

# Examining the effect of Geometric index of Street (H / W) on the thermal performance of housing

## Case Study: Hamedan residential buildings

**Hojjat Ghasvand** - Department of Architecture, Faculty Architecture and urban planning, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

**Mohamad Javad Saghafi**<sup>1</sup> - Department of Architecture, Faculty Architecture, Pardis Honar-Ha-Ye-Ziba, Tehran University, Tehran, Iran.

**Hossein Medi** - Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, imam khomeini International University, Qazvin, Iran.

Received: 30 April 2021 Accepted: 07 September 2021

### Highlights

- The street geometry index (H/W) is highly effective on the thermal performance of residential buildings.
- The lower the value of the index (H/W) on the streets of a cold-climate city, the lower the energy consumption of the building.
- Changing the pattern of occupancy level of an urban building, to reduce the level of shadow and increase the level of solar radiation wall, improves thermal performance.
- Increasing the depth of the yard in the southern pattern of the city of Hamadan, Iran reduces the consumption of thermal energy in a building.

### Extended abstract

#### Introduction

The relationship between building density and energy consumption involves a complex interaction between climate factors, location patterns, the way urban open spaces are located, and the adjacency of the buildings of which they are composed. Therefore, this study investigated the thermal performance of residential buildings based on the patterns of residential blocks in Hamadan Province, Iran using the concept of minor climate and thermal islands influenced by density regulations. It aimed to evaluate the effect of these regulations on energy consumption. A comprehensive collection of thermal simulations were conducted based on the climate of Hamadan and a statistical analysis for examination of the effect of height on the energy consumption resulting from increased urban density.

#### Theoretical Framework

A criterion used for measurement of the energy consumption of buildings is the micro-urban climate resulting from the density regulations (H/W). These regulations can affect the access of buildings to sunlight and, thus, the energy performance of buildings. Density regulation indices include two categories: middle-scale and micro-scale. The middle-scale category involves an H/W criterion for measurement of the impact of the outdoor environment. The micro-scale category involves criteria for changes in the building volume geometry, including the surface-to-volume ratio (S/V), ratio of surface exposed to direct sunlight to total surface (S<sub>sn</sub>/S<sub>sh</sub>), shadow area (S<sub>su</sub>/S<sub>sh</sub>), substructure (S<sub>su</sub>/A), volume (S<sub>su</sub>/V), and ratio of window surface to the total wall surface (WSR), which changes as height varies.

#### Methodology

The methodology involved a combination of qualitative and quantitative methods. In the simulation stage, two modes

1 Responsible author: msaghafi@ut.ac.ir

were considered to specify the effect of H/W on energy consumption. First, fixed height and variable street width were considered in the modeling for examination of the effect of the street width index, and fixed street width and variable height were then considered for examination of the height index. For analysis of the findings of the statistical methods, correlation, analysis of variance, and multiple regression were used.

The relationships between energy consumption and the variable of street width and each of the indicators of the variable of height were investigated with the Pearson correlation coefficient. For investigation of the simultaneous effect of all the indices of the independent variable on the dependent variable (energy consumption), multiple regression analysis was used to specify which geometric factor exhibited the greatest impact on energy consumption. Analysis of variance was used for comparison and evaluation of the mean differences between the groups.

For validation, two methods were used: experimental (involving field measurements) and comparative (involving a comparison of the results of different software).

### Results and Discussion

The results obtained from the correlation analysis revealed that there is a close direct relationship in all residential blocks of northern patterns between  $H(\text{fix})/W(6\text{m}-36\text{m})$  and annual energy consumption, while there is no correlation in southern patterns. The relationship between  $H(4\text{f}-10\text{f})/W(\text{fix})$  and annual energy is direct in northern patterns but inverse and slightly effective in southern patterns.

As the  $H(\text{fix})/W(6\text{m}-36\text{m})$  ratio decreases, cooling energy consumption increases sharply (inverse correlation), and heating and total energy consumption decrease sharply (direct correlation). In this analysis, energy savings are greater on a wider street than on a narrower street, and fixed-height buildings exhibit lower annual energy consumption on a wider street.

Positive correlation (high intensity) and negative correlation with heating energy (low intensity) is established between the geometric characteristics of residential parts ( $S/V$ ,  $S_{\text{su}}/S$ ,  $S_{\text{su}}/V$ ,  $S_{\text{su}}/S_{\text{sh}}$ , and  $S_{\text{sn}}/A$ ) and cooling energy consumption. Wider streets receive more sunlight than narrower ones, so those with lower geometric indices exhibit better thermal performance and greater reduction of heating energy consumption.

### Conclusion

Building density and its indices are influential in northern patterns, and increase in height and pathway width contributes to the reduction of energy consumption. Therefore, the geometric index of an urban street is effective in northern patterns, and a rise in height through an increase in the horizontal distance between buildings affects the reduction of energy consumption. However, the value of the index ( $H/W$ ) is lower on the urban passages of the cold climate of Hamadan (deep urban valleys), and the energy consumption of the building decreases as the absorption of solar radiation increases. Multiple regression analysis showed that the most indicative energy consumption factors in the patterns included the geometric index ( $H/W$ ), the number of sunny surfaces ( $S_{\text{su}}$ ), the ratio of shadow ( $S_{\text{sh}}$ ) to the substructure ( $A$ ), and total surface area ( $S$ ). The proposed model (involving a change in the occupancy level of the initial model) exhibited the most optimal thermal performance with decreases by 42.9% in cooling energy and by 4.73% in total energy.

### Keywords

Typical building, H/W index, Thermal performance, Hamadan

### Acknowledgment

The article has been derived from the Ph.D. thesis entitled “Determination of housing deployment pattern considering the influence of climate factors on the inside thermal comfort with an energy management approach (case study Hamedan)”, which has been defended by the first author under the second author’s supervision and the third author’s advisory at the Qazvin Branch, Islamic Azad University.



**Citation:** Ghiasvand, H., Saghafi, M.J., Medi, H., (2022) Examining the effect of Geometric index of Street (H / W) on the thermal performance of housing (Case Study: Hamedan residential buildings), Motaleate Shahri, 11(42), 17–34. doi: 10.34785/J011.2022.334/Jms.2022.117.

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



# ارزیابی اثر شاخص هندسی خیابان (H/W) بر عملکرد حرارتی مسکن

## نمونه مورد مطالعه: آپارتمان‌های مسکونی همدان<sup>۱</sup>

حجت قیاسوند - دانش‌آموخته دکتری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.  
محمد جواد ثقفی<sup>۲</sup> - استاد، گروه معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
حسین مدی - استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۶ شهریور ۱۴۰۰

### چکیده

پیوند بین هندسه معابر شهری (H/W) و مصرف انرژی ساختمان، تعامل پیچیده‌ای بین عوامل اقلیمی، الگوهای مکانی، نحوه قرارگیری فضاهای باز و همجواری ساختمان‌هایی است که آنها را تشکیل می‌دهند. این تحقیق، با استفاده از مفهوم خرد اقلیم ایجاد شده متأثر از هندسه معابر شهری به بررسی عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی شهر همدان پرداخته است. ارزیابی اثر هندسه معابر شهری (H/W) بر میزان مصرف انرژی، هدف اصلی است. در این مطالعه مجموعه جامعی از شبیه‌سازی‌های حرارتی مبتنی بر آب و هوای منطقه همدان و تحلیل آماری، برای بررسی چگونگی تأثیر تغییرات ضابطه ارتفاع نسبت به عرض معبر بر میزان مصرف انرژی انجام شده است. روش تحقیق به صورت ترکیبی از روش‌های کیفی و کمی (داده‌های عددی شبیه‌سازی) است. در مرحله شبیه‌سازی برای شناخت تأثیر (H/W)، بر میزان مصرف انرژی دو حالت در نظر گرفته شده است. ابتدا برای بررسی اثر شاخص عرض معبر، ارتفاع ثابت و عرض معبر متغیر و سپس برای بررسی شاخص ارتفاع، عرض معبر ثابت و ارتفاع متغیر در مدل‌سازی‌ها در نظر گرفته شده و در تحلیل یافته‌ها از روش‌های آماری، ضریب همبستگی، مقایسه با مدل مرجع و رگرسیون چندگانه بهره‌گرفته شده است. نتایج بیان می‌دارد که در تمام قطعات مسکونی الگوهای شمالی، بین  $(\frac{H}{W})_{\text{ثابت}}$  و میزان انرژی سالانه، رابطه همبستگی مستقیم و با شدت زیاد و در الگوهای جنوبی، بدون همبستگی است. همچنین بین  $(\frac{W}{H})_{\text{ثابت}}$  و انرژی سالانه در قطعات شمالی، همبستگی مستقیم و در قطعات الگوهای جنوبی رابطه همبستگی معکوس ولی با تأثیر بسیار کم برقرار است. بنابراین شاخص هندسی معابر شهری در الگوهای شمالی مؤثر بوده و افزایش ارتفاع با افزایش فاصله افقی بین ساختمان‌ها در کاهش مصرف انرژی تأثیرگذار است. هرچه مقدار شاخص (H/W) در معابر شهری اقلیم سرد همدان عدد کمتری باشد (دره‌های کم عمق)، با افزایش جذب تابش خورشیدی، میزان مصرف انرژی ساختمان کاهش می‌یابد. با تحلیل رگرسیون چندگانه مشخص شد، شاخص‌های هندسی (H/W) و مقدار سطوح در معرض آفتاب (Ssu) و سایه (Ssh) نسبت به زیرپنا (A) و سطح کل (S)، بیشترین تبیین‌کننده مصرف انرژی در الگوهای قطعات شمالی هستند. الگوی پیشنهادی (تغییر در استقرار سطح اشغال الگوی اول) بهینه‌ترین عملکرد حرارتی را با کاهش ۴۲/۹ درصد انرژی سرمایشی و ۴/۷۳ درصد انرژی نهایی دارد.

**واژگان کلیدی:** مسکن همدان، شاخص H/W، عرض خیابان، ارتفاع ساختمان، عملکرد حرارتی.

### نکات برجسته

- شاخص هندسه معابر شهری (W/H)، به شدت در عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی مؤثر است.
- هرچه مقدار شاخص (H/W) در خیابان‌های شهر اقلیم سرد، عدد کمتری باشد، میزان مصرف انرژی ساختمان کاهش می‌یابد.
- تغییر الگوی سطح اشغال ساختمان‌های شهری، به سمت کاهش سطح سایه و افزایش سطح جداره تابش خورشیدی، باعث بهبود عملکرد حرارتی می‌گردد.
- افزایش عمق حیاط در قطعات جنوبی بافت شهر همدان، باعث کاهش مصرف انرژی گرمایشی در ساختمان‌ها می‌شود.

۱ این مقاله برگرفته از رساله دکتری معماری با عنوان «تعیین الگوی استقرار مسکن بر اساس تأثیر عوامل اقلیمی بر آسایش دمایی فضای داخل با رویکرد مدیریت انرژی (نمونه موردی همدان)» است که به وسیله نویسنده اول و با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین دفاع شده است.

۲ نویسنده مسئول مقاله: msaghafi@ut.ac.ir

## ۱. مقدمه

و تغییرات دما ست. با این حال، مطالعات کمتری بین ضابطه تراکم (ارتفاع) و انرژی گرمایشی در مناطق سردسیر انجام شده است. هدف این پژوهش، ارزیابی ضابطه تراکم (ارتفاع) طرح تفصیلی شهر همدان، در خصوص تأثیر افزایش ارتفاع بر عملکرد حرارتی الگوهای استقرار بناها با توجه به همسایگی‌های قطعات شهری است. در این تحقیق اثر عرض معابر شهری و ارتفاع، در عملکرد حرارتی قطعات مسکونی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عبارتی معابر با عرض‌های مختلف ((متغیر)  $W$ ) (ثابت)  $H$ ) چه تأثیری در مصرف انرژی ساختمان‌ها دارد؟ -افزایش ارتفاع ساختمان در معابر ((ثابت)  $W$ ) (متغیر)  $H$ )، چه تأثیری در مصرف انرژی دارد؟

## ۲. چارچوب نظری

شاخص‌های هندسه شهری قادر به تأثیرگذاری بر شرایط آب‌وهوایی بیرون ساختمان است. به همین دلیل بررسی عملکرد حرارتی ساختمان، به شکل واحدی مستقل و بدون در نظر گرفتن موقعیت و شرایط آن در مقیاس شهری نباید صورت پذیرد (Adolphe, 2001). تأثیرات سایه‌اندازی، انعکاس نور خورشید (خیرگی و عدم آسایش بصری)، افزایش دما و پدیده جزایر گرمایی<sup>۵</sup> و سرمای شهری<sup>۶</sup> و عدم آسایش حرارتی بر اثر تقابل ساختمان‌ها در کنار هم است که در برخی از مطالعات اخیر از شاخص‌های مختلفی، تأثیر همجواری‌ها در بافت شهری مورد بررسی قرار گرفته است. برای درک کامل عملکرد حرارتی و انرژی یک ساختمان، باید این ساختمان را در متن ساختمان‌های همسایه و خرد اقلیم شهری و گرمای ترکیبی به فضای خارجی ناشی از تابش مستقیم و منعکس شده خورشید و سایه، در نظر گرفت (Huang et al., 2020). یکی از مهمترین شاخص‌های مؤثر همسایگی در معابر شهری، ضابطه تراکم شهری (ارتفاع) و اثر آن بر ساختار هندسه معابر شهرهاست. ضوابط تراکم و مؤلفه‌های آن (سطح اشغال، ارتفاع و طبقات) به تنهایی نمی‌تواند در محاسبات میزان مصرف انرژی مؤثر باشد، بنابراین خرد اقلیم ایجاد شده بر اثر ضابطه تراکم که همان شاخص  $(H/W)$  است، ملاک سنجش میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها ست. موقعیت ساختمان در سایت، فرم، جهت‌گیری و فاصله میان ساختمان‌ها از جمله عوامل مهمی هستند که در میزان دریافت تابش خورشیدی تأثیرگذارند. به عنوان مثال در مناطق سرد، فرم فشرده (متراکم) ممکن است، منجر به افزایش میزان تقاضای انرژی گرمایشی گردد. به این دلیل که ساختمان‌ها مانع دسترسی به انرژی خورشیدی می‌شوند. تراکم بالا ممکن است پتانسیل خورشیدی ساختمان را در نتیجه افزایش سایه بناهای همسایه، کاهش دهد (Shishegar, 2013).

۲.۱ اثر شاخص‌ها و معیارهای ضابطه تراکم  $H/W$  و هندسه‌کالبدی بر عملکرد حرارتی الگوهای قطعات مسکونی: خیابان‌ها معمولاً بیش از یک چهارم منطقه شهری را پوشش می‌دهند. هندسه خیابان شهری نقش مهمی در ایجاد آب و هوای شهری ایفا می‌کند. این موضوع به طور مستقیم بر دمای هوا، رطوبت و

شهرهای امروزی بیش از دو سوم انرژی اولیه جهان را مصرف می‌کنند و بیش از ۷۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای جهانی را انتشار می‌دهند (Tereci et al., 2013, Martinez, 2015). در شهرها ساختمان‌ها می‌توانند تا ۷۵ درصد کل انرژی اولیه را مصرف کنند (City Energy Project, 2017). بنابراین ساختمان‌ها برای صرفه‌جویی در انرژی و در نتیجه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن<sup>۱</sup>، مهم هستند. از میان انواع انرژی‌های مصرفی نهایی در ساختمان‌ها، گرمایش فضا (تقریباً ۳۶ درصد)، بیشترین نسبت مصرف را دارد (Lenga et al., 2020). تغییرات در هندسه شهرها می‌تواند در کاهش انرژی مؤثر باشد، بنابراین کاهش مصرف انرژی در شهرها تحت تأثیر برنامه‌ریزی و طراحی شهری است (Stemers, 2003). از زمان تهیه و اجرای طرح جامع شهرها و ضابطه  $(۰.۴۰+۰.۶۰)$  درصد، هندسه الگوی مسکن در دوران معاصر، دچار تحولات بنیادین شده و هندسه و ساختار شهر بر اساس ضوابط و مقررات شهرسازی تعیین می‌گردد. بر همین اساس مطالعات مختلفی بر روی مدل‌سازی هندسه شهر و تأثیر آن بر خرد اقلیم و در نهایت میزان مصرف انرژی انجام شده است (Georgakis & Santamouris, 2006, Ratti, et al., 2005). بررسی نقش و چگونگی تأثیر هندسه شهر بر شرایط آب و هوایی، انگیزه مطالعات مختلفی از دهه‌ی هفتاد میلادی برای محققین بوده است. این مسئله خود مؤید آن است که خرد اقلیم ایجاد شده فضاهای باز شهری متأثر از شرایط هندسه شهر است (Karamirad, 2020, Aboelata, 2019: 186, et al.). به عنوان مثال استرومن و همکارانش، شاخص‌های مؤثر معابر شهری را در مصرف انرژی بررسی کرده‌اند (stromann & satrup, 2011). بونیا و بوچریا تأثیر شاخص ارتفاع به عرض و دید به آسمان را بر دمای فضای باز شهری در الجزایر بررسی کرده‌اند (Bourbia & Boucheriba, 2010). علی تودرت و میر به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش نسبت ارتفاع به عرض  $H/W$ ، دمای هوای معابر کاهش می‌یابد (Ali-Toudert & Mayer, 2006). در مطالعه‌ی دیگری بیان شد که بین عوامل مورفولوژی شهری<sup>۲</sup> و بازدهی انرژی رابطه وجود دارد (Tsirigoti & Tsikaloudaki, 2018). طالقانی و همکارانش با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز دیزاین بیلدر<sup>۳</sup> اشاره دارند که نسبت سطح به حجم، عامل تعیین‌کننده در میزان مصرف انرژی و میزان آسایش حرارتی است (Taleghani, et al., 2013). منگن و همکارانش به بررسی اثر  $(H/W)$  و جهت، بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها پرداخته‌اند (Mangan, et al., 2021). در مطالعات تأثیر  $(H/W)$ ، بر متغیرهایی از جمله جزیره گرمایی، سرعت باد و کیفیت هوا، آسایش حرارتی و دمای هوا و عملکرد حرارتی ساختمان‌ها بررسی شده است (Zhou, et al., 2016; Alijani, et al., 2017; Khodakarami, et al., 2020; Sanagar, et al., 2020; Li, et al., 2020; Taban, et al., 2013, 2020; Quan, et al., 2016). آنچه در مطالعات تأکید شده، اهمیت شاخص هندسی  $(H/W)$  بر دسترسی ساختمان‌ها به تابش نور خورشید و تعیین میزان تابش رسیده به سطوح خیابان (نماها، سقف‌ها و زمین)

- 1  $CO_2$
- 2 Height to Weight ratio (H/W)
- 3 Urban Morphology (UMo)
- 4 Design Builder (DB)

- 5 Urban Heat Islands (UHI)
- 6 Urban Cold Islands (UCI)

سطوح خیابان (نماها، سقف ها و زمین) تأثیر می‌گذارد. کاهش نسبت  $(H/W)$  باعث افزایش دسترسی خورشید ساختمان ها و افزایش دما می‌گردد (Shishegar, 2013). بنابراین طراحی خیابان‌های شهری به روشی که بتواند از دسترسی خورشیدی در دره شهری استفاده کند، برای بهبود اقلیم شهری حیاتی است. طراحی معابر شهری می‌تواند بر آب‌وهوا و مصرف انرژی ساختمان‌ها تأثیر بگذارد. ضابطه تراکم از پارامترهای طراحی معماری و شهری می‌تواند بر میزان دسترسی خورشید در خارج و داخل و در نتیجه عملکرد انرژی ساختمان‌ها تأثیر بگذارد. شاخص‌های ضابطه تراکم شامل دو بخش مقیاس میانی و مقیاس خرد است. مقیاس میانی دارای معیار  $(H/W)$  برای سنجش تأثیر محیط فضای باز و خرد اقلیم بلوک‌های مؤثر همسایگی است. مقیاس خرد دارای معیارهای نسبت سطح به حجم<sup>۱</sup>، نسبت سطح در معرض تابش مستقیم آفتاب به سطح کل، سطح سایه، زیربنا و حجم<sup>۲</sup>، سطح پنجره به سطح کل دیوار<sup>۳</sup> است که با تغییر ارتفاع تغییر می‌کند. در جدول شماره ۱ شاخص‌ها و معیارهای هندسی تراکم، مؤثر بر عملکرد حرارتی قطعات مسکونی و در تصویر شماره ۱۵ الگوریتم مدل مفهومی تحقیق آمده است.

جریان باد درون خیابان‌ها تأثیر می‌گذارد. هندسه خیابان‌های شهری با توجه به نسبت ارتفاع به عرض  $(H/W)$  و همچنین جهت‌گیری که توسط محور طولانی آن تعریف می‌شود، متفاوت است. این پارامترها به‌طور مستقیم بر جذب و انتشار تابش خورشید، تهویه شهری و تغییرات دما در خیابان تأثیر می‌گذارد. در اقلیم سرد بیشتر اوقات سال ساختمان‌ها نیازمند گرمایش هستند و دسترسی به نور خورشید بسیار حیاتی است. بنابراین هندسه خیابان شهری (جهت،  $H/W$ ) می‌تواند به‌طور مستقیم بر دسترسی خورشید و آسایش حرارتی در سطح عابر پیاده به‌خصوص در زمستان تأثیر بگذارد. نتایج بررسی  $(H/W)$  بیانگر اینست که در اقلیم سرد دره‌های عمیق شهری (عدد بالا)، سایه ایجاد شده، باعث کاهش دما در فضای باز می‌گردد. زمانی که نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر افزایش می‌یابد، دمای هوا به‌خصوص در سطح زمین بین ساختمان‌ها کاهش می‌یابد. ساختمان‌های واقع در دره‌های عمیق شهری مصرف انرژی سرمایشی کمتر نسبت به دره‌های با عمق کمتر دارند (Shia, et al., 2020., Huang & Li, 2017). در مقابل دره‌های خیابانی یکنواخت، کم‌عمق و عریض، برای مناطق سردسیری که به دسترسی خورشیدی بیشتری در کل سال نیاز دارند، مناسب است. نسبت  $(H/W)$  بر مقدار انرژی خورشیدی به دست آمده توسط

جدول شماره ۱۵: شاخص‌ها و معیارهای هندسی ضابطه تراکم، مؤثر بر عملکرد حرارتی قطعات مسکونی و نامگذاری

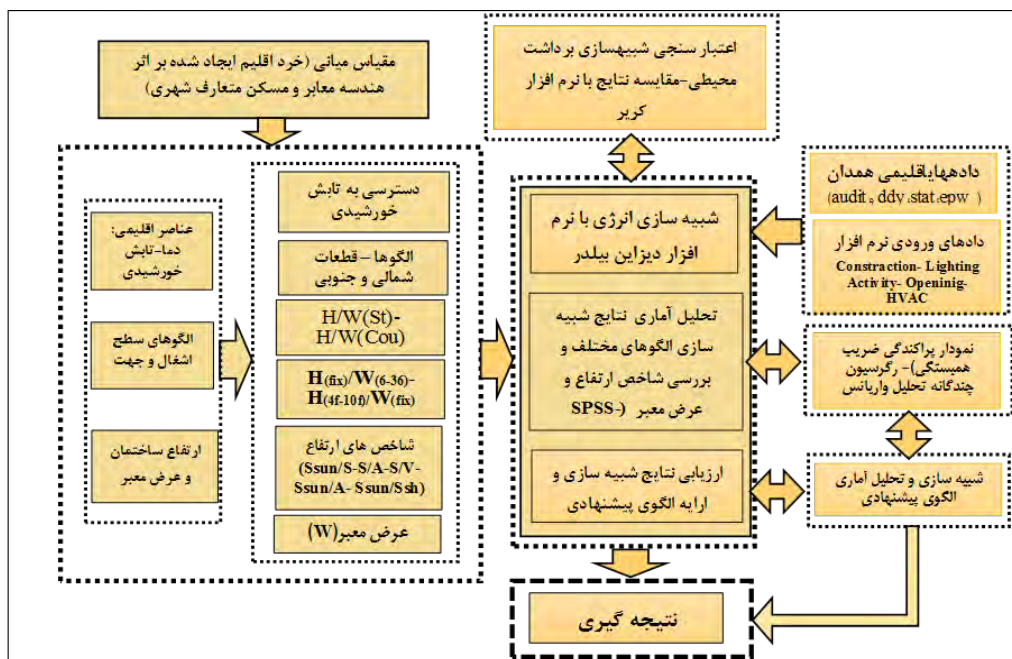
مقیاس	شاخص	تعریف شاخص	نامگذاری
میانی	جهت‌گیری معابر شهری	زاویه بین محور طول معابر شهری و جهت شرقی-غربی	Ost
	الگوی سطح اشغال قطعات شمالی	مکان و مقدار سطح اشغال در قطعات مسکونی مجاور سمت شمال معابر شهری	P(BN)
	الگوی سطح اشغال قطعات جنوبی	مکان و مقدار سطح اشغال در قطعات مسکونی مجاور سمت جنوب معابر شهری	P(BS)
	نسبت ارتفاع به عرض	برابر است با نسبت ارتفاع ساختمان مجاور معبر بر عرض خیابان	H/W
	$(\frac{H}{W})_{\text{ثابت}}$ (متغیر ۲۶ الی ۳۶ متر)	برابر است با ارتفاع ثابت بر عرض‌های مختلف معابر شهری	$\frac{H}{W}_{\text{ثابت}}$
	$(\frac{H}{W})_{\text{ثابت}}$ (متغیر ۳ الی ۱۰ طبقه)	نسبت ارتفاع (متغیر) بر عرض معابر (ثابت) (تغییرات ارتفاع در معابر شهری)	$\frac{H}{W}_{\text{ثابت}}$
	نسبت ارتفاع به عرض حیاط	برابر است با نسبت ارتفاع ساختمان به عرض حیاط میانی	H/Wcou
خرد	سطوح قرارگرفته در مقابل تابش مستقیم	سطوحی که در قسمت جنوب جغرافیایی و در معرض تابش مستقیم قرار دارد	(Ssu)
	سطوح عمودی قرارگیری در سایه	سطوح شمالی بنا که همواره در سایه قرار دارد	(Ssh)
	نسبت سطح به حجم کل	برابر است با نسبت سطح کل در معرض هوای آزاد به حجم ساختمان	(S/V)
	نسبت سطح در مقابل تابش مستقیم به سطح کل	برابر است با سطح در معرض آفتاب تقسیم بر سطح کل	(Ssu/S)
	نسبت سطح در مقابل تابش به سطح سایه	برابر است با سطح در معرض آفتاب تقسیم بر سطح سایه	(Ssu/Ssh)
	نسبت سطح پنجره به سطح کل ساختمان	برابر است با نسبت سطح پنجره به کل سطح در معرض هوای آزاد	(WSR)
	نسبت سطح در مقابل تابش به زیربنا	برابر است با نسبت سطح کل بلوک‌ها به زیربنای کل مجموعه مسکونی	(Ssu/A)

1 S/V

2 Ssn/S, Ssu/Ssh, Ssu/A, Ssu/V

3 WSR





تصویر شماره ۱: الگوریتم مدل مفهومی تحقیق

معبراست (تصویر شماره ۲). به منظور استخراج ویژگی های کالبدی مدل پایه تحقیق، طرح های معماری در معاونت معماری و شهرسازی شهرداری همدان مورد بررسی تطبیقی قرار گرفته و نوع چیدمان فضاهای مسکونی در قطعات مشخص گردید. بستر شبیه سازی الگوها در یک بلوک شهری ۲۸ قطعه ای (۴\*۷) است که ساختمان اصلی، قطعه میانی و ساختمان های دیگر، در اطراف آن قرار دارند (تصویر شماره ۲). مقدار سطح جدارشیشه ای ۲۵ درصد سطح نما و مصالح نما آجر است. در مرحله شبیه سازی ابتدا برای بررسی اثر شاخص عرض معبر، ارتفاع ثابت و عرض معبر متغیر (متغیر)  $H/W$  (ثابت) و در مرتبه دوم برای بررسی شاخص ارتفاع، عرض معبر ثابت و ارتفاع متغیر (ثابت)  $H/W$  (متغیر)، در مدل سازی در نظر گرفته شده و میزان انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی، به ازای مترمربع در سال به صورت داده های عددی به دست آمد.

### ۳. روش

با توجه به ماهیت کاربردی پژوهش، نوع تحقیق را باید در حوزه پژوهش های توسعه ای و بازنگری ضوابط طرح تفصیلی دانست. روش کار ترکیبی از روش های کیفی (الگوشناسی قطعات و تحلیل  $H/W$ ) و کمی (شبیه سازی) است. مراحل تحقیق در ۵ بخش اصلی و ۹ مرحله شکل گرفته است (نمودار شماره ۱). جامعه آماری، قطعات مسکونی شمالی و جنوبی معابر شهر همدان (الگوی متعارف خطی) با مساحت ۲۰۰ مترمربع در هر قطعه و سطح اشغال ۱۴۰ مترمربع است. ارتفاع ساختمان ها بر اساس طرح جامع و تفصیلی فعلی شهر همدان (۴ تا ۱۰ طبقه) است. با بررسی میدانی، سه الگوی استقرار سطح اشغال برای قطعات مشاهده گردید. قطعات الگوی اول و دوم بر طول معبر، عمود بوده و در الگوی اول سطح اشغال، در شمال قطعه و در الگوی دوم مجاور معبر است و در الگوی سوم طول قطعات به موازات طول



نمودار شماره ۱: مراحل انجام تحقیق



تصویر شماره ۲: مشخصات هندسی الگوها

بعد از تعیین الگوها و مدل های تحقیق، داده های فایلی اقلیمی شهر همدان وارد نرم افزار گردید و شبیه سازی انرژی، با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر نسخه ۶.۱.۶.۰۰۸، انجام پذیرفت. دیزاین بیلدر از نرم افزارهای معتبر، درمدسازی انرژی و از جهت ارزیابی عملکرد حرارتی، بسیار قوی است (Asfour & Alshawaf, 2015). بعد از شبیه سازی انرژی الگوها، نتایج داده های عددی از طریق روش های آماری و با استفاده از نرم افزار اکسل<sup>۱</sup> و اس پی اس اس<sup>۲</sup> مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از روش های آماری، نمودار پراکندگی، تحلیل ضریب همبستگی پیرسون<sup>۳</sup>، رگرسیون خطی چندگانه<sup>۴</sup> و تحلیل واریانس<sup>۵</sup>، برای کشف روابط بین متغیرها استفاده شده است. در مطالعات همبستگی، هدف بررسی رابطه دو به دو برای هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته در تحقیق است. به عبارتی معنی دار بودن آماری بین دو متغیر از طریق ضریب همبستگی و به عنوان شاخص توصیفی به شیوه عددی

بیان می شود. در این تحقیق رابطه بین متغیر عرض معبر و همچنین هر یک از شاخص های متغیر ارتفاع به صورت جداگانه با میزان مصرف انرژی از طریق ضریب همبستگی پیرسون مورد بررسی قرار می گیرد. اما برای بررسی اثر همزمان تمام شاخص های متغیر مستقل بر متغیر وابسته (مصرف انرژی) از تحلیل رگرسیون چندگانه بهره گرفته شده است. در تحلیل رگرسیون، هدف پیش بینی و بررسی اثر پذیری متغیر وابسته (مصرف انرژی) با جمیع متغیرهای مستقل با همدیگر (در این مطالعه تمام مؤلفه های هندسی متأثر از شاخص ارتفاع) است. به عبارتی تحلیل رگرسیون چندگانه، مرحله ی بعد از ضریب همبستگی و برای بررسی اثر همزمان تمام متغیرهای مستقل با همدیگر است تا مشخص گردد اثر کدام عامل هندسی بر میزان مصرف انرژی بیشتر از عوامل دیگر است. از تحلیل واریانس برای مقایسه و به منظور بررسی وجود تفاوت میانگین در بین گروه ها استفاده می شود. بنابراین برای بررسی وجود تفاوت در بین هر یک از متغیرها در الگوهای سه گانه سطح اشغال و پیشنهادی برای قطعات شمالی و جنوبی از آزمون تحلیل واریانس بهره گرفته شده است.

- 1 Excel
- 2 Spss
- 3 Pearson's Coefficient of Correlation (PCC)
- 4 Multiple Linear Regression (MLR)
- 5 Analysis of variance (ANOVA)



## ۴. بحث و یافته‌ها

## ۴.۱. مطالعات شبیه‌سازی انرژی قطعات مسکونی

در روند شبیه‌سازی، عوامل مداخله‌گر مانند جهت استقرار معابر شهری، نوع کاربری ساختمان، نحوه حضور افراد، مصالح ساختمانی (جدول شماره ۲)، سطح بازشوها (۲۵ درصد سطح دیوار)، سیستم گرمایش و سرمایش و نوع روشنایی مصنوعی، براساس وضع موجود بافت شهر همدان در تمام مدل‌ها یکسان وارد شده است. برای بررسی اثر بهتر رابطه  $(H/W)$  بر مصرف انرژی از تعویض هوا به صورت مکانیکی صرف نظر شده و در حالت خاموش است. با توجه به وجود تنش سرمایی در ۹ ماه از سال در شهر همدان، تنظیمات تهویه طبیعی برای فصل تابستان در نرم افزار در نظر گرفته شده است. در مصاحبه با گروه تخصصی مکانیک سازمان نظام مهندسی ساختمان همدان، مشخص

شد که طراحی سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی برای مجتمع‌های مسکونی از سیستم مرکزی گرمایشی (بویلر) و سرمایشی (چیلر) استفاده گردد، بنابراین در این مطالعه از سیستم دسترسی ساده با منبع گرمایش بویلر با سوخت مصرفی گاز طبیعی و  $(COP=0.83)$  و منبع سرمایشی چیلر با سوخت الکتریسیته و  $(COP=1/35)$  استفاده شده است. داده‌های اقلیمی همدان بر اساس اندازه‌گیری‌های سه‌ساعته سازمان هواشناسی برای دوره ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ و با استفاده از روش سان‌دیا<sup>۲</sup> تهیه شده و با چهار پسوند: audit, ddy, stat, epw وارد نرم افزار دیزاین بیلدر گردید. با سه الگوی معرفی شده به صورت دو قطعه شمالی و جنوبی (۶ الگو) و با در نظر گرفتن جایگشت‌های مربوط به وجود ۷ ارتفاع مختلف (۴ تا ۱۰ طبقه) و همچنین وجود ۸ عرض معبر متفاوت (۶ تا ۳۶ متری) در نهایت ۳۳۶ شبیه‌سازی انجام شده است.

جدول شماره ۲: مشخصات مصالح جداره و سقف‌ها در مدل‌ها

Construction	لایه‌های جداره	$R=(m^2.k/w)$	$U=(w/m^2.k)$
جدار خارجی مجاور هوای آزاد	نمای آجری + دیوار دو جداره با عایق حرارتی + اندود سفید کاری	۲/۳۰	۰/۴۳۴
جدار مجاور فضای کنترل نشده	دیوار دو جداره با عایق پلی استایرن + اندود سفیدکاری	۱/۰۰	۱/۰۰
دیوار داخلی	دیوار سقالی + دو طرف اندود سفیدکاری	۰/۷۵	۱/۲۳
بام ساختمان	ایزوگام + بتن شیب بندی + عایق حرارتی + بتن سقف + اندود سفیدکاری	۳/۰۰	۰/۳۳۳
سقف مجاور فضای کنترل نشده	سرامیک + بتن کف سازی + بتن سقف + عایق حرارتی + اندود سفیدکاری	۳/۰۰	۰/۳۳۳
سقف داخل	سرامیک کف + بتن کف سازی + بتن سازه سقف + اندود سفیدکاری	۱/۰۰	۱/۰۰

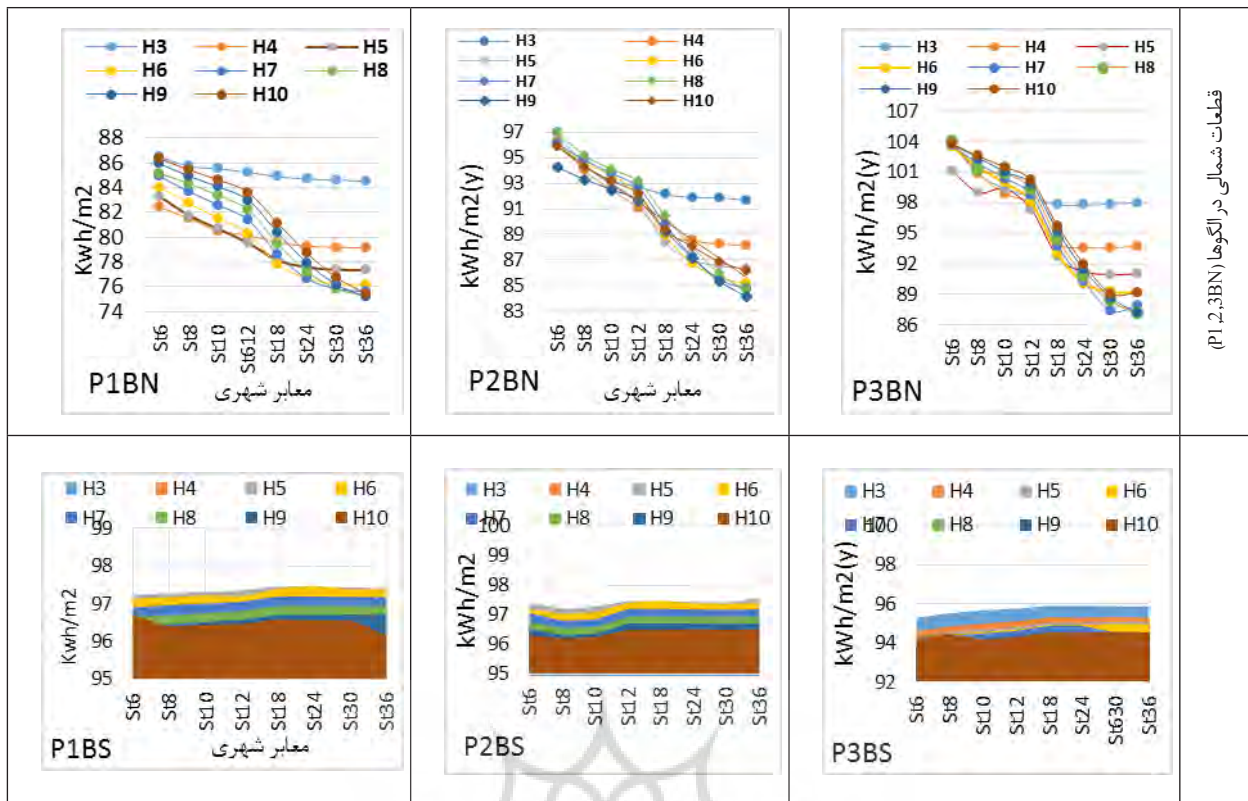
## ۴.۳. بررسی شاخص ارتفاع بر مصرف انرژی و جذب تابش خورشیدی

با افزایش ارتفاع و ثابت بودن عرض معابر شهری، مصرف انرژی سرمایشی، کاهش و در میزان مصرف انرژی گرمایشی و نهایی عملکردهای متفاوتی اتفاق می‌افتد که به نظر می‌رسد بر اثر خرد اقلیم ایجاد شده در زمستان و هندسه دره خیابان شهری در نسبت‌های مختلف  $(H/W)$  ثابت است. به طوری که در معابر ۳۰ و ۳۶ متری (دره‌های کم عمق)، کاهش مصرف انرژی نهایی و در معابر دیگر (دره‌های یکنواخت و عمیق)، افزایش مصرف انرژی نهایی مشاهده می‌شود. (نمودار شماره ۴). با توجه به نمودار جعبه (نمودار شماره ۵)، بین دامنه تغییرات  $(H/W)$  ثابت و  $H/W$  متغیر و مصرف انرژی دیده شد که در هر سه الگو با کاهش دامنه تغییرات شاخص، دامنه تغییرات مصرف انرژی هم کاهش می‌یابد. این کاهش در جهت معابر عریض تر رخ می‌دهد. طبق نمودار جذب تابش خورشیدی، مشاهده شد که با افزایش ارتفاع جذب تابش خورشیدی کاهش یافته به عبارتی دامنه تغییرات میزان جذب تابش خورشیدی در معابر با ارتفاع زیاد، کمتر از معابر با ارتفاع کم است. با تحلیل واریانس و آزمون تعقیبی توکی تفاوت میانگین در هر سه الگو با همدیگر مشاهده گردید.

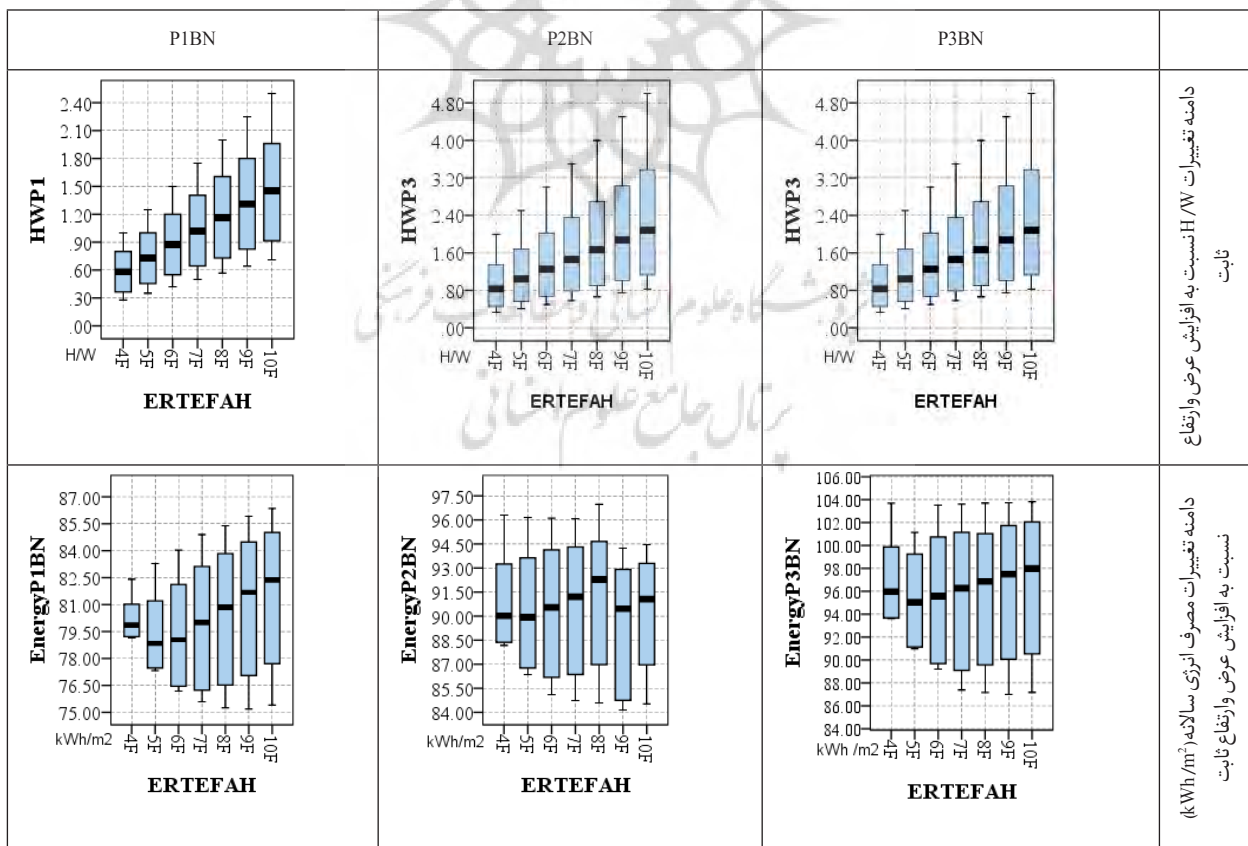
## ۴.۲. بررسی اثر فاصله بین ساختمان‌ها بر مصرف انرژی و جذب تابش خورشیدی (شاخص عرض معابر)

با ثابت بودن ارتفاع ساختمان‌ها و افزایش عرض معبر برای کلیه قطعات مسکونی شمالی و جنوبی، میزان مصرف انرژی گرمایشی و نهایی، کاهش و انرژی سرمایشی افزایش می‌یابد. اما به جز قطعات شمالی، الگوی سوم افزایش مصرف انرژی سرمایشی کم است. به گونه‌ای که تغییرات برای قطعات شمالی الگوهای اول و دوم و قطعات جنوبی الگوهای سه‌گانه، بسیار ناچیز ولی در قطعات شمالی الگوی سوم اختلاف با اختلاف مصرف انرژی بیشتری نسبت به دیگر الگوها مشاهده گردید. بنابراین تأثیر شاخص فاصله افقی بر انرژی سرمایشی به جز قطعات شمالی الگوی سوم در دیگر الگوها تأثیرگذار نیست. برای انرژی نهایی و گرمایی مشاهده گردید که در قطعات جنوبی تغییرات مصرف بسیار ناچیز است. بنابراین شاخص عرض معابر شهری در قطعات شمالی مؤثر است (نمودار شماره ۲). با بررسی و مقایسه بین دامنه تغییرات بین  $(H/W)$  ثابت و  $H/W$  متغیر و مصرف انرژی دیده شد که در هر سه الگو با افزایش شاخص (در جهت دره‌های عمیق) دامنه تغییرات و میانگین مصرف انرژی افزایش می‌یابد. به عبارتی با افزایش عرض معبر (کاهش شاخص)، جذب تابش خورشیدی افزایش و مصرف انرژی گرمایشی کاهش می‌یابد (نمودار شماره ۳).

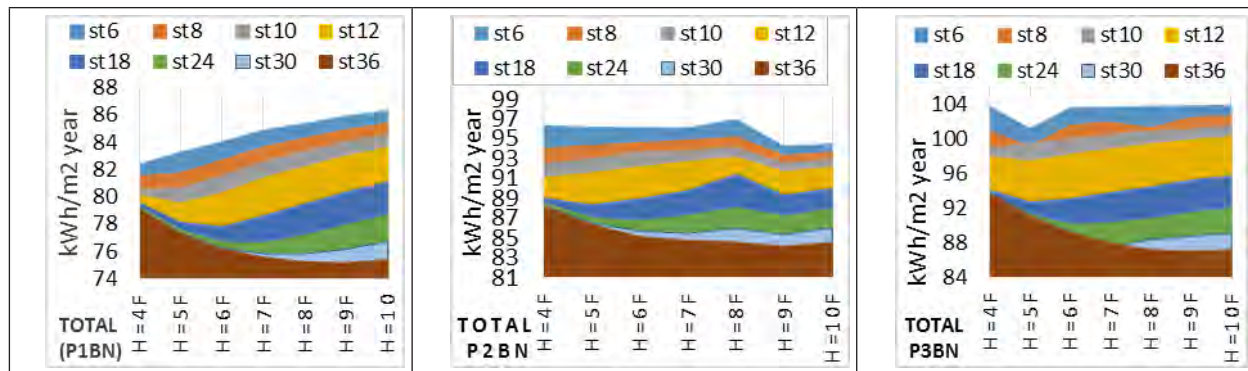
- 1 Boiler
- 2 Chiller
- 3 Sandia



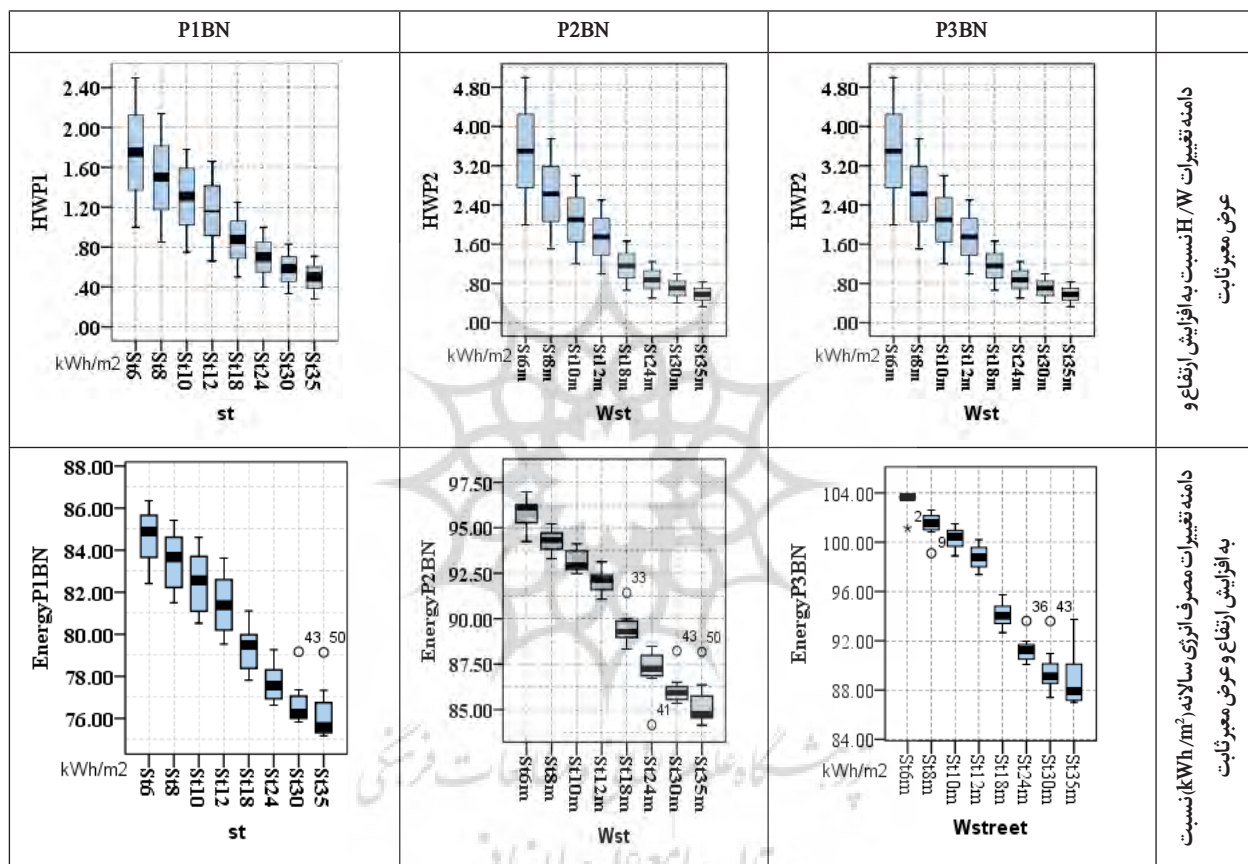
نمودار شماره ۲: نمودار مصرف انرژی نهایی قطعات الگوهای شمالی (ردیف اول) و جنوبی (ردیف دوم) بر اساس تغییرات عرض معابر شهری و ارتفاع ثابت (6m-36m) /  $H(\text{fix})/W$



نمودار شماره ۳: نمودار جعبه دامنه تغییرات شاخص  $H/W$  و مصرف انرژی نهایی قطعات الگوهای شمالی بر اساس تغییرات عرض معابر شهری و ارتفاع ثابت  $H(\text{fix})/W$  (6m-36m)



نمودار شماره ۴: نمودار مصرف انرژی نهایی قطعات الگوهای شمالی بر اساس تغییرات ارتفاع ساختمان و عرض معابر شهری ثابت  $H(3f-10f)/W(\text{fix})$



نمودار شماره ۵: نمودار جعبه دامنه تغییرات شاخص  $H/W$  و مصرف انرژی نهایی قطعات الگوهای شمالی بر اساس  $H(3f-10f)/W(\text{fix})$

افزایش فاصله افقی بین ساختمان‌ها، در الگوی اول مقدار  $(\text{kWh}/\text{m}^2)$   $0/493$ ، در الگوی دوم  $(\text{kWh}/\text{m}^2)$   $0/277$  و در الگوی سوم  $(\text{kWh}/\text{m}^2)$   $0/331$ ، کاهش مصرف انرژی روی داده و رگرسیون خطی این نتیجه را در سطح بالاتر از  $0/95$  درصد معنی دار برآورد می‌کند. این نسبت برای تمام قطعات جنوبی الگوهای سه‌گانه، دارای همبستگی معکوس بوده و مقدار  $R^2$  به دست آمده برای هر سه الگو  $0/0005$  است، که عدد بسیار ناچیز و نشان‌دهنده عدم تأثیر  $(6 \text{ تا } 36 \text{ متری})$   $H/W$  بر روی قطعات جنوبی است. در حالت دوم ارتفاع متغیر و عرض معبر ثابت در نظر گرفته شده است. نمودار پراکندگی نشان می‌دهد که بین نسبت  $(\text{تایب})$   $H/W$  و مصرف انرژی نهایی در قطعات شمالی همبستگی مثبت و  $(4 \text{ الی } 10 \text{ مقله})$   $H/W$  و مصرف انرژی نهایی در قطعات جنوبی همبستگی معکوس وجود دارد که با افزایش ارتفاع و

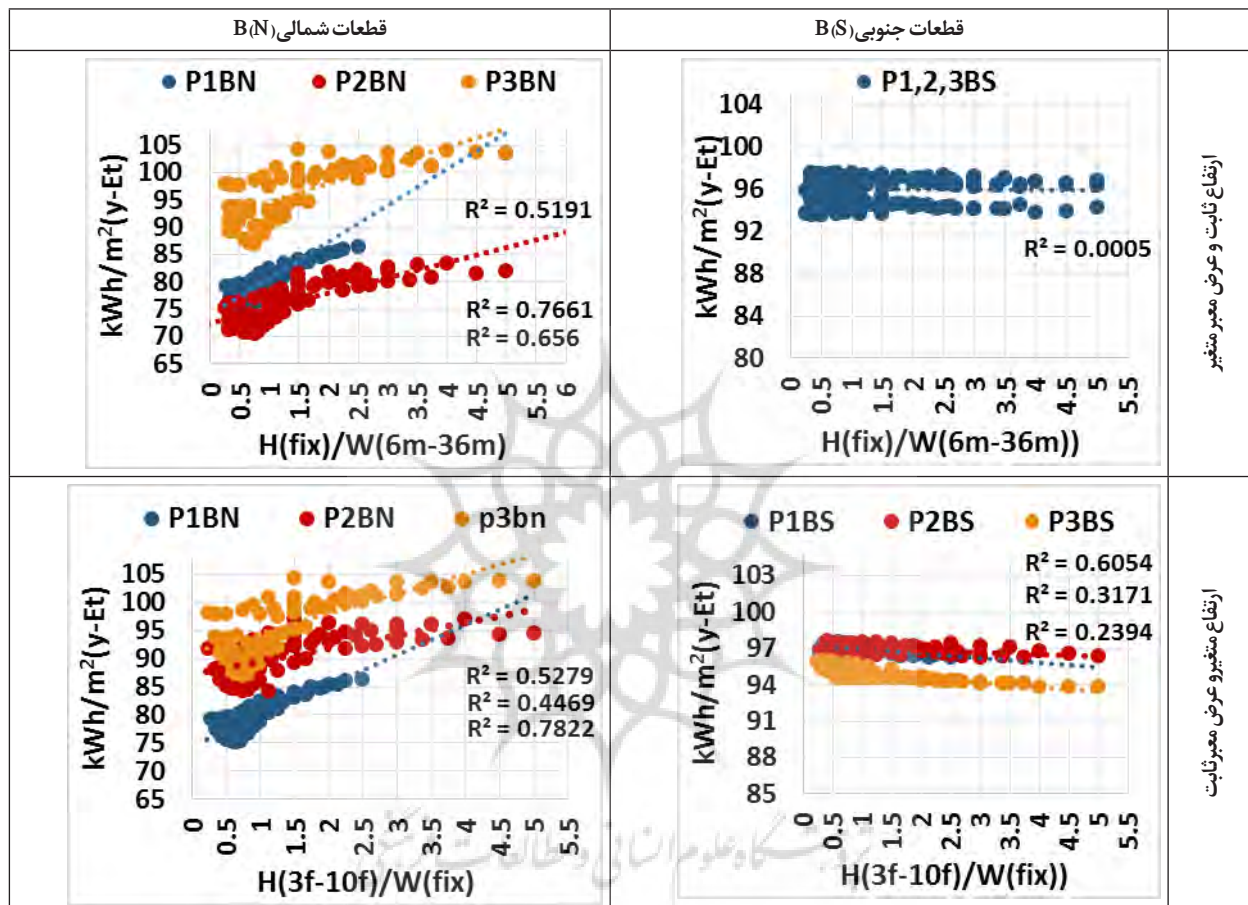
#### ۴.۴. تحلیل آماری عملکرد حرارتی الگوها بر اساس تغییرات شاخص هندسی معابر $(H/W)$

نمودار پراکندگی ۶ در حالت اول نشان می‌دهد که؛ بین نسبت  $(6 \text{ تا } 36 \text{ متری})$   $H/W$  با مصرف انرژی نهایی سالانه همبستگی مثبت و معناداری وجود دارد  $(P\text{-value}=0/001)$ . مقدار ضریب  $(R^2)$  برای الگوی اول، الگوی دوم و الگوی سوم به ترتیب ۷۷ درصد، ۶۵ درصد و ۵۱ درصد، برای تابع خطی به دست آمده است که نشان‌دهنده تغییرات مصرف انرژی نهایی سالانه به دلیل وجود نسبت  $(6 \text{ تا } 36 \text{ متری})$   $H/W$  در معابر بوده است. بنابراین در الگوی اول ۲۳ درصد و الگوی دوم ۳۵ درصد و الگوی سوم ۴۹ درصد تغییرات مصرف انرژی مربوط به شاخص‌های دیگر است. همچنین به ازای کاهش هر  $0/1$  مقدار  $H/W$  )



نتیجه را در سطح بالاتر از ۰/۹۵ درصد معنی دار برآورد می‌کند. مقدار ضریب  $R^2$  در الگوی اول، دوم و سوم قطعات جنوبی به ترتیب ۳۱ درصد، ۲۴ درصد و ۶۰ درصد برای تابع خطی به دست آمده است. همچنین به ازای افزایش هر ۱/۰ مقدار  $(H/W)$  میزان مصرف انرژی در الگوی اول  $(0.37 \text{ kWh/m}^2)$ ، در الگوی دوم  $(0.16 \text{ kWh/m}^2)$  و در الگوی سوم  $(0.37 \text{ kWh/m}^2)$  کاهش یافته و مقدار تغییرات، بسیار کمتر از قطعات شمالی است (نمودار شماره ۶).

در نتیجه مقدار  $H/W$ ، مصرف انرژی نهایی در الگوهای شمالی افزایش و در الگوهای جنوبی کاهش می‌یابد. مقدار ضریب  $R^2$  برای الگوی اول، الگوی دوم و الگوی سوم در قطعات شمالی به ترتیب ۷۸ درصد، ۴۴ درصد و ۵۲ درصد بوده که نشان دهنده تغییرات مصرف انرژی نهایی سالانه به دلیل وجود نسبت  $(H_{(تابت)})/W_{(تابت)}$  در معیار است. همچنین به ازای افزایش هر ۱/۰ مقدار  $(H/W)$  میزان مصرف انرژی در الگوی اول  $(0.526 \text{ kWh/m}^2)$  در الگوی دوم  $(0.226 \text{ kWh/m}^2)$  و در الگوی سوم  $(0.349 \text{ kWh/m}^2)$  افزایش می‌یابد. رگرسیون خطی این



نمودار شماره ۶: نمودار پراکندگی؛ قطعات جنوبی (راست) قطعات شمالی (چپ) - ردیف اول بر اساس ارتفاع ثابت و تغییرات عرض معابر شهری و ردیف دوم بر اساس تغییرات ارتفاع و عرض معابر شهری ثابت

شهر همدان در معابر ۱۲، ۱۸ و ۲۴ متری، ارتفاع ساختمان‌ها با توجه به مساحت زمین ۷ طبقه است که میزان مصرف انرژی سالانه آنها در قطعات شمالی الگوی اول به ترتیب ۸۰/۳۸، ۷۸/۶۲ و ۷۶/۶۳ است. این نشان می‌دهد که مصرف انرژی در معبر ۱۲ متری نسبت به معبر ۲۴ متری بیشتر است. بنابراین هرچه مقدار  $H/W$  کمتر باشد، مصرف انرژی سالانه کاهش می‌یابد. شاخص‌های افزایش ارتفاع در دو بخش تغییرات کالبدی و هندسه معابر شهری، بر میزان مصرف انرژی اثرگذار است. یافته‌ها نشان می‌دهد، بین مشخصات هندسی قطعات مسکونی  $(S/V)$ ،  $(Ssu/S)$ ،  $(Ssu/v)$ ،  $(Ssu/Ssh)$  و  $(Ssn/A)$ ، با انرژی مصرفی سرمایه‌یابی، رابطه همبستگی مثبت (با شدت بسیار زیاد) و با انرژی گرمایشی رابطه همبستگی معکوس (با شدت کم) در الگوی اول و سوم برقرار است که این رابطه در الگوی دوم ناچیز است. بین نسبت

برای بررسی روابط بین شاخص هندسی معابر شهری  $(H/W)$  و مصرف انرژی برای هر یک از معابر شهری، به صورت جداگانه از تحلیل ضریب همبستگی پیرسون و تفسیر آن (جدول شماره ۳) استفاده شده است. در جدول شماره ۴ نتایج ضریب همبستگی پیرسون برای هر یک از ارتفاع‌های ۴ تا ۱۰ طبقه در هر یک از معابر با عرض‌های مختلف، بین نسبت  $(H_{(fix)})/W_{(6m-36m)}$  و میزان مصرف انرژی نشان می‌دهد که با کاهش نسبت  $(H_{(fix)})/W_{(6m-36m)}$ ، میزان مصرف انرژی سرمایشی در هر سه الگو به شدت افزایش (همبستگی معکوس) و میزان مصرف انرژی گرمایشی و نهایی به شدت کاهش (همبستگی مستقیم) می‌یابد. در این تحلیل در معابر عرضی‌تر صرفه‌جویی انرژی نسبت به معابر کم عرض‌تر، بیشتر مشهود است و ساختمان‌های با ارتفاع ثابت در معابر با عرض بیشتر، مصرف انرژی سالانه کمتری دارند. به عنوان مثال در



با مصرف انرژی، مشاهده گردید تغییرات میزان  $(H/W)$  بر انرژی سرمایه‌ی، گرمایشی و نهایی تأثیرگذار بوده ولی تغییرات شاخص‌های هندسی کالبدی فقط بر انرژی سرمایه‌ی مؤثر است. در بررسی نسبت‌های برابر  $(H/W)$  (جدول شماره ۴) مشخص شد، هرچه نسبت  $(S/V)$  کمتر باشد، مصرف انرژی سالانه با شدت زیادی کاهش می‌یابد و همچنین در ساختمان‌هایی با نسبت برابر  $(S/V)$  با افزایش فاصله بین ساختمان‌ها، کاهش مصرف انرژی رخ می‌دهد. بنابراین افزایش فاصله افقی نسبت به افزایش ارتفاع از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

پنجره به سطح کل  $(WSR)$  و همچنین خرد اقلیم حاصل از ترکیب فضای باز و بسته  $(H/W)$  با مصرف انرژی سرمایه‌ی در الگوهای سه‌گانه همبستگی معکوس (شدت قوی) و با انرژی گرمایشی و نهایی همبستگی مثبت برقرار است. شدت همبستگی بین متغیر نسبت پنجره به سطح کل  $(WSR)$  با انرژی گرمایشی در الگوی اول و سوم متوسط و الگوی دوم ناچیز و همچنین شدت همبستگی  $(H/W)$  با انرژی گرمایشی و نهایی الگوهای سه‌گانه بسیار قوی است (جدول شماره ۴). با توجه به نتایج به دست آمده از شدت رابطه کل الگوها

جدول شماره ۳: تفسیر و نوع رابطه ضرایب همبستگی

ضریب همبستگی	۰/۲-۰/۰	۰/۴-۰/۲	۰/۶-۰/۴	۰/۸-۰/۶	۱-۰/۸
تفسیر	فقدان رابطه یا ناچیز	کم (ضعیف)	متوسط	قوی	بسیار قوی
نوع رابطه	علامت (+): رابطه مستقیم و علامت (-): رابطه معکوس				

منبع: Miller, 2001

جدول شماره ۴: ضریب همبستگی در نسبت‌های  $H(fix)/W(6m-36m)$  (شاخص عرض معابر) و انرژی مصرفی سالانه و نسبت‌های  $H(4f-10f)/W(fix)$  (شاخص ارتفاع) و انرژی مصرفی سالانه در قطعات شمالی، الگوهای سه‌گانه در معابر مختلف شهری

ارتفاع ساختمان (تایم)	ضریب همبستگی در نسبت‌های $H(fix)/W(6m-36m)$ (فاصله افقی بین ساختمان‌ها) و انرژی مصرفی									
	P3BN			P2BN			P1BN			$H/W = H(fix)/W(6m-36m)$
	متغیر وابسته			متغیر وابسته			متغیر وابسته			متغیر مستقل (W)
H4f	انرژی نهایی	انرژی گرمایشی	انرژی سرمایه‌ی	انرژی نهایی	انرژی گرمایشی	انرژی سرمایه‌ی	انرژی نهایی	انرژی گرمایشی	انرژی سرمایه‌ی	$H_{fix}/W_{6m-36m}$
H5f	+۰/۹۸	+۰/۹۷	-۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۹	-۰/۹۸	+۰/۹۶	+۰/۹۷	-۰/۹۴	$H_{fix}/W_{6m-36m}$
H6f	+۰/۹۵	+۰/۹۹	-۰/۹۷	+۰/۹۸	+۰/۹۸	-۰/۹۹	+۰/۹۸	+۰/۹۸	-۰/۹۵	$H_{fix}/W_{6m-36m}$
H7f	+۰/۹۶	+۰/۹۷	-۰/۹۹	+۰/۹۶	+۰/۹۷	-۰/۹۰	+۰/۹۹	+۰/۹۹	-۰/۹۶	$H_{fix}/W_{6m-36m}$
H8f	+۰/۹۴	+۰/۹۶	-۰/۹۹	+۰/۹۴	+۰/۹۵	-۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۸	-۰/۹۴	$H_{fix}/W_{6m-36m}$
H9f	+۰/۹۴	+۰/۹۵	-۰/۹۷	+۰/۹۴	+۰/۹۳	-۰/۹۹	+۰/۹۸	+۰/۹۸	-۰/۹۷	$H_{fix}/W_{6m-36m}$
H10f	+۰/۹۲	+۰/۹۴	-۰/۹۸	+۰/۹۲	+۰/۹۳	-۰/۹۹	+۰/۹۸	+۰/۹۷	-۰/۹۷	$H_{fix}/W_{6m-36m}$
	+۰/۹۲	+۰/۹۴	-۰/۹۷	+۰/۹۷	+۰/۹۲	-۰/۹۹	+۰/۹۷	+۰/۹۷	-۰/۹۹	$H_{fix}/W_{6m-36m}$
هندسه ارتفاع درکالبد معابر مجاور معابر	ضریب همبستگی در نسبت‌های $H(4f-10f)/W(fix)$ (شاخص ارتفاع) و انرژی مصرفی									
	P3BN			P2BN			P1BN			متغیر مستقل
	سطح به حجم			سطح به حجم			سطح به حجم			$(S/V)$
	+۰/۰۸	-۰/۳۷	+۰/۸۱	+۰/۰۷	-۰/۰۷	+۰/۸۶	-۰/۱۵	-۰/۲۹	+۰/۹۴	$(WSR)$
	پنجره به سطح			پنجره به سطح			پنجره به سطح			$(Ssu/S)$
	+۰/۰۱۶	+۰/۳۷	-۰/۸۲	+۰/۰۶	+۰/۰۸	-۰/۸۸	+۰/۱۴	+۰/۲۹	-۰/۹۵	$(Ssu/V)$
	سطوح آفتابی به سطح			سطوح آفتابی به سطح			سطوح آفتابی به سطح			$(Ssu/Ssh)$
	+۰/۰۲	-۰/۳۳	+۰/۷۷	+۰/۰۵	-۰/۰۸	+۰/۸۵	-۰/۰۹	-۰/۲۴	+۰/۹۱	$(Ssu/A)$
سطح آفتابی به حجم			سطح آفتابی به سایه			سطح آفتابی به زیربنا			$(H/W)$	
+۰/۰۴	-۰/۳۱	+۰/۷۴	+۰/۰۶	-۰/۰۷	+۰/۸۴	-۰/۰۷	-۰/۲۳	+۰/۹۰	ارتفاع	
+۰/۰۲	-۰/۳۶	+۰/۸۲	+۰/۰۶	-۰/۰۸	+۰/۸۹	-۰/۱۳	-۰/۲۸	+۰/۹۶		
-۰/۰۰۵	-۰/۳۶	+۰/۷۶	+۰/۰۵	-۰/۰۷	+۰/۸۰	-۰/۱۶	-۰/۲۹	+۰/۸۷		
+۰/۸۴	+۰/۹۵	-۰/۸۵	+۰/۷۸	+۰/۸۵	-۰/۷۶	+۰/۸۸	+۰/۹۴	-۰/۷۳		

به ترتیب با مقدار بتا؛  $۰/۸۴۸$  و  $۰/۲۷۶$ ، بهترین متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی و تبیین مصرف انرژی هستند. عوامل ارتفاع به عرض معبر  $(H/W)$  و سطح سایه به سطح آفتاب  $(Ssh/Ssu)$  با همدیگر ۹۰ درصد واریانس انرژی گرمایشی و ۸۹ درصد واریانس انرژی نهایی را تبیین می‌کنند و هر یک به ترتیب با مقدار  $(Beta)$ ؛  $۰/۹۹۷$  و  $۰/۱۲۴$  برای انرژی گرمایشی و  $۰/۱۰۲$  و  $۰/۲۹۰$  برای انرژی نهایی بهترین متغیرهای

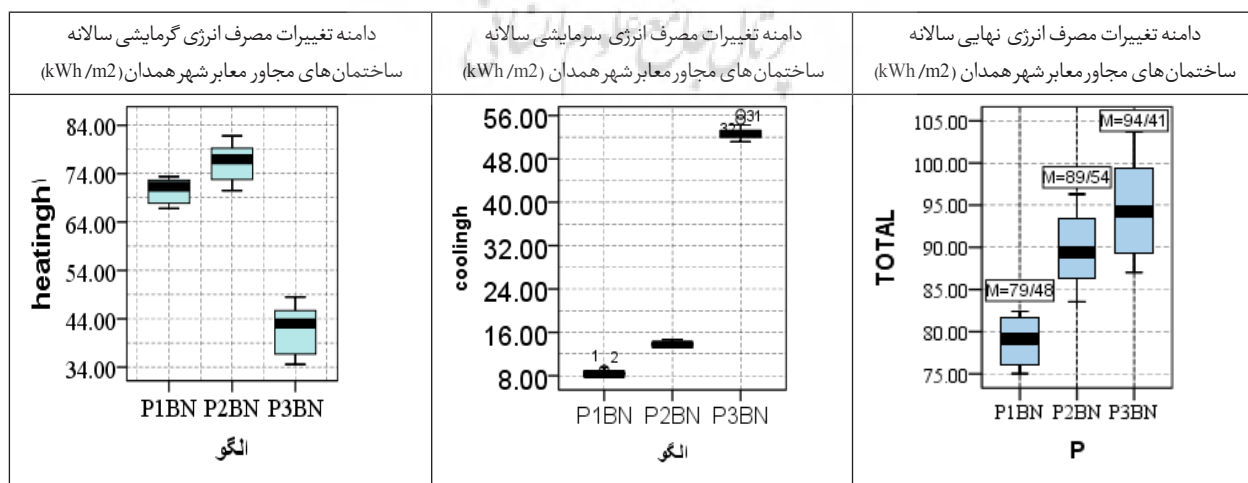
به منظور تعیین دقیق تر رابطه و تشخیص سهم هریک از شاخص‌های هندسی متأثر از افزایش ارتفاع (تغییرات کالبدی) بر میزان مصرف انرژی، از تحلیل رگرسیون چندگانه استفاده شد. با ورود هر هفت متغیر مستقل هندسه کالبدی، در رگرسیون برای الگوی اول عوامل سطح سایه به زیربنا  $(Ssh/A)$  و ارتفاع به عرض معبر  $(H/W)$  با همدیگر ۹۹ درصد واریانس میزان مصرف انرژی سرمایه‌ی و هر یک

برای تمام الگوها بیشترین صرفه جویی در معبر ۳۶ متری با میانگین (۱-٪) مشاهده گردید. برای شاخص تغییرات ارتفاع (عرض معبر ثابت) بیشترین افزایش مصرف انرژی در ارتفاع ۳ طبقه در تمام معابر با میانگین (۳/۰۷+) و بیشترین کاهش مصرف انرژی در ارتفاع ۵ طبقه در تمام معابر با میانگین (۲/۷۶-) است.

#### ۴/۵. بررسی عملکرد حرارتی ساختمان های فعلی معابر شهر همدان

با توجه به مشخص شدن شاخص های مؤثر کالبدی و هندسه معابر شهری بر میزان مصرف انرژی به بررسی این عوامل در هندسه معابر شهر همدان برای هر سه الگو پرداخته می شود. با تحلیل واریانس که به منظور بررسی معنی داری وجود اختلاف، در بین میانگین های شاخص هندسی معبر و کالبدی الگوها صورت می گیرد، می توان با سطح اطمینان ۹۵ درصد در تمام الگوها بیان کرد که الگوهای مختلف دارای میانگین متفاوتی در شاخص کالبدی هستند ( $P=0/0000/05$ ). آزمون توکی نشان می دهد که تفاوت معنی داری در دو الگوی اول و دوم با هم مشاهده نمی گردد ولی در الگوی سوم تفاوت با دو الگوی دیگر وجود دارد. با بررسی شرایط کالبدی و شاخص های هندسی معبر و کالبدی به خصوص مقدار سطح در معرض آفتاب و سایه در نمودار جعبه مشاهده می گردد که میانگین این شاخص ها در الگوی سوم ( $H/W=1$ ),  $Ssu=m^2 600$  و  $Ssh=m^2 220$  تفاوت زیادی با دو الگوی دیگر ( $Ssu=m^2 180$  و  $Ssh=m^2 640$ ) دارد. با تحلیل واریانس، می توان با سطح اطمینان ۹۵ درصد در تمام الگوها بیان کرد که الگوهای مختلف دارای میانگین متفاوتی در مصرف انرژی هستند ( $P=0/0000/05$ ). آزمون توکی نشان می دهد که تفاوت معنی داری در مصرف انرژی نهایی هر سه الگو وجود دارد. نمودار جعبه نشان می دهد، در شهر همدان دامنه تغییرات میزان مصرف انرژی گرمایشی در الگوی اول و دوم به هم نزدیک اما در الگوی سوم بسیار متفاوت و تقریباً در محدوده نصف دو الگوی دیگر است. علت این امر در معرض قرار گرفتن سه جداره عمودی در برابر تابش مستقیم نور خورشید و جذب تابش بیشتر جداره های الگوی سوم است (نمودار شماره ۷).

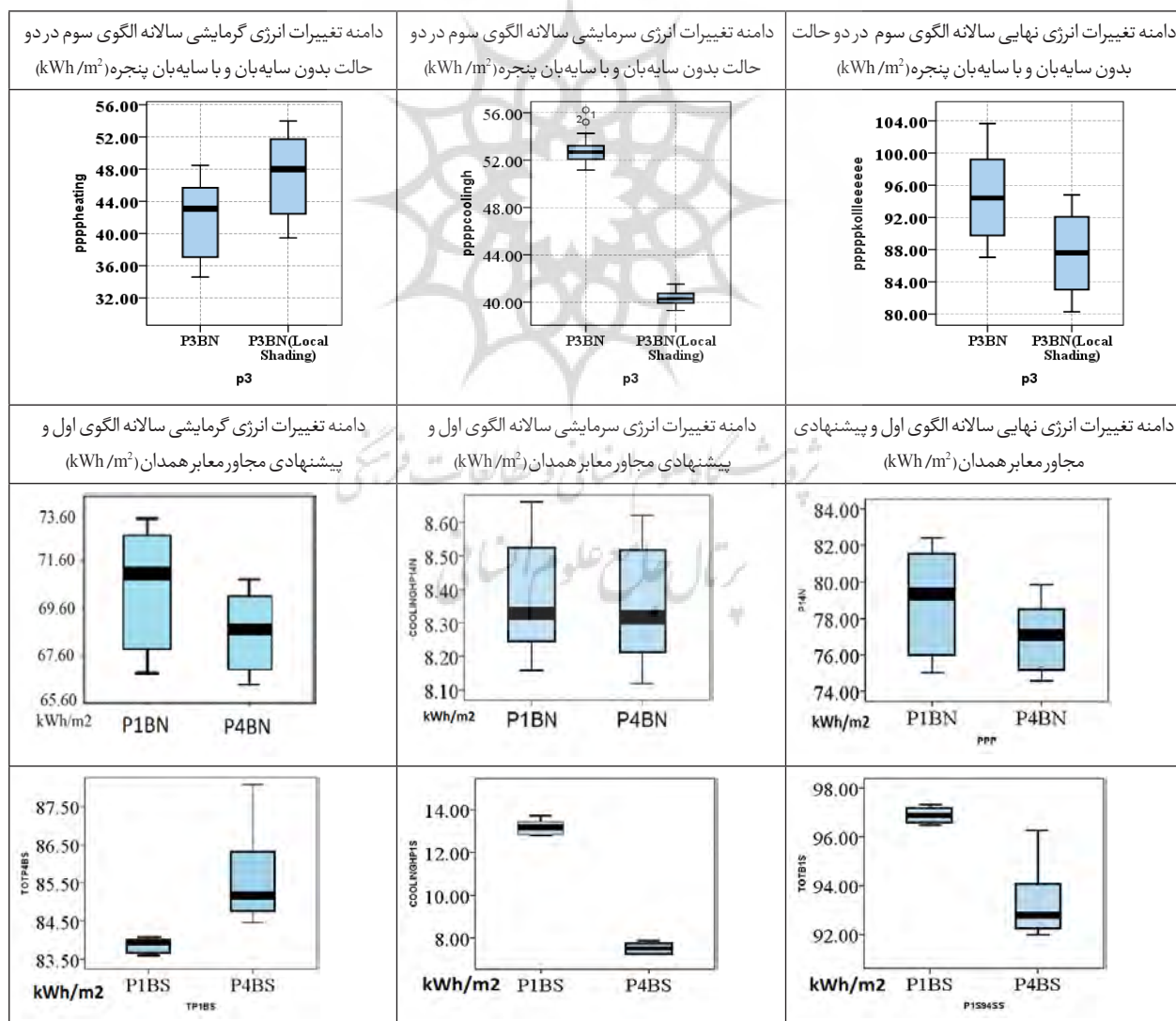
مستقل برای پیش بینی و تبیین مصرف انرژی هستند. برای الگوی دوم عوامل سطح آفتاب به زیرینا، ارتفاع به عرض، سطح آفتاب به سطح کل و سطح سایه، با همدیگر ۹۸ درصد واریانس میزان مصرف انرژی سرمایشی و هریک به ترتیب با مقدار (Beta)؛  $0/419$ ،  $0/484$ ،  $0/160$  و  $0/128$  بهترین متغیرهای مستقل برای پیش بینی و تبیین مصرف انرژی هستند. عوامل ارتفاع به عرض معبر و سطح آفتاب به سطح سایه با همدیگر ۸۲ درصد واریانس انرژی گرمایشی و  $0/981$  و  $0/468$  برای انرژی نهایی بهترین متغیرهای مستقل برای پیش بینی و تبیین مصرف انرژی هستند. برای الگوی سوم، عوامل ارتفاع به عرض و سطح آفتاب به سایه، با همدیگر ۹۸ درصد واریانس میزان مصرف انرژی سرمایشی و هریک به ترتیب با مقدار (Beta)؛  $0/569$ ،  $0/613$ ،  $0/569$  و تبیین مصرف انرژی هستند. تنها عامل ارتفاع به عرض معبر با  $0/14$  درصد برای انرژی گرمایشی و عوامل ارتفاع به عرض و سطح آفتاب به سطح کل با همدیگر ۸۷ درصد واریانس انرژی نهایی را تبیین می کنند و هریک به ترتیب با مقدار (Beta)  $0/380$  برای انرژی گرمایشی و  $0/26$  و  $0/442$  برای انرژی نهایی بهترین متغیرهای مستقل برای پیش بینی و تبیین مصرف انرژی هستند. بنابراین مطالعه حاضر آشکار کرده است که نسبت  $H/W$ ، مقدار سطوح در معرض تابش مستقیم آفتاب و سطح سایه بر عملکرد حرارتی قطعات مسکونی شهر همدان مؤثر است. برای تعیین میزان درصد صرفه جویی و افزایش انرژی با تغییرات شاخص هندسی ( $H/W$ ) در هر دو حالت (شاخص عرض معبر و ارتفاع) از مدل مرجع ارتفاع استفاده شده است. مدل مرجع برای انتخاب ارتفاع بهینه با استفاده از حداقل زاویه تابش در همدان ( $30^\circ$  محاسبه گردید. در این صورت  $H/W=0/53$ ، مدل مرجع برای شاخص هندسی معابر است. برای شاخص عرض معبر بیشترین درصد افزایش انرژی با ارتفاع ثابت در معابر با عرض کم هست؛ به طوری که میانگین افزایش انرژی برای قطعات شمالی الگوی اول برای معبر ۶ متری ( $9/94+$ ) درصد، برای الگوی دوم افزایش مصرف برابر  $12/87+$  درصد و برای الگوی سوم  $12/08+$  درصد برای ارتفاع ۳ تا ۱۰ طبقه است. در این شاخص



نمودار شماره ۷: ردیف اول- نمودار جعبه دامنه تغییرات انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی الگوهای سه گانه معابر با ارتفاع فعلی ساختمان های شهر همدان. ردیف دوم: دامنه تغییرات شاخص کالبدی الگوهای سه گانه ساختمان های معابر همدان

مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. به این شکل که عمق حیاط قطعات جنوبی در مجاور معبر قرار دارد. بنابراین شاخص  $H/W_{(CO)}$  حذف شده و عمق حیاط به شاخص  $H/W$  معبر افزوده می‌شود و در نتیجه سطح جداره سایه کمتر است. بر این اساس بیش از ۵۰ درصد دامنه تغییرات انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی قطعات شمالی الگوی پیشنهادی (P4BN) با میانگین  $۸/۳۱، ۶۸/۸$  و  $۷۷/۰۲$  است (نمودار شماره ۸). در مقایسه با الگوی اول برای انرژی گرمایشی  $۳/۷$  درصد کاهش، انرژی سرمایشی بدون تغییر و انرژی نهایی  $۳/۱$  درصد کاهش رخ می‌دهد و در قطعات جنوبی الگوی پیشنهادی (P4BS) برای انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی با میانگین  $(۹۲/۸ و ۷/۴، ۸۵/۶۳)$  در مقایسه با الگوی اول به ترتیب  $۲$  درصد افزایش گرمایشی و  $۴۲/۹$  درصد کاهش سرمایشی و  $۴/۷۳$  کاهش انرژی نهایی رخ می‌دهد. در مقایسه بین هر پنج الگو (سه الگوی اصلی و دو الگوی (سایه بان و پیشنهادی))، عملکرد حرارتی الگوی پیشنهادی بهینه‌ترین و الگوی اول با میانگین انرژی  $(E_{(cooling)} = ۸/۳۳, kWh/m^2, E_{(heating)} = ۷۱/۳۲, kWh/m^2)$  در رتبه دوم قرار دارد و الگوی سوم غیر بهینه‌ترین الگو است.

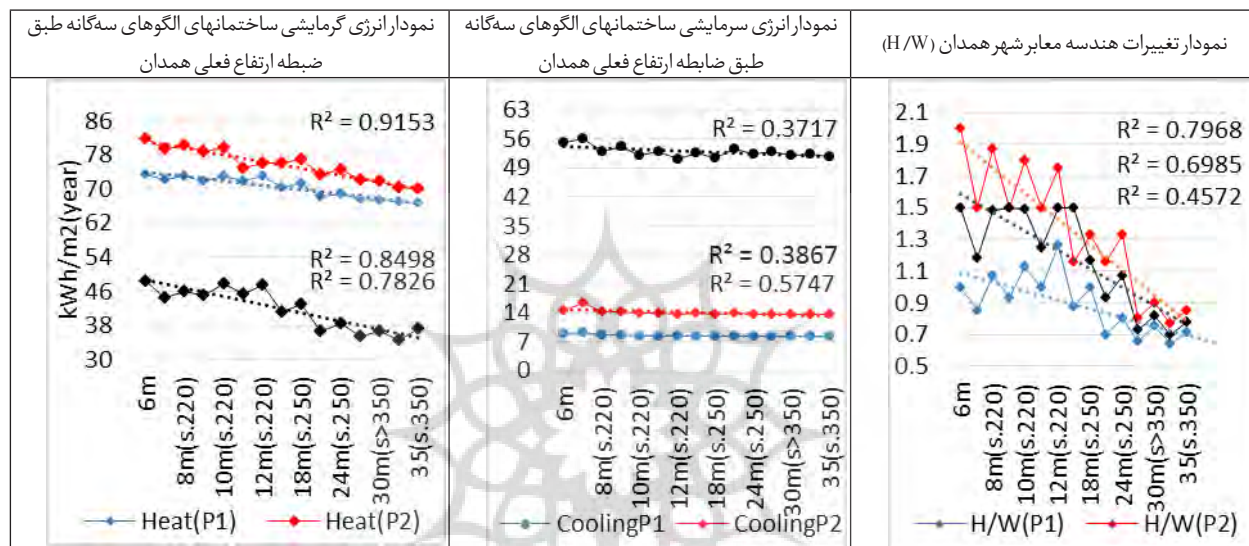
میانگین انرژی سرمایشی در الگوی اول در محدوده  $۹ kWh/m^2$  و برای الگوی دوم در محدوده  $۱۴ kWh/m^2$  است اما برای الگوی سوم در محدوده  $۵۲ kWh/m^2$  است که اختلاف بسیار زیادی دارد. چنانچه تمهیداتی در بحث سایه بان برای بدنه های ساختمان و بحث تهویه طبیعی در الگوی سوم انجام پذیرد، می‌توان این الگو را مناسب اقلیم همدان به منظور بهبود عملکرد حرارتی دانست. بنابراین در الگوی سوم برای کاهش مصرف انرژی سرمایشی دوباره این الگو با حالت ایجاد سایه بان مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. طبق نمودار جعبه میانگین دامنه تغییرات انرژی سرمایشی بدون سایه بان  $۶۶ kWh/m^2$  و  $۵۲ kWh/m^2$  و با سایه بان  $۲۹/۴۰ kWh/m^2$  است. با ایجاد سایه بان مقدار انرژی سرمایشی  $۲۳/۴۹$  درصد کاهش می‌یابد. برای انرژی گرمایشی بدون سایه بان  $۴۳/۰۷ kWh/m^2$  و با حالت سایه بان  $۴۸ kWh/m^2$  و مقدار  $۱۱/۴۴$  درصد افزایش رخ داده است، ولی در نهایت برای انرژی نهایی بدون سایه بان  $۹۴/۴۱ kWh/m^2$  و با سایه بان  $۸۷ kWh/m^2$  و مقدار  $۷/۸۴$  درصد کاهش رخ می‌دهد. (نمودار شماره ۸). برای کاهش مصرف انرژی یک الگوی پیشنهادی با تغییر استقرار الگوی اول به صورت به هم پیوستگی سطح اشغال قطعات شمالی و جنوبی دوباره



نمودار شماره ۸: نمودار جعبه مقایسه بین الگوی سوم بدون سایه بان و با سایه بان (ردیف اول) - بین الگوی اول و الگوی پیشنهادی ردیف دوم و سوم

از معبر ۶ متری به سمت معبر ۳۵ متری، به دلیل کمتر شدن نسبت H/W است (نمودار شماره ۹). برای تعیین میزان درصد افزایش و کاهش انرژی بر اساس ضابطه ارتفاع طرح تفصیلی همدان، از مدل مرجع بیان شده استفاده گردید. نتایج در مقایسه با مدل مرجع نشان می‌دهد، در معابر ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۸ متری مصرف انرژی و معبر ۱۸ متری افزایش و معابر ۲۴، ۳۰ و ۳۵ متری بدون تغییر وجود دارد. برای تعیین ارتفاع بهینه، میزان مصرف انرژی برای هر معبر به صورت مجزا، در ارتفاع‌های مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش ارتفاع یک طبقه در معابر ۱۰، ۱۲، ۲۴ و ۳۰ متری و کاهش دو طبقه در معبر ۱۸ متری و همچنین ارتفاع ثابت برای قطعات با هر مساحت، باعث عملکرد بهینه حرارتی ساختمان‌ها در معابر شهر همدان است.

در بررسی ضابطه ارتفاع برای تمام معابر فعلی شهر همدان می‌توان بیان داشت که با توجه به نمودار شماره ۹، شاخص هندسی معابر شهر همدان (H/W) بر اساس ضوابط ارتفاع موجود، با افزایش عرض معابر کاهش یافته و هندسه دره‌شهری معابر در جهت دره‌های کم عمق هدایت می‌شود (همبستگی معکوس) و این نشان‌دهنده دریافت تابش نور خورشید بیشتر در معابر عریض‌تر است. معابر عریض‌تر با دره‌های هندسی کم عمق، عملکرد حرارتی بهتری داشته و در آنها کاهش مصرف انرژی گرمایشی بیشتری دیده می‌شود. مقدار ضریب ( $R^2$ ) انرژی گرمایشی برای معابر شهر همدان در الگوهای سه‌گانه به ترتیب ۸۴، ۹۱ و ۷۸ درصد، برای انرژی سرمایشی ۳۸، ۵۷ و ۳۷ درصد برای تابع خطی و در جهت معکوس به دست آمده است که نشان‌دهنده تغییرات مصرف انرژی نهایی سالانه در جهت کاهش مصرف انرژی



نمودار شماره ۹: ستون چپ (نمودار خطی انرژی گرمایشی ساختمان‌های مجاور معابر همدان) - ستون میانی (نمودار خطی انرژی سرمایشی ساختمان‌های مجاور معابر همدان) - ستون راست (شاخص H/W معابر شهر همدان بر اساس ضابطه ارتفاع)

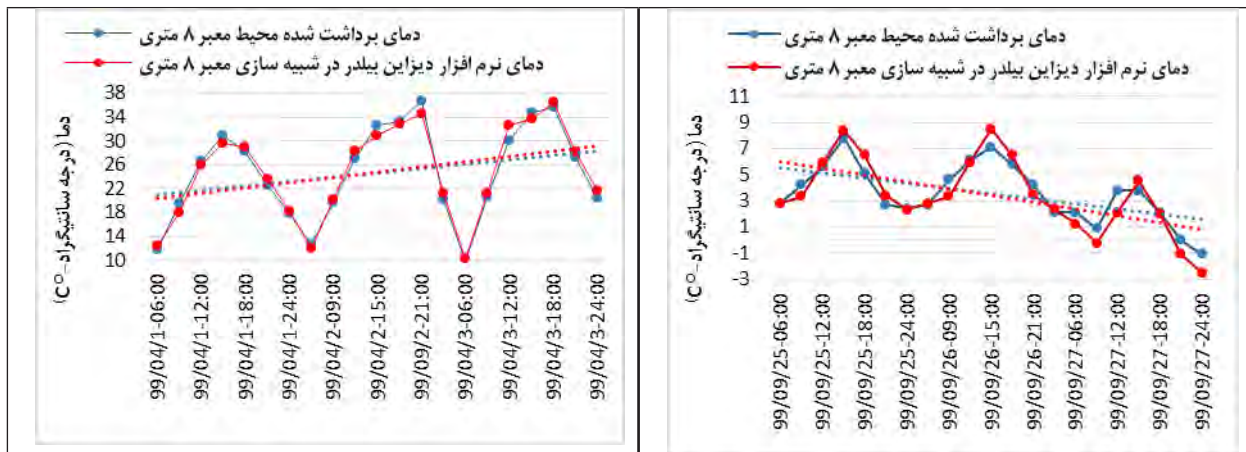
طبقه در منطقه اعتمادیه همدان انتخاب و در روزهای ۲۰ و ۳ تیرماه و همچنین ۲۵، ۲۶ و ۲۷ آذرماه ۱۳۹۹ با استفاده از دیتالاگرسنجش دما و تحت شرایط استاندارد اقدام به برداشت و ثبت دمای هوا شد. دمای برداشت شده با دمای محاسبه شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر در همان روز مورد مقایسه قرار گرفت. طبق نمودار شماره ۱۰، نتایج به دست آمده بیانگر روند مشابه بین دمای برداشت شده و دمای حاصل از شبیه‌سازی (با تفاوت قابل چشم‌پوشی بین ۰/۱ تا ۱/۶ درجه) است. علاوه بر برداشت میدانی، برای اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی انرژی، یک قطعه شمالی مجاور معبر ۱۸ متری الگوی اول که با نرم‌افزار دیزاین بیلدر در مرحله قبل شبیه‌سازی شده بود، دوباره با نرم‌افزار کریز نسخه (HAP 4.5) شبیه‌سازی انجام پذیرفت تا نتایج هر دو نرم‌افزار با هم مقایسه گردد. نرم‌افزار کریز برای تخمین انرژی مصرفی ساختمان در یک سال استفاده می‌شود. در این نرم‌افزار ابتدا همان داده‌های اقلیمی ۲۱ ساله شهر همدان (۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷) وارد گردید. تمام زون‌بندی<sup>۲</sup> فضاها بر اساس مدل‌های تعریف شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر انتخاب گردید و تمام تنظیمات و داده‌های ورودی از

#### ۴.۶ اعتبارسنجی شبیه‌سازی

علاوه بر تأیید و اعتبارسنجی موتور شبیه‌ساز نرم‌افزار دیزاین بیلدر توسط دیپارتمان انرژی آمریکا (Mosleh et al, 2009) این نرم‌افزار در مطالعات مختلفی مورد استفاده و اعتبارسنجی آن، هم از طریق تجربی (اندازه‌گیری‌های میدانی) و هم مقایسه‌ای (مقایسه نتایج نرم‌افزارهای مختلف با همدیگر) قرار گرفته و نتایج قابل قبول ارزیابی شده است (Karimi et al, 2019., Zomorodian & Tahsildost, 2016; Ran & Tang, 2018., Zarghami & adibi, 2016; Blanco et al, 2016; Rubeis et al, 2018.). یکی از مزیت‌های کلیدی نرم‌افزار دیزاین بیلدر، انجام محاسبات شبیه‌سازی انرژی ساختمان اصلی با توجه به تأثیرات سایه‌اندازی و انعکاس نور خورشید از ساختمان‌های مجاور و احجام و اشیاء در همسایگی آن است که تنظیمات در قسمت (Constructio-Shades & Reflects-Solar) انجام می‌شود که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. در شهر همدان از این نرم‌افزار در بررسی خانه‌های تاریخی استفاده شده و با استفاده از روش مقایسه‌ای با نرم‌افزارهای مختلف، اعتبارسنجی انجام شده است. برای اطمینان بیشتر از هر دو روش تجربی و مقایسه نرم‌افزار استفاده گردیده است. یک معبر شهری با عرض ۸ متری هماهنگ با الگوی اول با ارتفاع ۴

1 Carrier  
2 Zoning





نمودار شماره ۱۰: اعتبار سنجی نرم افزار بر اساس نمودار دمای برداشت شده و نتایج خروجی شبیه سازی نرم افزار دیزاین بیلدر در معبر ۸ متری- سمت راست آخر آذرماه- سمت چپ اوایل تیرماه

شماره ۵ مقایسه نتایج در هر دو نرم افزار نشان می دهد که به ترتیب در مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی در حدود ۷/۴، ۹/۵ و ۵/۶ درصد اختلاف وجود دارد. با توجه به این نتایج (برداشت محیطی و مقایسه نرم افزارها) تغییرات قابل قبول و اعتبارسنجی مورد تأیید قرار گرفت.

جمله اطلاعات ساختمان (کاربری پلان معماری، اطلاعات مصالح به کاررفته در دیوارها، سقف ها، پنجره ها، درها، کف سایه بان، پارتیشن بین فضاها و روشنایی)، موقعیت مکانی پروژه و تجهیزات تأسیسات مکانیکی همانند دیزاین بیلدر انجام پذیرفت. بعد از شبیه سازی میزان بار گرمایشی و سرمایشی و نهایی بر زیربنای ساختمان تقسیم گردید که میزان مصرف انرژی بر حسب زیربنا به دست آید و در جدول

جدول شماره ۵: مقایسه میزان مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی قطعات شمالی الگوی اول در معبر ۱۲ متری با دو نرم افزار دیزاین بیلدر و کریر

نرم افزار	انرژی گرمایشی (Kwh/m <sup>2</sup> )	انرژی سرمایشی (Kwh/m <sup>2</sup> )	انرژی نهایی (Kwh/m <sup>2</sup> )
دیزاین بیلدر	۷۱/۸۶	۸/۴۰	۸۰/۲۷
کریر	۶۶/۵۴	۹/۲	۷۵/۷۴
میزان درصد اختلاف (%)	۷/۴ درصد	۹/۵ درصد	۵/۶ درصد

شرقی و غربی مورد بررسی قرار گرفته اند. به عنوان مثال در مطالعه زمانی و همکاران (Zamani, et al, 2017) که به بررسی اثر حیات میانی بلوک های شهری در میزان مصرف انرژی پرداخته شده است، مدل های شبیه سازی، فقط در همجواری شرقی و غربی دیده شده و عناصر ردیف های شمالی و جنوبی و اثر شاخص هندسه معابر شهری مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به اکثر مطالعات خارجی، برای اقلیم های مختلف، شاخص هندسه معابر شهری به شدت در عملکرد حرارتی مؤثر است و نمی توان به نتایج شبیه سازی تک بنا اکتفا نمود. نتیجه این بخش همسو با مطالعات گذشته است. به عنوان مثال علی تودرت و میر (Ali-Toudert & Mayer, 2006)، جوانرودی و همکاران (Javanroodi, et al, 2018)، وارثولومایوس (Vartholomaios, 2017) و منگن و همکارانش (Mangan, 2021) در مطالعات خود تأکید دارند که هندسه شهری (H/W) یک عامل کلیدی در مصرف انرژی ساختمان ها است.

- براساس نتایج حاصل از دو شاخص می توان بیان نمود که افزایش ارتفاع باید همراه با افزایش فاصله بین ساختمان ها (عرض معابر شهری) باشد تا شاخص (H/W) به منظور کاهش مصرف انرژی مؤثر واقع گردد. بنابراین هرچه مقدار (H/W) در معابر شهری اقلیم سرد همدان عدد کمتری باشد، میزان مصرف انرژی ساختمان کاهش می یابد. در شهر

## ۵. نتیجه گیری

در این نوشتار ارزیابی عملکرد حرارتی الگوها منطبق بر الگوی شهری همدان انجام پذیرفت و مشخص شد که تغییرات شاخص هندسه معبر (H/W)، در میزان مصرف انرژی سالانه قطعات شمالی الگوهای سه گانه سطح اشغال، در اقلیم سرد همدان مؤثر بوده و در قطعات جنوبی تأثیر اندک دارد. با توجه به تحلیل یافته ها، در صورت افزایش فاصله افقی بین ساختمان ها، کاهش مصرف انرژی سالانه در ساختمان های مسکونی شمالی تمام الگوها به وجود می آید. دلیل این وضعیت قرارگیری قطعات شمالی در معرض تابش مستقیم نور خورشید در فصول سرد سال در اقلیم همدان است. قطعات جنوبی همواره در معرض سایه قرار دارد که توجه به افزایش عمق حیات در الگوی اول و دوم باعث دریافت بیشتر تابش خورشیدی و کاهش مصرف انرژی گرمایشی می شود. این در حالی است که افزایش ارتفاع بدون توجه به عرض معابر شهری باعث قرارگیری احجام ساختمان ها در سایه شده و مصرف انرژی گرمایشی و نهایی سالانه ساختمان افزایش می یابد. در ادامه مهمترین نتایج آمده است:

- این مطالعه مشخص نمود عملکرد صحیح حرارتی ساختمان های مسکونی، بدون توجه به عناصر همجواری نادرست است. دربرخی از مطالعات ساختمان ها به صورت تک بنا یا فقط با همجواری

همدان معابر ۲۴ تا ۳۵ متری به دلیل داشتن دره‌هندسی یکنواخت و کم‌عمق ( $H/W_{(p1)} = 0/86 - 0/69$ ،  $H/W_{(p2-3)} = 1/08 - 0/81$ ) عملکرد بهتری دارند و معبر ۱۲ متری به دلیل نزدیکی به دره هندسی عمیق، عملکرد حرارتی ضعیفی نسبت به معابر دیگر دارد ( $H/W_{(p1)} = 1/24$ )،  $(H/W_{(p2-3)} = 1/83)$ .

- با افزایش عمق حیاط در قطعات جنوبی الگوی اول می‌توان کاهش چشمگیر مصرف انرژی گرمایشی را ایجاد نمود. پیشنهاد می‌گردد عمق حیاط قطعات جنوبی از ۶ متر به ۱۰ متر افزایش یابد تا جداره جنوبی در معرض بیشتر تابش آفتاب قرار گرفته و شاخص  $H/W_{(CO)}$  داخل حیاط عدد کمتری داشته باشد. با توجه به ساختار بافت شهر همدان تفکیک قطعات شمالی ۲۰۰ متر مربع ( $20 \times 10$ ) و جنوبی ۲۴۰ متر مربع ( $24 \times 10$ ) با طول سطح اشغال ۱۴ متر پیشنهاد می‌گردد که بهتر است در بخش توسعه شهر و تفکیک قطعات شهری لحاظ گردد.

- با بررسی دره‌های هندسی وضع موجود معابر شهر همدان، کاهش یک طبقه‌ی وضعیت فعلی در معابر ۱۰، ۱۲، ۲۴ و ۳۰ متری و برای معبر ۱۸ متری دو طبقه و عدم تأثیر مساحت زمین در افزایش یک طبقه‌ی معابر برای عملکرد بهتر حرارتی الگوها، لازم و ضروری است.

- با توجه به این که مطالعه حاضر در اقلیم سرد انجام شده، طبق تحلیل رگرسیون چندگانه، متغیرهای مستقل ( $H/W$ ) و عوامل هندسی مؤثر در افزایش ارتفاع (میزان سطح در معرض تابش آفتاب به سطح کل و سایه)، به‌طور معنی‌داری در تبیین میزان مصرف انرژی مؤثر بوده و از قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های انرژی گرمایشی، گرمایشی و نهایی هستند. عامل دسترسی به نور خورشید در اقلیم سرد در فصول سرد سال و طراحی سایه‌سازها در بدنه‌هایی از بنا که در معرض تابش مستقیم نور خورشید در تابستان هستند، بسیار ضروری است، ایجاد سایه‌بان در طراحی نما برای بدنه‌های رو به جنوب الزامی است. این پدیده باعث کاهش ۷/۸۱ درصدی انرژی گرمایشی برای قطعات شمالی الگوی سوم شده است.

- با توجه به نتایج رگرسیون چندگانه و تأثیر پذیری عملکرد مطلوب حرارتی با شاخص‌های سطح در معرض تابش نور خورشید و سطح سایه، اصلاح الگوی سطح اشغال به سمت کاهش سطح سایه و افزایش سطح جداره تابش خورشیدی در قطعات شهری مناسب است. با بررسی یک الگوی پیشنهادی مشخص گردید تغییر در الگوی سطح اشغال می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی و باعث بهبود عملکرد حرارتی گردد. به طوری که الگوی پیشنهادی مطالعه حاضر باعث کاهش ۴۲/۹ درصد انرژی گرمایشی و کاهش ۴/۷۳ درصدی انرژی نهایی می‌شود.

- به‌طور کلی نتیجه به دست آمده، همسو با برخی از مطالعات پیشین در سطح جهان بوده، هرچند این مطالعه ممکن است برای اقلیم گرم و خشک نتیجه متفاوتی داشته باشد. در بیشتر مطالعات، محققان ایرانی به اثر هندسه ( $H/W$ ) بر آسایش حرارتی، جزیره حرارتی و کیفیت هوا پرداخته‌اند و به اثر شاخص ( $H/W$ ) بر عملکرد حرارتی ساختمان کمتر پرداخته شده است. به‌عنوان مثال تابان و همکاران (Taban, et al, 2013) و چنگلویایی و همکاران (Changalvaiee, et al, 2018) به اثر هندسه  $H/W_{(CO)}$  داخل حیاط خانه‌ها و معیاریافت سنتی در اقلیم گرم پرداخته‌اند و اثر این شاخص در بافت معاصر و طبق ضوابط شهرسازی

برای اقلیم سرد انجام نشده است. مطالعات انجام شده در سطح جهان از جمله هوانگ و لی (Huang & Li, 2017)، شیا و همکارانش (Shia, et al, 2020)، علی تودرت (Ali-Toudert, 2009)، عبدالله (Abdallah, 2015) و اسفور و الشواف (Asfour & Alshawaf, 2015)، نتیجه این مطالعه را تأیید می‌کنند و بیان می‌دارند که نسبت ارتفاع به عرض خیابان ( $H/W$ ) بر میزان مصرف انرژی گرمایشی ساختمان‌ها تأثیر داشته و همبستگی معکوس بین ارتفاع و مصرف انرژی گرمایشی شکل می‌گیرد. طالقانی و همکاران (Taleghani, et al, 2013)، همسو با این مطالعه به این نتیجه رسیده‌اند که میزان سطح در معرض تابش مستقیم آفتاب به سطح کل و سایه، به‌طور معنی‌داری در تبیین میزان مصرف انرژی مؤثر است. همپنین لوگنر و همکاران (Loughner, et al, 2012)، مهاجری و همکاران (Mohajeri, et al, 2019)، علی تودرت و میر (Ali-Toudert & Mayer, 2009)، شیشه‌گر (Shishegar, 2013) و ون ایچ و همکاران (VanEsch, et al, 2012) در مطالعات خود بیان نموده‌اند که دره‌های کم عمق باعث افزایش دسترسی ساختمان‌ها به تابش خورشید و کاهش مصرف انرژی گرمایشی در زمستان شده و مناسب مناطق سردسیری است که همسو با نتیجه این تحقیق است و بیانگر اهمیت فاصله بین ساختمان‌ها در اقلیم سرد است. در مطالعه دیگری وارتولومایوس (Vartholomaios, 2017)، نشان داده که در دره‌های کم عمق، درختان کنار خیابان برای بهبود شرایط اقلیمی و کاهش انرژی گرمایشی و همچنین سایه‌سازها (سایه بان) در بدنه‌های نما برای ساختمان‌ها مورد نیاز است که در این مطالعه در الگوی پیشنهادی از سایه‌سازها برای کاهش انرژی گرمایشی استفاده گردید. بنابراین وجه تمایز این مطالعه، نسبت به مطالعات دیگر، توجه به استقرار ردیف ساختمان‌ها در دو سوی معابر شهری به‌صورت جداگانه و بررسی و تحلیل عملکرد حرارتی قطعات شمالی و جنوبی است که کمتر در مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه فوق برای شهر همدان با ساختار استقرار الگوها و شرایط جغرافیایی و آب‌وهوایی خاص خود انجام شده است، زیرا برای شهرهایی با الگوهای استقرار متفاوت و ضوابط ارتفاع گوناگون و اقلیم متفاوت، اقدامات مشابه، ممکن است نتایج مختلفی را داشته باشد. آنچه از مطالعه حاضر قابل استنتاج است، این است که؛ تحقق کاهش مصرف انرژی در حوزه معماری و شهرسازی و تدوین ضوابط کارآمد، درگرو بازنگری ضوابط و مقررات معماری و شهرسازی، در طرح‌های تفصیلی شهرها، در انواع الگوهای استقرار شهری و ضابطه ارتفاع است که تحقیقاتی به‌شکل مطالعه حاضر، می‌تواند نقطه شروعی برای چنین مباحثی باشد. در این مطالعه گرمای انسانی، گرمای ناشی از تردد خودروها، تأثیر جزیره حرارتی و اثر ایجاد فضای سبز (درختان) و آبنا در سطح معابر شهری در نظر گرفته نشده است. علاوه بر این، اثر ویژگی‌های بازتابندگی، جذب‌پذیری و زبری مواد سطحی، در ساختمان‌های مجاور و سطوح خیابان، مورد بحث قرار نگرفته و اثر آنها در تنظیمات شبیه‌سازی انجام پذیرفته است. در نهایت پیشنهاد می‌گردد پژوهشی برای بررسی ترکیب انواع الگوهای سطح اشغال با الگوهای مختلف معابر شهری برای اقلیم سرد و همچنین اثر فضای سبز (نوع درختان و فاصله بین آنها) در کاهش بار گرمایشی ساختمان‌ها در تابستان مورد بررسی قرار گیرد.

## References:

- Abdallah, A. S. H. (2015). The Influence of Urban Geometry on Thermal Comfort and Energy Consumption in Residential Building of Hot Arid Climate, Assiut, Egypt. *Procedia Engineering*, 121, 158-166.
- Aboelata, A. (2020). Vegetation in different street orientations of aspect ratio (H/W 1:1) to mitigate UHI and reduce buildings' energy in arid climate. *Building and Environment*, 172, 106712.
- Adolphe, L. (2001). A Simplified Model of Urban Morphology: Application to an Analysis of the Environmental Performance of Cities. *Environment and Planning*, 28(2), 183-200.
- Alijani, B., Toulabinejad, M., & Sayadi, F. (2017). Calculating of Heat Island Intensity Based on Urban Geometry (Case Study: District of Kucheh bagh in Tabriz). *Spatial Analysis of Environmental Hazards*. 4(3), 99-112. [in Persian]
- Ali-Toudert, F. & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2), 94-108.
- Ali-Toudert, F. (2009). Energy efficiency of urban buildings: significance of urban geometry, building construction and climate conditions. *The Seventh International Conference on Urban Climate*, 29 June-3 July, Yokohama, Japan.
- Asfour, O. S. & Alshawaf, E. S. (2015). Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climates. *Energy and Buildings*. 91, 131-138.
- Blanco, J. M; Aiert, B., Eduardo Roje, C. & Belinda, P. (2016). Energy assessment and optimization of perforated metal sheet double skin fac, ades through Design Builder; A case study in Spain. *Energy and Buildings*, 111, 326-336.
- Bourbia, F. & Boucheriba, F. (2010). Impact of street design on urban microclimate for semiarid climate (Constantine). *Renewable Energy*, 35(2), 343-347.
- Changelvaiee, Y., Behzadfar, M., Mohhamadi, M. & Zarabadid, Z. S. S. (2018). A practical approach to analysis of the generic flows of sustainable urban form with a focus on Eco-Efficient Urban Form (EEUF) model (The case of Isfahan morphological types). *Urban Studies*, 27, 55-64. [in Persian]
- City Energy Project. (2017). <http://www.cityenergyproject.org>. (Accessed February 28).
- Georgakis, Ch. & Santamouris, M. (2006). Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes. *Energy and Buildings*, 38(4), 367-376.
- Huang, j., Jones, Ph., Anqi, Zh., Rong, P., Xiaojun, L. & Pak-wai Ch. (2020). Urban Building Energy and Climate (URBEC) simulation: Example application and field evaluation in Sai Ying Pun, Hong Kong. *Energy and Buildings*, 207, 1-19.
- Huang, K. T. & Li, Y.J. (2017). Impact of street canyon typology on building's peak cooling energy demand: a parametric analysis using orthogonal experiment. *Energy and Buildings*, 154, 448-464.
- Javanroodi, K., Mahdavejead, M. & Nik, V. A. (2018). Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. *Applied Energy*, (231), 714-746.
- Karamirad, S., Banazadeh, B., Zarei, H. & Ghezelbash, E. (2019). Assessment and Analysis of Thermal Comfort Courtyards of Shiraz Historical Houses in Qajar Era. *PAZHOSH-HA-YE BASTANSHENASI IRAN*, 9(20), 183-202. [in Persian]
- Karimi, M.S., Fazelpour, F., Rosen, M.A., Shams, M. (2019). Comparative study of solar-powered underfloor heating system performance in distinctive climates. *RenewEnergy*. 130, 524-535.
- Khodakarami, J., Nouri, Sh. & Mansouri. R. (2020). Influence of Tall Buildings on the Distribution of Particulate Matter and Air Pollution in the Environment around Them. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 10(3), 193-203. [in Persian]
- Lenga, H., Chena, X., Ma, Y., Wong, N. H. & Ming, T. (2020). Urban morphology and building heating energy consumption: Evidence from Harbin, a severe cold region city. *Energy and Buildings*, 224, 110143.
- Li, Z., Zhang, H., Wen, C-Y., Yang, A-S. & Juan, Y-H. (2020). Effects of height-asymmetric street canyon configurations on outdoor air temperature and air quality. *Building and Environment*, 183, 107195.
- Loughner, C., Allen, D., Zhang, D., Pickering, K., Dickerson, R. & Landry, L. (2012). Roles of urban tree canopy and buildings in urban heat island effects: Paramterization and preliminary results. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51, 1775-1793.



- Mangan, M. S., Oral, G. K., Kocagil, I. E. & Sozen, I. (2021). The impact of urban form on building energy and cost efficiency in temperate-humid zones. *Building Engineering*, 33, 101626.
- Martinez, C. I. P. (2015). Energy and sustainable development in cities: A case study of Bogota. *Energy*, 92(3), 612-621
- Miller, D. P. (2011). *Guide to Social Research Assessment*. (Translated by H. Naebi). Tehran: Ney Publishing. [in Persian]
- Mohajeri, N., Gudmundsson, A., Kunckler, T., Upadhyay, G., Assouline, D., Kampfe, J. H. & Scartezzini, J. L. (2019). A solar-based sustainable urban design: The effects of city-scale street-canyon geometry on solar access in Geneva, Switzerland. *Applied Energy*, 240, 173-190.
- Moslehi, H., Abdollahirizy, R., Zolfaghari, R. & Ebrahimiaghane, P. (2009). *Tarāh v mohasebh bar tasisat mekanike dr Design Builder [Designing and Calculating the Load of Mechanical Installations in Design Builder]*. Tehran: Third Edition of Innovative Publications. [in Persian]
- Quan, J. S., Wu, J., Wang, Y., Shi, Z., Yang, T. & Yan, P. P. (2016). Urban Form and Building Energy Performance in Shanghai Neighborhoods. *Energy Procedia*, 88, 126-132.
- Ran, J. & Tang, M. (2018). Passive cooling of the green roofs combined with night-time ventilation and walls insulation in hot and humid regions. *Sustainable Cities Society*, 38, 466-75.
- Ratti, C., Baker, N. & Steemers, K. (2005). Energy Consumption and Urban Texture. *Energy and Buildings*, 37(7), 762-776.
- Rubeis, T. d., Nardi, I., Ambrosini, D. & Paoletti, D. (2018). Is a self-sufficient building energy efficient? Lesson learned from a case study in Mediterranean climate. *Applied Energy*, 218, 131-145.
- Sanagar, E., Rafieian, M., Hanaee, T. & Monsefi-Parapari D. (2020). The Effects of Urban Heat Islands Mitigation on Human Health through Change in Urban form Hot and Arid Climate of Mashhad (Case Study: Graticular Texture of Shahed and Organic Texture of Pachenar Neighborhoods). *Environmental Science and Technology*, 22(4), 375-387. [in Persian]
- Shia, Zh., Hsieha, Sh; Fonseca, J. A. & Schlueter, A. (2020). Street grids for efficient district cooling systems in high-density cities, *Sustainable Cities and Society*, 1-14(102224).
- Shishegar, N. (2013). Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons, *Journal of Clean Energy Technologies*, 1 (1), 52-56.
- Steemers, K. (2003). Energy and the City: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35(1), 3-14.
- Stromann-Andersen, J. & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43(8), 2011-2020.
- Taban, M., Pourjafar, M. R., Bemanian, M. R. & Heidary, Sh. (2013). Determining Optimal Courtyard Pattern in Dezful Traditional Houses By Relying on Shadow Analysis. *NAZAR research center*, 10(27), 39-48. [in Persian]
- Taleghani, M., Tenpierik, M., Dobbie, A. D. V. & Dear, R. D. (2013). Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands. *Energy and Buildings*, 67, 166-175.
- Tereci, A., Ozkan, S. T. E. & Eicker, U. (2013). Energy benchmarking for residential buildings. *Energy and Buildings*, (60), 92-99.
- Tsirigoti, D. & Tsikaloudaki, K. (2018). The Effect of Climate Conditions on the Relation between Energy Efficiency and Urban Form. *Energies*, 11(3) 582.
- VanEsch, M. M. E., Looman, R. H. J. & De Bruin-Hordijk, G. J. (2012). The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. *Energy and Buildings*, 47, 189-200.
- Vartholomaos, A. (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city. *Sustainable Cities and Society*, 28, 135-145.
- Zamani, Z., Heidari, H. & Hanachi, P. (2017). Arranging Courtyards in Urban Blocks to Reduce Energy Consumption (Case Study: Tehran Dwellings). *Journal of Fine Arts - Architecture and Urban Planning*, 22(3), 5-14. [in Persian]
- Zarghami, I. & Adibi, E. (2016). Thermal Performance Evaluation of Green Roof on Sustainability and Energy Efficiency in Residential Buildings in Hot and Dry Climates of Iran. *Sustainable Architecture*, 4 (1), 72-90. [in Persian]



- Zhou, Y., Li, Z. & Tao, X. (2016). Urban Mixed Use and its Impact on Energy Performance of Micro Grid System. Energy Procedia, 103, 339-344.
- Zomorodian, Z. S. & Tahsildost, M. (2015). Validation of Simulation Software in Building with Experimental and Comparative Approach, Iran Energy, 18 (4), 133-115. [in Persian]



نحوه ارجاع به مقاله:

قیاسوند، حجت؛ ثقفی، محمد جواد؛ مدی، حسین؛ (۱۴۰۱) ارزیابی اثر شاخص هندسی خیابان (H/W) بر عملکرد حرارتی مسکن (نمونه مورد مطالعه: آپارتمان های مسکونی همدان)، مطالعات شهری، 11 (42)، 34-17. doi: 10.34785/J011.2022.334/Jms.2022.117

#### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

