Cult Islam Archit Urban, 2025; 10 (2): 179-210

Tabriz Islamic Art University 1999

CULTURE OF ISLAMIC ARCHITECTURE AND URBANISM

DOI : http://dx.doi.org/10.61882/ciauj.10.2.581

The Culture of Islamic Architecture & Urbanism

Original Paper **Open Access**

The Optimal Level of Orosi's Girih Tile Patterns in Traditional Buildings of Isfahan from the Perspective of Visual Comfort and Thermal Comfort

Maral Asgharpour Arshad[1], Leila Medghalchi[2*], Paria Saadatjoo[3]

1. Master student, Department of Architecture and Urban Planning, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.
2. Associate professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.
3. Assistant professor and Faculty Member of the Civil Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Received: 2024/08/28 Accepted: 2024/11/25

Abstract

Optimal energy use is increasingly vital in architecture, where building envelopes significantly impact aesthetics, thermal comfort, daylighting, and energy use. This study examines various traditional Girih tile patterns in Isfahan's building openings, focusing on their wood-to-glass ratios and effects on useful daylight, visual comfort, and thermal comfort. Using software simulations in Rhino7, Honeybee, Ladybug, MATLAB, and SPSS, the research identifies Pattern 6 as the most effective. While all patterns were beneficial, some achieved over 97% visual comfort by reducing glare, especially on western and eastern façades, and those allowing over 20% daylight above 3000 lux suited precision-focused spaces.

Keywords:

Optimization, Lattice pattern, Visual comfort, Thermal comfort, Useful daylight illuminance

* Corresponding Author: l.medghalchi@tabriziau.ac.ir

©2025 by the Authours.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 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

Introduction

With global population growth projected to strain energy resources by 2050, energy-efficient architectural solutions are increasingly vital. Building openings significantly impact energy use, aesthetics, daylighting, and thermal comfort. In hot, dry climates like Isfahan, traditional Iranian architecture offers climate-responsive features, notably Girih tile lattice patterns, which enhance thermal and visual comfort and natural ventilation. However, such patterns have been largely overlooked in modern design. This study aims to revive and optimize these traditional lattices by evaluating their environmental performance in Isfahan. The goal is to create culturally rich, energy-efficient design strategies suitable for contemporary architecture in similar climates.

Research questions

1. Which pattern is an optimal geometric pattern of Girih tiles in the openings of buildings in Isfahan city?

2. What are the most important physical characteristics related to thermal comfort, glare, and useful daylighting in openings with windows?

Methodology

This applied, quantitative study uses a semi-experimental approach and numerical simulation to analyze 18 Girih tile patterns from traditional Isfahan architecture. Data were collected through library research, with 60 images leading to the selection of two samples per pattern type. The patterns were drawn in AutoCAD, modeled in Rhino 7, and simulated using Ladybug and Honeybee plugins with Isfahan's standard EPW weather file. Simulations were conducted annually to maintain consistent climate conditions. Results were analyzed using MATLAB and SPSS, enabling the identification of correlations between variables and physical characteristics, ultimately determining the optimal lattice pattern among the 18 samples (Figure 1).

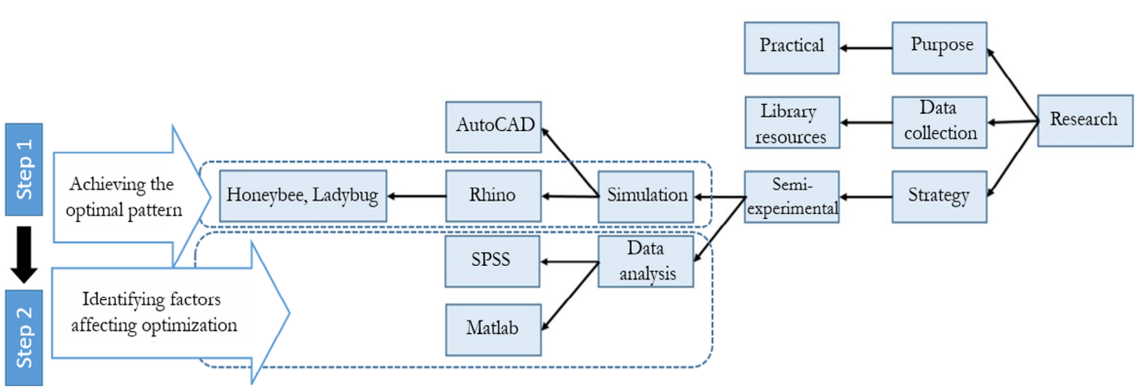


Fig 1. Research process and method

Background and Literature

Recent research has focused on optimizing traditional windows and lattice structures by blending historical designs with modern parametric methods. Hosseini et al. found that Islamic geometric patterns with 10–15 cm thickness improved daylight, though performance varied by orientation. Omidi et al. showed traditional

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

windows in semi-arid climates balanced visual comfort, glare control, and energy efficiency. Madhoushian and Fallahi highlighted the visual richness of mid-Qajar windows, while Raisi et al. found yellow stained glass to be the best for thermal comfort. Hosseini also explored adaptable façades with colored glass for improved daylighting. Parametric studies, such as those by Zeynal Zadeh, optimized window design for energy savings, and Fallahi Tafti demonstrated improved airflow through window projections. Hosseini further introduced a kinetic, butterfly-inspired façade to enhance daylight and reduce glare. Unlike these studies, the current research uniquely centers on Girih tiles in Isfahan architecture, directly linking geometric form to thermal comfort, glare reduction, and daylight efficiency without relying on stained glass.

Theoretical Foundation

Girih tiles exemplify the fusion of function and decoration in Islamic architecture, formed through systematic geometric patterns and used across various materials and surfaces. These tiles are categorized into nine functional groups, reflecting their versatility in architectural design (Figure 2). This study evaluates Girih tile patterns in relation to three key factors: thermal comfort, visual comfort, and useful daylight illuminance (UDI).

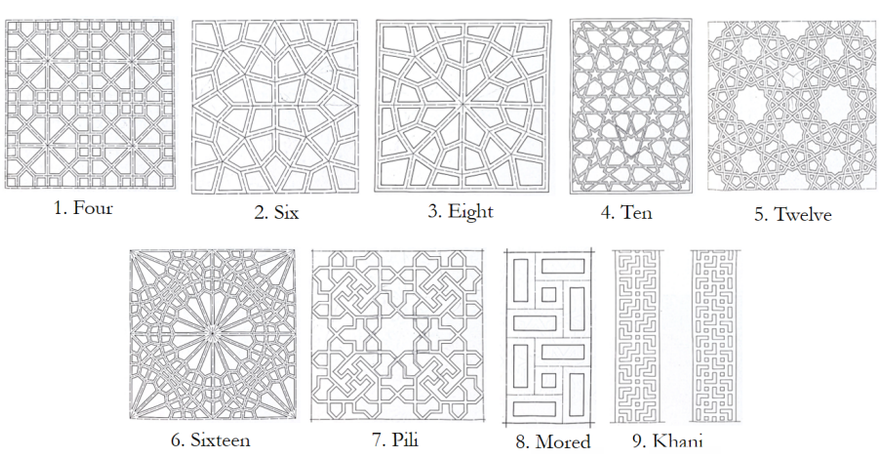


Fig 2. Knots classification and a sample image of each group (Fereshteh Nejad, 1977)

Thermal comfort refers to the satisfaction of occupants with the indoor climate, influenced by environmental (temperature, humidity) and personal (age, clothing, health) factors. The adaptive model used in this study allows natural regulation of comfort without artificial heating or cooling systems. Visual comfort depends on appropriate natural lighting levels, avoiding extremes of brightness and glare, which can cause fatigue and hinder performance. The study uses no artificial lighting, focusing on daylighting through different lattice patterns. UDI is defined as the percentage of time natural lighting levels fall within the 100–3000 lux range, which is deemed comfortable for occupants. Glare, a major factor affecting visual comfort, is measured using the Daylight Glare Probability (DGP) index through Honeybee simulations. Lower glare values correlate with higher visual comfort, making it a critical indicator alongside UDI and thermal comfort in evaluating optimal Girih tile patterns (Figure 3).

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

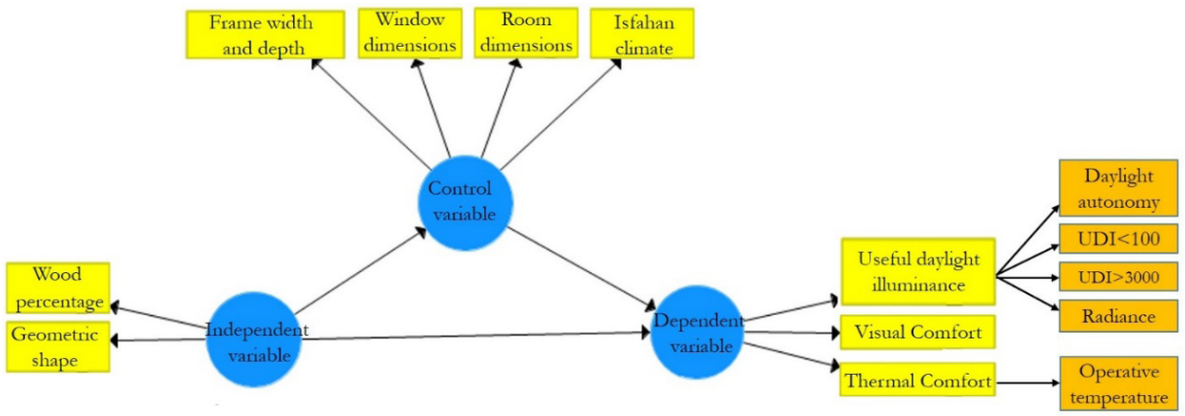


Fig 3. Conceptual model of search

Research Model and Simulation Conditions

This study evaluates 60 traditional Girih tile patterns, selecting 18 representative samples—two from each type—based on their historical and functional value. Using AutoCAD for modeling and Rhino 7 with Honeybee and Ladybug plugins for simulation, the research assesses Useful Daylight Illuminance (UDI), visual and thermal comfort, along with other factors like radiance, daylight autonomy, and operative temperature. Simulations were conducted in a standard 5 × 5 × 3.4 m room with a 2.3 × 2.8 m south-facing window (52% wall coverage), complying with Isfahan's municipal codes (Figure 4). A consistent 25% glass-to-wood ratio and a glass refractive index of 1.52 were applied. Although lattice frame thickness usually ranges from 0.8–1.5 cm, a fixed 5 cm was used for simulation reliability, preserving geometric proportions (Figure 5). Climate, room dimensions, and frame thickness were held constant, while lattice geometry and wood density (30–70%) were varied. No heating systems were used, and simulations reported annual performance to assess long-term efficiency.

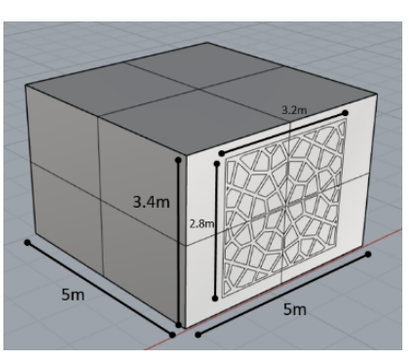


Fig 4. Window and room dimensions of the simulation

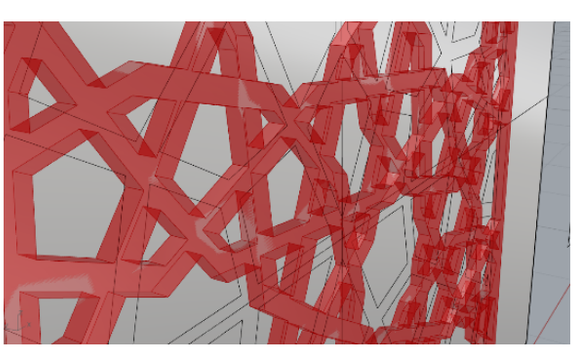


Fig 5. An example of a knotted frame with a width and depth of 5 cm

Results

This study analyzed simulation data of 18 unique lattice structures using MATLAB and SPSS to examine how geometric patterns influence energy and lighting performance. Charts revealed that variables like useful daylight illuminance and radiance vary significantly with changes in the wood-to-glass ratio, the number of glass pieces, and their average size. As the percentage of wood increases, useful daylight decreases slightly, while visual and thermal comfort significantly improve. Brightness and temperature show strong inverse

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

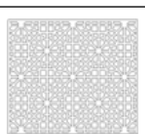
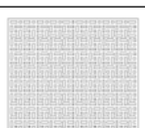
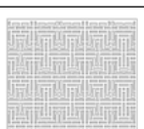
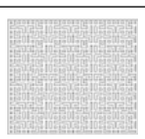
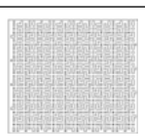
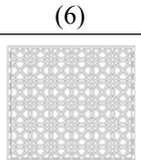
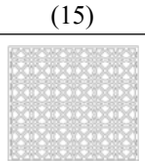
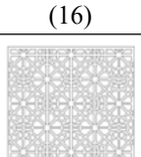
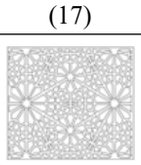
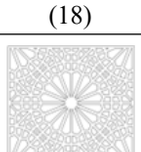
relationships with wood content, and metrics like daylight autonomy and UDI>3000 also decline with more wood. Conversely, UDI<100 rises with increased wooden frame area. Visual and thermal comfort correlate positively, while both show inverse relationships with operative temperature and radiance. An increase in wood percentage typically reduces the percentage of glass but increases the number of smaller glass pieces. While useful daylight and glass percentage have a weak correlation, visual and thermal comfort generally align with the number of glass pieces. The study concludes that optimal lattice structures feature a higher wooden frame ratio, more but smaller glass pieces, and reduced glass percentage (Table 1).

Table 1. Pearson correlation coefficients

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Wood percentage												
2	Glass percentage	-1.000											
3	Glass number	0.932	-0.932										
4	Glass average size	-0.880	0.880	-0.902									
5	UDI	-0.071	0.071	-0.129	-0.179								
6	Visual comfort	0.984	-0.984	0.933	-0.891	0.024							
7	Thermal comfort	0.709	-0.709	0.585	-0.742	0.565	0.756						
8	Radiance	-0.905	0.905	-0.815	0.852	-0.132	-0.908	-0.817					
9	Operative temperature	-0.968	0.968	-0.922	0.814	0.163	-0.953	-0.669	0.889				
10	Daylight autonomy	-0.756	0.756	-0.751	0.526	0.681	-0.695	-0.183	0.579	0.801			
11	UDI>3000	-0.973	0.973	-0.914	0.908	-0.114	-0.993	-0.816	0.924	0.936	0.639		
12	UDI<100	0.847	-0.847	0.837	-0.626	-0.578	0.800	0.291	-0.670	-0.878	-0.982	-0.745	

Based on performance outcomes, specific Girih tile patterns were recommended for different building orientations and lighting conditions to balance comfort (Table 2) and daylight performance (Table 3).

Table 2. More suitable Girih tile patterns for western and eastern use to adjust the glare on these fronts

First priority Visual Comfort above 98%	 (6)	 (15)	 (16)	 (17)	 (18)
First priority Visual Comfort above 97%	 (2)	 (4)	 (5)	 (10)	 (11)

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

Table 3. Similar performance of Girih tile patterns in terms of light for different uses

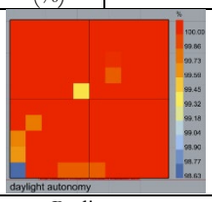
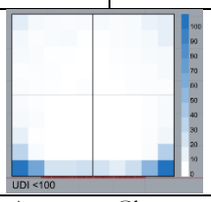
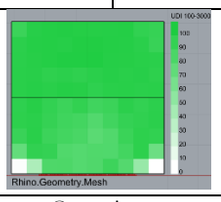
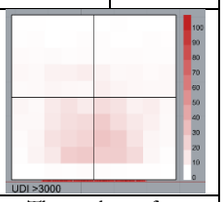
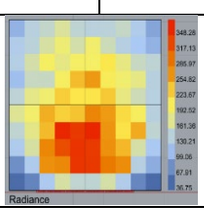
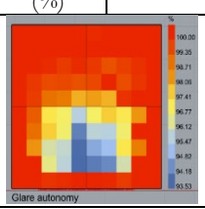
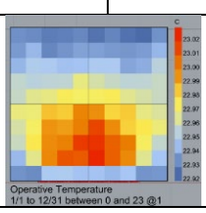
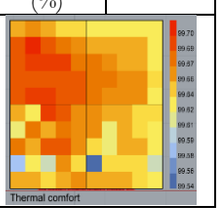
UDI>3000 Very detailed workspaces	UDI Detailed workspaces	UDI<100 Circulation spaces such as corridors
(8)	(1)	(6)
(9)	(2)	(15)
(12)	(3)	(16)
(13)	(4)	(17)
	(5)	(18)
	(7)	
	(10)	
	(11)	
	(14)	

Selection of Optimal samples

In the second phase of the study, 18 Girih tile patterns were evaluated using the mean and standard deviation of simulation-derived percentages for useful daylight illuminance, visual comfort, and thermal comfort. All variables were equally weighted, and higher means with lower standard deviations indicated better performance. Patterns 11, 10, 6, 5, 4, and 2 showed the highest optimization, with average values above 94% and relatively low variability. Among them, pattern 6 emerged as the optimal design due to its highest average and lowest standard deviation, signifying superior and consistent performance in daylight, visual, and thermal comfort metrics.

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

Table 4. Additional specifications of Girih tile number 6 (Optimal pattern)

Girih tile pattern	Daylight autonomy		Daylight illuminance					
			UDI>3000		UDI 100-3000		UDI<100	
	<97	1	Average (%)	5/708	Average (%)	87/430	Average (%)	6/860
	Average (%)	99/960						
6 Work name: Straight eight Glass number: 314								
	Radiance		Autonomy Glare		Operative Temperature		Thermal comfort	
Place: Safavid house of Isfahan	Average	175/905	<90	1	Average	22/955	<97	1
			Average (%)	98/698			Average (%)	99/549
Wooden frame area: 5/0741 Percentage of wood used compared to glass: 56/63%								

Conclusion

This research highlights the effectiveness of Girih tiles, inspired by traditional Isfahan architecture, in improving visual and thermal comfort in hot, dry climates. A key finding is the strong correlation between increased wood content in the tiles and enhanced comfort levels, although this does not extend to useful daylight illuminance. Among six evaluated tile patterns, pattern 6—commonly seen in the Safavid House and Nain Grand Mosque—was identified as the most efficient. The study also demonstrates that the simulation method used can be applied to different climates by utilizing EPW weather files. Integrating Girih patterns into contemporary architecture offers dual benefits: preserving cultural aesthetics and promoting energy efficiency. However, practical implementation is limited by the small number of optimal tile patterns. Despite this, the study supports the architectural and environmental value of traditional design elements in modern contexts.

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

This page is intentionally rendered without text

این صفحه آگاهانه بدون متن ارائه شده است

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی، ۱۴۰۴؛ ۱۰ (۲) :۲۱۰-۱۷۹

فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی

DOI : http://dx.doi.org/10.61882/ciauj.10.2.581

مقاله پژوهشی

دسترسی آزاد

میزان بهینگی الگوهای گره‌چینی به کار رفته در ارسیهای بناهای سنتی شهر اصفهان از بعد آسایش بصری و آسایش حرارتی

مارال اصغرپور ارشد[۱]، لیلا مدقالچی[۲]*، پریا سعادت جو[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
۲. دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
۳. استادیار، گروه معماری، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

دریافت : ۱۴۰۳/۶/۷ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۵

چکیده

امروزه مصرف بهینه‌ی انرژی در سراسر دنیا در تمامی عرصه‌ها از جمله معماری اهمیت خاصی پیدا کرده است. پوسته بنا به‌عنوان حد واسط داخل و خارج بر زیبایی بصری، آسایش حرارتی و میزان مصرف انرژی و نورگیری ساختمان‌ها تأثیرگذار است. معماری سنتی هر منطقه، همواره پاسخ‌های طراحانهی مناسبی برای مواجهه با محدودیتهای اقلیمی در بنا داشته است. یکی از راهکارهایی که سال‌های متمادی توانسته نیازهای عملکردی و اقلیمی در ساختمان‌های سنتی را به‌خوبی تأمین کند، گره‌چینی موجود در بازشوهای سنتی بوده است. این تحقیق که به لحاظ هدف، از نوع کاربردی و به لحاظ نوع داده، کمی است، در صدد است تا با بررسی و مقایسه‌ی الگوهای مختلف گره‌چینی‌های به کار رفته در ارسی‌های بناهای سنتی شهر اصفهان و نحوه‌ی قرارگیری این الگوها در کنار هم، با درنظرگیری نسبت تراکم چوب به شیشه در بازشوهای سنتی این شهر به الگوی بهینه گره‌چینی سنتی موجود دست یابد. این بهینه‌یابی با در نظر گرفتن نور مفید روز، آسایش بصری و آسایش حرارتی که متغیرهای وابسته‌ی این پژوهش هستند، انجام شد. این تحقیق از نوع نیمه‌تجربی با راهبرد کمی و مبتنی بر شبیه‌سازی نرم‌افزاری است. گردآوری اطلاعات به شیوه کتابخانه‌ای با بررسی تصاویر الگوهای مختلف هندسی گره‌چینی در ابنیه سنتی شهر اصفهان موجود در کتب مختلف انجام شد و سپس با روش آنالیز ریخت‌شناسی و شبیه‌سازی این گره‌چینی‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Rhino7 و پلاگین‌های Honeybee و Ladybug موجود در Grasshopper و تحلیل نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزارهای MATLAB و SPSS، الگوی بهینه به دست آمده است. نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود مناسب بودن تمام الگوهای گره‌چینی الگوی شماره ۶ الگوی بهینه با توجه به اهداف پژوهش است؛ به‌علاوه میتوان از برخی از این الگوها با درصد آسایش بصری بالای ۹۷ جهت تعدیل خیرگی در جبهه‌های غربی و شرقی بناها و همچنین میتوان از الگوهایی که بیشتر از ۲۰ درصد نور روز آن‌ها، نور با لوکس بالای ۳۰۰۰ است در کاربری‌هایی که دقت کار در آنها بالاتر است استفاده نمود.

واژگان کلیدی

بهینگی، الگوی گره‌چینی، آسایش بصری ، آسایش حرارتی، نور مفید روز

* نویسنده مسئول مکاتبات: l.medghalchi@tabriziau.ac.ir

©2025 by the Authours.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 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

۱. مقدمه

طبق پیش‌بینی‌های انجام شده تا سال ۲۰۵۰ با رشد چشمگیر جمعیت جهان، نیاز به انرژی و مصرف ذخایر افزایش خواهد یافت. همچنین تا انتهای قرن میلادی حاضر منابع سوخت فسیلی به پایان خواهد رسید و از آنجایی که انرژی نقشی اساسی در رشد و توسعه‌ی پایدار کشورها دارد، جهان با بحران انرژی روبه‌رو خواهد شد (منصوری و حیدری، ۱۴۰۰). با توجه به پژوهش‌های گسترده در این حوزه، امروزه مصرف بهینه انرژی در سراسر دنیا در تمامی عرصه‌ها از جمله معماری اهمیت خاصی پیدا کرده است. همچنین عدم طراحی‌های مناسب در ساختمان‌ها و به‌ویژه بازشوها موجب عدم وجود آسایش بصری و آسایش حرارتی در بناها و در نتیجه افزایش مصرف انرژی شده است.

یکی از مهم‌ترین بخش‌های بنا که نقش بسزایی در زیبایی بصری، نورگیری، آسایش حرارتی و میزان مصرف انرژی ایفا می‌کند، بازشوهای ساختمان است. طراحی درست و هوشمندانه این عنصر ساختمانی با بهره‌گیری از الگوهای مناسب می‌تواند در کنار تأمین آسایش بصری و حرارتی به کاهش قابل‌ملاحظه مصرف انرژی نیز کمک نماید. یکی از موضوعاتی که می‌توان از آن برای افزایش میزان بهینگی بازشوها و کاهش مصرف انرژی استفاده نمود، عناصر به‌کاررفته شده در معماری سنتی است. معماری سنتی[1] هر منطقه، پاسخ‌های طراحانه مناسبی برای مواجهه با محدودیت‌های اقلیمی در بناها داشته است (عبدی زاده و همکاران، ۱۴۰۳)؛ چرا که معماری سنتی و راهکارهای به کار رفته در آن علاوه بر تأمین زیبایی بصری، توانسته است به نیازهای انرژی، آسایش حرارتی و روشنایی کمک قابل‌توجهی کند. اغلب عناصر به کار رفته در معماری ایران چند عملکردی بوده‌اند، به این معنا که تقریباً هیچ عنصری صرفاً برای زیبایی یا تزیینات استفاده نمی‌شده است. (Pirnia, 2005) بنابراین لزوم توجه و بهره‌گیری از تجارب گذشته معماری به دلیل دارا بودن بار فرهنگی خاص (Oliver, 1989, p. 80) و گنجینه تجربه‌های متمادی و پرارزش بر هیچ‌کسی پوشیده نیست. یکی از مهم‌ترین این راهکارها، استفاده از الگوهای گره‌چینی در بازشوهای خانه‌های تاریخی ایران بوده است.

شهر اصفهان دارای اقلیم گرم و خشک است. در اقلیم گرم و خشک به دلیل وجود مشکلاتی همچون خیرگی، دمای بالا، عدم آسایش حرارتی در ایام گرم سال راهکارهایی همچون استفاده از گره‌چینی‌ها به‌خوبی پاسخگوی نیازهای ساختمان در راستای مصرف بهینه انرژی بوده است. نتایج تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که وجود گره‌ها در ارسی‌ها و استفاده از آن‌ها در عناصر معماری می‌تواند به تأمین آسایش حرارتی و تهویه طبیعی ساختمان کمک کند. (Sabouri Kenarsari et al.,2020, P. 29; Omidi et al., 2022, P. 2114; Hosseini et al., 2020; Sharif, 2016, p. 70) این الگوها امروزه به فراموشی سپرده شده و جایگاه شایسته‌ای در معماری معاصر ایران ندارند. این پژوهش با هدف ترغیب معماران جهت حفظ و احیای تجارب گذشته با به‌کارگیری گره‌چینی‌ها در بازشوهای ساختمان‌های معاصر انجام شده است.

بهینه‌یابی الگوی گره‌چینی‌های به کار رفته در ارسی‌ها از بعد کمّی، موضوعی است که تا به امروز کمتر به آن پرداخته شده است؛ این در حالی است که می‌توان با مطالعه بر روی این گره‌چینی‌ها در اقلیم‌های مختلف و شناخت الگوهای بهینه از حیث ایجاد نور مفید روز، آسایش بصری و آسایش حرارتی در بناها و در مرحله بعد، شناخت عواملی که با این متغیرهای وابسته رابطه‌ی مستقیم دارند، از این الگوها در طراحی معماری امروز استفاده کرد.

هدف از انجام پژوهش حاضر دستیابی به الگوی بهینه گره‌چینی در بناهای شهر اصفهان و شناسایی عوامل مرتبط با این بهینگی می‌باشد. بهینگی مورد بررسی در این پژوهش از سه بعد آسایش حرارتی، آسایش بصری و نور مفید روز خواهد بود. آسایش حرارتی شرایطی از ادراک است که در آن، محیط پیرامونی از لحاظ حرارتی رضایت‌بخش باشد (قیابکلو، ۱۳۸۰). آسایش بصری یا نور مفید روز نیز وابسته به فیزیولوژی چشم انسان است و عوامل مختلفی همچون مقدار روشنایی، کیفیت روشنایی و یکپارچگی روشنایی باعث می‌شود تا پیام‌های دیداری به‌وضوح از محیط دریافت شود و بر آسایش بصری ساکنین اثر می‌گذارد (Garretón et al., 2016). در نهایت اگر میزان و شدت روشنایی بیش از حد نرمال خود باشد باعث مشکلاتی از جمله خیرگی در افراد می‌شود. خیرگی خود باعث بروز اختلالاتی همچون خستگی، سردرد و عدم تمرکز حواس خواهد شد (اسلامی، ۱۳۹۷).

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

پژوهش پیش رو با بررسی گره‌چینی‌های واقع در شهر اصفهان همراه خواهد بود، شهر اصفهان یکی از قدیمی‌ترین شهرهای ایران است که قدمت تاریخی آن به قرن شانزدهم می‌رسد (Assari & Mahesh, 2011)، این شهر بناهای سنتی فراوانی دارد که به دلیل دارا بودن الگوهای گره‌چینی متعدد و در دسترس، این امکان را فراهم می کند تا با بررسی الگوهای بیشتر به الگوی گره‌چینی بهینه دست یافت. به طور کلی می توان گفت، هدف اصلی این پژوهش یافتن بهینه‌ترین الگوی گره‌چینی بناهای سنتی شهر اصفهان به‌عنوان راهکاری مناسب جهت استفاده در طراحی‌های ساختمان‌های معاصر متناسب با توجه به شرایط اقلیمی شهر اصفهان می‌باشد.

۲. سوالات پژوهش

سوال‌های این پژوهش عبارتند از:

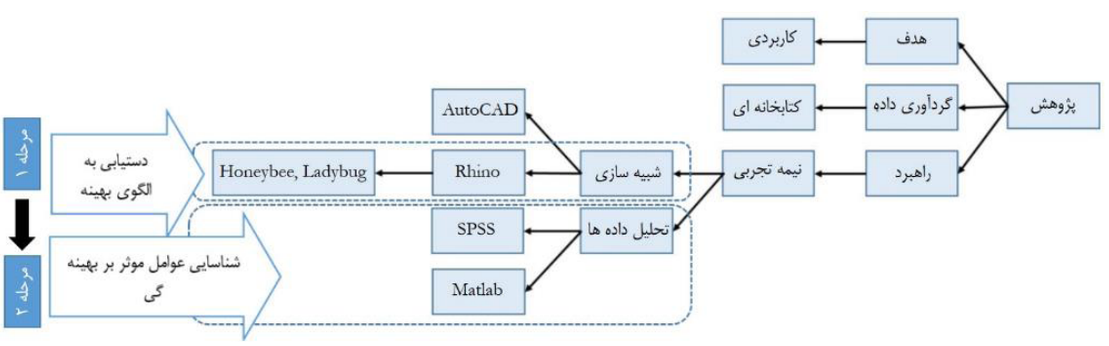
۱) الگوی هندسی بهینه گره‌چینی در بازشوهای بناهای شهر اصفهان کدام است؟

۲) در بازشوهای دارای ارسی مهم‌ترین شاخصه‌های فیزیکی در ارتباط با آسایش حرارتی، خیرگی و نور مفید روز چیست؟

۳. روش پژوهش

این تحقیق به لحاظ هدف، از نوع کاربردی و به لحاظ نوع داده، کمی است. با توجه به ماهیت سوالات و اهداف تحقیق از راهبرد نیمه‌تجربی و شبیه‌سازی عددی (گروت و وانگ، ۱۳۸۲)، به‌عنوان اصلی‌ترین راهبرد در این پژوهش استفاده شده است. ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش به شیوه کتابخانه‌ای بوده؛ به‌طوری که با استفاده از ۶۰ تصویر گره‌چینی موجود در کتب، ۱۸ الگوی مختلف هندسی (دو نمونه از هر نوع گره‌چینی) که در بناهای سنتی شهر اصفهان مورد استفاده قرار گرفته بودند به‌صورت تصادفی انتخاب شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار اتوکد تمامی این نمونه گره‌چینی‌ها ترسیم شد. در ادامه با روش آنالیز ریخت‌شناسی و شبیه‌سازی، ابتدا این گره‌چینی‌ها با نرم‌افزار Rhino 7 مدل‌سازی و با پلاگین‌های Ladybug و Honeybee ورژن ۱.۶.۰ عملیات شبیه‌سازی انجام شده و الگوی بهینه به‌دست آمده است. لازم به ذکر است که مرحله‌ی اسکریپت‌نویسی شبیه‌سازی توسط فایل استاندارد آب‌وهوای (EPW) [۲] شهر اصفهان انتخاب شده و از داده‌های انرژی پلاس به گرس‌هاپر وارد شده است؛ بنابراین اقلیم شهر اصفهان ثابت بوده و به‌عنوان متغیر میانجی عمل می‌کند. برنامه‌ی زمان‌بندی پژوهش نیز به گونه‌ای تنظیم شده است که نتایج شبیه‌سازی‌ها به‌صورت سالانه ارائه شود و مختص به ساعت و یا ماه خاصی از سال نباشد.

پس از انجام مرحله شبیه‌سازی، در مرحله‌ی بعد به کمک نرم‌افزارهای MATLAB 2019 و IBM SPSS Statistics 27 اعداد و ارقام متغیرهای به دست آمده از نتایج شبیه‌سازی‌های مرحله‌ی نخست، تحلیل شده‌اند که در نهایت با یافتن میزان همبستگی متغیرها، شاخصه‌های فیزیکی مرتبط با بهینگی در گره‌چینی‌ها شناسایی شده‌اند و از بین ۱۸ نمونه الگوی گره‌چینی یک الگو به‌عنوان الگوی بهینه انتخاب شده است. شکل ۱ نشان دهنده روش و روند کلی پژوهش حاضر است.



شکل ۱. روند و روش پژوهش

Fig 1. Research Process and Method

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

٤. پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر مطالعاتی انجام شده است تا جنبه‌های مختلف بهینگی پنجره‌های ارسی و گره‌چینی‌ها در ساختمان‌های سنتی بهتر درک شود. پژوهش‌های پیشین موجود در رابطه با مطالعه‌ی هندسه گره‌چینی‌های بازشوها و تاثیر آن بر مصرف انرژی عموماً به دو شکل صورت گرفته است: گروه اول پژوهش‌هایی که گره‌چینی‌ها را به همان شکل موجود و سنتی خود مورد بررسی قراردادند و گروه دوم پژوهش‌هایی که با طراحی‌های پارامتریک و مدرنیزه کردن گره‌چینی‌ها و هندسه‌ی بازشوها جهت یافتن حالت بهینه کوشیده‌اند.

از جمله پژوهش‌هایی که به بررسی حالت سنتی گره‌چینی‌ها پرداخته‌اند، می‌توان به مقاله حسینی و همکارانش تحت عنوان «نقش الگوی هندسی اسلامی ارسی‌ها در طراحی نمای ساختمان برای بهبود عملکرد ساکنان در نور روز» اشاره کرد. در این پژوهش برای اولین بار به بررسی عملکرد نور روز الگوهای هندسی مختلف اسلامی که در نمای جنوبی و غربی ارسی‌ها که با ضخامت‌های مختلف استفاده شده‌اند، پرداخته شده است. در این پژوهش دوازده خانه سنتی برای استخراج الگوهای هندسی به‌صورت میدانی مورد مطالعه قرار گرفته شده و در نهایت یک شبیه‌سازی مبتنی بر شبکه، شرایط نور روز داخل ساختمان را از طریق معیارهای مبتنی بر روشنایی اقلیمی تجزیه و تحلیل کرده است. نتایج این تحقیق نشان دهنده اثر قابل‌توجه ضخامت الگوهای هندسی بر عملکرد نور روز است. بر اساس نتایج، ضخامت‌های ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر در مقایسه با ضخامت ۵ سانتی‌متر، نتایج بهتری را نشان دادند. همچنین نتایج کارایی ضعیف الگوها در نمای غربی به‌ویژه با ضخامت‌های ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر را تایید کرد (Hosseini et al., 2020).

امیدی و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی راحتی بصری پنجره‌های ارسی در آب‌وهوای گرم و نیمه‌خشک با استفاده از معیارهای نور روز مبتنی بر اقلیم به یک مطالعه کمی در این حوزه پرداختند. هدف از این مطالعه تعیین میزان عملکرد پنجره‌های ارسی در این اقلیم‌ها از نظر راحتی بصری است. این تحقیق شامل اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل معیارهای مختلف نور روز مبتنی بر آب‌وهوا مانند فاکتور نور روز، روشنایی مفید نور روز و شاخص تابش خیره‌کننده است. این مطالعه همچنین شامل یک نظرسنجی از سرنشینان برای ارزیابی راحتی بصری آنها است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که پنجره‌های ارسی در اقلیم‌های گرم و نیمه‌خشک از نظر راحتی بصری عملکرد خوبی دارند. چرا که این پنجره‌ها علاوه بر فراهم کردن نور کافی و به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی، تابش خیره‌کننده را به حداقل رسانده و محیط داخلی راحت را برای ساکنان فراهم می‌کنند (Omidi et al., 2022, P. 2126).

مدهوشان نژاد و فلاحی در مقاله‌ای با عنوان مطالعه تطبیقی نقش و رنگ ارسی‌های قاجاری شهر تبریز با اردبیل، به شناسایی الگوی مشترک و متفاوت ارسی‌های دو شهر، با تکیه بر عناصر نقش و رنگ پرداخته و نشان دادند که شاخص‌های نقش و رنگ در دوره میانی قاجار به نسبت دو دوره قبل و بعد از خود، در هر دو شهر از منظر فراوانی و تنوع، دارای کیفیت مطلوب‌تر و بهتری است (Madhoushian & Fallahi, 2021, P. 87). لازم به ذکر است که این دو پژوهش نیز میزان بهینگی گره‌چینی‌ها را بدون تغییر و با حالت سنتی آنها مورد بررسی قرار داده‌اند.

دسته‌ای از پژوهش‌ها نیز در حوزه‌ی بررسی حالت سنتی پنجره‌های ارسی، به بررسی میزان بهینگی شیشه‌های رنگی ارسی‌ها پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، رئیسی و همکارانش در تحقیقی بسیار تازه تاثیر شیشه‌های رنگی ارسی‌های خانه‌ی کازرونی شیراز را بر عملکرد روشنایی و حرارتی بررسی کرده‌اند. طبق نتایج این پژوهش رنگ زرد تا ۲۲% موجب پیشرفت آسایش حرارتی شده و نسبت به سایر رنگ‌ها از بعد عملکرد نور نیز قابل‌قبول‌تر است. طبق این پژوهش رنگ‌های آبی و سبز در اولویت‌های بعدی پس از رنگ زرد قرار دارند (Raisi et al., 2023).

مرتضی حسینی در مقاله‌ای به ادغام طراحی تعاملی نمای متحرک با شیشه‌های رنگی جهت بهبود عملکرد روز بر اساس موقعیت سرنشینان پرداخته است. این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهایی همچون Rhino، Grasshopper و Diva عملکرد نور روز نمای متحرک تعاملی در دو مرحله مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Hosseini et al., 2020, P. 2).

حسینی و همکارانش همچنین در مقاله‌ی دیگری به بررسی کمی معیارهای نور روز مبتنی بر آب‌وهوا و راحتی بصری در شیشه‌های رنگی ارسی‌ها پرداخته‌اند. این مطالعه شامل

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل معیارهای مختلف روز مانند روشنایی، درخشندگی، تابش خیره‌کننده و شاخص نمایش رنگ در فضاهایی با شیشه‌های رنگارنگ و پنجره‌های ارسی است. تجزیه تحلیل‌های مربوطه و شبیه‌سازی پارامتریک موجود در این تحقیق توسط نرم‌افزارهای Rhino 7، Grass-hopper و Diva انجام شده است. این تحقیق همچنین تاثیر عوامل خارجی مانند تابش خورشید، دما، رطوبت و سرعت باد را بررسی کرده است (Hosseini et al., 2018, P. 21,32).

و در نهایت، از جمله پژوهش‌هایی که به طراحی شکل هندسی مدرنیزه شده جهت مصرف بهینه انرژی پرداخته‌اند می‌توان به سه مطالعه اخیر اشاره کرد. زینال زاده و همکاران تحت عنوان نقش حرارت و روشنایی در بهینه‌سازی پنجره‌های شمالی و جنوبی اشاره کرد. در این مقاله با مدل‌سازی پارامتریک با استفاده از نرم‌افزار Grasshopper به کمینه‌سازی مصرف انرژی حرارتی و روشنایی پرداخته شده است. طبق نتایج، سطح بهینه پنجره در هر طبقه و وجه ساختمان متفاوت است. در نهایت در این پژوهش نسبت بهینه سطح پنجره به سطح کف و یا توصیه‌هایی از جمله طراحی سایه‌بان برای پنجره‌ها پیشنهاد شده است (زینال زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

رضا فلاح تفتی و همکاران به مطالعه‌ای با هدف بررسی مکانیزم فیزیکی حرکت هوا و همچنین تاثیر هندسه ساختمان در یک اتاق دارای تهویه متقابل که از طریق مطالعه پارامتری ویژگی‌های هندسی پنجره با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی انجام می‌شود، پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که هود پنجره و برجستگی‌های جلوی پنجره، سرعت باد داخل خانه را کاهش می‌دهد، بنابراین تاثیر مهمی در گردش باد و کیفیت هوای داخل ساختمان دارد (Fallahtafti & Mahdavinejad, 2021).

مرتضی حسینی در مقاله‌ای با عنوان تجزیه و تحلیل مورفولوژیکی کلی پنجره‌های ارسی و اصول بال پروانه مورفو برای عملکرد نور ساکن روز از طریق نمای متحرک تعاملی، از یک روش چندرشته‌ای که شامل تحلیل مورفولوژیکی عمومی و استراتژی طراحی متحرک است، استفاده کرده است. وی در این پژوهش به این نتیجه دست یافت که نما مقدار روشنایی مفید روز (UDI)[3] را تا ۵/۶۱ برابر با توجه به حالت پایه افزایش می‌دهد، در حالی که میزان نور روز فراتر از حد مفید (EUDI)[4] در اتاق را به طور متوسط ۹۱/۸ درصد کاهش می‌دهد (Hosseini et al., 2022).

با وجود تحقیقات متعدد در حوزه‌های بهینه‌سازی انرژی در بازشوها و تجزیه و تحلیل شیشه‌های رنگی ارسی‌ها و شکل هندسی بازشوها چه از بعد کیفی و چه از بعد کمی، بداعت این تحقیق همان‌طور که اشاره شد تلاش در یافتن الگوی بهینه هندسیگره‌چینی‌ها بدون لحاظ کردن شیشه‌های رنگی در آنهاست. به‌علاوه این تحقیق بر گره‌چینی‌های موجود در شهر اصفهان صورت گرفته است که به دلیل عدم وجود تحقیقی مشابه در این شهر حائز اهمیت است. همچنین یافتن شاخصه‌های فیزیکی در ارتباط با آسایش حرارتی، خیرگی و نور مفید روز در بازشوهای دارای ارسی موضوعی است که تا به امروز بررسی نشده است که می‌تواند راهنمایی جهت چگونگی طراحی بهینه گره‌چینی‌ها و انتخاب نمونه‌ی بهینه جهت به‌کارگیری در طراحی بازشوهای مدرن ساختمان‌های شهر اصفهان با درنظرگیری سه هدف اصلی ذکر شده باشد.

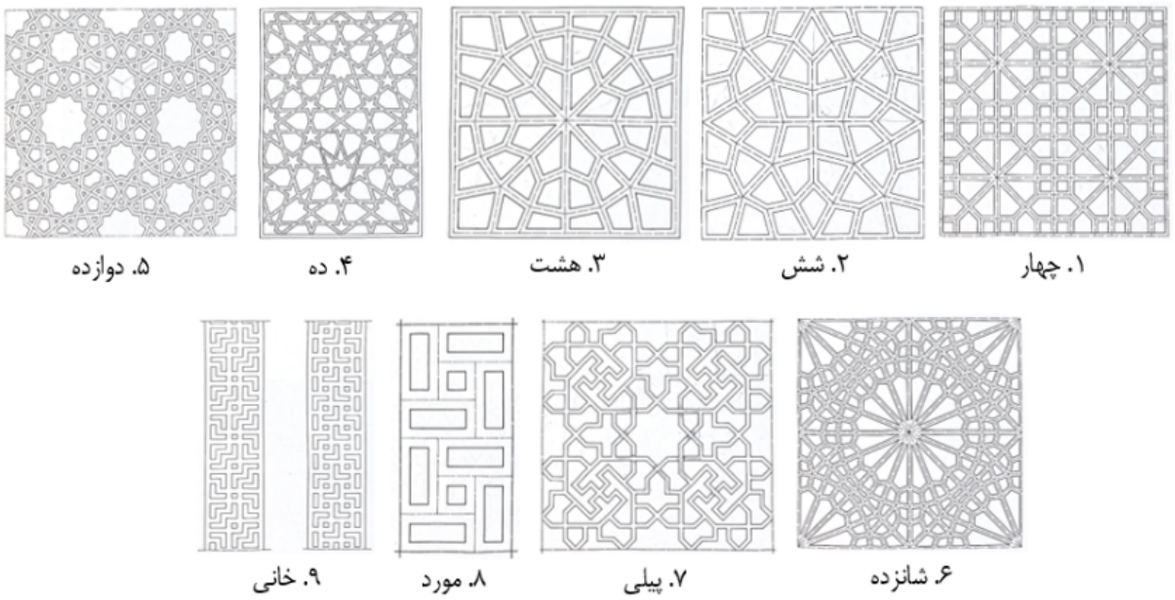
۵. مبانی نظری

۵-۱. گره در معماری

گره‌سازی یکی از نمونه‌های شاخص ترکیب عملکرد و تزیین در معماری اسلامی است که در موضع‌های گوناگون مورد استفاده بوده است (نوریان و کسرائی، ۱۳۹۵). گره‌ها از خطوط مستقیم و شکسته بر اساس یک سیستم منظم و منطقی به وجود می‌آیند که می‌توانند در سطح گسترش یابند. گره‌ها از آلات شناخته شده‌ای؛ مانند شمسه، ترنج، پنج‌ضلعی، پنج پر، شش بند، ترقه، طبل، سرمه‌دان و... تشکیل می‌شوند (مکی نژاد، ۱۳۸۵). گره‌ها یک تزیین معماری ایرانی هستند و بر اساس قاعده معینی که برای هر یک شرح داده شده است (برای قسمتی از گره‌ها) با استفاده از خطوط مستقیم شکل می‌پذیرند و آلت‌های گره را به وجود می‌آورند. گره بر روی کلیه سطوح مستوی و منحنی و با مصالح مختلف از چوب و آج و گچ و کاشی و آجر و سنگ به‌تنهایی یا مخلوط آنها قابل‌اجرا است (شعرباف، ۱۳۶۱).

گره‌ها از بعد اسم کار به ۹ گروه کلی تقسیم می‌شوند: چهار، شش، هشت، ده، دوازده، شانزده، پیلی، مورد و خانی (فرشته نژاد، ۱۳۵۶) (شکل ۲).

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]



شکل ۲. دسته‌بندی گره‌چینی‌ها و تصویر نمونه‌ای از هر گروه (فرشته نژاد، ۱۳۵۶)

Figure 2. Knots classification and a sample image of each group (Fereshteh Nejad, 1977)

۵-۲. آسایش حرارتی

آسایش حرارتی در یک محیط به چگونگی تعادل انسان با محیط حرارتی‌اش و وضعیت رضایت در یک محیط حرارتی بسته است (Bienvenido-Huertas et al., 2020; Schweiker et al., 2019). همچنین طبق تعریف، شرایط آسایش حرارتی، محدوده‌ای است از دما و رطوبت که در آن سازوکار تنظیم حرارت بدن در حداقل فعالیت باشد (Klemm et al., 2015, p. 122).

علاوه بر عوامل محیطی همچون دما و رطوبت، عوامل دیگری همچون عوامل شخصی مانند سازگاری، لباس، موقعیت سلامتی و عوامل دخیل همچون چربی زیرپوستی، فرم بدن، سن و جنسیت فاکتورهایی هستند که بر اتلاف حرارت و در نتیجه آسایش حرارتی تاثیر می‌گذارد. منطقه آسایش به مکانی اطلاق می‌شود که بیشتر افراد در دمای ۲۱ تا ۲۶ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۳۰ تا ۶۰ درصد از نظر فیزیکی راحت هستند. در واقع آسایش حرارتی شرایط است که ساکنین برای تغییر شرایط دمایی هیچ اقدامی انجام ندهند و با تاکید بر شرایط ذهنی احساس رضایت از شرایط دمای محیط را داشته باشند (کی نژاد و همکاران، ۱۴۰۲). حال اگر شرایط هوای داخل این اتاق تغییر یابد؛ یعنی رطوبت آن افزایش و دمای آن کاهش یابد، این افراد به تدریج احساس ناراحتی می‌کنند. این ارقام، تعیین‌کننده شرایط هوایی است که انسان در آن شرایط از نظر فیزیکی راحت است (Zhang et al., 2024). در این پژوهش معیار آسایش حرارتی از نوع تطبیقی[5] بوده است که در آن ساکنین اتاق خود قادر به باز و بسته کردن بازشوهای اتاق و یا تغییر نوع پوشش خود با شرایط آسایشی اتاق هستند. چرا که همان‌طور که اشاره شد شرایط آسایش حرارتی برای هر فرد شرایط متفاوتی است. همچنین لازم به ذکر است که در این پژوهش از هیچ‌گونه سیستم سرمایش یا گرمایش مصنوع استفاده نشده‌است و انتقال حرارت کاملا به طور طبیعی است.

۵-۳. آسایش بصری

از دیگر جنبه‌های مهم تأمین آسایش کاربر در فضای داخلی ساختمان، می‌توان به آسایش بصری اشاره کرد. فراهم کردن شرایط نوری به گونه‌ای که آسایش بصری کاربران تأمین شود و پیام‌های دیداری به‌وضوح از محیط دریافت شوند، متأثر از عوامل مختلفی است که مقدار نور و نحوه توزیع آن، انعکاس‌های آزاردهنده، درجه خیرگی و دمای رنگ نور از جمله آنهاست (Garretón et al., 2016). همان گونه که مقادیر پایین نور موجب به وجودآمدن تیرگی و خستگی است، روشنایی بیش از حد، کنتراست بالا یا انعکاس‌های

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

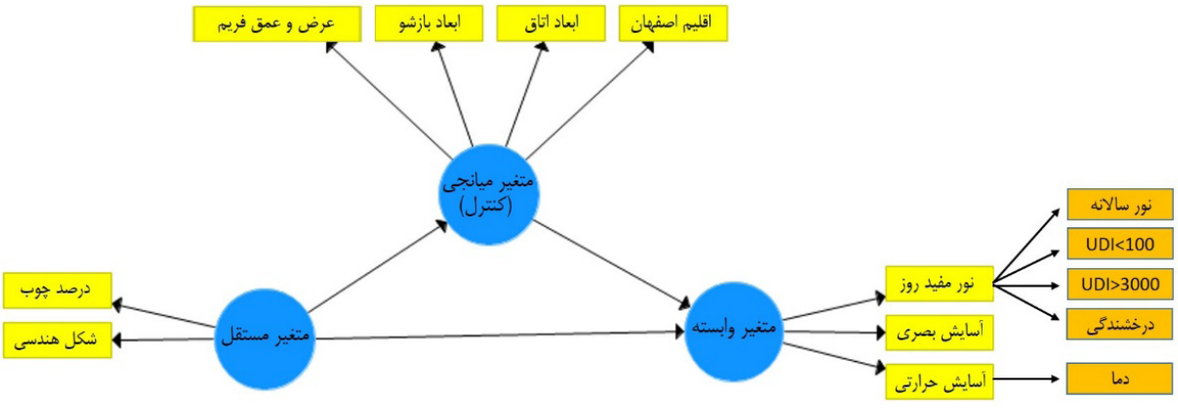
شدید عملکرد ساکنان را کاهش می‌دهد (Saadatjoo et al., 2019). همانند سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، در پژوهش حاضر از نور مصنوع نیز استفاده نشده‌است و و هدف تنها مقایسه میزان بهینگی نور و حرارت طبیعی انتقال یافته توسط الگوهای گره‌چینی مختلف به‌کاررفته در بازشوی اتاق شبیه‌سازی بوده است.

۵-٤. روشنایی مفید روز

روشنایی یا نور مفید روز (UDI) که به درصد گزارش می‌شود، معیاری است که نسبت ساعات سالانه‌ای را که نور روز در محدوده مفید قرار دارد، نشان می‌دهد و یا به‌نوعی درصد زمان مفید بودن روشنایی را نمایش می‌دهد. محدوده روشنایی مفید بین ۱۰۰ لوکس تا ۳۰۰۰ لوکس[۶] است که این شرایط اغلب مطلوب تلقی می‌شود؛ روشنایی زیر ۱۰۰ لوکس[۷] بیش از حد تاریک به نظر می‌رسد و روشنایی بالای ۳۰۰۰ لوکس[۸] نیز بسیار روشن است؛ بنابراین، این شاخص در محدوده ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس تعیین شده است (Aksin & Arslan selcuk, 2021, p. 417).

۵-۵. خیرگی

اگر میزان نور و شدت روشنایی بیش از حد باشد، می‌تواند خیره‌کننده باشد و بر راحتی بصری ساکنین تاثیر بگذارد (Liu et al., 2021). خیرگی یکی از عوامل آزاردهنده در روشنایی است، که باعث محدود شدن حوزه‌ی دید، ایجاد خستگی در چشم و ذهن افراد می‌شود (اسلامی، ۱۳۹۷). خیرگی زمانی اتفاق میافتد که چشم‌ها با روشنایی مشخصی سازگار شده باشند، سپس نور آزاردهنده، منحرف و گاهی اوقات خیره کننده در داخل میدان بصری ظاهر گردد. خیرگی پدیده پیچیده‌ای است و رویکردهای متفاوتی در ارزیابی آن برای محاسبه قابلیت‌های ایجاد ناراحتی به کار گرفته شده‌اند (پور احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). خیرگی که توسط شاخص‌های مختلف ارزیابی می‌شود، در حالت کلی به دو نوع مختلف خیرگی مستقیم که از منابع روشنایی با درخشندگی بالاست و خیرگی غیرمستقیم که از انعکاس نور این منابع به وجود می‌آید، تقسیم می‌شود. در پژوهش حاضر خیرگی بر اساس شاخص احتمال خیرگی نور روز (DGP)[۹] سنجیده شده است. این متغیر که به‌صورت سالانه توسط HB Imageless Annual Glare موجود در افزونه Honeybee مورد بررسی قرارگرفته شده است، همانند دو متغیر اصلی نور مفید روز و آسایش حرارتی به درصد گزارش می‌شود. هر چه این میزان درصد بیشتر باشد، خیرگی کمتر و در نتیجه آسایش بصری افزایش می‌یابد. به همین دلیل در پژوهش حاضر نیز، از متغیر خیرگی با عنوان آسایش بصری یاد شده است. چرا که کاهش میزان خیرگی از مهم‌ترین عوامل موثر بر افزایش میزان آسایش بصری است.



شکل ۳. مدل مفهومی پژوهش

Figure 3. Conceptual model of search

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

٦. مدل مورد پژوهش و شرایط شبیه‌سازی

این پژوهش با بررسی ۶۰ نمونه گره‌چینی موجود در کتب و مدل‌سازی و شبیه‌سازی ۱۸ نمونه‌ها انجام شده است. معیار انتخاب این نمونه‌ها نوع گره‌ها بوده است، به‌طوری که از هر گروه گره ۲ نمونه گره‌چینی به‌صورت تصادفی انتخاب شده است. از آنجایی که تمامی الگوهای گره‌چینی منتخب، از بناهایی همچون چهلستون، خانه صفوی اصفهان، مسجد جامع نائین و مسجد جامع اصفهان با اهمیت تاریخی و کاربردی بالا برگزیده شده‌اند، بنابراین جهت مقایسه بهتر انواع گره‌چینی‌ها، هدف یافتن الگوهای متنوع از بعد تقسیم‌بندی گروه گره‌ها بوده است. بدین منظور ابتدا با مدل‌سازی گره‌های منتخب با استفاده از نرم‌افزار اتوکد و با توجه بر اصول ترسیم هر یک از گره‌ها، آغاز گردید. در مرحله‌ی بعد با استفاده از نرم‌افزار Rhino 7 و پلاگین‌های Ladybug و Honeybee ورژن ۱.۶.۰ موجود در Grasshopper آن به شبیه‌سازی تمامی ۱۸ نمونه پرداخته شده است. شبیه‌سازی‌ها بر سه متغیر نور مفید روز UDI=100-3000) (Aksin & Arslan selcuk, 2021, p. 417)، آسایش بصری و آسایش حرارتی که هر سه از اهداف اصلی این پژوهش بوده‌اند، انجام شده است. همچنین علاوه بر سه متغیر اصلی، سایر پارامترهای انرژی همچون درخشندگی، میزان نور سالانه، میزان نور روز با لوکس بالا (UDI>3000) (Hosseini et al., 2022)، میزان نور روز با لوکس پایین (UDI<100) و دما نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا بتوان درک بهتری از چگونگی ارتباط این متغیرها با هم داشت.

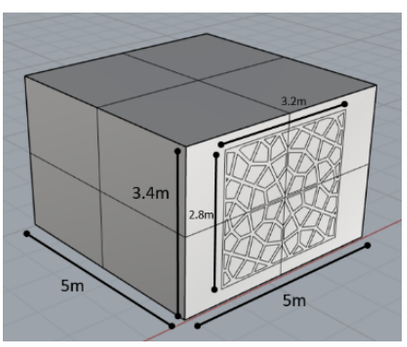
این شبیه‌سازی که در اتاقی به ابعاد ۵ × ۵ و با ارتفاع ۳.۴ متر انجام شده است (شکل ۴) که به‌عنوان ابعاد یک اتاق استاندارد برای شبیه‌سازی مناسب است. همچنین با وجود این که طبق استانداردهای ایران ابعاد استاندارد یک بازشو در یک اتاق که تنها یک جبهه آن بازشو دارد، برابر یک‌هفتم مساحت اتاق است (مقررات ملی ساختمان ایران مبحث ۴، ۱۳۹۶). با این حال باید گفت این ابعاد با توجه به بهترین حالت آسایش بصری و آسایش حرارتی برای ساکنین در نظر گرفته شده است. همچنین از آنجایی که پس از شبیه‌سازی با ابعاد پنجره‌ی استاندارد نتایج معناداری حاصل نشد، می‌توان گفت جهت دست‌یابی به نتایج ملموس‌تر و تطابق نتایج با هدف امکان به‌کارگیری گره‌چینی در بازشوهای امروزی، استفاده از پنجره‌ی سرتاسری و بزرگ‌تر از حالت استاندارد گزینه‌ی مناسب‌تری در شبیه‌سازی این پژوهش است. با توجه به تناسبات اتاق، بازشویی با ابعاد موجود ۲/۸ × ۳/۲ در مرکز ضلع جنوبی اتاق قرار داده شده است (شکل ۴). طبق ضوابط نما در مصوبات شهرداری شهر اصفهان، در طراحی نمای بناها، استفاده از ۲۵ درصد شیشه حداکثر مجاز است که در این پژوهش نیز این میزان درصد رعایت شده است. لازم به ذکر است که ضریب شکست شیشه (IOR) [10] با مقدار ۱/۵۲ در این پژوهش ثابت در نظر گرفته شده است. همچنین جهت یافتن نسبت سطح پنجره به دیوار (WWR) [11] ارسی‌ها در بناهای سنتی اصفهان، ۵ نمونه از بناهای تاریخی اصفهان مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج نشان داد که تقریباً تا ۵۷ درصد این مقدار، برای کل ابعاد ارسی‌ها مجاز است. طبق مطالعات انجام‌شده در شبیه‌سازی‌های انجام شده پژوهش حاضر، پنجره‌ای با ابعاد ۵۲ درصد سطح دیوار، در نظر گرفته شده است.

طبق بررسی‌ها و برداشت‌های انجام شده، ضخامت استاندارد قاب فریم گره‌چینی‌ها، ۰.۸ الی ۱.۵ سانتی‌متر است که به دلیل طولانی بودن زمان شبیه‌سازی، ضخامت و عمق فریم‌ها به‌صورت پیش‌فرض، ۵ سانتی‌متر درنظر گرفته شد (شکل ۵). البته لازم به ذکر است که شبیه‌سازی‌های مورد نظر روی تمام آلترناتیوها، به گونه‌ای تنظیم شده است که علاوه بر بزرگ شدن مقیاس پنجره، با افزایش مقیاس گره‌چینی‌ها، تناسبات هندسی گره‌ها تغییری نکند که در این صورت، ضخامت و عمق قاب‌ها یک متغیر ثابت تلقی می‌شود؛ بنابراین در هنگام بررسی آلترناتیوها نسبت سطح چوب به شیشه می‌تواند متغیری مهم و قابل‌استناد جهت مقایسه باشد.

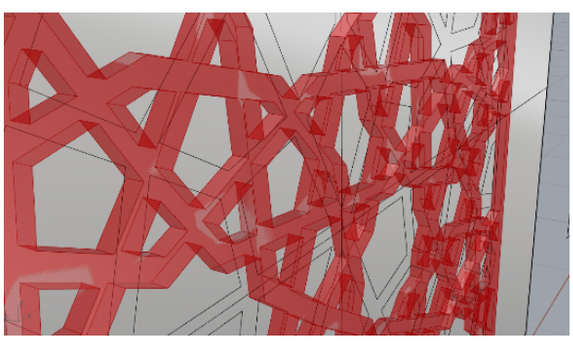
از آنجایی که هر یک از گره‌چینی‌ها، هم جهت به‌کارگیری در بناهای معاصر و هم جهت قابل‌استنادتر بودن نتایج مقایسه، در مقیاس و اندازه‌ی بزرگ‌تر از حالت سنتی خود مورد استفاده قرار گرفته‌اند، طبیعتاً جهت افزایش استحکام و افزایش قدرت نگهداری شیشه توسط فریم‌ها ضخامت فریم‌ها نیز باید به همان اندازه افزایش یابد. البته لازم به ذکر است که در صورت استفاده مقیاس ۱:۱ از این گره‌چینی‌ها در طراحی‌های واقعی، ارقام و درصدهای گزارش‌شده در بخش یافته‌های این

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

پژوهش با ارقام و درصدهای مقیاس واقعی تفاوت خواهد داشت و نتایج تنها در حالت مقایسه میزان بهینگی چند نمونه نخواهد کرد. از آنجایی که این پژوهش، جنبه‌ی مقایسه‌ای بین نمونه‌های موردی را دارد و تغییر مقیاس نمونه‌ها، تاثیری در نتایج مقایسه نخواهد داشت. به طور خلاصه می‌توان گفت، متغیرهای اقلیم اصفهان، ابعاد اتاق، ابعاد بازشو و عرض و عمق فریم در این پژوهش ثابت در نظرگرفته شده‌اند و متغیرهای میانجی یا کنترل هستند. این درحالی است که نور مفید روز، آسایش بصری، آسایش حرارتی متغیرهای وابسته، و درصد تراکم چوب و شکل هندسی الگوی گره‌چینی‌ها متغیرهای مستقل هستند.



شکل ٤. ابعاد بازشو و اتاق شبیه‌سازی
Figure 4. Window and room dimensions of the simulation



شکل ۵. نمونه‌ای از فریم گره‌چینی با عرض و عمق ۵ سانتی‌متر
Figure 5. An example of a knotted frame with a width and depth of 5 cm

با توجه به اینکه بسته به نوع و نحوه‌ی اجرای هر یک از گره‌چینی‌ها، درصد تراکم فریم چوبی در نمونه‌ها بازه‌ای بین ۳۰ الی ۷۰ درصد است، در نتیجه می‌توان گفت بزرگ بودن و سرتاسری بودن پنجره با وجود تراکم زیاد فریم، می‌تواند جبرانی برای تأمین استاندارد ابعاد بازشوها باشد. چه‌بسا به همین دلیل هم بوده است که در معماری سنتی گره‌چینی‌ها در بازشوهای سرتاسری و ارسی‌ها مورد استفاده بوده‌اند. چرا که استفاده از گره‌چینی‌ها در بازشوهایی با ابعاد کوچک‌تر سبب عدم وجود فضای کافی برای عبور نور و تأمین آسایش بصری و آسایش حرارتی بوده است.

در پژوهش حاضر از هیچ نوع سیستم حرارتی استفاده نشده است. همچنین به جز دیوار خارجی که بازشو در آن تعبیه شده است، زون حرارتی سایر دیوارها و سقف اتاق از نوع آدیاباتیک [۱۲] درنظر گرفته شده است. یعنی این دیوارها و سقف مشرف به همسایگی بوده و هدررفت انرژی در آنها بسیار ناچیز است که بر نتایج شبیه‌سازی تاثیر نخواهد گذاشت. برنامه‌ی زمان‌بندی پژوهش نیز به گونه‌ای تنظیم شده است که نتایج شبیه‌سازی‌ها به‌صورت سالانه ارائه شود و مختص به ساعت و یا ماه خاصی از سال نباشد. جداول ۱ و ۲، نشان دهنده متریال‌های دیوار خارجی، فریم چوبی، شیشه دوجداره و مشخصات آنها است.

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

جدول ۱. لایه‌های مختلف دیوار خارجی عایق‌کاری‌شده و مشخصات آنها

Table 1. Different Layers of the Insulated Exterior Wall and Their Specifications

عدد لایه	لایه‌های دیوار	ضخامت دیوار (m)	رسانایی (W/m-k)	تراکم (Kg/m3)	گرمای ویژه (J/m3)
1	آجر دیوار خارجی	0.04	1.33	1700	840
2	ملات ماسه سیمان	0.075	0.3	500	836
3	بلوک بتنی	0.4	0.51	1700	840
4	عایق حرارتی	0.0508	0.38	40	1000
5	ملات ماسه سیمان	0.075	0.3	500	836
6	ملات گچ و سیمان	0.02	1.10	1300	200
7	گچ دیوار داخلی	0.05	0.4	900	200

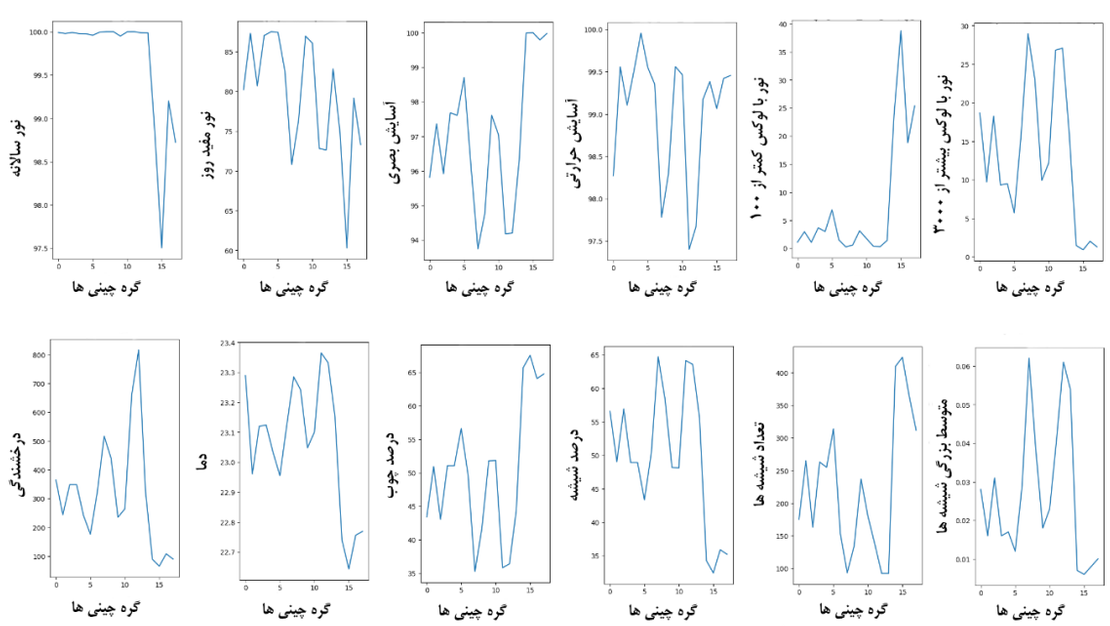
جدول ۲. مشخصات متریال فریم چوبی و شیشه‌ی دوجداره

Table 2. Specifications of Wooden Frame Material and Double-Glazed Glass

فریم چوبی پنجره	شاخص بازتاب خورشیدی 0.4	شاخص بازتاب قابل‌مشاهده 0.4
شیشه دوجداره	ضریب اتلاف حرارت (W/m2-K) 0.29	ضریب افزایش حرارت خورشیدی 0.45

۷. یافته‌ها

پس از دست‌یابی به داده‌های شبیه‌سازی که در مرحله‌ی قبل به طور کامل توضیح داده شد، تجزیه و تحلیل داده‌ها، یافتن ارتباط میان آنها و تشخیص عوامل در ارتباط با میزان بهینگی گره‌چینی‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MATLAB 2019 و IBM SPSS Statistics 27 انجام شد. خروجی‌های عددی حاصل از این بررسی‌ها و ضرایب همبستگی میان داده‌های عددی در جدول ۳ و نمودارهای شکل‌های ۷ الی ۱۸ نمایش داده شده است.



شکل ٦. رفتار هر یک از پارامترها در ۱۸ نمونه‌ی گره‌چینی

Figure 6. Behavior of Each Parameter in 18 Girih tile patterns

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

شکل ۶ که خود متشکل از ۱۲ نمودار مجزا است، رفتار هر یک از متغیرها را نشان می‌دهد. این نمودارها که با استفاده از نرم‌افزار MATLAB تهیه شده‌اند نشان دهنده روند تغییر هر یک از متغیرها در بازه‌ی خود در ۱۸ نمونه گره‌چینی مورد بررسی است. با استفاده از این نمودارها می‌توان دریافت که تغییر الگوهای هندسی گره‌چینی‌ها با نسبت چوب به شیشه و تعداد قطعات شیشه و متوسط ابعاد شیشه‌ها مرتبط است. همچنین الگوی هندسی با متغیرهای وابسته‌ی این پژوهش نیز ارتباط دارد. از آنجایی که این الگوهای هندسی برای هر گره‌چینی منحصربه‌فرد است، بنابراین برای مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی‌های الگوهای مختلف و یافتن نحوه‌ی ارتباط الگوی هندسی با متغیرهای وابسته پژوهش لازم است همانند روش حاضر تمامی الگوها تک‌به‌تک و جداگانه شبیه‌سازی شوند.

با بررسی محورهای عمودی نمودارهای شکل ۶ می‌توان دریافت که نتایج برخی از متغیرها همچون آسایش حرارتی، دما و نور سالانه تغییرات کمتری نسبت به متغیرهایی نور مفید روز و یا درخشندگی داشته است. پس از بررسی رفتار جداگانه هر یک از متغیرها، حال می‌توان میزان ارتباط و همبستگی متغیرها با هم، به‌خصوص همبستگی پارامترهای انرژی و روشنایی را با درصد تراکم چوب و شیشه، تعداد و بزرگی شیشه‌ها بسنجیم.

در ادامه ارتباط همبستگی میان خروجی‌های عددی با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید. جدول ۳ میزان ضریب همبستگی و ارتباط هر یک از متغیرها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. در این جدول ضریب‌های مثبت نشان دهنده ارتباط مستقیم و ضریب منفی نشانگر همبستگی معکوس خواهد بود. هر چه مقدار عددی این ضرایب بزرگ‌تر باشد نشان دهنده شدت بیشتر ارتباط متغیرها با هم است.

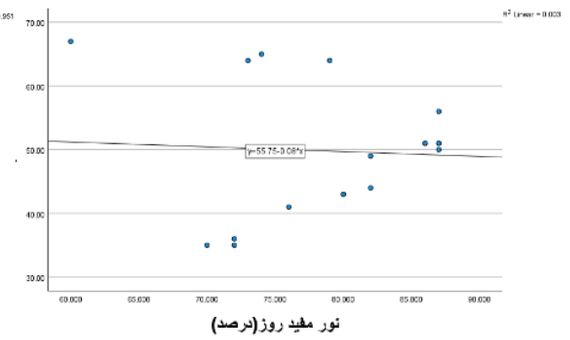
جدول ۳. جدول ضرایب همبستگی پیرسون

Table 3. Pearson correlation coefficients

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	درصد چوب												
2	درصد شیشه	-1.000											
3	تعداد شیشه	0.932	-0.932										
4	متوسط بزرگی تکه شیشه‌ها	-0.880	0.880	-0.902									
5	میزان نور مفید	-0.071	0.071	-0.129	-0.179								
6	آسایش بصری	0.984	-0.984	0.933	-0.891	0.024							
7	آسایش حرارتی	0.709	-0.709	0.585	-0.742	0.565	0.756						
8	درخشندگی	-0.905	0.905	-0.815	0.852	-0.132	-0.908	-0.817					
9	دما	-0.968	0.968	-0.922	0.814	0.163	-0.953	-0.669	0.889				
10	میزان نور سالانه	-0.756	0.756	-0.751	0.526	0.681	-0.695	-0.183	0.579	0.801			
11	UDI>3000	-0.973	0.973	-0.914	0.908	-0.114	-0.993	-0.816	0.924	0.936	0.639		
12	UDI<100	0.847	-0.847	0.837	-0.626	-0.578	0.800	0.291	-0.670	-0.878	-0.982	-0.745	

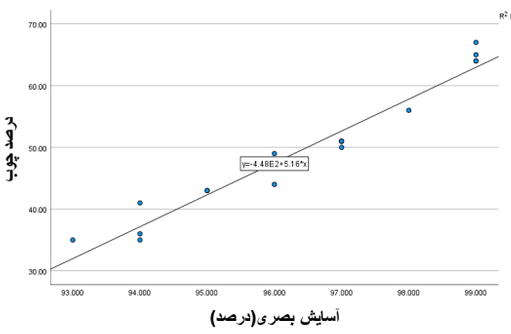
نمودارهای شکل‌های ۷ الی ۹ ارتباط و همبستگی درصد چوب موجود در گره‌چینی‌ها با متغیرهای اصلی انرژی و روشنایی که اهداف این پژوهش هستند را نشان می‌دهند.

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]



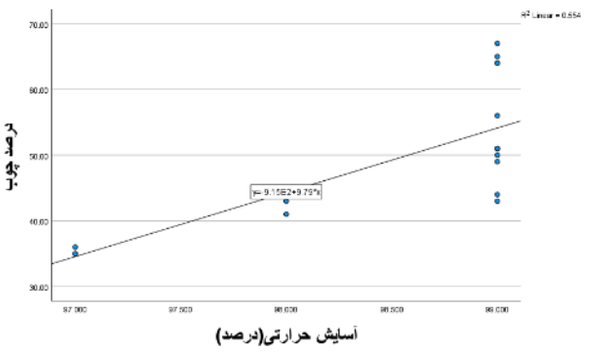
شکل ۷. نمودار همبستگی درصد چوب با میزان نور مفید روز

Figure 7. Correlation Chart of Wood Percentage with Useful Daylight Illuminance



شکل ۸. نمودار همبستگی درصد چوب با آسایش بصری

Figure 8. Correlation Chart of Wood Percentage with Visual Comfort



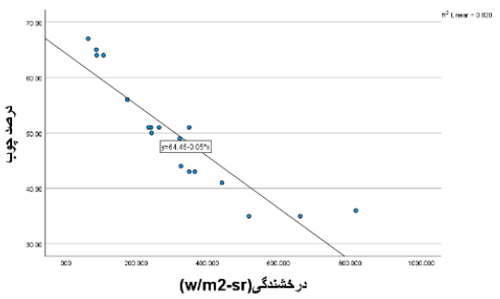
شکل ۹. نمودار همبستگی درصد چوب با آسایش حرارتی

Figure 9. Correlation Chart of Wood Percentage with Thermal Comfort

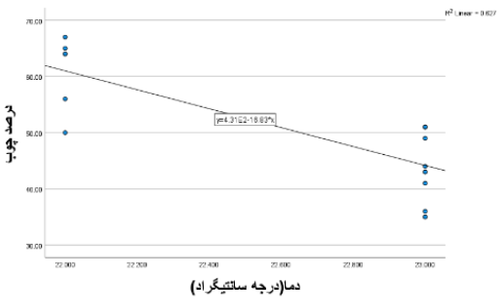
نمودار شکل ۷، نشان‌دهنده ضریب همبستگی درصد چوب مصرفی با میزان نور مفید ۰/۰۷۱- است، طبق این نمودار، با افزایش مساحت فریم چوبی، میزان نور مفید کاهش می‌یابد. البته این ارتباط به علت نزدیک بودن ضریب پیرسون به عدد صفر چندان هم معنادار نیست. با توجه به نمودار شکل ۸ نیز می‌توان دریافت که بین آسایش بصری و درصد فریم چوبی به کار رفته در گره‌چینی‌ها با ضریب همبستگی ۰/۹۸۴ همبستگی مستقیم برقرار است. این عدد که بسیار نزدیک به ضریب ۱ است نشان‌دهنده‌ی شدت مستقیم بودن ارتباط این دو متغیر است. همچنین طبق نمودار شکل ۹، همبستگی بین آسایش حرارتی و درصد فریم چوبی به کار رفته در گره‌چینی‌ها با ضریب همبستگی ۰/۷۰۹ مستقیم است؛ بنابراین با افزایش مساحت و در نتیجه درصد فریم چوبی به کار رفته شده در گره‌ها میزان آسایش حرارتی نیز مانند آسایش بصری افزایش می‌یابد.

همبستگی سایر متغیرهای انرژی و روشنایی با درصد چوب در این پژوهش نیز در قالب نمودارهای شکل‌های ۱۰ تا ۱۴ قابل‌مشاهده است.

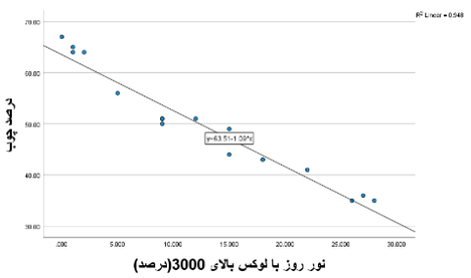
[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]



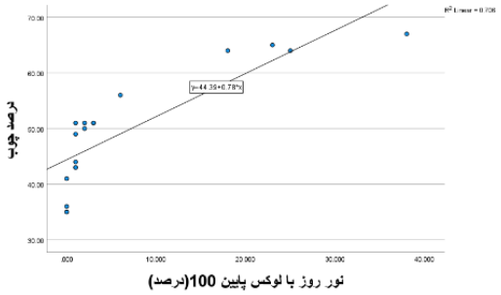
شکل ۱۰. نمودار همبستگی درصد چوب با میزان درخشندگی
Figure 10. Correlation Chart of Wood Percentage with Radiance



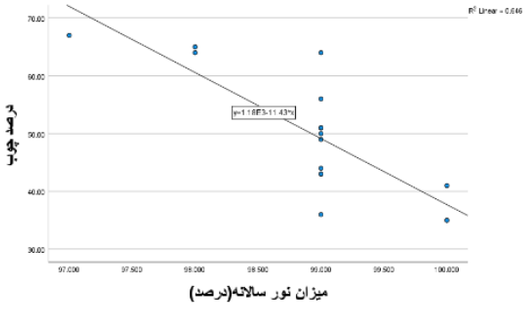
شکل ۱۱. نمودار همبستگی درصد چوب با دما
Figure 11. Correlation Chart of Wood Percentage with Operative Temperature



شکل ۱۲. نمودار همبستگی درصد چوب با میزان نور روز با لوکس بالا
Figure 12. Correlation Chart of Wood Percentage with UDI>3000



شکل ۱۳. نمودار همبستگی درصد چوب با میزان نور روز با لوکس پایین
Figure 13. Correlation Chart of Wood Percentage with UDI<100



شکل ۱۴. نمودار همبستگی درصد چوب با میزان نور سالانه
Figure 14. Correlation Chart of Wood Percentage with Annual daylighting

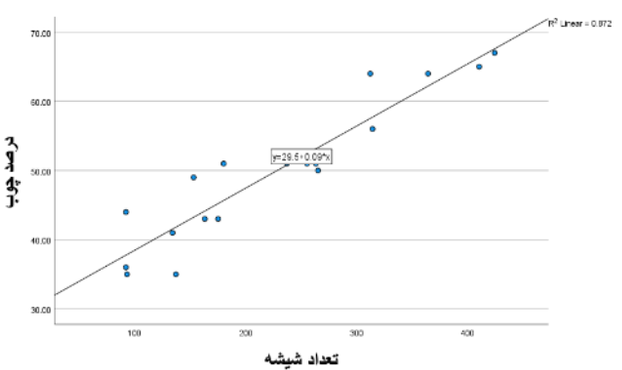
[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

با توجه به نمودارهای شکل‌های ۱۰ و ۱۱ و سیر نزولی آنها می‌توان دریافت درخشندگی و دما با درصد چوب همبستگی معکوس دارند. این همبستگی به ترتیب با ضریب‌های ۰/۹۰۵- و ۰/۹۶۸- بسیار معنادار هستند.

طبق نمودارهای شکل‌های ۱۲ و ۱۴ همانند نور مفید روز، میزان نور سالانه و نور روز با لوکس بالا با مساحت فریم چوبی به کار رفته رابطه‌ی عکس دارند. همچنین طبق نمودار شکل ۱۳ میزان نور روز با لوکس پایین با مساحت و درصد فریم چوبی دارای رابطه‌ی مستقیم است.

حال با توجه به این بررسی‌ها و جدول پیرسون شماره ۳ می‌توان رابطه‌ی بین پارامترهای انرژی و روشنایی با هم را نیز دریافت. به طور کلی میزان آسایش بصری و آسایش حرارتی در نتایج شبیه‌سازی ۱۸ نمونه موردی همبستگی مستقیم دارند. در حالی که هر دو پارامتر ذکر شده با دما و درخشندگی دارای همبستگی معکوس هستند. همچنین می‌توان گفت میزان نور مفید روز با درصد چوب دارای ارتباط معناداری نیست.

همچنین طبق ضرایب همبستگی موجود در جدول پیرسون شماره ۱، هر چه درصد فریم چوبی به کار رفته در گره‌چینی‌ها افزایش می‌یابد به‌وضوح درصد شیشه به کار رفته کاهش می‌یابد. این در حالی است که تعداد تکه شیشه‌های به کار رفته افزایش یافته و در نتیجه تکه‌های شیشه‌ها نیز کوچک‌تر می‌شوند (شکل ۱۵).

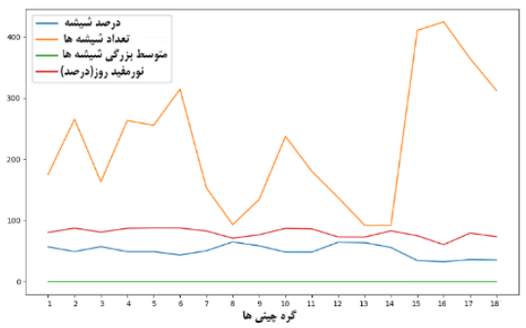


شکل ۱۵. نمودار همبستگی درصد چوب با تعداد شیشه

Figure 15. Correlation Chart of Wood Percentage with Glass Number

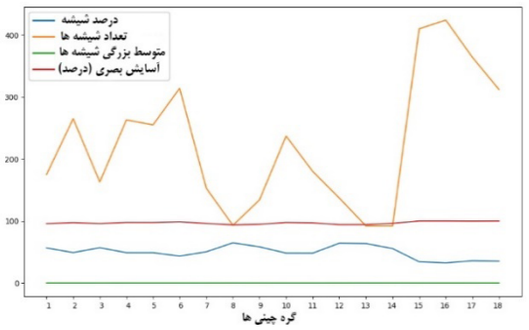
در ادامه به با استفاده از نرم‌افزار MATLAB تحلیل دقیق‌تر رابطه‌ی بین درصد شیشه‌ی به کار رفته، تعداد شیشه‌ها و متوسط بزرگی شیشه‌ها با پارامترهای نور مفید روز، آسایش بصری و آسایش حرارتی ارائه می‌شود.

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]



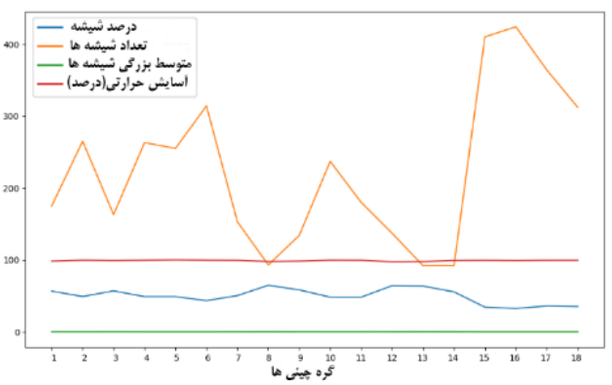
شکل ۱۶. نمودار ارتباط درصد شیشه، تعداد شیشه و میانگین بزرگی تکه شیشه‌ها با میزان نور مفید روز

Figure 16. Relationship between Glass Properties and Useful Daylight Illuminance Chart



شکل ۱۷. نمودار ارتباط درصد شیشه، تعداد شیشه و میانگین بزرگی تکه شیشه‌ها با آسایش بصری

Figure 17. Relationship between Glass Properties and Visual Comfort Chart



شکل ۱۸. نمودار ارتباط درصد شیشه، تعداد شیشه و میانگین بزرگی تکه شیشه‌ها با آسایش حرارتی

Figure 18. Relationship between Glass Properties and Thermal Comfort Chart

در نمودار شکل ۱۶ می‌توان به‌وضوح تغییر ارتباط میزان نور مفید روز با درصد شیشه و تعداد شیشه را در گره‌های مختلف دید. به‌طوری که با مشاهده خطوط میزان نور مفید و تعداد شیشه‌ها می‌توان دریافت که تغییرات این دو متغیر گاهی همسو و گاهی ناهمسو بوده است. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، این دو متغیر با ضریب پیرسون ۰/۰۷۱- ارتباط معناداری با یکدیگر ندارند. در نمودار شکل ۱۷ می‌توان رفتار عکس آسایش بصری و درصد شیشه را مشاهده کرد. البته به علت نزدیک بودن اعداد میزان آسایش بصری در ۱۸ نمونه گره‌چینی این تغییرات در نمودار شکل ۱۷ به‌صورت نامحسوس قابل‌مشاهده است. همچنین با مشاهده‌ی خط مربوط به تعداد شیشه‌ها که خود با درصد شیشه رابطه‌ی عکس دارد، رفتار مستقیم و هم‌سویی با میزان آسایش بصری از خود نشان می‌دهد به‌طوری که روند صعودی و نزولی هر دوی این متغیرها با هم مشابه است.

مقدار تغییرات میانگین بزرگی تکه شیشه‌ها به دلیل نزدیک بودن مقادیر عددی آن نسبت به سه متغیر دیگر در نمودار فوق قابل‌مشاهده نیست. از آنجایی که عملکرد آسایش حرارتی موجود در نمودار شکل ۱۸ با آسایش بصری هم‌سو است، بنابراین نمودار شکل ۱۸ تحلیلی مشابه نمودار شکل ۱۷ دارد.

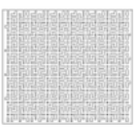
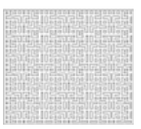
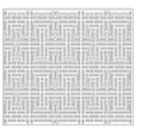
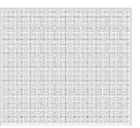
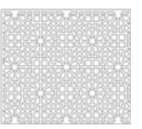
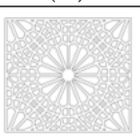
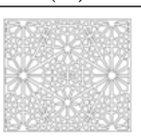
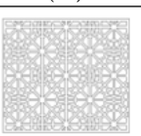
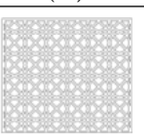
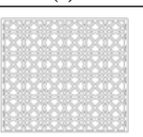
طبق بررسی‌های انجام شده می‌توان اذعان نمود که رسیدن به حالت بهینه مستلزم انتخاب گره‌هایی است که دارای قاب چوبی بیشتر با درصد شیشه‌ی کمتر و تعداد شیشه‌های بیشتر با متوسط بزرگی کمتر باشند. در ادامه، بر مبنای نتایج عددی حاصل از مراحل پیشین، انواع گره‌چینی‌ها بر اساس تناسب آن‌ها برای کاربری‌ها و جهات مختلف تفکیک شدند. جدول ۴، نشان دهنده این است که برخی از گره‌چینی‌ها با آسایش بصری بالاتر از ۹۷ درصد، برای استفاده در جبهه‌ی شرقی و غربی که نور با خیرگی بیشتری همراه است، مناسب‌تر هستند.

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

همچنین علی‌رغم اینکه تمامی گره‌چینی‌ها دارای درصد نور مفید روز بالایی هستند، جدول ۵، کاربرد مناسب گره‌ها در هر فضا با کاربری مشخص بر اساس میزان لوکس دریافتی توسط هر الگو را به طور دقیق مشخص کرده است.

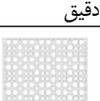
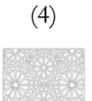
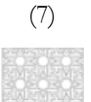
جدول ٤. گره‌های مناسب‌تر جهت استفاده در جبهه‌ی غربی و شرقی جهت تعدیل خیرگی موجود در این جبهه‌ها

Table 4. More suitable Girih tile patterns for western and eastern use to adjust the glare on these fronts

 (18)	 (17)	 (16)	 (15)	 (6)	اولویت اول آسایش بصری بالای ۹۷%
 (11)	 (10)	 (5)	 (4)	 (2)	اولویت اول آسایش بصری بالای ۹۸%

جدول ۵. عملکرد مشابه گره‌چینی‌ها از بعد نور جهت استفاده در کاربری‌های متفاوت

Table 5. Similar performance of Girih tile patterns in terms of light for different uses

UDI<100 فضاهای سیرکولاسیون مثل راهرو ها	UDI فضاهای کار دقیق/ نیمه دقیق	UDI>3000 فضاهای بسیار دقیق
(6)	 (1)	(8)
(15)	(2)	(9)
(16)	(3)	(12)
(17)	(4)	(13)
(18)	(5)	
	(7)	
	 (10)	
	(11)	
	 (14)	

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

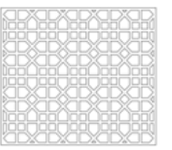
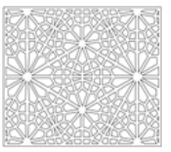
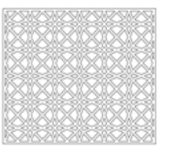
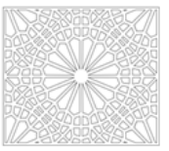
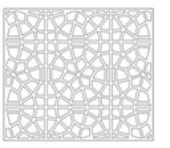
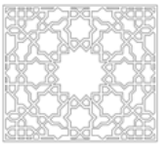
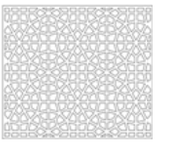
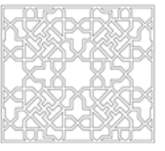
۸. انتخاب نمونه‌های برتر

به‌منظور انتخاب نمونه‌های برتر در مرحله‌ی دوم پژوهش، میانگین و انحراف معیار مقادیر عددی از سه متغیر نور مفید روز، آسایش بصری و آسایش حرارتی که مستخرج از نتایج شبیه‌سازی در مرحله‌ی اول بوده‌اند، محاسبه گردید. جدول ۶ نشانگر مقادیر میانگین و انحراف معیار هر ۱۸ نمونه‌ی موردی گره‌چینی با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 27 می‌باشد. از آنجایی که نتایج هر سه متغیر بر حسب درصد گزارش شده است، بنابراین در این مرحله نیازی به عملیات استانداردسازی مقیاس داده‌ها نبوده است. همچنین هر سه متغیر هدف هم وزن و دارای ارزش یکسان در نظر گرفته شده‌اند، بنابراین عملیات تعیین میانگین و انحراف معیار به‌صورت مستقیم و بدون لحاظ کردن وزن و ضریب بر هیچ متغیری انجام شده است.

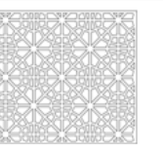
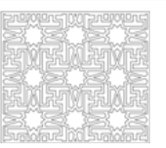
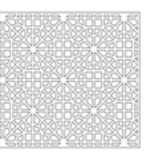
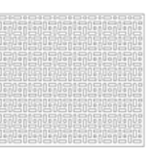
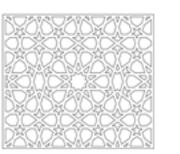
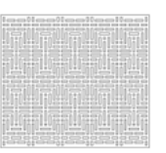
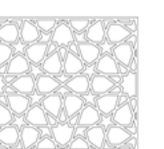
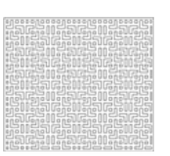
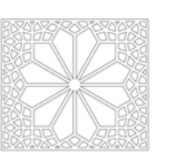
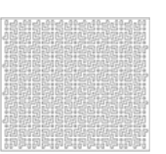
با استفاده از این جدول می‌توان تشخیص داد که هر چه میزان میانگین سه پارامتر نور مفید روز، آسایش بصری و آسایش حرارتی بیشتر باشد، آن نمونه‌ی موردی حالت بهینه‌تری را داراست؛ چرا که هدف از شبیه‌سازی این پژوهش یافتن نمونه گره‌هایی است که آسایش بصری، نور مفید روز و آسایش حرارتی بیشتری را دارا باشند. این در حالی است که هر چه انحراف معیار گره‌چینی‌های منتخب کم‌تر باشد آن گره‌چینی عملکرد بهینه‌تری از لحاظ پارامترهای مورد بررسی (نور مفید روز، آسایش بصری و آسایش حرارتی) را داراست. چرا که در این صورت هر یک از پارامترهای مذکور به یک اندازه افزایش یافته و مقادیر عددی نزدیک به هم دارند.

با استفاده از جدول پیش رو (جدول ۶) می‌توان دریافت گره‌های ۱۱،۱۰،۶،۵،۴،۲ با میانگین بالای ۹۴ درصد دارای بیشترین میزان بهینگی از بعد نور و انرژی هستند. همچنین این ۶ مورد گره‌چینی مقدار انحراف معیار کمتری را در مقایسه با سایر گره‌چینی‌ها دارند. همچنین جدول ۷ نشان‌دهنده‌ی مشخصات ۶ گره‌چینی منتخب از بعد بهینگی بین ۱۸ نمونه موردی بررسی شده است.

جدول ٦. مقادیر میانگین و انحراف معیار سه پارامتر انرژی (نور مفید روز، آسایش بصری و آسایش حرارتی)
Table 6. The mean and standard deviation values of the three energy parameters

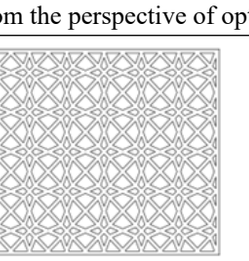
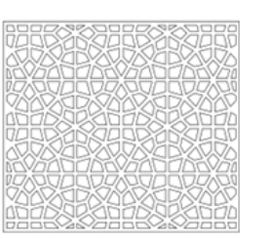
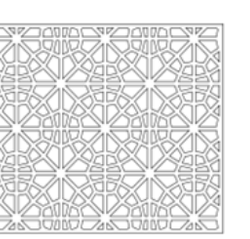
	گره	میانگین	انحراف معیار		گره	میانگین	انحراف معیار
1		91.43367	9.792152	10		94.70867	6.785216
2		94.74067	6.529254	11		94.19067	7.137484
3		91.90367	9.842124	12		88.12933	13.366105
4		94.74267	6.739240	13		88.16400	13.571257

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

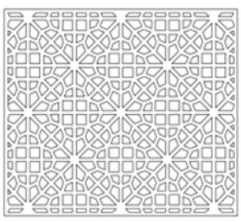
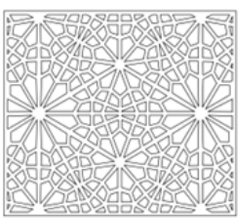
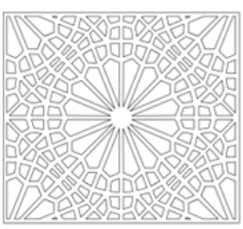
	گره	میانگین	انحراف معیار		گره	میانگین	انحراف معیار
5		95.02400	6.613132	14		92.77700	8.724505
6		95.22567	6.764641	15		91.39600	14.056714
7		92.68967	8.894544	16		86.45700	13.381181
8		87.43767	14.559632	17		92.78467	11.814612
9		89.83067	11.730958	18		90.91233	8.894544

جدول ۷. مشخصات ۶ گره‌چینی منتخب از بعد بهینگی

Table 6. The characteristics of six selected Girih tile patterns from the perspective of optimization

شماره گره							
2		نوع کار	گره چهارلنگه	تعداد شیشه	265	نور مفید روز	87.309
		محل	منبر مسجد جامع نائین	میانگین	94.740	آسایش بصری	97.357
		درصد فریم چوبی	50.93	انحراف معیار	6.529	آسایش حرارتی	99.556
4		نوع کار	گره شش	تعداد شیشه	263	نور مفید روز	87.033
		محل	شبکه چوبی چهلستون	میانگین	94.742	آسایش بصری	97.682
		درصد فریم چوبی	51.06	انحراف معیار	6.739	آسایش حرارتی	99.513
5		نوع کار	گره هشت معمولی	تعداد شیشه	255	نور مفید روز	87.509
		محل	خانه صفوی جلفای اصفهان	میانگین	95.024	آسایش بصری	97.608
		درصد فریم چوبی	51.06	انحراف معیار	6.613	آسایش حرارتی	99.955

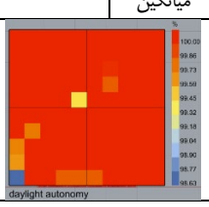
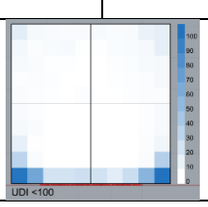
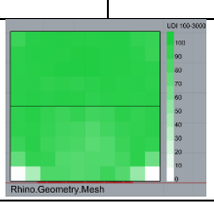
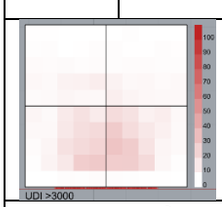
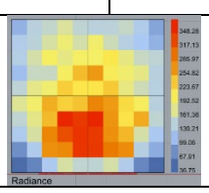
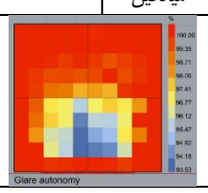
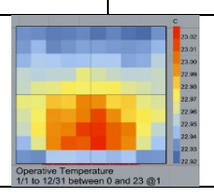
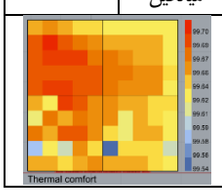
[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

6		نوع کار	گره هشت راست	تعداد شیشه	314	نور مفید روز	87.430
		محل	خانه‌ی صفوی اصفهان	میانگین	95.225	آسایش بصری	98.698
		درصد فریم چوبی	56.63	انحراف معیار	6.764	آسایش حرارتی	99.549
10		نوع کار	گره دوازده	تعداد شیشه	237	نور مفید روز	86.955
		محل	چهلستون	میانگین	94.708	آسایش بصری	97.611
		درصد فریم چوبی	51.79	انحراف معیار	6.785	آسایش حرارتی	99.560
11		نوع کار	گره شانزده	تعداد شیشه	180	نور مفید روز	86.069
		محل	خانه صفوی جلفای اصفهان	میانگین	94.190	آسایش بصری	97.038
		درصد فریم چوبی	51.86	انحراف معیار	7.137	آسایش حرارتی	99.465

از بین ۶ گره منتخب، گره ۶ به‌عنوان حالت بهینه نهایی برگزیده شد. همان‌طور که در جدول ۶ نیز مشخص شده است گره شماره ۶ دارای بیشترین مقدار میانگین و کمترین میزان انحراف معیار است؛ بنابراین از بین ۱۸ نمونه موردی گره‌چینی بررسی شده این گره‌چینی انتخاب نهایی این پژوهش از بعد بهینگی می‌باشد. در جدول ۸، مشخصات تکمیلی گره‌چینی ۶ به همراه نقشه‌ی گرمایی[۱۳] هر یک از آنها قابل‌مشاهده است.

جدول ۸. مشخصات تکمیلی گره‌چینی ۶ (نمونه برتر)

Table 8. Additional specifications of Girih tile number 6 (Optimal pattern)

الگوی گره‌چینی	میزان نور سالانه		نور مفید روز					
			UDI>3000		UDI 100-3000		UDI<100	
	<97	1	درصد میانگین	5/708	درصد میانگین	87/430	درصد میانگین	6/860
	درصد میانگین	99/960						
نام کار: هشت راست تعداد شیشه: 314								
	درخشندگی		میزان خیرگی سالانه		دما		آسایش حرارتی	
محل: خانه صفوی اصفهان/ منبر مسجد جامع نائین	میانگین	175/90	<90	1	میانگین	22/955	<97	1
			درصد میانگین	98/698			درصد میانگین	99/549
مساحت فریم چوبی: 5.0741 درصد چوب به کار رفته نسبت به شیشه: 56.63٪								

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

۹. نتیجه گیری

طبق روند این پژوهش و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از گره‌چینی‌ها در معماری سنتی اقلیم گرم و خشک اصفهان، پاسخی مناسب برای تأمین بهینگی از بعد آسایش بصری و آسایش حرارتی بوده است. طبق بررسی‌های انجام شده، درصد چوب به کار رفته با آسایش بصری و آسایش حرارتی در طول سال همبستگی و ارتباط مستقیم داشته و شرایط بهینگی را فراهم می‌سازد. این همان چیزی است که از اهداف برتر این پژوهش تلقی می‌شود. چرا که بر دو متغیر اصلی پژوهش رابطه‌ی مستقیم داشته و فاقد همبستگی با متغیر سوم یعنی میزان نور مفید روز است؛ بنابراین می‌توان دریافت نمونه‌هایی با درصد فریم چوبی بیشتر، در نتیجه درصد شیشه کمتر و تعداد شیشه‌ی بیشتر، عموماً نمونه‌های بهینه‌تری هستند. در مرحله‌ی بعد ابتدا شش نمونه گره بهینه رو استخراج کرده و از بین این شش نمونه یک نمونه را به‌عنوان گره منتخب نهایی به همراه مشخصات تکمیلی آن ارائه کرده‌ایم. در نهایت طبق هدف تحقیق، گره شماره ۶ از نوع هشت راست واقع در خانه‌ی صفوی اصفهان و منبر مسجد جامع نائین، با توجه به مقادیر پارامترهای انرژی مستخرج از شبیه‌سازی آن و با تراکم چوب بالا و تعداد شیشه‌ی بالا، به‌عنوان گره بهینه از لحاظ میزان نور مفید روز، آسایش بصری و آسایش حرارتی منتخب شد.

این پژوهش و روند مدل‌سازی و شبیه‌سازی آن قابل‌تعمیم به تمامی مناطق جغرافیایی با اقلیم مختلف و فایل استاندارد آب‌وهوای (EPW) مختص همان منطقه جهت انجام شبیه‌سازی‌ها و گره‌چینی‌های خاص همان منطقه است. همچنین استفاده از بهینگی گره‌چینی‌ها در زمینه‌های مختلف معماری همچون طراحی سایه‌بان‌ها و یا پوسته نما تعمیم‌پذیر است. لازم به ذکر است که استفاده از این الگوها در مرحله‌ی اجرا در ساخت‌وساز مدرن، با چالش‌هایی روبه‌رو است. به‌عنوان مثال تکراری شدن الگوهای بهینه گره‌چینی به کار رفته شده در بناهای مدرن. چرا که طبق بررسی‌های انجام شده الگوهای بهینه محدودتری نسبت به تمامی الگوهای به کار رفته در بناهای تاریخی وجود دارند که در ساخت‌وسازهای مدرن بتوان از آن‌ها استفاده کرد.

طبق نتایج این پژوهش، استفاده از گره‌چینی‌ها در طراحی‌های امروزی علاوه بر بازگشت به معماری سنتی و اصیل ایرانی و مسائل زیبایی‌شناسی موجود در آن زمان، به مسائل مربوط به انرژی نیز کمک می‌کند. امید است این پژوهش بتواند کمکی برای طراحان معماری جهت به‌کارگیری گره‌های سنتی در طراحی بازشوهای مدرن، جهت بازگشت به شیوه‌های طراحی در معماری سنتی ایران باشد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه ارشد نویسنده‌ی اول مقاله خانم مارال اصغرپورارشد با عنوان بهینه‌سازی چندعملکردی الگوی گره‌چینی و شیشه‌های رنگی ارسی‌ها در بناهای شهر اصفهان است که با راهنمایی خانم دکتر مدقالچی و مشاوره خانم دکتر سعادت‌جو در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است.

مشارکت نویسندگان

در مقاله حاضر کلیه نویسندگان از سهم مشارکت یکسان برخوردار هستند.

تأمین مالی

این پژوهش هیچ بودجه خارجی دریافت نکرده است.

تضاد منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌کنند.

دسترسی به داده‌ها و مواد

داده‌های این مقاله در صورت درخواست، توسط نویسندگان در دسترس قرار خواهد گرفت.

پی نوشت

۱. مهم‌ترین اصطلاحاتی که در تعریف معماری سنتی گفته می‌شود، عبارت است از: معماری تاریخی، معماری قدیمی، معماری اصیل، معماری باهویت، معماری خودی، معماری بامعنی، معماری بومی و معماری محلی است (صادقی پی، ۸:۱۴۰۰).

2. Energy Plus Weather file
3. Useful Daylight Illuminance
4. Exceeded Useful Daylight Illuminance
5. Adaptive Thermal Comfort
6 . UDIuseful (UDI=100-3000)

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

7. UDIunderlit (UDI<100)
8. UDIowerlit (UDI>3000)
9. Daylight Glare Probability
10. Index Of Refraction
11. Window to wall ratio
12. Adiabatic
13. Heat Map

References منابع

Abdi Zadeh, S., Nasiri, H., & Ahmad Nejad, F. (2024). Evaluation of the porch impact in traditional houses of Tabriz on the daylight factor changes (Case study: Behnam, Ghadaki, GanjeyiZadeh Houses), Culture of Islamic Architecture and Urbanism, 9(1), 68-79. [in Persian] http://dx.doi.org/10.52547/ciauj.9.1.423

Assari, A., & Mahesh, T. M. (2011). Demographic comparative in heritage texture of Isfahan City, Journal of Geography and Regional Planning, 4(8), 463-470.

Bienvenido-Huertas, D., Sánchez-García, D., Rubio-Bellido, & C., Pulido-Arcas, J.A. (2020). Influence of the Improvement in Thermal Expectation Levels with Adaptive Setpoint Temperatures on Energy Consumption. Applied Sciences. 10(15), 1-22. https://doi.org/10.3390/app10155282

chweiker, M., Rissetto, R., & Wagner, A. (2019). Thermal expectation: Influencing factors and its effect on thermal perception, Energy and Buildings, 210, 109729. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109729

Eslami, Sajedeh. (2018). Investigating factors affecting glare and ways to reduce it (case study: Central National Library of Kerman), Architecture, 1(4), 1-6. [in Persian]

Fallahfathi, R., & Mahdavinejad, M. (2021). Window geometry impact on a room wind comfort, Engineering, Construction, and Architectural Management, 28(9), 2381-2410.

Fereshteh Nejad, Morteza. (1977). Girih in Architectural art of Iran, Publications of the association of national works. [in Persian]

Garretón, J. Y., Rodriguez, R., & Pattini, A. (2016). Effects of perceived indoor temperature on daylight glare perception, Building Research and Information, 44(8), 907-919. https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1103116

Grote, Linda, Wang, David. (2003). Research methods in architecture, Tehran University publications. [in Persian]

Hejazi Zadeh, Z., & Karbalyi daryi, A. (2015). Thermal comfort in Iran, The scientific- research and international quarterly of the geographical society, 13(46), 21-39. [in Persian]

Hosseini, S. M., & Heidari, S. (2022). General morphological analysis of Orosi windows and morpho butterfly wing's principles for improving occupant's daylight performance through interactive kinetic façade. Journal of Building Engineering, 59, 105027. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105027

Hosseini, S. M., Mohammadi, M., Rosemann, A., & Schröder, T. (2018). Quantitative investigation through climate-based daylight visual comfort metrics due to colorful glass and orosi windows in Iranian architecture. Journal of Daylighting, 5(2), 21–33. https://doi.org/10.15627/jd.2018.5

Hosseini, S. M., Mohammadi, M., Schröder, T., & Guerra-Santin, O. (2020). Integrating interactive kinetic façade design with colored glass to improve daylight performance based on occupants' position. Journal of Building Engineering, 31(3), 1-18. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101404

Hosseini, S. N., Hosseini, S. M., & HeiraniPour, M. (2020). The Role of Orosi's Islamic Geometric Patterns in the Building Façade Design for Improving Occupants' Daylight Performance, Journal of Daylighting, 7(2), 201-221.

Iran National Building Regulations Topic 4. (2017), Bureau of National Building Regulations, Third edition. [in Persian]

KeyNezhad, Z., Mokhtari Kashavar, M., Maleki, A., & Shahbazi, Y. (2023). Investigating the Role of Water in the Howzkhaneh of Traditional Cold Climate Houses on the Thermal Comfort of the Residents; Case study: Ghadaki House, Tabriz, Culture of Islamic Architecture and Urbanism, 8(1), 20-32. [in Persian]

Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., & H. Jacobs, M. (2015). The psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands, Building and Environment, 83(9), 120-128. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.013

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

Raisi, R., Vakilinezhad, R., & Khayyam Manesh, M., (2023). Daylight and Thermal Performance Evaluation of Orosi; Traditional Colored Window (Case study: Kazeruni House in Shiraz) , International Journal of Architectural Engineering and Urban Planning, 34(1),1-16.

Saadatjoo, P., Mahdavinejad, M.j., & Zarkesh, A. (2019). Porosity Rendering in High-Performance Architecture: Wind-Driven Natural Ventilation and Porosity Distribution Patterns, Armanshahr Architecture and Urban Development, 12(26), 73-87. https://doi.org/10.22034/aaud.2019.89057

Sadeghi pi, N. (2009). A reflection on traditional architecture, Sofeh journal, 48(1), 7-16. [in Persian]

Sharif, H., Habibi, A., & Jamal Abadi, A. (2016). The climatic function of the Chinese knot in Islamic architecture- Case example: Qajar residential buildings of Shiraz, Islamic architectural research, 4(13), 60-73. [in Persian]

Sherbaf, A. (1982). Karbandi group, Publications of Sazman, National Antiquities Protection Organization of Iran. [in Persian]

Zeynal Zadeh, T., Nikghadam, N., & Fayaz, R. (2020). The role of heat and lighting in the north and south windows optimization, Scientific Journal of Mechanical Engineering, 30(136), 13-23. [in Persian]

Zhang, Z., Wang, Y., & Zhu, D. (2024). Overheating in the Tree Shade of Urban Parks: A Field Study of Thermal Adaption in China. Atmosphere. 15(5), 575-590. https://doi.org/10.3390/atmos15050575

اسلامی، ساجده. (۱۳۹۷). بررسی عوامل موثر بر خیرگی و راه‌های کاهش آن (مطالعه موردی: کتاب خانه ملی مرکزی کرمان (، معماری شناسی، ۱(۴)، ۱-۶.

پور احمدی، محبوبه، خانمحمدی، محمد علی، و فرهنگ، مظفر. (۱۳۹۷). ارزیابی شاخصه‌های خیرگی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران، نامه‌ی معماری و شهرسازی (فصلنامه‌ی علمی دانشگاه هنر)، ۲۳(۲)، ۴۹-۲۹.

حجازی زاده، زهرا، و کربلائی درئی، علیرضا. (۱۳۹۴). آسایش حرارتی در ایران، فصلنامه علمی ــ پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران، ۱۳(۴۶)، ۲۱-۳۹.

Liu, X., Sun, Y., Wei, Sh., Meng, L., & Cao, G. (2021). Illumination distribution and daylight glare evaluation within different windows for comfortable lighting, Results in Optics, 3(3), 1-9. https://doi.org/10.1016/j.rio.2021.100080

Madhoushian Nejad, M., & Fallahi, F. (2021). A comparative study of pattern and color of Qajar Orosies in Tabriz and Ardebil, Journal of fine arts-visual arts, 26(3), 87-98. [in Persian]

Makinejad, M. (2006). A selection of Asghar Sherbaf girih and Karbandi works, Arts Academy publications. [in Persian]

Mansouri, H. R., & Heydari, Sh. (2021). circuit energy approaches in architecture from the point of latent energy, Scientific journal of hot and dry climate architecture, 9(13),137-154. [in Persian]

Nourian, Y., & Kasraei, M. H. (2016). A Comparison of Traditional Knot to Contemporary Islamic Patterns; Focusing on their Applications in Contemporary Architecture, Culture of Islamic Architecture and Urbanism, 2(3), 63-75. [in Persian]

Oliver, P. (1989). Handed down architecture: tradition in transmission, Dwellings, settlements, and tradition: cross-cultural perspectives, 53-75.

Omidi, A., Golchin, N., & Masoud, S. E. (2022). Evaluating the visual comfort of Orosi windows in hot and semi-arid climates through climate-based daylight metrics: A quantitative study. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 21(5), 2114-2130. https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1971534

Pirnia, M.K. (2005). Styles of Iranian architecture, Sorush Danesh.

Pourahmadi, M., Khanmohammadi, M. A., & Farhang, M. (2018). Evaluation of glare indicators in educational buildings in the hot and dry climate of Iran, Architecture and Urbanism letter(Quarterly scientific journal of art university) , 23(2), 29-49. [in Persian]

Qiyabaklo, Z. (2001). Methods of estimating the thermal comfort range, Fine arts, 10(4), 68-74. [in Persian]

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

زینـال زاده، طنـاز، نیکقـدم، نیلوفـر، و فیـاض، ریمـا. (۱۳۹۹). نقـش حـرارت و روشـنایی در بهینـه سـازی پنجره‌هـای شـمالی و جنـوبی، مجلـه‌ی علـمی مهنـدسی مکانیـک، ۳۰(۱۳۶)، ۲۳-۱۳.

شـریف، حمیـد رضـا، حبیـبی، امیـن، و جمـال آبـادی، عبدالـه. (۱۳۹۵). کارکـرد اقلیـمی هنرگـره چینـی درمعمـاری اسلامی- نمونـه مـوردی: بناهـای مسـکونی قاجـاری شیـراز، پژوهش‌هـای معمـاری اسلامی، ۴(۱۳)، ۷۳-۶۰.

شـعرباف، اصغـر. (۱۳۶۱). گـروه کاربنـدی جلـد اول، انتشـارات سـازمان، سـازمان مـلی حفاظـت آثـار باسـتانی ایـران.

صـادقی پی، ناهیـد. (۱۳۸۸). تامـلی در معمـاری سـنتی، نشـریه صفـه، ۴۸(۱)، ۶۹-۷.

عبـدی زاده، سـهیلا، نصیـری، حسیـن، و احمـد نـژاد، فرهـاد. (۱۴۰۳). ارزیـابی تاثیـر ایـوان در خانه‌هـای سـنتی تبریـز بـر میـزان تغییـرات فاکتـور نـور روز (نمونـه مـوردی: خانه‌هـای بهنـام، قـدکی، گنجـه‌ای زاده)، فرهنـگ معمـاری و شهرسـازی اسلامی، ۹(۱)، ۷۹-۶۸.

فرشـته نـژاد، مرتـضی. (۱۳۵۶). گـره سـازی و گره‌چینـی در هنـر معمـاری ایـران، انتشـارات انجمـن آثـار مـلی.

قیابکلـو، زهـرا. (۱۳۸۰). روش‌هـای تخمیـن محـدوده آسـایش حـرارتی، هنرهـای زیبـا، ۱۰(۴)، ۷۴-۶۸.

کی نـژاد، زهـرا، مختـاری کشـاور، محسـن، ملـکی، آیـدا، و شـهبازی، یاسـر. (۱۴۰۲). بـررسی نقـش حضـور آب در حـوض خانـه خانه‌هـای سـرد بـر آسـایش حـرارتی سـاکنین؛ نمونـه مـوردی: حوض‌خانـه‌ی خانـه قـدکی تبریـز، فرهنـگ معمـاری و شهرسـازی اسلامی، ۸(۱)، ۳۲-۲۰.

گـروت، لینـدا، و وانـگ، دیویـد. (۱۳۸۲). روش‌هـای تحقیـق در معمـاری، انتشـارات دانشـگاه تهـران.

مدهوشیـان نـژاد، محمـد، و فلاحی، فتانـه. (۱۴۰۰). مطالعـه تطبیـقی نقـش و رنـگ ارسی‌هـای قاجـاری شـهر تبریـز بـا اردبیـل، نشـریه هنرهـای زیبـا- هنرهـای تجسـمی،۲۶(۳)، ۹۸-۸۷.

مقـررات مـلی سـاختمان ایـران مبحـث ۴. (۱۳۹۶)، دفتـر تدویـن مقـررات مـلی سـاختمان، ویرایش سـوم.

مـکی نـژاد, مهـدی. (۱۳۸۵). گزیـده آثـار اسـتاد اصغـر شـعرباف گـره و کاربنـدی، انتشـارات فرهنگسـتان هنـر.

منصـوری، حمید رضـا، و حیـدری، شـاهین. (۱۴۰۰). رویکردهای انـرژی مـداردر معمـاری از دیـدگاه انـرژی نهفتـه، نشـریه علـمی معمـاری اقلیم گـرم و خشـک، ۹(۱۳)، ۱۵۴-۱۳۷.

نوریـان، یـحیی، و کسـرائی، محمـد حسیـن. (۱۳۹۵). مقایسـه گره‌هـای سـنتی و الگوهـای معاصـر اسـالمی بـا تمرکـز بـر کاربـرد در معمـاری معاصـر، فرهنـگ معمـاری و شهرسـازی اسلامی، ۲(۳)، ۷۵-۶۳.

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]

This page is intentionally rendered without text

این صفحه آگاهانه بدون متن ارائه شده است

[DOI: 10.61882/ciauj.10.2.581]