University of Guilan

Urban Planning Knowledge

ISSN: 2645-5412

Investigating the Correlation Between the Size of Buildings in Urban Blocks and their Annual Cooling and Heating Load

Maryam Oladi [1], Abbas tarkashvand[*2] and Mohsen Faizi [3]

[1.] M. Arch, Department of Architecture, School of Architecture and Environmtal Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

[2.] Assistant Professor, Department of Architecture, School of Architecture and Environmtal Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

[3.] Professor, Department of Applied Arts, School of Architecture and Environmtal Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

* Corresponding Author, Tarkashvand@iust.ac.ir

ARTICLE INFO

UPK, 2021
VOL. 6, Issue 1, PP, 71-91
Received: 20 Dec 2021
Accepted: 20 Jul 2022
Theoretical Articles

KEYWORDS: Parametric generating, annual heating and cooling load of urban blocks, first steps of design, complex layout

ABSTRACT

Introduction: The design of urban blocks containing a number of buildings is influenced by various parameters such as size, number, geometry, and arrangement of blocks. These parameters have a significant impact on the energy consumption of the complex. Considering the optimum value for these factors in the design process, especially in the early stages of the design process, makes it possible to reduce energy demand and its costs. The currentstudy investigates the effect of building block size in an urban layout on the annual heating and cooling load of the whole complex. Although a number of recent researches have already been done focusing on a similar problem, there is no clear quantitative explanation of the impact of the size of the building blocks in an urban layout on the total energy consumption of a complex. Accordingly, the aim of this research is to find a possible relationship between the size distribution in the building blocks of an urban layout and its annual cooling and heating load. This research is trying to clarify that when designing an urban layout, with the aim of reducing energy consumption, how and in what proportion its total area should be distributed in different building blocks.

Methodology: For the first stage, the research variables, including the size and heating and cooling load, have been defined. The second stage includes designing a generative model which provides different building block sizes and layouts on a specific site. According to the design principles of residential apartments in Tehran, each building block has 5 floors and the distance between the building blocks is at least 6 and at most 18 meters. This step has been done through Python programming in the Grasshopper plugin of Rhino software. The generative model produced 28,417 different urban layouts, 2% of which were randomly selected for the simulation of annual heating and cooling load. In the third stage, the heating and cooling load of each layout containing building blocks is calculated using a simulation process in the HoneyBee plugin, which these days have been increasingly used in recent researches, especially in those that have a parametric approach (such as the present research). The Simulation was

Cite this article:
Oladi, M., tarkashvand, A., Faizi, M. (2022). Investigating the Correlation Between the Size of Blocks in an Urban Complex and the Annual Cooling and Heating Load. *Urban Planning Knowledge*, 6(1), 71-91.
Doi:https://dx.doi.org/ 10.22124/UPK.2022.21344.1712

University of Guilan

Urban Planning Knowledge

ISSN: 2645-5412

performed in Tehran, for all 24 hours during the 21st of June and 21st of December, which are partly the most critical days of the year in terms of heating and cooling load. In the simulation process, windows were transparent and triple layered were; In such a way, the window-to-wall ratio in the south, north, east, and west views was 30, 5, 20, and 15, respectively. Also, the specifications of the walls were considered based on topic 19 of Iran's national building regulations. The utility of the complex was defined as residential and the range of thermal comfort was set between 20.4 and 26.8 degrees Celsius in summer and between 20.4 and 23 degrees Celsius in winter. In the last step, the correlation between the size distribution in building blocks (as an independent variable) and the cooling and heating load of the complex (as a dependent variable) was tested using SPSS.

Result: Considering that the average size of the buildings in the block is the same for all simulated layouts and apart from that, it does not give much information about the size distribution in the buildings; Therefore, the variance, standard deviation, skewness, and kurtosis in the size of the building blocks of each layout were used as independent variables. Correlation analysis indicates that in Tehran, the cooling load has a more significant proportion of total energy consumption, rather than heating. However, the difference between the highest and the lowest values was much greater in the heating load than in the cooling load. While there was a difference of about 20% between the highest and lowest cooling load in the layouts; However, the lowest value of the heating load was almost 5 times lower than the highest value. The strong negative correlation between cooling loads and variance indicates that the greater the variety of block sizes in a set, the lower the cooling load. Also, the positive correlation between cooling loads and the elongation of the size of the blocks indicates that the more fragmented of blocks in a set, the more suitable they will be in terms of cooling load.

Discussion: The research findings show that the use of large and small sizes (not average), with the aim of creating the maximum difference between the sizes of the buildings of a complex, will have the best results in terms of energy consumption. Larger buildings have a lower surface-to-volume ratio. Previous studies have shown that buildings with a lower surface-to-volume ratio are more energy efficient due to less possible energy waste. In smaller buildings, ventilation and air circulation around the building are more possible, which makes them perform better in the hot season and reduces the required cooling energy.

Conclusion: The findings of the research indicate that the annual cooling and heating load decreases with the greater dispersion of the size of the buildings in a complex. Also, the symmetry in this size difference leads to some improvement in energy consumption. Based on this, the findings of this research can help urban designers and architects in the early stages of designing a complex to design complexes with less cooling and heating load. In this framework, the following principles can be recommended to urban designers and architects:

- In the early stages of designing a complex consisting of several buildings, it is better to have a large variety of sizes in building blocks and to also be unequal in size as much as possible.
- It is better than the size of each building in a collection is as much as possible more or less than its average value in the whole collection.
- It is better that the size distribution of buildings around the average is relatively symmetrical; Although this issue does not have as much impact as the previous ones.

Highlights:

- The achievement of this research will help to achieve efficient energy texture in cities.
- In this research, a method for efficient energy design in any desired situation and location is presented.

UPK
شاپا: ۲۶۴۵-۵۴۱۲

بررسی میزان همبستگی میان اندازه‌ی بناها در بلوک‌های شهری و بار حرارتی سالانه‌ی آن‌ها در شهر تهران

مریم اولادی[۱]، عباس ترکاشوند*[۲] و محسن فیضی[۳]

۱. کارشناسی ارشد، معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۲. استادیار، گروه معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۳. استاد، گروه هنرهای کاربردی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Tarkashvand@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

***دانش شهرسازی*، ۱۴۰۱**
دوره ۶، شماره ۱، صفحات ۷۱-۹۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹
مقاله پژوهشی

کلید واژه‌ها: مدل‌سازی پارامتریک، بار گرمایشی و سرمایشی بلوک‌های شهری، گام‌های نخست طراحی، چیدمان مجموعه‌ها

چکیده

بیان مسئله: طراحی بلوک‌های شهری، متاثر از پارامترهایی چون اندازه‌ی بناهای واقع در آن‌ها، تعداد، هندسه و آرایش آن‌ها است که بر میزان مصرف انرژی مجموعه، یا بار گرمایشی و سرمایشی (Heating and Cooling Load) سالانه‌ی آن، تاثیر زیادی دارند. تا کنون، پژوهش‌های چندی در خصوص تاثیر پارامترهای پیش‌گفته بر بار سرمایشی و گرمایشی بلوک‌های شهری متشکل از چند بنا انجام شده است؛ اما، تصویر روشنی از تاثیر اندازه‌ی بناها در مصرف انرژی بلوک‌ها، در دست نیست.

هدف: هدف این پژوهش، یافتن رابطه‌ی احتمالی میان نحوه‌ی توزیع اندازه‌ی بناها در یک مجموعه و بار گرمایشی و سرمایشی آن است.

روش: ابتدا، متغیرهای پژوهش، از جمله اندازه و چیدمان بناها و بار گرمایشی و سرمایشی، تبیین شده است. سپس، یک مدل مولد، برای تولید بناهایی با اندازه‌های متفاوت، با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون در محیط افزونه‌ی گرس‌هاپر در نرم‌افزار راینو، طراحی شده است. سپس، شبیه‌سازی بار حرارتی چیدمان‌ها، با استفاده از افزونه‌ی هانی‌بی انجام شده است. در پایان، همبستگی میان اندازه‌ی قطعات و بار حرارتی، مورد آزمون قرار گرفته است.

یافته‌ها: تحلیل آزمون همبستگی، حاکی از آن است که در منطقه‌ی مورد مطالعه (شهر تهران)، بار سرمایشی نسبت به بار گرمایشی، حائز اهمیت بیشتری است. رابطه‌ی همبستگی منفی قوی میان بارهای سرمایش با واریانس اندازه‌ی بناها، نشان می‌دهد که هرچه تنوع اندازه‌ی بناها در یک مجموعه بیشتر باشد، بار سرمایشی کمتری خواهد داشت. همچنین، رابطه‌ی مثبت بارهای سرمایشی با کشیدگی اندازه‌ی قطعات، نشان‌دهنده‌ی این است که هرچه قطعات یک مجموعه، از نظر اندازه پراکنده‌تر باشند، آن بلوک از نظر مصرف انرژی، عملکرد بهتری خواهد داشت.

نتیجه‌گیری: میزان مصرف انرژی در یک مجموعه‌ی متشکل از چند بنا، وابسته به تنوع اندازه‌ی قطعات آن است. توجه به این موضوع در گام‌های اولیه‌ی طراحی، به طراحان شهری و معماران کمک می‌کند که مصرف انرژی در مجموعه‌ها را به طور معناداری کاهش دهند. برای این منظور، این پژوهش توصیه می‌کند که طراحان، افزایش تنوع در اندازه‌ی قطعات را به عنوان یک راهبرد اصلی در کاهش مصرف انرژی مجموعه، مورد نظر قرار بدهند.

نکات برجسته:

- توجه به دستاوردهای این پژوهش توسط طراحان شهری و معماران، می‌تواند در دستیابی به بافت انرژی‌کارا در شهرها موثر باشد.
- در این پژوهش روشی برای طراحی شهری انرژی‌کارا، بر اساس اندازه‌ی قطعات در یک بلوک شهری، ارائه شده است.

ارجاع به این مقاله: اولادی، مریم، ترکاشوند، عباس و فیضی، محسن. (۱۴۰۱). بررسی میزان همبستگی میان اندازه‌ی بناها در بلوک‌های شهری و بار حرارتی سالانه‌ی آن‌ها در شهر تهران. *دانش شهرسازی*، ۶(۱)، ۷۱-۹۱. Doi: https://dx.doi.org/ 10.22124/UPK.2022.21344.1712

بیان مسئله

مجموعه‌ها، از جمله مجموعه‌های مسکونی، امروزه به طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک بخش اولویت‌دار در برنامه‌ریزی شهری، در راستای کاهش مصرف انرژی و بهبود بهره‌وری، مورد توجه قرار می‌گیرند (ابراهیم‌پور و محمدکاری، ۱۳۹۰). مجتمع‌های مسکونی دارای محدوده و حریم مشخص، تعدادی بنا و فضای باز مابین آن‌ها هستند (کریمی و جلیلی‌صدرآباد، ۱۴۰۰). انبوه پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص رابطه میان مصرف انرژی و شکل بناها، حاکی از آن است که مصرف انرژی در یک مجموعه متشکل از چند بنا، بستگی زیادی به نحوه چیدمان آن‌ها دارد. چیدمان مجموعه، می‌تواند شامل تراکم، فشردگی، تخلخل، نحوه توزیع حجم در قطعات، ارتفاع و برخی ویژگی‌های کالبدی دیگر باشد. درحالی‌که در خصوص اغلب این مشخصات، پژوهش‌های چندی انجام‌شده است؛ در خصوص کم و کیف تأثیر اندازه بناها در یک مجموعه یا بلوک شهری، بر میزان مصرف انرژی آن، تصویر روشنی در دست نیست. این در حالی است که تعیین اندازه بناها در یک مجموعه، یعنی نحوه توزیع سطح زیربنای موردنیاز در یک یا چند بنای برابر یا نابرابر، در مراحل نخستین طراحی انجام‌شده و چنانچه تأثیر زیادی بر مصرف انرژی یک مجموعه داشته باشد، در مراحل بعد طراحی، قابل اصلاح نیست. این امر، موید ضرورت انجام پژوهشی جهت یافتن رابطه احتمالی میان این دو متغیر است. از سوی دیگر، اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص رابطه میان مشخصات کالبدی مجموعه‌ها و میزان مصرف انرژی در آن‌ها، سعی در ارائه یک الگوی بهینه برای چیدمان بناها دارند. درحالی‌که طراحان شهری و معماران، ممکن است در فرآیند شکل‌دهی به چیدمان مجموعه‌ها، لزوماً از الگوهای شناخته‌شده پیروی نکنند؛ بنابراین، نیاز به ابزاری دارند که امکان مقایسه انواع چیدمان‌ها و برگزیدن نمونه کارآمد از حیث مصرف انرژی را به آن‌ها بدهد. این روش، در گام‌های اولیه طراحی، طراح را در راستای دست‌یابی به یک محصول پایدار در حوزه انرژی، هدایت می‌کند.

در چارچوب پیش‌گفته، در این پژوهش، اندازه بناها در یک مجموعه، به‌عنوان متغیر مستقل و بار گرمایشی و سرمایشی آن مجموعه، به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته‌شده است. سپس متغیرهای مداخله‌گر، از جمله تعداد بناها، فاصله‌ی آن‌ها با یکدیگر، تعداد طبقات و هندسه چیدمان، شناسایی‌شده و با تعیین مقادیر ثابت، اثر آن‌ها بر نتایج آزمون، کنترل‌شده است. سپس یک مدل مولد پارامتریک[1] جهت توزیع سطح زیربنا در طیفی از اندازه‌های متفاوت در بناها طراحی‌شده است. خروجی این مدل مولد، گزینه‌های متعددی از چیدمان‌های محتمل، بر اساس اندازه‌های متفاوت برای بناها بود. تولید اندازه‌های متفاوت برای بناها و همچنین چیدمان‌های متأثر از آن‌ها، توسط یک کد مولد در افزونه‌ی گرس‌هاپر[2] در نرم‌افزار راینو[3] با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون[4] انجام شد. پس از آن، بار گرمایشی و سرمایشی چیدمان‌های تولیدشده، توسط افزونه‌ی هانی‌بی[5] در نرم‌افزار راینو، شبیه‌سازی و استخراج شد. در نهایت، با تحلیل آزمون همبستگی میان این دو متغیر، روند تغییرات بار سرمایشی و گرمایشی، بر اساس تغییر در اندازه قطعات، تحلیل شد. بر اساس یافته‌ها، توصیه‌هایی برای مراحل اولیه طراحی مجموعه‌ها پیشنهاد شد.

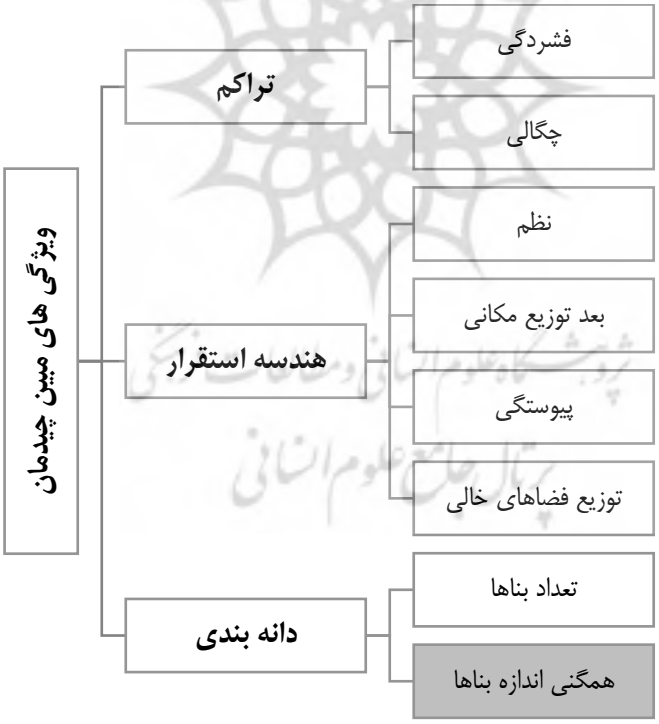
مبانی نظری

ویژگی‌های کالبدی یک مجموعه‌ی متشکل از چند بنا، از دو بعد قابل‌بررسی است: ۱) نحوه‌ی چیدمان و ۲) شکل ساختمان‌ها. شکل، به مجموعه‌ی خصوصیات فیزیکی ظاهری بنا(ها) اشاره دارد و چیدمان، مربوط به نحوه استقرار این بناها در زمین است (صفدری فیروزآباد، ۱۳۹۵). یک بلوک شهری، به عنوان مجموعه متشکل از چند بنا، با سطح زیربنای ثابت، می‌تواند به انواع مختلفی در سطح زمین مورد نظر، مستقر شود. هر یک از این انواع، یک «چیدمان» شناخته می‌شود. پژوهش‌ها در حیطه کارایی انرژی مجموعه‌ها (یا چیدمان بلوک‌های شهری)، در مواردی که به چیدمان آن‌ها می‌پردازند، عمدتاً متمرکز بر الگوهای شناخته‌شده هستند (اسفندیاری و ترکاشوند، ۱۳۹۹). درصورتی‌که این الگوها، لزوماً منطبق بر انتخاب‌های بی‌شماری که پیش‌روی طراحان است، نیستند. از این‌رو، تبیین چیدمان بر اساس مؤلفه‌های کمی پایه و ارزیابی تأثیر آن‌ها، به تفکیک یا در ارتباط با یکدیگر، ضروری است. در این چارچوب، ویژگی‌های کمی مبین چیدمان یک مجموعه، در قالب چند مولفه

[1] Parametric Generative Model
[2] Grasshopper
[3] Rhino
[4] Python
[5] HoneyBee

اصلی، قابل طرح است: ۱) تراکم، ۲) هندسه‌ی استقرار و ۳) دانه‌بندی. هر کدام از این مؤلفه‌ها، با چند شاخص تعریف می‌شود (مهاجری و همکاران[1]، ۲۰۱۶؛ کوان[2]، ۲۰۱۷؛ وارتولومایوس[3]، ۲۰۱۷).

تراکم یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در «انرژی‌کارایی» مجموعه‌ها است. تراکم در چیدمان، در قالب دو ویژگی اصلی قابل مطالعه است: ۱) فشردگی و ۲) چگالی. فشردگی، به معنای نزدیکی یا دوری بناها از یکدیگر و چگالی حجمی، در واقع، میزان تراکم حجم بر واحد سطح است (لطفی، نیک‌پور و سلیمانی، ۱۳۹۸؛ کوان و همکاران[4]، ۲۰۱۶). افزایش این تناسب، به معنای چگالی بیشتر و کاهش آن، معادل چگالی کمتر چیدمان مجموعه است. دیگر شاخص چیدمان، هندسه استقرار است که سازمان هندسی مجموعه را مشخص می‌کند و شامل: نظم، بعد توزیع مکانی، پیوستگی و توزیع فضاهای خالی است (مهاجری و همکاران، ۲۰۱۶). نظم در واقع هم‌راستایی یا غیر هم‌راستایی در یک یا هر دو محور است. بعد توزیع مکانی نیز در واقع پراکندگی در محورهای متعامد است. از نظر پیوستگی نیز، قطعات مجموعه‌ها، صرف نظر از تعداد، اندازه یا موقعیت مکانی خود، می‌توانند به قطعات مجاور متصل بوده یا از آن‌ها فاصله داشته باشند. فضاهای خالی نیز می‌توانند یکپارچه یا پراکنده باشند. دانه‌بندی، شامل دو ویژگی در چیدمان می‌شود: تعداد بناها و میزان همگنی اندازه آن‌ها. حجم کلی زیربنا، می‌تواند در یک یا چند قطعه توزیع شود. همین‌طور حجم کلی زیربنا، در هر تعدادی از بنا که توزیع شود؛ این بناها می‌توانند اندازه‌های برابر یا غیر برابر داشته باشند. همگنی بناها، نشان‌دهنده آن است که اندازه آن‌ها تفاوت زیادی با یکدیگر داشته یا تقریباً هم‌اندازه هستند. بحث اصلی این پژوهش، در واقع، همگنی اندازه قطعات است. برای سنجش تغییرات این متغیر در یک مجموعه داده (مجموعه‌هایی با میزان همگنی متفاوت در اندازه‌ی قطعات)، می‌توان از شاخص‌های واریانس و کشیدگی در آمار توصیفی استفاده کرد. واریانس، نشان می‌دهد که توزیع اندازه قطعات حول میانگین، تا چه اندازه متقارن است. کشیدگی نیز نشان می‌دهد که پراکندگی داده‌ها، همگن یا ناهمگن است.



شکل ۱. ویژگی‌های مبین چیدمان

[1] Mohajeri etal
[2] Quan
[3] Vartholomaios
[4] Quan etal

با توجه به آنکه میزان مصرف انرژی در یک مجموعه، تحت تأثیر تمامی این مؤلفه‌ها و برخی موارد دیگر، همچون شکل بناها، ارتفاع، سایه‌اندازی، کشیدگی و برخی موارد دیگر است، برای پرهیز از پیچیدگی در ارزیابی نقش همگنی در توزیع اندازه قطعات، برای سایر متغیرها (که از این پس متغیر مداخله‌گر شناخته می‌شوند)، مقادیری ثابت در نظر گرفته‌شده یا بر اساس قیودی مشخص، کنترل شدند. این مقادیر، حتی‌المقدور بر اساس ضوابط و مقررات شهری معین شدند (جدول ۱).

جدول ۱
متغیرها

متغیر	تعریف	نوع متغیر	مقدار	فرمول	بازه
A	سطح کل زیربنا	مستقل – ثابت	وابسته به ضوابط		–
n	تعداد کل بناها	مستقل – ثابت	مقدار ثابت (قراردادی)		–
h	ارتفاع بناها	مستقل – ثابت	مقدار ثابت (وابسته به ضوابط)		–
Amin	حداقل مقدار زیربنای هر بنا	مستقل – ثابت	وابسته به مشخصات طرح و ضوابط		–
Amax	حداکثر مقدار زیربنای هر بنا	مستقل – ثابت	وابسته به مشخصات طرح و ضوابط		Amax ⩽ A
Kk	همگنی اندازه‌ی بناها	وابسته	کشیدگی	Kurt (Ai)	۰ ⩽ Kk ⩽ ۱
Ks	تقارن اندازه بناها	وابسته	چولگی	G1 (Ai)	۱- ⩽ Ks ⩽ ۱
Kv	هم‌اندازگی بناها	وابسته	واریانس، انحراف معیار یا قدر مطلق انحراف از میانگین	Var (Ai) SD (Ai) MD (Ai)	–

امروزه سیستم‌های گرمایشی، تهویه و تهویه مطبوع، بخش بزرگی از مصرف انرژی ساختمان را تشکیل می‌دهند (لوستسن[1]، ۲۰۰۸). در همین راستا، متغیر وابسته این پژوهش، بار گرمایشی و سرمایشی یک بلوک شهری، مشتمل بر تعدادی بنا است. به‌طورکلی، بار گرمایشی ساختمان، عبارت است از میزان حرارت یا نرخ گرمایی که سیستم تهویه مطبوع، باید برای حفظ دما در یک محدوده قابل قبول، تأمین کند تا درجه حرارت و شرایط محیط به حالت مطلوب خودش برسد. واحد آن، کیلووات ساعت[2] است. بار برودتی یا سرمایشی ساختمان نیز، عبارت است از میزان حرارت یا نرخ گرمایی که سیستم تهویه مطبوع به خارج از ساختمان هدایت می‌کند تا درجه حرارت و شرایط محیط، به حالت مطلوب خود برسد. واحد آن نیز، کیلووات ساعت است (شریف[3]، ۲۰۲۱). بار سرمایشی و گرمایشی، در راستای حفظ آسایش حرارتی برای ساکنان صرف می‌شوند. در تعریف استاندارد اشری، آسایش حرارتی[4] شرایطی ذهنی است که احساس رضایت از شرایط دمایی محیط را بیان می‌کند. شرایط تأمین آسایش حرارتی، برای فصول مختلف متفاوت بوده و می‌تواند برای اقلیم‌های جغرافیایی مختلف نیز جداگانه تعریف شود؛ اما به‌صورت تقریبی، دمای آسایش در زمستان، حدود ۲۰–۲۳ درجه سانتی‌گراد و در تابستان نیز، ۲۳–۲۶ درجه سانتی‌گراد است (حیدری، ۱۳۸۷).

بار سرمایشی و گرمایشی، وابسته به مؤلفه‌های متعددی است. علاوه بر مواردی که ارتباطی با این پژوهش نمی‌یابند (از جمله کاربری، تعداد استفاده‌کنندگان، تجهیزات مورد استفاده و نظایر آن) می‌توان به تابش دریافتی از سطح و میزان تبادل حرارتی با محیط بیرون اشاره کرد که تابعی از نسبت سطح به حجم بنا هستند (شریف، ۲۰۲۱). در توزیع متفاوت اندازه‌ها در یک مجموعه، با فرض ثابت بودن تعداد طبقات، یعنی به نحوی که اندازه بناها برابر نبوده و ریز و درشت باشند، نسبت‌های متفاوتی از سطح به حجم در بناها حاصل می‌شود. بناهایی با اندازه بزرگ‌تر، پوسته‌ی بیشتری در مقایسه با بناهای کوچک‌تر دارند. بخش بزرگی از میزان تبادل حرارت بنا با محیط خارج، از طریق پوسته آن رخ می‌دهد. پوسته بیشتر، به معنای تبادل حرارتی بالاتر است و بالعکس. تنها با توجه به این پارامتر، می‌توان حدس زد که در مناطق بسیار سرد یا بسیار گرم، کاهش پوسته، می‌تواند انرژی زیادی را به

[1] Laustsen
[2] Kwh
[3] Shareef
[4] Thermal comfort

دلیل جلوگیری از تبادل حرارتی با محیط خارج، صرفه‌جویی کند. اما در مقابل، همین پوسته کوچک‌تر، تابش کمتری نیز دریافت می‌کند که در فصل سرد، باعث کاهش انرژی دریافتی از طریق تابش و درنتیجه مصرف انرژی بیشتر، برای حصول آسایش حرارتی می‌شود؛ هر چند که این موضوع، در فصل گرم، نکته‌ای مثبت تلقی می‌شود (اوه و کیم[1]، ۲۰۱۹). مقایسه ساده همین دو متغیر، نشان می‌دهد که تنوع در اندازه قطعات، به دلیل شرایط متنوعی که در نسبت سطح به حجم بناها پدید می‌آورد؛ منجر به تغییرات ناشناخته و پیش‌بینی‌ناپذیری در میزان مصرف انرژی مجموعه‌ها شده و می‌توان این‌گونه استنباط کرد که توزیع همگن یا ناهمگن اندازه بناها در یک مجموعه، با میزان مصرف انرژی آن، از طریق تحمیل بار سرمایشی و گرمایشی متفاوت، در ارتباط است. این امر، مبین ضرورت بررسی دقیق‌تر این موضوع، از طریق شبیه‌سازی است. تنها از این طریق است که می‌توان دریافت چه رابطه‌ای میان توزیع اندازه بناها در یک مجموعه و بار سرمایش و گرمایش آن‌ها وجود دارد. در مجموع پاسخ به تقاضای[2] سیستم‌های تهویه مطبوع[3] ساختمان به‌عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین راه‌حل‌ها برای کاهش اوج[4] تقاضای برق، با ایجاد انعطاف‌پذیری انرژی و رفع عدم تعادل عرضه و تقاضا در شبکه‌های برق در نظر گرفته می‌شود. (یون، بلدیک و نووسلاک[5]، ۲۰۱۴؛ جونکر و همکاران[6]، ۲۰۱۸).

پیشینه‌ی پژوهش

امروزه، پژوهش‌هایی که با شبیه‌سازی‌ها و اندازه‌گیری‌های کمی همراه هستند، به‌طور تصاعدی رشد کرده‌اند. این امر، ناشی از نیاز به داده‌های قابل اعتماد در فرآیند تصمیم‌گیری در حوزه‌ی انرژی است (نونزپیرو، سانچز و گونزالز[7]، ۲۰۲۱). این در حالی است که بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه شهرسازی درخصوص انرژی‌کارآیی، معطوف‌به شناسایی ویژگی‌های ریخت‌شناسانه ساختمان‌ها و محیط شهری، از جمله تراکم، جهت‌گیری ساختمان، شکل و ابعاد ساختمان متمرکز بوده‌است (مک‌فرسون و سیمسون[8]، ۲۰۰۳؛ گسپارلا، پرنیگوتب و گاپلتیک[9]، ۲۰۱۱). از طرفی نیز، به شرایط آب و هوایی، کارایی سیستم گرمایشی و سرمایشی و رفتار کاربران، به‌عنوان عوامل اصلی تأثیرگذار بر تقاضای انرژی اشاره‌شده است (کوان و همکاران، ۲۰۱۶). پژوهش‌ها در این حوزه را می‌توان به دو دسته پژوهش‌های داخلی و خارجی اشاره کرد.

فرخی و همکاران، در پژوهشی در شهر اصفهان، نشان دادند که الگوی بهینه توده‌گذاری ساختمان‌های مسکونی، به‌شدت تحت تأثیر عوامل مورفولوژیک بوده و از میان آن‌ها، ساختار شبکه‌ی ارتباطی، نقش پررنگ‌تری دارد. همچنین، از نظر محل قرارگیری توده و فضا نیز، الگوهایی که در آن‌ها، توده در مرکز قطعه قرارگرفته است، مصرف انرژی کم‌تری دارند. به علاوه، افزایش تراکم، میزان مصرف انرژی را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد (فرخی، یزدی و کریمی‌مشاور، ۱۳۹۷). در همین ارتباط، پژوهش مرتضایی و همکاران در سپاهان‌شهر با اقلیم گرم و خشک، حاکی از همبستگی قوی میان مصرف انرژی اولیه و شاخص‌های چیدمان، مکان قرارگیری توده، فرم ساختمان، ارتفاع ساختمان، سطح معابر و فضاهای باز و همچنین، همبستگی متوسط میان مصرف انرژی اولیه و تناسبات بلوک بود (مرتضایی، محمدی، نصرالهی و قلعه‌نویی، ۱۳۹۶). پژوهش مرادخانی و همکاران در سنندج، نشان داد که توده‌های متراکم ساختمانی، با اشتراک حداکثری جبهه‌ها، فضای باز میانی بلوک و جهت‌گیری شرقی–غربی، مطلوب‌تر بوده و الگوهای ردیفی با میزان بالای سطح تماس با هوا و کشیدگی شمالی–جنوبی، ناکارآمدترین گونه از نظر میزان مصرف انرژی هستند (مرادخانی، نیکقدم و طاهباز، ۱۳۹۷). در پژوهش مشابه دیگری، لطفی و همکاران نشان دادند که در شهر همدان با اقلیم سرد، مجموعه‌های فشرده کارآمدترین، و مجموعه‌های پراکنده، ناکارآمدترین نوع فرم شهری از نظر مصرف انرژی هستند (لطفی و همکاران، ۱۳۹۸).

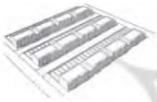
---

[1] Oh & Kim
[2] Demand response
[3] HVAC
[4] peak
[5] Yoon, Bladick & Novoselac
[6] Junker etal.
[7] Núñez-Peiró, Sanchez & González
[8] McPherson & Simpson
[9] Gasparella, Pernigottob & Cappellettic

در اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص نحوه چیدمان بلوک‌های شهری، سعی در ارائه یک الگوی مناسب برای چیدمان بلوک‌ها در اقلیمی خاص شده و رویکرد فرآیندی، کمتر به چشم می‌خورد. به‌عنوان مثال در پژوهش صفدری و همکاران، چهار نوع چیدمان مختلف، مشتمل بر منفرد، محیطی، خطی و ترکیبی برای یک مجتمع مسکونی واقع در اقلیم گرم و خشک موردبررسی قرار گرفت. در این پژوهش، برای دستیابی به عوامل موثر در طراحی مجتمع مسکونی در جهت بهره‌وری انرژی، ابتدا اطلاعات اولیه از چیدمان مجتمع مسکونی در ایران جمع‌آوری‌شده و در چهار گونه فوق، دسته‌بندی شده است. سپس، به کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر[1] با موتور انرژی پلاس[2] انواع این چیدمان‌ها در شهر شیراز، شبیه‌سازی‌شده و در نهایت، با تحلیل داده‌ها بهترین چیدمان از لحاظ بهره‌وری انرژی، شناسایی‌شده است. یافته‌های این پژوهش، بر اساس مقایسه بیشینه دما در زمستان و کمینه آن در تابستان، حاکی از آن است که که چیدمان خطی، شرایط مناسب‌تری را از لحاظ دمایی فراهم می‌کند (صفدری فیروزآباد، شمس‌الدینی و بامداد، ۱۳۹۵).

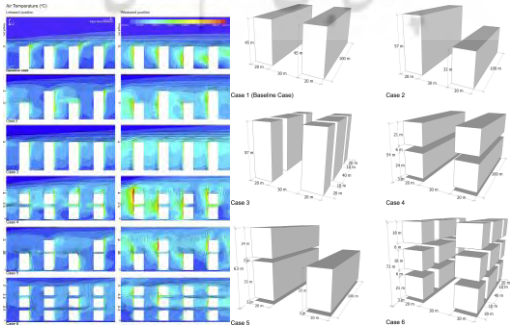
جدول ۲

چیدمان‌های شبیه‌سازی‌شده در پژوهش

چیدمان منفرد	**چیدمان محیطی**
چیدمان ترکیبی	**چیدمان خطی** 

برگرفته از: (صفدری فیروزآباد و همکاران، ۱۳۹۵)

پژوهش‌های خارجی متعددی نیز در این خصوص انجام‌شده است. یو و کیم، در پژوهشی که با هدف درک نقش مورفولوژی شهری در تقاضای انرژی بناهای مسکونی انجام دادند، نشان دادند که سه عامل ریخت‌شناسی، یعنی شرایط فضایی شهری، کاربری زمین و معماری بنا، بر بازده حرارتی ساختمان‌های مسکونی و سپس تقاضای انرژی تأثیر می‌گذارند (یو و کیم[3]، ۲۰۱۸). پژوهشی دیگر در این زمینه، با هدف شفاف‌سازی سازوکار پراکندگی گرما با منشأ انسانی در محیط‌های مختلف شهری، سعی در پیدا کردن اثرات مورفولوژی شهری بر پراکندگی گرما در مناطق مسکونی با تراکم زیاد دارد. در این راستا، پژوهش‌گران، گونه‌هایی از مجموعه‌ها را با فرض تراکم ثابت و چیدمان متفاوت، شبیه‌سازی کردند. این پژوهش، در سنگاپور و در شهری گرمسیری و دارای سبک زندگی متراکم و جمع‌وجور، انجام‌شده است. تراکم شهری در همه نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده، یکسان فرض شده است تا یافته‌ها قابل مقایسه باشند. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که محققان، توانستند با اعمال تغییراتی در چیدمان ساختمان‌ها، در نمونه مورد مطالعه خود میزان گرمای حبس شده در دو راستای عمودی و افقی را کاهش دهند.



شکل ۲. نمونه‌های ایجادشده در پژوهش برای شبیه‌سازی با تراکم یکسان.

[1] Design builder
[2] Energy Plus
[3] You & Kim

برگرفته از: (ادیلیا، یوهان، لیو و شان[1]، ۲۰۱۹)

با توجه به پویایی فعلی رشد جمعیتی، تا سال ۲۰۵۰ این احتمال وجود دارد که نزدیک به ۵۰ درصد از جمعیت جهان در کشورهای گرمسیری ساکن شوند. بنابراین با افزایش روزافزون مناطق استوایی، تقاضای انرژی برای تهویه مطبوع به طور چشمگیری در حال افزایش است. (رودریگز و الساندرو[2]، ۲۰۱۹). در همین راستا، تغییر اقلیم در مناطق شهری، نگرانی‌هایی را برای نظارت و کاهش اثرات زیست‌محیطی حاصل از گرمایش در محیط‌های مصنوع در سراسر جهان ایجاد کرده است. برای مثال، تجزیه‌وتحلیل‌ها در کشور هند، نشان می‌دهد که دمای زمستان، بیشتر از دمای تابستان افزایش‌یافته است. فقدان سیاست‌های استراتژیک برای کاهش جزیره گرمایی شهری[3]، تحقیق در این زمینه را بسیار دشوار می‌کند. اگرچه برخی از مطالعات به اثرات آلودگی جوی و انتشارات گلخانه‌ای بر جزیره گرمایی پرداخته‌اند؛ اما، رویکردی برای ابداع استراتژی‌ها و سیاست‌های علمی در مناطق شهری هنوز وجود ندارد. در این چارچوب، در پژوهش انجام‌شده توسط خان و همکاران، اثرات پوشش گیاهی چند شهر در هند از طریق شبیه‌سازی عددی موردبررسی قرارگرفته و اثرات توسعه شهری بر ناهمگونی حرارتی شهری بر جزیره‌های گرمایی، بررسی‌شده است. نتایج شبیه‌سازی، به اقدامات استراتژیک و سیاست‌محور موردنیاز برای کاهش اثرات نامطلوب جزیره گرمایی اشاره دارد. (خان، شاترجی و ونگ[4]، ۲۰۲۰) در پژوهشی دیگر نیز، بخشی از شهر با دو سناریو از نظر آرایش پوشش گیاهی با دو سرعت باد ورودی مقایسه شده است. این پژوهش، به دنبال شناسایی اثرات جداگانه یا هم‌افزایی ویژگی‌های فیزیکی[5] درخت و باد پس‌زمینه، بر خنک‌سازی شهری است. شبیه‌سازی با استفاده از مدل رایگان اسکای‌هلیوس[6]، امکان تجزیه‌وتحلیل تغییرات حرارتی در یک نقطه از زمان و مکان را فراهم می‌کند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌ها، توصیه‌هایی از نظر اندازه و مورفولوژی درخت، چیدمان، تراکم و سرعت باد پس‌زمینه، برای خنک‌سازی غیرفعال فضای باز شهری معرفی‌شده است (رامان، کومار، شارما، فرولیش و ماتزاراکیز[7]، ۲۰۲۱). در پژوهشی دیگر، با تکیه‌بر تأثیر ویژگی‌های ساختمان بر عملکرد مصرف انرژی، به بررسی ارزش بازسازی ساختمان‌ها به سمت انعطاف‌پذیری انرژی پرداخته‌شده است. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت بسیار زیاد افزودن لایه‌های عایق است. این پژوهش، پیشنهاد می‌کند که انرژی به‌طور خودکار، در دوره‌های قیمت پایین، ذخیره‌شده و در دوره‌های قیمت بالا، استفاده شود (وی و کالاوتیت[8]، ۲۰۲۲).

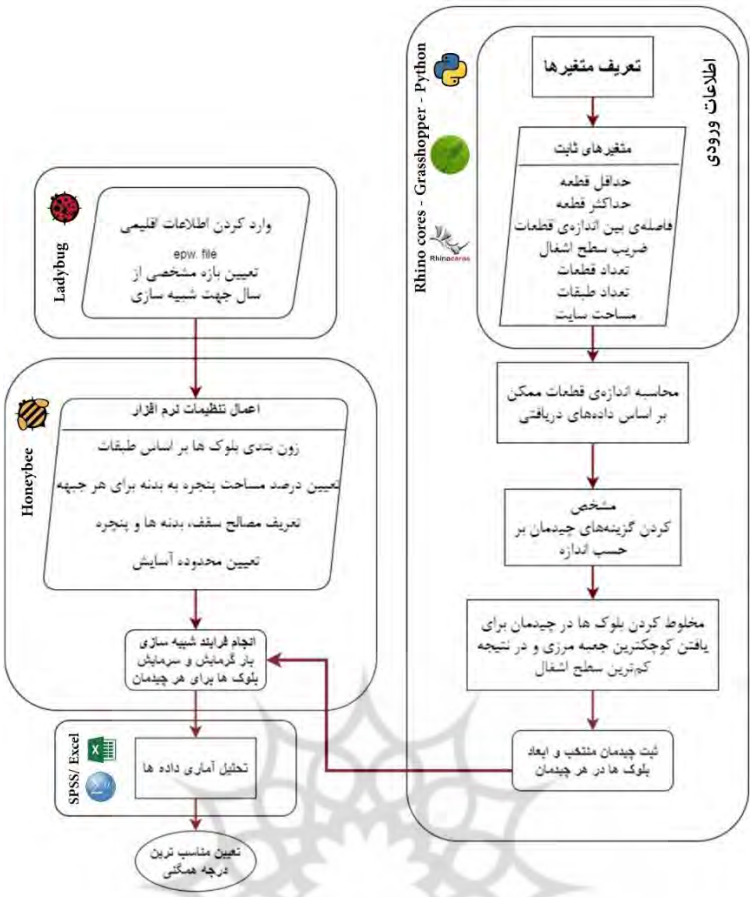
هر چند که پژوهش‌های انجام‌شده، تا حد زیادی به آشکار کردن آن دسته از ویژگی‌های کالبدی ساختمان که در میزان مصرف انرژی ساختمان موثر هستند، انجامیده است؛ اما حاوی اطلاعات کمی در خصوص چیدمان مجموعه‌ها، به‌ویژه در خصوص اندازه بناها است. از سوی دیگر، در اکثر پژوهش‌ها، صرفاً به بررسی یک یا چند نمونه‌ی مشخص، یا حداکثر، گونه‌شناسی چیدمان شهری پرداخته‌شده و پژوهشی که با ارائه مدل پارامتریک به بررسی مؤلفه‌ها و میزان تأثیر آن‌ها پرداخته باشد، مشاهده نمی‌شود.

روش پژوهش

ساختار کلی روش این پژوهش، مشتمل بر سه مرحله اصلی است: ۱) در مرحله نخست، مدل مولد، به نحوی که متغیر مستقل به طور پارامتریک قابل تغییر باشد؛ ایجادشده و تعدادی چیدمان، براساس این مدل مولد، تولیدشده است؛ ۲) در گام دوم، تعدادی از چیدمان‌های تولیدشده در مدل مولد، شبیه‌سازی‌شده و بار سرمایشی و گرمایشی در آن‌ها، محاسبه‌شده است؛ ۳) در گام سوم، رابطه‌ی همبستگی میان شاخص‌های مبین متغیر مستقل با متغیر وابسته (بار سرمایشی و گرمایشی) محاسبه‌شده است. ساختار کلی روش، در چارت زیر، قابل مشاهده است:

---

[1] Adelia, Yuan, Liu & Shan
[2] Rodriguez & D'Alessandro
[3] UHI
[4] Khan, Chatterjee & Weng
[5] Morphology
[6] SkyHelios Pro
[7] Raman, Kumar, Sharma, Froehlich and Matzarakis
[8] Wei & Calautit



شکل۳. فلوچارت روش انجام پژوهش

گام اول: مدل مولد

متغیر مستقل این پژوهش، اندازه‌ی بناها در یک مجموعه‌ی شهری (با سطح زیربنای ثابت) است. برای این منظور، لازم است تعدادی چیدمان، به‌نحوی که تنها متغیر تغییریافته در آن‌ها، اندازه بناها (با حفظ سطح زیربنای کل) است؛ تولید شود. بنابراین، پارامترهای ثابت این بخش، عبارت‌اند از تعداد بناهای مجموعه، تعداد طبقات و جزئیات فرمی آن‌ها. تعیین مقادیر پیش‌فرض برای این پارامترها، در ادامه تشریح شده است. پیش از آن، الگوریتم مورد استفاده در مدل مولد، برای تولید چیدمان‌های متنوع، بر اساس متغیر مستقل، به شرح زیر است:

۱) اطلاعات لازم شامل: حداقل اندازه‌ی هر بنا و حداکثر اندازه‌ی هر بنا، فاصله بین اندازه بناها (گام‌های تغییر اندازه در بناها نسبت به یکدیگر)، ضریب سطح اشغال، مساحت سایت و سایر موارد لازم، از کاربر دریافت می‌شود.

۲) بر اساس داده‌های دریافتی، اندازه‌های ممکن برای بناها، محاسبه می‌شود.

برای این منظور، از کوچک‌ترین قطعه شروع و با گام‌های معرفی‌شده توسط کاربر (در این پژوهش، ۱۰۰ مترمربعی)، تا بزرگ‌ترین قطعه، ادامه داده می‌شود تا اندازه‌های ممکن، حاصل شود.

۳) براساس اندازه‌های ممکن و تعداد بناهای مشخص‌شده توسط کاربر (در این پژوهش، ۹)، گزینه‌های چیدمان بر حسب اندازه، بر اساس شروط زیر، تولید می‌شود:

۳-۱) مجموع زیربناها در مجموعه، برابر با سطح اشغال باشد.

۳-۳) قطعات باهم تداخل نداشته باشند.

۳-۴) قطعات روی هم سایه‌اندازی نداشته باشند (برای پرهیز از اثر سایه‌اندازی در بار حرارتی).

۴) حالت‌های مشخص‌شده، در داخل زمین فرضی، چیده و به طور حجمی، ساخته می‌شود.

گام‌های بعد، مربوط به مراحل بعدی است:

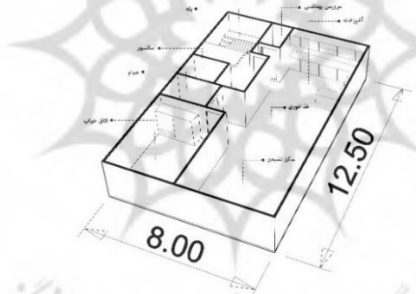
۵) اطلاعات اقلیمی مناسب، درصد پنجره به سطح[1]، مصالح مصرفی و سایر موارد، در نرم‌افزار شبیه‌ساز مصرف انرژی، وارد می‌شود.

۶) بار گرمایش و سرمایش بلوک‌ها، در بازه‌ی زمانی تعریف‌شده، محاسبه و ثبت می‌شود.

مدل مولد، در قالب یک کد پارامتریک ایجادشده است تا تمام مقادیر ورودی، توسط بهره‌بردار قابل تنظیم بوده و مطابق خواسته کارفرما و نیاز پروژه، کنترل‌شده و در موقعیت‌های دیگر نیز به کار گرفته شود. اما در این پژوهش، برای تحلیل و نتیجه‌گیری، لازم بود تا مقادیر مشخصی برای هر متغیر مربوط به چیدمان، در نظر گرفته شود. برای این منظور، برخی از مقادیر، به‌صورت قراردادی و برخی دیگر طبق ضوابط و قوانین شهری موجود در خصوص تهران انتخاب و اعمال‌شده‌اند. در این چارچوب، ابعاد بلوک شهری در این پژوهش، زمینی به مساحت ۲۰۰۰۰ متر مربع به ابعاد تقریبی ۱۴۱*۱۴۱ در نظر گرفته‌شده است. میزان سطح اشغال بلوک‌ها نیز، به صورت قراردادی، عدد ۳۵ درصد می‌باشد. رعایت این حدود برای سطح اشغال، در قالب یک کد پایتون به شرح زیر، نوشته و فراخوانی شد:

```
Occupation_Plot = Plot_Area * (Occupation_Ratio/100)
B_max = Occupation_Plot - ((NoB - 1) * B_min)
if B_max > B_max_Limit:
  B_max = B_max_Limit
```

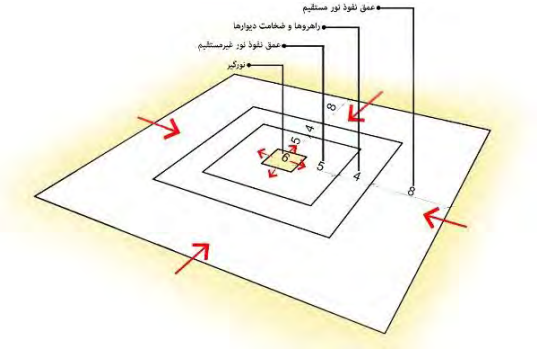
ارتفاع مجاز بناها در این پژوهش، با هدف کاهش سایه‌اندازی، توجه به الگوی متداول در شهر تهران و همچنین، داشتن ساختمانی پایدارتر، ۵ طبقه در نظر گرفته‌شده است. در روند این پژوهش، تناسبات بناها، مربع در نظر گرفته شد تا تأثیر جهت کشیدگی آن‌ها بر میزان میزان بار سرمایشی و گرمایشی حذف شده و از ورود یک عامل مداخله‌گر، جلوگیری شود. برای محاسبه ابعاد بناها، اندازه کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین بنا محاسبه شده و سپس، در بازه مشخص‌شده، سایر بناها تولید شد. ابعاد کوچک‌ترین بنا، طبق مقررات ملی ساختمان با در نظر گرفتن مشاعات آن، ۱۰۰ مترمربع خواهد بود (شکل ۴).



شکل ۴. نمونه‌ی کوچک‌ترین بلوک با در نظر گرفتن مشاعات طبق مقررات ملی ساختمان

برای محاسبه ابعاد بزرگ‌ترین بنا، با در نظر گرفتن چالش نفوذ نور، یک نورگیر با عرض ۶ متر در وسط بلوک در نظر گرفته شد. سپس از طرفین نورگیر، به اندازه عمق نفوذ نور غیر مستقیم و عمق نفوذ نور مستقیم و همچنین ۴ متر جهت راهروها و ضخامت دیوارها به آن اضافه شد. عمق نفوذ نور مستقیم از هر طرف ۸ متر و عمق نفوذ نور غیرمستقیم ۵ متر است (مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان). بنابراین، با فرض لزوم مربع بودن بناها (برای حذف اثر کشیدگی بنا) بلوک ۴۰*۴۰ به عنوان بزرگ‌ترین بنای ممکن برگزیده شد (شکل ۱۲).

[1] WWR



شکل ۵. دیاگرام محاسبه‌ی ابعاد بزرگ‌ترین بلوک

برای محاسبه تعداد قطعات نیز، بناها در هر چیدمان طبق فرمول زیر، عددی بین اندازه سطح اشغال زمین مورد مطالعه، تقسیم بر ابعاد کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین بلوک انتخاب‌شده است.

بیش‌ترین تعداد > تعداد بلوک‌ها > کم‌ترین تعداد

$$\text{کمترین تعداد} = \frac{\text{سطح اشغال}}{\text{بزرگترین قطعه}} = ٤ \qquad \text{بیشترین تعداد} = \frac{\text{سطح اشغال}}{\text{کوچکترین قطعه}} = ٧٠$$

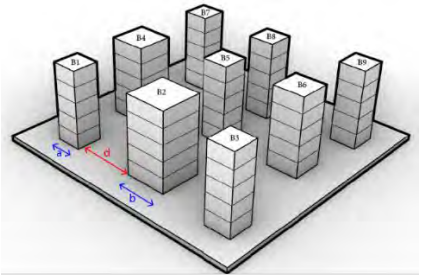
برای حذف اثر کشیدگی، به عنوان یک عامل مداخله‌گر در چیدمان، تعداد بلوک‌ها در راستای x و y برابر در نظر گرفته شد. با توجه به سطح اشغال زمین مورد نظر، زیر بنای قابل ساخت بلوک‌ها ۷۰۰۰ مترمربع خواهد بود. بنابراین، تصمیم بر این شد که تعداد بناها در هر بلوک، تا جای ممکن، کمتر در نظر گرفته شود تا اختلاف اندازه بین بناها، مشهود باشد. در نتیجه عدد ۹ به عنوان تعداد بناها در هر بلوک، برگزیده شد.

برای تولید چیدمان، لیستی مشتمل بر همه حالت‌های ممکن برای اندازه بناها نیاز است. این لیست، از کوچک‌ترین اندازه شروع‌شده و به صورت قراردادی، با گام[1]های مشخص جلو می‌رود. گام در نظر گرفته‌شده، معادل اندازه کوچک‌ترین بنا (۱۰۰ مترمربع) است. این روند، تا جایی پیش می‌رود که بزرگ‌ترین بنا (۱۶۰۰ مترمربع) حاصل‌شده و در نهایت، لیستی متشکل از انواع اندازه‌های ممکن بناها فراهم شود. این فرایند در قالب یک کد پایتون، به شرح زیر، نوشته و فراخوانی شد:

```
Possible_Dimensions = [int(B_max - (i * Step)) for i in range (int(B_max / Step)) if B_max - (i * Step) >= B_min]
```

تولید چیدمان‌های مختلف، به معنای تولید لیست‌های ۹ تایی از میان اندازه‌های ممکن برای هر بنا است. برای انجام این کار، از فرمول جایگشت (توزیع k شی در n نوع) استفاده شد. این کار در محیط پایتون، با به‌کارگیری کتابخانه ایترتولز[2] و دستور جایگشت بدون تکرار[3] انجام شد که در قالب آن، همه‌ی لیست‌های ممکن بدون تکرار، با شرط مساوی بودن مجموع زیربناها با سطح اشغال، تولید شد. فرایند تولید این لیست‌ها به‌گونه‌ای است که قطعات، از کوچک به بزرگ جایگذاری می‌شوند. برای حذف اثر ترتیب اندازه‌ها به‌عنوان یک عامل مداخله‌گر، هر یک از لیست‌های ۹ تایی که توسط این دستور ایجاد خواهد شد، با دستور شافل[4] مخلوط شد تا ترتیب کوچک به بزرگ مساحت‌ها در آن از بین رفته و ترتیب تصادفی[5] داشته باشد. برای جایگذاری بناها در هر بلوک، مکان هندسی هر بنا، از جمع مختصات هندسی مقادیر عرض و طول بناهای قبلی، به‌علاوه فواصل بین بناها حاصل‌شده است.

1 Step
2 itertools
3 Combination with replacement
4 shuffle
5 random



شکل ۶. جایگذاری بلوک‌ها و تولید چیدمان

این فرایند در قالب یک کد پایتون، به شرح زیر، نوشته و فراخوانی شد:

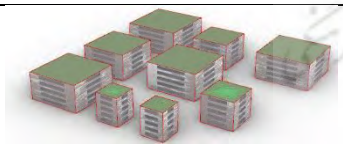
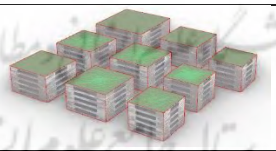
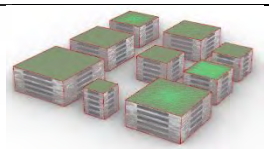
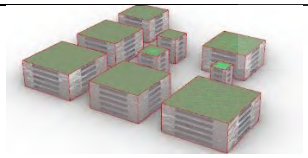
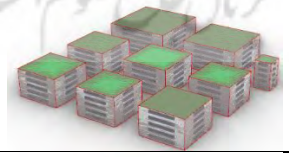
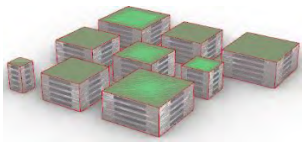
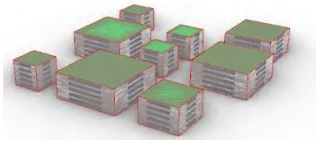
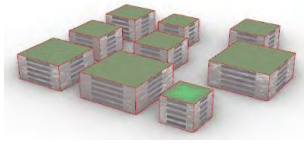
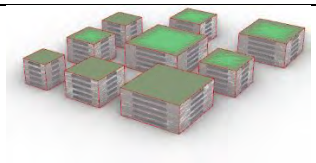
```
Block_Arr = [list(Blocks) for Blocks in it.combinations_with_replacement (Possible_Dimensions, NoB) if sum
(Blocks) == Occupation_Plot]

r.shuffle (Block_Arr)
for i in range (len(Block_Arr) - 1):
   r.shuffle(Block_Arr[i])
while count <= int(len(Block_Arr)*(SRP/100)-1):
   R = r.randint(0,len(Block_Arr)-1)
   if R not in Sample_Seed:
      Sample_Seed.append(R)
      count += 1
```

در طی این روند، دو شرط برای الگوریتم در نظر گرفته شد. اولین شرط، عدم سایه‌اندازی بناها بر یکدیگر است. در این پژوهش، طبق نتایج پژوهش‌های پیشین، چیدمان بناها به نحوی صورت گرفت که در حد فاصله ۱/۲۵ برابر ارتفاع یکدیگر قرار نگیرند. با توجه به ارتفاع ۱۵ متری بناها، محدوده‌ی سایه‌اندازی هر بنا، که حداقل فاصله‌ی بناها از هم نیز محسوب می‌شود، حدوداً ۱۸/۷۵ متر خواهد بود. از سوی دیگر، ابعاد متفاوت قطعه‌ها نیز ممکن بود منجر به بروز تداخل در بناها شود. بنابراین، عدم تداخل بناها، شرط دوم وضع‌شده برای الگوریتم در نظر گرفته شد. برای رفع این مشکل، از روش مقایسه‌ی مختصات محل استقرار هر بنا، با بنای قبلی استفاده شد. بدین صورت که هر بنا با بنای قبلی در هر دو راستای x و y مقایسه شده و تداخل، با جابجایی هر بنا در راستای مناسب، رفع شد. چند نمونه از چیدمان‌های تولیدشده در بلوک‌ها، در جدول ۳ ارائه‌شده است:

جدول ۳

چند نمونه از کل چیدمان‌های تولیدشده

گام دوم:

شبیه‌سازی با استفاده از افزونه‌ی لیدی‌باگ[1] و هانی‌بی[2] در محیط گرس‌هاپر[3] از نرم‌افزار راینو[4] انجام شد. خروجی مرحله‌ی مدل‌سازی حجمی، به لیدی‌باگ متصل شد و تنظیماتی چون بازه‌ی زمانی، محدوده‌ی آسایش حرارتی، زون بندی بناها، مصالح مصرفی و درصد بازشو نسبت به بدنه برای آن در نظر گرفته شد. شبیه‌سازی بار سرمایشی و گرمایشی در این پژوهش، برای تمام ۲۴ ساعت شبانه‌روز در روزهای انقلاب تابستانی (اول تیر، ۲۱ ژوئن) و انقلاب زمستانی (اول دی، ۲۱ دسامبر) انجام شد که تا حد زیادی، بحرانی‌ترین روز سال از نظر گرمایش و سرمایش محسوب می‌شوند. محدوده‌ی آسایش حرارتی برای منطقه مطالعاتی که شهر تهران است، در شرایط تابستانی ۲۶/۸– ۲۰/۴ درجه سانتیگراد و برای شرایط زمستانی بین ۲۰/۴ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد پیشنهادشده است (حیدری، ۱۳۸۷). در این راستا، در پژوهش حاضر، چنانچه بیشترین و کمترین دمای مجاز داخل خانه، در بازه مجاز یادشده رخ بدهد، پنجره‌ها در نرم‌افزار شبیه‌سازی، بسته در نظر گرفته خواهند شد. یکی دیگر از تنظیمات وضع‌شده، زون بندی بناها است. با توجه به این که در این مرحله از طراحی، هنوز طراح وارد فرایند طراحی دقیق فضاها نشده و بخش‌های داخلی و فضاها تفکیک نشده‌اند، هر طبقه، یک زون مجزا در نظر گرفته‌شده است.

از دیگر تنظیمات در نظر گرفته‌شده در نرم‌افزار، که به دقیق‌تر شدن خروجی‌ها می‌انجامد، تعیین مصالح مورد استفاده در بناست. در جدول‌های ۴ و ۵، مشخصات لایه‌های دیوارهای خارجی و سقف، طبق مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ذکر است. این مشخصات، مصالح غالب مورد استفاده در شهر تهران بوده و برای تمام حالات، یکسان در نظر گرفته شد.

جدول ۴

مشخصات لایه‌های دیوار خارجی

نام هر لایه	ضخامت (mm)	مقاومت گرمایی (K.m2/W)
صفحه گچی (gypsom board)	۲۵	۰/۱۵۵
عایق صفحه‌ای (RSI-1.2 board insulation)	۲۵	۱/۲۲
بلوک بتنی سبک (HW concrete block)	۲۰۳	۰/۵۸
آجرنمای ساختمانی (face brick)	۱۰۰	۰/۰۷۶

برگرفته از: (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹)

جدول ۵

مشخصات لایه‌های سقف

نام هر لایه	ضخامت (mm)	مقاومت گرمایی (K.m2/W)
گچ (gypsom)	۲۵	۰/۱۲۱
عایق صفحه‌ای (RSI-2.5 board insulation)	۲۵	۱/۲۲۲
بلوک سیمانی (LW concrete block)	۲۰۳/۲	۰/۳۵۵
ایزوگام (iso)	۲۰	۰/۴۸۲

برگرفته از: (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹)

برای نزدیک شدن نتایج پژوهش به واقعیت، توجه به درصد بازشو نسبت به سطح بدنه[5] ضروری است؛ چرا که نوع و نسبت بهینه‌ی آن، نقش مهمی در انرژی کارآمدی و بهبود کیفیت محیط داخلی ایفا می‌کند (حبیب، برزگر و چشمه قصابانی، ۱۳۹۳). پنجره‌های تک جداره، سه جداره شفاف، سه جداره کم گسیل و سه جداره انعکاسی، به ترتیب نسبت‌های ۱۵٪ ، ۲۵٪ ، ۲۵ ٪ و ۳۵ ٪ بیشترین میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی را فراهم می‌کنند (پیلکینگتون[6]، ۲۰۱۵). پژوهش‌ها نشان داده است که

1 Ladybug
2 Honeybee
3 Grasshopper
4 Rhino
5 WWR
6 Pilkington

تنها با اســتفاده از پنجره‌هایی با کارایی بالا و نسبت بهینه، مصرف انرژی تا ۲۰/۳٪ کاهش می‌یابد (کریم پور، دیبا و اعتصام، ۱۳۹۸). بنابراین در پژوهش حاضر، نسبت پنجره به دیوار در چهار جهت اصلی، با پنجره سه جداره شفاف، طبق جدول ۶ در نظر گرفته‌شده است.

جدول ۶

نسبت بهینه پنجره به بدنه بر اساس نوع آن در هر جهت‌گیری برای شهر تهران مبتنی بر محاسبات visualDOE

نوع پنجره	نسبت بهینه در هر جهت‌گیری (٪)			
	جنوب	شرق	غرب	شمال
تک جداره شفاف	۲۵	۱۵	۱۰	۵
سه جداره شفاف	۳۰	۲۰	۱۵	۵
سه جداره کم گسیل	۳۵	۲۰	۲۰	۱۰
سه جداره انعکاسی	۴۵	۱۵	۱۵	۱۰

برگرفته از: (کریم پور و همکاران، ۱۳۹۸)

این پژوهش، در شهر تهران انجام‌شده است. بـر اسـاس تقسـیم‌بندی کـوپن-کـایگر، از ۳۱ منطقـه‌ی ممکـن در ایـن شـیوه‌ی پهنه‌بندی، ۹ مورد آن در ایران وجود دارد (رضیئی، ۱۳۹۶) که تهران، در اقلیم گرم و خشک و در زیـر گـروه BS_{ks} قـرار می‌گیـرد (کسمایی، ۱۳۸۱). کلان شهر تهران در طول جغرافیایی[1] ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه و عرض جغرافیایی[2] ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه قرارگرفته و متوسط ارتفاع آن از سطح دریا[3]، ۱۱۹۱ متر است. همچنین، درجه‌ی روز گرمایشی[4] در تهـران، ۱۴۹۵ و درجـه‌ی روز سرمایشـی[5] آن، ۱۳۷۸ است (صنایعیان، مهدیزاده، نصراللهی و مفیدی شـمیرانی، ۱۳۹۲). بـا توجـه بـه گسـتردگی شـهر تهـران، ایسـتگاه‌های هواشناسی متعددی مانند فرودگاه مهرآباد، نمایشگاه بین‌المللی، پارک شهر، دوشان تپه، سعدآباد، نارمک و اقدسیه در آن وجود دارد. در این پژوهش، برای انجام شبیه‌سازی‌ها از اطلاعات هواشناسی ایستگاه مهرآباد تهران استفاده‌شده است که در زیر اقلـیم سـرد و نیمه گرم و خشک قرار دارد.

با توجه به روش تولید نمونه‌ها و شروط و قیود پیش‌گفته، در مجموع ۲۸۴۱۷ نمونه تولید شد. ازآنجایی‌که برای شبیه‌سازی هر نمونه، یک ساعت زمان لازم است؛ شبیه‌سازی تمام نمونه‌ها امکان‌پذیر نبوده و پژوهش، مستلزم نمونه‌گیری است. بنابراین، عددی به‌عنوان درصدی از کل نمونه‌ها برای آزمایش تعریف شد. با توجه به زمان لازم جهت شبیه‌سازی، ۵۶۹ نمونه انتخاب و وارد فرآیند شبیه‌سازی شد.

یافته‌ها و بحث

همانطور که در روش پژوهش مورد اشاره قرار گرفت؛ در روند تولید چیدمان‌ها، مجموع متراژ بناها در کل بلوک، ثابت نگه‌داشته شده؛ اما، اندازه بناها –به عنوان متغیر مستقل– نابرابر در نظر گرفته‌شده است. از میان ۲۸۴۱۷ حالت تولیدشده توسط مدل مولد، تعداد ۵۶۹ نمونه به طور تصادفی انتخاب‌شده و در شهر تهران، برای دو روز انقلابین تابستانی (۱ تیرماه) و زمستانی (۱ دی‌ماه) شبیه‌سازی شد. در میان نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده، بیشترین و کمترین میزان بار سرمایشی محاسبه شده به ترتیب معادل kwh ۱۲۷۵۸۲ و kwh ۱۰۲۹۱۹ بود. همچنین، بیشترین و کمترین میزان بار گرمایشی محاسبه شده به ترتیب معادل kwh ۱۵۵۸ و kwh ۲/۳۳ به‌دست آمده است. بنابراین بناهای مسکونی در شهر تهران، برای سرمایش در فصول گرم، انرژی بسیار بیشتری نسبت به گرمایش در فصول سرد نیاز خواهند داشت. پس از استخراج اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی در هر چیدمان، رابطه اندازه بناها با میزان بار سرمایشی و گرمایشی، مورد آزمون قرار گرفت. نظر به این‌که در این پژوهش، رابطه‌ی همبستگی میان بار سرمایشی و گرمایشی، با اندازه تک‌بناها مورد نظر نبوده و هدف اصلی، تحقیق در رابطه همبستگی میان نحوه توزیع اندازه در بناهای یک بلوک با بار سرمایشی و گرمایشی آن بوده است؛ متغیر مستقل، پارامترهایی هستند که مبین چگونگی توزیع اندازه

1 Longitude
2 Latitude
3 Elevation
4 Heating degree day (HDD)
5 Cooling degree day (CDD)

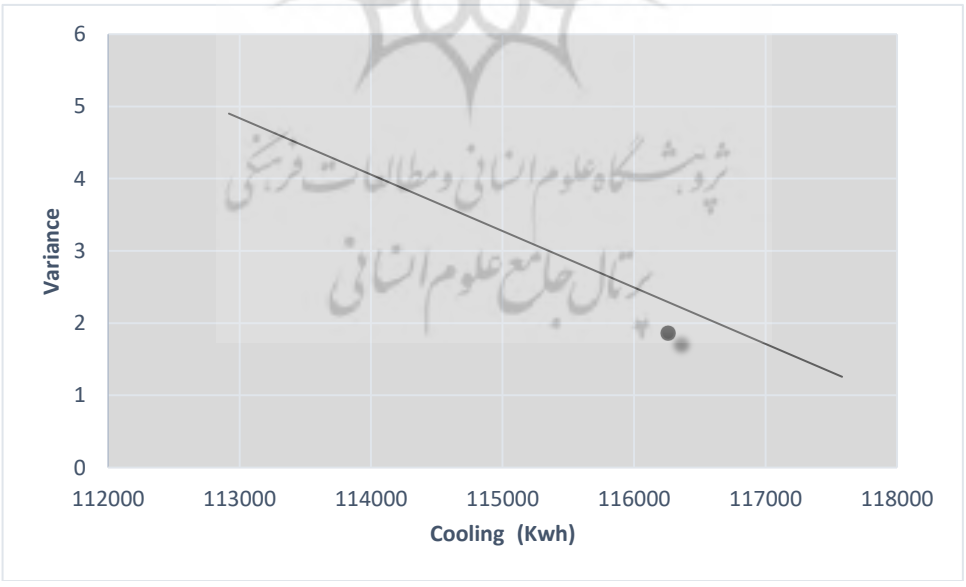
ثابت زیربنای یک بلوک، در بناهای شکل‌دهنده آن است. با توجه به آن‌که میانگین اندازه بناها در بلوک، برای تمامی گزینه‌ها یکسان بوده و جدای از آن، اطلاعات چندانی از نحوه توزیع اندازه در بناها نمی‌دهد؛ بنابراین، از واریانس، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی در سطح زیربنای بناهای هر چیدمان، به عنوان متغیر مستقل استفاده شد. به این ترتیب، با بررسی رابطه احتمالی میان این متغیرها با بار سرمایشی و گرمایشی کل مجموعه، می‌توان به توضیحی درباره‌ی ارتباط میان چگونگی توزیع اندازه‌ها در بناهای یک مجموعه، با بار سرمایشی و گرمایشی کل آن، دست‌یافت. برای این منظور، ابتدا برای هر چیدمان، مقادیر واریانس، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی سطح زیربنای بناها، محاسبه شده و در مجموع اطلاعات مربوط به هر چیدمان، ذخیره شد. در ادامه، با محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی هر یک از این چیدمان‌ها، امکان انجام آزمون همبستگی نیز، فراهم شد. یافته‌های حاصل از محاسبه‌ی همبستگی میان واریانس، انحراف معیار، کشیدگی و چولگی سطح زیربنای[۱] بناهای هر یک از ۵۶۹ چیدمان، با بار سرمایشی آن‌ها، در جدول ۷ ارائه‌شده است.

جدول۷

همبستگی داده‌ها

	مجموع بارهای سرمایش	مجموع بارهای گرمایش	مجموع بارهای گرمایشی و سرمایشی
چولگی	۰/۲۷۳۳۶۶۴۱۸	-۰/۰۰۲۰۹۰۸۳۳	۰/۲۵۳۶۹۹۰۱۵
کشیدگی	۰/۳۸۹۹۱۶۱۴۵	-۰/۰۲۹۵۴۵۹۶۱	۰/۳۷۲۸۰۲۷۷۸
واریانس	-۰/۷۱۰۵۵۵۷۶۷۸	-۰/۰۴۰۵۱۱۹۱	-۰/۶۷۴۸۸۸۲۸۳
انحراف از معیار	-۰/۶۸۶۱۶۵۸۶۸	-۰/۰۳۸۱۳۳۹۷۹	-۰/۶۵۱۳۸۸۹۰۸

یافته‌های حاصل از آزمون همبستگی، حاکی از آن است که هر چهار شاخص، با مجموع بارهای گرمایشی، رابطه‌ی همبستگی ضعیفی دارند؛ اما، با مجموع بارهای سرمایشی، رابطه همبستگی قوی دارند. در عین حال، سهم بسیار بیشتر بار سرمایشی در مجموع بارهای سرمایشی و گرمایشی، باعث می‌شود که در مجموع نیز، این شاخص‌ها، رابطه همبستگی نسبتاً قوی با جمع کل بارهای گرمایش و سرمایش داشته باشند. این یافته، ضمناً حاکی از آن است که در منطقه مورد مطالعه، سرمایش فصول گرم، نسبت به گرمایش فصول سرد، حائز اهمیت بیشتری است.

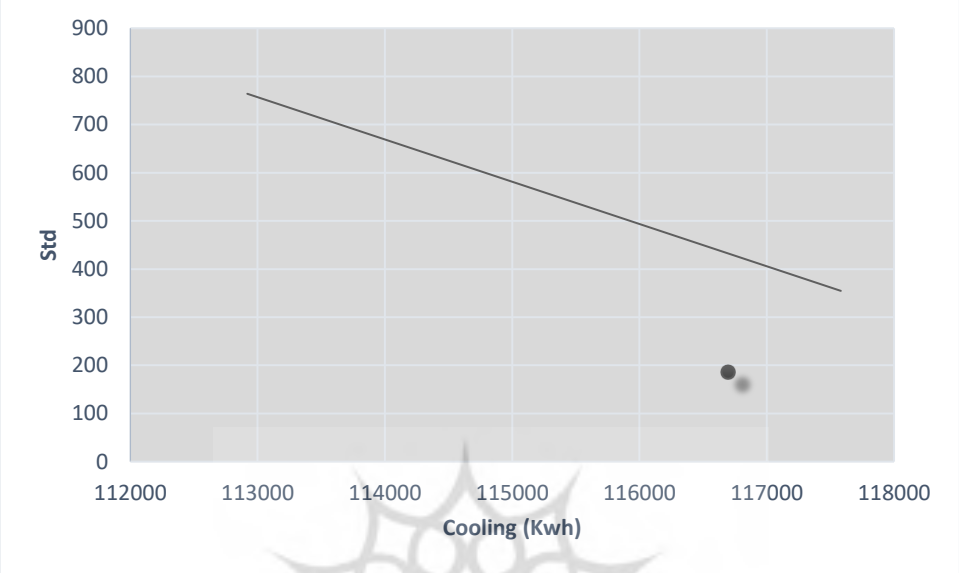


شکل ۷. نمودار نقطه‌ای همبستگی مجموع بارهای سرمایشی و شاخص واریانس

از نمودار بالا (شکل ۷) پیداست که بار سرمایشی، با واریانس اندازه بناها در هر مجموعه، رابطه منفی و قوی، معادل ۰/۷۱- دارد. این رابطه همبستگی معکوس و قوی، نشان می‌دهد که هرچه واریانس اندازه بناها بیشتر باشد، میزان بار سرمایشی مجموعه، کمتر

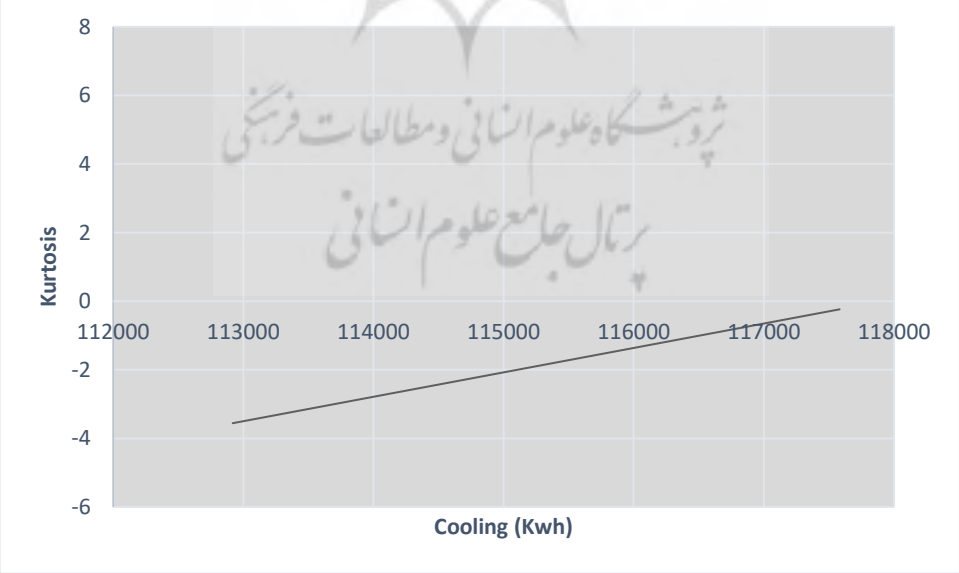
[۱] در ادامه، برای خلاصه‌سازی، از «سطح زیربنای بناها» با «اندازه‌ی بناها» یاد می‌شود.

خواهد بود. واریانس، مبین هم‌اندازگی و غیرهم‌اندازگی قطعات است. بنابراین، با کاهش واریانس (یعنی افزایش هم‌اندازگی قطعات)، بار سرمایشی مجموعه (و در نتیجه، بار کل آن) به طور معناداری افزایش می‌یابد. لذا، می‌توان این طور نتیجه گرفت که در طراحی مجموعه‌های متشکل از چند بنا، چیدمان‌هایی جواب مناسب‌تری هستند که قطعات آن‌ها غیر هم‌اندازه‌تر بوده و بناها در آن، تنوع اندازه بیشتری داشته باشند. بر این اساس، می‌توان توصیه کرد که در اقلیم تهران، بهتر است سطح زیربنای یک مجموعه، در بناهایی با تنوع اندازه زیاد توزیع‌شده و از طراحی بناهای هم‌اندازه، خودداری شود.



شکل ۸. نمودار نقطه‌ای همبستگی مجموع بارهای سرمایشی و شاخص انحراف معیار

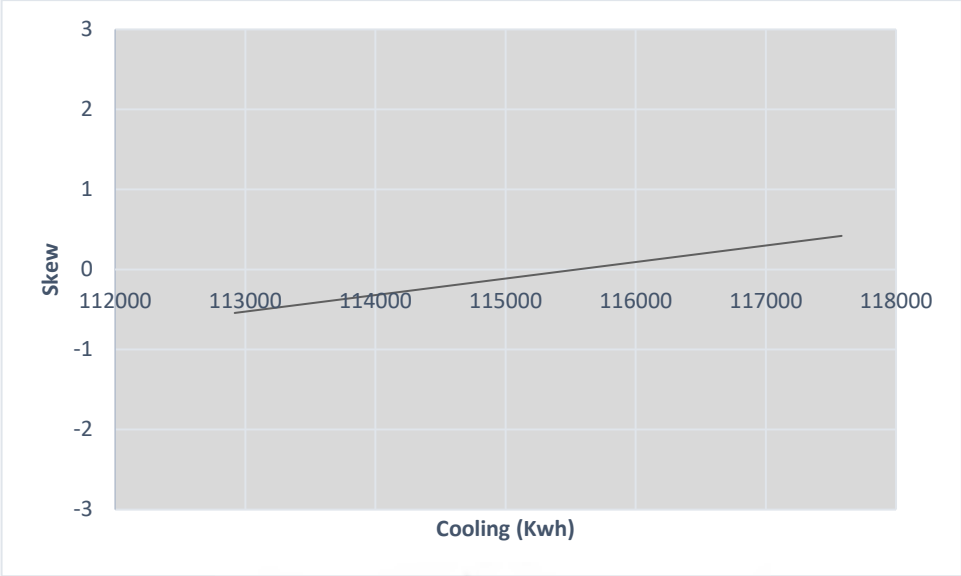
طبق نمودار بالا (شکل ۸) نیز مجموع بارهای گرمایشی و سرمایشی، با انحراف معیار، رابطه‌ی همبستگی منفی قوی، معادل ۰/۶۸- دارد. انحراف معیار نیز، شاخصی است که مشابه واریانس، نحوه توزیع اندازه‌ها حول میانگین را توضیح داده و مقدار آن را مشخص می‌کند. بنابراین، این یافته نیز، در تأیید بخش پیش‌گفته، مبین آن است که هرچه میانگین اندازه‌ها از مقدار متوسط، فاصله بیشتری داشته باشند؛ بار سرمایشی مجموعه، کمتر خواهد بود.



شکل ۹. نمودار نقطه‌ای همبستگی مجموع بارهای سرمایشی و شاخص کشیدگی

نمودار بالا (شکل ۹) نشان‌دهنده این است که مجموع بارهای گرمایش و سرمایش، با کشیدگی، رابطه همبستگی مثبت، معادل ۰/۳۹ دارد که نسبت به دو شاخص دیگر، ضعیف‌تر است. شاخص کشیدگی، همگنی یا ناهمگنی پراکندگی داده‌ها حول میانگین را

نشان می‌دهد. در ادامه یافته‌های پیش‌گفته، این رابطه نشان‌دهنده آن است که هرچه قطعات یک مجموعه، پراکنده‌تر باشند، از نظر بار حرارتی، مناسب‌تر عمل خواهند کرد. البته، این درجه همبستگی، متوسط بوده و به قوت یافته‌های قبل نیست.

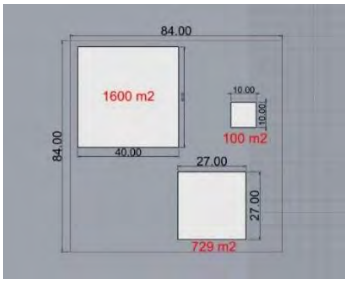


شکل۱۰. نمودار همبستگی مجموع بارهای سرمایش و شـاخـص چولگی

مجموع بارهای گرمایشی و سرمایشی، با چولگی نیز رابطه مثبت ولی نسبتاً ضعیف، معادل ۰/۲۷ دارد. این موضوع، بدان معناست که هرچه تقارن در توزیع اندازه قطعات بیشتر برقرار باشد، آن چیدمان از نظر بار حرارتی مناسب‌تر عمل خواهد. این بدان معنا است که به ازای هر قطعه بزرگ، بهتر است یک قطعه کوچک در چیدمان وجود داشته باشد و برعکس. بدین ترتیب، در همراهی با سایر یافته‌ها و با تأکید بر یافته‌هایی که همبستگی قوی‌تری نشان داده‌اند؛ می‌توان دریافت که:

۱. در توزیع اندازه بناها در یک مجموعه، اختلاف بیشتر حول نقطه‌ی میانگین، نتایج بهتری در مصرف انرژی مجموعه خواهد داشت.
۲. حفظ تقارن اندازه در دو سوی میانگین، تا حدی می‌تواند به نتایج بهتر در مصرف انرژی بیانجامد.

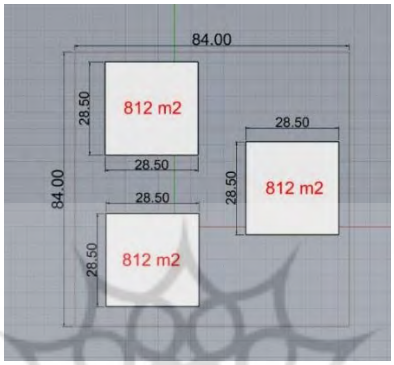
در گام بعد، برای مطمئن شدن از درستی یافته‌ها و تایید روایی فرآیند، آزمایشی جداگانه طراحی و با نتایج پیشین، مقایسه شد. در این آزمایش، دو چیدمان، یکی بر اساس یافته‌های این پژوهش و یکی در تقابل با آن طراحی و شبیه‌سازی‌شده و بارهای سرمایشی و گرمایشی آن‌ها مقایسه شد تا کارکرد یافته‌های این پژوهش و توصیه‌های مبتنی بر آن، بررسی شود. طراحی چیدمان و شبیه‌سازی‌ها، این بار با ۳ بلوک انجام شد. شرایط چیدمان‌ها از نظر فاصله بین قطعات، هندسه مربعی بلوک‌ها، ارتفاع و درصد سطح اشغال، مشابه بخش پیشین در نظر گرفته شد. در این آزمون، دو چیدمان مرجع برای مجموعه در نظر گرفته شد: ۱) چیدمانی دقیقاً منطبق با یافته‌های پژوهش و ۲) چیدمانی دقیقاً مخالف با یافته‌های پژوهش. برای طراحی چیدمان شماره‌ی یک، سه بلوک باید به گونه‌ای در سایت جایگذاری شوند که بناها، غیر هم‌اندازه بوده، اندازه آن‌ها ناهمگن بوده و حول میانگین، نسبتاً متقارن باشند. بر این اساس، چیدمان شکل ۱۱ به‌عنوان الگوی منطبق با یافته‌های پژوهش، در نظر گرفته شد.



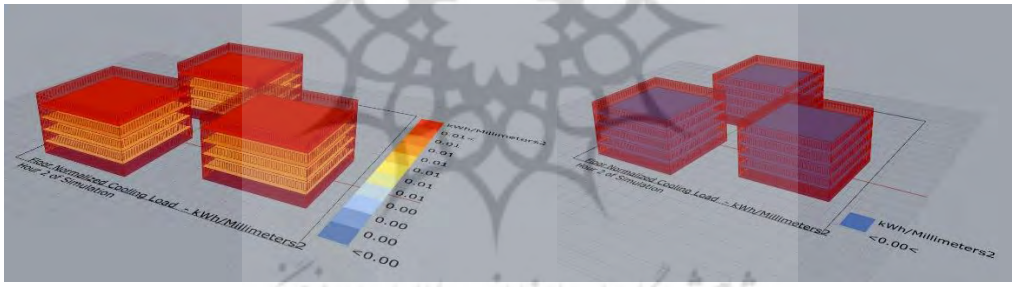
شکل۱۱. چیدمان منطبق با یافته‌های پژوهش

شکل۱۲. شبیه‌سازی بار گرمایش چیدمان منطبق با توصیه‌های ناشی از دستاوردهای پژوهش در انقلاب زمستانی و انقلاب تابستانی

در نقطه مقابل، برای طراحی چیدمان شماره‌ی دو، سه بلوک باید به گونه‌ای در سایت جایگذاری شوند که بناها، دقیقاً هم‌اندازه باشند و در نتیجه، اندازه بلوک‌ها همگن باشد. در این حالت، اصولاً تقارن حول میانگین، معنا نداشته و درهرحال، رخ می‌دهد. بر این أساس، چیدمان زیر (شکل ۱۳)، به‌عنوان الگوی مخالف با یافته‌های پژوهش در نظر گرفته شد.



شکل۱۳. نمای پلان چیدمان مخالف با یافته‌های پژوهش



شکل۱۴. شبیه‌سازی بار سرمایش چیدمان مخالف با توصیه‌های ناشی از دستاوردهای پژوهش در انقلاب تابستانی

شبیه‌سازی بارهای سرمایشی و گرمایشی در هر دو گزینه، در شرایط اقلیمی شهر تهران و در انقلابین (اول تیر و اول دی)، انجام شد که یافته‌ها، در جدول ۸ ارائه‌شده است:

جدول ۸

شبیه‌سازی بار گرمایشی و سرمایشی نمونه‌های جدید، جهت اعتبار سنجی نتایج

چیدمان	مجموع بار سرمایش	مجموع بار گرمایش	مجموع بار سرمایش و گرمایش
چیدمان شماره‌ی یک	۱۴۵۶۶۷	۷۰۵	۱۴۵۶۵۲
چیدمان شماره‌ی دو	۱۷۰۳۰۰	۷۲۱	۱۷۱۰۲۱

یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی بار گرمایشی و سرمایشی در دو روز انقلابین برای نمونه‌های جدید طراحی‌شده، الگویی مطابق با یافته‌های پیشین را نشان می‌دهد. چیدمان شماره‌ی یک، که چیدمانی منطبق با یافته‌های پیشین بود، بار گرمایشی و سرمایشی کمتری داشته و برعکس، چیدمان شماره دو، که چیدمانی مخالف با یافته‌های پژوهش بود، بار گرمایشی و سرمایشی بیشتری (تقریبا ۱۵ درصد بیشتر از چیدمان یک) نشان داد. این امر، مبین اعتبار یافته‌های پژوهش است.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، دست‌یابی به راهکارهایی کاربردی برای طراحان شهری و معماران، با هدف کاهش مصرف انرژی در طراحی مجموعه‌های متشکل از چند بنا، در گام‌های نخست طراحی بوده است. برای این منظور، یک مدل مولد پارامتریک، طراحی‌شده و بار سرمایشی و گرمایشی یک مجموعه متشکل از ۹ بنا، در موقعیت‌های مختلف، بر اساس اندازه متغیر برای بناها، شبیه‌سازی شد. یافته‌های پژوهش، حاکی از آن است که میان اندازه‌ی مجموعه‌ی قطعات و بار سرمایشی و گرمایشی، گونه‌های متفاوتی از رابطه همبستگی برقرار است. با پراکندگی بیشتر اندازه بناها در چیدمان یک مجموعه، بار سرمایشی و گرمایشی سالانه، کاهش می‌یابد. همچنین، تقارن در این اختلاف اندازه، تا حدی به بهبود مصرف انرژی مبتنی بر بار سرمایشی و گرمایشی می‌انجامد. همچنین، آزمون روایی یافته‌ها نیز، حاکی از اطمینانی قابل قبول نسبت به یافته‌های پژوهش است. بر این اساس، یافته‌های این پژوهش، می‌تواند در مراحل اولیه طراحی یک مجموعه، به کمک طراحان شهری و معماران آمده و دستاویزی برای طراحی مجموعه‌هایی با بار سرمایشی و گرمایشی کمتر باشد. در این چارچوب، اصول زیر را می‌توان به طراحان شهری و معماران، توصیه کرد:

- در مراحل اولیه طراحی یک مجموعه متشکل از چند بنا، بهتر است تنوع در اندازه بناهای موجود در مجموعه، تا حد امکان بالا در نظر گرفته‌شده و مجموعه، شامل قطعات غیر هم‌اندازه باشد.
- بهتر است اندازه هر یک از بناها در یک مجموعه، از مقدار میانگین آن در کل مجموعه، فاصله داشته باشد.
- اندازه قطعات، بهتر است نابرابر و غیر همگن باشند.
- بهتر است تنوع در اندازه قطعات، به طور متقارن انجام شود. مورد اخیر، به اندازه‌ی موارد پیش‌گفته، حاوی تأثیرات جدی نیست؛ اما می‌تواند در مجموع راهکارها، مورد نظر قرار بگیرد.

یافته‌های این پژوهش، در حال حاضر، تنها در حوزه مکانی تعریف‌شده برای آن، یعنی شهر تهران قابل‌تعمیم است. در صورت نیاز به کاربرد آن در سایر موقعیت‌ها، لازم است الگوریتم ارائه‌شده، با داده‌های دقیق مکانی، مجددا اجرا شود. الگوریتم ارائه‌شده در این پژوهش، قابلیت گسترش در محیط‌های متفاوت و پیچیده (تعداد بلوک‌های بیشتر و هندسه‌های پیچیده‌تر) را دارد. همچنین می‌توان به الگوریتم ارائه‌شده، عناصر مختلف محیطی اضافه کرده و مدل را هر چه بیشتر به واقعیت موجود نزدیک کرد. این موارد، می‌تواند در تکمیل این پژوهش، در تحقیقات پیش‌رو، مورد نظر قرار بگیرد. در ادامه توصیه می‌شود که برای تدقیق یافته‌ها و قابلیت تعمیم‌پذیری بیشتر آن، شبیه‌سازی مصرف انرژی، در مدل‌های دقیق‌تر، شامل کاربری، نسبت پنجره به دیوار و موارد دیگر انجام‌شده و بازه شبیه‌سازی نیز، طولانی‌تر در نظر گرفته شود.

منابع

ابراهیم‌پور، عبدالسلام و محمدکاری، بهروز. (۱۳۹۰). روشی جدیدی برای طراحی پنجره با توجه به مصرف انرژی. *مهندسی مکانیک مدرس*، ۱۱(۱)، ۷۷-۸۸.

اسفندیاری، اکرم و ترکاشوند، عباس. (۱۳۹۹). کاربرد تحلیل‌های ایزوویست و خطوط دید در سنجش کیفیت بصری در مجتمع‌های مسکونی. *مطالعات شهری*، ۹(۳۵)، ۱۹-۳۲.

حبیب، فرح؛ برزگر، زهرا و چشمه قصابانی، مریم. (۱۳۹۳). رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان با کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی. *نقش‌جهان*، ۴(۲)، ۴۷-۵۳.

حیدری، شاهین. (۱۳۸۷). دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران. *هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی*، ۱(۳۸)، ۵-۱۴.

رضیئی، طیب. (۱۳۹۶). منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سدهٔ بیستم. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۳(۲)، ۴۱۹-۴۳۹.

صفدری فیروزآباد، فرشید. (۱۳۹۵). *طراحی مجتمع مسکونی با رویکرد بهینه‌سازی مصرف انرژی*. پایان‌نامه منتشرنشده کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

صفدری فیروزآباد، فرشید؛ شمس‌الدینی، علی و بامداد، علی. (۱۳۹۵). *بررسی چیدمان مجتمع مسکونی با رویکرد توسعه پایدار در جهت بهره وری انرژی*. همایش ملی رویکردهای نوین در برنامه‌ریزی و توسعه پایدار منطقه‌ای، مرودشت.

صنایعیان، هانیه؛ مهدیزاده سراج، فاطمه؛ نصراللهی، فرشاد و مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (۱۳۹۲). تأثیر چگونگی هم جواری توده و فضا در بلوک‌های ساختمانی بر رفتار حرارتی درون بنا. *صفه*، ۲۳(۶۳)، ۳۵-۴۶.

فرخی، مریم؛ ایزدی، محمدسعید و کریمی‌مشاور، مهرداد. (۱۳۹۷). تحلیل کارایی انرژی در مدل‌های بافت شهری اقلیم گرم و خشک، نمونه موردی: شهر اصفهان. *مطالعات معماری ایران*، ۷(۱۳)، ۱۲۷-۱۴۷.

کریم پور، علیرضا؛ دیبا، داراب و اعتصام، ایرج. (۱۳۹۸). تحلیل‌های اقتصادی و ارزیابی میزان مصرف انرژی بر اساس نوع و نسبت پنجره‌ها با استفاده از مدل های شبیه‌سازی. *هویت شهر*، ۱۳(۳۹) ، ۱۹-۳۴.

کریمی، فاطمه و جلیلی صدرآباد، سمانه. (۱۴۰۰). تحلیل میزان تطابق فضای باز مجتمع‌های مسکونی با رویکرد شهر دوستدار کودک و ارتقا آن از طریق مشارکت کودکان؛ نمونه مطالعاتی: مجتمع امین شهر یزد. *دانش شهرسازی*، ۲(۵) ، ۶۳-۷۸.

کسمایی، مرتضی. (۱۳۸۱). *اقلیم و معماری*. اصفهان: نشر خاک.

لطفی، صدیقه؛ نیک‌پور، عامر و سلیمانی، محمد. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی در بخش مسکونی، مطالعه موردی: شهر همدان. *شهر پایدار*، ۲(۱)، ۱۰۹-۱۲۲.

مرادخانی، ایوب؛ نیکقدم، نیلوفر و طاهباز، منصوره. (۱۳۹۷). شاخص‌های موثر بر مصرف انرژی الگوهای مسکن در مقیاس محله با تاکید بر کارایی انرژی (نمونه موردی: شهر سنندج). *رویکردهای نو در جغرافیای انسانی*، ۱۱(۱)، ۳۵۸-۳۹۹.

مرتضایی، گلناز؛ محمدی، محمود؛ نصراللهی، فرشاد و قلعه‌نویی، محمود. (۱۳۹۶). بررسی ریخت-گونه‌شناسانه بافت‌های مسکونی جدید در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی اولیه، مطالعه موردی: سپاهان شهر. *مطالعات شهری*، ۶(۲۴)، ۴۱-۵۴.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۸۹). *مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان* (ویرایش سوم).

References

Adelia, A.S., Yuan, C., Liu, L., & Shan, R.Q. (2019). Effects of urban morphology on anthropogenic heat dispersion in tropical high-density residential areas. *Energy & Buildings*, 186, 368-383.

Building and Housing Research Center Topic. (2010). *19 of the National Building Regulations* (3rd Ed.). (in Persian)

Ebrahimpour, A., & Mohammadkari, B. (2011). A new method to designing window based on energy consumption. *Modares mechanical engineering*, 11(1), 77-88. (in Persian)

Esfandiari, A., & Tarkashvand, A. (2020). Application of Isovist analysis and sightlines in measuring visual quality of residential complexes (Case Study: Kermanshah City). *Motaleate shahri*, 9(35), 19-32. (in Persian)

Farrokhi, M., Izadi, M. S., & Karimi Moshaver, M. (2018). Analysis of energy efficiency in hot and dry climate urban tissue (Case Study: Isfahan). *Motaleate Memari Iran*, 7(13), 127-147. (in Persian)

Gasparella, A., Pernigottob, G., & Cappellettic, F. (2011). Analysis and modeling of window and glazing systems energy performance for a well-insulated residential building. *Energy and Buildings*, 43(4), 1030-1037.

Habib, F., Barzegar, Z., & Cheshmeh Ghassabani, M. (2014). Prioritization of Effective Building Energy Consumption Parameters Using AHP. *Naqshejahan*, 4(2), 47-53. (in Persian)

Heydari, S. (2009). Comfort temperature of Iranian people in city of Tehran. *Memari-Va-Shahrsazi (Honar-Ha-Ye-Ziba)*, 1(38), 5-14. (in Persian)

Junker, R.G., Azar, A.G., Lopes, R.A., Lindberg, K.B., Reynders, G., Relan, R., & Madsen, H. (2018). Characterizing the energy flexibility of buildings and districts. *Applied Energy,* 225, 175-182.

Karimi, F., & Jalilisadrabad, S. (2021). Analyzing the compliance of open space of residential complexes with the approach of "child-friendly city" and its promotion through children's participation (Case study: Amin residential complex in Yazd City). *Urban Planning Knowledge*, 5(2), 63-78. (in Persian)

Karimpour, A., Diba, D., & Etessami, I. (2019). Economic Analysis and Assessing Energy Performance of Simulation-Powered Optimal Window Type and Window to Wall Ratio for Residential Buildings in Tehran. *Hoviateshahr*, 13(39), 19-34. (in Persian)

Kasmaei, M. (2002). *Climate and Architecture*. Isfahan: Khak Publications. (in Persian)

Khan, A., Chatterjee, S., & Weng, Y. (2020). *Urban Heat Island Modeling for Tropical Climates*. Elsevier.

Laustsen, J. (2008). *Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings*. International Energy Agency (IEA).

Lofti, S., Nikpour, A., & Soleimany, M. (2019). Analysis of the effect of the city form on the amount of energy consumption in the residential sector (Case study: Hamedan). *Journal of sustainable City*, 2(1), 109-122. (in Persian)

McPherson, E. G., & Simpson, J. R. (2003). Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(2), 73-86.

Mohajeri, N., Upadhyay, G., Gudmundsson, A., Assouline, D., Kämpf, J., & Scartezzini, L. (2016). Effects of urban compactness on solar energy potential. *Reneweable Energy*, 93, 469-482.

Moradkhani, A., Nikghadam, N., & Tahbaz, M. (2018). Indicators affecting the energy consumption of housing patterns at the neighborhood scale with an emphasis on energy efficiency (Case Study: Sanandaj). *New Attitudes in Human Geography*, 1(11), 258-399. (in Persian)

Mortezaee, G., Mohammadi, M., Nasrollahi, F., & GhaleNoee, M. (2017). Morphological investigation of new residential fabrics in order to optimize primary energy consumption. *Motaleate shahri*, 6(24), 41-54. (in Persian)

Núñez-Peiró, M., Sanchez, C. S. G., & González, F. J. N. (2021). Hourly evolution of intra-urban temperature variability across the local climate zones, The case of Madrid. *Urban Climate*, 39, 100921.

Oh, M., & Kim, Y. (2019). Identifying urban geometric types as energy performance patterns. *Energy and Sustainiable Development*, 48, 115-129.

Pilkington. (2015). Retrieved from http//:www.pilkington.com/resources/glasshandbook2010english.pdf

Quan, S. J. (2017). Energy efficient neighborhood design under residential zoning regulations in Shanghai. *Energy Procedia*, 143, 865-872.

Quan, S. J., Wu, J., Wang, Y., Shi, Z., Yang, T., & Yang, P. P. J. (2016). Urban Form and Building Energy Performance in Shanghai Neighborhoods. *Energy Procedia*, 88, 126-132.

Raman, V., Kumar, M., Sharma, A., Froehlich, D., & Matzarakis, A. (2021). Quantification of thermal stress abatement by trees, its dependence on morphology and wind: A case study at Patna, Bihar, India. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63, 127213.

Raziei, T. (2017). Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. *Journal of Earth and Space Physics*, 43(2), 419-439. (in Persian)

Rodriguez, C. M., & D'Alessandro, M. (2019). Indoor thermal comfort review: The tropics as the next frontier. *Urban Climate*, 29, 100488.

Safdari Firouzabad, F. (2016). Design of residential complex with energy efficiency approach [Master's thesis, Islamic Azad University Marvdasht]. (in Persian)

Safdari Firouzabad, F., Shamseddini, A., & Bamdad, A. (2016). *Investigation of residential complex layout with sustainable development approach for energy efficiency*. National Conference on New Approaches in Regional Sustainable Planning and Development, Marvdasht. (in Persian)

Sanayeian, H., Mehdizadeh Saraj, F., Nasrollahi, F., & Mofidi Shemirani, S. M. (2013). The influence of mass and space combination in urban blocks on indoor thermal behavior. *Soffeh*, 23(63), 35-46. (in Persian)

Shareef, S. (2021). The impact of urban morphology and building's height diversity on energy consumption at urban scale, The case study of Dubai. *Building and Environment*, 194, 107675.

Vartholomaios, A. (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city. *Sustaininable Cities and Society*, 28, 135-145.

Wei, Z., & Calautit, J. (2022). Investigation of the effect of the envelope on building thermal storage performance under model predictive control by dynamic pricing. *Smart Energy*, 6, 100068.

Yoon, J. H., Bladick, R., & Novoselac, A. (2014). Demand response for residential buildings based on dynamic price of electricity. *Energy and Buildings*, 80, 531-541.

You, Y., & Kim, S. (2018). Revealing the mechanism of urban morphology affecting residential energy efficiency in Seoul, Korea. *Sustainable cities and society*, 43, 176-190.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی