Archive of SID

Journal of Environmental Studies
Vol. 46, No. 2, Summer 2020
Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir
Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Investigating the Influence of Architectural Features on Thermal Behavior of Dominant Residential Structure Patterns in Tabriz Housing

Document Type
Research Paper

Received
February 16, 2020

Accepted
May 17, 2020

Forough Farazjou[1], Mahnaz Mahmoudi Zarandi[2] *

1 Department of Architecture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2 Department of Architecture, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

DOI: 10.22059/JES.2021.312453.1008083

Abstract

This paper studies thermal behavior of dominant residential structure patterns in the city of *"Tabriz"* that has cold and dry climate. With this regard, thermal behavior of three typical residential structure patterns, including: traditional courtyard, row house, and high-rise building is studied to determine the most sustainable structure pattern that is capable of achieving the optimal energy consumption in Tabriz environment. For this purpose, it is necessary to study the thermal behavior of each type of structure patterns from different aspects. Therefore, the influences of several architectural features on energy consumption are investigated to provide designers, constructors, and consumers with useful measures for residential construction in the city of Tabriz. Thermal behavior of each type of structure patterns is simulated using *"Ecotect"* software. The simulation results are then analyzed using *"EnergyPlus"* software. Based on the results, in the city of Tabriz, the amount of energy required for heating residential structures under cold weather conditions are three times more than the amount needed for cooling them during hot season. Amongst all three types of dominant residential structure patterns in the city of Tabriz, the high-rise building pattern provides the best heating performance due to proper insulation and also for the maximum use of sunlight. On the other hand, the traditional courtyard pattern provides the best cooling performance due to the minimum heat exchange of its outer walls. The results also suggest that insulation with impact of 0.41 is the most significant variable parameter for residential constructions in Tabriz environment. Moreover, the precedence of other variable parameters is identified as: type of opening (0.32), construction materials (0.23), and orientation (0.04), respectively.

Keywords: Climate design, Energy consumption, Optimization, Tabriz housing, Thermal behavior

* Corresponding author Email: mahnaz_mahmoody@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

Extended abstract

Introduction

Although the industrial sector has the largest amount of energy consumption, the share of residential sector is very high, yet. According to the global statistics released by the US Department of Energy in March 2010, energy is used in several segments of residential buildings. Amongst all segments, heating systems use the highest level of energy. Next levels of energy consumption relates to lightings and cooling systems, respectively. Since a large portion of energy is exploited by construction sector, the study of typology in the field of housing would be beneficial for professionals in terms of performance.

The aim of this study is to provide designers, constructors, and consumers with useful measures for high performance residential construction in the city of Tabriz. Consideration of such measures together with correct design strategies at the early stages of design and construction leads to optimization of energy consumption in residential sector. Thus, residential constructions would be sustainable in cold climate of the region with optimal energy consumption.

The first part of this paper, serves as a literature review, which studies research background and similar works in this field. In addition, based on the survey conducted in this part, the importance of the present work is defined. The second part of the paper describes the research methodology used in this paper. This part includes: climate description of the region, simulation method and scenarios related to thermal comfort in the city of Tabriz. In the third part, simulation results are analyzed and validated. This paper concludes by comparison of thermal behavior of three dominant residential structure patterns and the most sustainable structure pattern that is capable of achieving the optimal energy consumption in Tabriz environment. Moreover, the influences of several architectural design parameters on energy consumption in Tabriz housing are investigated.

A large number of research, imply parameters that are determined at the early stages of design have great effect on the energy consumption of the building. Research shows that 57% of energy-saving technical measures should be considered at the design stage and shows that residential structure design should be revised in a way that location of spaces in the plan follows the pattern of space occupation with respect of the solar cycle. They recommend the use of suitable shutters and glass and also suggest replacement of renewable energy.

This research is aligned with studies conducted by Hashemi et al. for the city of Ardabil that has similar climate condition to Tabriz. However, they have measured the amount of energy required for both heating and cooling with respect to the internal aspects of structures and also studied the effect of zoning and location of spaces in the plan, whereas the present study considers different parameters regarded to external aspects of residential structures that affect the thermal behavior of residential structures. Moreover, this research studies the thermal behavior of dominant residential structure patterns in the city of Tabriz to define significant features of architectural design to be considered under cold climate conditions as well as during hot season.

Materials and Methods

In this research thermal behavior of three dominant residential structure patterns, including traditional courtyard, row house, and high-rise building is studied to determine the most sustainable structure pattern that is capable of achieving the optimal energy consumption in Tabriz environment. For this purpose, the thermal behavior of each type of structure patterns is carefully studied from different aspects. With this regard, the influences of several architectural design parameters on energy consumption are investigated to provide designers, constructors, and consumers with useful measures for residential construction in the city of Tabriz. In this research, form of the structure and age of the building are selected as two independent parameters according to national thermal standards. In addition, four variable parameters namely orientation, construction materials, type of overlay, and

www.SID.ir

Archive of SID

insulation are also measured. Effects of these parameters on energy consumption are studied for all three types of structure patterns considered in this research. Thermal behavior of each type of structure patterns is simulated using "Ecotect" software. The simulation results are then analyzed using "EnergyPlus" software. In addition, for validation of the results obtained through software simulation, a number of consumers' bills related to each structure pattern are collected as field impressions and comparison of energy consumption is conducted.

In order to determine the importance of each architectural feature for each type of structure, the criteria are weighted using AHP (Analytic Hierarchy Process) method. Hence, variable parameters together with independent parameters are organized in a matrix, and then multiple criteria are weighted using AHP method. Calculation of multiple weighted criteria results in precedence of parameters. Thus, the importance of each parameter in each pattern is determined.

Discussion of results

First, all three models are simulated and the amount of annual energy consumption for heating and cooling for each month is measured and the results are presented as bar charts accordingly. The results show that the highest level of energy required for heating is during November to April, which is due to the cold climate of Tabriz.

This amount exists on average and with a significant difference between a high-rise building with a row house and a courtyard house. Thus, considering the amount of energy required for heating regarded to square meters of the building, with a high difference, the high-rise pattern with lowest amount achieved the most optimal level of energy consumption. Among the other two patterns, the amount of energy consumption for heating in a courtyard house is slightly higher than in a row house. According to the results, the percentage of total amount of energy required for heating for each pattern is 43.2% for B.M.1, 42.8% for B.M.2, and 14% for B.M.3, respectively.

On the other hand, the results show that the highest level of energy required for cooling is during January to September, which is due to the short summer season in Tabriz.

Based on the obtained results, the traditional courtyard pattern has the advantage of proper climate design in that slight amount of energy is required for cooling. On the other hand, the high-rise building requires the highest amount of energy for cooling. Yet, this pattern provides the best heating performance due to proper insulation and also for the maximum use of sunlight. According to the results, the percentage of total amount of energy required for heating for each pattern is 21.8% for B.M.1, 34.7% for B.M.2, and 43.5% for B.M.3, respectively.

Based on calculations of the weighted parameters, significant architectural features are insulation (0.41), type of opening (0.32), construction materials (0.23), and orientation (0.04), respectively. In fact, consideration of these measures at the early stages of designing residential structures leads to optimal energy consumption in Tabriz environment.

Conclusions

In this paper, thermal behavior of three dominant residential structure patterns in Tabriz housing is studied to find out how different architectural features affect energy performance of residential structures. Overall, the outcomes of this study can be summarized as below:

1. The effect of independent parameters on the amount of energy required for heating and cooling is presented.
2. Numerical figures indicate that the amount of energy required for heating residential structures under cold weather conditions are three times more than the amount needed for cooling them during hot season.
3. Based on this study, the high-rise building pattern provides the best heating performance due to appropriate insulation and also for the maximum use of sunlight; however, this type of structure has

www.SID.ir

Archive of SID

low performance in term of energy required for cooling, which is due to large openings in front design of this type of structure.

4. According to the analytical data, the row house pattern (the urban block model of 60% density) fails to compete with other residential structure patterns in terms of energy performance.
5. Generally, due to the cool weather condition in Tabriz during May to October, there is no need for any cooling or heating equipment for residential structures, and the weather conditions comply with the thermal comfort situation.
6. Simulations confirm the importance of selecting appropriate form of the structure as well as correct direction of the structure considering the maximum absorption of direct sunlight. Appropriate selection of these parameters improves the energy performance in terms of heating residential structures under cold weather condition in Tabriz.
7. Calculations performed using AHP method, determines that architectural features including insulation, type of opening, construction materials, and orientation have great impact on thermal behavior of residential structures in Tabriz housing. In fact, consideration of these influential features at the early stages of designing residential structures leads to optimal energy consumption in Tabriz environment.

www.SID.ir

Archive of SID

محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحهٔ ۴۱۳-۴۳۰

تبیین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر رفتار حرارتی الگوهای غالب معماری مسکونی تبریز

فروغ فرازجو[1]، مهناز محمودی زرندی[*2]

۱. دکتری تخصصی مهندسی معماری، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی معماری، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله:۱۳۹۸/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸

چکیده

در این مقاله، رفتار حرارتی و برودتی سه الگوی هندسی غالب مسکن در بافت کنونی شهر تبریز مورد مطالعه قرار گرفت تا بهترین الگو و میزان اهمیت شاخصه‌های طراحی مشخص شود. پارامترهای متغیر وابسته در این پژوهش جهت‌گیری، مصالح، بازشوها، عایق حرارتی و فرم بنا در سه الگوی حیاط مرکزی، تراکم ۶۰ درصد و بلندمرتبه است. برای بررسی رفتار بناها، پس از شبیه‌سازی در نرم‌افزار اکوتکت، برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار انرژی پلاس استفاده شد. برای اعتبارسنجی مدل، از یک برداشت میدانی نیز استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد میزان انرژی لازم جهت گرمایش تقریباً سه برابر میزان انرژی است که جهت سرمایش در بناهای مسکونی شهر تبریز مورد نیاز است که از این سهم بنای حیاط مرکزی با مصرف ۲۱/۸درصد از کل بار سرمایشی و بنای مسکونی بلندمرتبه با مصرف ۱۴ درصد از کل بار گرمایشی به ترتیب به عنوان بهترین الگوی سرمایشی و گرمایشی ماه‌های گرم و سرد سال در این اقلیم هستند. اولویت وزنی پارامترهای متغیر در تبریز به ترتیب عایق حرارتی ۰/۴۱، نوع بازشو۰/۳۲، مصالح بنایی۰/۲۳ و جهت‌گیری۰/۰۴ است.

کلیدواژه ها: بهینه‌سازی، رفتار حرارتی، طراحی اقلیمی، مسکن تبریز، مصرف انرژی

سرآغاز

اگرچه بیشترین مصرف انرژی در طول سال‌های۱۹۷۳ تا ۲۰۰۹ متعلق به بخش صنعت بوده است، اما سهم ساختمان‌های مسکونی نیز بسیار بالاست. آمارهای جهانی منتشره در مارس۲۰۱۰ توسط وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا نشان می‌دهد که پرمصرف‌ترین بخش خانه‌ها نیز برای تولید گرمایش، سپس آب گرم مصرفی و پس از آن سرمایش و روشنایی است (حبیب و همکاران، ۱۳۹۳). بنابـراین با در نظر گرفتن سهم بالایی از مصرف انرژی در حوزهٔ ساختمان، بررسی گونه‌شناسی در حیطهٔ مسکن به منظور عملکرد برای متخصصان مفید خواهد بود.

طراحی طرح نه تنها نخستین قدم در عرصه معماری است، بلکه مرحله تصمیم‌گیری حیاتی است که شامل تمام الزامات طراحی طراح و بسیج همه عناصر طراحی است (Xia, 2008). در مرحلهٔ طراحی، اساساً از یک سو شکل ساختمان، فضا، پوسته و دیگر پارامترهای مورد توجه طراحان و از سوی دیگر عوامل ضروری برای مصرف انرژی ساختمان، تعیین می‌شود (Hong et al., 2000) .

* نویسنده مسئول:
Email: mahnaz_mahmoody@yahoo.com

DOI:10.22059/JES.2021.312453.1008083
DOR: 20.1001.1.10258620.1399.46.2.10.1

www.SID.ir

Archive of SID

هدف از این پژوهش ارتقاء سطح بهینه‌سازی در بخش طراحی بناهای مسکونی در کشور است که در واقع با ارائهٔ راهبردهای طراحی صحیح هم در مرحلهٔ قبل از شروع عملیات ساخت‌وساز، و هم در بهسازی وضع بناهای موجود به لحاظ مصرف بهینه انرژی، کمک خواهد کرد تا ساختمان با بیشترین راندمان در برابر اقلیم منطقه با مصرف حداقل انرژی پاسخگو باشد.

در این مقاله نخست با پرداختن به بخش پیشینهٔ تحقیق با در نظر گرفتن سوابق مطالعات و نتایج دیگر پژوهشگران در این مبحث، علاوه بر آشنایی با نحوهٔ حل مسئله در دیگر مطالعات، می‌توان به ضرورت پرداختن به مبحث حاضر پرداخت. سپس در بخش روش تحقیق که شامل معرفی اقلیمی شهر مورد نظر و روش شبیه‌سازی و بررسی آسایش حرارتی در این شهر است، نمونه‌های موردی و الگوها معرفی و نقشه راه نیز بیان خواهد شد. در بخش بعدی و با پیاده‌سازی شبیه‌سازی، به تحلیل و بررسی داده‌ها پرداخته و در انتها به نتایج حاصله از این پژوهش پرداخته می‌شود.

بر اساس تعداد زیادی از تحقیقات و شیوه‌های مهندسی، نشان داده شده که پارامترهای ساختمان که در مرحلهٔ نخست طراحی تعیین می‌شود می‌تواند اثر زیادی بر مصرف انرژی ساختمان داشته باشند (Augenbroe, 2001). تحقیق ویلد، یک دانشمند هلندی، نشان می‌دهد که ۵۷ درصد از اقدامات فنی صرفه‌جویی در انرژی باید در مرحله طراحی‌های اولیه در نظر گرفته شود. (De Wilde, 2004) بخش مسکونی شهری یکی از مصرف‌کنندگان عمده انرژی در هر کشوری است. بر اساس این مطالعات، اهمیت اصول طراحی و عوامل مهم در آن شناسایی و راه حل‌های جدید ارائه می‌شود (Jeberaj and Iniyan, 2006)

داده‌های تجربی جمع‌آوری شده توسط محققان نشان می‌دهد که الگو و هندسه فرم بناها و نحوه جانمایی در تراکم شهری در تعیین نیازهای انرژی گرمایشی، خنک‌کننده‌ها و نورپردازی در شهرها نیز نقش مهمی دارند. در این تحقیق به اهمیت تراکم در سایت و سایه‌اندازی از همسایگی‌های موجود و همچنین هندسه فرم و ارتفاع بنا در میزان مصرف انرژی پرداخته شده است (Tereci et al., 2013).

در پژوهشی که حاصل مصاحبه‌های متعدد با متخصصان انرژی ساختمان بوده، برای تعیین تأثیر و اولویت‌بندی پارامترهای اصلی تعدادی از تکنیک‌های ساختمانی بر مصرف انرژی ارائه شده است. نتایج تحقیقات طبق تحلیل سلسله مراتبی بوده است که مؤثرترین پارامتر نسبت پنجره به دیوار با ارزش (۰/۳۶) است و کم تأثیرترین پارامتر تعداد ساکنین ساختمان بوده است (حبیب و همکاران، ۱۳۹۳). در این مطالعات برداشت محلی و مطالعات میدانی صورت نگرفته و اعتبارسنجی تنها مبتنی بر مطالعات و پژوهش‌های قبلی و نتیجه مصاحبه‌هاست.

در مطالعهٔ دیگری در حوزهٔ مسکن، لزوم و عملکرد مثبت زیرزمین برای سه شهر تبریز، تهران و یزد بررسی شده است. بیشترین صرفه‌جویی مصرف انرژی در شهر یزد بوده و به طور کلی نشان داده شده است که ساختمان‌های زیرزمینی در اقلیم گرم و خشک و در فصول گرم سال عملکرد بهتری دارند (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین در تحقیق پیش رو در انتخاب پارامترهای فرمی، به پارامتر نورگیری و استفاده از جهت تابش برای استفاده حداکثری انرژی خورشیدی نیز پرداخته خواهد شد.

در پژوهشی دیگر در زمینه تأثیر بازنگری در طراحی ساختمان‌های مسکونی اردبیل، از طریق توجه به جانمایی فضاها در پلان بر اساس تطبیق الگوی اشغال فضا با چرخهٔ خورشیدی، ابعاد بازشو با توجه به تابش دریافتی و اتلاف حرارت حاصل از آن پرداخته‌اند و در نهایت استفاده از بازشو و شیشه مناسب و جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر را توصیه می‌کنند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۱).

در دیگر مطالعات بهینه‌سازی مصرفی در الگوی مسکن ژاپن، مهم‌ترین مسئله تفاوت مصرف انرژی در خانه‌هایی با عملکرد حرارتی مشابه مربوط به تفاوت فضای گرمایشی تخصیص داده شده از هر پلان به سکونت و وسایل و

www.SID.ir

Archive of SID

تجهیزاتی که در آن محل استفاده می‌شد بوده که در واقع همان شیوه زندگی فردی است. در این پژوهش به عنوان رویکردی به این مشکل، اطلاعات صرفه‌جویی در انرژی برای ساکنان پیشنهاد و روش سبک زندگی و به نوعی سناریوی مصرف پیشنهاد و ارائه شده است (Genjo et al., 2005).

در پژوهش حاصل از یافته‌های نصراللهی در دانشگاه برلین که روی ۳۰ ساختمان مختلف در اقلیم سرد تبریز با یک برنامه مدل‌سازی انرژی پویا شبیه‌سازی شده، می‌توان دریافت که طراحی بهینه در خانه ۳ طبقه دارای مصرف ۰/۰۷۵ انرژی پایین‌تر نسبت به ساختمان موجود در شرایط ساختمانی کاملاً مشابه اما دارای نماهای عایق‌بندی شده و شیشه سه جداره، قاب‌های عایق شده نیز هستند (Nasrollahi, 2007).

مطالعهٔ دیگر نشان می‌دهد در اقلیم سرد که هوا در اغلب مواقع سال سرد و خارج از محدوده آسایش است، استفاده از حیاط به فصل تابستان محدود بوده و به همین دلیل ابعاد کوچک‌تری در قیاس با حیاط‌های مناطق فلات مرکزی ایران دارد. در این پژوهش به معرفی حیاط با کارکرد اقلیمی در مناطق سردسیر با عنوان حیاط زمستان نشین با الگوگیری از گلخانه‌ها پرداخته می‌شود، کارکرد تابستانی آن تشریح و کارکرد زمستانی آن با نرم‌افزار محاسبات انرژی پلاس مدل‌سازی می‌شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۰).

این تحقیق نیز در راستای مطالعات هاشمی و حیدری که در سال ۱۳۹۱ در اردبیل صورت گرفته است می‌باشد؛ با این تفاوت که در آن مطالعات به میزان مصرف گرمایشی و سرمایشی از جنبه داخلی بنا و تأثیر منطقه بندی و جانمایی فضاها در پلان پرداخته شده است در حالی که در پژوهش حاضر به پارامترهای بیرونی تأثیرگذار بر روی بنا به لحاظ گرمایشی و سرمایشی می‌پردازد و در نهایت اولویت‌بندی‌های لازم برای شاخصه‌های طراحی به صورت جداگانه در فصول گرم و سرد ارائه می‌گردد.

حال پرسش اصلی این پژوهش این است که:

۱. پارامترهای مؤثر بر مصرف بهینه انرژی در ساختمان‌های مسکونی تبریز کدامند؟

۲. اولویت‌بندی پارامترهای طراحی با توجه به میزان تأثیرگذاری آن‌ها در مصرف انرژی سالانه چگونه است؟

مواد و روش‌ها

طبق مطالب بحث شده، در این مقاله میزان مصرف انرژی در سه الگوی عمومی خانه‌های تبریز بررسی شده و عملکرد حرارتی و برودتی این فضاها به منظور اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر در مصرف انرژی ارزیابی می‌شود. انتخاب بناها بر اساس برداشت میدانی و تأثیر آخرین داده‌های آب و هوایی شهر تبریز است. بناها مربوط به سه نوع حیاط مرکزی و سنتی، تراکم ۶۰درصد شهری و بلند مرتبه است. سه آیتم در نظر گرفته شده مصالح، عایق‌بندی و فرم ساختمان خود شامل متغیرهای زمینه‌ساز دیگری از جمله ابعاد بازشو، ارتفاع و جهت‌گیری است که باعث تأثیر در نتیجه خروجی‌ها در خروجی موتور بهینه‌ساز خواهد بود. در این تحقیق تفاوت‌های اساسی در مصالح مطرح بوده و شامل جنس دیوار و جداره بیرونی ساختمان، نوع شیشه و فریم به کار رفته در بازشوها و عایق حرارتی است. از طرفی فرم هندسه بنا نیز شامل ارتفاع بنا و میزان برخورداری از میزان تابش آفتاب به لحاظ جهت‌گیری ساختمان و میزان تبادل حرارتی از طریق سطوح بیرونی ساختمان است. (جدول ۱)

شکل ۱. دستگاه ایزی لاگ یو اس بی استفاده شده به منظور سنجش دمایی و رطوبتی هوا در جهت تطبیق با داده‌های آب و هوایی نرم‌افزار

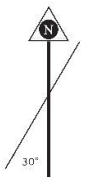
برای رسیدن به هدف تحقیق نخست، هندسه مدل در نرم‌افزار *اکوتک*[1]، نسخه ۲۰۱۱ به عنوان یک رابط گرافیکی ایجاد شده (شکل‌های ۴، ۵،۶) و سپس در نرم‌افزار *انرژی پلاس*[2] نسخه نرم‌افزاری ۸.۱ وارد شده است. سپس انرژی

www.SID.ir

Archive of SID

پلاس برای مدل‌سازی کارایی انرژی خانه‌ها استفاده و شبیه‌سازی به صورت ماهانه در طول سال انجام شده است. به‌منظور مقایسهٔ رفتار حرارتی منطقه انتخاب شده، میانگین دمای ساعتی مناطق در فصول مختلف در درجهٔ سانتی‌گراد طبق شکل ۱ با دستگاه *ایزی لاگ یو اس بی*[۳] توسط پژوهشگران اندازه‌گیری شده است. این دستگاه با خوانش هر ۱۰ دقیقه یک‌بار خود اطلاعات دمایی و رطوبتی دقیق از آب و هوای منطقه را برای تطبیق با داده‌های آب و هوایی نرم‌افزار در اختیار قرار می‌دهد (شکل ۱). در نهایت نتایج شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌های مطالعات میدانی به دست آمده و مدل توسعه یافته در *انرژی پلاس* با داده‌های تجربی جمع‌آوری و انطباق داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای مؤثر مستقل و وابسته تعریف شده به لحاظ تأثیرگذاری بر مصرف انرژی در پژوهش

تفاوت بناهای مسکونی شهر تبریز در طی دوران تاریخی معاصر بر اساس تکنولوژی ساخت	متغیر مستقل	متغیرهای وابسته زمینه‌ساز	نحوه تأثیر در رفتار حرارتی بنا	انواع موجود در نمونه‌های موردی مسکن		
	هندسه و فرم بنا	جهت‌گیری نسبت به شمال جغرافیایی در بافت شهری	بهره‌مندی حداکثری از نور جنوب			
		ابعاد بازشوها با توجه به طرح	نحوه قرارگیری در جداره بنا	بناهای حیاط مرکزی	در جداره اطراف حیاط مرکزی مرتبط با فضای داخلی	
				بناهای تراکم شهری و بلند مرتبه	در جداره خارجی مرتبط با فضای بیرونی	
		ارتفاع بنا	با بالا رفتن ارتفاع به دلیل افزایش حجم فضای داخلی و جریان همرفت رو به سمت بالا، گرمایش فضای داخلی کندتر خواهد بود و به انرژی بیشتری نیاز می‌باشد.	بناهای حیاط مرکزی	–زمستان نشین: کوتاه –تابستان نشین: متوسط و گاهی زیاد	
				بناهای تراکم شهری و بلند مرتبه	مطابق با قانون وضع شده نظام مهندسی	
	مصالح	جنس جداره خارجی در ارتباط با فضای بیرونی بنا	به سبب میزان جرم حجمی متریال استفاده شده	بلند مرتبه‌ها	تراکم ۶۰درصدها	حیاط مرکزی‌ها
				نمای سنگی	آجرسه‌سانتی	آجر نمای قدیمی
		نوع و جنس شیشه	به لحاظ افزایش ضخامت و گاه تزریق گاز به عنوان عایق بین شیشه‌ها	بلند مرتبه‌ها	تراکم ۶۰درصدها	حیاط مرکزی‌ها
				دو جداره + گاز آرگون	دو جداره معمولی	تک جداره
		قاب و فریم پنجره	به لحاظ رسانایی و ایجاد پل حرارتی	بلند مرتبه‌ها	تراکم ۶۰درصدها	حیاط مرکزی‌ها
				یو پی سی	یو پی سی	آلومینیومی
		عایق حرارتی	بلند مرتبه‌ها	تراکم ۶۰درصد ها	حیاط مرکزی‌ها	
			پلی استایلن	پشم شیشه، پشم سنگ	ندارد	

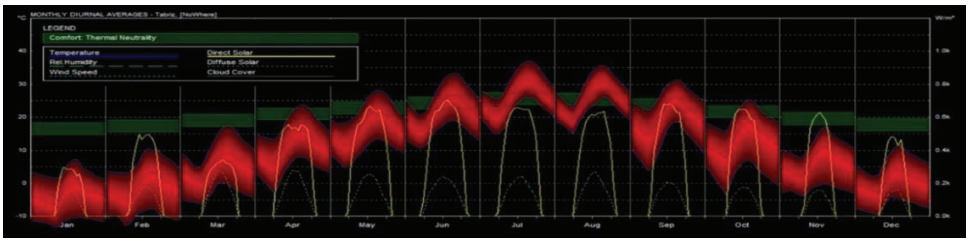
www.SID.ir

Archive of SID

منطقهٔ مورد مطالعه

شهر تبریز در اقلیم سرد ایران و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است (عرض شمالی جغرافیایی: "۱۵ °۳۸ و طول شرقی جغرافیایی: "۲۳ °۴۸). قلیم سرد یکی از اقلیم‌های مهمی است که به طراحی تخصصی نیاز دارد. در این اقلیم فصل تابستان بسیار کوتاه بوده و در بیشتر زمان‌ها دمای محیط در زیر محدوده آسایش قرار دارد. مهمترین مسئله گرمایش است، زیرا بیشتر زمان‌ها، به افزایش دما تا محدوده آسایش نیاز است. (حیدری، ۱۳۸۹)

شکل ۲، محدودهٔ دمایی حباب خشک را در محدودهٔ دمای آسایش (نوار سبز رنگ) در هر ماه از سال در شهر تبریز نشان می‌دهد. بر اساس نمودار آسایش حرارتی، دمای راحتی انسان تقریباً بین ۲۱ تا ۲۴ درجهٔ سانتی‌گراد است. این نمودار از نرم‌افزار مشاور آب و هوا ۰ .سوم مرحله [۵] گرفته شده است. اطلاعات آب و هوایی استفاده شده منطبق بر سایت *هایکرزبی*[۶] بوده و نرم‌افزار مشاور آب و هوایی، اطلاعات مربوط به آب و هوای محلی را در قالب ای پی دبلیو[۷] در اختیار کاربران قرار می‌دهد. این نمودار گرافیکی ویژگی‌های آب و هوایی تبریز را با توجه به محدوده آسایشی حرارتی در خروجی گرفته شده از نرم‌افزار مذکور نشان می‌دهد.



شکل ۲. بازهٔ دمایی (°C)، مشاور آب و هوا اطلاعات مربوط به آب و هوای محلی ورژن ۴۰مرحله سوم

جدول ۲. خلاصه آمار هواشناسی شهر تبریز در دورهٔ آماری ۵۳ ساله

متوسط دمای سالانه	متوسط حداکثر دمای سالانه	متوسط حداقل دمای سالانه	متوسط رطوبت نسبی	متوسط حداکثر رطوبت نسبی	متوسط حداقل رطوبت نسبی	متوسط بارندگی	ساعات آفتابی	جهت باد غالب
۱۳/۰۲	۱۸/۶۸	۷/۲۶	۵۰/۷۹	۶۸/۹۱	۳۲/۱۱	۲۱/۵۹	۲۳۹	شمال شرقی

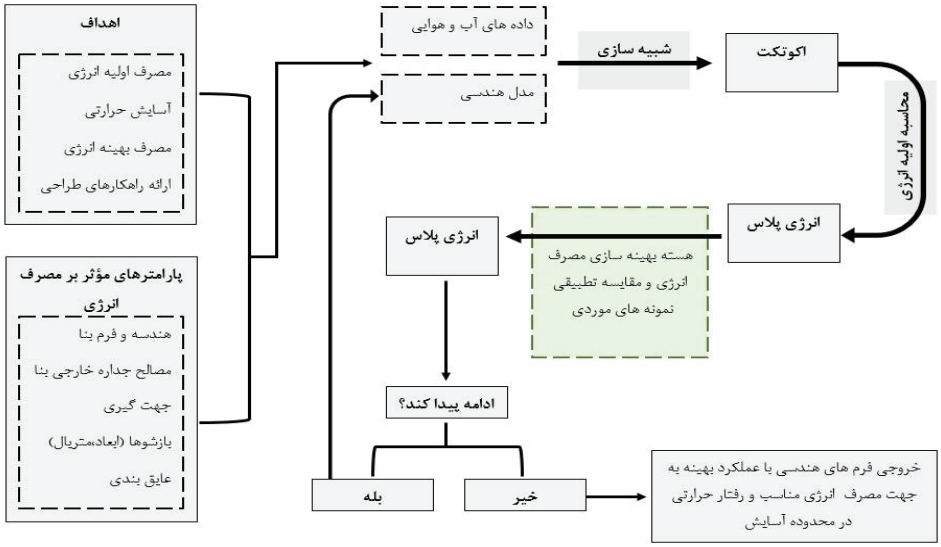
و جدول ۲ داده‌های آب و هوایی ماهانه را بر اساس داده‌های هواشناسی و نتایج حاصل از دو شاخص ماهانی و گیونی شهر تبریز در سال‌های معمول هواشناسی از تبریز در دوره آماری ۵۳ ساله، طبق ایستگاه سینوپتیک تبریز را نشان می‌دهد. (قائیلی اردبیلی، ۱۳۹۱)

روش شبیه‌سازی برای ارزیابی انرژی

در این بخش با استفاده از نرم‌افزار اکوتکت که یکی از نرم‌افزارهای جامع تحلیلی در زمینهٔ انرژی، نور و آکوستیک است، مدل‌سازی بناها انجام شده است. سپس تحلیل نمونه‌ها شامل عوامل اقلیمی و شرایط خارج از مجموعه (اطلاعات آب و هوایی شهر تبریز، تابش مستقیم و غیرمستقیم، نور طبیعی روز و نور منعکس شده در فضای داخلی) در فضای نرم‌افزاری اکوتک شبیه‌سازی شده، سپس تمامی اطلاعات گرافیکی شبیه‌سازی شده به محیط نرم‌افزاری انرژی پلاس برای تحلیل‌های حرارتی انتقال داده شده است. این تحلیل‌ها طبق آسایش حرارتی تعریف شده با استاندارد جهانی اشری[۴] شامل سرمایش و گرمایش و تهویه طبیعی است. دیاگرام گردش کار شبیه‌سازی شده مطابق شکل ۳ نمایش داده می‌شود. (شکل ۳)

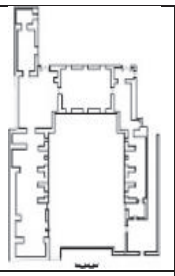
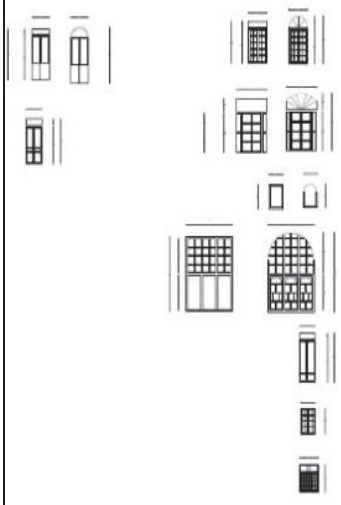
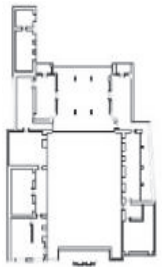
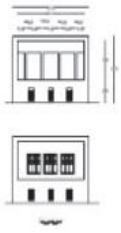
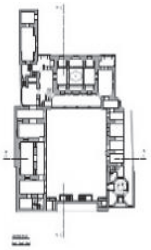
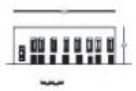
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. دیاگرام گردش کار شبیه‌سازی نرم‌افزاری به‌منظور بهینه سازی ساختمان‌های مسکونی

جدول۳. جدول جزئیات نمونه الگوی بنای مسکونی مورد مطالعه در شهر تبریز طبق وضع موجود: ب.م.۱

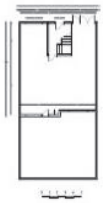
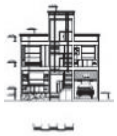
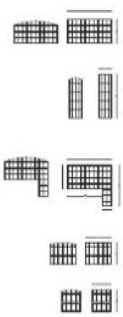
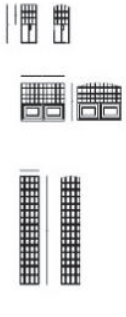
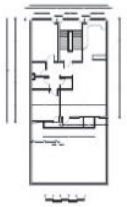
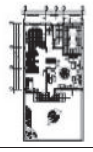
پلان		نما		مقطع		الگوی بازشو	الگوی در
پلان طبقه همکف		نمای شمالی		مقطع طولی			
پلان طبقه اول		نمای جنوبی		مقطع عرضی			
		نمای غربی					
		نمای شرقی					

بنای مسکونی ۱. حیاط مرکزی

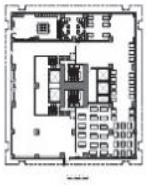
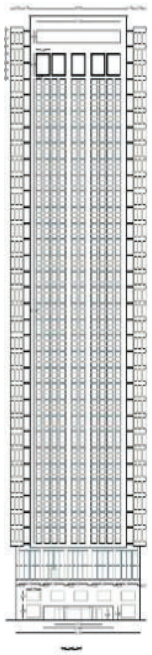
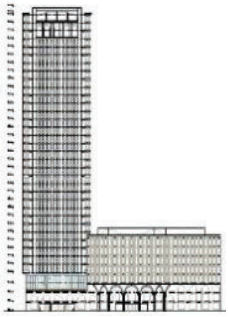
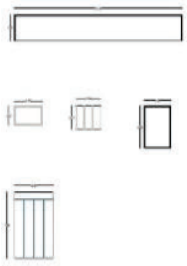
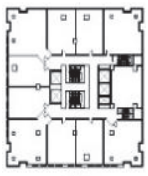
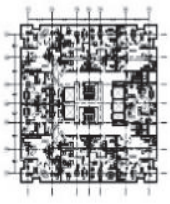
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. جدول جزئیات نمونه الگوی بنای مسکونی مورد مطالعه در شهر تبریز طبق وضع موجود: ب.م.۲

پلان		نما		مقطع		الگوی بازشو	الگوی در
پلان طبقه همکف		نمای شمالی		مقطع طولی			
پلان طبقه اول		نمای جنوبی		مقطع عرضی			
				بنای مسکونی ۲: بلوک شهری			

جدول۵. جدول جزئیات نمونه الگوی بنای مسکونی مورد مطالعه در شهر تبریز طبق وضع موجود: ب.م.۳

پلان		نما	مقطع	الگوی بازشو	الگوی در
پلان طبقه همکف					
پلان طبقه اول					
			بنای مسکونی ۳: بلند مرتبه		

برای مدل‌سازی بناهای مسکونی مدل نخست از این پس بنای مسکونی ۱ (ب.م.۱)، مدل دوم بنای مسکونی۲

www.SID.ir

Archive of SID

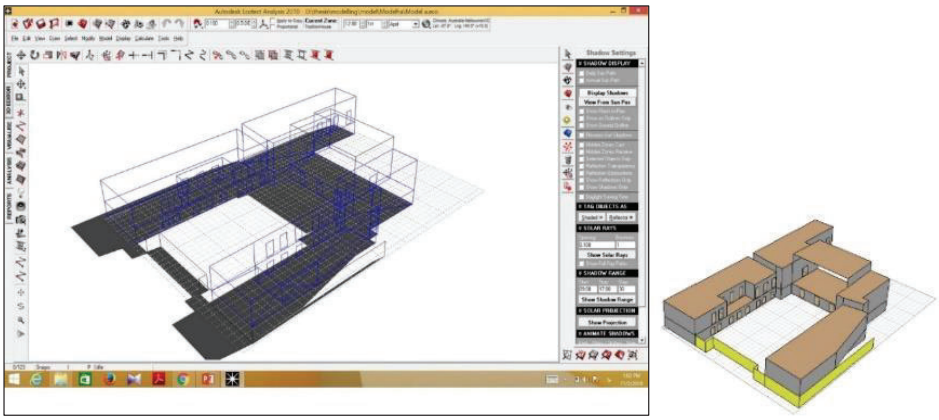
(ب.م.۲) و مدل سوم بنای مسکونی۳ (ب.م.۳) نامیده می‌شود و لازم است طبق جدول‌های ۳، ۴ و ۵ به‌منظور تأثیر متغیرهای مورد نظر در طرح که شامل هندسه فرم، مصالح، جهت‌گیری، بازشوها، عایق‌کاری است، اطلاعات و جزئیات بناها برای دستیابی به نتایج دقیق که در این علم به اصطلاح کالیبریزاسیون نامیده می‌شود، به صورت دقیق وارد شود. شایان ذکر است که تمامی برداشت‌ها به صورت محلی توسط نگارندگان انجام شده است. (جدول‌های ۳، ۴ و۵)

هندسه فرم: بناهای مورد مطالعه شامل: حیاط مرکزی(ب.م.۱) (شکل ۴)، چند مرتبه و خانه‌های بلوک شهری۶۰ درصد تراکم(ب.م.۲) (شکل ۵)، و بلند مرتبه(ب.م.۳) (شکل ۶) است که از میان ۶۰ بنای مسکونی غالب در سایت شهری اقلیم تبریز انتخاب شده است.

جهت‌گیری و مصالح و عایق‌کاری: به‌منظور دسترسی به نتایج دقیق وضع موجود بناهای مسکونی طبق نمونه‌های موجود شبیه‌سازی شده، جدول ۶ جزئیات طراحی اعمال شده مرتبط با هر بنا و تفاوت متغیرهایی را نشان می‌دهد که در بررسی‌ها و تحلیل‌ها تأثیرگذار است.(جدول ۶)

جدول۶. جدول جزئیات مصالح اعمال شده در بناهای مسکونی مورد مطالعه در شهر تبریز طبق وضع موجود

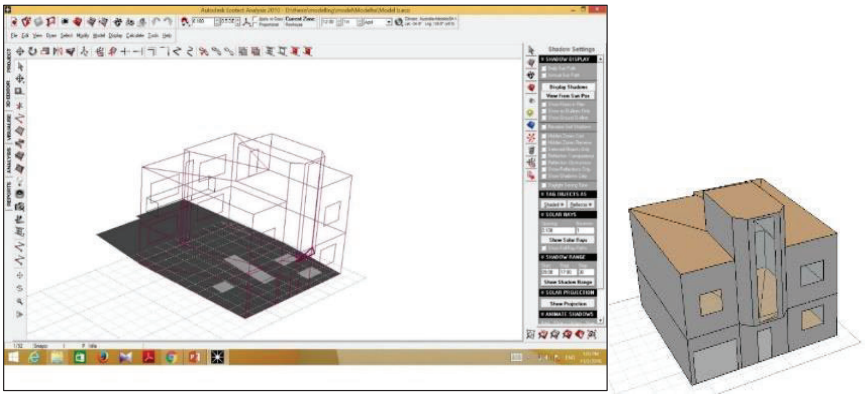
الگوی بنای مربوطه	جهت‌گیری	بازشو		مصالح			عایق‌کاری
		فریم	شیشه	کف	دیوار خارجی	دیوار داخلی، سقف	
حیاط مرکزی ب.م.۱	شمالی- جنوبی	آلومینیمی	تک جداره معمولی	موزاییک	دیوار ۴۰ سانتی‌متری نمای آجری	گچ و خاک ۲/۵ سانتیمتری	ندارد
۶۰درصد تراکم شهری ب.م.۲	۲۵ درجه شمال شرقی – جنوب غربی	یو پی وی سی	* دو جداره + گاز آرگون	سرامیک	دیوار ۲۰ سانتی‌متری آجری،نمای آجر سه سانتی	گچ و خاک ۲ سانتیمتری + رنگ پلی استر ۲ میلیمتری	پشم شیشه، پشم سنگ
بلند مرتبه ب.م.۳	۳۰ درجه شمال شرقی – جنوب غربی	یو پی وی سی	** دو جداره + گاز آرگون	پارکت	دیوار ۲۰ سانتی‌متری بتنی، نمای سرامیک	گچ و خاک ۲ سانتیمتری + رنگ پلاستیک ۲ میلیمتری	پلی استایلن



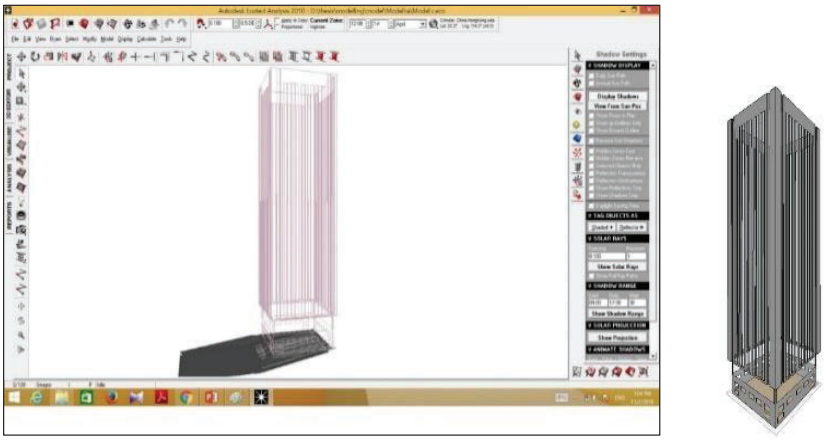
شکل ۴. مدل‌سازی و شبیه‌سازی مربوط ب.م.۱ در نرم‌افزار اکوتک

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. مدل‌سازی و شبیه‌سازی مربوط ب.م.۲ در نرم‌افزار اکوتک



شکل ۶. مدل‌سازی و شبیه‌سازی مربوط ب.م.۳ در نرم‌افزار اکوتک

سناریو مصرف و اعتبارسنجی طرح: تمامی ساختمان‌های مسکونی بر اساس سناریو اشغال بر اساس *استانداردهای اشری*[۴] شبیه‌سازی شده‌اند. به دلیل اینکه تمامی واحدهای منطبق قابل اعتبارسنجی با قبوض مصرفی باشند، تمامی واحدهایی که انتخاب شده‌اند از نمونه‌هایی که کاربری مسکونی داشته بوده‌اند ولی در حال حاضر ساکنینی نداشته‌اند. این بناها به عنوان ساختمان‌های آزاد در حال اجرا با تهویه طبیعی بدون هیچ سیستم گرمایش یا سرمایش انجام می‌شود که با وضعیت واقعی خانه مورد مطالعه سازگار است تا اثر پارامترهای متغیر تعریف شده در تحقیق بر میزان مصرف نمایان شود. سناریو مشترکی برای تمامی الگوها بر اساس یک خانوادهٔ چهار نفره تعریف شده است که در طول روز به جز در آخر هفته‌ها در خانه نیستند.

نتایج

نخست در تحلیل و بررسی داده‌های شبیه‌سازی شده، تمامی الگوها شبیه‌سازی شده و میزان مصرف انرژی به جهت گرمایش و سرمایش سالانه در تمامی ماه‌ها سنجیده شده و نتایج به ترتیب ارائه می‌شود. طبق نتایج به دست آمده و با توجه به قرارگیری بنا در اقلیم سردسیر تبریز، بیشترین مصرف انرژی به جهت گرمایش طبق شکل۷ در طول ماه‌های آبان تا اردیبهشت (November to April) است.

این مقدار به صورت میانگین و با اختلاف قابل توجه بین ساختمان جدیدالاحداث بلند مرتبه با خانه بلوک شهری و خانه سنتی وجود دارد. بدین ترتیب که با در نظر گرفتن میزان مصرف انرژی گرمایشی بر حسب متر مربع بنا، با اختلاف بالا رتبهٔ نخست مصرف بهینه و کمترین

www.SID.ir

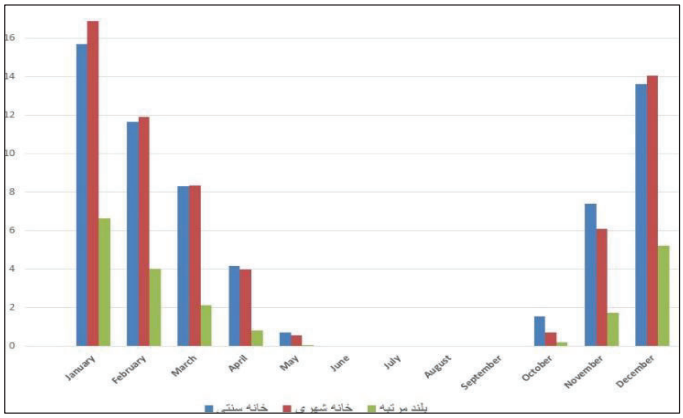
Archive of SID

مصرف متعلق به بنای بلند مرتبه است. در میان دو بنای دیگر، میزان مصرف انرژی گرمایشی در خانه سنتی با اختلاف جزئی بیشتر از خانه بلوک شهری است. طبق نتایج به دست آمده سهم هر بنا از میزان مصرف انرژی گرمایشی و گرمای حرارتی به ترتیب در ب.م.۱، ۴۳/۲ درصد؛ در ب.م.۲، ۴۲/۸درصد ؛ و در ب.م.۱۴/۳درصد از کل است (شکل ۷).

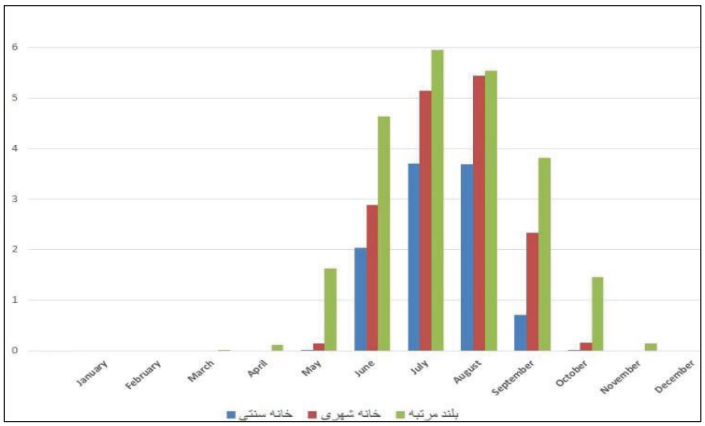
در ادامه بررسی نتایج میزان مصرف انرژی این بار این مقدار مصرفی به جهت سرمایشی، با توجه به تعداد کم ماه‌های گرم سال در اقلیم سردسیر تبریز، بیشترین مصرف انرژی به جهت سرمایش طبق شکل ۸ در طول ماه‌های خرداد تا مهر (June to September) است.

در بررسی نتایج به دست آمده می‌توان به نتیجهٔ خوب طراحی اقلیمی در بنای سنتی اشاره کرد که دارای کمترین و در برخی مواقع حتی مصرف صفر در این بنا به جهت سرمایشی اشاره کرد. رتبه دوم و سوم به ترتیب متعلق به بنای خانه شهری و بنای بلند مرتبه است.

نکته قابل توجه اینکه بنای بلند مرتبه در حالی که در تحلیل گرمایشی با اختلاف بالای قابل توجه رتبه نخست را در مصرف کم به خود اختصاص داده بود در این تحلیل بیشترین مصرف به جهت سرمایش را دارد. طبق نتایج به دست آمده در این مبحث نیز سهم هر بنا از میزان مصرف انرژی سرمایشی به ترتیب در ب.م.۱، ۲۱/۸درصد ؛ در ب.م.۲، ۳۴/۷ درصد؛ و در ب.م.۳، ۴۳/۵درصد از کل است (شکل ۸).



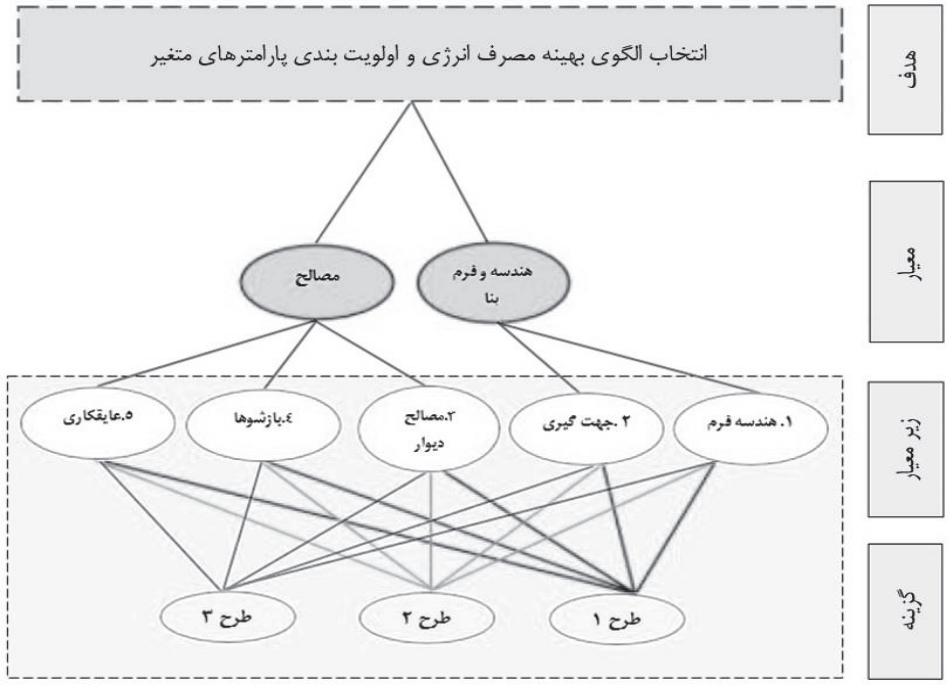
شکل ۷. نمودار مقایسه‌ای پایه‌ای میزان مصرف سالانه انرژی گرمایشی و تحلیل بار گرمایشی مربوط به سه بنای ب.م.۱، ب.م.۲، ب.م.۳ بر اساس تحلیل نرم‌افزاری انرژی پلاس



شکل ۸. نمودار مقایسه‌ای پایه‌ای میزان مصرف سالانه انرژی سرمایشی و تحلیل بار سرمایشی مربوط به سه بنای ب.م.۱، ب.م.۲، ب.م.۳ بر اساس تحلیل نرم‌افزاری انرژی پلاس

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. نمودار ساخت سلسله مراتبی اولویت‌بندی پارامترها به روش تحلیل سلسله مراتبی

در ادامه بحث برای مشخص شدن اهمیت هر کدام از مؤلفه‌ها برای هر الگو، با روش *تحلیل سلسله مراتبی*[۸]، به وزن دهی معیارها پرداخته می‌شود. تکنیک ای اچ پی توسط توماس ساعتی در سال ۱۹۸۳ معرفی شد. هدف از این تکنیک انتخاب بهترین گزینه بر اساس معیارهای مختلف از طریق مقایسهٔ زوجی است. در این سیستم تصمیم‌گیری بر اساس زیر معیارها با مشخص شدن هدف، معیار و زیر معیار گزینه خواهد بود. اگر معیارها بر یکدیگر ارجحیت داشته یا متناقض بودند مسئله تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. (حبیبی و ایزدیار،۱۳۹۳) (شکل۹)

در گام بعدی باید مقایسات زوجی معیارها نسبت به هدف بر اساس طیفی ۱ تا ۹ سنجیده شود. درجدول ۷، ماتریس پارامترهای معیار برای تعیین وزن نشان داده می‌شود. سپس با محاسبه ماتریس نتایج وزنی معیارها محاسبه شده و نتایج اولویت‌بندی پارامترها اعلام می‌شود.

طبق نتایج و محاسبات حاصله مشاهده می‌شود که ضریب اهمیت پارامترها در الگوهای مسکونی شهر تبریز به ترتیب عایق‌بندی، جنس شیشه و فریم بازشو، جنس دیوار بیرونی و جهت‌گیری است.

جدول ۷. محاسبه ماتریس تعیین وزنی پارامترها نسبت به هدف مصرف بهینه انرژی در الگوها

	جهت‌گیری	جنس دیوار بیرونی	عایق‌بندی	جنس شیشه و فریم بازشو	وزن معیارها نسبت به هدف
جهت‌گیری	۱	۰/۲	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۰۴
جنس دیوار بیرونی	۵	۱	۰/۵۵	۰/۷۱	۰/۲۳
عایق‌بندی	۹	۱/۸	۱	۱/۲۹	۰/۴۱
جنس شیشه و فریم بازشو	۷	۱/۴	۰/۷۷	۱	۰/۳۲
مجموع ستون	۲۲	۴/۴	۲/۴۳	۳/۱۴	

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۸. مقایسه‌ای پایه‌ای میزان مصرف انرژی به جهت گرمایش و سرمایش سالانه در سه بنای ب.م.۱، ب.م.۲، ب.م.۳ بر اساس تحلیل نرم‌افزاری انرژی پلاس

الگوی مسکن	بازه زمانی برای محاسبه مصرف انرژی به جهت گرمایش	میزان مصرف انرژی در بار گرمایشی KWH	درصد اختصاص یافته از بار گرمایشی کل (درصد)	بازه زمانی برای محاسبه مصرف انرژی به جهت سرمایش	میزان مصرف انرژی در بار سرمایشی KWH	درصد اختصاص یافته از بار سرمایشی کل (درصد)	میزان مصرف انرژی به جهت سرمایش و گرمایش KWH	درصد اختصاص یافته از بار گرمایش و سرمایش کل (درصد)
ب.م.۱ بنای سنتی	ماه‌های نوامبر تا آپریل (حدوداً ۱۰ آبان ماه تا ۱۰ اردیبهشت ماه)	۶۳/۳	۴۳/۲	ماه‌های ژوئن تا سپتامبر (حدوداً ۱۱ خرداد ماه تا ۸ مهر ماه)	۹/۹	۲۱/۸	۷۳/۲	۳۸/۱
ب.م.۲ بنای بلوک شهری		۶۲/۷	۴۲/۸		۱۵/۸	۳۴/۷	۷۸/۵	۴۰/۹
ب.م.۳ بنای بلند مرتبه		۲۰/۵	۱۴		۱۹/۸	۴۳/۵	۴۰/۳	۲۱
جمع کل		۱۴۶/۵	۱۰۰		۴۵/۵	۱۰۰	۱۹۲	۱۰۰

بحث و نتیجه‌گیری

در ارزیابی تأثیر سه گونهٔ ساختاری موجود بر عملکرد انرژی طبق شکل‌های ۷ و ۸ و تحلیل‌های شبیه‌سازی می‌توان به نتایجی اشاره کرد:

۱. طبق بررسی‌های تحلیلی نرم‌افزاری می‌توان نحوه تأثیر متغیرهای مستقل در پژوهش و میزان انرژی مصرفی صرفاً به جهت سرمایش و گرمایش را به صورت جدول ۸ ارائه کرد که طبق نتایج موجود از داده‌های کمی تحلیلی، می‌توان به اهمیت میزان گرمایش در اقلیم سرد شهر تبریز پی برد. با توجه به داده‌های آب و هوایی تعداد ماه‌های سرد سال بیشتر از ماه‌هایی است که نیاز به سرمایش در بنا برای تأمین آسایش حرارتی است.

۲. به استناد ارقام عددی میزان کل بار گرمایشی سه برابر میزان بار سرمایشی است.

۳. از نتایج به دست آمده و با در نظر گرفتن مدل طراحی بلند مرتبه می‌توان دریافت که در این بنا: عامل عایق مناسب باعث نتیجه‌گیری مطلوب در میزان مصرف بهینه گرمایشی بوده و عامل بازشوهای سرتاسری و بزرگ در نمای این بنا باعث عملکرد ضعیف آن در مقابل مصرف انرژی سرمایشی بوده است.

۴. با توجه به داده‌های تحلیلی می‌توان به طور خلاصه به ناموفق بودن الگوی بلوک شهری ۶۰ درصد تراکمی اشاره کرد. این بنا حتی با استفاده از مصالح بهتر به روزتر نسبت به بنای قدیمی سنتی باز هم به جهت گرمایش با اختلاف بسیارجزئی در مقایسه با بنای سنتی عملکرد مناسب داشته که این عملکرد به جهت سرمایش با اختلاف بالا نسبت به بنای سنتی برعکس بوده است و عملکرد ناموفقی داشته است.

۵. به طور میانگین در اقلیم سردسیر تبریز، در دو ماه اردیبهشت و مهر، به ترتیب نیاز به هیچ وسیله سرمایشی و گرمایشی در بنا نیست و شرایط آب و هوایی منطبق بر وضعیت آسایش حرارتی است.

۶. با توجه به جدول ۱ و ۶ و پارامترهای متفاوت فرم، مصالح، بازشو و همچنین جهت‌گیری بنا نسبت به جنوب جغرافیایی برای تحلیل نتایج نیازمند مقایسه و شبیه‌سازی این بناها در حالت‌های مختلف دو به دو پرداخته شده تا بتواند به موارد زیر پاسخگو باشد:

www.SID.ir

Archive of SID

۱. حالت بهینه هر فرم در چه شرایطی امکان‌پذیر است.
۲. در صورت مقایسه سه پارامتر متفاوت فرم، مصالح، و همچنین جهت‌گیری بنا اولویت‌بندی به چه صورت خواهد بود.

طبق نتایج به دست آمده از ارزشیابی و آزمایش تک به تکی پارامترها در مدل‌ها می‌توان در جدولی به شرح زیر خلاصه کرد: (جدول ۹)

جدول ۹. میزان اهمیت متغیرهای تعریف شده در تحقیق در دو حالت گرمایش و سرمایش بر اساس موفقیت عملکرد در مصرف بهینه در سه الگوی ب.م.۱، ب.م.۲ و ب.م.۳

الگوی بنای مربوطه	بهترین عملکرد بهینه گرمایشی بر اساس پارامتر:				بهترین عملکرد بهینه سرمایشی بر اساس پارامتر:			
	هندسه فرم	مصالح	بازشو در جداره پیرامونی بنا	جهت‌گیری	هندسه فرم	مصالح	بازشو در جداره پیرامونی بنا	جهت‌گیری
حیاط مرکزی/ ب.م.۱	–	*	–	–	*	*	*	–
۶۰درصد تراکم شهری ب.م.۲	–	–	–	–	–	–	–	–
بلند مرتبه/ ب.م.۳	*	–	*	*	–	–	–	*

با در نظر گرفتن بازه زمانی ماه‌هایی از سال که نیاز به گرمایشی در این اقلیم سرد را دارند می‌توان به اهمیت انرژی مصرفی گرمایشی در شهر تبریز پی برد و از طرفی مقدار کمی سه برابری انرژی مصرفی گرمایشی نسبت به انرژی مصرفی سرمایشی، اهمیت به فرم و میزان جذب تابش مستقیم خورشیدی را بیش از سایر موارد نمایان می‌کند.

۷. طبق نتایج و محاسبات حاصله از بررسی AHP مشاهده می‌شود که ضریب اهمیت و اولویت طراحی پارامترها در الگوهای مسکونی شهر تبریز به ترتیب عایق‌بندی حرارتی با ضریب نسبی ۰/۴۱، جنس شیشه و فریم بازشو با ضریب نسبی ۰/۳۲، جنس مصالح جداره و دیوار بیرونی با ضریب نسبی ۰/۲۳ و جهت‌گیری نسبت به شمال جغرافیایی با ضریب نسبی ۰/۰۴ است.

پیشنهادها

نسل جدید معماران در روند جهانی طراحی با ابزارهای نرم‌افزاری جدید نیاز به مقابله با اهداف چندگانه و متناقض همزمان در تمام مراحل فرایند طراحی دارند و ایجاد رویکردی جامع برای طراحی ساختمان پایدار ضروری است. روش بهینه‌سازی پراسنج، روشی پویا خواهد بود تا با ارزیابی گرا بودن سامانه، گزینش و تصمیم‌گیری را در مرحله طراحی برای معمار فراهم آورد. به این منظور می‌توان در پژوهش‌های آتی با بهره‌گیری کد نویسی و برنامه‌نویسی، به موتور بهینه سازی نرم‌افزارهای تحلیلی سناریوها و الگوریتم‌های مفروض طراح را افزود که شامل توابع هدف است. امید است پژوهش حاضر راه گشای قسمتی از مسائل و دغدغه‌های مطرح در جامعه معماری بوده باشد.

یادداشت‌ها

1. Ecotect
2. Energy Plus ver. 8.1
3. Easylog USB
4. Ashrae standard
5. Climate consultant software ver.4.0.
6. Hikersbay
7. EPW (Data Weather Plus Weather)
8. Nalytical Hierarchy Process

منابع

ایمانی،ف؛ حیدری، ش، (۱۳۹۷)، بررسی میزان مصرف انرژی ساختمان زیرزمینی در مقایسه با مدل مشابه بر روی سطح زمین

www.SID.ir

Archive of SID

در اقلیم‌های تهران، یزد و تبریز، *مطالعات معماری ایرانی*، (۱۳)، صص ۱۰۶-۸۹.

حبیب، ف؛ برزگر، ز، (۱۳۹۳). رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان با کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، *نقش جهان*، (۲)، صص ۶۱-۵۵.

حبیبی، آ ؛ ایزدیار، ا، (۱۳۹۳). *تصمیم‌گیری چند معیاره فازی*، انتشارات نشر کتیبه گیل، رشت.

حیدری،ش؛ غفاری جباری،ش،(۱۳۸۹). تعیین محدوده زمانی آسایش حرارتی برای شهر تبریز، *مهندسی مکانیک مدرس*، ۱۰(۴)، صص۴۴-۳۷.

حیدری،ش؛ غفاری جباری،ش،(۱۳۸۹). منطقه راحتی حرارتی در اقلیم سرد و خشک ایران، *هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*، (۴۴)، صص ۴۲-۳۷.

قائیلی اردبیلی، ن، (اسفند۱۳۹۱). *بررسی و تحلیل تأثیر عوامل اقلیمی در طراحی اقلیمی شهر تبریز براساس جداول بیوکلیماتیک*، اولین همایش ملی جغرافیا مخاطرات محیطی و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

هاشمی،ف؛ حیدری، ش، (۱۳۹۱)، بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد (نمونه موردی: شهر اردبیل)، *صفه*، (۵۶)، صص۸۶-۷۵.

هاشمی،ف؛ حیدری، ش، (۱۳۹۰)، بررسی کارکرد اقلیمی حیاط زمستان نشین در مناطق سردسیر نمونه موردی: شهر اردبیل، *معماری و شهرسازی*، (۶)، صص ۱۵۴-۱۳۹.

Augenbroe, G., (2001, August 13-15) *Building simulation trends going into the new millennium.* Seventh International IBPSA Conference, Brazil, http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2001/bs01_0015_28.pdf.

De Wilde, P. (2004). *Computational Support for Selection of Energy Saving Building Components* (PhD thesis). Delft University of Technology of Netherlands.

Genjo, K., & Matsumoto, Sh., & Hasegawa, K., & Yoshino, H. (2005, September 27-29). *Energy consumption of houses and lifestyle in cold climatic area of japan*. World Sustainable building Conference, Japan, Tokyo. http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB3184.pdf

Hong, T., & Chou, S.K., & Bong, T.Y. (2000), Building simulation: an overview of developments and information sources, *Building and Environment*, 35(4), 347–361.

Jeberaj, S., Iniyan, S., (2006), A review of energy models, *Renew & Sustain Energy Reviews*, 10 (4), 281–311.

Nasrollahi, F., (2007), Effect of Architecture on Building Energy Demand in Cold Climates, *EcoPapers Building Technology and Design Energy and Environmental Modeling 2007*, (24000045), https://econpapers.repec.org/paper/ekd000240/ 24000045.htm .

Tereci, A., & Tahira Elias Ozkan, S., & Eicker, U. (2013), Energy benchmarking for residential buildings, *Energy and Building*, (60), 92-99.

Xia, Ch. (2008). *Research on Design Methods of Energy-efficient Design for Building Scheme* (PhD Thesis). Tsinghua University of Beijing.

www.SID.ir