

Localized Implementation of Passive Solar Systems Using a Two-Stage Data Analysis Approach for Energy Management in Cold Climate Regions of Iran: A Case Study of City of Zanjan

Farnoosh Merrikh Bayat,¹ Mohamadreza Sanaei,^{2*} Hooman Sobouti,³ Mohammad Mehdi Gilanian Sadeghi⁴

¹ Department of IT Management, Qa.C, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

f.merrikhbayat@iau.ac.ir

² Department of IT Management, Qa.C, Islamic Azad University, Qazvin, Iran, (Corresponding Author)

mr.sanaei@iau.ac.ir

³ Department of Architecture, Za.C, Islamic Azad University, Zanjan, Iran

soboutihooman@iau.ac.ir

⁴ Department of Computer and Information Technology Engineering, Qa.C, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

gilaniansadeghi@iau.ac.ir

Keywords:

passive solar system, energy management, prediction model, decision matrix, data analysis.

Abstract: This study aims to propose an energy management strategy for buildings located in cold climates during critical periods of energy supply, with a goal of designing a self-sufficient building capable of meeting its own energy demands. It utilizes passive solar technologies as part of sustainable urban development. In this analytical and comparative framework, the building envelope is designed in harmony with geographic coordinates and influential environmental factors (climate), enabling the structure to operate independently from the existing energy network by harnessing renewable solar energy through architectural components. To achieve this objective, a dataset was developed using descriptive information layers, aerial maps, and field surveys, comprising the architectural characteristics of 100 residential buildings located in a cold climate zone (city of Zanjan). It included 35 informational attributes. Subsequently, a two-stage environmental data analysis was conducted based on internal and external influencing factors, employing a decision matrix and three predictive data-mining models (decision tree, association rules, and Bayesian classifier). Site plan characteristics were also analyzed to evaluate the impact of criteria related to climatic optimization, calculating the influence of three variables—orientation relative to the south, surface coverage, and building elongation—on maximizing solar energy utilization. A combined prioritization, based on the climatic energy labeling index, was then computed and validated, integrating the residential zone and the passive solar design approach while considering the architectural characteristics of the building envelope and energy loss criteria. The high reliability of the obtained results (over 85%) confirmed the validity of the management decisions and retrofitting operations derived from the analysis.

Original Research Article

Paper History:

Received: 17/10/2025

Revise: 01/12/2025

Accepted: 23/02/2026

How to cite this article: Merrikh Bayat, M., Sanaei, M.R., Sobouti, H., Gilanian Sadeghi, M.M., "Localized Implementation of Passive Solar Systems Using a Two-Stage Data Analysis Approach for Energy Management in Cold Climate Regions of Iran: A Case Study of City of Zanjan ", Energy Engineering and Management, Vol. 15, No. 2, PP. 22-41, 2025. <https://doi.org/10.22052/EEM.2026.257681.1148>

© 2023 University of Kashan Press.

This is an open access article under the CC BY license. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Extended Abstract

Introduction

This study aims to propose an energy management strategy for buildings located in cold climates during critical periods of energy supply (cold seasons), with the objective of designing self-sufficient buildings that will be capable of meeting their own energy demands. The proposed strategy is based on the utilization of passive solar system technologies as a pathway toward achieving sustainable urban development. In this approach, the building envelope was designed in harmony with geographic coordinates and influential environmental factors (climate), enabling the structure to operate independently from the existing energy grid by meeting its demand for renewable solar energy through architectural redesign and retrofiting. The proposed framework structurally aims at developing a knowledge-based system grounded in climate-responsive architectural designs. The approach adopts a diagnostic perspective and is specifically oriented toward the pre-construction phase of the building process.

Materials and Methods

The research employs an operational, analytical, and comparative methodology that can be further expanded and refined based on the scope and quality of data used during the information preprocessing phase. To achieve the study's objectives, a dataset was developed using descriptive data layers, aerial maps, and field surveys to validate the extracted information. The dataset included 35 informational attributes from 100 residential buildings located in the cold climate zone of Zanzan. Also, the information fields (resulting from the effect of comfort factors affected by the amount of energy received from the sun) and the effect of the residential building's site plan pattern were delivered to the desired data mining software (RapidMiner version 1.7) after undertaking necessary preprocessing. Subsequently, a two-stage environmental data analysis was conducted, focusing on

both internal and external effective factors. The analysis employed a decision matrix and three predictive data-mining models: decision tree, association rules, and Bayesian classifier. The selected indicators used in the decision matrix included the solar incidence angle on the southern façade, the plan elongation ratio, and the southern façade surface coverage ratio. Since the weighting process was strictly data-driven and limited to the information contained within the decision matrix—without incorporating expert judgment—the Shannon Entropy method was employed to extract the relative weights of the indicators from the matrix. These three predictive models shared a common objective but employed different methodological approaches. In the Decision Tree model, the output knowledge was represented in the form of a hierarchical tree structure reflecting various combinations of feature values. Features with higher discriminatory power were selected to maximize information gain, thereby, enabling the extraction of more meaningful patterns and the generation of higher-quality rules. In the Association Rule-based Classification model, the objective was to identify a set of dependency rules such that the output knowledge was expressed as a collection of “if-then” rules. The Bayesian modeling approach applied a probabilistic framework to address the classification problem and subsequently perform prediction tasks. In this study, the climatic energy label was defined as the ratio of total solar energy received to the useful floor area of the residential building (or controlled space). The managerial comparison was performed by assessing the potential for maximum solar energy absorption through three passive solar methods—direct gain, Trombe wall, and solar space against the evaluation of energy loss from two dimensions: heat transfer and thermal dissipation.

Results

The findings of the first stage of the proposed methodology indicated that three

variables, namely orientation toward the south, surface coverage ratio, and building elongation, contributed 52%, 43%, and 5% respectively to maximizing the utilization of solar energy.

In the second stage, using data mining techniques, the behavior of energy loss characteristics in residential areas was extracted based on the analysis of the building envelope conditions alongside the assessment of solar energy absorption potential under the implementation of various passive solar design strategies. The results generated a climatic energy label (CEL) for the dataset. Also, through the application of predictive models including Decision Tree, Association Rules, and Bayesian Rule models, it produced actionable rules suitable for integration into a decision-support system.

In the Decision Tree method, the depth of the tree was influenced by the degree of information exchange between features and the target criterion. In its simplest form, a rule was generated by traversing a path from the root node to a leaf node. The extraction of results was more flexible using the Association Rule modeling approach than the Decision Tree method. It was also capable of generating rules even with smaller datasets. A rule covers a specific data record provided that all antecedent conditions of that rule are satisfied for that particular record. Following dataset analysis, Bayesian probability coefficients generated posterior probabilities for the climatic energy label categories. Ultimately, a hybrid prioritization framework was calculated and validated based on the climatic energy labeling index by integrating residential zones and passive solar design strategies, while simultaneously considering architectural envelope characteristics and energy loss criteria.

The findings indicated a relatively proportional relationship between increased solar energy absorption and increased heat loss within the heat loss index. However, in terms of thermal losses, the potential for energy absorption did not significantly increase, despite the occurrence of

considerable energy dissipation. By using the Cross-Validation evaluation method and the confusion matrix, it was determined that the Decision Tree and Association Rule predictive models demonstrated higher accuracy compared to the Bayesian Rule model. Furthermore, based on the F1 Score metric, a scoring system for climatic retrofitting of residential buildings in the target climate was derived, categorizing performance into four energy label classes: A, B, C, and D.

The high confidence level of the results (exceeding 85%), particularly in the Association Rules model, reinforced the validity of the derived managerial decisions and resilience-oriented retrofitting strategies.

Discussion and Conclusions

A two-stage analytical framework has been proposed for managing the energy demand of a residential building by incorporating both environmental conditions and architectural characteristics. The study particularly has focused on cold climates during the winter season (Zanjan), which represents a critical period in terms of peak energy consumption. The results can support decision-makers and stakeholders in prioritizing influential indicators related to the effective utilization of solar energy for meeting the energy demand of residential buildings in this specific climatic context. Specifically, the extraction and evaluation of fixed parameters derived from residential land-use patterns within a defined geographical coordinate, alongside variable parameters originating from architectural design features, can contribute not only to informed urban planning decisions but also, at a macro level, to strategic energy management within sustainable urban development.

Addressing energy imbalance requires the identification and implementation of optimal passive solar system strategies for long-term climatic retrofitting of buildings. Such strategies can significantly enhance the feasibility of achieving net-zero energy buildings (fully self-sufficient in energy

supply) through the maximum utilization of clean solar energy via passive solar design approaches.

The primary innovation of this research lies in emphasizing the principles of sustainable architecture while incorporating indigenous and climate-based regulations and standards of Iran in the field of building design. Furthermore, the low implementation cost of the proposed method and its minimal dependence on imported technologies enable

its practical application across most urban environments located in cold climates.

Furthermore, the development of an expert system—referred to as an “Architect Assistant”—is proposed as a direction for future research. By integrating weights and rules extracted from predictive models into a knowledge-based system, this tool could generate design recommendations, determine appropriate types and levels of implementation, and support the design of climate-responsive buildings.

بومی سازی اجرای سیستم های غیرفعال خورشیدی مبتنی بر تحلیل دومرحله ای داده با هدف مدیریت انرژی در مناطق سردسیر ایران (منطقه مورد مطالعه: شهر زنجان)

فرونوش مریخیات^۱، محمدرضا ثنائی^{۲*}، هومن ثبوتی^۳، محمد مهدی گیلانیان صادقی^۴

^۱ گروه مدیریت فناوری اطلاعات، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، f.merrikhbayat@iau.ac.ir

^۲ گروه مدیریت فناوری اطلاعات، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، mr.sanaei@iau.ac.ir

^۳ گروه معماری، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران، soboutihooman@iau.ac.ir

^۴ گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، gilaniansadeghi@iau.ac.ir

واژه های کلیدی:

سیستم غیرفعال خورشیدی، مدیریت انرژی، مدل پیش بینی، ماتریس تصمیم، تحلیل داده.

چکیده: پژوهش حاضر به منظور ارائه راهکار مدیریت انرژی برای ساختمان های واقع در اقلیم سرد در زمان های بحرانی تأمین انرژی با هدف طراحی ساختمانی خودتأمین از نظر رفع نیاز انرژی، مبتنی بر استفاده از فناوری غیرفعال خورشیدی در مسیر توسعه پایدار شهری صورت پذیرفته است. در این راهکار تحلیلی و قیاسی، پوسته خارجی ساختمان هماهنگ با مختصات جغرافیایی و عوامل محیطی مؤثر (اقلیم) طراحی گردیده و مستقل از شبکه موجود تأمین انرژی، نیاز خود را از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی بر پایه اجزای معماری تأمین می کند.

در راستای تحقق این هدف، ابتدا مجموعه داده با استفاده از لایه های اطلاعات توصیفی، نقشه هوایی و بازدید میدانی، مشتمل بر مشخصه های معماری ۱۰۰ ساختمان مسکونی واقع در اقلیم سرد (شهر زنجان) و تعیین ۳۵ مشخصه اطلاعاتی ساخته شد. در ادامه دو مرحله تحلیل داده محیطی مبتنی بر عوامل بیرونی و درونی مؤثر، به ترتیب با استفاده از ماتریس تصمیم و سه مدل پیش بینی حاصل از عملیات داده کاوی (درخت تصمیم، قواعد انجمنی و قانون بیز) انجام گردید. تحلیل ویژگی های سایت پلانی با بررسی میزان تأثیر معیارهای مرتبط با بهسازی اقلیمی، میزان تأثیرگذاری در استفاده حداکثری از انرژی خورشید را با سه متغیر زاویه با جنوب، سطح پوشش و کشیدگی بنا محاسبه نموده و سپس اولویت بندی ترکیبی بر مبنای سنجه پرچسب انرژی اقلیمی، متشکل از منطقه مسکونی و روش غیرفعال خورشیدی با لحاظ مشخصه های معماری پوسته خارجی و معیارهای هدررفت انرژی محاسبه و اعتبارسنجی گردید. ضریب اطمینان بالای نتایج حاصل (بیش از ۸۵ درصد)، به تصمیمات مدیریتی و عملیات بهسازی مبتنی بر نتایج، اعتبار می بخشد.

مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴

۱. مقدمه

ساختمان مسکونی بر مبنای یک طراحی هدفمند از پیش تعیین شده به ویژه در وضعیت بحرانی فعلی را که کشور شاهد بروز ناترازی های جدی در این زمینه است، فراهم نماید [۱-۲].

پژوهش حاضر در زمینه طراحی و بهسازی ساختمان های مسکونی به منظور امکان سنجی تبدیل آن به ساختمان هایی با معماری اقلیمی و پایدار در شهر زنجان (اقلیم سرد) با استفاده از تحلیل دومرحله ای داده مبتنی بر روش ماتریس تصمیم و مدل های پیش بینی به منظور ارائه اولویت های اجرایی و استفاده از فناوری سیستم های غیرفعال خورشیدی انجام شده است. یافته های پژوهش می تواند در رسیدن به یک معماری پایدار و سبز، با هدف کمک به کاهش میزان مصرف انرژی، کاهش آلودگی هوا و روند روبه رشد گرمایش کره زمین و نیز ایجاد محیط های مطلوب از بعد معماری برای کاربران، همچنین بهره مندی حداکثری از انرژی پاک خورشیدی نقش مهمی داشته و تا حدودی به خلأ مطالعاتی محسوس در این زمینه به ویژه در کشور ما نیز پاسخ دهد. این پژوهش قصد دارد در کنار اجرای مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان که بر صرفه جویی در مصرف سوخت بناها و جلوگیری از اتلاف انرژی در انواع کاربری ها تأکید دارد، با اولویت دهی و امکان سازی استفاده از روش های غیرفعال خورشیدی جهت بهسازی بصرفه ساختمان، همگام با نگاهی توسعه محور گامی فراتر نهاده و با ابفای نقش در طرح های توسعه شهری به سمت آینده ای روشن با حذف نیازمندی حاضر بر استفاده از سوخت فسیلی گام بردارد.

۲. پیشینه پژوهش

در سوابق تحقیقاتی مطالعه شده محور اصلی مرتبط با موضوع این پژوهش که در تحلیل های انجام شده نیز مورد استفاده قرار گرفته است، بر سه مفهوم کلی استوار می باشد که عبارت اند از: ۱. تأثیر اقلیم بر ساخت ساختمان؛ ۲. مدیریت انرژی (به ویژه در مبحث ساختمان)؛ ۳. هوشمندسازی در صنعت ساختمان. در تحقیقات بررسی شده به وضوح مشخص است که با گذشت زمان، در مدیریت دانش انجام شده موضوع استفاده از تکنولوژی، روش های نوین و هوشمندسازی ساختمان اولویت بیشتری یافته و در مقابل، توجه کمتری به اجزا و فرم معماری به ویژه پایداری آن از منظر محیط زیستی شده است.

برای درک بهتر پیشینه پژوهش اهم منابع تحقیقاتی مورد مطالعه از منظر موضوع پژوهش، ساختار کلی، روش کار مورد استفاده و نیز نتیجه کلی پژوهش که مرتبط با کار تحقیقاتی پیش رو بوده، طبق جدول (۱) جمع بندی و ارائه گردیده است.

جمعیت روبه رشد جهان و استفاده بی رویه از ذخایر انرژی سوخت های فسیلی در کنار محدودیت ها و موانع توسعه نیروگاه های تجدیدپذیر می تواند منجر به بحران جهانی انرژی، افزایش گازهای گلخانه ای، گرم شدن جهانی کره زمین و در نتیجه از بین رفتن اکوسیستم های طبیعی و در نهایت تهدید زیست بشر گردد. آنچه امروزه در کشورهای پیشرفته و همچنین در حال توسعه مشهود است، وابستگی بیش از پیش به منابع انرژی به ویژه سوخت های فسیلی است. این وابستگی و به تبع آن مصرف بی رویه، منجر به نابودی ذخایر ارزشمندی می شود که برای تولید آن میلیون ها سال زمان صرف شده است. علاوه بر مصرف بدون حدود، نحوه استخراج و فراوری انرژی نیز در گذر زمان آثار جبران ناپذیری بر محیط زیست می گذارد.

از بعد پایداری محیط زیستی نیز آنچه از اهمیت ویژه ای برخوردار است، تعادلی است که انسان به عنوان تنها موجود مسئولیت پذیر گیتی در ایجاد و حفظ آن وظیفه مند است. از این رو انسان باید منابع کارکردی را در رابطه ای هوشمندانه با خود و محیط اطرافش تنظیم و حفظ نماید. بر همین مبنا استفاده از منبع طبیعی و بیکران خورشید در طول شبانه روز هم زمان با به کارگیری راهکارهای مناسب محافظتی به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر، می تواند تا حد زیادی پاسخ گوی نیاز انرژی زندگی بشر باشد.

در پژوهش پیش رو با اعتقاد به حفاظت از منابع زیستی ارزشمند موجود، ایجاد سیستمی دانش محور برای اولویت دهی به اجرای سیستم های غیرفعال خورشیدی (با هدف بهره مندی حداکثری از انرژی خورشیدی به منظور تأمین گرمایش یک ساختمان مسکونی به ویژه در اقلیم سرد)، مورد بحث و بررسی قرار داده است.

بر همین مبنا طرح مسئله ای با عنوان «دستیابی به طراحی اقلیمی (تابشی تأثیرپذیر) مناسب یک بنای مسکونی است که از نظر تأمین و حفظ انرژی مورد نیاز خود به ویژه در زمان مصرف حداکثری، از طریق انرژی پاک خورشیدی توانمند باشد» تعریف شده است.

این هدف در حالت ایدئال خود، همان ساختمان «صفر انرژی» است که می تواند در فصول سرد سال بدون منبع انرژی ثانویه گرم گردد؛ زیرا منبع اصلی تأمین انرژی مورد نیازش خورشید است. در واقع استفاده از انرژی تجدیدپذیر برای دستیابی به ساختمان با تبادل انرژی صفر یا ساختمان هایی که در طول یک سال از منظر تبادلات انرژی خنثی هستند، بسیار مهم است. کار تحقیقاتی پیش رو هدف خود را بر هموار نمودن مسیری قرار داده است تا استفاده حداکثری از پرتوهای پراکنده شده از سوی خورشید برای گرمایش طبیعی یک

جدول (۱): دسته‌بندی و بررسی منابع تحقیقاتی مورد مطالعه

پژوهشگر(ان) سال پژوهش	موضوع پژوهش	ساختار کلی	روش کار	نتیجه پژوهش
پیرنا [۳] (۲۰۱۳)	ارائه مبانی طراحی اقلیمی	ارائه محتوای تحلیلی	ایجاد زمینه عملکردگرایی	مشخصه‌های طراحی مبتنی بر طراحی اقلیمی
الویدیان و الوکلا [۴] (۲۰۱۴)	مدل تصمیم‌گیری برای جایگزین‌های صرفه‌جویی در انرژی	سیستم تصمیم‌گیر	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و نرم‌افزار اکسپرت چویس	تحلیل قضاوت‌های کیفی منجر به تصمیم‌گیری چندمعیاره
زارعی و خادمی زارع [۵] (۲۰۱۴)	بهبود پایداری سبد مصرف انرژی و خوشه‌بندی ساختمان‌های مسکونی با بهبود شبکه عصبی فازی	مدل‌سازی، پیش‌بینی و خوشه‌بندی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی	شبکه عصبی فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و داده‌های پرسشنامه‌ای	نحوه خوشه‌بندی اطلاعات برای استفاده در مشخصه‌سازی سایت پلان با سرعت و دقت بالا
کامیابی [۶] (۲۰۱۵)	کاربرد شاخص‌های آسایش حرارتی در طراحی مسکن پایدار	تحلیل آمار اقلیمی دوره ۵۱ ساله به‌صورت تحلیلی و توصیفی	استفاده از شاخص‌های آسایش اولگی، گیونی و ماهانی	تدوین شاخص‌های آسایش متأثر از آب‌وهوا
دلفانیان و خاک زند [۷]	رابطه معماری بومی و اقلیم با شاخص‌های آسایش حرارتی	بررسی شاخص‌های آسایش حرارتی و مقایسه نتایج با معماری بومی منطقه	تحلیل آمار ۴۰ساله با شاخص‌های اولگی، گیونی و ماهانی	مشخصه‌های طراحی پوسته خارجی با لحاظ تأمین آسایش
ناصری و مهرگانی [۸] (۲۰۱۶)	تأثیر خصوصیات فیزیکی ساختمان‌های مسکونی بر میزان مصرف انرژی	بررسی عملکرد حرارتی و رطوبتی (هفت پلان)	شیبه‌سازی از نوع طراحی محور، بهینه‌یابی ریاضیاتی	میزان مصرف انرژی در بهینه‌ترین حالت هر نمونه
کویل و همکاران [۹] (۲۰۱۷)	عملکرد حرارتی ساختمان براساس فرم معماری	بررسی فرایند تولید انرژی تجدیدپذیر و ذخیره‌سازی آن	تجزیه و تحلیل مصالح (عایق‌بندی و شیشه‌کاری)	نحوه سنجش میزان هدررفت انرژی
هاشمی و حیدری [۱۰] (۲۰۱۸)	بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد	بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد	سنجش تأثیر چرخه خوردشدی بر بار حرارتی بنا	استخراج بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان برای اصلاح پوسته بنا
بلوم و همکاران [۱۱] (۲۰۱۸)	نقش سیستم‌های مبتنی بر دانش، در زمینه شناسایی و بهره‌برداری منابع انرژی	نقش سیستم‌های مبتنی بر دانش، در زمینه شناسایی و بهره‌برداری منابع انرژی	تحلیل زنجیره فرایند از طریق استدلال مبتنی بر قانون	تحلیل زنجیره فرایند از طریق استدلال مبتنی بر قانون
جهانبخش و غفرانزاده [۱۲] (۲۰۱۸)	تأثیر تابش خورشیدی در تعیین جهت‌گیری بنا با هدف کاهش انرژی	تأثیر تابش خورشیدی در تعیین جهت‌گیری بنا با هدف کاهش انرژی	تحلیل با نرم‌افزارهای اقلیمی و شبیه‌سازی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی (سطح و زاویه تابش)	تحلیل پوسته خارجی ساختمان در تعامل با انرژی خورشید
وو و همکاران [۱۳] (۲۰۱۹)	تشخیص ناهنجاری‌های مصرف انرژی	تشخیص کارایی انرژی	تجزیه، تحلیل و تشخیص کارایی انرژی	ارائه دیدگاه سیستمی برای تحقق صرفه‌جویی در مصرف انرژی
دیوفی و همکاران [۱۴] (۲۰۲۰)	بررسی تأثیر مصالح ساختمانی بر میزان انرژی مصرفی	بررسی تأثیر مصالح ساختمانی بر میزان انرژی مصرفی	تحلیل سیستم تهویه ساختمان با مصالح سازگار با محیط‌زیست	تعیین مشخصه‌های دیوار آجری و دال بتنی با لایه‌ای از کاه (دال و کاه)
دینگ [۱۵] (۲۰۲۰)	بررسی حفظ انرژی توسط مصالح ساختمانی	بررسی حفظ انرژی توسط مصالح ساختمانی	تدوین راهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان	تعیین و تحلیل مشخصه‌های سنجش جذب و هدررفت انرژی
الهیاری و بهبهانی نیا [۱۶] (۲۰۲۰)	بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان	بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان	سیستم بهینه‌سازی مصرف انرژی	کمک به ارائه مفهوم برج‌سپ انرژی اقلیمی
اصغری و ملکی گالوگانی [۱۷] (۲۰۲۰)	نقش سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان‌های صفر انرژی	نقش سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان‌های صفر انرژی	عوامل اصلی توسعه استراتژی‌های انرژی پایدار و قابل اعتماد	فایان شلر و همکاران [۱۸] (۲۰۲۱)
یئون و هی‌کیم [۱۹] (۲۰۲۱)	تعریف الزامات توسعه یک سیستم خیره در ساختمان با کیفیت	تعریف الزامات توسعه یک سیستم خیره در ساختمان با کیفیت	طراحی پوسته خارجی مطلوب - بهره‌مندی از مدل‌های پیش‌بینی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
اقبال و همکاران [۲۰] (۲۰۲۱)	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها	ارائه سیستم مدیریت منابع	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
فرخ‌زاد و روشن [۲۱] (۲۰۲۲)	راهبردهای معماری همساز با اقلیم	راهبردهای معماری همساز با اقلیم	بازترسیم نمودارهای زیست‌اقلیم ساختمانی گیونی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
مالیرودکی و همکاران [۲۲] (۲۰۲۲)	کاهش مصرف انرژی از طریق افزایش حفاظت از انرژی	کاهش مصرف انرژی از طریق افزایش حفاظت از انرژی	مدل‌سازی انرژی زنجیره تأمین (SCEM) به‌عنوان وسیله‌ای برای کاهش مصرف انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
بابا و همکاران [۲۳] (۲۰۲۲)	ساختن هوشمند - طراحی و اجرای یک سیستم مدیریت انرژی	ساختن هوشمند - طراحی و اجرای یک سیستم مدیریت انرژی	سیستم تولید انرژی ساختمان از انرژی خورشید	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
جوادی نوده و سرایی [۲۴] (۲۰۲۲)	گونه‌شناسی اجزای کالبدی منطبق بر اقلیم سرد در معماری بومی	گونه‌شناسی اجزای کالبدی منطبق بر اقلیم سرد در معماری بومی	دستیابی به الگوی طراحی پایدار با اولویت‌بندی شاخص‌ها	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
عبدخاقلی و صابرنژاد [۲۵] (۲۰۲۲)	بررسی عملکرد گرمایش گلخانه خورشیدی در اقلیم سرد	بررسی عملکرد گرمایش گلخانه خورشیدی در اقلیم سرد	تحلیل عملکردی با دو متغیر وابسته و پنج متغیر مستقل	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
مقدسی و حیدری [۲۶] (۲۰۲۲)	ساخت گلخانه خورشیدی در اقلیم سرد	ساخت گلخانه خورشیدی در اقلیم سرد	تحلیل گلخانه حرارتی گلخانه	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
مر و همکاران [۲۷] (۲۰۲۳)	بررسی سیستم‌های غیرمتمرکز انرژی تجدیدپذیر	بررسی سیستم‌های غیرمتمرکز انرژی تجدیدپذیر	تحلیل محتوای کارکردی و سیستم‌های تحت بررسی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
رنگل و همکاران [۲۸] (۲۰۲۳)	درک، پیش‌بینی و مدیریت رفتار انرژی در حوزه ساختمان	درک، پیش‌بینی و مدیریت رفتار انرژی در حوزه ساختمان	تحلیل محتوای بر مبنای نحوه انجام نمونه‌گیری	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
پرووست و همکاران [۲۹] (۲۰۲۳)	سیستم دانش برای پایش مدیریت انرژی ساختمان (۱۴ ساختمان)	سیستم دانش برای پایش مدیریت انرژی ساختمان (۱۴ ساختمان)	مدل‌سازی معنایی با استفاده مجدد از دانش	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
چن و همکاران [۳۰] (۲۰۲۳)	بررسی نقش یادگیری ماشین در تفسیر، مدیریت انرژی ساختمان	بررسی نقش یادگیری ماشین در تفسیر، مدیریت انرژی ساختمان	امکان‌سنجی و تفسیرپذیری سیستم مدل‌سازی داده در حوزه مدیریت انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
روش توصیفی و تحلیلی، شبیه‌سازی با نرم‌افزار دیزاین پیلدر	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
تدوین نحوه توسعه سیستم‌های تحلیل انرژی به کمک رایانه	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
افزایش انعطاف‌پذیری، کنترل خودکار و ارائه کار خلافتانه	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
تدوین سیاست‌های مؤثر برای ادغام شیوه‌های مدیریت انرژی در بخش ساخت‌وساز	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
پیشنهادات طراحی اقلیمی برای هشت اقلیم مورد نظر	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
تدوین مشخصه‌های سنجش مصرف و هدررفت انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
تأیید بازگشت سرمایه تجهیزات و تولید برق بدون افزایش هزینه	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
اولویت‌دهی به شاخص‌های طراحی با معیارهای کالبدی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
استخراج میزانی از جهت‌گیری و میزان جدار نورگذر	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
آمار توصیفی اختلاف دماهای ایجادشده با تغییر متغیرهای محیطی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
مشخصه‌های بهره‌مندی از سیستم‌های تجدیدپذیر	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
تعیین رفتار فضاها و تأثیر آن‌ها در مصرف انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
استقرار سیستم نظارتی برای داده‌های عملیاتی ساختمان در مقیاس‌های بزرگ‌تر	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها
نیازهای آتی در تحقیق و توسعه جهت بهبود تفسیرپذیری اطلاعات در حوزه مدیریت انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدل‌سازی انرژی	مدیریت انرژی در ساختمان‌ها

پژوهشی موجود برای طراحی سیستمی دانشی برای دستیابی به تصمیماتی با بهره‌وری بیشتر در مرحله اجرای سیستم غیرفعال خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی است. در واقع ساختار اصلی کار از نوع تشخیصی و بر مبنای ویژگی‌های طراحی است، به‌نحوی که با در نظر گرفتن عوامل تجمیعی و تأثیرگذاری آن‌ها بر یکدیگر بتوان به اولویت‌بندی قواعد طراحی مورد نیاز دست یافت.

با بررسی تحلیلی صورت‌گرفته بر منابع مطالعاتی حوزه‌کاری، نوآوری اصلی این پژوهش را با لحاظ آنچه در بخش مقدمه بیان شد، می‌توان تأکید بر رعایت اصول معماری پایدار و توجه به رفع مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه انرژی فسیلی دانست. علاوه بر آن، تفاوت مهم دیگر نسبت به کارهای تحقیقاتی مطالعه‌شده، تأکید پژوهش بر قوانین و استانداردهای بومی و اقلیمی کشور ایران در حوزه معماری ساختمان بوده و نیز هزینه اجرایی پایین این روش و عدم وابستگی خاص به تکنولوژی وارداتی است، به‌نحوی که قابلیت استفاده و اجرا را در اکثر محیط‌های شهری واقع در اقلیم سرد خواهد داشت.

۳. روش پژوهش

ماهیت پژوهش انجام‌شده ترکیبی از یک تحقیق تحلیلی و قیاسی است. پس از انجام تحقیقات اولیه در موضوع اصلی پژوهش، تمرکز اصلی بر سه روش منتخب و مؤثر در حوزه روش‌های غیرفعال خورشیدی قرار گرفته و سپس به‌منظور نگاشت تحلیلی از چگونگی بهره‌مندی از این روش‌ها در منطقه مورد مطالعه با هدف دستیابی حداکثری به انرژی خورشید، فضای مسئله به دو بخش کلی تحلیل و بررسی عوامل بیرونی و عوامل درونی تقسیم گردید. با توجه به وابستگی ذاتی موضوع مورد بررسی به مختصات جغرافیای مد نظر، تشریح کار به‌صورت کاربردی و مبتنی بر داده‌ها و اطلاعات مسئله با ساخت مجموعه داده مورد استفاده، آغاز شده است. مشخص است مختصات جغرافیایی (تأثیرگذاری اقلیمی و شرایط محیطی) مورد نظر اولین و مهم‌ترین تأثیر را بر تعیین میزان انرژی قابل دریافت از خورشید و نیز تعیین زمان بحرانی بیشترین سطح نیاز انرژی دارد.

در پیشبرد کار علاوه بر بهره‌مندی از اسناد کتابخانه‌ای، استفاده از لایه اطلاعاتی نقشه طرح تفصیلی شهر و نیز عملیات میدانی و انجام صحت‌سنجی‌های لازم از طریق تطابق با نقشه‌های هوایی شهر نیز در دستور کار قرار گرفته است. همان‌گونه که اشاره شد، برای دستیابی به منطق طراحی اقلیمی، در گردآوری و تدوین متغیرهای مسئله جهت ساخت «مجموعه داده» مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل ابعاد مسئله، عوامل تأثیرگذار در دو طیف عوامل بیرونی (مشخصه‌های ثابت) و

آوجی و بیدولاخانی [۳۱] (۲۰۳۳)	سیستم‌های هوشمند مدیریت خانه	طراحی تأییدهای چندمرحله‌ای و استفاده از دوربین‌های حرارتی	ایترنت اشیا، هوشمندسازی ساختمان	افزایش اطمینان و دقت نسبت به سیستم‌های قدیمی
پیشخاوری و جیکاریانی [۳۲] (۲۰۳۳)	فرایند برنامه‌ریزی مصرف بهینه انرژی	مدل‌سازی سیستم مدیریت منابع برق	منطق فازی و متغیرهای زبانی	بهبود شاخص‌های عملکردی در مصرف انرژی
ماتوگ و همکاران [۳۳] (۲۰۲۳)	مدیریت انرژی در ساختمان‌های هوشمند	طراحی مدل‌های فرعی اشیای متصل به ساختمان برای ساخت مدل یکپارچه	ایترنت اشیا و محاسبات ابر و مه	بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان و کاهش هدررفت
اسماعیلی و شایان و همکاران [۳۴] (۲۰۳۳)	سامانه یکپارچه مدیریت انرژی الکترونیکی کلبه سبز	کنترل بهینه سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر انرژی	الگوریتم تصمیم‌گیری پویا و کنترل‌کننده هوشمند	کاربرد در سیاست‌گذاری انرژی و بازگشت مناسب سرمایه
موسوی ریزی و همکاران [۳۵] (۲۰۲۵)	ساختمان‌های مسکونی در معماری زیست‌اقلیمی	سیستم بهره‌وری انرژی	استفاده از مؤلفه‌های معماری پایدار	نحوه سازگاری با محیط زیست در معماری ساختمان

در جمع‌بندی مقایسه‌ای محتوای پژوهش پیش رو با مفاهیم مطرح در جدول (۱)، از نظر ساختاری «ارائه سیستم دانشی بر مبنای معماری ساختمان سازگار با اقلیم» را در دستور کار قرار داده و دارای رویکردی «تشخیصی مربوط به فرایند پیش از ساخت» است. روش پیشنهادی، طراحی اقلیمی و جانمایی اجزای پوسته خارجی و فرم بنا را با بهره‌مندی از روش‌های «تصمیم‌گیری چندمعیاره و داده‌کاوی» انجام داده است. استناد روش به قوانین و استانداردهای کشور ایران و وابستگی سیستم پیشنهادی به مختصات جغرافیایی بنا و نیز تأثیرپذیری از اقلیم منطقه از دیگر ویژگی‌های پژوهش حاضر است که با هدف بومی‌سازی روش به کار رفته است.

در بررسی نتایج مطالعات انجام‌شده مشخص گردید تطابق بهتر با وضعیت اقلیمی و نیز توجه به وضعیت قرارگیری ساختمان در سایت پلان مربوطه و به تبع آن، احصای ویژگی‌های تأثیرگذار از این عوامل می‌تواند بیشترین نقش را در استفاده حداکثری از انرژی خورشیدی داشته باشند؛ بر همین مبنای پژوهش حاضر به تحلیل و ارائه نمونه اجرایی از این موضوع پرداخته است. همان‌گونه که در جدول (۱) به آن اشاره شده، از نتایج مطالعاتی انجام‌شده حداکثر استفاده در احصای مشخصه‌های مورد نیاز در مدیریت دانش به‌سازی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی واقع در اقلیم سرد صورت گرفته است. در واقع رویکرد روش پیشنهادی با لحاظ پیچیدگی ذاتی حوزه‌کاری (ترکیب مفاهیم مدیریت بحران مصرف انرژی، اثرگذاری اقلیم و مختصات جغرافیایی و نیز دستیابی به سطح آسایش محیطی ساکنان یک بنای مسکونی)، بهره‌مندی از تجارب و نتایج حاصل از پیشینه

۱.۳. مجموعه داده

ساخت مجموعه داده مورد نظر بر مبنای جامعه هدف تعیین شده برای مسئله که کلیات سایت پلانی آن بر مبنای لکه‌گذاری‌های مندرج در شکل (۲) ارائه گردیده، بنا شده است. در واقع این محدوده در شهر زنجان (واقع در اقلیم سرد) با تکیه بر بافت جدید شهری که شهرک‌های مسکونی با قابلیت بهسازی را شامل می‌شوند (لکه‌گذاری شده در کادر بسته)، در قالب ده کوی به‌عنوان مناطق مورد نظر انتخاب شده‌اند. این مناطق که از بعد مساحت بیش بر ۶۰ درصد مساحت داخل محدود شهری زنجان را تشکیل می‌دهند، بالغ بر ۱۰۰۰۰ پلاک مسکونی (قطعه زمین قابل ساخت) را شامل می‌شوند.



شکل (۲): محدوده قابل بهسازی اقلیمی (لکه‌گذاری شهرک‌های اطراف و مرکز شهر (بافت فرسوده) در سطح شهر زنجان

محدوده مناطق ده‌گانه تعیین شده و تعداد پلاک‌ها طبق جدول (۲) نشان داده شده است. تصمیم‌گیری درخصوص اندازه نمونه، از لحاظ میزان دقت نتایج همچنین حجم کار میدانی و عملیاتی ایجادشده از اهمیت خاصی برخوردار است؛ زیرا بزرگ بودن اندازه نمونه باعث صرف هزینه و زمان زیاد و برعکس کوچک بودن آن باعث فقدان دقت مناسب تخمین‌ها می‌گردد. تعیین اندازه نمونه بر مبنای جامعه هدف مورد نظر، پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم بر داده خام اولیه، به تعداد ۱۰۰ ساختمان مسکونی در قالب گروه‌های ده‌تایی در هریک از کوی‌های مسکونی از قبل تعیین شده به روش «نمونه‌گیری تصادفی ساده»^۱ در داخل هر گروه انجام شده است.

علت استفاده از این روش نمونه‌گیری، شانس (احتمال) یکسان پلاک‌های مسکونی در هریک از مناطق برای ورود به نمونه پژوهشی و نیز عدم تأثیر انتخاب یک عضو از جامعه، روی انتخاب اعضای دیگر است. شایان ذکر است که با توجه به در دسترس بودن موجودیت‌های اطلاعاتی، همچنین قابل قبول بودن حجم اطلاعات مورد بررسی، استفاده از این نوع نمونه‌گیری قابل قبول و اجرای آن امکان‌پذیر است.

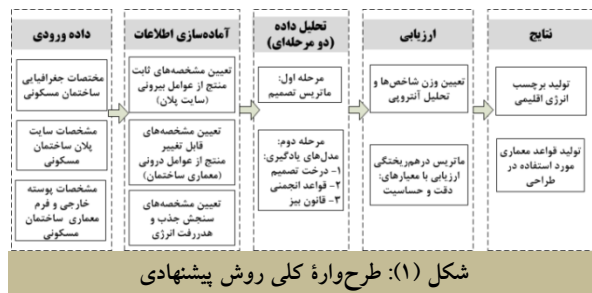
عوامل درونی (مشخصه‌های قابل تغییر) تقسیم‌بندی گردیدند؛ یعنی برخی عوامل برگرفته از وضعیت زمین و پلاک مسکونی حاصل از تقسیمات شهرسازی است که با وجود اهمیت بسیار آن، غیرقابل تغییر بوده و تحت عنوان معیارهای ثابت معرفی و استفاده می‌گردند (مواردی ازجمله ابعاد زمین، محل قرارگیری، ارتفاع ساختمان و...).

مشخصه‌های قابل تغییر از بعد معماری ساختمان مسکونی (مواردی ازجمله سطح بازشوها، محل قرارگیری بازشوها، عایق‌بندی، وضعیت جداره‌ها، مصالح مورد استفاده و...) تحت‌تأثیر وضعیت مشخصه‌های ثابت، قابل تغییرند [۳۶].

در روش پیشنهادی که شمای کلی آن در شکل (۱) ارائه شده است، برای مدیریت دانش متغیرهای گروه نخست از روش ماتریس تصمیم با هدف انجام اولین مرحله از تحلیل دومرحله‌ای یعنی تعیین اوزان تأثیرگذاری در مشخصه‌های مرتبط با جذب انرژی خورشیدی متأثر از پلان و از مدل‌های پیش‌بینی با هدف ارزیابی و اولویت‌دهی به متغیرهای گروه دوم یعنی تصمیم‌گیری درخصوص نحوه اجرای سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان‌های واقع در اقلیم سرد بهره برده شده است.

سه مدل پیش‌بینی مورد اشاره، هدف یکسان اما رویکردهای متفاوتی را مد نظر قرار می‌دهند؛ در درخت تصمیم دانش خروجی به‌صورت یک درخت از حالات مختلف مقادیر ویژگی‌ها ارائه می‌شود. در واقع باید در میان ویژگی‌های موجود مواردی که خاصیت جداکنندگی بیشتری دارند، انتخاب گردند تا اطلاعات بیشتری از داده‌ها استخراج گردیده و به‌تبع آن، قواعد باکیفیتی تولید گردد.

در مدل دسته‌بندی بر مبنای قوانین انجمنی، هدف یافتن یک مجموعه از قوانین وابستگی یا انجمنی است به‌نحوی که دانش خروجی به‌صورت یک مجموعه از قوانین اگر-آنگاه نشان داده شود. روش مدل‌سازی مبتنی بر رابطه بیز از یک چهارچوب احتمالی برای حل مسئله دسته‌بندی و در ادامه پیش‌بینی مسئله استفاده می‌نماید [۴۰].



شکل (۱): طرح‌واره کلی روش پیشنهادی

با تأثیرپذیری از سه عامل مذکور و بر مبنای الگوبندی صورت گرفته برای پلان‌های نمونه در ۱۰ منطقه منتخب، در گام بعدی ماتریس تصمیم براساس سه مشخصه تشکیل و محاسبات مورد نیاز انجام پذیرفت: ۱. زاویه تابش در وجه جنوبی نسبت به افق؛ ۲. میزان کشیدگی پلان یا نسبت بر به عمق؛ ۳. سطح تحت پوشش وجه جنوبی براساس بر زمین در ارتفاع تقریبی.

شایان ذکر است در ساخت ماتریس تصمیم به معیار سومی تحت عنوان X_{ij} یا همان امتیاز تعلق گرفته به عملکرد گزینه‌ها نسبت به شاخص‌ها نیز نیاز می‌باشد. ماتریس تصمیم بر مبنای سه شاخص منتخب و ده گزینه انتخابی (مناطق شهری مورد مطالعه) پس از محاسبه طبق جدول (۴) جمع‌بندی و ارائه شده است. توجه به این موضوع حائز اهمیت است که بهترین وضعیت جهت‌گیری یک ساختمان در نیمکره شمالی، با هدف استفاده حداکثری از تابش خورشید، ۱۵ درجه جنوب شرقی و پس از رعایت زاویه حداکثری ۲۵ درجه جنوب شرقی - غربی است.

جدول (۴): ماتریس تصمیم سه شاخص منتخب در مناطق مورد مطالعه

کد	نام منطقه (کوی)	زاویه تابش در وجه جنوبی	نسبت کشیدگی پلان	سطح پوشش وجه جنوبی (m^2)
A	گلشهر (۱)	۴۰°	۱۰ به ۲۰	۳۰
B	گلشهر (۲)	۵°	۱۰ به ۲۰	۳۰
C	امیرکبیر	۴۰°	۹ به ۲۰	۱۸
D	کارمندان	۱۰°	۱۵ به ۳۰	۱۵
E	آزادگان	۲۰°	۸ به ۲۱	۸
F	الهیّه	۱۰°	۹ به ۲۰	۱۸
G	قائم	۵۰°	۷ به ۲۴	۷
H	انصاریه	۳۵°	۱۰ به ۲۴	۲۰
I	منظریه و شهریار	۱۵°	۹ به ۲۲	۲۷
J	سرچنگلدار	۶۰°	۱۰ به ۲۵	۱۰

در مقام تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی، از طیف لیکرت یا همان اعمال مقیاس دوقطبی‌سازی بر روی شاخص «زاویه تابش در وجه جنوبی نسبت به افق» استفاده شده است (جدول ۵).

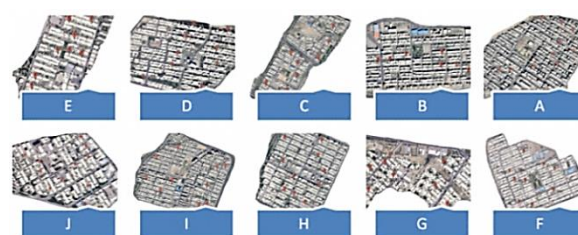
جدول (۵): کمی‌سازی شاخص زاویه تابش در وجه جنوبی نسبت به افق با استفاده از طیف لیکرت

(شاخص مثبت)	$\alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha \leq 45^\circ$	$45^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha > 60^\circ$
	۹	۷	۵	۳	۱
زاویه تابش نسبت به افق	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم

جدول (۲): تعداد پلاک‌های مناطق مسکونی منتخب

منطقه	A	B	C	D	E
تعداد پلاک	۱۰۴۴	۱۲۱۱	۱۵۴۹	۱۳۳۰	۶۴۰
منطقه	F	G	H	I	J
تعداد پلاک	۱۳۲۲	۵۸۹	۱۴۰۹	۱۴۱۳	۴۰۵
مجموع	۱۰۹۱۲				

شایان ذکر است که فرایند انتخاب نمونه، با استفاده از فهرست کدهای مستخرج از نمایه‌های موجود در لایه اطلاعاتی GIS مرتبط با شهر زنجان و نیز دستور تولید عدد تصادفی^۱ انجام شده است. در ادامه، پلاک‌های منتخب در نقشه‌های هوایی گوگل‌ارث جانمایی شده و پس از انجام بازدیدهای میدانی (برای صحت‌سنجی اطلاعات) و در مواردی انجام پیش‌پردازش‌های لازم روی داده‌ها، تصاویر مکانی آن‌ها در قالب نقشه‌های اجرایی مندرج در شکل (۳) جمع‌بندی و ارائه شده است. این مجموعه داده مورد نظر در مرحله پیاده‌سازی ابتدا برای ساخت ماتریس تصمیم و در ادامه برای بررسی رفتاری مدل پیش‌بینی مد نظر، استفاده شده است.



شکل (۳): محدوده، پراکنش و محل پلاک‌های مسکونی منتخب در ده منطقه انتخابی شهر زنجان

۱.۳. ماتریس تصمیم مشخصه‌های سایت پلان

با هدف سنجش تأثیر عوامل بیرونی متأثر از اقلیم یا همان سایت پلان بر زمین مسکونی، تحلیل و بررسی نقشه طرح تفصیلی شهر زنجان برای هر منطقه طبق عرصه زمین تیپ (الگوبندی شده) انجام گردیده و جمع‌بندی آن در جدول (۳) نشان داده شده است. سه عامل تأثیرگذار در این مرحله عبارت‌اند از: ۱. مساحت زمین؛ ۲. کشیدگی زمین (نسبت بر به عمق)؛ ۳. زاویه زمین نسبت به تابش (جنوب)؛ این عوامل در نقش شاخص‌های انتخاب یا C_j ها در ماتریس تصمیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

جدول (۳): الگوبندی پلان و کدگذاری مناطق

J	I	H	G	F	E	D	C	B	A

1. RAND

روش «جذب مستقیم» نوعی سیستم گرمایشی است که از نورگذرهای سمت جنوبی بنا تشکیل شده و در فصول سرد سال، با هدایت نور و گرمای خورشید به درون بنا، جذب انرژی را برای مصالحی با جرم حرارتی بالا امکان‌پذیر می‌کند. محاسن این روش عبارت‌اند از: هزینه کم، کارایی زیاد و دید مناسب به منظر به‌علت استفاده از پنجره‌های بزرگ [۳۷].

دیوار ترومب به‌وسیله یک دیوار ذخیره‌ساز حرارتی که از تیره رنگ، عموماً رو به جنوب و از جنس مصالح بنایی مخصوص ساخته می‌شود، اجرایی می‌گردد؛ این دیوار معمولاً با شیشه‌های عمودی پوشانده می‌شود. مصالح ساختمانی که برای ساخت دیوار ترومب استفاده می‌گردد عبارت‌اند از: سنگ، آجر، بتن و فلز که با لایه‌هایی از هوا و شیشه عایق‌گذاری شده در نقش مخزن ترکیب شده‌اند تا در کنار یکدیگر، یک جمع‌کننده انرژی حرارتی خورشید را ایجاد نمایند. در واقع دیوار ترومب به‌عنوان یک محافظ دمایی بین محیط درونی خانه و نوسانات دمایی سطح جذب‌کننده انرژی گرمایی عمل نموده و از طریق عملیات ذخیره‌سازی حرارتی، به کند شدن نوسانات دمایی کمک می‌کند. بر همین مبنا علاوه‌بر تعدیل دمایی، رخداد نوسانات را نیز کند می‌نماید [۳۸].

برای اجرای ساده سیستم غیرفعال فضای خورشیدی می‌توان اقدام به نصب نورگذرهای قائم دارای شیشه‌هایی با رنگ روشن برای ساختمان نمود. فضای خورشیدی به این صورت عمل می‌کند که ابتدا حرارت زیادی را از خورشید دریافت و نگهداشت نموده و سپس این حرارت مازاد را از طریق شیشه‌ها به محیط بیرونی منتقل می‌کند. اختلاف درجه حرارت ناشی از حرارت جذب‌شده خورشیدی با محیط بیرونی، به‌وسیله ذخیره‌ساز حرارتی و شیشه‌هایی با امکان انتشار کمتر، تعدیل می‌گردد [۳۷]. طرح کلی از این سه روش در شکل (۴) نشان داده شده است.

سه مدل پیش‌بینی حاصل از عملیات داده‌کاوی (درخت تصمیم، قواعد انجمنی و قانون بیز) که در بخش ارائه روش پیشنهادی به کلیات آن‌ها اشاره گردید، بر مجموعه داده متشکل از مشخصه‌های سیستم‌های غیرفعال خورشیدی اعمال گردیده و نتایج با تعامل در پتانسیل جذب و هدررفت انرژی ساختمان منجر به استخراج واقعیت‌هایی می‌گردد که شاکله اصلی طراحی اقلیمی را می‌سازند.

پس از کمی‌سازی شاخص «زاویه تابش در وجه جنوبی نسبت به افق» و با توجه به مثبت بودن ماهیت شاخص‌ها (هم‌راستایی ذاتی شاخص با مطلوبیت هدف نهایی تصمیم‌گیری) نرمال‌سازی با روش نرم مجموع (رابطه ۱) هر سه شاخص انجام گردید.

$$r_{i,j} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, i = \{1, \dots, m\}, j = \{1, \dots, n\} \quad (1)$$

علت انجام نرمال‌سازی در این مرحله عدم یکسان بودن واحدهای اندازه‌گیری شاخص‌هاست که باعث می‌گردد نتوان آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود؛ در نتیجه یکسان‌سازی واحدهای اندازه‌گیری و بدون بعدسازی داده‌های اطلاعاتی در دستور کار قرار گرفت. نتیجه نرمال‌سازی انجام‌شده در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶): نرمال‌سازی مقادیر ماتریس تصمیم در مناطق مورد مطالعه

کد	نام منطقه (کوی)	زاویه تابش در وجه جنوبی	نسبت کشیدگی پلان	سطح پوشش وجه جنوبی (m ²)
A	گلشهر (۱)	۰/۰۵۸	۰/۱۲	۰/۱۶
B	گلشهر (۲)	۰/۱۳۵	۰/۱۲	۰/۱۶
C	امیرکبیر	۰/۰۵۸	۰/۱	۰/۱
D	کارمندان	۰/۱۳۵	۰/۱۲	۰/۰۸
E	آزادگان	۰/۱۳۵	۰/۰۹	۰/۰۴
F	الهیّه	۰/۱۷۳	۰/۱	۰/۱
G	قائم	۰/۰۵۸	۰/۰۷	۰/۰۴
H	انصاریه	۰/۰۹۶	۰/۱	۰/۱۱
I	منظریه و شهریار	۰/۱۳۵	۰/۱	۰/۱۵
J	سرجنگلداری	۰/۰۱۹	۰/۰۹	۰/۰۵

۲.۳. مدل‌های پیش‌بینی مشخصه‌های معماری بنا

در ساختمان‌هایی که از لحاظ تابشی تأثیرپذیری بهتری دارند، طراحی المان‌ها و فضاها به شکلی است که بتوان در فصول سرد سال انرژی تابشی خورشید را به شکل انرژی گرمایی جمع‌آوری و ذخیره نمود و درمقابل در فصل تابستان این گرمای تابشی را به‌وسیله ابزارهای مدیریتی همچون سایه‌بان و... را به‌نحوی مدیریت نمود که جذب انرژی کمتری داشته باشند، به این روش «طراحی اقلیمی» می‌گویند. بر خلاف یک سیستم گرمایش تابشی فعال که مشتمل بر دریافت حرارت تابشی حاصل از وسایل الکتریکی و مکانیکی است، طراحی اقلیمی مبنای کار خود را براساس نیازهای فرمی پوسته خارجی برای جذب حداکثری انرژی خورشید قرار می‌دهد. مهم‌ترین روش‌های غیرفعال خورشیدی که در مرحله اجرا ساده و کم‌هزینه باشند، عبارت‌اند از: ۱. جذب مستقیم؛ ۲. دیوار ترومب؛ ۳. فضای خورشیدی.

بتوان شاخص های مورد نظر را بر مبنای این ماتریس، وزن دهی نمود. شایان ذکر است که با توجه به موضوع پژوهش و تأثیرگذاری عوامل مورد بررسی در سرجمع انرژی مصرفی در ساختمان، همچنین مؤثر بودن آن در اخذ تصمیمات کلان شهرسازی، هر شاخصی به نسبت اهمیت خود در تصمیم گیری ها مورد توجه بوده و در رقابت با شاخص دیگری حذف نخواهد شد. بنابراین دانستن میزان اهمیت هریک از شاخص های مسئله حتی به مقدار کم نیز بسیار ضروری است. با توجه به اینکه عمل وزن دهی، محدود به اطلاعات ماتریس تصمیم (داده محور) بوده و نظرات خبرگان در آن تأثیر داده نشد، بر همین مبنا روش «آنتروپی شانون» برای استخراج اطلاعات وزنی شاخص ها از ماتریس تصمیم استفاده شده است [۳۹].

در این روش اهمیت هر شاخص، بر مبنای سنجش میزان پراکندگی داده های مربوط به ستون آن شاخص در ماتریس تصمیم محاسبه می گردد. به همین منظور برای محاسبه وزن هر شاخص ابتدا مقادیر آنتروپی و سپس میزان عدم اطمینان (درجه انحراف شاخص) به ترتیب براساس روابط (۲) و (۳) اندازه گیری گردیده و سپس وزن دهی نهایی طبق اطلاعات مندرج در جدول (۸) جمع بندی ارائه شده است.

$$E_j = \frac{-1}{\ln(m)} \left(\sum_{i=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij}) \right), i = \{1, \dots, m\}, j = \{1, \dots, n\} \quad (2)$$

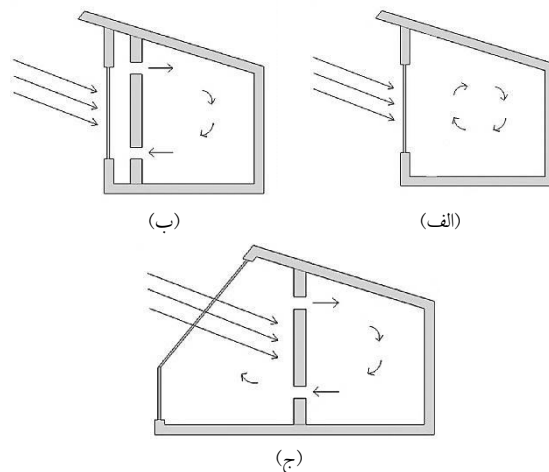
$$d_j = 1 - E_j$$

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (3)$$

جدول (۸): وزن سه شاخص تصمیم گیری منتخب			
وزن دهی به شاخص ها	کشیدگی	سطح پوشش	زاویه با جنوب
آنتروپی یا پراکندگی	۰/۹۹۵	۰/۹۵۵	۰/۹۴۶
اندازه عدم اطمینان	۰/۰۰۵	۰/۰۴۵	۰/۰۵۴
وزن شاخص	۰/۰۵	۰/۴۳	۰/۵۲

از محاسبات و نتایج حاصل از جدول (۸) مشخص است که ترتیب تأثیرگذاری شاخص های متأثر از سایت پلان یک بنای مسکونی در ده منطقه منتخب مورد مطالعه شهر زنجان، عبارت است از: ۱. شاخص زاویه با جنوب (وزن ۵۲ درصد)؛ ۲. شاخص سطح پوشش (وزن ۴۳ درصد)؛ ۳. شاخص کشیدگی (وزن ۵ درصد).

یعنی براساس رعایت معیارهای شهرسازی، ویژگی «کشیدگی» (نسبت بر به عمق زمین) به علت پیروی از استاندارد مربوطه آنتروپی کمتری داشته و از نظر بررسی میزان تأثیرگذاری در تحلیل داده ها، نسبت به دو ویژگی دیگر از اهمیت کمتری برخوردار است. درمقابل ویژگی «زاویه با جنوب» به علت داشتن آنتروپی بیشتر، تأثیر بیشتری را در نتیجه حاصل از تصمیم مورد نظر خواهد گذاشت.



شکل (۴): روش های استفاده از انرژی غیرفعال خورشیدی: الف) سیستم جذب مستقیم؛ ب) دیوار ترومپ؛ ج) فضای خورشیدی

در ادامه، فیلدهای اطلاعاتی مرتبط با معماری یک ساختمان مسکونی در کنار فیلدهای اطلاعاتی مرتبط با اجرای روش های غیرفعال خورشیدی (مبتنی بر اهداف، روش اجرا و ویژگی های منحصربه فرد هر روش) احصا گردید. با توجه به اینکه برخی متغیرها در نقش متغیرهای وابسته یا ترکیبی مورد استفاده قرار گرفتند، در مجموع با احتساب فیلدهای اطلاعاتی حاصل از تأثیر عوامل آسایشی متأثر از میزان انرژی دریافتی از خورشید و نیز تأثیر الگوی سایت پلانی بنای مسکونی، بالغ بر ۳۵۰۰ فیلد اطلاعاتی پس از انجام پیش پردازش های لازم به عنوان مجموعه داده اصلی به نرم افزار داده کاوی (رپیدمایر نسخه ۷/۱) مورد نظر تحویل گردید. اهم مشخصه های مستخرج مورد استفاده در بررسی پتانسیل جذب و هدررفت انرژی ساختمان مسکونی، طبق جدول (۷) جمع بندی و ارائه شده است.

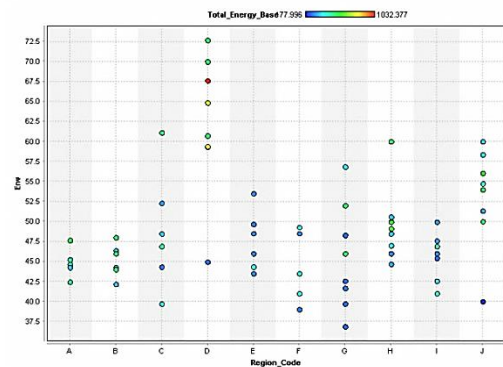
جدول (۷): اهم مشخصه های مستخرج مورد استفاده در بررسی پتانسیل جذب و هدررفت انرژی				
زاویه سایت پلان	مساحت وجه جنوبی	مساحت کنترل شده	وضعیت نورگذرها	جنس نما
زاویه با وجه جنوبی	مساحت پوسته خارجی	وضعیت زیرزمین	وضعیت درب ها	تعداد کل طبقات
عرض زیربنا	دیوارهای پیرامونی	وضعیت پیلوت	وضعیت راه پله	محل بنا در زمین
طول زیربنا	وضعیت توده	رنگ نما	عمق ایوان	حجم بنا
ارتفاع زیربنا	مساحت بام	محیط بنا	عرض ایوان	تعداد ایوان

۴. یافته ها

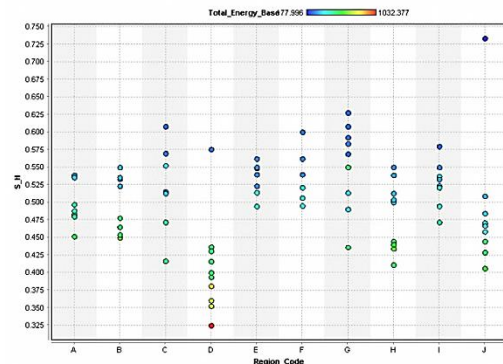
در این بخش دو تحلیل داده ای روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده مورد نظر اعمال گردیده و نتایج تولیدشده در قالب یافته های پژوهش ارائه شده است. در گام نخست پس از تشکیل ماتریس تصمیم، باید

به مساحت مفید ساختمان مسکونی یا فضای کنترل شده تعریف شده است. علاوه بر بررسی مفهوم پتانسیل جذب انرژی، موضوع بررسی پتانسیل هدررفت انرژی در ساختمان مسکونی از منظر محاسبه دو سنجه کلیدی اتلاف گرما (متأثر از نسبت سطح خارجی به محیط بنا) و انتقال حرارتی (متأثر از نسبت سطح خارجی به زیربنا) صورت پذیرفته است. در واقع این دو عامل با هدف سنجش وضعیت ساختمان از نظر بررسی پل های حرارتی در هدررفت انرژی از کف و سطوح جانبی مورد استفاده قرار گرفته اند. با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی پژوهش دستیابی به دانشی است که پیش بینی وضعیت پوسته خارجی یک بنای مسکونی را از منظر توانایی جذب حداکثری انرژی خورشید بر مبنای روش های غیرفعال خورشیدی در کنار لحاظ هدررفت انرژی قابل رخداد، برای معمار پیاده سازی و ارائه نموده و نیز اولویت بندی مکانی آن را نیز بر مبنای مختصات جغرافیایی مورد نظر با لحاظ مشخصه های سایت پلائی ارائه نماید، لذا در ادامه با لحاظ اطلاعات استخراج شده از اعمال روش پیشنهادی بر مجموعه داده مورد نظر، به بررسی رابطه پتانسیل جذب در قبال هدررفت انرژی پرداخته شده که نتایج آن در شکل (۶) ارائه گردیده است. در شکل های (۶ الف) و (۶ ب) مشخص است که در روش جذب مستقیم بیشترین میزان جذب انرژی خورشیدی اتفاق افتاده است اما یافته های پژوهش نشان دهنده وجود بنای مسکونی با حداقل جذب و در عین حال حداکثر هدررفت انرژی است که قابلیت تحلیل جزئیات طراحی وضعیت موجود را به عنوان اولویت بهسازی دارد. پراکنش بیشتر اطلاعات نسبی مندرج در این دو نمودار نشان دهنده تأثیرگذاری بیشتر زیربنا نسبت به محیط در روش جذب مستقیم انرژی است. شکل های (۶ ج) و (۶ د) به بررسی توأمان رفتار بناهای مسکونی از منظر شاخص جذب انرژی در قبال هدررفت آن در صورت اجرای روش فضای گلخانه ای پرداخته اند. با وجود کاهش محسوس میزان حداکثر محتمل برای جذب انرژی، یافته های پژوهش به توزیع بهتر (متوسط جذب انرژی بهتر) در بناهای مسکونی در این روش غیرفعال خورشیدی با دامنه نسبتاً ثابتی از هدررفت انرژی (اتلاف گرما) تأکید دارد. البته این موضوع در بررسی انتقال حرارتی به قدری متفاوت بوده و دو معیار جذب و هدررفت انرژی در این مورد از نوعی رابطه مستقیم پیروی می کنند؛ بدین معنی که با افزایش امکان جذب انرژی خورشیدی، هدررفت انرژی نیز در مجموع روندی افزایشی داشته است. در مجموع در روش بهسازی اقلیمی ساختمان مسکونی با رویکرد ایجاد فضای گلخانه ای زیربنا نسبت به محیط تأثیر بیشتری در هدررفت انرژی داشته که باید از سوی طراح مورد توجه قرار گیرد.

در گام دوم و پس از احصای مشخصه های قابل کاوش در مجموعه داده مورد نظر مطابق جدول (۷) و نیز ناحیه بندی صورت گرفته در داده ها با هدف استفاده از داده های آموزشی، به تحلیل رفتار متقابل داده ها از منظر وضعیت انرژی قابل جذب ساختمان ها بر مبنای مشخصه مورد نظر در منطقه مربوط پرداخته شده است که دو نمونه از نتایج قابل تأمل آن (خروجی داده کاوی با نرم افزار رپید ماینر)، در قالب نمودارهای شکل (۵) نشان داده شده است. در واقع بر این مبنا به تفکیک هریک از شهرک های منتخب رفتار مشخصه طراحی مورد نظر با لحاظ توانایی تأثیرگذاری در تأمین انرژی خورشیدی استخراج و ارائه شده است.



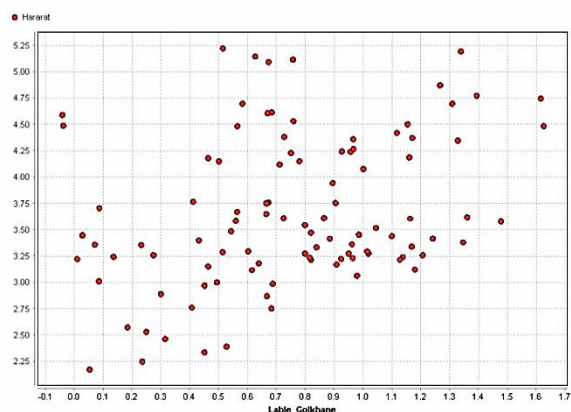
سنجش رفتار مشخصه «محیط بنا» در مناطق A تا J



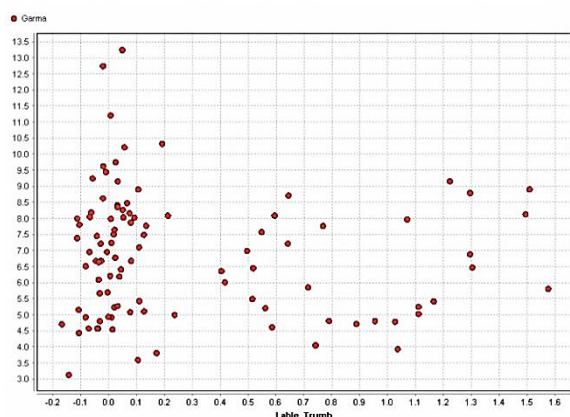
سنجش رفتار مشخصه «نسبت مساحت به حجم بنا» در مناطق A تا J

شکل (۵): نمونه رفتار مشخصه ها (محور عمودی) نسبت به وضعیت انرژی قابل جذب ساختمان ها در ده منطقه مورد مطالعه (محور افقی)

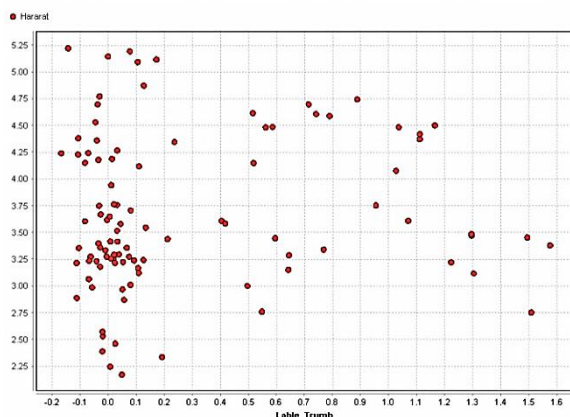
تا این مرحله امکان سنجی لازم برای جذب انرژی خورشید توسط پوسته خارجی ساختمان های مسکونی منتخب در مناطق مختلف شهر مورد مطالعه با لحاظ مشخصه های معماری تعیین شده صورت پذیرفت. در ادامه بر مبنای موضوعات مطرح در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، مفهوم برچسب انرژی اقلیمی به عنوان معیار سنجش و تصمیم گیری برای انجام بهسازی اقلیمی یک ساختمان مسکونی ارائه شده است. شایان ذکر است که برچسب انرژی اقلیمی به صورت نسبت مجموع انرژی دریافت شده از خورشید



(د) جذب انرژی خورشیدی در روش فضای گلخانه ای در برابر انتقال حرارتی



(ه) جذب انرژی خورشیدی در روش دیوار ترومب در برابر اتلاف گرما

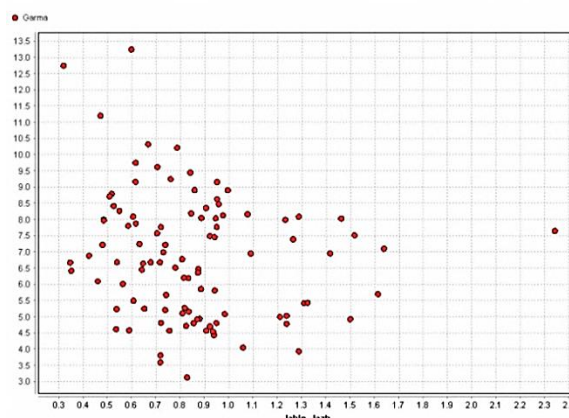


(و) جذب انرژی خورشیدی در روش دیوار ترومب در برابر انتقال حرارتی

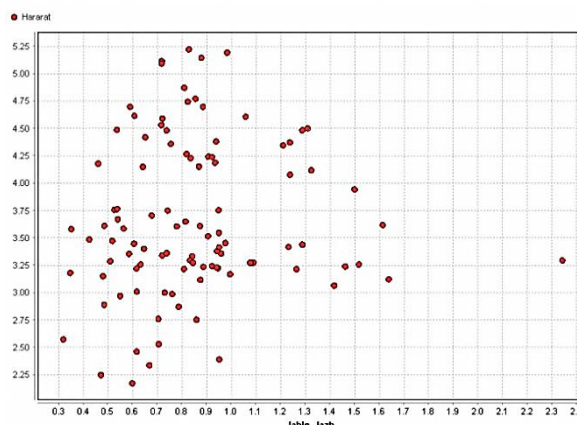
شکل (۶): مقایسه پتانسیل جذب انرژی خورشیدی در روش های غیرفعال خورشیدی (محور افقی) نسبت به میزان هدررفت انرژی (محور عمودی)

پس از بررسی تحلیلی وضعیت دو مشخصه اتلاف گرما و انتقال حرارتی در هریک از روش های اجرایی مورد استفاده در مدل سازی روش غیرفعال خورشیدی، در ادامه مقایسه وضعیت این دو مشخصه در مجموعه داده مورد بررسی، به تفکیک هریک از مناطق ده گانه مسکونی واقع در شهر زنجان (اقلیم سرد) در قالب شکل (۷) ارائه شده است.

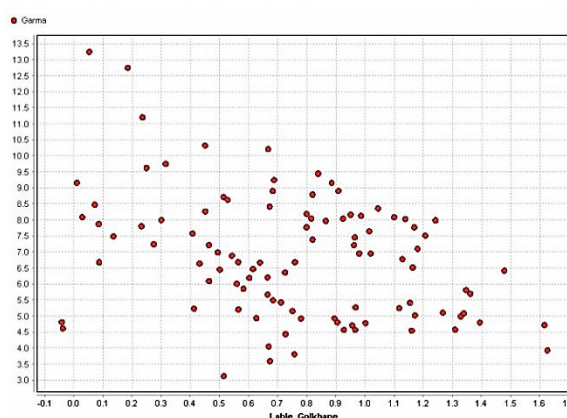
شکل های (۶) و (۷) به بررسی رفتار جذب و هدررفت انرژی در روش اجرای دیوار ترومب اشاره دارند که در حالت کلی سیمای ترسیم شده نشان دهنده رفتار نسبتاً متناسبی از افزایش هدررفت در قبال افزایش جذب انرژی در سنجه اتلاف گرمایی دارد؛ همچنین مورد اتلاف حرارتی پتانسیل جذب انرژی با وجود رخداد میزان قابل توجهی از هدررفت انرژی، افزایش چندانی ایجاد ننموده است.



(الف) جذب انرژی خورشیدی در روش جذب مستقیم در برابر اتلاف گرما



(ب) جذب انرژی خورشیدی در روش جذب مستقیم در برابر انتقال حرارتی

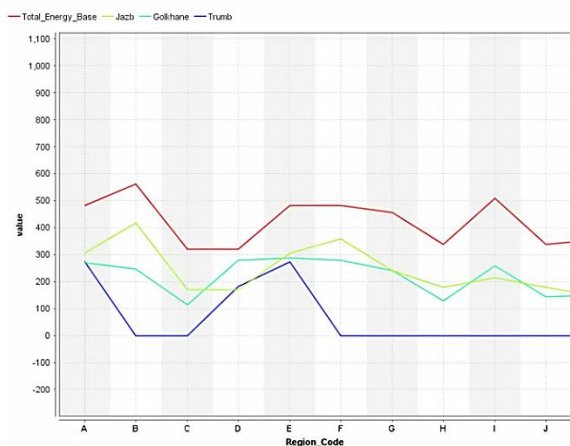


(ج) جذب انرژی خورشیدی در روش فضای گلخانه ای در برابر اتلاف گرما

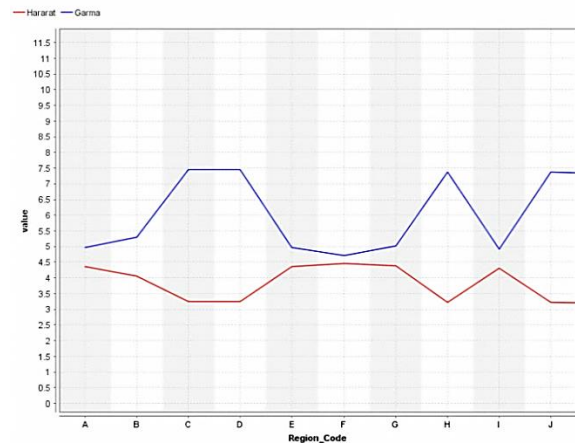
درخت تصمیم توسط نرم افزار رپیدماینر و به صورت تأثیر هم‌زمان معیارهای مبتنی بر پوسته خارجی و محاسبات انرژی در قالب شکل (۹) نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل مشخص است، عمق درخت متأثر از میزان تبادل اطلاعات میان ویژگی و معیار بوده و در ساده‌ترین حالت در درخت تصمیم با حرکت از ریشه به برگ یک قانون تولید می‌گردد.

جدول (۱۰): نتایج برچسب انرژی اقلیمی برای مجموعه داده

منطقه	A	B	C	D	E	ساختمان
1	CELA	CELB	CELC	CELC	CELA	
2	CELB	CELC	CELB	CELC	CELD	
3	CELB	CELC	CELC	CELC	CELC	
4	CELB	CELC	CELC	CELC	CELC	
5	CELA	CELB	CELC	CELD	CELD	
6	CELC	CELA	CELC	CELD	CELC	
7	CELB	CELB	CELB	CELD	CELB	
8	CELB	CELB	CELC	CELC	CELB	
9	CELC	CELC	CELD	CELD	CELC	
10	CELB	CELB	CELC	CELD	CELB	
منطقه	F	G	H	I	J	ساختمان
1	CELC	CELA	CELD	CELC	CELA	
2	CELC	CELA	CELC	CELC	CELC	
3	CELC	CELC	CELC	CELC	CELC	
4	CELB	CELB	CELC	CELC	CELC	
5	CELC	CELC	CELC	CELA	CELB	
6	CELB	CELC	CELC	CELC	CELC	
7	CELA	CELC	CELC	CELB	CELC	
8	CELC	CELC	CELC	CELA	CELD	
9	CELC	CELC	CELC	CELB	CELC	
10	CELC	CELC	CELC	CELC	CELC	



شکل (۸): مقایسه پتانسیل جذب انرژی در ساختمان‌ها برای اجرای نمودن روش‌های غیرفعال خورشیدی در مناطق ده‌گانه



شکل (۷): مقایسه رفتار مشخصه‌های اتلاف گرما و انتقال حرارتی (محور عمودی) در ده منطقه مورد مطالعه (محور افقی)

در تحلیل دو نمودار مطرح شده در شکل (۷)، رفتار دو مشخصه مرتبط با هدررفت انرژی که در برخی مناطق هماهنگ و در برخی مناطق متفاوت بوده، نشان داده شده است. دسته‌بندی این موضوع در قالب جدول (۹) ارائه شده که مسلماً در تعیین برچسب انرژی اقلیمی ساختمان‌ها در توسعه پایدار شهری مبتنی بر حداکثر استفاده از انرژی پاک خورشیدی و نیز ارائه توصیه‌های اجرایی مرتبط با عملیات عایق‌کاری یا نوع مصالح و ملزومات ساخت بسیار مفید خواهد بود.

جدول (۹): رفتار مشخصه‌های هدررفت انرژی در مناطق مسکونی

رفتار دو مشخصه اتلاف گرما و انتقال حرارتی						مناطق مسکونی
A	B	E	F	G	I	هماهنگ
C	D	H	J	-	-	متفاوت

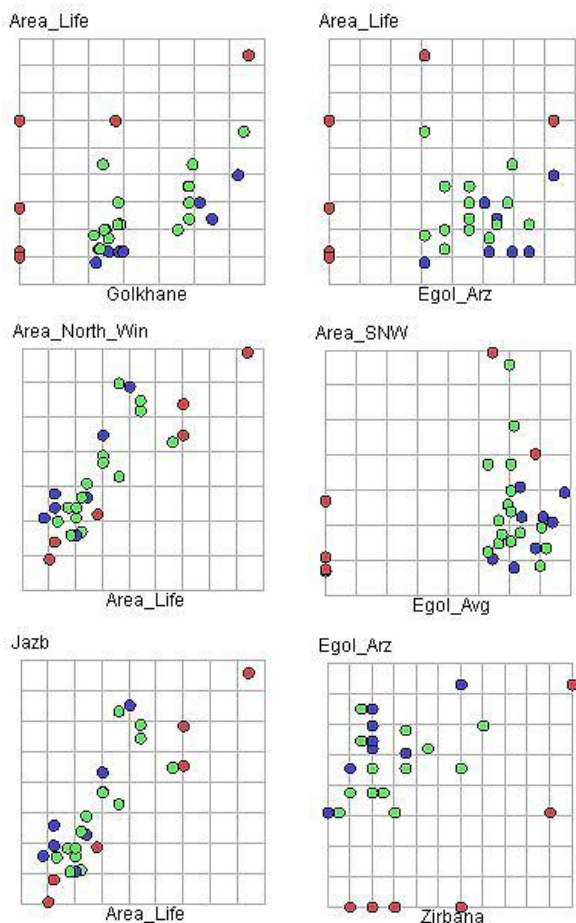
بر مبنای مفهوم ارائه شده در پژوهش با عنوان «برچسب انرژی اقلیمی» ساختمان (با عنوان اختصاری CEL) و نیز اطلاعات انرژی دریافتی از خورشید که در بررسی اقلیمی-آسایشی مورد نظر با کمک نرم‌افزار کلایمت کانستانت در شهر زنجان، استخراج گردیده و به علت تأثیر انرژی جذب شده توسط پوسته خارجی ساختمان بر مبنای سه روش استفاده از انرژی خورشیدی، یعنی جذب مستقیم، دیوار ترومب و فضای گلخانه‌ای، موضوع برای مجموعه داده مورد نظر محاسبه (جدول ۱۰) و در مقام مقایسه و برای درک بهتر در قالب شکل (۸) برای ده منطقه مسکونی اقلیم سرد در شهر زنجان نشان داده شده است.

علاوه بر تحلیل‌های داده‌ای ارائه شده مدل‌سازی مجموعه داده با بهره‌مندی از مدل‌های پیش‌بینی منجر به استخراج روابطی می‌گردد که می‌توانند در تولید قوانین قابل استفاده در سیستم خبره مرتبط مورد استفاده قرار گیرند. نمایی از این مدل‌سازی مجموعه داده با مدل

جدول (۱۱): ضرایب احتمالی حاصل از مدل‌سازی با روش نظریهٔ بیز

CELD	CELC	CELB	CELA
12	53	25	10

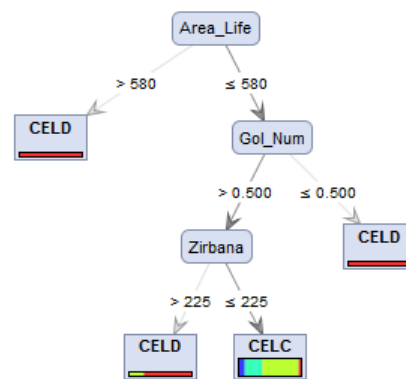
شایان ذکر است که برای تجزیه و تحلیل بهتر موضوع و در مقام جمع‌بندی، امکان نمایش و استخراج الگوی بهتری از روابط بین مشخصه‌های مختلف احصاشده از طریق رسم نمودارهای پراکندگی و برجسته‌نمایی خوشه‌های متمایز قابل تشخیص با اعمال مفهوم برجسب انرژی اقلیمی ساختمان نیز وجود دارد که کلیت آن در قالب شکل (۱۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که در این اشکال مشخص است، به‌علت توان تفکیکی مناسب به‌وجودآمده، در صورت استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌یابی و محاسبهٔ فواصل خوشه‌ها می‌توان به الگوهای مشخصی برای طراحی متقابل مشخصه‌ها نیز دست یافت.



شکل (۱۱): نمونه توان نمودارهای پراکندگی برای تفکیک مجموعه داده بر مبنای مشخصه‌های احصاشده

۵. ارزیابی و اعتبارسنجی

انتخاب محل بنای یک ساختمان، تعیین‌کنندهٔ کلیت شرایط محیطی بود و در کنار آن پوشش بیرونی ساختمان به‌عنوان یک پوسته



شکل (۹): مدل‌سازی مجموعه داده با مدل درخت تصمیم توسط نرم‌افزار رپیدماینر با معیارهای مبتنی بر پوستهٔ خارجی و محاسبات انرژی با هدف تولید قوانین طراحی اقلیمی

استخراج نتایج در روش مدل‌سازی قوانین انجمنی نسبت به درخت تصمیم منعطف‌تر بوده و با مجموعه دادهٔ کوچک‌تر نیز توانایی تولید قوانین را دارد. در واقع یک قانون، یک رکورد اطلاعاتی را پوشش می‌دهد به شرط اینکه تمام شرایط مربوط به بخش مقدم آن قانون دربارهٔ آن رکورد خاص درست باشد؛ نمونه‌ای از قواعد حاصل از مدل‌سازی مجموعه داده با مدل قوانین انجمنی مستخرج از نرم‌افزار رپیدماینر در قالب کد مندرج در شکل (۱۰) نشان داده شده است. در این روش تولید قانون نیز ترکیب رفتار ویژگی و معیارها در هر دو بعد مشخصه‌های پوستهٔ خارجی و فاکتورهای جذب و هدررفت انرژی به کار می‌روند.

Rule Induction:

```

if Lable_Golkhane > 0.500 and Jazb > 128.500
and Outer_Shell_Area <= 458 then CELB
if Area_SNW <= 33.500 and Lable_Base <= 1.500
and Gol_Num > 0.500 then CELC
if Trumb > 68 and Vgol <= 31 then CELA
if Lable_Golkhane <= 0.500 then CELD
else CELB
if Lable_Golkhane <= 0.500 and Egol_Tul > 131
and Trumb <= 68 then CELC
if Egol_Tul > 131 and Trumb <= 68 and Jazb >
128.500 then CELB
if Lable_Trumb <= 0.500 and Egol_Arz <=
138.500 and Area_Life > 140 and P_Sorth <= 45
and Garma <= 7.500 then CELC
if Egol_Tul > 131 and Lable_Golkhane <= 0.500
and Golkhane <= 132 then CELB
if Trumb <= 68 and Lable_Golkhane <= 0.500 and
Energy_Win > 5.500 then CELD
    
```

شکل (۱۰): تولید قوانین طراحی اقلیمی با مدل قوانین انجمنی توسط نرم‌افزار رپیدماینر با معیارهای مبتنی بر پوستهٔ خارجی و محاسبات انرژی

همان‌گونه که در بخش (۳.۳) اشاره گردید، ضرایب احتمالی بیز پس از تحلیل مجموعه داده ضرایب احتمالی برای دسته‌های برجسب اقلیمی انرژی را تولید می‌کنند که نمونه‌ای از ضرایب تولیدشده بدین روش توسط نرم‌افزار رپیدماینر در قالب جدول (۱۱) ارائه شده است.

آموزشی در مرحله یادگیری و آزمایشی در مرحله ارزیابی را دارند. در ارزیابی مورد نظر از ماتریس درهم‌ریختگی با چهار معیار خاص آن طبق جدول (۱۲) برای آزمون میزان درستی پیش‌بینی‌ها با واقعیت استفاده شده است.

جدول (۱۲): ماتریس درهم‌ریختگی برای مسئله دسته‌بندی با دو دسته

	دسته +	دسته +
دسته -	TN	FN
دسته -	FN	TP

در ادامه از معیار «دقت»^۱ به عنوان مهم‌ترین معیار برای تعیین کارایی تکنیک دسته‌بندی استفاده شده است. این معیار، دقت کل یک دسته‌بندی را محاسبه نموده و بیانگر این است که دسته‌بندی ساخته‌شده چه میزان از کل مجموعه رکوردهای آزمایشی را به درستی دسته‌بندی کرده است. در واقع طبق رابطه (۴)، دو مقدار TN و TP که در صورت کسر اندازه‌گیری معیار «دقت» قرار می‌گیرند، باید بیشینه گردند تا حداکثر شباهت در نتایج با حالت واقعی ایجاد گردد.

$$Accuracy = \frac{TN + TP}{all} \quad (4)$$

شایان ذکر است این معیار به تنهایی برای ارزیابی کیفیت الگوریتم مورد نظر استفاده نمی‌گردد، زیرا نمی‌تواند تفاوتی بین خطای FN و FP قائل گردد و تمامی خطاها را یکسان در نظر می‌گیرد؛ لذا از معیارهای دیگری تحت عنوان معیار «پوشش یا حساسیت»^۲ (دقت نسبت به کل رکوردهای با برچسب X) و معیار «صحت»^۳ (دقت نسبت به کل مواردی که برچسب X برای رکورد مورد بررسی توسط دسته‌بندی پیشنهادشده) نیز استفاده شده است [۴۰]. با توجه به اینکه یکی از معمول‌ترین نسبت‌های تفکیک داده‌های آموزشی و آزمایشی نسبت ۷۰ (یادگیری) به ۳۰ (تست) می‌باشد، در فرایند جداسازی مجموعه داده از همین نسبت و به صورت انتخاب کلاس‌بندی‌شده/تصادفی (انتخاب متعادل) استفاده شده است. اهمیت این موضوع به علت تأثیرگذاری عملکرد مدل با تغییر مجموعه داده ورودی بیشتر احساس می‌گردد. در مقایسه با سایر روش‌های ارزیابی، روش Cross-Validation با توجه به ویژگی‌های مثبتی که نسبت به سایر روش‌ها دارد، مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌گونه که اشاره شد، اصلی‌ترین ویژگی این روش تأکید بر تغییر داده‌های آموزشی و آزمایشی با تناوب k است. در این روش ارزیابی دقت نهایی برابر با میانگین k دقت اندازه‌گیری می‌گردد. از عملگر X-Validation همچنین معیارهای «دقت»، «حساسیت» و «صحت» در مرحله ارزیابی

واکنش‌پذیر انرژی، نور، گازها و بخارآب را بین دو محدوده، یعنی ساختمان و محیط پیرامونش مبادله می‌کند. این تبادل، تعیین‌کننده اثر شرایط محیطی بر ساکنان ساختمان است. گفتنی است که اگر ساختمانی بدون در نظر گرفتن عوامل محیطی طراحی گردد، به نحوی که پوسته ساختمان و تأسیسات مستقر در آن مستقل و بدون هرگونه ارتباط با عوامل دیگر طراحی شده باشند، مصرف انرژی در ساختمان به حداکثر مقدار ممکن خود خواهد رسید، با ارزیابی روش پیشنهادی و مرحله‌ای مدیریت دانش ارائه‌شده، ضمن اعتبارسنجی مورد نظر نسبت به اولویت‌های بهره‌مندی از سیستم‌های غیرفعال خورشیدی به عنوان راه‌حل مقابله با این حداکثرسازی پتانسیل تأمین انرژی پوسته مورد اشاره پرداخته شده است.

پژوهش به ارزیابی و مقایسه نقش سیستم‌های غیرفعال خورشیدی از جمله جذب مستقیم، دیوار ترومب و فضای گلخانه‌ای در مسیر طراحی ساختمان‌های صفر انرژی به عنوان یک متغیر مستقل در کنار فراهم‌سازی آسایش کاربران و بهینه‌سازی مصرف انرژی به عنوان متغیرهای وابسته پرداخته است. در واقع مدل‌سازی فضای معماری از دیدگاه بهسازی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی شهر زنجان با هدف استفاده حداکثری از انرژی خورشیدی در پردازش مجموعه داده مورد استفاده با اوزان تأثیرگذاری متفاوت انجام شده است. بهره‌مندی از یک مدل طراحی (بهسازی) دو مرحله‌ای مناسب و کارآمد بر سایر جنبه‌های معماری، آسایشی، محیطی، اقلیمی و اقتصادی نیز تأثیرگذار بوده و گامی به سمت رسیدن به یک معماری بهینه در توسعه پایدار شهری خواهد بود.

دانشی که در گام یادگیری تولید می‌شود، در گام ارزیابی با هدف ارزش‌گذاری مورد تحلیل قرار گرفته و بر مبنای تحلیل انجام‌شده کارایی الگوریتم مورد استفاده در مرحله یادگیری تعیین می‌گردد. پس دانش مرتبط با طراحی پوسته خارجی بنای مسکونی مرتبط با وضعیت آسایشی و اقلیمی مورد نظر با لحاظ بهره‌مندی حداکثری از انرژی خورشید با هدف تعیین بهترین تصمیم با روش‌های ارزیابی الگوریتم‌های دسته‌بندی (روش داده‌کاوی با ناظر) مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. به علت کار با حجم محدودی از داده‌ها، برای بررسی عملکرد مدل، از اعتبارسنجی k-fold استفاده شده است. در این روش، نرم‌افزار داده‌کاوی در فاز شبیه‌سازی داده‌ها را به زیرمجموعه‌های k مقدار، با اندازه مساوی تقسیم گردیده و مدل k بار به کار گرفته شد؛ هر بار یکی از زیرمجموعه‌های آموزش انتخاب و از مجموعه آن‌ها برای تست و ارزیابی استفاده گردید. گفتنی است که معیارهای مورد بررسی قابلیت استفاده برای هر دو مجموعه داده

1. Accuracy
2. Recall(x)
3. Precision(x)

«امتیازدهی» یا «اولویت بندی» مورد نیاز را در فرایند بهسازی اقلیمی ساختمان های مسکونی اقلیم مورد نظر خواهد داشت.

جدول (۱۴): نتایج معیار F1 Score برای مدل های پیش بینی مورد استفاده			
برچسب انرژی اقلیمی	درخت تصمیم	قواعد انجمنی	قانون بیز
CELA	۵۷/۱۴	۱۰۰	۶۰/۶۱
CELB	۸۲/۳۵	۹۶	۵۳/۵۷
CELC	۸۷/۷۲	۹۸/۱۱	۴۱/۱۸
CELD	۷۶/۱۹	۱۰۰	۵۵/۸۱

همان گونه که در بخش های قبل اشاره شد، مقرر است که مدل پیش بینی در داده های حجم زیاد و دارای وابستگی جست و جو کرده و الگوهای موجود را به منظور پیش بینی رفتار داده ها با لحاظ وابستگی های موجود در ماهیت مشخصه ها در موقعیت های جدید کشف نماید. برای سنجش درستی عملکرد مدل پیش بینی کننده از جداسازی داده هایی که از نتایج آن ها آگاهی وجود دارد، با هدف ارزیابی عملکرد مدل ساخته شده در آینده استفاده می گردد.

۶. نتیجه گیری

تحلیل دومرحله ای پیشنهادی با هدف سنجش میزان تأثیرگذاری عوامل نشئت گرفته از وضعیت محیطی و معماری یک ساختمان مسکونی در مدیریت انرژی مورد نیاز آن، به ویژه در شرایط بحرانی حال حاضر از منظر ناترازی های انرژی موجود در مواقع اوج مصرف به عنوان نمونه اقلیم سرد در فصل زمستان ارائه شده است. نتایج حاصل می تواند افق روشنی برای تصمیم گیری مدیران یا کارفرمایان درخصوص اولویت دهی به شاخص های تأثیرگذار در میزان بهره مندی از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی مورد نیاز ساختمان های مسکونی یک منطقه با اقلیم معین ترسیم نمایند. در واقع استخراج و بررسی مشخصه های ثابت ناشی از موقعیت قرارگیری بنا در بافت شهری (الگوی پلان زمین مسکونی) در کنار مشخصه های متغیر نشئت گرفته از معماری ساختمان (پوسته خارجی ساختمان) می تواند علاوه بر ایفای نقش در اتخاذ تصمیمات مدیریتی همچون ارائه (۱) تسهیلات بازسازی و بهسازی اقلیمی بنا و (۲) قواعد ابلاغی ساخت و ساز مناطق شهری، در دیدگاه کلان نیز تأثیرگذاری های مهمی در بحث مدیریت انرژی در توسعه پایدار شهری داشته باشد. بر این مبنا سازمان های متولی همچون نظام مهندسی ساختمان و شهرداری می توانند با تعریف و تبیین خروجی سیستم مدیریت دانش پیشنهادی، الگوهای بهینه طراحی اقلیمی متناسب با قواعد شهرسازی و مناطق شهری را در سطح استانداردهای بین المللی ارائه نمایند. همچنین در مدیریت ناترازی های انرژی موجود، ارائه بهترین روش سیستم

استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی در این روش در قالب ماتریس درهم ریختگی برای مدل های پیش بینی مورد استفاده یعنی درخت تصمیم، قواعد انجمنی و قانون بیز توسط نرم افزار رپید ماینر استخراج و در قالب جدول (۱۳) ارائه شده است. شایان ذکر است نتایج حاصل در بررسی نموداری ROC نیز ضریب اطمینان بالای ۸۵ درصد را تأیید می کند.

همان گونه که در نتایج حاصل از ماتریس درهم ریختگی مشخص است، دو مدل پیش بینی درخت تصمیم و قواعد انجمنی نسبت به مدل پیش بینی قانون بیز دارای دقت بیشتری هستند. البته با توجه به نکات اشاره شده مشخص است که در صورت بررسی معیارهای تکمیلی یعنی صحت و پوشش (حساسیت) مدل پیش بینی قانون بیز نیز از شرایط مساعد عملکردی برخوردار است.

accuracy: 89%					
	true CELA	True CELB	True CELC	true CELD	class precision
pred CELA	10	0	1	0	90.91%
pred CELB	0	15	0	0	100%
pred CELC	0	10	52	0	83.87%
pred CELD	0	0	0	12	100%
class recall	100%	60%	98.11%	100%	
(الف)					
accuracy: 98%					
	true CELA	True CELB	True CELC	true CELD	class precision
pred CELA	10	0	0	0	100%
pred CELB	0	24	1	0	96%
pred CELC	0	1	52	0	98.11%
pred CELD	0	0	0	12	100%
class recall	100%	96%	98.11%	100%	
(ب)					
accuracy: 68.57%					
	true CELA	True CELB	True CELC	true CELD	class precision
pred CELA	10	4	2	0	62.5%
pred CELB	0	13	8	0	61.90%
pred CELC	0	0	18	0	100%
pred CELD	0	0	8	6	42.85%
class recall	100%	76.47%	51.35%	100%	
(ج)					

جدول (۱۳): نتایج معیارهای ماتریس درهم ریختگی در ارزیابی مدل های پیش بینی الف) درخت تصمیم، ب) قواعد انجمنی، ج) قانون بیز

با توجه به اینکه مقایسه نتایج و نیز بررسی وضعیت عملکردی مدل ها از منظر سه معیار تشریح شده از پیچیدگی برخوردار است، از نوعی معیار ترکیبی که بتواند جوانب کلی معیارهای مذکور را توأمان در زمان تغییرات محسوس در نظر بگیرد، تحت عنوان F1 Score طبق رابطه (۵) استفاده شده است.

$$F1\ Score = \frac{2 \times Precision(x) \times Recall(x)}{Precision(x) + Recall(x)} \quad (5)$$

نتایج محاسبه شده این معیار برای سه مدل و برچسب گذاری های انرژی اقلیمی مرتبط طبق جدول (۱۴) ارائه شده است. شایان ذکر است که نتایج حاصل از جدول مذکور قابلیت استفاده به عنوان

عملیات اجرایی از جمله عایق‌کاری‌ها، انتخاب مصالح و... از آن حاصل گردد.

تعارض منافع

نویسندگان تعهد می‌کنند که هیچ تعارض منافی در این مقاله وجود نداشته است.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از تمام کسانی که در پیشبرد این کار تحقیقاتی همکاری نموده‌اند، به‌ویژه از هم‌فکری اعضای هیئت تحریریه مجله علمی مهندسی و مدیریت انرژی کمال سپاسگزاری را دارند.

غیرفعال خورشیدی برای بهسازی اقلیمی (بیشترین بهره‌وری) به ساختمان‌ها در بلندمدت می‌تواند مؤثر و مفید باشند؛ به‌نحوی که بتوان امید دستیابی به ساختمان‌های صفر انرژی (خودتأمین کامل انرژی) را با امکان استفاده حداکثری از انرژی پاک خورشید از طریق اجرای روش‌های غیرفعال خورشیدی، با وجود تمام موانع موجود زنده نگه داشت. ایجاد سیستم خبره «دستیار معمار» برای کمک به طراحی ساختمان‌های سازگار با اقلیم به‌عنوان موضوع پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد به‌نحوی که اوزان و قواعد استخراجی حاصل از مدل‌های پیش‌بینی به‌عنوان قوانین پایگاه دانش، مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت مواردی مانند توصیه‌های طراحی، تعیین نوع و میزان

مراجع

- [1] Mosavi, M., Karimian, H., "Evaluating the policy mix of renewable energy development in iran, journal of science & technology policy", Vol. 15, No. 2, pp. 55-74, 2022, <https://doi.org/10.22034/jstp.2022.13942>.
- [2] Mosavi, M., Karimian, H., "Evaluation of renewable energy development policy mixes in Iran", Journal of Science & Technology Policy, Vol. 2, No. 1, 2022, <https://doi.org/10.22034/jstp.2022.11064.1514>.
- [3] Pirmia, M.K., "Iranian architectural stylistics", published by Gholamhossein Memarian, 2012.
- [4] Al-Widyan, M., Al-Oqla, F., "Selecting the most appropriate corrective actions for energy saving in existing buildings a/c in hot arid regions", Building Simulation, Vol. 7, No. 1, pp. 537-545, 2014, <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0170-3>.
- [5] Zarei, M., & Khademi zare, H., "Energy consumption basket optimization and residential buildings clustering by fuzzy nn improvement by ahp architecture and weights", Public management researches, Vol. 6, No. 19, pp. 129-152, <https://doi.org/10.22111/jmr.2013.1262>, 2014.
- [6] Kamyabi, S., "The use of thermal comfort indices in sustainable housing design", Strategic Center for Energy and Sustainable Development, Vol. 6, No. 2, pp. 21-29, 2015.
- [7] Delfanian, H.R., Khakzand, M., Kamyabi, S., "Identifying the relationship between vernacular architecture & climate through studying thermal comfort indicators in nowshahr city", Architecture and Urban Planning of Armanshahr, Vol. 11, No. 25, pp. 69-79, 2017.
- [8] Naseri, A., Mehregan, A., "An investigation into the effects of physical properties of residential buildings on the amount of energy consumption (A case study of khoramaabad city)", Semiannual Journal of Iranian Architecture and Urbanism (JIAU), Vol. 8, No. 2, pp. 59-73, 2018, <https://doi.org/10.30475/isau.2018.62065>.
- [9] Koebel, M., Wernery J., Malfait, W., "Energy in buildings policy, materials and solutions", MRS Energy & Sustainability, Vol. 4, pp. 4-12, 2017, <https://doi.org/10.1557/mre.2017.14>.
- [10] Hashemi, F., Heydari, S., "Optimization of energy consumption in cold climate residential buildings - case study (Ardabil city)", Saffe, Vol. 22, No. 1, pp. 75-86, 2019.
- [11] Blume, S., Herrmann, C., Thiede, S., "Increasing resource efficiency of manufacturing systems using a knowledge-based system", Procedia CIRP, Vol. 69, pp. 236-241, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.126>.
- [12] Jahanbakhsh, H., Ghafarzadeh, A., "Investigating the relationship and the amount of solar radiation effect on the building body in determining the building orientation with the aim of reducing energy consumption", Iranian Journal of Energy, Vol. 20, No. 2, pp. 85-101, 2017.
- [13] Wu, D., Ma, H., Mao, J., Ma, K., Zheng, H., Bo, Z., "A unified model for diagnosing energy usage abnormalities in regional integrated energy service systems", Global Energy Interconnection, Vol. 4, No. 1, pp. 361-367, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.gloei.2019.11.009>.
- [14] Diouf, G., Diallo, O., Mamadou, H., Moussa, P., Gaye, S., "Improving the thermal comfort of a building by adding a layer of straw over the high floor", Journal of Building Construction and Planning Research, Vol. 8, pp. 193-202, 2020, <https://doi.org/10.4236/jbcpr.2020.83012>.
- [15] Ding, X., "A brief analysis of energy conservation ways by building materials for ecological architecture", Journal of power and energy engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 13-22, 2020, <https://doi.org/10.4236/jpee.2020.812002>.
- [16] Allahyari, F., Behbahaninia, A., Rahami, H., Farahani, M., "Optimizing energy consumption in the building sector using neural networks and PSO algorithms (Case study: Bandar Abbas city)", Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 10, No. 13, pp. 1-17, 2020.
- [17] Asghari, A., Maleki, A., Ebrahimi, H., Satari, H., "Investigating the role of passive solar systems in urban zero-energy buildings for comfort and reducing energy consumption (Case study: Valiasr in Tabriz)", Scientific and Research Quarterly Journal of New Approaches in Human Geography, Vol. 13, No. 2, pp. 752-771, 2021.
- [18] Scheller, F., Wiese, F., Weinand, J. M., Dominkovi, D. F., McKenna, R., "An expert survey to assess the current status and future challenges of energy system analysis", Smart Energy, Vol. 4, pp. 57-100, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100057>.
- [19] Choi, S. Y., & Kim, S. H., "Knowledge acquisition and representation for high-performance building design: a review for defining requirements for developing a design expert system", Sustainability, Vol. 3, pp. 40-46, 2021, <https://doi.org/10.3390/su13094640>.
- [20] Iqbal, M., Ma, J., Ahmad, N., Hussain, K., Waqas, M., Liang, Y., "Sustainable construction through energy management practices: an integrated hierarchal framework of drivers in the construction sector",

- Environmental Science and Pollution Research, Vol. 29, pp. 108–127, 2021, <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21928-x>.
- [21] Farokhzad, M., Roshan, G., "Proposing of bioclimatic atlas in Iran to achieve climate responsive architectural strategies", Journal of name shahrsazi & memari, Vol. 14, No. 34, pp. 45-69, 2021.
- [22] Malliaroudaki, M. I., Watson, J. N., Ferrari, R., Nchari, L. N., Gomes, R. L., "Energy management for a net zero dairy supply chain under climate change", Trends in Food Science & Technology, Vol. 126, pp. 153–167, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.015>.
- [23] Babaa, S., Al Rawahi, A. A., Subramanian, A., Alshibli, A. H., Khan, S., Khzouz, M., Ahmed, M., Ashrafi, I., "Smart building design to improve the energy consumption at an office room", Smart Grid and Renewable Energy, Vol. 13, pp. 209-221, 2022, <https://doi.org/10.4236/sgre.2022.139013>.
- [24] Javadi noude, M. Sarabi, M., "Typology of physical components adapted to cold climates in vernacular architecture (Case Study: Ardabil houses)", Quarterly Journal of Human Geography, Vol. 14, No. 4, pp. 141-168, 2023.
- [25] Abdolkhaleghi, P., Sabernezhad, P., Fayaz, Zh., "Investigation and parametric analysis of solar greenhouse heating performance in cold climate (case study: Sanandaj city)", Hoviate shahr, Vol. 16, No. 51, pp. 87-102, 2022.
- [26] Moghadasi, M., Hiedari, S., Shahcheraghi, A., "Analysis and comparison the thermal performance of solar greenhouse (simulated model and portotypic model) in the cold and mountainous climate of the country (case study: iran, solar greenhouse in kermanshah city)", Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning, Vol. 27, No. 1, pp. 5-18, 2021, <https://doi.org/10.22059/jfaup.2022.250112.671934>.
- [27] Meuer, J., Lamaro, F., Vetterli, N., "Evaluation of advanced control strategies for building energy systems", Energy & Buildings, Vol. 280, No. 1, pp. 11-27, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112709>.
- [28] Cardenas-Rangel, J., Osma-Pinto, G., Jaramillo-Ibarra, J., "Energy characterization of residential and office buildings in atropical location", Heliyon, Vol. 9, pp. 48-60, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16048>.
- [29] Pruvost, H., Wilde, A., Enge-Rosenblatt, O., "Ontology-based expert system for automated monitoring of building energy systems", ASCE, Vol. 37, No. 1, pp. 54–78, 2023, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0001065](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001065).
- [30] Chen, Z., Xiao, F., Guo, F., Yan, J., "Interpretable machine learning for building energy management: a state-of-the-art review", Advances in Applied Energy, Vol. 9, pp. 100-123, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100123>.
- [31] Avci, I., Bidollahkhani, M., "Real-time building management system visual anomaly detection using heat points motion analysis machine learning algorithm", Technical Gazette, Vol. 30, pp. 318-323, 2023, <https://doi.org/10.17559/TV-20220417151954>.
- [32] Pitskhelauri, M., Jishkariani, M., "Application of graphic neuro-fuzzy designer in energy management", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 12, No. 2, pp. 1–8, 2023, <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2023.1201001>.
- [33] Maatoug, A., Belalem, G., Mahmoudi, S., "A location-based fog computing optimization of energy management in smart buildings: devs modeling and design of connected objects", Frontiers of Computer Science, Vol. 17, pp. 17-25, 2023, <https://doi.org/10.1007/s11704-021-0375-z>.
- [34] Esameili shayan, M., Najafi, G., and Esmaeili Shayan, S., "Smart Micro-Grid Electrical Energy Management: Techno-Economic Assessment", Energy Engineering and Management, Vol. 13, No. 1, pp. 90-101, 2023, <https://doi.org/10.22052/jeem.2023.113605>.
- [35] Mousavi Rizi, S.M., Aminsharei, F., Lamea, M., Ghazimorad, M., "Bioclimatic architecture in thermal energy efficiency of sustainable urban residential buildings in developing countries: A synthesis review in Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 218, No. 1, pp. 11-57, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115743>.
- [36] Shaterian, R., "Climate and architecture of iran", Simaye Danesh, Vol. 5, 680, 2015.
- [37] Modirrousta, S., "Analysis of the atrium, trombe wall, and solar greenhouse patterns in optimizing energy consumption", Emerging Trends in Energy Conservation 4th Conference – ETEC, 19 Bahman, Tehran, 2014, pp. 18-31.
- [38] Abdizade, S., Ahmadnezhad, A., "Investigating the heating and cooling performance of different types of Trombe walls and their application in buildings with an approach to reducing energy consumption", Journal of urban desige studies and urban researches, Vol. 6, No. 2, pp.1-12, 2023.
- [39] Mohammadi, A., SHojaee, P., Akbari, Z., "Comparative analysis multi criteria decision making approach in prioritizing provinces based on civil projects", A quarterly journal of the macro and strategic policies, Vol. 3, No. 12, pp. 27-50, 2015.
- [40] Saniee Abade, M., Mahmoudi, S., Taherpavar, M., "Applied data mining", Niaz Danesh Publications, Vol. 2, No. 4, 536, 2015.