Sciences and Techniques of
Information Management
Volume 11, Issue 4, 2025
https://stim.qom.ac.ir



Designing an Expert Climate Improvement System with Pattern Finding of Cold Climate Residential Buildings based on Learning Models

Farnoosh Merrikh Bayat[1], Mohamadreza Sanaei[2]✉, Hooman Sobouti[3] and Mohammad mehdi Gilanian Sadeghi[4]

1. Department of IT Management, Qa.C, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. Email: f.merrikhbayat@iau.ac.ir
2. Department of IT Management, Qa.C, Islamic Azad University, Qazvin, Iran (Corresponding Author). Email: mr.sanaei@iau.ac.ir
3. Department of Architecture, Za.C, Islamic Azad University, Zanjan, Iran. Email: soboutihooman@iau.ac.ir
4. Department of Computer and Information Technology Engineering, Qa.C, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. Email: gilaniansadeghi@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2025/09/30
Received in revised form: 2025/11/06
Accepted: 2025/12/16
Published online: 2026/01/28

Keywords:
Expert system, climate improvement, Climate energy label, Residential building, learning models, cold climate.

ABSTRACT

Purpose: With the increasing growth of energy consumption in the modern world and the position of the construction industry as one of the major factors contributing to the creation and exacerbation of this crisis, a complex issue known as “energy supply and consumption management” has emerged. This issue, in addition to affecting the sustainable development of societies, is of particular importance due to its significant impact on the healthy lives of human beings. The present study aims to design a decision-making system for the maximum utilization of solar energy (passive) in supplying the energy required by residents of a residential building (information entity), while considering the minimum amount of energy loss. This objective is pursued based on the appropriate design of the building’s outer shell without the need to install additional electrical equipment.

Method: The research method used in the present study is a combination of descriptive, experimental, analytical, and comparative approaches. It also possesses characteristics such as being indigenous, relying on Iranian data and regulations, and having the capability to be developed based on climatic data. The integrated research approach is influenced by the concepts of knowledge management, decision-making systems, expert system rule construction, and the application of learning models in the specialized field of residential building architecture, with the aim of addressing a real-world problem.

In order to construct the required knowledge set, characteristics related to the site of the proposed project—particularly geographical coordinates—were examined. In addition, characteristics related to the building shell, including building dimensions and openings, as well as characteristics associated with energy loss, were investigated as criteria and sub-criteria for information production. In line with the aforementioned objective and considering the environmental comfort of residents in a climate with high heating demands (Zanjan city, located in a cold climate), a technical investigation of the issue was conducted by modeling the condition of residential buildings in ten districts of Zanjan city. This analysis included 100 buildings selected through a simple random sampling method. Subsequently, the potential for improving the climatic performance of the building envelope was assessed from the perspective of three passive solar strategies: direct gain, Trombe wall, and solar space (solar greenhouse). For the desired modeling process, a dataset containing more than 3,500 information fields was used as a statistical sample representing the population. To collect the required data, a combination of field data collection methods, review of descriptive information layers in the detailed urban plan, and information obtained from aerial maps of selected residential plots was employed.

The validity criterion for the output status of the models was calculated based on the climate energy label criterion, with the aim of evaluating the ability of the residential building form to receive solar energy. The complexity of the problem was managed through a multi-stage process that included analyzing climatic conditions in terms of temperature variations and solar radiation changes, examining fixed urban development characteristics centered on the site plan, and utilizing the relevant decision matrix.

Achieving the lowest level of energy loss (through thermal transfer and heat dissipation) together with the highest solar absorption—based on the implementation status of passive solar systems—was defined as the main operational criterion through the introduction of a new concept called the climate energy label (for generating training and testing data). Subsequently, three learning models—decision tree, association rules, and Bayesian theory—were applied and analyzed in order to produce the rules required for designing the knowledge base of the proposed decision-making expert system.

Findings: An analysis of the feasibility of implementing passive solar energy strategies indicated that among the ten districts studied in the city of Zanjan (a cold climate region), the implementation of the solar greenhouse method had the highest priority. This was followed by the direct gain method and the Trombe wall method. In addition to prioritizing features within the structured resolution of the problem space and exerting a positive influence on the forward inference chains used in the inference engine of the proposed expert system, the research findings demonstrated appropriate performance, with a confidence factor exceeding 85 percent. Considering the high complexity of the problem, this result indicates the acceptable accuracy of the prediction models and also implicitly guarantees the reliability of the rules derived from them in forming the inference database.

Conclusion: The results of this research can serve as an auxiliary knowledge system for improving existing residential buildings and can support decision-making processes for planning and policymaking organizations. Furthermore, the findings can contribute to generating design recommendations for addressing the complex problem of existing energy imbalances in residential buildings.

Cite this article: Merrikh Bayat, F., & et al. (2025)., Designing an Expert Climate Improvement System with Pattern Finding of Cold Climate Residential Buildings based on Learning Models, and Outcomes. *Science and Technology of Information Management*, 11 (4). 109-129. **DOI**: https://doi.org/10.22091/STIM.2025.12266.2211

© The Author(s)

DOI: 10.22091/STIM.2025.12266.2211

Publisher: University of Qom

علوم و فنون مدیریت اطلاعات

دوره ۱۱، شماره ۴، ۱۴۰۴

https://stim.qom.ac.ir



طراحی سیستم خبرهٔ بهسازی اقلیمی با الگویابی از ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد مبتنی بر مدل‌های یادگیری

فرنوش مریخ بیات[۱]، محمدرضا ثنایی[۲]✉، هومن ثبوتی[۳] و محمدمهدی گیلانیان صادقی[۴]

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

۲. گروه مدیریت فناوری اطلاعات، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران(نویسندهٔ مسئول). رایانامه: mr.sanaei@iau.ac.ir

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

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸

کلیدواژه‌ها:

سیستم خبره، بهسازی اقلیمی، برچسب انرژی اقلیمی، ساختمان مسکونی، مدل‌های یادگیری، اقلیم سرد.

چکیده

هدف: با رشد روز افزون مصرف انرژی در دنیای مدرن و جایگاه صنعت ساختمان به‌مثابه یکی از عوامل مهم در ایجاد و تشدید این بحران، بروز و ظهور مسئله‌ای پیچیده با عنوان «مدیریت تأمین و مصرف انرژی» در حال رخداد است که علاوه بر تأثیرگذاری بر توسعهٔ پایدار جوامع از لحاظ تأثیر شگرف آن بر زیست سالم انسان‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پژوهش حاضر طراحی سیستمی تصمیم ساز برای بهره‌مندی حداکثری از انرژی خورشید (غیر فعال)، در تأمین انرژی مورد نیاز ساکنان یک ساختمان مسکونی (موجودیت اطلاعاتی) را با لحاظ حداقل میزان هدررفت انرژی، مبتنی‌بر طراحی مناسب پوستهٔ خارجی بدون نیاز به نصب تجهیزات الکتریکی جانبی هدف خود قرار داده است.

روش: روش این پژوهش ماهیتی ترکیبی از یک پژوهش توصیفی، تجربی، تحلیلی، و قیاسی داشته و دارای ویژگی‌هایی از جمله بومی بودن، اتّکا بر داده‌ها و قوانین کشور ایران و قابلیت توسعه بر مبنای داده‌های اقلیمی است. نگاه تلفیقی پژوهش متأثر از مفاهیم مدیریت دانش، سیستم تصمیم‌گیری، ساخت قواعد سیستم خبره ،و بهره‌مندی از مدل‌های یادگیری در حوزهٔ تخصصی یعنی معماری ساختمان مسکونی، با رویکرد پرداختن به یک مسئلهٔ واقعی است. با هدف ساخت مجموعه دانشی مورد نظر مشخصه‌های مربوط به سایت پلان مورد نظر با تأکید بر مختصات جغرافیایی، مشخصه‌های مربوط به پوسته بنا از جمله: ابعاد بنا و بازشوها ... و نیز مشخصه‌های مرتبط با هدر رفت انرژی به‌عنوان معیارها و زیرمعیارهای تولید اطلاعات بررسی شد. در راستای هدف یادشده و با در نظر گرفتن آسایش محیطی ساکنان در اقلیمی با نیاز گرمایشی بالا (شهر زنجان واقع در اقلیم سرد)، به بررسی فنی موضوع با الگو قراردادن وضعیت ساختمان‌های مسکونی ده منطقه از شهر زنجان مشتمل بر ۱۰۰ ساختمان با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انجام شد. در ادامه با سنجش پتانسیل بهسازی اقلیمی پوستهٔ خارجی از منظر سه روشِ جذب مستقیم، دیوار ترومب، و فضای خورشیدی پرداخته شده و برای مدلسازی مورد نظر مجموعه داده‌ای بالغ بر ۳۵۰۰ فیلد اطلاعاتی با استفاده از احصاء و به عنوان نمونه جامعه آماری، استفاده شد. برای جمع‌آوری اطلاعات از ترکیب روش‌های جمع‌آوری میدانی اطلاعات، بررسی اطلاعات لایهٔ اطلاعاتی توصیفی در طرح تفصیلی، و نیز اطلاعات حاصل از نقشهٔ هوایی برای پلاک‌های مسکونی منتخب استفاده شد. ملاک اعتبار وضعیت خروجی مدل‌ها بر مبنای معیار برچسب انرژی اقلیمی با هدف محاسبهٔ توانایی فرم ساختمان مسکونی در دریافت انرژی خورشیدی محاسبه شد. پیچیدگی مسئله در فرایندی چندبخشی مبتنی بر بررسی اقلیم از نظر تغییرات دمایی و تابشی خورشید، بررسی مشخصه‌های ثابت شهرسازی با محوریت سایت پلان، و بهره‌مندی از ماتریس تصمیم مربوطه مدیریت شد. سپس دست‌یابی به کمترین میزان هدررفت انرژی (انتقال حرارتی و اتلاف گرما) همراه با بیشترین جذب آن از منظر وضعیت اجرای سیستم‌های غیرفعال خورشیدی با ارائهٔ مفهوم جدیدی با عنوان برچسب انرژی اقلیمی (تولید داده‌های آموزشی و تست)؛ ملاک عمل قرار گرفت. در ادامه با استفاده از سه مدل یادگیری درخت تصمیم، قوانین انجمنی، و نظریهٔ بیز با هدف تولید قواعد مورد نیاز برای طراحی پایگاه دانش مورد نیاز یک سیستم خبره تصمیم‌ساز، تحلیل و پیاده‌سازی شد.

یافته‌ها: با تحلیل انجام‌شده بر امکان‌سنجی اجرای روش‌های انرژی غیرفعال خورشیدی مشخص شد در بین مناطق ده‌گانه بررسی‌شده در شهر زنجان (اقلیم سرد) به‌ترتیب اجرای روش گلخانهٔ خورشیدی در اولویت قرار داشته و پس از آن اجرای روش های جذب مستقیم و دیوار ترومب در اولویت های بعدی قرار می‌گیرند. یافته های پژوهش علاوه‌بر اولویت‌بندی مشخصه‌ها در قدرت تفکیکِ ساختمند فضای مسئله و تاثیرگذاری مثبت در زنجیره‌های استنتاجی رو به جلوی استفاده‌شده در موتور استنتاج سیستم خبرهٔ پیشنهادی، عملکرد مناسبی (با ضریب اطمینان بالای ۸۵ درصد) نشان دادند که با لحاظ پیچیدگی بالای مسئله، نشان‌دهندهٔ دقت مورد قبول مدل‌های پیش‌بینی و نیز تضمین ضمنی دقت قواعد حاصل از آن‌ها در تشکیل پایگاه داده استنتاجی است.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌عنوان یک سیستم دانشی کمکی می‌تواند در بهسازی ساختمان‌های مسکونی موجود برای سازمان‌های تصمیم‌گیر و تصمیم ساز و همچنین تولید توصیه‌های طراحی در کمک به مدیریت مسئله پیچیده ناترازی انرژی مفید باشد.

استناد: مریخ بیات، فرنوش و دیگران. (۱۴۰۴). «طراحی سیستم خبرهٔ بهسازی اقلیمی با الگویابی از ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد مبتنی بر مدل‌های یادگیری». *علوم و فنون مدیریت اطلاعات*. دورهٔ ۱۱. شمارهٔ ۴. صص: ۱۲۹-۱۰۹. https://doi.org/10.22091/STIM.2025.12266.2211

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.

۱. مقدّمه

با توجه به اهمیت روز افزون نقش انرژی در توسعهٔ پایدار جوامع و در مقابل تأثیرات کلیدی نبود آن در ایجاد انواع بحران‌های تاثیرگذار در جنبه‌های مختلف حکمرانی کشورها، مدیریت این عرصه در جایگاه یک سُکّان تصمیم‌گیری مهم در سطح تصمیمات استراتژیک کشور مطرح می‌شود. حساسیت موضوع زمانی بیشتر می‌شود که علاوه‌بر داشتن دیدگاهی اقتصادی مبتنی‌بر محدودیت منابع، دغدغه‌های محیط زیستی نیز به آن اضافه شود. با توجه به اینکه «ساختمان مسکونی» مصرف‌کنندهٔ عمده و یکی از وجوه مهم تولید بحران کمبود انرژی در کشور ما معرفی می‌شود، دغدغهٔ پژوهش بر ارائهٔ راه‌حلی مبتنی بر معماری پایدار یعنی امکان‌سنجی استفادهٔ حداکثری پوستهٔ خارجی یک بنای مسکونی از انرژی خورشید، استوار است. به این امید که خود تأمینیِ بخشی از نیاز انرژی ساختمان بتواند در تعدیل وضعیت بحرانی تأمین انرژی فعلی موثر باشند. بر این مبنا پژوهش حاضر با الگویابی از ساختمان‌های مستقر در اقلیمی با نیاز بالای انرژی (اقلیم سرد شهر زنجان) با بهره‌مندی از مدل‌های یادگیری، در جست‌وجوی ارائهٔ سیستمی دانش محور برای تعیین بهترین روش انجام بهسازی یک ساختمان برای دست‌یابی به هدف مورد نظر است.

به علت اهمیت پایبندی به اصول و مقررات طراحی و ساخت ساختمان، علاوه بر مشخصه‌های محیطی، معیارهای مربوط به پوستهٔ خارجی یک ساختمان مسکونی که دارای ویژگی‌هایی از بُعد تأمین و مدیریت دمای آسایش مورد نیاز و نیز مدیریت مصرف هستند (محمد و بهمن[1]، ۲۰۲۴) نیز بررسی شده‌اند. فراهم آوردن شرایط آسایش محیطی در ساختمان‌ها همواره از دغدغه‌های اصلی معماران جهان و ایران بوده و در این میان ساختمان‌های مسکونی همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده‌اند. بی‌گمان با گسترش استفاده از تکنولوژی‌های روز دنیا در ایجاد سطح مناسبی از آسایش محیطی، نقش مصرف انرژی در این موضوع نیز هر روز پر رنگ‌تر می‌شود. در معماری بومی ایران همواره انتخاب فرم و راهکارهای معماری متناسب با اقلیم برای کاهش مقدار مصرف انرژی در اولویت کار طراحان بوده است (موسوی و غیبی[2]، ۲۰۲۳). این شیوه یکی از کم هزینه‌ترین روش‌های ممکن در راستای مدیریت صحیح استفاده از منابع انرژی بوده و سهم بسزایی در کاهش مشکلات ناشی از مصرف بی‌رویه خواهد داشت، موضوعی که قوانین و مقررات جاری نیز رعایت آن را تأکید کرده‌اند (مصوبه هیئت وزیران، ۱۴۰۰).

در پژوهش پیش رو نیز سعی شده با استفاده از قابلیت‌های یک ساختمان مسکونی و در نظر گرفتن شرایط محیطی، امکان تأمین انرژی مورد نیاز ساختمان را با استفاده از انرژی خورشیدی دریافت شده به نحوی فراهم کرد که در تأمین سطح آسایش مورد نیاز ساکنان آن تداخلی ایجاد نشود. برای دست‌یابی به این هدف سه روش دریافت انرژی غیرفعال خورشیدی از جمله سیستم جذب مستقیم، اجرای دیوار ترومب و بهره‌مندی از قابلیت گلخانهٔ خورشیدی با لحاظ میزان هدررفت انرژی و با محوریت تولید قواعدی کارا و قابل استفاده در طراحی سیستمی تصمیم ساز، مدل سازی و بررسی شده است. تمرکز بر ارائهٔ راه‌حل مسئلهٔ مورد نظر با استفاده از بررسی و امکان‌سنجی اجرای روش‌های غیرفعال خورشیدی بر فرم بنا با بهره‌مندی از مدل‌های یادگیری از ایده‌های مطرح در پژوهش مورد نظر است. ضرورت انجام پژوهش بر مبنای ارائهٔ رهنمودهایی در قالب سیستم خبره‌ای تصمیم ساز برای تأمین انرژی مورد نیاز ساختمان‌های مسکونی در قالب بهسازی اقلیمی به حوزه‌های مدیریتی مرتبط با موضوع مسئله طرح شده است، زیرا همان‌گونه که در بخش پیشینهٔ پژوهش به تفصیل اشاره خواهد شد پژوهش‌های مشابه از منظر حوزه موضوعی تنها یا به بررسی تک‌بُعدی مسئله، برای نمونه بررسی مشخصه‌های فرم ساختمان‌ها پرداخته‌اند یا راه‌حل‌هایی مبتنی‌بر بهره‌مندی از تکنولوژی، هوشمندسازی یا برخورداری از انرژی‌های فعال را برای راه‌حل مطرح کرده‌اند؛ موضوعی که پژوهش حاضر با خط‌مشی قرار دادن دست‌یابی به ساختمان‌های « صفر انرژی» از آن‌ها پرهیز کرده و تنها تمرکز خود را بر بررسی تبادلات انرژی غیر الکتریکال قرار داده است.

---

1. Mohammad & Bahman
2. Mousavi & Gheibi

۲. پیشینه پژوهش

در بررسی پیشینهٔ پژوهشی مطالعه‌شده که در ادامه خلاصه‌ای از موضوعات مطرح در برجسته‌ترین آن‌ها ارائه شده است، نگاه به محتوای این پژوهش‌ها بر مبنای دو محور اصلی «تأثیر اقلیم بر ساخت ساختمان» و نیز «مدیریت انرژی ساختمان» بوده است تا با بهره‌مندی از مسیر محققان پیشین افقی قابل درک از وضعیت فعلی مدیریت انرژی متأثر از مکان و شرایط انحصاری ترسیم شود.

پیرنیا (۲۰۱۳) در کتاب خود با عنوان «آشنایی با معماری اسلامی ایران» یکی از مسائل مهم مربوط به شهرسازی مطلوب را جهتِ قرارگیری خانه‌ها می‌داند که مرتبط با آب‌وهوا، شیوهٔ تابش، جهت وزش، مکان قرارگیری و جنس زمین است.

هاشمی و حیدری (۲۰۱۸) در مقالهٔ خود با عنوان «بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد» ادعا کردند با جانمایی فضاها بر اساس چرخهٔ خورشیدی و اصلاح پوستهٔ ساختمانی می‌توان به ارزیابی مصرف انرژی در یک متر مربع از خانه با لحاظ آسایش حرارتی منطقه پرداخت.

حیدری و پور محمدی (۲۰۱۱)، در پژوهش خود با عنوان «ارزیابي زیست اقلیم انساني شهر زنجان و نقش آن در طراحي مسکن»، پیشنهاداتی برای نحوهٔ ساخت مسکن با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی منطقه از جمله متراکم و فشرده بودن آن ارائه کردند.

صفائی (۲۰۱۴) برای شناسایی سیستم‌های منفعل خورشیدی کارآمد در اقلیم سرد و خشک، موضوع را در شهرستان خمین و در نهایت لیستی از عوامل مؤثر در کاهش مصرف انرژی و رسیدن به آسایش حرارتی را ارائه کرده است.

محمدی و ثبوتی (۲۰۱۵) در مقاله‌ای با عنوان «بهینه‌سازی مصرف انرژی با الگوبرداری از عناصر سنتی اقلیمی معماری ایران»، بهترین راهکار برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی را طراحی اقلیمی ساختمان‌ها دانستند.

در پژوهش ژی، فوو جینیو[1] (۲۰۲۳)، عملکرد حرارتی ساختمان بر اساس فرم معماری آن بررسی شد که برپایهٔ آن تفاوت‌های مصرف انرژی در دو ساختمانِ کاملاً مشابه به لحاظ سیستم‌های تأمین انرژی، به دلیل تفاوت در فرم معماری آن‌ها بررسی شد. مطابق نتایج، عوامل مرتبط با فرم (متأثر از معماری داخلی) که مستقیماً بر مصرف انرژی تأثیرگذارند نسبت به حجم و جهت‌گیری ساختمان در اولویت بوده و پس از آن عایق‌کاری صحیح، بیشترین تأثیر را بر جلوگیری از هدر رفت انرژی خواهد داشت.

عابدی و حنائی (۲۰۱۵)، تحلیل «اصول طراحی همساز با اقلیم در راستای حفظ توسعه پایدار» را با تکیه بر بررسی محلهٔ سناباد مشهد انجام دادند. ایشان به نحوهٔ قرارگیری ابنیه با توجه به تابش و فرم مربعی شکل پنجره در بنا پرداخته و عواملی از جمله پلان فشرده و بافت متراکم را در میزان مصرف انرژی در ساختمان مؤثر دانستند.

جهانبخش و غفارزاده (۲۰۱۶)، به بررسی رابطه و میزان تأثیر تابش خورشیدی بر بدنهٔ ساختمان در تعیین جهت‌گیری بنا با هدف کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی شهر اصفهان پرداختند. بر مبنای ادعای ایشان هر چه شدت تابش خورشید بیشتر و زاویهٔ تابش نسبت به سطح، قائم باشد، میزان دریافت تابش و در نتیجه گرمای تولیدشده روی سطح بیشتر خواهد بود.

زارع گل آخور و اعظمی (۲۰۱۶) با اولویت قراردادن «طراحی اقلیمی» در مجموعه ویلایی خورشیدی پایدار در اقلیم سرد و خشک شهرک ولیعصر مرند با هدف استفادهٔ حداقلی از انرژی‌های تجدیدناپذیر، به طراحی پرداختند.

اصغری، ملکی گاوگانی، و ملکی[2] (۲۰۱۹) به بررسی نقش سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان‌های صفر انرژی شهری، برایافزایش آسایش و نیز کاهش مصرف انرژی پرداختند و در نهایت اقدام به اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر در کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش فردی در انواع سیستم‌های غیرفعال خورشیدی کردند.

جوادی نوده و سرابی[3] (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان «گونه شناسی اجزای کالبدی منطبق بر اقلیم سرد در معماری بومی»، با اولویت‌بندی شاخص‌های کالبدی متأثر از اقلیم سرد با عنوان شاخص‌های طراحی، شاخص‌های مربوط به فضاهای داخلی، و نیز شاخص‌های مربوط به جزئیات فضایی سعی کردند به الگوهای طراحی پایدار دست یابند.

---

1. Zhe, Fu, & Jinyue
2. Asghari, Gavagani & Maleki
3. Javadi Nodeh & Sarabi

آنچه از سرجمع نتایج مطالعات انجام شده مشخص شده و در کانون توجه پژوهشگر قرار گرفته است، «استفاده مناسب از اقلیم» و توجه به «وضعیت قرارگیری ساختمان» در سایت پلان مربوطه و به تبع آن احصاء ویژگی‌های تأثیرگذار از این عوامل، می‌توانند بیشترین نقش را در استفادهٔ حداکثری از انرژی خورشیدی داشته باشند. پژوهش حاضر به تحلیل و بررسی میزان تأثیرگذاری زیرشاخص‌های این عومل در قالب ارائهٔ نمونه اجرایی از موضوع پرداخته است. جمع‌بندی مفهومی برداشت‌شده از مطالعهٔ پژوهش‌های پیشین که به شیوهٔ مقایسه‌ای با پژوهش پیش‌رو و در راستای ارائه الگوریتم پیشنهادی انجام شده است در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. جمع‌بندی مقایسه‌ای تفاوت‌های فضای کاری روش پیشنهادی و سایر روش‌های مورد مطالعه

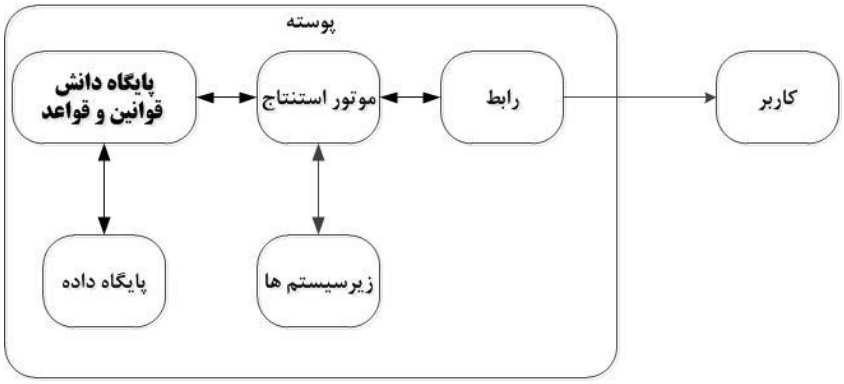
موضوع	روش پیشنهادی	روش‌های پژوهشی مطالعه‌شده
ساختار اصلی	از نوع تشخیصی و بر مبنای ویژگی‌های طراحی	بیشتر از نوع مدیریتی و قابل استفاده در زمان اجرا (نمونه: عبدالفتاح، قالم و محمودی[1]، ۲۰۲۳)
عوامل	در نظر گرفتن عوامل تجمیعی و تاثیرگذاری آن‌ها بر یکدیگر	بیشتر به‌شیوهٔ تک عاملی بررسی شده (نمونه: پرووست و اینگروزنبلت[2]، ۲۰۲۲)
سیستم پیشنهادی	سیستم خبرهٔ تصمیم‌ساز	هوشمندسازی (نمونه: بابا، الرواهی و سابرامانیان[3]، ۲۰۲۲)
اجزای سیستم	بررسی و تحلیل اجزای پوسته و فرم بنا	متکی بر بررسی سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی (نمونه: کوبول و مالفیت[4]، ۲۰۱۷)
قوانین، استانداردها	بومی کشور ایران	بین‌المللی (متوگ و دیگران[5]، ۲۰۲۳)
الگوریتم	تصمیم‌گیری چندمعیاره و داده‌کاوی	فازی، نرو فازی، اینترنت اشیاء و ... (نمونه: ژی، و دیگران[6]، ۲۰۲۳ و پیسخلاری جیشکاریان[7]، ۲۰۲۳)
تأثیر اقلیم	با لحاظ تأثیر اقلیم در مناطق سردسیر ایران (وابستگی مکانی)	نبود وابستگی به اقلیم و حداقل وابستگی منطقه‌ای

۳. روش پژوهش

روش در پژوهش حاضر ماهیتی ترکیبی از یک پژوهش توصیفی، تجربی، تحلیلی و قیاسی دارد. بدین صورت که بخش ابتدایی کار که به پژوهش و بررسی مفاهیم کلیدی و موضوعی مانند تعاریف، اصول و استانداردهای حوزه‌های کاری، معماری مبتنی‌بر اقلیم، آسایش محیطی، یا روش‌های بهسازی اقلیمی می‌پردازد دارای رویکردی توصیفی است. بخش‌هایی که با روش میدانی به مشاهده و جمع‌آوری اطلاعات و بررسی مناطق مسکونی شهر زنجان پرداخته است، ماهیتی تجربی دارد. در مقابل قسمت‌هایی از کار پژوهشی که در آن برای بررسی وضعیت آسایش محیطی یا شبیه‌سازی مدل‌های پیش‌بینی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استفاده شده، وارد فاز تحلیلی گردیده است. در بررسی‌های انجام‌شده در بخش ارزیابی و اعتبارسنجی با تمرکز بر مقایسه‌های انجام‌شده، پژوهش رویکردی قیاسی نیز دارد. پژوهش از دید محتوایی در دستهٔ کاملاً کاربردی قرار می‌گیرد، به‌نحوی که چارچوب آن براساس پاسخ به یک سؤال کلیدی شکل گرفته است و آن اینکه «کدام ساختمان‌های مسکونی (مختصات جغرافیایی) و با دارا بودن چه ویژگی‌های کالبدی (پوسته خارجی) پتانسیل بهتری برای انجام بهسازی اقلیمی دارند؟»

1. Abdelfettah, Ghalem & Mahmoudi
2. Pruvost, & Enge-Rosenblatt
3. Babaa, AlRawahi & Subramanian
4. Koebel & Malfait
5. Maatoug, Belalem, & Mahmoudi
6. Zhe, Fu, & Jinyue
7. Pitskhelauri & Jishkariani

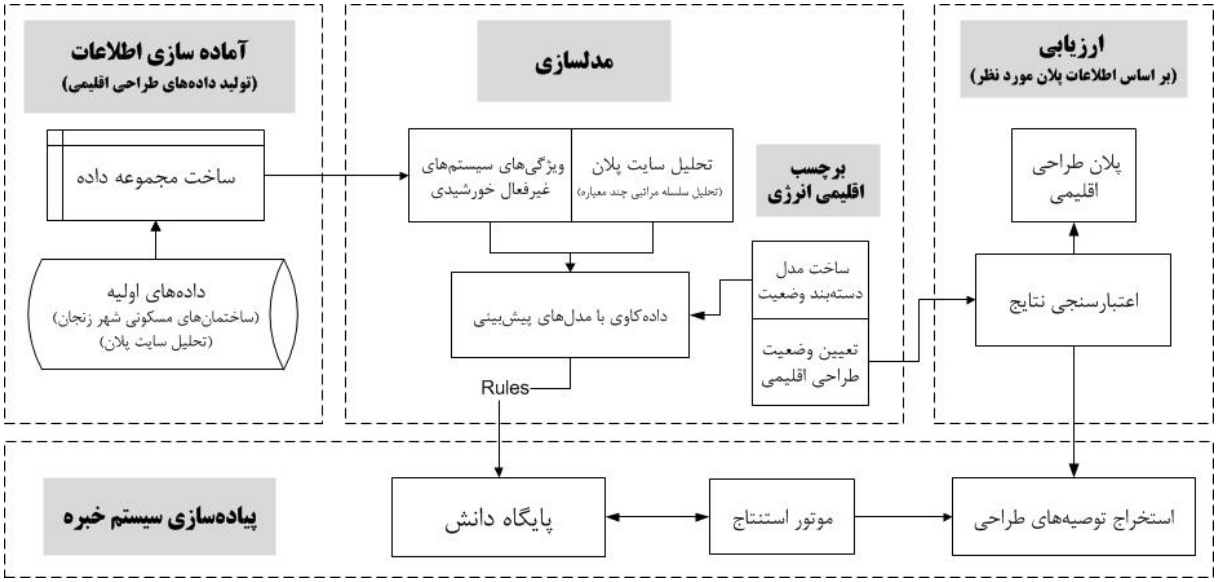
اطلاعات موردنیاز پژوهش با استفاده از اسناد کتابخانه‌ای، سایت‌های اطلاعاتی و نیز بهره‌مندی از استانداردها و مقررات حوزهٔ تخصصی مربوطه (معماری ساختمان مسکونی) جمع‌آوری شده و پس از گردآوری و پیش‌پردازش اطلاعات برای استخراج دانش موردنیاز، تجزیه وتحلیل شده‌اند. لازم به یادآوری است که هدف اصلی این کار پژوهشی «سنجش میزان تأثیر عوامل محیطی مؤثر بر رفتار پوستهٔ خارجی در بهره‌مندی از انرژی خورشیدی در یک اقلیم سرد از جمله سنجش میزان تأثیر مختصات جغرافیایی سایت پلان یا عوامل مؤثر بر هدررفت در قالب ساختمان با هدف تصمیم‌گیری برای انجام بهسازی اقلیمی آن» است. بر مبنای این هدف کلی، ساختار الگوریتم پیشنهادی شکل گرفته که می‌تواند نقش مهمی در تصمیم سازی‌های فردی و سازمانی داشته باشد. این سیستم پشتیبانِ تصمیم با عنوان طراحی یک سیستم خبره در حوزهٔ تخصصی معرفی‌شده، مطرح شده است. این سیستم دانشیِ پیشنهادی بر مبنای تعاریف آن از بخش‌های اصلی و فرعی، در دو سطح پوستهٔ سیستم و سطح کاربری تشکیل می شود که شمایی از آن در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. شمای کلی از اجزای سیستم خبرهٔ پیشنهادی

همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است؛ سیستم از دو نهاد اصلی که یکی مدیریت داده‌های ورودی پایگاه داده مرتبط و دیگری تعاملات موردنیاز با زیر سیستم‌های در ارتباط است، تشکیل می شود (بلوم، و دیگران[1]، ۲۰۱۸). خبرگی موردنظر برای این سیستم از دانش تولید شده از ترکیب قواعد و داده‌ها حاصل می شود که با عنوان «پایگاه دانش قوانین و قواعد» به‌مثابه قلب سیستم خبره عمل می‌کند (میلوگیانی، و دیگران[2]، ۲۰۱۹). پردازش موردنیاز که خروجی آن در قالب نتایج تصمیم‌های پیشنهادی در کنار برخی تو صیه‌ها به کاربر نهایی ارائه می شود در بخش موتور استنتاج سیستم مورد نظر انجام می شود که با توجه به ماهیت خواستهٔ مطرح در این کار پژوهشی از نوع «زنجیره رو به جلو» انتخاب و استفاده شده است. برای طراحی سیستم خبرهٔ پیشنهادی علاوه‌بر نهادهای یاد شده، نیاز به یک سیستم مدل سازی داده وجود دارد که بتواند با نگاشتی متناسب بر مراحل یاد شده احاطه داشته باشد. این سیستم مدل‌سازی پیشنهادی با هدف تولید قوانین برای استفاده در موتور استنتاج سیستم در سه گام: (۱) آماده‌سازی اطلاعات، (۲) مدل‌سازی و (۳) پیاده‌سازی طرح و انجام شده است. کلیات مدل پیشنهادی برای طراحی سیستم خبرهٔ بهسازی اقلیمی ساختمان مسکونی در قالب شکل (۲) تشریح شده است. لازم به یادآوری است که در ادامه «آماده سازی اطلاعات» در قالب معرفی منطقهٔ مورد مطالعه، «مدل‌سازی» در قالب بخش مواد و روش‌ها، و بخش «پیاده‌سازی» در قالب یافته‌های پژوهش بخش‌بندی و ارائه شده است. اصلی‌ترین مزیت سیستم خبرهٔ موردنظر این کار پژوهشی، شبیه‌سازی گرفتن یک تصمیم انسانی با استفاده از قواعد اگر و آنگاه است. یعنی مقرر می‌گردد دانشی از مجموعه داده موجود با هدف ساخت پایگاه دانش موردنظر در قالب قوانین «اگر – آنگاه» استخراج شود. بر این مبنا اگر شرطی درست باشد، می‌توان استنباط یا اقدامی انجام داد. رخداد معتبر این شروط به تعیین نقاط شکست یا در اصطلاح نقاط شروع است که با کاهش درخت مسئله به دست‌یابی به پاسخ‌های دقیق‌تر و سریع‌تر منجر می‌شود.

1. Blume, Herrmann & Thiede
2. Mpelogianni, Giannousakis & Kontouras



شکل ۲. مدل پیشنهادی برای طراحی سیستم خبرهٔ بهسازی اقلیمی ساختمان مسکونی

در سیستم‌های خبره در بخش نتیجه‌گیری، قطعیت وجود ندارد، زیرا وجود یا عدم وجود عوامل (مستخرج از مجموعه داده) می‌تواند باعث افزایش یا کاهش احتمالات شود (اسچلر و دیگران[1]، ۲۰۲۱). این موضوع که در روش‌شناسی پژوهش نیز به آن اشاره شد، اصلی‌ترین بخش در طراحی سیستم خبره و تأثیرگذارترین بخش تولید باکیفیت را در توصیه‌های نهایی دارد. با تأکید بر این موضوع، تولید قوانین پایگاه دانش در فاز مدل‌سازی روی مجموعه داده مستخرج از وضعیت سایت پلان، وضعیت پوستهٔ خارجی، و امکان‌سنجی اجرای سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اشاره‌شده انجام شده است.

۳-۱. جامعه، نمونه آماری و روش نمونه‌گیری

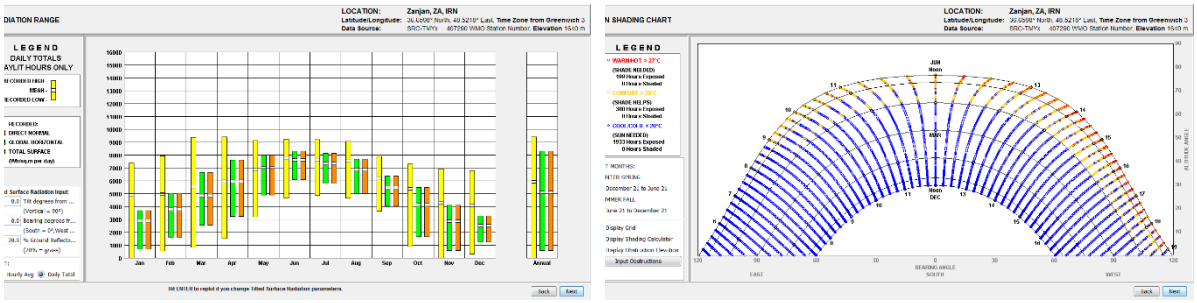
شهر زنجان به‌عنوان محدودهٔ مطالعه، به‌طور کلّي داراي آب‌وهواي سرد و خشك است. زمستان‌هاي سرد، با دماى زير صفر و هواى يخبندان آن حداقل ۴ ماه به‌طول مي‌انجامد. درمقابل تابستان‌هاي آن ملايم تا نسبتاً گرم است (كسمائى، ۱۳۷۱). ميزان بارندگي در حوزهٔ نفوذ مستقيم شهر حدود ۳۰۰ ميليمتر در سال بوده، درحالی‌كه ميزان بارندگى كلى سالانهٔ آن حدود ۳۲۳ ميلى‌متر برآورد شده است. لازم به يادآورى است كه طول مدت ماه‌هاى خشك آن نيز حدود ۳ ماه است. تنوع آب‌وهوايى و تغييرات ارتفاع از ۵۰۰ متر در سواحل رودخانه قزل‌اوزن در ناحيهٔ طارم تا ارتفاعات بيش از ۳۰۰۰ متر در انگوران، تغييرات دمايى و آب‌وهوايى زيادى را در نقاط مختلف به وجود آورده است. در واقع اين استان از يك‌سو به لحاظ داشتن تنوع توپوگرافيكي و از سوي ديگر تأثيرپذيرى از توده‌هاي هواى خزري، مديترانه‌اى و سيبري و نيز ميزان ارتفاع از سطح دريا داراى اقليم‌هاي متنوعى شده است. بنابراين تفاوت آب‌وهوايي در نواحى مختلف استان زنجان را مى‌توان به‌خوبى در يك زمان در قسمت‌هاى شمالى، مركزى و جنوبى آن مشاهده كرد. طبق جدول ويژگي‌هاي دمايي ايستگاه زنجان، در سردترين ماه‌هاي سال در برخى نواحى كوهستانى دما تا ۳۰- درجه سانتيگراد نيز رسيده و گرم‌ترين ماه‌هاي سال در اين شهر نيز به‌ترتيب مرداد، تير و خرداد هستند. در حالت كلى ميانگين سالانهٔ دماي زنجان در سنوات اخير افزايش داشته و در حال حاضر برابر ۱۰/۹ درجه سانتى‌گراد است (داده‌هاى آب و هوايى[2]، ۲۰۲۴). داده‌هاى اقليمى مرتبط با تأمين آسايش محيطى در دورهٔ ۱۵ سال اخير شهر زنجان كه در ادامهٔ كار براى تعيين ماه‌هاى عدم آسايش دمايى استفاده قرار گرفته است؛ طبق جدول (۲) استخراج و نشان داده شده است.

1. Scheller, Wiese & Weinand
2. https://data.irimo.ir/

جدول ۲. داده‌های اقلیمی مرتبط با تأمین آسایش محیطی در دورهٔ ۱۵ سال اخیر (۲۰۲۳ - ۲۰۰۹) شهر زنجان

ماه	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	میانگین حداقل درجه حرارت (شبنم) (C°)	میانگین حداکثر درجه حرارت (خشک) (C°)	دمای زمین تا عمق ۳ متر (C°)	میزان تابش مستقیم (wh/sq.m)
میانگین ۱۵ سال اخیر	۵۸٫۶	۵٫۵	۱۱٫۲	۱۰٫۸	۵۹۳۳٫۲

بر مبنای اطلاعات اقلیمی اشاره شده منطقهٔ مطالعه در فصول سرد سال دارای نیاز «انرژی گرمایی» است که بی‌تردید تأمین انرژی مورد نیاز با توجه به محدودیت منابع موجود، نیازمند اخذ تدابیری لازم بوده که پژوهش پیش‌رو دست‌یابی به بهره‌مندی حداکثری از منبع انرژی تجدیدپذیر خورشیدی را به‌عنوان راه‌حل این چالش معرفی می‌کند. در واقع با توجه به اهمیت تأمین آسایش محیطی، هدف از مشخصه‌یابی اقلیمی و آسایشیِ مکان‌محور، تأکید بر وابستگی حل مسئلهٔ مطرح‌شده در پژوهش با نقطهٔ مختصات جغرافیایی مورد بررسی و نیز ایجاد نگاهی نظام‌مند بر سه موضوع کلیدی و مرتبط یعنی «انرژی»، «اقلیم» و «آسایش» است. بر همین مبنا نمودار تغییرات دمایی شهر زنجان نسبت به دمای آسایش و تعیین ماه‌های عدم آسایش دمایی با نرم‌افزار کلایمنت[1] استخراج و در شکل (۳ - الف) نشان داده شده است. پس از تعیین ماه‌های عدم آسایش دمایی در اقلیم سرد شهر زنجان، در ادامه به بررسی وضعیت بهره‌مندی منطقه از انرژی خورشیدی در زمان‌های با نیاز گرمایشی بالا پرداخته شده است. در واقع هدف، جایگزینی بخشی از این نیاز گرمایشی با انرژی تجدیدپذیر خورشیدی (غیر فعال) است. میزان تابش نور خورشید در شهر زنجان که مبنای سنجش پتانسیل اجرای طراحی اقلیمی در ساختمان‌ها بر مبنای انرژی حاصل‌شده از آن گردیده، در شکل (۳- ب) نشان داده شده است.



(ب) (الف)

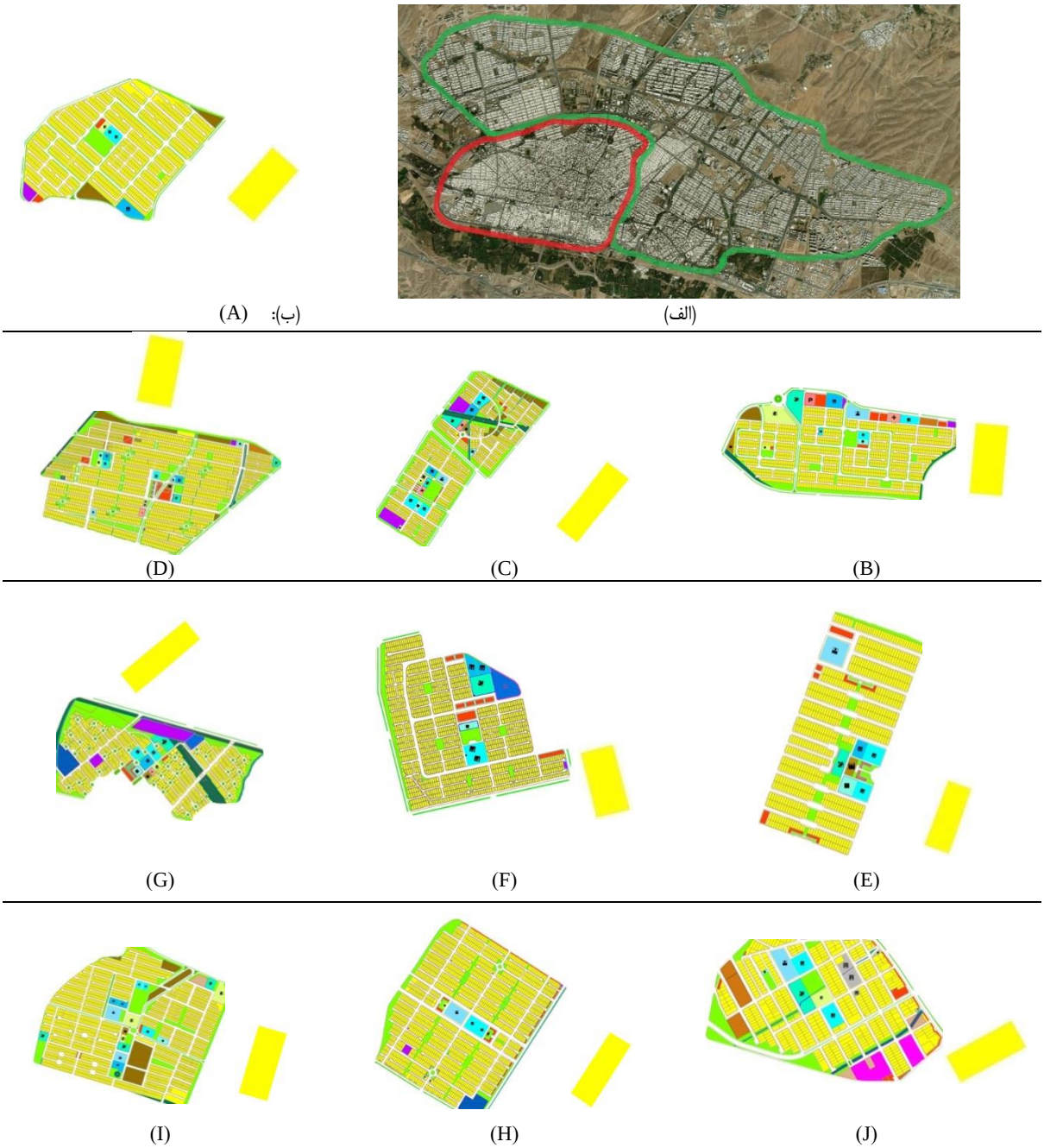
شکل ۳. (الف) تغییرات دمایی نسبت به دمای آسایش و تعیین ماه‌های عدم آسایش دمایی و (ب) میزان تابش نور خورشید

پیاده‌سازی موضوع پژوهش با توجه به کاربردی بودن آن روی یک مجموعه داده از پلان‌های مسکونی انتخاب‌شده به‌روش تصادفی و به‌شیوهٔ میدانی در منطقهٔ مورد مطالعه (مناطق مسکونی شهر زنجان) که از نظر قدمت بافت مسکونی به دو بخش کلی یعنی «بافت جدید» و «بافت قدیم» تقسیم می‌شود؛ انجام شده است. با توجه به موضوع پژوهش که بر بهسازی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی متمرکز است، بی‌تردید بافت قدیمی (قدمت بیش از ۳۰ سال) به علت صرفهٔ اقتصادی کمتر و نیز محدودیت‌های اجرایی، پتانسیل کمتری برای دست‌یابی به این هدف داشته و به همین علت در ساخت مجموعه داده دخالت داده نشده است.

تعیین اندازهٔ نمونه بر مبنای جامعهٔ هدف پس از انجام پیش پردازش‌های لازم بر دادهٔ خام اولیه، به تعداد ۱۰۰ ساختمان مسکونی در قالب گروه‌های ده‌تایی در هر یک از کوی‌های مسکونی از پیش تعیین‌شده به‌روش «نمونه‌گیری تصادفی ساده» داخل هر گروه انجام شده است. علت استفاده از این روش نمونه‌گیری، شانس (احتمال) یکسان پلاک‌های مسکونی در هر یک از مناطق برای ورود به نمونهٔ پژوهشی و نیز تأثیر نداشتن انتخاب یک عضو از جامعه روی انتخاب اعضای دیگر است. لازم به یادآوری 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. برای این منظور کدهای مستخرج از نمایه‌های موجود در لایهٔ اطلاعاتی GIS

1. Climate Consultant

مرتبط با شهر زنجان در اکسل لیست شده و با استفاده از دستور تولید عدد تصادفی انتخاب شدند. پلاک‌های منتخب در نقشه‌های هوایی گوگل‌ارث جانمایی شـــده و پس از انجام بازدیدهای میدانی لازم، تصـــاویر مکانی آن‌ها پس از تعیین محدودهٔ کلی از مناطق مسـکونی قابل بررسـی در پژوهش (شـکل ۴ - الف)، ده نمونهٔ منطقه مسـکونی (کوی) در مناطق مختلف شـهر با هندسـه پلان و مسـاحت متفاوت به‌عنوان گزینه‌های انتخابی با هدف اسـتخراج و بررسـی ویژگی‌ها، در نظر گرفته شـدند. جانمایی نمونه داده‌های (مناطق مسکونی) منتخب در شکل (۴- ب) نشان داده شده است.



شکل ۴. (الف) تعیین محدودهٔ قابل بهسازی اقلیمی (شهرک‌های اطراف) و مرکز شهر (بافت فرسوده) در سطح شهر زنجان، (ب) لگوبندی کلی پلان‌های مسکونی در ده منطقه کدگذاری شده منتخب

۳-۲. ابزار جمع‌آوری اطلاعات

با توجه به بررسی به‌عمل‌آمده میزان تأثیرگذاری شاخص‌های متأثر از سایت پلان (محیطی و مبتنی‌بر مختصات جغرافیایی) یک بنای مسکونی در ده منطقهٔ منتخب شهر زنجان عبارتند از: (۱) شاخص زاویه با جنوب (وزن تاثیرگذاری: ۵۲ درصد)، (۲) شاخص سطح

پوشش (وزن تأثیرگذاری: ۴۳ درصد) و (۳) شاخص کشیدگی (وزن تأثیرگذاری: ۵ درصد)، بر همین مبنا و با تلفیق نتیجه یادشده در محاسبات حاصل از میزان تابش نور خورشید، میانگین دریافت انرژی خورشیدی در ماه‌های سرد سال براساس اولویت جهت قرارگیری (بیشترین تاثیرگذاری)، طبق جدول (۲) احصاء و در سنجش پتانسیل اجرای «طراحی اقلیمی» بر مبنای ویژگی‌ها استفاده شده است.

جدول ۲. میانگین دریافت انرژی خورشیدی در ماه‌های سرد سال براساس جهت قرارگیری

جهت‌گیری	غرب	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	جنوب
میانگین دریافت انرژی خورشیدی در ماه‌های سرد سال بر حسب Kwh/m^2	۶٫۴	۶٫۹	۷٫۳	۷٫۶	۷٫۸	۷٫۹	۸	۷٫۹	۷٫۸	۷٫۷
جهت‌گیری	جنوب	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	شرق
میانگین دریافت انرژی خورشیدی در ماه‌های سرد سال بر حسب Kwh/m^2	۷٫۷	۷٫۶	۷٫۴	۷٫۱	۶٫۸	۶٫۴	۶	۵٫۵	۵٫۸	۵٫۸

برای دست‌یابی به منطق طراحی اقلیمی در گردآوری و تدوین متغیرهای مسئله، برای ساخت مجموعه دادهٔ مورد نیاز برای تجزیه‌وتحلیل ابعاد مسئله، عوامل تأثیرگذار در دو طیف مشخصه‌های ثابت و قابل تغییر تقسیم‌بندی شدند که برخی عوامل برگرفته از وضعیت زمین و پلاک مسکونی حاصل از تقسیمات شهرسازی بوده و با وجود اهمیت بسیار و نقش کلیدی، غیرقابل تغییر هستند؛ این عوامل با عنوان معیارهای ثابت معرفی و استفاده می‌شوند (مواردی از جمله ابعاد زمین، محل قرارگیری، ارتفاع و ...). این موضوع برخلاف آن چیزی است که دربارهٔ مشخصه‌های قابل تغییر از بُعد معماری ساختمان مسکونی (مواردی از جمله سطح بازشوها، محل قرارگیری بازشوها، عایق‌بندی، وضعیت جداره‌ها، مصالح استفاده‌شده و ...) مطرح می‌شوند. لازم به یادآوری است رعایت مقررات ملی ساختمان از منظر مبحث صرفه‌جویی در مصرف انرژی (مبحث ۱۹) نیز مد نظر قرار گرفته است. معیارهای منتخب برای تعیین ویژگی‌های محیطی و تشکیل مجموعه داده که متأثر از مفاهیم طراحی اقلیمی بنا و ترکیب آن با تأمین شرایط آسایش محیطی و رعایت قوانین معماری ساختمان انجام شده است، در جدول (۳) نشان داده شده است.

پس از نهایی سازی ویژگی‌های محیطی (مشتمل بر ۲۰ مشخصه پوستهٔ خارجی و ۱۵ مشخصهٔ طراحی اقلیمی) در مجموعه داده موردنظر، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز با استفاده ترکیبی از نرم افزار ArcGIS (تأکید بر وابستگی اطلاعات توصیفی به مختصات جغرافیایی و تأثیرگذاری مختصات بر بهره‌مندی از انرژی تابشی خورشیدی) و اطلاعات نقشه‌های هوایی شهر زنجان، همچنین گردآوری و اعتباردهی میدانی اطلاعات نمونه‌برداری شده مشتمل بر ۱۰۰ نمونه ساختمان مسکونی در ۱۰ منطقه مسکونی منتخب انجام شد که در گام نخست بالغ بر ۳۵۰۰ فیلد اطلاعاتی پیش پردازش شده، تولید شد.

جدول ۳. معیارهای کلی برای تعیین ویژگی‌های محیطی- کالبدی و تشکیل مجموعه داده

ابعاد کلی زمین	وضعیت ایوان، تراس و بالکن
زاویه بنا با افق	مصالح و وضعیت نما
وضعیت حجم، سطح پوسته و محیط پیرامونی	محل قرارگیری راه‌پله
ارتفاع	مساحت فضای کنترل‌نشده
مساحت نورگذرها و بازشوها	مساحت فضای کنترل‌شده

۳-۳. اعتباریابی

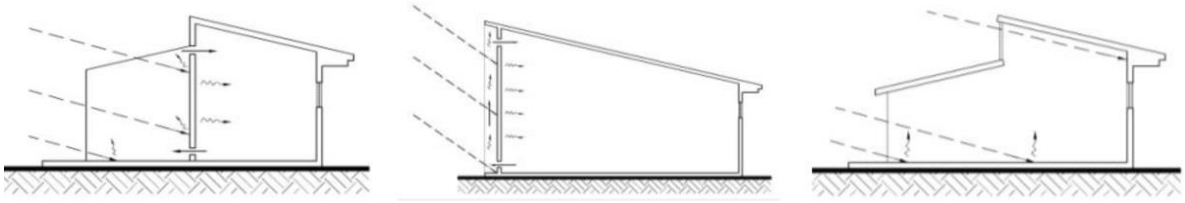
مدل‌های پیش‌بینی مدنظر در داده‌های دارای وابستگی جست‌وجو کرده و الگوهای موجود را برای پیش‌بینی رفتار داده‌ها در موقعیت‌های جدید کشف خواهند کرد. برای سنجش درستی عملکرد مدل پیش‌بینی‌کننده از جداسازی داده‌هایی که از نتایج آن‌ها آگاهی وجود دارد، با هدف ارزیابی عملکرد مدل ساخته‌شده در آینده، استفاده می‌شود. با توجه به اینکه یکی از معمول‌ترین نسبت‌های تفکیک داده‌های آموزشی و آزمایشی نسبت ۷۰ (یادگیری) به ۳۰ (تست) است، در فرایند جداسازی مجموعه داده از همین نسبت و

به‌شیوهٔ انتخابِ کلاس‌بندی‌شده / تصادفی (انتخاب متعادل) استفاده شده است. به این معنا که مجموعه دادهٔ مورد نظر در مرحلهٔ پیاده‌سازی برای ساخت مدل پیش‌بینی مدنظر، در دو بخش داده‌های آموزشی و داده‌های آزمایشی با نسبت ۷۰ به ۳۰ با عملگر ماکرو در نرم‌افزار رپیدماینر[1] تقسیم‌بندی و برای انجام عملیات اعتبارسنجی برچسب‌گذاری شده است. اهمیت این موضوع به علت تأثیرگذاری عملکرد مدل با تغییر مجموعه داده ورودی بیشتر احساس می‌شود. بر همین مبنا و برای درک بهتر وابستگی نتایج به وضعیت مجموعهٔ داده ورودی ارزیابی‌های تکمیلی با اعمال محدودیت بر مجموعه داده در دو حالت تنها اطلاعات پوستهٔ خارجی ساختمان مسکونی و نیز وضعیت بهره‌مندی از انرژی خورشیدی انجام شد. با تأیید این وابستگی بر این موضوع صحه گذاشته شد که در صورت استفاده از مجموعه داده اولیه حجیم و دقیق، امکان افزایش سطح دقت پیش‌بینی‌ها علی‌رغم میزان مطلوب فعلی وجود خواهد داشت.

۳-۴. روش تحلیل داده‌ها

در طراحی اقلیمی، منبع اصلی تأمین انرژی، انرژی خورشیدی بوده و روش‌های طراحی ساختمان‌ها براساس دریافت مستقیم از انرژی خورشید هستند. در اصول بنیادین طراحی اقلیمی که چارچوب این پژوهش نیز بدان معتقد است برنامه‌ای برای استفاده از وسایل مکانیکی و الکتریکی برای تأمین انرژی مورد نیاز برای تأمین آسایش ساکنین ساختمان مسکونی وجود ندارد. در واقع بدون هزینهٔ جانبی خودِ تودهٔ ساختمان و نیز اجزاء آن، مسئولیت دریافت و حفظ انرژی خورشیدی را برای رفع نیازهای ساکنین بر عهده دارد. از جمله اصلی‌ترین روش‌های استفاده از انرژی غیرفعال خورشیدی که بررسی پتانسیل ساختمان‌های مسکونی از حیث امکان اجرای بهسازی اقلیمی مبتنی‌بر آن‌ها استوار است، عبارتند از: (۱) سیستم جذب مستقیم، (۲) استفاده از دیوار ترومپ و (۳) ایجاد فضای (گلخانه) خورشیدی.

به زبان ساده سیستم جذب مستقیم نوعی سیستم گرمایشی ایستا است که از پنجره‌های رو به جنوب تشکیل شده و در زمستان با هدایت مستقیم نور خورشید به داخل ساختمان، این انرژی را با مصالحی با جرم حرارتی بالا، جذب می‌کند. دیوار ترومب نیز یک دیوار ذخیره‌ساز حرارتی است که از یک دیوار تیره رنگِ عموماً رو به جنوب و از جنس مصالح بنایی ساخته می‌شود، تشکیل شده است. دیوار ترومب بیشتر با شیشه‌های عمودی پوشانده می‌شود. فضای خورشیدی فراهم‌آورنده مجالی چندکاره و تطبیق‌پذیر برای گرمایش سامانه خورشیدی غیرفعال است که به‌عنوان جزئی از ساختمان نوساز و یا واحدی اضافه‌شده به ساختمان قدیمی با نصب پنجره‌های عمودی دارای شیشه‌های صاف و روشن در نظر گرفته می‌شود. روش‌های اشاره‌شده دربارهٔ استفاده از انرژی غیرفعال خورشیدی در شکل (۵) نشان داده شده است.



(الف) (ب) (ج)

شکل ۵. روش‌های استفاده از انرژی غیرفعال خورشیدی، (الف) سیستم جذب مستقیم، (ب) دیوار ترومپ و (ج) فضای خورشیدی

در یک نگاه سیستمی به موضوع بحث و با هدف سنجش و بررسی ورودی و خروجی انرژی، مفهومی با عنوان «برچسب انرژی اقلیمی» را محقق تعریف کرده که در امتداد مفهوم رایج «برچسب انرژی» که در چند سال اخیر برای ساختمان‌ها در حال تعریف و پیاده‌سازی است، قرار می‌گیرد. در این کار پژوهشی این اصطلاح پیشنهادی به اختصار سی.ای.ال[2] نامیده شده است. برخلاف برچسب عادی انرژی ساختمان که با محاسبهٔ انرژی مصرفی ساکنان آن سنجیده می‌شود، در برچسب انرژی اقلیمی توانایی ساختمان مسکونی در جذب و استفاده از انرژی خورشید و نیز بهسازی برای جذب بیشتر این انرژی بحث می‌شود. به زبان ساده مفهوم برچسب

1. Rapid Miner
2. Climate Energy Label (CEL)

انرژی اقلیمی نسبت مجموع انرژی دریافت شده از خورشید به مساحت مفید ساختمان مسکونی (فضای کنترل شده) تعریف شده است.

$$CEL = \frac{\sum E_c}{A}$$

$\sum E_c$: مجموع انرژی دریافت‌شده از خورشید

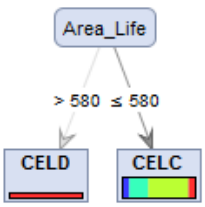
A : مساحت مفید ساختمان مسکونی یا فضای کنترل شده

سطح‌بندی انجام شده برای سنجش برچسب انرژی اقلیمی در چهار سطح (خوب: CELA، مناسب: CELB، متوسط: CELC و پایین: CELD) انجام شده است. بی‌تردید هر چه بهسازی پیشنهادی به افزایش برچسب انرژی اقلیمی در یک ساختمان منجر شود، مطلوبیت بیشتری خواهد داشت.

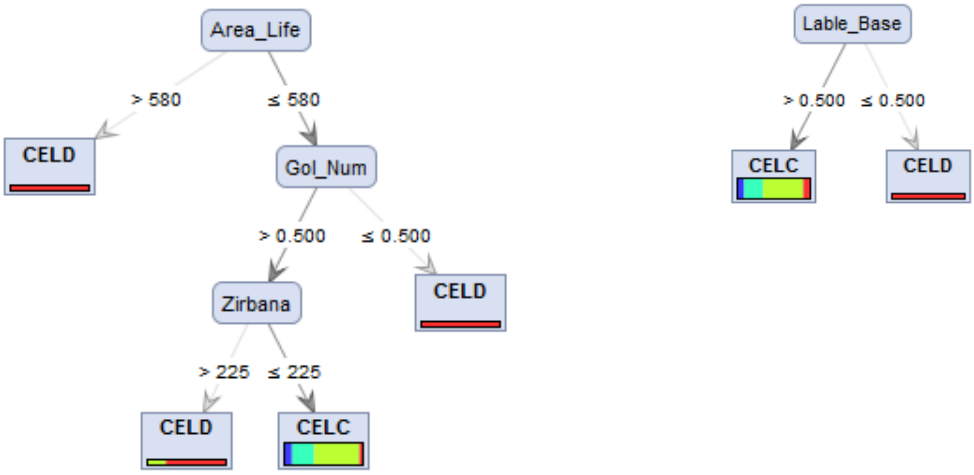
با توجه به پیچیده بودن محاسبه و ارتقاء سطح این معیار و وابستگی آن به عوامل تومانی از جمله اقلیم، مختصات جغرافیایی، مشخصه‌های ساختمان، مصرف، سطح آسایش مورد نیاز و ... نیازمند سیستمی هستیم که در سطوح مختلف بتواند پشتیبان تصمیمات و پیش‌بینی‌کنندهٔ وضعیت نتایج نهایی مورد نیاز باشد. در این مرحله هدف ساخت یک مدل پیش‌بینی است به‌نحوی که بتواند با الگویابی از رفتار داده‌ها و درنهایت اعتبارسنجی مدل، قواعد پنهان موجود در آن‌ها را برای گرفتن یک تصمیم درست استخراج کند. مدل‌های پیش‌بینی استفاده‌شده بر مبنای توانایی در تولید قواعد موردنیاز و نیز پُرکاربرد بودن آن‌ها انجام شده و هر سه از نوع قیاسی (دسته‌بندی) هستند. سه مدل استفاده‌شده برای دستیابی به این هدف عبارتند از: (۱) درخت تصمیم، (۲) قوانین انجمنی و (۳) قانون بیز. در ادامه مدل‌سازی حاصل از اِعمال هر یک از این مدل‌های پیش‌بینی بر مجموعهٔ داده مورد نظر ارائه شده است. در پژوهش حاضر از رپیدماینر ۲۰۱۶ نسخهٔ ۷٫۱ که یک ابزار داده‌کاوی متن‌باز است برای مدلسازی مجموعه داده مستخرج از اطلاعات ساختمان‌های مسکونی شهر زنجان استفاده شده است.

۳-٤-۱. مدل درخت تصمیم

درخت تصمیم یکی از قدیمی‌ترین و مشهورترین روش‌های ساخت مدل دسته‌بندی است. در الگوریتم‌های دسته‌بندی مبتنی‌بر درخت تصمیم دانش خروجی به‌شکل یک درخت از حالات مختلف مقادیر ویژگی‌ها ارائه می‌شود. لازم به یادآوری است که درخت تصمیم رسم‌شده برای یک مجموعه داده، لزوماً واحد و یکتا نیست. در حالت ایده‌آل باید در میان ویژگی‌های موجود مواردی که خاصیت جداکنندگی بیشتری دارند انتخاب شوند تا اطلاعات بیشتری از داده‌ها استخراج شده و به‌تبع آن قواعد با کیفیتی تولید کرد (صنیعی آباده، و دیگران، ۱۳۹۸). بخشی از نتایج حاصل از تولید قواعد تصمیم‌گیری که با این روش مدل‌سازی با نرم‌افزار رپیدماینر انجام شده، در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است شکست اتفاق افتاده از نوع همگن با میزان ناخالصی پایین است. در ساده‌ترین بیان در درخت تصمیم با حرکت از ریشه به برگ یک قانون تولید می‌شود.



(الف)



(ج) (ب)

شکل ۶. مدل‌سازی مجموعه داده با مدل درخت تصمیم با نرم افزار رپیدماینر، (الف) بر مبنای پوستهٔ خارجی، (ب) بر مبنای محاسبات انرژی و (ج) تأثیر هم‌زمان معیارهای مبتنی‌بر پوستهٔ خارجی و محاسبات انرژی

در واقع در الگوریتم درخت تصمیم بر مبنای محاسبهٔ وضعیت معیاری خاص، میزان اطلاعاتی که ویژگی می‌تواند در اختیار آن معیار قرار دهد سنجیده شده و ملاک شاخه‌زدن‌های بعدی درخت قرار می‌گیرد. لازم به یادآوری است که تنظیم مقدار این معیار بر عمق درخت تاثیر خواهد داشت.

۳-٤-۲. مدل قوانین انجمنی

در مدل دسته‌بندی بر مبنای قوانین انجمنی، دانش خروجی به‌شکل یک مجموعه از قوانین اگر – آنگاه نشان داده می‌شود. در این روش هر «قانون» یک بخش «شرایط» و یک بخش «نتیجه» دارد که به شکل‌گیری آن کمک می‌کنند. در حالت کلی دو روش برای ساخت مجموعه قوانین در این روش مدلسازی وجود دارد. روش مستقیم استخراج قوانین از مجموعه داده و روش غیر مستقیم که از یک روش مدل‌ساز واسط استفاده می‌کند (صنیعی آباده، و دیگران، ۱۳۹۸). در اینجا با هدف پرهیز از تأثیرگذاری نتایج روش‌های مدل‌سازی بر یکدیگر از روش مستقیم استفاده شده است. نمونه‌ای از قواعد حاصل از مدل‌سازی مجموعه داده با مدل قوانین انجمنی مستخرج از نرم افزار رپیدماینر عبارتند از:

if Lable_Golkhane ≤ 0.500 and Egol_Tul > 131 then CELC

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

۳-٤-۳. مدل نظریهٔ بیز

روش مدلسازی مبتنی‌بر رابطه بیز از یک چهارچوب احتمالی برای حل مسئلهٔ دسته‌بندی و در ادامه پیش‌بینی مسئله استفاده می‌کند. در نظریهٔ بیز در صورت برقرار بودن احتمالات شرطی رابطه (۱) آنگاه رابطه (۲) برقرار خواهد بود:

$$P(C|A) = \frac{P(A,C)}{P(A)}, P(A|C) = \frac{P(A,C)}{P(C)} \quad (۱)$$

$$P(C|A) = \frac{P(A|C)P(C)}{P(A)} \quad (۲)$$

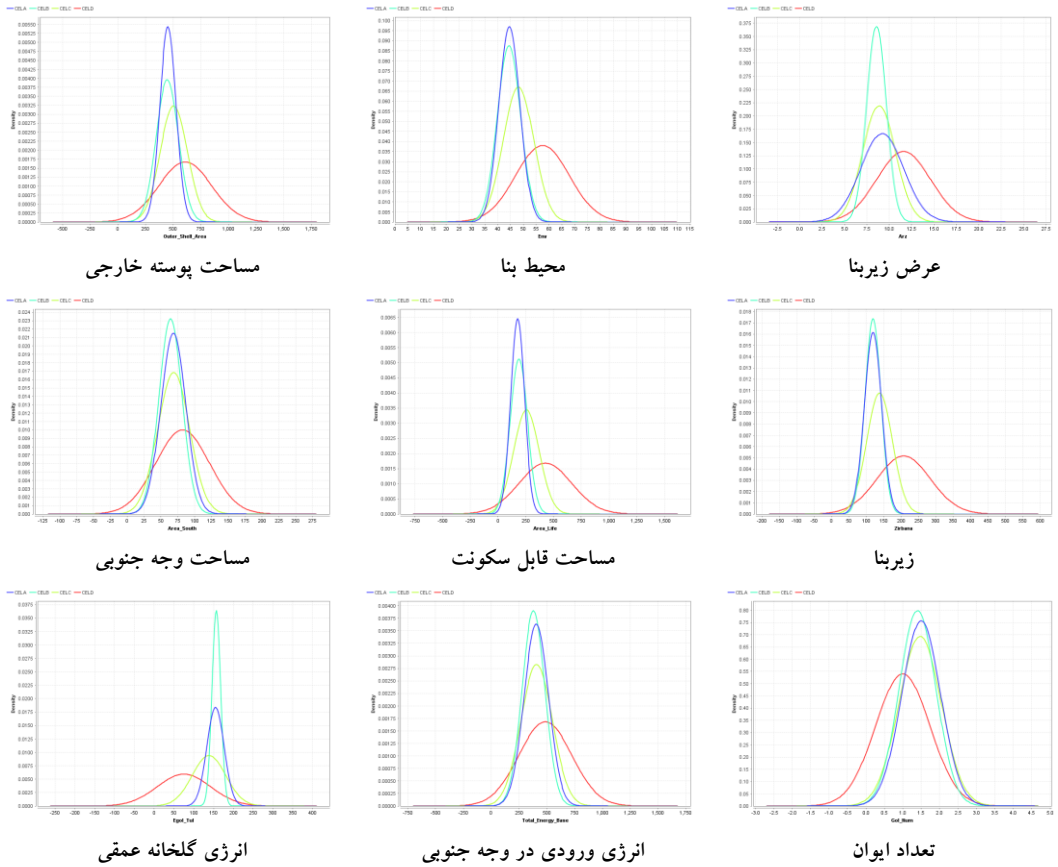
در واقع این روش به‌دنبال یافتن دسته‌ای در مجموعه داده است که احتمال مطرح در رابطهٔ (۲) را بیشینه کند (صنیعی آباده، و دیگران، ۱۳۹۸). لازم به یادآوری است که در محاسبات احتمالی انجام‌شده در این روش از میانگین و واریانس مقادیر ویژگی‌ها استفاده می‌شود. بی‌تردید ضرایب احتمالی حاصل با اِعمال تغییرات در مجموعه داده متفاوت خواهد بود. در یکی از مجموعه داده‌های ارائه‌شده به این روش مدل‌سازی ضرایب نسبی احتمالی برای دسته‌های برچسب اقلیمی انرژی مطابق با جدول (۴) محاسبه شد.

جدول ۴. ضرایب نسبی احتمالی حاصل از مدل‌سازی با روش نظریهٔ بیز

CELD	CELC	CELB	CELA
12	53	25	10

٤. یافته‌های پژوهش

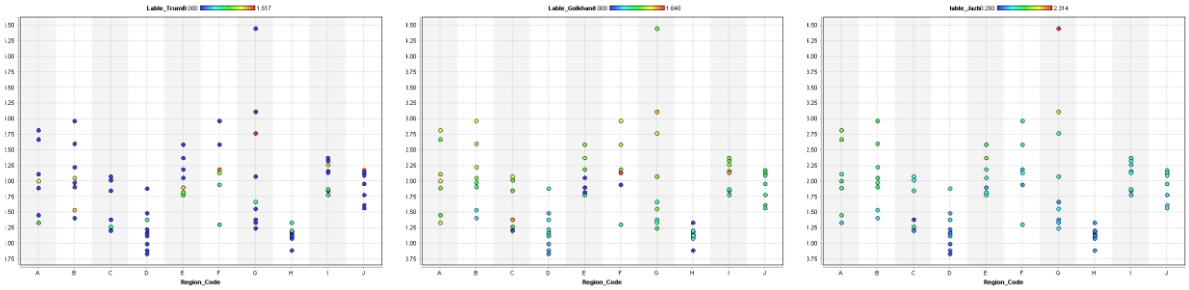
پس از اِعمال روش‌های مدل‌سازی بر مجموعه داده مورد نظر با بررسی ۲۰ مشخصهٔ پوستهٔ خارجی و ۱۵ مشخصهٔ طراحی اقلیمی و استخراج اولین نتایج، با تحلیل و بررسی بر مبنای بیشترین قدرت تفکیک و تشکیل دسته‌های اطلاعاتی، معیارهایی با بیشترین تاثیرگذاری در تشخیص برچسب اقلیمی انرژی بر مبنای اطلاعات شکل (۵) با عنوان‌های (عرض زیربنا، محیط بنا، مساحت پوستهٔ خارجی، زیربنا، مساحت قابل سکونت، مساحت وجه جنوبی، تعداد ایوان، انرژی ورودی در نمای جنوبی، انرژی گلخانه عمقی) شناسایی شد. بی‌تردید در بازنویسی قواعد مورد نیاز برای سیستم خبرهٔ پیشنهادی این معیارها بیشترین نقش را با بالاترین اولویت خواهند داشت.



شکل ۵. معیارهای با بیشترین تأثیرگذاری در تشخیص برچسب اقلیمی انرژی

با تحلیل انجام‌شده بر امکان‌سنجی اجرای روش‌های انرژی غیرفعال خورشیدی مشخص شد در بین مناطق دهگانهٔبررسی به‌ترتیب روش گلخانهٔ خورشیدی در اولویت قرار داشته و پس از آن روش‌های جذب مستقیم و اجرای دیوار ترومب در اولویت‌های

بعدی قرار می‌گیرند (شکل ۶). لازم به یادآوری است که در هر یک از یافته‌های مذکور اطلاعات تکمیلی ناشی از اولویت انجام‌شده بر مبنای سایر معیارهای مرتبط نیز حاصل شده که قابلیت استفاده در ارائهٔ توصیه‌های طراحی سیستم خبرهٔ مورد نظر را خواهند داشت.

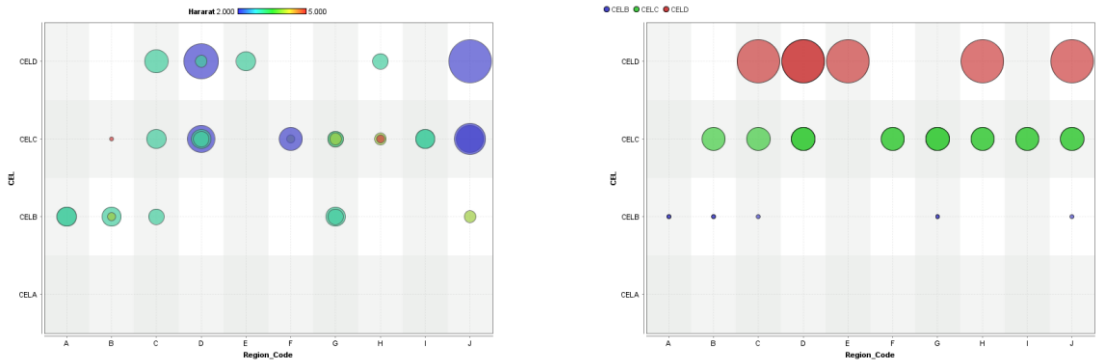


جذب مستقیم　　گلخانه خورشیدی　　دیوار ترومب

شکل ۶. امکان‌سنجی وضعیت اجرای روش‌های غیرفعال خورشیدی در مناطق ده‌گانه

در ادامه ابتدا بررسی تحلیلی وضعیت مناطق ده‌گانه از منظر پتانسیل بهسازی اقلیمی انجام شد که بر مبنای نتایج حاصل از آن مشخص شده هیچ یک از مناطق از نظر توانایی حداکثری در جذب انرژی خورشیدی در دستهٔ برچسب CELA قرار نمی‌گیرند. پنج منطقهٔ A، B، C، G و J دارای بهترین وضعیت از لحاظ قرارگیری در ردهٔ برچسب CELB قرار گرفتند که با توجه به همپوشانی مناطق C و J؛ مناطق A، B و G از نظر توانایی در جذب انرژی خورشیدی با نگاهی جامع مناسب هستند (شکل ۷ – الف).

علاوه بر موضوع جذب انرژی، به تأثیر هدررفت انرژی نیز پرداخته شده است که در این دیدگاه وضعیت مناطق مسکونی موردنظر بر مبنای میزان انرژی هدررفتهٔ بررسی‌شده هم‌زمان با وضعیت برچسب انرژی اقلیمی‌شان قرار گرفتند که در این حالت مناطق D، F و J وضعیت نسبتاً مناسبی دارند که با توجه به CEL پایین‌تر در اولویت قرار نگرفته و مناطق A و G در شرایط مناسب‌تری قرار می‌گیرند (شکل ۷ – ب).



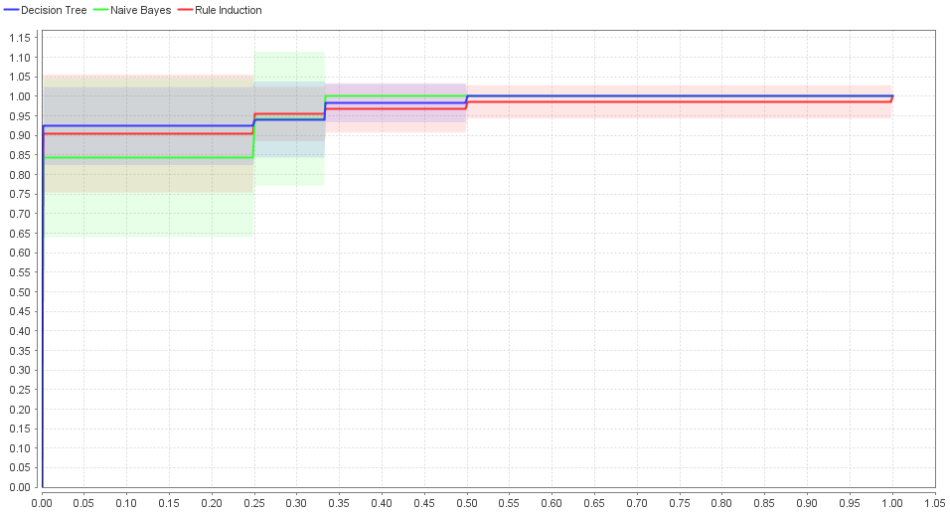
(ب)　　(الف)

شکل ۷. (الف) پتانسیل مناطق ده‌گانه از منظر بهسازی اقلیمی، (ب) تأثیر هم‌زمان معیارهای هدر رفت انرژی بر پتاسیل بهسازی اقلیمی

همان‌گونه که اشاره شد، علاوه بر نتایج تحلیلی حاصل از بررسی هم‌زمان تأثیرات معیارها و زیرمعیارها، ریز اطلاعات بسیاری نیز استخراج شد که در گرفتن تصمیمات استراتژیک شهرسازی یا ساخت توصیه‌های طراحی می‌تواند ارزشمند باشد؛ از جمله پراکنش و نوع مصالح به‌کار رفته در نمای ساختمان‌ها، ترکیبات رنگ‌بندی استفاده‌شده، محل و ابعاد قرارگیری فضاهای ارتباطی و ... .

همان‌گونه که در بخش‌های قبل تحلیل شد، مقرر است که مدل پیش‌بینی در داده‌های حجم زیاد و دارای وابستگی جست‌جو کرده و الگوهای موجود را برای پیش‌بینی رفتار داده‌ها در موقعیت‌های جدید کشف کند. برای سنجش درستی عملکرد مدل پیش‌بینی‌کننده از جداسازی داده‌هایی که از نتایج آن‌ها آگاهی وجود دارد، با هدف ارزیابی عملکرد مدل ساخته شده در آینده، استفاده می شود. با توجه به اینکه یکی از معمول‌ترین نسبت‌های تفکیک داده‌های آموزشی و آزمایشی نسبت ۷۰ (یادگیری) به ۳۰ (تست)

است که در شرح اعتباریابی نیز بدان اشاره شد، در فرایند جداسازی مجموعه داده از همین نسبت و به‌روش انتخابِ کلاس‌بندی‌شده / تصادفی (انتخاب متعادل) استفاده شده است. اهمیت این موضوع به علت تأثیرگذاری عملکرد مدل با تغییر مجموعه داده ورودی بیشتر احساس می‌شود. برای مقایسهٔ مدل‌سازی‌های انجام‌شده (بر مبنای الگوی یادگیری تشریح‌شده) و در نتیجهٔ آن انتخاب بهترین مدل‌ساز از نظر عملکرد در مجموعه دادهٔ مورد نظر، اقدام به مقایسهٔ دیداری مدل‌ها با استفاده از نمودار ROC شد (شکل ۸). لازم به یادآوری است که منحنی‌های ROC میزان عملکرد خوب مدل‌های یادگیری ماشین را نشان می‌دهند که این مقدار را با دو نرخ مثبت صحیح و نرخ مثبت غلط با بازه‌های اطمینانی مختلف با رسم نسبت آن‌ها به دست می‌آورند. بر مبنای اطلاعات مستخرج از نمودار ROC اولویت‌بندی مدل‌های استفاده‌شده و در نتیجهٔ آن وزن‌دهی به قوانین حاصل از این مدل‌ها قابل انجام است. نتایج حاصل علاوه‌بر اولویت‌بندی مشخصه‌ها در قدرت تفکیکِ ساختمند فضای مسئله و تأثیرگذاری مثبت در زنجیره‌های استنتاجی رو به جلوی استفاده شده در موتور استنتاج سیستم خبرهٔ پیشنهادی، عملکرد مناسبی (با ضریب اطمینان بالای ۸۵ در صد) را تولید کردند که نشان‌دهندهٔ دقت مورد قبول مدل‌های پیش‌بینی و نیز تضمین ضمنی دقت قواعد حاصل از آن‌ها در تشکیل پایگاه داده استنتاجی و تولید توصیه‌های طراحی در مسئله‌ای با پیچیدگی بالا دارد.



شکل ۸. مقایسهٔ عملکرد خوب مدل‌های یادگیری استفاده‌شده

۵. نتیجه‌گیری

ورود تکنولوژی و ایده‌های نوین به معماری اقلیمی در سال‌های اخیر در کانون توجه قرار گرفته، اما محدودیت‌های اجرایی و نیز هزینه‌های تحمیل‌شده برای استقرار تکنولوژی، مانع عملیاتی شدن این ایده‌ها به‌ویژه در سطح وسیع شده است. با توجه به اینکه عواملی از جمله موارد کاربرد، اقتصاد، سیاست، قانون‌گذاری‌ها، و موضوعات اجتماعی در کنار مبحث تغییرات اقلیمی همگی بر طراحی ساختمان در بلند مدت بسیار تأثیرگذار بوده‌اند، همواره بی‌ثباتی و نیز پذیرش تغییرات احتمالی آتی در فرایند مدیریت مصرف انرژی ساختمان در هر روش پیشنهادی از ابتدا قابل پیش‌بینی است.

آن‌چه پژوهش حاضر به عنوان مسئله و دغدغهٔ اصلی خود پیگیری کرده، کمک به بهسازی یک ساختمان مسکونی با درنظرگرفتن وضعیت اقلیمی (مختصات مکانی) محل استقرار آن، با هدف مدیریت انرژی مورد نیاز برای حفظ و ایجاد شرایط آسایش محیطی در آن است. در صورت داشتن دیدگاهی سلسله مراتبی به مسئله، این موضوع در قالب ایجاد دانشی مدیریت‌شده در دو سطح «سیاست‌گذاری» به معنای استفاده در تصمیم‌گیری‌های شهرسازی و نیز سطح «فنی و تخصصی» به‌معنای استفاده در تصمیم‌گیری‌های معماری ساختمان‌های مسکونی قابل ارائه و استفاده است. با وجود تفاوت‌های کاربردی و نیز گسترهٔ اجرایی این دو سطح، در حالت کلی مدیریت دانش انجام‌شده به‌صورت ایجاد پایگاه دانشی تعاملی پیشنهاد شده است که همانا پایگاه دانش سیستم خبرهٔ مورد نظر را تشکیل داده است. بر مبنای فرایند پایگاه دانش ساخته شده در مجموعه دادهٔ منطقهٔ مطالعه اولویت منطقه‌ای برای

انجام بهسازی اقلیمی (گرفتن تصمیم استراتژیک)، همچنین استفاده در طراحی سایت پلان‌های مرحلهٔ شهرسازی، و نیز اولویت‌گذاری در مشخصه‌های معماری پوسته خارجی یک ساختمان مسکونی قابلیت استخراج دارد.

از جمله موضوعاتی که پژوهش موفق به طرح آن‌ها شده عبارتند از: ترکیب مفاهیم اقلیم، آسایش و انرژی، و ارائهٔ اصطلاح جدیدی با عنوان برچسب اقلیمی انرژی بر مبنای پتانسیل جذب انرژی خورشیدی در یک ساختمان مسکونی بر مبنای آن‌ها، و در نهایت امکان استخراج قواعد پایگاه دانش سیستم خبره با الگویابی از نتایج داده‌کاوی انجام‌شده روی مجموعه دادهٔ مورد نظر با بالاترین میزان اعتبار در خروجی زنجیره‌های پیش‌رونده.

۶. سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از کلیه افرادی که در انجام پژوهش حاضر به هر نحوی همکاری کرده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

۷. فهرست منابع

استاندارد ملی شماره ۱۴۲۵۳. (۱۴۰۱). تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی. سازمان ملی استاندارد ایران.

پیرنیا، م. ک. (۱۳۹۲)، سبک‌شناسی معماری ایرانی. نشر غلامحسین معماریان.

دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۹). مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران صرفه جویی در مصرف انرژی.

زارع‌گل‌آخور، ف.، و اعظمی، ا.ا.، (۱۳۹۶)، طراحی مجموعه ویلایی خورشیدی پایدار در اقلیم سرد و خشک شهرک ولیعصر مرند. کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر.

زارعی، م.، خادمی و زارع، ح. (۱۳۹۲). بهینه‌یابی سبد مصرف انرژی و خوشه‌بندی ساختمان‌های مسکونی با بهبود شبکه عصبی فازی با اوزان و معماری AHP. پژوهش‌های مدیریت عمومی، ۶(۱۹)، ۱۲۹-۱۵۲.

جهانبخش، ح.، و غفارزاده، آ.، (۱۳۹۶). بررسی رابطه و میزان تاثیر تابش خورشیدی بر بدنه ساختمان در تعیین جهت گیری بنا با هدف کاهش مصرف انرژی. نشریه انرژی ایران، ۲۰(۲)، ۸۵-۱۱۰.

حیدری، م.ج.، پورمحمدی م.ر. (۱۳۹۱)، ارزیابی زیست اقلیم انسانی شهر زنجان و نقش آن در طراحی مسکن. فصلنامه علمی - پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۴(۲)، ۸۳-۱۰۱.

صفائی، ب. (۱۳۹۴). شناسایی سیستم‌های منفعل خورشیدی کارآمد در اقلیم سرد و خشک. دومین کنفرانس بین المللی انسان، معماری و شهر (ICOHACC).

صنیعی آباده، م.، محمودی، س.، و طاهرپرور، م. (۱۳۹۸). داده کاوی کاربردی. نیاز دانش، ۲(۴)، ۵۳۶ صفحه.

عابدی، ش. و حنائی، ت. (۱۳۹۵). تحلیل اصول طراحی همساز با اقلیم در راستای حفظ توسعه پایدار. کنگره بین المللی عمران، معماری و شهرسازی معاصر جهان.

کسمائی، م. (۱۳۷۱). پهنه بندی اقلیمی ایران – مسکن و محیطهای مسکونی. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

محمدی، ک.، و ثبوتی، ه.، (۱۳۹۵). بهینه‌سازی مصرف انرژی با الگوبرداری از عناصر سنتی اقلیمی معماری ایران. پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی.

هاشمی، ف.، و حیدری، ش. (۱۳۹۸)، بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی اقلیم سرد - نمونه موردی اردبیل. کارنامه شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، ۳، ۵۴-۶۸.

هیئت وزیران. (۱۴۰۰). مصوبه ضوابط صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها. ابلاغی معاون اول رئیس جمهور. شماره ۹۳۸۷۶/ت۵۷۹۲۶ه.

Abdelfettah, M. Ghalem, B. & Mahmoudi, S. (2023). A Location-based Fog Computing Optimization of Energy Management in Smart Buildings: DEVS Modeling and Design of Connected Objects. *Frontiers of Computer Science*, *17*, 172501.

Abedi, Sh. & hanayee, T. (2016). Analysis of principles of sustainable design with climate in order to sustain sustainable development. *International Congress on Civil Engineering, Architecture, Building Materials and Environment*. [In Persian]

Asghari, A. R. Gavagani, R. & Maleki, A. (2019). Investigating the role of passive solar systems in zero energy urban buildings, for comfort and reducing energy consumption. *scientific and research quarterly of new attitudes in human geography*, *13* (2), 771 -751.

Babaa, S. AlRawahi, M. & Subramanian, A. (2022). Smart Building Design to Improve the Energy Consumption at an Office Room. *Smart Grid and Renewable Energy, 13*, 209-221.

Blume, S. Herrmann, C. & Thiede, S. (2018). Increasing Resource Efficiency of Manufacturing Systems using a Knowledge-Based System, *Procedia CIRP, 69*, 236-241.

Department of ministers. (1400). Regulations of energy saving criteria in buildings. No. 93876/t57926h. [In Persian]

Hashemi, F., & Heydari, S.H. (2019). Optimization of energy consumption in cold climate residential buildings - case study (Ardabil city). *Saffe*, Vol. 22, No. 1, pp. 75-86. [In Persian]

Heydari, M.J & Pourmohammadi, M.R. (2012). Evaluation of human bioclimatic of zanjan and its role in housing design, *New attitudes in human geography*, Vol. 4, No. 2, pp. 83-101. [In Persian]

Jahanbakhsh, H. & Ghafarzadeh, A. (2017). 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. [In Persian]

Javadi Nodeh, M. & Sarabi, M. (2022). Typology of physical components corresponding to cold climate in native architecture. *New Perspectives in Human Geography*, 14(4), 141-168.

Kasmayee, M. (1991). Iran climatic zoning. *Research centre of housing and urban planning*, Vol. 1, 514. [In Persian]

Koebel, M.M. Wernery, J. & Malfait, W.J. (2017). Energy in Buildings-Policy, Materials and Solutions. *MRS Energy & Sustainability, 4*,4-12.

Maatoug, A. Belalem, G. & Mahmoudi, S. (2023). A Location-Based Fog Computing Optimization of Energy Management in Smart Buildings: Devs Modeling and Design of Connected Objects. *Frontiers of Computer Science, 17*, 17-25.

Mohammadi, k. & Sobouti, H. (2016). Energy consumption optimization using traditional climatic elements of iranian architecture. *Modern Research in Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment*, pp. 91-104. [In Persian]

Mohammad, S. & Bahman, A. M. (2024). Assessing residential sustainable energy autonomous buildings for hot climate application. *Journal of Cleaner Production*, 471.

Mousavi, S.N. & Gheibi, M. (2023). Energy Low-energy residential building optimisation for energy and comfort enhancement in semi-arid climate conditions. *Conversion and Management*, 291, 117264.

Mpelogianni, V. Giannousakis, K. & Kontouras, V. (2019). Methods Based on Fuzzy Logic and Expert Methods based on Fuzzy Logic and Expert Intelligence. *IFAC, 52*, 519-522.

National building regulations office. (2020). 19th discussion-Saving energy. *Ministry of roads & urban development deputy for housing & construction* . [In Persian]

National standard of Iran - Num: 14253. (1401). *Determine the energy consumption criterion and the energy label instruction*. Iran national standards organization. [In Persian]

Pirnia, M.K. (2012). Iranian architectural stylistics. *published by Gholamhossein Memarian*, Vol. 1, No. 1, 600. [In Persian]

Pitskhelauri, M. & Jishkariani, M. (2023). Application of Graphic Neuro-Fuzzy Designer in Energy Management. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET), 12*(1).

Pruvost, H. Wilde, A. & Enge-Rosenblatt, O. (2022). *Ontology-based Expert System for Automated Monitoring of Building Energy Systems*. ASCE.

Safaee, B. (2005). Recognition of efficient passive solar systems in cold and dry climate, *ICOHACC*. [In Persian]

Saniee Abade, M. & Mahmoudi, S. (2015). Applied data mining. *Niaz Danesh Publications*, Vol. 2, No. 4, 536. [In Persian]

Scheller, F. Wiese, F. & Weinand, J. M. (2021). An Expert Survey to Assess the Current Status and Future Challenges of Energy System Analysis. *Smart Energy, 4*, 57-100.

Zarei, M., & Khademi zare, H. (2014). Energy consumption basket optimization and residential buildings clustering by fuzzy improvement by ahp architecture and weights. *Public management researches*, Vol. 6, No. 19, pp. 129-152, https://doi.org/10.22111/jmr.2013.1262. [In Persian]

Zaregolakhour, F. & Azami. A.A. (2017). Design of sustainable solar bungalows in the cold and dry climate of valieasr of marand town. *International conference on civil, architecture and urban development of contemporary iran.* [In Persian]

Zhe, Ch. Fu, X. F. G. & Jinyue, Y. (2023). Interpretable Machine Learning for Building Energy Management: A State-of-the-Art Review. *Advances in Applied Energy*, *9* ,100-123.