاق عرض 4	21	86.19	1,967.5	71	1,336.7	97
6	طاق طولی 5	21	102.56	3,609.2	136	3,299.2	197
5	سایه بان گنبدی 6	21	63.27	2,937.4	110	2,237.3	143
4	سایه بان ثابت 8	21	63.27	2,937.4	110	2,237.3	143
8	گنبد 9	21	95.35	3,003.0	112	2,430.8	153



تصویر ۱. تحلیل مدل‌شده در نرم‌افزار اتو دسک رویت و پلاگین اینسایت ۳۶۰.

در تصویر ۱ عملکرد اقلیمی طراحی فرم بام در نیاز اوج بار سرمایشی در نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی مدل شده است و رنگ‌ها از قرمز به آبی نشان‌دهنده همان اعدادی هستند که در تصویر ۱ آورده شده است. به عبارتی رنگ‌های قرمزتر نیاز انرژی بیشتر و به سمت رنگ‌های آبی نیاز انرژی کمتر مشاهده می‌شود. این مورد در فرم یک بام نیز قابل مشاهده است.

[1] Base Case
[2] Peak Loads

مطمئناً در عملکرد و رفتار حرارتی طراحی فرم بام، عوامل متعددی دخیل هستند. در این نوشتار برای ساده‌سازی تحلیل شبیه‌سازی انرژی تنها به موضوع فرم بام و تأثیر آن در اوج بار سرمایشی لازم برای یک فضای مفروض پرداخته شد و واضح است که این پژوهش می‌تواند با لحاظ مؤلفه‌های مختلف ادامه یابد؛ نظیر پژوهش در اقلیم‌های دیگر ایران، گنبدهای چند پوسته، ساختارهای متنوع بام، عناصر فضایی دیگر مانند دیوارها و کف‌ها و بازشوها و ...، استفاده از نرم‌افزارهای دیگر شبیه‌سازی انرژی و موارد از این قبیل. آنچه مورد هدف این نوشتار بود تحلیل اهمیت تصمیمات طراحی و طراحان معماری در رفتار اقلیمی فرم عناصر فضایی که در این نوشتار فرم بام و تأثیر آن در عملکرد اقلیمی می‌باشد که می‌تواند توجه معماران و مسئولین حوزه ساختمان را به طراحی غیرفعال ساختمان‌ها یا Building Passive Design را معطوف سازد.

References

[1] Ghobadian, V. (1998). *Climatic analysis of traditional sustainable buildings in Iran*. University of Tehran Printing and Publishing Institute. https://www.gisoom.com/book/1136169

[2] Koch-Nielsen, H. (2010). *Climate compatible architecture, principles of environmental design in hot areas* (F. Soflaei, Trans.). Urban Planning and Architecture Study and Research Center. https://www.gisoom.com/book/1713475

[3] Razjooian, M. (2010). *Comfort through climate compatible architecture* (A. Sanjari, Ed.). University of Shahid Beheshi. https://www.gisoom.com/book/1727391

[4] M, T., & Sh, J. (2008). *The principles of an architecture compatible with the climate with an approach to mosque architecture*. University of Shahid Beheshi. https://press.sbu.ac.ir/book_81.html

[5] Razmgah, F. (2014). The Cool Roof Experimenting with Change of Color to Cool the Roof. *Soffeh*, *24*(2), 25-34. https://soffeh.sbu.ac.ir/article_100230.html

[6] Mahmoodi Zaradi, m., Pakari, n., & bahrami, h. (2012). The effect of green roof on reducing environment temperature. *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, *9*(20), 73-82. https://www.bagh-sj.com/article_1178.html?lang=en

[7] Ahadi, a. a., & Alirezaei vernosfaderani, B. (2014). Evaluating appropriate roof shape and efficiency of wind tower and wind scoop for natural ventilation in residential buildings of Chabahar. *Journal of Housing and Rural Environment*, *33*(148), 33-44. http://jhre.ir/article-1-541-en.html

[8] Masnadi, M., & Heidari, S. (2010). Roof simulation a method of detailed thermal survey in visual environment. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, *2*(42), 5-12. https://jfaup.ut.ac.ir/article_22609.html?lang=en

[9] Fooladi, V., Tahbaz, M., & Majedi, H. (2016). Double-shell dome in terms of thermal behavior in Kashan desert climate. *Journal of Researches in Islamic Architecture*, *4*(2), 90-106. http://jria.iust.ac.ir/article-1-488-en.html

[10] Tahbaz, M. (1996). The principles of a desert architecture. *Soffeh*, *5*(2), 79-89. https://soffeh.sbu.ac.ir/article_100293.html

[11] Akhtarkavan, M., Seddigh, M., & Akhtarkavan, H. (2012). *Setting conditions compatible with Iran's ecosystem and climate (climate, architecture, and energy)* (M. Ahmadi, Ed. 2 ed.). Kalhor. https://www.gisoom.com/book/1837277

[12] Sharghi, A & ,.Azimi Faridoni, n. (2017). The role of slope shape roofs in heating energy consumption Based on energy gain. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, *4*(2), 65-74. https://jsaud.sru.ac.ir/article_667.html?lang=en

[13] Mahdavinejad, M. (2013). Stablishment of Optimum Designing Pattern in Buildings Roof Shape Based on Energy Loss. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, *3*(2), 35-42. https://bsnt.modares.ac.ir/article-2-7709-en.html

[14] Darvish, a., Gorji mahlabani, Y., & Medi, h. (2019). Solar Reflection Capacity of Roof Surfaces in Reducing Cooling Energy Consumption of Urban Housing, Case Study: Shahr-e-Rey Mehr Building. *Journal of Urban Ecology Researches*, *10*(20), 111-126. https://doi.org/10.30473/grup.2020.7082

[15] Shiri, T., Didehban, M., & Taban, M. (2020). Effect of Form on Shading amount and heat Absorption in Domes of YAZD AB ANBARS. *Journal of Researches in Islamic Architecture*, *7*(4), 75-94. http://jria.iust.ac.ir/article-1-1250-en.html

[16] Mohammad Rezaei, E., & Khodabakhshian, M. (2021). Evaluation of Optimal Roof Form in the Esfahan City Using Wind Tower. *Journal of Urban Sustainable Development*, *2*(3), 35-46. https://usdjournal.daneshpajoohan.ac.ir/article_696805.html?lang=en

[17] Asadollahi, S., & Tahbaz, M. (2021). Cold roof a positive strategy to improve the parameters of urban heat islands, energy management and thermal comfort. *Green Architecture*, *7*(2), 1-10. https://civilica.com/doc/1485240/

[18] Hoseini, T., & Hajizadeh Javaran, M. (2023). The Study and Investigation of Pirnia's Theory of Kermani Roon through Examining the Optimal Orientation in Architecture and Urban Planning of Kerman. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, *19*(4), 67-90. https://doi.org/10.48301/kssa.2022.321416.1917

[19] Shoara, S., Mofidi Shemirani, S. M., Shahriari, S. K., & Saeideh Zarabadi, Z. S. (2023). Investigation of the Effect of Urban Street Canyon Materials on Microclimate by CFD in Shiraz. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, *19*(4), 223-240. https://doi.org/10.48301/kssa.2023.354640.2225

[20] Kasmaei, M. (1999). *Climate and Architecture*. Baztab. https://www.gisoom.com/book/1152989

[21] Ashrae, & American National Standards Institute. (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ANSI/ASHRAE Standard 55-2017). Ashrae. https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%_20guidelines/stand ards%20addenda/55_2017_d_20200731.pdf

[22] Energy Models. (2024). *eCourses eQUEST OpenStudio TRACE 700 LEED Energy Modeling*. https://energy-models.com/

[23] Tahbaz, M., & Jalilian, S. (2016). Outdoor Microclimate and Pavement Material - Case Study in University Site. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, *20*(4), 21-32. https://doi.org/10.22059/jfaup.2016.59667

[24] Nahan, R. T. (2019). *Architect's Guide to Building Performance: Integrating Performance Simulation in the Design Process*. American Institute of Architects. https://books.google.com/books?id=V3lJygEACAAJ

[25] Memarian, G. H., Madahi, s. m., Aeini, S., & Abdolahi, A. (2018). Investigating the Effects of Walls on Reducing Energy Consumption in Traditional-residential Areas of Kashan, Case Study: Boroujerdi House. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, *10*(21), 113-124. https://www.armanshahrjournal.com/article_58590.html?lang=en

[26] Tonekaboni, M., & Monadjemi, S. (2019 .(Investigating the thermal performance of buildings with green roofs. *Green Architecture*, *5*(3), 37-43. https://civilica.com/doc/991648/