نقش جهان/ سال سوم/ شماره ۲
صفحات: ۴۲ - ۳۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۶/۳
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۲/۹/۱۲

الگوی انرژی دوستی در ساختمان بر اساس رفتار حرارتی بام

Optimum Energy Efficient Architecture Based on Thermal Behavour of Buildings' Roofs

• محمدجواد مهدوی‌نژاد[1]

چکیده

برای کاهش هر چه بیشتر نیاز انرژی، در ساختمان‌ها ، علاوه بر لزوم در نظر گرفتن عایق‌های حرارتی با ضخامت کافی، بهره‌گیری از راه‌کارهای مناسب به منظور کاهش مصرف انرژی، می‌تواند تأثیری تعیین‌کننده بر روی بیلان انرژی ساختمان داشته باشد. بام ساختمان، به عنوان بدنه‌ای از بنا است که همواره در تمام طول شبانه روز مستقیماً از عوامل جوی تأثیر می‌پذیرد، علاوه بر این، اتلاف حرارتی سقف به علت مساحت قابل توجه آن و رقم کلان مجموع اتلاف حرارتی پوش‌های سقفی در مقیاس شهری، این عنصر ساختمانی را از نظر اتلاف حرارتی حائز اهمیت نموده است. پوشش‌ها نشان می‌دهد که مطالعات زیادی در ارتباط با جزئیات طراحی جداره‌ها و پوسته‌های ساختمانی به منظور دستیابی به کارایی بیشتر صورت گرفته است ولی در زمینه طراحی فرم و عملکرد حرارتی مطلوب، تحقیقات متمرکز چندانی صورت نگرفته است. پژوهش حاضر در واقع گزارشی توصیفی از چارچوب‌ها و راهبردهای اولیه است که با هدف شناخت و تحلیل انواع بام بر مبنای مدل‌سازی کامپیوتری در نرم افزار انرژی پلاس، صورت می‌گیرد. شبیه‌سازیهای صورت گرفته در شهر اصفهان و با تکیه بر کمترین میزان اتلاف انرژی، برای رسیدن به فرم مطلوب بام در اقلیم گرم و خشک انجام می‌شود. مدل‌های بررسی شده شامل بام تخت، گنبدی و شیبدار است. نتایج حاکی از آن است که مناسب‌ترین بام دربین این مدل‌ها از نظر عملکرد حرارتی، بام شیبدار ۳۰-۶۰ است که بخش عمده‌ای از مساحت آن رو به جنوب قرار دارد. این در حالی است که بام گنبدی نامناسب‌ترین عملکرد حرارتی را دارد.

واژه‌های کلیدی: *پوسته‌های ساختمانی، سقف، فرم و عملکرد حرارتی، شبیه‌سازی کامپیوتری، اتلاف انرژی*

۱. استادیار گروه آموزشی معماری، دانشکده‌ی هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
Email: mahdavinejad@modares.ac.ir

۱. مقدمه

رشد مصرف انرژی در جوامع امروزی، علاوه بر تشدید خطر اتمام سریع منابع فسیلی، جهان را نیز با تغییرات تهدید آمیزی مواجه نموده است؛ از این رو در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های بین المللی، در راستای توسعه پایدار جهانی، بهره‌گیری هر چه بیشتر از منابع تجدیدپذیر و انرژی‌های پایدار اهمیت و جایگاه ویژه‌ای یافته است. بخش قابل ملاحظه‌ای از مصرف انرژی (حدود ٪۴۰)، در بخش ساختمان، و برای سرمایش، گرمایش و تهویه صورت می‌گیرد. از این رو، استفاده از راه‌کارهای مناسب به منظور کاهش مصرف انرژی، به ویژه در ساختمان‌هایی با استفاده مداوم، کمک قابل توجهی به حفظ منابع موجود می‌کند.

میزان انرژی مصرفی در یک ساختمان به عوامل متعددی بستگی دارد، که اعم آن‌ها به شرح زیر هستند:

۱. میزان تعویض و نفوذ هوا. ۲. اختلاف دمای بین فضای کنترل شده و خارج ساختمان در اوقات مختلف سال. ۳. میزان انرژی رایگان دریافتی در اوقات مختلف سال. ٤. ضریب انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان (مهران و دیگران، ۳۶، ۱۳۹۰). بر این اساس، بررسی متغیرهای مؤثر بر پوسته‌های ساختمانی در میزان انتقال حرارت ساختمان بسیار تاثیرگذار هستند. پوسته‌ها، کلیه سطوح پیرامونی ساختمان، اعم از دیوارها، سقف‌ها، کف‌ها، بازشوها و نظایر آن‌ها هستندکه از یک طرف با فضای خارج و از طرف دیگر با فضای داخل یا کنترل نشده در ارتباط می‌باشند (مقررات ملی ساختمان، ۳) (تصویر شماره ۱)؛ در این میان، طراحی پوسته بنا، به ویژه عناصر و پوشش‌های سقفی، به عنوان یکی از وسیع‌ترین سطوح خارجی، نقش مهمی در میزان هدر رفت انرژی در ساختمان‌ها دارد.

انرژی در دست‌یابی به شهری پایدار جایگاه ویژه‌ای دارد (انصاری و دیگران، ۱۳۹۱: ۸) و این گرایش در کارکردهای فرهنگی اجتماعی معماری اسلامی ریشه دارد (مهدوی‌نژاد و مشایخی، ۱۳۸۹). در فرهنگ اسلامی بارها و بارها نسبت به صرفه جویی و کم مصرف کردن توصیه شده است (مهدوی‌نژاد، ۱۳۸۱: ۲٤) و هنگامی که باعث ارتقاءِ جنبه‌های معنوی می‌شود، از آن با عنوان حکمت اسلامی یاد می‌کنیم (مهدوی‌نژاد، ۱۳۸۳: ۵۹). البته لازم به ذکر است که بر اساس رویکرد انتقادی به تحلیل آثار معماری (مهدوی‌نژاد، ۱۳۸٤: ۵۹)، عناصر اسلامی به کار رفته در یک اثر معماری زمانی هویت بخش توصیف می‌شوند که علاوه بر کالبد، بر تعامل اجتماعی و فرهنگی مردم نیز تاثیر بگذارد. (مهدوی‌نژاد و دیگران، ۱۳۸۹: ۱۱۵) مصرف بهینه انرژی و مردم‌واری دو مفهوم همبسته‌اند (مهدوی‌نژاد و ناگهانی، ۱۳۹۰: ۲۳) از این رو در تحلیل رابطه معماری و زمینه (مهدوی‌نژاد و دیگران، ۱۳۹۰: ۲۲)، از انرژی و مفهوم آن به عنوان یک اصل اساسی یاد می‌شود (مهدوی‌نژاد و جوانرودی، ۱۳۹۰: ۷۰). این مهم در رویکرد پایدار به شهرهای آموزش‌دهنده (مهدوی‌نژاد و دیگران، ۱۳۹۲: ۸۵) و بخصوص در فضاهای معنوی (مهدوی‌نژاد و دیگران، ۱۳۹۲: ۳۸) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. .

۲. سؤالات تحقیق

با توجه به مطالب بیان شده، این پژوهش بر آن است که به بررسی و تحلیل رفتار حرارتی اشکال مختلف پوشش‌های سقفی و تأثیر آن بر میزان هدر رفت انرژی در ساختمان بپردازد و به سؤالات زیر پاسخ دهد:

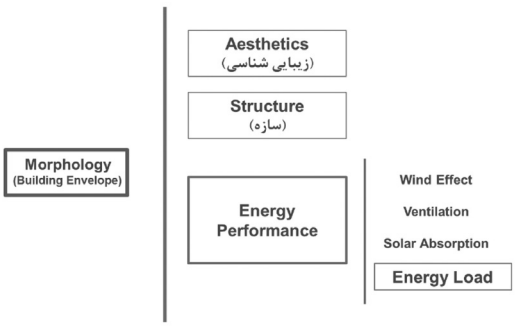
۱. آیا رابطه‌ای میان فرم پوشش‌های سقفی در ساختمان و میزان هدر رفت انرژی در فصل سرد وجود دارد؟ و این رابطه چگونه است؟

۲. چگونه می‌توان با استفاده از طراحی معماری و انتخاب فرم مطلوب سقف، میزان هدر رفت انرژی را به ویژه در فصول سرد کاهش داد ؟

۳. پیشینه تحقیق

در سالیان اخیر، مطالعات فراوانی در ارتباط با جزییات طراحی جداره‌ها و پوسته‌های ساختمانی به منظور دستیابی به کارایی بیشتر صورت گرفته است؛ ولی در زمینه طراحی فرم و عملکرد حرارتی مطلوب سخن چندانی به میان نرفته است. آنچه به عنوان پوشش‌های پیشین صورت گرفته در این مقاله بیان می‌شود؛ در واقع مطالعاتی است که در قالب پایان نامه‌ها و مقالات در ارتباط با شکل‌شناسی پوسته ساختمان، به ویژه سقف انجام شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که غالب مطالعات در سه شاخه زیبایی شناسی، سازه و عملکرد حرارتی است که تمرکز اصلی این مقاله بر روی رفتار حرارتی پوسته به ویژه بام خواهد بود.



نمودار ۱. طبقه‌بندی موضوعی منابع مطالعاتی در رابطه با پوسته‌های ساختمانی، (منبع: نگارندگان)

Mohamed Krem، 2012، در پایان نامه دکتری خود در گرایش مهندسی عمران و محیط‌زیست با عنوان" تأثیر شکل شناسی ساختمان بر عملکرد سازه‌ای و انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه اداری"، با مدل‌سازی کامپیوتری ثابت می‌کند که:

۱) شکل ساختمان، تأثیر به سزایی در مصرف سالیانه انرژی دارد.

۲) قرارگیری دیواره های اصلی و سازه‌ای ساختمان در اضلاع شرقی و غربی، در بهبود رفتار حرارتی ساختمان مؤثر است.

۳) اثر ویژگی‌های حرارتی مطلوب در پوسته ساختمانی، در کنار جهت گیری مناسب در سایت ، در کاهش مصرف انرژی ساختمان بسیار چشمگیر است.

Ross Marion Barbara، 2009، در پایان نامه خود با عنوان"طراحی با رویکرد انرژی: به سوی معماری شهری با افزایش رضایت‌مندی در محدوده دریاچه باسین" که به شیوه تحلیل نمونه موردی ارائه گردیده است؛ بیان می‌کند که هنگامی که مصرف انرژی کمتر و سطح رضایت‌مندی بالا، همزمان اهداف مشخص در یک پروژه ساختمانی قرار می‌گیرند، بررسی پارامترهای فرم ، جهت‌گیری و ساختار فیزیکی پوسته‌های ساختمانی به ویژه در نما، در اولویت قرار می‌گیرند.

جدول (۱)، نشان دهنده چکیده از مطالعات صورت گرفته در ارتباط با پوسته‌های ساختمانی به ویژه سقف، در پایان نامه های بررسی شده می باشد.

احمدرضا فقیه و مهدی بهادری نژاد ، از شیوه محاسبات عددی برای دستیابی به راه‌کارهای کاهش بیشینه دمای هوای داخلی بنا در اقلیم گرم و خشک بهره جسته و نشان دادند که رفتار حرارتی سقف‌های گنبدی در مقایسه با سقف تخت در روزهای گرم به ویژه به هنگام استفاده از مصالحی نظیر کاشی بهتر است (others and Faghih, 2011, 1262).

Runsheng و همکارانش، به دنبال محاسبه میزان جذب تابش در سقف، در مقالهای با عنوان "بررسی پرتوهای جذب شده به وسیله بام‌های گنبدی و طاق دار در مقایسه با بام تخت"، نشان دادند که آسایش حرارتی توسط سقف‌های منحنی، به ویژه در فصل گرم، بهتر فراهم می‌شود (and Rusheng others, 2003, 548).

٤. روش شناسی

شبیه‌سازی کامپیوتری، محیطی مجازی را به منظور بررسی جز به جز رفتار حرارتی اجزای ساختمان فراهم می‌آورد. شبیه‌سازی بام در نرم افزارهای مربوطه، راهکاری است که به وسیله آن امکان بررسی دقیق تر، تخمین شرایط و پتانسیل‌های انواع بام‌ها، در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی فراهم می‌شود (مسندی، ۱۳۸۷). با توجه به اینکه امکان اندازه‌گیری دماهای حقیقی در نمونه‌های واقعی، چندان میسر نیست؛ تکنیک‌های روش تحقیق، مدل‌سازی و شبیه‌سازی (Wang & Groat, 2002: pp 341-373)، با استفاده از نرم افزارهای محاسبات عددی پیشرفته، پیش‌بینی می‌شود. در این روش، امکان ساخت هر گونه بنایی در هر شرایط اقلیمی، در محیط مجازی وجود داشته و نتایج به دست آمده نیز هیچ گونه محدودیت عددی و زمانی ندارند (مسندی، ۱۳۸۷). پیش‌بینی می‌شود که در این

جدول۱. طبقه‌بندی موضوعی منابع مطالعاتی در رابطه با پوسته های ساختمانی، پایان نامه.

	Dissertation	Published Place	Published Year	Research Methodology	Research Questions/ Hypothesis/Purposes	Relation Rate	Conslusion	Programme
1	Effect of Building Morphology on Energy and Structural Performance of High-Rise Office Buildings (Ph.D.)	University of Massachusetts	2012	Simulation (Ecotech-Outdoor)		3/4		Civil & Environmental Engineering
2	The Parametric Façade Optimization in Architecture through a Synthesis of Design, Analysis and Fabrication (Master).	Waterloo	2012	Simulation		1/4		Architecture
3	Mining Hidden Knowledge from Measured Data for Improving Building Energy Performance (Ph.D.)	Concordia University, Montreal, Quebec	2012	Data collection		2/4		Civil & Environmental Engineering
4	A Study of Predictive Control Strategies for Optimally Designed Solar Homes (Ph.D.)	Concordia University, Montreal, Quebec	2011	Simulation (ESP-r, EnergyPlus)		2/4		Civil & Environmental Engineering
5	Investigating the Feasibility of Establishing a Biosphere Reserve on the Northeast Coast of St. Lucia (Master).	Waterloo	2010					Environmental Studies
6	Design with Energy in Mind: Toward a Low Load and High Satisfaction Civic architecture in the Great Lake Basin(Master).	Waterloo	2009	Case Study		3/4		Architecture
7	Life-Cycle Cost Evaluato of Building Envelope Energy Retrofits	University of Toronto	2009	Simulation (EQuest)		3/4		Architecture
8	Design and Power:Defining Programme and typology for T.L.S.E.C Development in the Bay of Fundy(Master).	Dalhouse University	2009	Case Study		1/4		Architecture
9	Evaluation of High Performance Residential Housing Technology (Master).	Waterloo	2008		Design and evelope case-based computer modeling Software	2/4		Civil Engineering
10	Typology of Energy (Master).	Concordia University, Montreal, Quebec	2000	Simulation		2/4		Civil Engineering
11	Case-Based Reasoning Approach to Designing of Building Envelope (Ph.D.)		1999	Case Study	Can the idea of energy form a typology for buildings in the next millennium?	3/4		Civil & Environmental Engineering
12	A Methodology for Thermal Analysis and predictive Control of Building Envelope Heating System (Ph.D.)	Concordia University, Montreal, Quebec	1997			1/4		Architecture
13	Courtyard Housing (A Typological Analysis) (Master).	McGill, Montreal, Quebec	1994	Case Study (Outdoor)	Extracting Zone Strategies	2/4		Civil & Environmental Engineering

(منبع: نگارنده)

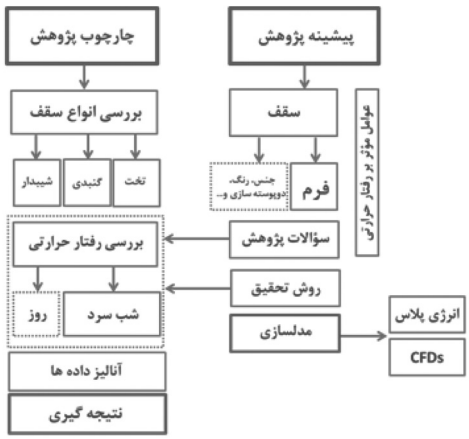
جدول۲. طبقه‌بندی موضوعی منابع مطالعاتی در رابطه با پوسته‌های ساختمانی، مقالات.

	Paper Title	Published Place	Published Year	Research Methodology	Research Questions/ Hypothesis/Purposes	Relation Rate	Conslusion	Research Institue
1	Performance-based design of SolSt; a roof system integrating structural morphology and solar energy transmittance.	(IASS) Symposium	2010		The importance of the geometry has been stressed	4/4		Technology
2	Study on shape creation of building's roof by evaluating aesthetic sensibility		2008	Simulation [By genetic algorithm (GA)]	To develop an optimum design method for roofshapes satisfying both aesthetic sensibility (beauty) and economic evaluation	1/4		
3	Roof Shape Generation Method for Buildings Using KANSEI Evaluation Rules		2006	Simulation [By genetic algorithm (GA)]	To develop an optimum design method for roof shapes that satisfy the conditions of both beauty and dynamics	1/4		Shibaura Inst. of Technol.
4	Building Morphology, Transparence, and Energy Performance	Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands	2003			1/4		Department of Building Physics and Human Ecology Vienna University of Technology
5	Impact of height and shape of building roof on air quality in urban street canyons		2011	Simulation (Computational Fluid Dynamics)		1/4	Pollutant concentration increased as the roof height decreases	Department of Environmental Technology & Management(Kuwait)
6	Progress in energy-efficiency standards for residential buildings in China	Energy & Buildings Journal	2004		The paper briefly describes energy-efficiency standards	1/4		China Academy of Building Research
7	Thermal Performance Evaluation of Domed Roofs	Energy & Buildings Journal	2011	Numerical Calculation	To Reduce the Maximun Air Temperature of Building inside.	4/4	Better Thermal Behaviour of domed roof in Hot Days	School of Mechanical Engineering, Yazd, Iran
8	An analysis of absorbed radiation by domed and vaulted roofs as compared with flat roofs	Energy & Buildings Journal(35)	2002	Numerical Calculation	To Calculate the insolation absorbed by these roofs.	4/4	Better Thermal Behaviour of domed roof	The Desert Architecture Unit

(منبع: نگارنده)

پژوهش از نرم افزار EnergyPlus استفاده شود. انرژی پلاس (EnergyPlus)، موتور شبیه‌سازی مستقلی است که بدون هیچ واسط گرافیکی، از آن به منظور شبیه‌سازی ساختمان، در زمینه مدل کردن مقدار آب و انرژی بکار رفته در ساختمان استفاده می‌شود. نتایج حاصل از مدل‌سازی هم به صورت عددی و هم نمودار قابل ارائه هستند.

روش جمع‌آوری اطلاعات مراجعه به منابع مکتوب و کتابخانه‌ای، همزمان با برداشت میدانی نمونه‌ها صورت گرفته است.

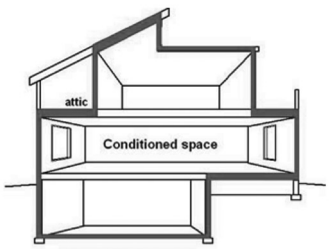


تصویر ۱. پوسته ساختمانی، بازیابی شده از سایت: www. foamcomfort. ca

۵. اطلاعات و بحث

بررسی انواع سقف

همانطور که پیشتر نیز ذکر شد، پوستهها، کلیه سطوح پیرامونی ساختمان، اعم از دیوارها، سقف‌ها، کفها، بازشوها و نظایر آن‌ها هستندکه از یک طرف با فضای خارج و از طرف دیگر با فضای داخل یا کنترل نشده در ارتباط است (مقررات ملی ساختمان، ۳) (تصویر ۲)؛ بام، بخشی از پوسته ساختمان است که بهطور مستقیم در معرض تغییرات آب و هوایی قرار می‌گیرد. تعاملات حرارتی که بین بام و فضای بیرون صورت می‌گیرد، عبارت است از: ۱. دفع گرما ۲. جذب گرما ۳. انعکاس خورشیدی (براون و دیکی، ۱۳۸۹، ۲۲۱). در صورت عدم پیشبینی راهکار مناسب، این تغییرات از طریق بام به فضای داخلی منتقل می‌شود که این امر باعث به هدر رفتن انرژی می‌شود.



تصویر ۱. پوسته ساختمانی، بازیابی شده از سایت: www .foamcomfort .ca

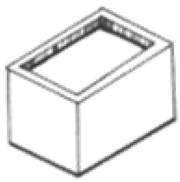
فرمهای مختلف بام بر حسب رفتار حرارتی با شرایط خاص اقلیمی، تاثیرات متغیری نیز در بر خواهند داشت. طبقه‌بندی بامها به صورت زیر انجام می‌شود.

بام ساده: این نوع بام به سه دسته بام تخت، بام شیبدار و بام قوسی تقسیم می‌شود. این سه نوع بام همگی از پوسته‌ای یک لایه تشکیل شده‌اند؛ به همین دلیل به آن‌ها بام ساده می‌گویند.

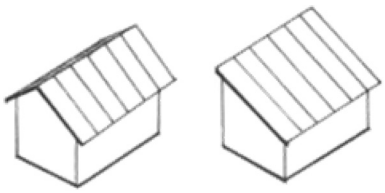
بام تخت[1]: پوشش نهایی ساختمان که شیبی کمتر از ۱۰ درجه یا مساوی آن، نسبت به افق دارد (مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹، ۲).

بام شیبدار[2]: پوشش نهایی ساختمان که شیبی بیشتر از ۱۰ درجه و کمتر از ۶۰ درجه نسبت به سطح افقی دارد. بر روی سقف شیبدار، فضای خارج و در زیر آن، فضای کنترل شده یا کنترل نشده قرار دارد. اگر شیب جدار بیش از ۶۰ درجه باشد، دیوار تلقی می‌شود (مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹، ۳). این بامها بسته به میزان و جهت شیب انرژی تابشی خورشیدی متفاوتی دریافت می‌کنند.

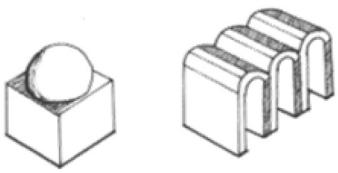
بامهای قوسی (گنبدی[3]): این بامها برخلاف بامهای تخت، همیشه در خلال روز بخشی از سطح خود را در سایه خواهند دید. استفاده از سطوح گنبدی باعث می‌شود که مساحت سطح افزایش یابد و این افزایش مساحت، در روند انتقال گرما، تبادل حرارت و از دست دادن تدریجی حرارت تاثیر مثبت گذاشته و موجب کاهش گرمای دریافتی در روز و افزایش بازپس دادن حرارت در شب می‌شود (نیلسن، ۱۳۸۵، ۵۵-۵۶)



بام تخت



بام شیبدار



بام قوسی

تصویر۲. انواع فرم بام ، (منبع: نگارنده)

بام مرکب: به بامی اطلاق می‌شود که ساختاری چند لایه داشته باشد.

بام دو پوسته: موارد استفاده از این نوع روش در گذشته به صورت گنبدهای دو پوسته و شیروانی‌ها بوده و امروزه در بامهای تخت نیز به صورت سقف کاذب رواج دارد (کسمایی، ۱۳۸۲، ٤٥). ساختار این بامها به این گونه می‌باشد که از ۲ لایه تشکیل می‌شوند و در آن‌ها بام و سقف یکی نبوده و فاصله هوایی بین آن‌ها وجود دارد.

حوضچه بام (بام آبی): در این سامانه بام آبی، آب در کیسه‌های پلاستیکی سیاه رنگ بر روی یک بام تخت فلزی ذخیره می‌شود.

در طول روز زمستان، خورشید کیسه‌های آب را گرم می‌سازد. گرما به سرعت از طریق هدایت به پایین جریان یافته و از سقف به سمت فضای نشیمن تابیده می‌شود. در شب، عایق متحرک آب را می‌پوشاند تا مانع از دفع گرما به سمت آسمان شب گردد (لکنر، ۱۳۸۵، ۱۸۲-۱۸٤). ایده این بام شبیه دیوار ترومب می‌باشد با این تفاوت که در اینجا بام، یک ذخیره ساز حرارتی است. بام سبز: بام سبز موجب جایگزینی گیاهان از بین رفته فضاهای شهری و بهبود خرد اقلیم محلی، کاهش بهره حرارتی از طریق رسانایی سازه بام و دماهای داخلی پایدارتر می‌گردد. اجزا بام سبز عبارتند از: ۱.گیاه. ۲. زیرسازی. ۳. لایه ضد آب. ٤. عایق حرارتی. ۵ سازه بام (مسندی، ۱۳۸۷، ۱٤۹-۱۵۶).

بحث

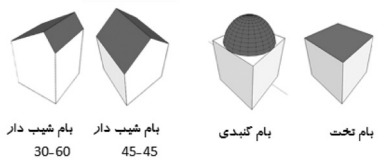
به طور کلی برای طراحی مطلوب در سقف‌ها، می‌توان راه‌کارهایی ارائه داد، به گونه‌ای که بتوان باعث صرفه‌جویی در میزان انرژی مصرفی و کاهش هدررفت حرارتی شد؛ به این معنا که هم مسائل اقلیمی و هم مقررات و آیین نامه‌های ساخت را در آن‌ها رعایت کرد. دو پوسته سازی سقف، عایق کاری، استفاده از مصالحی نظیر کاشی و . . . راه‌کارهایی هستند که در هنگام طراحی بام می‌تواند در بهبود عملکرد حرارتی آن مؤثر واقع شوند؛ ولی آنچه که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرد، در واقع تأثیر تغییر فرم سقف در میزان هدر رفت انرژی در طی سال می‌باشد. با توجه به این که رویکرد اصلی پژوهش، بر پایه هدررفت انرژی است، شبیه‌سازی و مدل‌سازی سقف در اوقات سرد سال به ویژه در شب سرد انجام می‌گیرد. نکاتی که به هنگام مدل‌سازی در شب باید مورد توجه قرار گیرد، شامل موارد زیر است:

۱. به منظور افزایش دقت شبیه‌سازی در مرحله اول، چهار نمونه از سقف ساده شامل سقف تخت، سقف گنبدی با کمان ۹۰ درجه، سقف شیب دار (°۶۰- °۳۰) و سقف شیب دار (°٤۵)، مدل می‌شوند.

۲. با توجه به تأثیر ضریب هدایت حرارتی مصالح گوناگون در هدررفت انرژی، مصالح مورد استفاده در تمام سقف‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود (آجر بنایی با ضریب هدایت حرارتی: (m/w. 1 K. 34).

۳. تمام سقف‌های مدل شده، بر روی یک مکعب ٤*۱۰*۱۰ قرار می‌گیرند. مساحت سطح زیرین سقف، در تمام نمونه‌ها یکسان درنظر گرفته شده است.

٤. با توجه به تأثیر ضخامت جداره‌ها در میزان اتلاف حرارت در ساختمان، ضخامت تمام جداره‌ها ۳۰ سانتی متر، معادل دیوار بنایی در نظر گرفته شده است.



تصویر۳. انواع سقف‌های مدل‌سازی شده در نرم افزار
(منبع: نگارنده)

آنچه که بیان شد، در واقع، مرحله نخست شبیه‌سازی است که در نرم افزار انرژی پلاس، با توجه به داده‌ای آب و هوایی شهر اصفهان صورت می‌گیرد. داده‌ای آب و هوایی شهر اصفهان برگرفته از سایت انرژی پلاس (URL 2) است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی، در پیشرفت و نحوه پیشبرد پژوهش، مؤثر خواهد بود.

از آنجایی که هدف پژوهش، دستیابی به فرم بهینه سقف در اقلیم گرم و خشک اصفهان است، باید رفتار حرارتی بام در طی روز نیز مورد بررسی قرار گرفته و برآیند سالیانه هر یک از اشکال هندسی به کار رفته در سقف، استخراج شود.

پیش‌بینی می‌شود، در ارزیابی فرم مطلوب در روز گرم، موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

۱. انتخاب مناسب و موقعیت قرارگیری ساختمان، زاویه شیب و مساحت سطح بام، این عوامل بر میزان تابش خورشیدی بام تاثیر می‌گذارند (برای مثال، نحوه جهت گیری سقف شیب دار (°۶۰- °۳۰) فقط در میزان دریافت تابش متفاوت خواهد بود).

۲. سایه‌اندازی بام جهت کاهش اثر پرتوهای خورشیدی مستقیم، که این اثر در سقف‌های شیبدار و گنبدی مشهود است.

این موارد در کنترل جذب پرتوهای خورشید و تاثیر آن‌ها بر فضاهای داخلی در طی روز گرم تابستان، اثرگذار است. همانطور که پیشتر نیز ذکر شد، نتایج حاصل از مدل‌سازی‌ها، در نحوه تصمیم‌گیری در مراحل بعدی پروژه تأثیر گذار می‌باشد.

۶. شبیه‌سازی

به منظور بررسی تاثیر فرم بام بر بار حرارتی ساختمان، مدل‌های مختلف بام با شرایط یکسان، ابتدا در نرم افزار اکوتکت 2010 مدل‌سازی شدند. سپس هندسه مدل‌ها برای انجام تحلیل‌های حرارتی، به نرم‌افزار انرژی پلاس ۵ منتقل شدند.

تفاوت مدل‌های مورد نظر تنها در فرم بام است و این فرم‌ها از نظر مساحت زیر ساخت (سطح افقی که در بام اشغال می‌کنند)، یکسان هستند. هر یک از این مدل‌ها از یک ساختمان با ابعاد ۱۰*۱۰ متر و ارتفاع ۵ متر تشکیل شده است که فرم‌های مختلف بام هر یک در سطح افقی، ۷۶/۵٤ متر مربع از سطح بام را اشغال می‌کنند. هر کدام از بام‌ها در دو حالت با عایق و بدون عایق مدل‌سازی شدند. در نمونه‌های با عایق، سطوح به ترتیب از خارج به داخل از یک لایه آجر ۱۰ سانتیمتری، عایق ۵ سانتیمتری پلی استایرن منبسط شده، آجر ۲۰ سانتیمتری و ۱۶ میلیمتر گچ و در نمونه‌های بدون عایق، سطوح به ترتیب از خارج به داخل از یک لایه آجر ۳۰ سانتیمتری و ۱۶ میلیمتر گچ تشکیل شده‌اند.

شبیه‌سازی‌ها در یک روز نمونه در فصل سرد (۱ول دی ماه) و بر اساس داده‌های آب و هوایی نرم‌افزار انرژی پلاس برای شهر اصفهان، انجام شد. فرم‌های شبیه‌سازی شده برای بام به طور کلی عبارتند از:

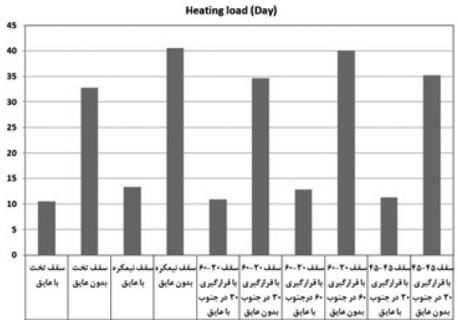
۱. بام تخت
۲. بام نیمکره
۳. بام شیبدار ۳۰-۶۰ با قرارگیری زاویه ۳۰ درجه رو به جنوب (سطح بیشتر رو به جنوب است)
٤. بام شیبدار ۳۰-۶۰ با قرارگیری زاویه ۶۰ درجه رو به جنوب (سطح کمتر رو به جنوب است)
۵ بام شیبدار ٤۵-٤۵

۷. تحلیل رفتار مدل‌ها

به منظور بررسی میزان اتلاف انرژی در هر کدام از فرم‌ها، بار حرارتی هر کدام از مدل‌ها با هم مقایسه شدند. نمودار ۱ نشان دهنده بار حرارتی در طول روز (ساعاتی که تابش

خورشیدی صفر نیست) است.

بررسی‌ها در روز اول دی ماه که تابش خورشیدی افقی‌ترین حالت را در طول سال دارد، انجام شدند.



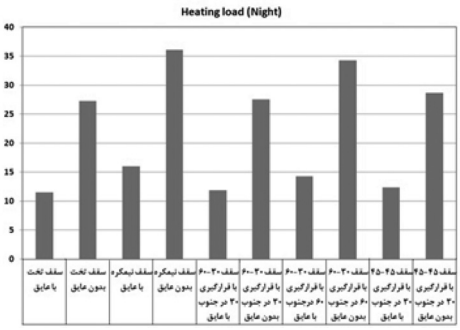
نمودار۱. بار حرارتی مدل‌ها در طول روز بر حسب کیلو وات ساعت
(مأخذ: نگارنده)

همانطور که انتظار می‌رفت و در نمودار نیز مشخص است، مدل‌های بدون عایق بار حرارتی بیشتری نسبت به مدل‌های با عایق دارند که این تفاوت بین مدل‌های عایق شده و نشده، بسیار چشمگیر است.

در بین فرم‌های مختلف، بام تخت کمترین و بام نیمکره بیشترین میزان اتلاف انرژی را در طول روز دارد. در میان فرم‌های شیبدار، بام با شیب ۳۰-۶۰ و با قرارگیری زاویه ۳۰ درجه رو به جنوب کمترین میزان اتلاف انرژی را دارد که امر به دلیل قرارگیری سطح بیشتر رو به جنوب اتفاق می‌افتد. چرا که در طول روز نسبت به حالتی که سطح بیشتر رو به شمال قرار گیرد، تابش خورشیدی بیشتری را دریافت می‌کند.

بام شیبدار ۴۵-۴۵ نسبت به بام با شیب ۳۰-۶۰ و با قرارگیری زاویه ۳۰ درجه رو به جنوب اتلاف انرژی بیشتری دارد اما اختلاف بار حرارتی این دو مدل بسیار کم است.

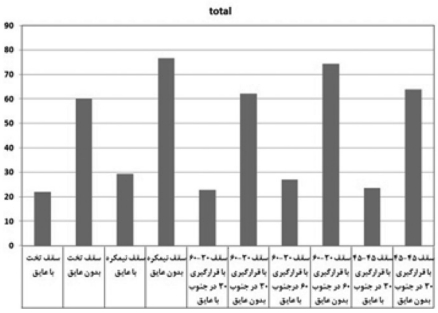
نمودار ۲ بار حرارتی مدل‌ها را در طول شب (ساعاتی که تابش خورشیدی صفر است) نشان می‌دهد.



نمودار۲. بار حرارتی مدل‌ها در طول شب بر حسب کیلو وات ساعت
(مأخذ: نگارنده)

در طول شب اتلاف حرارت در بام تخت کمترین و در بام نیمکره بیشترین مقدار است. در بین بام‌های شیبدار، بام ۳۰-۶۰ با قرارگیری زاویه ۶۰ درجه رو به جنوب بیشترین میزان اتلاف انرژی را دارد پس از آن بام شیبدار ۴۵-۴۵ و بام شیبدار ۳۰-۶۰ با قرارگیری زاویه ۳۰ درجه رو به جنوب، در میان بام‌های شیبدار کمترین اتلاف انرژی را دارد.همانطور که در نمودارهای ۱ و ۲ مشخص است ترتیب اتلاف انرژی در فرم‌های مختلف در طول شب و روز و در حالت با عایق و بدون عایق یکسان است.

اما در طول شب تفاوت بین بار حرارتی بام تخت، بام شیبدار ۳۰-۶۰ با قرارگیری زاویه ۳۰ درجه رو به جنوب و بام شیبدار ۴۵-۴۵ بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است و این سه فرم در طول شب از نظر حرارتی، تقریبا یکسان عمل می‌کنند.



نمودار۳. بار حرارتی مدل‌ها در روز اول دی ماه بر حسب کیلو وات ساعت
(مأخذ: نگارنده)

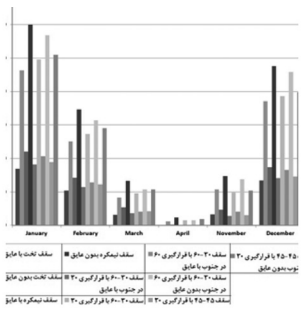
نمودار ۳ بار حرارتی مدل‌ها را در روز اول دی ماه نشان می‌دهد.

جدول ۱ مساحت و حجم ساختمان را با فرم‌های مختلف نشان می‌دهد.

فرم بام	سطح (متر مربع)	حجم (متر مکعب)
بام تخت	۴۰۰	۵۰۰
بام نیمکره	۴۴۷/۲۱۵	۷۵۱/۴۴
بام شیبدار ۳۰-۶۰	۴۵۶/۷۶۱	۶۳۴/۸۳
بام شیبدار ۴۵-۴۵	۴۶۹/۹۷۱	۶۶۸/۰۶۹

جدول۱. مساحت و حجم ساختمان را با فرم‌های مختلف نشان می‌دهد.

نمودار ۴ بارگرمایشی مدل‌ها را در ماههای مختلف سال نشان می‌دهد.



نمودار ۴. بار گرمایشی مدل‌ها در طول سال بر حسب کیلووات ساعت
(مأخذ: نگارنده)

نمودار فوق نشان می‌دهد که ترتیب بارگرمایشی مدل‌ها در ماههای مختلف همانند بار گرمایشی روز اول دی ماه است.

نتیجه‌گیری

در پوشش‌های صورت گرفته مشخص است که مطالعات زیادی در ارتباط با جزئیات طراحی جداره‌ها و پوسته‌های ساختمانی به منظور دستیابی به کارایی بیشتر صورت گرفته است. ولی در زمینه طراحی فرم و عملکرد حرارتی مطلوب، سخن چندانی به میان نرفته است. آنچه که با مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها حاصل می‌شود، در واقع بیانگر میزان تأثیر فرم سقف‌ها در اتلاف حرارتی کل بنا خواهد بود. چرا که با در نظر گرفتن مساحت قابل توجه آن و رقم کلان مجموع اتلاف حرارتی پوشش‌های سقفی در مقیاس شهری، این عنصر ساختمانی از نظر اتلاف حرارتی حائز اهمیت است. وجود چنین شاخصی می‌تواند در کنار راه‌کارهای دیگری نظیر عایق کردن بدنه‌ها، جهت‌گیری مطلوب ساختمان ، جانمایی فضاهای داخلی، جدارهای نورگذر، سایه‌بان‌ها، تهویه طبیعی و اینرسی حرارتی جداره‌ها، در کاهش هدر رفت انرژی ساختمان به کار گرفته شود. نکته کلیدی استفاده از شبیه‌سازی و نتیجه نهایی در این است که برنامه مدل‌سازی و تحلیل، وضع مورد نظر را بررسی می‌نماید و پس از آن وظیفه طراح است که با توجه به تمام نقاط بحرانی نتایج، امکانات وضع موجود و هزینه‌های ساخت، مناسب‌ترین تکنیک طراحی و ساخت را انتخاب نموده و پوشش بام ساختمان را طراحی نماید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مناسب‌ترین بام دربین این مدل‌ها از نظر عملکرد حرارتی، بام شیبدار ۳۰-۶۰ است که بخش عمده‌ای از مساحت آن رو به جنوب قرار دارد. این در حالی است که بام گنبدی نامناسب‌ترین عملکرد حرارتی را در میان مدل‌های بررسی شده دارد. بنابراین می‌توان گفت که چنانچه فرم بام طوری طراحی شود که سطح بیشتری از آن قابلیت جذب انرژی خورشید را داشته باشد، از نظر حرارتی عملکرد بهتری دارد. بررسی مدل‌ها با عایق و بدون عایق نشان داد که عایق کردن تاثیر چشمگیری بر کاهش بار حرارتی دارد.

قدردانی

این مقاله برگرفته از نتایج یک طرح پژوهشی است با پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (National Iran Foundation Science) توسط دکتر محمدجواد مهدوی‌نژاد به انجام رسیده است. در این موقعیت از زحمات عزیزان همکار آقایان و خانم‌ها سعید فرمهین فراهانی، محمود عابدی، نسیم شارقی، رضا منصوری؛ و بخصوص مریم فخاری و نگار بدری که بدون زحمات ایشان این مجموعه به ثمر نمی‌رسید، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

پی‌نوشت‌ها:

1. Flat Roof
2. Pitched Roo
3. Domed Roof

فهرست منابع

- احمدی، عباس،(۱۳۸٤). **اثرات شکل سقف در سرمایش ساختمان**،پایان نامه کارشناسی ارشد، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- شعبانی صمغ آبادی، وحید،(۱۳۸۹). **بررسی عملکرد و طراحی بام در اقلیم سرد و معتدل تهران**، پایان نامه کارشناسی ارشد، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- کسمایی، مرتضی، ۱۳۸۲). **اقلیم و معماری**، انتشارات مرکز معماری ایران، تهران، ایران.
- لکنر، نربر،(۱۳۸۵). **سرمایش، گرمایش، روشنایی، رویکردهای طراحی برای معماران**، ترجمه رحمان آذری، محمدعلی کی نژاد، انتشارات هنر اسلامی تبریز، چاپ اول، تبریز، ایران.
- مسندی، مریم،(۱۳۸۷). **مطالعه تأثیر بام بر دمای داخل**، پایان نامه کارشناسی ارشد، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- **مقررات ملی ساختمان، صرفه جویی در مصرف انرژی، (۱۳۸۹)**. وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران، تهران، ایران.
- مهران، سعید، رمضانی، بابک،(۱۳۹۰). **آموزش تجزیه و تحلیل شدت تابش بر اثر شدت تابش انرژی خورشیدی و ارائه روش‌های بهینه**، فصلنامه فن و هنر.
- انصاری، مجتبی، بمانیان محمدرضا، محمدجواد مهدوی‌نژاد، و سیدمحمدمهدی حسینی‌کیا (۱۳۹۱). **مکان‌یابی محوطه‌های گردشگری طبیعی بر اساس اصول معماری منظر؛ کاربرد ترکیبی گروه مباحثه متمرکز FGD و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP**، مدیریت شهری، بهار و تابستان ۱۳۹۱، شماره ۲۹، صص ۲۲-۷.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد و محمد مشایخی (۱۳۸۹). **بایسته‌های طراحی مسجد بر مبنای کارکردهای فرهنگی – اجتماعی**، آرمانشهر، شماره ۵ پاییز و زمستان ۱۳۸۹، صص ۷۸-۶۵.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد، محمدرضا بمانیان و ندا خاکسار (۱۳۸۹). **هویت معماری، تبین معنای هویت در دوره‌های پیشامدرن، مدرن و فرامدرن**، هویت شهر، شماره ۷، پاییز و زمستان ۱۳۸۹، صص ۱۲۲-۱۱۲.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد (۱۳۸۱). **هنر اسلامی، در چالش با مفاهیم معاصر و افق‌های جدید**، هنرهای زیبا، شماره ۱۲، صص ۳۲-۲۳.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد (۱۳۸۳). **حکمت معماری اسلامی ایران-جست‌وجو در ژرف ساخت‌های معنوی معماری اسلامی ایران**، هنرهای زیبا، شماره ۱۹، صص ۶۶-۵۷.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد (۱۳۸٤). **آموزش نقد معماری؛ تقویت خلاقیت دانشجویان برای تحلیل همه‌جانبه آثار معماری، هنرهای زیبا**، شماره ۲۳، صص ۷۶-۶۹.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد و نوشین ناگهانی (۱۳۹۰). **تجلی مفهوم حرکت در معماری معاصر ایران**، مطالعات شهر ایرانی اسلامی، سال اول، شماره ۳، صص ۳٤-۲۱.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد، محمدرضا بمانیان و معصومه مولایی (۱۳۹۰). **فرآیند طراحی زمینه گرا تجربه معماری ۸۹-۱۳۸۸**، نقش جهان، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، ۱ (۱)، صص ۳٤-۲۱.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد و کاوان جوانرودی (۱۳۹۰). **مقایسه تطبیقی اثر جریان هوا بر دوگونه‌ی بادگیر یزدی و کرمانی، هنرهای زیبا معماری و شهرسازی**، زمستان ۱۳۹۰، شماره ٤۸، صص ۷۹-۶۹.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد، محمدرضا بمانیان و معصومه امینی(۱۳۹۲). **ارائه الگوها و روش‌های مطلوب تبدیل شهر تهران به شهر آموزش دهنده با تاکید بر اصول و تجارب جهانی، مدیریت شهری**، بهار و تابستان ۱۳۹۲، شماره ۳۱، صص ۱۰۶-۸۳.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد، مهدی حمزه نژاد و مهتاب کامیاب (۱۳۹۱). **اصول طراحی و ساخت مصلی مبتنی بر فرهنگ اسلامی در معماری معاصر ایران**، مطالعات شهر ایرانی اسلامی، پاییز ۱۳۹۱، ۳ (۹)، صص ٤۷-۳۷.
- Faghih, A. and Bahadorinejad, M. ,(2011). "**Thermal Performance Evaluation of Domed Roofs**", Energy and Buildings 43,

pp. 12541263-.
● FLUENT 6. 1 Users` Guide. Fluent Inc. ; 2003.
● Groat, L. , Wang, D. , (2002). "**Architectural Research Methods**", John Wily & sons, Canada, pp. 275300-.
● Krem, M. , (2012). "**Effect of Building Morphology on Energy and Structural Performance of High-Rise Office Buildings**", Ph. D Thesis, Civil and Environmental Engineering, University of Massachusetts, Amherst, USA.
● Marison Rose, M. , (2009). "Design in Energy in Mind: Toward a low-load and high-satisfaction civic architecture in the Great Lake Basins", Master Thesis, Architecture, University of Waterloo, Waterloo, Canada.
● Rusheng, T. , Meir, I. A. , Etzion, Y. , (2003). "**An Analysis of Absorbed Radiation by Domed and Vaulted Roofs as Compared with Flat Roofs**", Energy and buildings 35, pp. 539548-.
● URL 1: www. foamcomfort. ca
● URL 2: http://apps1. eere. energy. gov/buildings/energyplus