

Original Research Article

Investigating the factors affecting electricity energy consumption using association rules in hot and dry regions

Alireza Sarsangi¹, Ara Toomanian^{2*}, Najmeh Neysani Samany², Majid Kiavarz², Mohammad Hossein Saraei³

¹PhD student in Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

²Associate Professor, Remote Sensing and GIS Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

³Professor, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran



10.22034/GRD.2025.22527.1640

Received:

December 21, 2024

Accepted:

April 14, 2025

Keywords:

Apriori, Spatial data mining, Urban texture, Energy consumption reduction, Sustainable urban design

Abstract

A deep understanding of the factors affecting electricity consumption is a necessary prerequisite for formulating efficient energy policies, improving consumption management, and reducing the environmental impacts of electricity generation. In this study, the data on household electricity consumption were collected over two-month periods from 2016 to 2019. Physical components including parcel area, building area, yard area, building height, urban texture type (new, historical, and dilapidated), and spatial configuration components such as local depth, control component, connectivity, and connectivity were estimated for each of the urban parcels (35361 parcels). Then, they were analyzed using the Apriori algorithm to identify the hidden relationships and patterns affecting electricity consumption. The results showed that factors such as building area, urban texture type, building height, control, and connectivity play an important role in determining electricity consumption. Furthermore, by extracting association rules, some combinations of features that increase or decrease electricity consumption were identified. Using this method can help to optimally manage the energy consumption in residential buildings and help responsible individuals and institutions reduce costs by improving their consumption behavior. Finally, this research emphasizes the benefits of using data mining algorithms in analyzing and predicting energy consumption. It also examines the limitations and challenges associated with using this method.

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



* Corresponding Author: Ara Toomanian

Address: Faculty of Geography, University of Tehran

Email: a.toomanian@ut.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Electricity is an essential input for all production systems and a necessity for all modern families. Hence, corresponding energy policies are needed to induce efficient electricity consumption in the residential sector in many countries. This is due to the effects of global warming and security of energy supply. Forecasting electricity demand at a regional or national level is crucial for planning to ensure optimal energy management. Various factors influence household consumption patterns. Factors such as employment rate, residential area, distance from green space, etc. affect electricity consumption. The purpose of this study is to investigate the impact of various factors on electricity consumption in residential places of Yazd City. The results of this study will be useful for making management decisions to plan the reduction of electricity consumption.

2. Research Methodology

The present study was conducted in the city of Yazd, which has a hot and dry climate and is extremely hot in the summer. The data on the electricity consumption of Yazd subscribers were obtained from the provincial electricity distribution company for the years 2016 to 2019. The data related to the city buildings, such as current use, building height, area, building shape, and building age, as well as streets, existing street widths, and the location of parks and green spaces, were obtained from the municipality. Spatial configuration indices including connectivity, depth, coherence and control were estimated. The urban physical parameters of the components of parcel area, building area, yard area, building height, and building volume were calculated. Then, association rules were used to examine the existing relationships. Spatial association rules are a set of rules that describe the relationships between different features in spatial data. These rules are capable of finding unknown relationships in spatial data. Spatial association rules indicate the implication of a set of features on another set of features in a spatial database. These rules are introduced to discover the rules between products in large-scale transactional data.

3. Results and discussion

Residential electricity consumption data were analyzed using Moran's spatial autocorrelation index and based on Euclidean distance. The results of the study of hot and cold spots in the residential electricity consumption of the study area showed that the distribution of electricity consumption in residential homes is asymmetrical. That is, the number of homes with very high electricity consumption is greater than that of homes with very low electricity consumption. In the present study, the Apriori algorithm was used. The Apriori algorithm is known as one of the main methods in data mining for discovering association rules. The results of the rule review using Apriori showed that, in rule one, buildings with a height of 5 to 8 meters located in a new urban context are most likely (93%) to have an annual electricity consumption of more than 3,500 units. According to rule two, buildings that are located in a new urban context and whose control is less than 1 are most likely (87%) to have an annual electricity consumption of more than 3,500 units. Based on rule three, buildings that are located in parcels with an area of 150 to 250 square meters and a local connectivity of 2-3 are most likely (74%) to have an annual electricity consumption of more than 3,500 units. As rule four suggests, buildings that are located in parcels with an area of 150 to 250 square meters and in a new urban context and with a yard area of less than 75 square meters are most likely (61%) to have an annual electricity consumption of more than 3,500 units.

4. Conclusion

Association rules are able to extract patterns that cannot be easily identified by traditional methods. They provide useful information for optimizing energy consumption. One of the major challenges in using association rules in big data is the need for time-consuming and resource-intensive processing, especially when the data are complex and contain a large number of features. Association rules are usually designed for discrete data, and, for numerical data, complex preprocessing such as converting the data to categorical values may be required. Also, the appropriate selection of parameters such as minimum support and confidence can be difficult and have a significant impact on the quality and applicability of the extracted results. It is suggested that future studies use hourly electricity consumption data if possible so that the effects of more factors can be examined.

مقاله پژوهشی

واکاوی عوامل مؤثر در مصرف انرژی الکتریسیته با استفاده از قوانین انجمنی (مطالعه موردی: شهر یزد)

علیرضا سرسنگی^۱، آرا تومانیان^{۲*}، نجمه نیسانی سامانی^۲، مجید کیاورز^۲، محمدحسین سرایی^۳

^۱ دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۲ دانشیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۳ استاد گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

doi 10.22034/GRD.2025.22527.1640

چکیده

درک عمیق از عوامل مؤثر بر مصرف برق، پیش‌نیازی ضروری برای تدوین سیاست‌های انرژی کارآمد، بهبود مدیریت مصرف و کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید برق است. هدف از این تحقیق بررسی عوامل مؤثر بر مصرف برق منازل مسکونی با استفاده از الگوریتم قوانین انجمنی Apriori است. در این مطالعه، داده‌های مربوط به مصرف برق منازل در دوره‌های زمانی دوماهه مربوط به بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. مؤلفه‌های کالبدی شامل مساحت پارسل، مساحت ساختمان، مساحت حیاط، ارتفاع ساختمان، نوع بافت شهری (جدید، تاریخی و فرسوده) و مؤلفه‌های پیکره‌بندی فضایی نظیر عمق محلی، مؤلفه کنترل، هم‌پیوندی و اتصال برای هریک از پارسل‌های شهری (۳۵۳۶۱ پارسل) برآورد شد. سپس با استفاده از الگوریتم Apriori تحلیل شدند تا روابط پنهان و الگوهای تأثیرگذار بر مصرف برق شناسایی شوند. نتایج نشان داد که عواملی مانند مساحت ساختمان، نوع بافت شهری، ارتفاع ساختمان، کنترل و هم‌پیوندی نقش مهمی در تعیین میزان مصرف برق دارند. علاوه بر این، با استخراج قوانین انجمنی، برخی از ترکیب‌های ویژگی‌ها که موجب افزایش یا کاهش مصرف برق می‌شوند، شناسایی شدند. استفاده از این روش می‌تواند به مدیریت بهینه مصرف انرژی در منازل مسکونی کمک کند و به افراد و نهادهای مسئول در کاهش هزینه‌ها و بهبود رفتارهای مصرفی یاری رساند. درنهایت، این تحقیق بر مزایای کاربرد الگوریتم‌های داده‌کاوی در تحلیل و پیش‌بینی مصرف انرژی تأکید می‌کند و محدودیت‌ها و چالش‌های مرتبط با استفاده از این روش را نیز بررسی می‌نماید.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳ دی ۰۱

تاریخ پذیرش:

۲۵ فروردین ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

اپریوری،
داده‌کاوی مکانی،
بافت شهری،
کاهش مصرف انرژی،
طراحی شهری پایدار.

۱ مقدمه

برق یک ورودی ضروری برای تمام سیستم‌های تولیدی و یک ضرورت برای همه خانواده‌های امروزی است (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). ازاین‌رو، سیاست‌های انرژی مربوطه برای القای مصرف کارآمد برق در بخش مسکونی در بسیاری از کشورها به دلیل اثرات گرمایش جهانی و امنیت تأمین انرژی موردنیاز است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

Email: a.toomanian@ut.ac.ir

* نویسنده مسئول: آرا تومانیان
آدرس: دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

¹ Zhang

افزایش سریع کمیت و کیفیت مسکن همراه با بهبود استاندارد زندگی منجر به افزایش مصرف انرژی در بخش مسکونی شده است (لی و پیتس^۱، ۲۰۱۹؛ فو^۲ و همکاران، ۲۰۱۵). پیش‌بینی تقاضای برق در سطح منطقه‌ای یا ملی برای برنامه‌ریزی باهدف تضمین مدیریت بهینه انرژی، حیاتی است (سان و کیم^۳، ۲۰۲۰). عوامل مختلفی بر الگوی مصرف خانوارها تأثیرگذار است (کوهه و بیسو^۴، ۲۰۲۰). مؤلفه‌هایی مانند نرخ اشتغال، فضای مسکونی، فاصله از فضای سبز و غیره بر روی مصرف برق تأثیر دارد (گومارو^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). بسیاری از محققان عوامل مؤثر بر مصرف برق را بر اساس تحلیل رگرسیون بررسی نمودند (پاترو و لوند^۶، ۲۰۰۶؛ مک‌لافلین^۷ و همکاران، ۲۰۱۲؛ برنشتاین و مادلنر^۸، ۲۰۱۵؛ بلاید و عبدالرحمانی^۹، ۲۰۱۳؛ اودوهرتی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۸)

چن^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۷)، عوامل مؤثر بر مصرف برق و ویژگی‌های مصرف در بخش مسکونی در تایوان را بررسی نمودند نتایج نشان داد که تولید ناخالص داخلی، نرخ اشتغال، فضای مسکونی و اجرای طرح‌های برچسب‌گذاری انرژی تأثیرات قابل‌توجهی بر مصرف برق مسکونی دارد. تجزیه و تحلیل رویکرد استفاده مستقیم نشان داد که دستگاه‌های تهویه مطبوع بیشترین سهم برق را مصرف می‌کنند، به میزان ۱۴۷۰ کیلووات ساعت برای هر خانوار و ۲۶٫۸۱ درصد به‌جز روشنایی را شامل می‌شود. وردژو^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی تکنیک‌های آماری برای پیش‌بینی تقاضای انرژی الکتریکی مسکونی پرداختند نتایج نشان داد که بهترین تقریب برای توصیف و پیش‌بینی تقاضا، تعدیل رگرسیون چندخطی است. فو^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۵)، رابطه بین روند جمعیت، قیمت‌ها، امواج گرما و تقاضای مصرف انرژی الکتریکی در شهرها را مقایسه نمودند و نتایج نشان داد که کل مصرف انرژی نیویورک، شیکاگو و لس‌آنجلس به درجات مختلف تحت تأثیر تغییرات جمعیت، دما و میانگین قیمت برق است و تنها در لس‌آنجلس، قیمت را به‌طور قابل‌توجهی بر مصرف برق تأثیر گذاشته است. جونز و لوماس^{۱۴} (۲۰۱۵) عوامل تعیین‌کننده تقاضای بالای انرژی الکتریکی در خانه‌های بریتانیا: ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی و مسکن را بررسی نمودند حضور جمعیت جوان‌تر، داشتن گرمایش الکتریکی فضا به‌عنوان شکل اولیه گرمایش، گرمایش برقی قابل‌حمل به‌عنوان محرک‌های مهم تقاضای بالای برق در خانه‌های بریتانیا شناسایی شد. وضعیت اشتغال و سطح تحصیلات نماینده خانوار، تعداد طبقات در یک خانه، وجود گرمایش الکتریکی ثابت و نسبت روشنایی کم انرژی هیچ تأثیری بر مصرف بالای برق در خانه‌های بریتانیا ندارد. لو^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۵)، به مدل‌سازی و پیش‌بینی مصرف انرژی برای ساختمان‌های ناهمگن با استفاده از رویکرد فیزیکی-آماري پرداختند و نتایج نشان داد که به دلیل تنوع و پیچیدگی ساختمان‌ها و همچنین ماهیت تصادفی شرایط آب و هوایی، مصرف انرژی و بارها تصادفی

¹ Le & Pitts

² Fu

³ Son & Kim

⁴ Kuhe & Bisu

⁵ Gumaru

⁶ Paatero & Lund

⁷ McLoughlin

⁸ Bernstein & Madlener

⁹ Bélaïd & Abderrahmani

¹⁰ O'Doherty

¹¹ Chen

¹² Verdejo

¹³ Fu

¹⁴ Jones, & Lomas

¹⁵ Lü

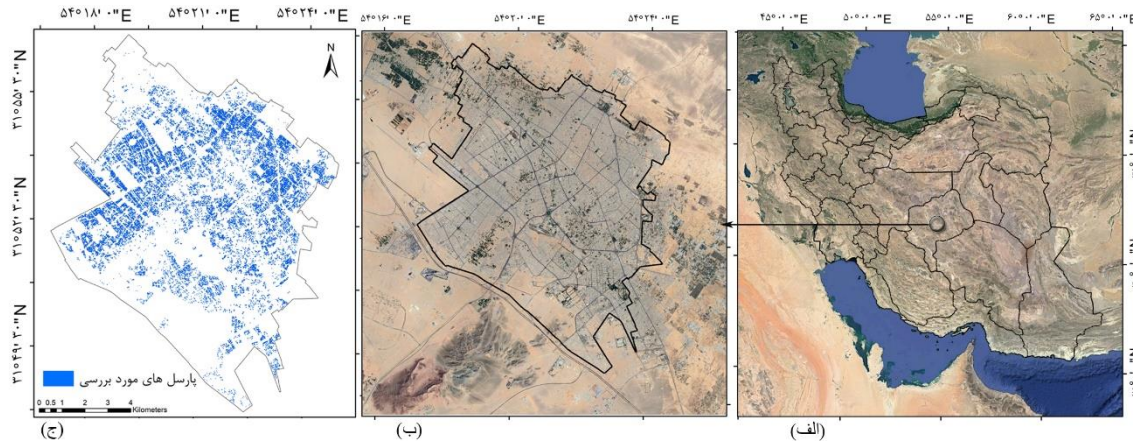
بوده و پیش‌بینی آن دشوار است. این مقاله یک روش جدید برای پیش‌بینی تقاضای انرژی ارائه می‌کند که به چالش‌های ناهمگونی در مدل‌سازی انرژی ساختمان‌ها می‌پردازد. روش جدید مبتنی بر یک رویکرد فیزیکی-آماري است که برای محاسبه ناهمگونی ساختمان برای بهبود دقت پیش‌بینی طراحی شده است. باکیری و امبباتی (۲۰۲۳)، تأثیر عوامل تعیین‌کننده مصرف برق در مدل‌های پیش‌بینی بار خانگی را بررسی نمودند برای این منظور از رگرسیون غیرخطی مبتنی بر تابع وایبول و رویکردهای رگرسیون تطبیقی چند متغیره استفاده شد. نتایج نشان داد که درآمد، اندازه خانوار و تعداد وسایل، متغیرهای پیش‌بینی کننده رایج مصرف خانوار در کشورهای درحال توسعه هستند. خطای ریشه میانگین مربع پیش‌بینی اندازه‌گیری شده هنگام استفاده از درآمد، اندازه خانوار و تعداد وسایل به ترتیب به ترتیب ۰٫۸۲۴۴، ۱٫۲۳۱۴ و ۰٫۹۸۶۸ است. لیباد^۱ (۲۰۲۱)، روش‌شناسی ساخت مدل‌های تطبیقی برای شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها را بررسی نمودند. مدل‌های یادگیری ماشین دقیق به‌شدت به جمع‌آوری داده‌های عملیاتی ساختمان مربوطه به مقدار کافی، به‌ویژه زمانی که از یادگیری عمیق استفاده می‌شود، متکی هستند. نتایج مطالعات شاهی^۲ و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که مصرف برق تابعی از سطح درآمد خانوار، شغل، بعد خانواده و سطح تحصیلات خانوار بود. نتایج مطالعات سرسنگی و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که ارتقای دسترسی و دسترسی به فضای سبز می‌تواند به پایداری شهری از طریق مصرف انرژی کمتر کمک کند. با توجه به‌مرور منابع، مصرف برق در بخش مسکونی تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی (مانند درآمد، سطح تحصیلات و اندازه خانوار)، ویژگی‌های مسکن (مانند فضای مسکونی و نوع سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی) و عوامل محیطی (مانند دما و دسترسی به فضای سبز) قرار دارد. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که پیش‌بینی دقیق مصرف برق به دلیل تنوع و پیچیدگی این عوامل، چالشی مهم در مدیریت انرژی است. پژوهش حاضر باهدف داده‌کاوی مصرف برق در منازل مسکونی شهر یزد، به بررسی تأثیر این عوامل بر الگوی مصرف برق می‌پردازد. این مطالعه با استفاده از روش‌های پیشرفته تحلیل داده‌ها، به دنبال ارائه مدلی دقیق برای مدیریت مصرف برق است تا به برنامه‌ریزی بهینه و کاهش مصرف انرژی در سطح خانوارها کمک کند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر عوامل مختلف بر مصرف برق در منازل مسکونی شهر یزد است. نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنایی علمی برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی و تدوین سیاست‌های کارآمد در جهت کاهش مصرف برق و بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی مورد استفاده قرار گیرد.

۲ معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر یزد مرکز شهرستان یزد با بیش از ۱۰۰ کیلومترمربع وسعت، در مرکز شهرستان و استان یزد بین ۲۲' ۴۷" تا ۵۴' ۲۴' ۳۳" طول شرقی و ۳۱' ۴۷' ۳۹" تا ۳۱' ۵۶' ۵۱" عرض شمالی واقع شده و دارای ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا است. شهر یزد در سرشماری سال ۱۳۹۵ بیش از ۵۳۵٫۰۰۰ نفر جمعیت داشته و جز ۱۵ شهر نخست کشور از نظر جمعیت است (شکل ۱).

¹ Labiadh

² Shahi



شکل ۱. الف، موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور ایران (ب) تصویری از منطقه مورد مطالعه (ج) پارسل‌های مورد بررسی

۳ داده‌ها و روش‌ها

مصرف برق مشترکین: داده مربوط به مصرف مشترکین برق شهر یزد از شرکت توزیع نیروی برق استان مربوط به سالهای ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ اخذ گردید. جهت افزایش دقت در مکانمند نمودن شماره اشتراکات این اطلاعات با استفاده از کدپستی هر مشترک و اطلاعات پارسل‌های شهری اخذ شده از شهرداری، تطبیق داده شده است.

داده‌های ساختار شهری: اطلاعات مربوط به ساختمان‌های شهر از قبیل (کاربری وضع موجود، ارتفاع ساختمان، مساحت، شکل ساختمان و قدمت ساختمان) و همچنین معابر، عرض موجود معابر و موقعیت پارک‌ها و فضای سبزها از شهرداری اخذ گردید.

پیکربندی فضایی: به چگونگی قرارگیری و ارتباط عناصر مختلف در یک فضا اشاره دارد. پارامترهای پیکربندی فضایی، ویژگی‌هایی هستند که چیدمان را توصیف می‌کنند و کمک می‌کند تا فضا بهتر درک و تحلیل شود. چیدمان فضا مجموعه‌ای از نظریه‌ها، تکنیک‌ها و اقدامات لازم را برای مطالعه ساختار چیدمان فضایی شبکه‌های فیزیکی فراهم می‌کند (هیلیر، ۲۰۰۵؛ ۲۰۰۷). در ادامه برخی از پارامترهای چیدمان فضا مبتنی بر نقشه محوری آورده می‌شود.

اتصال: مفهوم عینی اتصال به معنی ارتباط فضایی است. بدین معنا که هر چه مقدار اتصال بیشتر باشد، تعداد ارتباطات فضای موردنظر و دیگر فضاها بیشتر است. می‌توان مفهوم کاربردی آن را دسترسی بیان کرد. مقدار عددی اتصال بیان‌کننده تعداد دسترسی‌های منتهی به فضای موردنظر است. برای تحلیل ریخت‌شناسی شهری، چیدمان فضا، یک دسته از ویژگی‌های پارامترهای فضایی را استخراج می‌کند که از گراف اتصال گرفته می‌شود. بارزترین پارامتر برای تحلیل ریخت‌شناسی، میزان اتصال است.

$$C_i = k \quad (1)$$

که در آن C_i گراف اتصال و k تعداد گره‌هایی است که مستقیماً به یک فضا وصل می‌شود. ارزش کنترل پارامتری است که درجه اختیار یک نقطه را از نقاطی که به آنها متصل شده است، مشخص می‌کند.

$$ctrl_i = \sum_{j=1}^k \frac{1}{C_j} \quad (2)$$

K تعداد گره‌های اتصال مستقیم به i است و C_j اتصال‌های مستقیم به j است.

عمق: عمق از یک فضا به این معناست که برای رسیدن به آن فضا بایستی از چند فضای دیگر عبور کرد. به عبارتی عمق به کمترین گام فضایی گفته می‌شود که برای رسیدن از یک گره به هریک از گره‌های موجود در گراف طی می‌شود.

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (3)$$

d_{ij} کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه در یک گراف است. مجموع عمق گره i برابر با مجموع فواصل آن است. مجموع عمق گره برابر با فواصل آن است در نتیجه عمق متوسط برابر است با:

$$MD_i = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{n-1} \quad (4)$$

هم‌پیوندی: ارزش میزان هم‌پیوندی هر خط (فضا)، میانگین تعداد خطوط یا فضاهای واسطی است که بتوان از آن به تمام فضاهای شهر رسید، به عبارتی، میانگین تعداد تغییر جهاتی است که بتوان از آن فضا به تمام فضاهای شهر رسید. درواقع هم‌پیوندی یک فضای شهری، میزان یکپارچگی آن را با کل شهر را نشان می‌دهد. ارزش هم‌پیوندی درواقع یک معیار برای عدم تقارن ارتباطی است و با شاخص عدم تقارن نسبی (RA) یا عدم تقارن نسبی واقعی (RRA) اندازه‌گیری می‌شود. این دو متغیر به شرح زیر محاسبه می‌شوند (جیانگ و کلارامونت، ۲۰۰۲):

$$RA_i = \frac{2(MD_i - 1)}{(n - 2)} \quad \text{and} \quad RRA_i = \frac{RA_i}{D_n} \quad (5)$$

در اینجا n تعداد خطوط محوری یک سیستم شهری است.

$$D_n = \frac{2\{n[\log_2((n+2)/3) - 1] + 1\}}{(n-1)(n-2)} \quad (6)$$

مقدار D ارزش استاندارد برای مقدار هم‌پیوندی از میانگین عمق را فراهم می‌کند. هم‌پیوندی یک نقطه نشانگر میزان ارتباط آن نقطه با ساختار کلی مجموعه یا زیرمجموعه‌های آن است. اگر رسیدن به یک فضا با پیمودن فضاهای کمتری امکان‌پذیر باشد، آن فضا دارای هم‌پیوندی بیشتری است و بالعکس؛ بنابراین، هم‌پیوندی در روش چیدمان فضا مفهومی ارتباطی دارد و نه مفهومی فاصله‌ای و متریک؛ بنابراین در تحلیل ترتیب فضایی، مفهوم «عمق» بیشتر از مفهوم «فاصله» مصداق پیدا می‌کند. در روش چیدمان فضا بایستی از مفهوم عمق برای توصیف فاصله فضاهای یکدیگر بهره برد. عمق از یک فضا به این معناست که برای رسیدن به آن فضا بایستی از چند فضای دیگر عبور کرد. هر خط محوری (فضا) در شهر عمق مشخصی از سایر خطوط (فضاها) دارد. ارزش هم‌پیوندی یک فضا (خط محوری)، پارامتری ریاضی است که نشانگر عمق آن خط از تمام خطوط دیگر در شهر است. درواقع هم‌پیوندی یک فضای شهری، میزان عجین شدن آن را با کل شهر نشان می‌دهد.

کنترل: پارامتری است که درجه اختیار نقطه‌ای از نقاط دیگر را که به آن متصل شده‌اند نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، هرچه یک نقطه به نسبت نقطه‌ای مشخص دارای درجه انتخاب کمتری باشد، میزان کنترل بر آن کمتر است (کمالی پور، ۱۳۹۱: ۴). عوامل مؤثر بر مؤلفه کنترل شامل: تعداد اتصالات، طول شاخه‌ها، موقعیت

¹ Jiang, and Claramunt

مکانی و کاربری فضا است. هر چه تعداد اتصالات یک نقطه بیشتر باشد، گزینه‌های انتخاب بیشتری برای حرکت وجود دارد و نتیجه کنترل کمتر می‌شود.

پارامترهای کالبدی: از پارامترهای کالبدی شهری مؤلفه‌های مساحت پارسل، مساحت ساختمان، مساحت حیاط، ارتفاع ساختمان، حجم ساختمان محاسبه شد. مؤلفه‌های مربوط به مساحت از شهرداری اخذ گردید و ارتفاع ساختمان با استفاده از اختلاف مقدار میانگین مدل رقومی زمین در بالای هر ساختمان با معبر نزدیک به آن برآورد شد. به عبارتی فاصله سقف تا معبر نزدیک به آن ساختمان با استفاده از تصاویر DSM با قدرت تفکیک مکانی ۲۰cm محاسبه شد و به‌عنوان ارتفاع ساختمان در نظر گرفته شد.

۳،۱ شاخص موران

شاخص موران (Moran's I) یک روش آماری فضایی است که برای بررسی الگوهای خودهمبستگی مکانی استفاده می‌شود. این شاخص میزان تشابه یا تفاوت مقادیر یک متغیر (مانند مصرف برق) در مناطق مجاور را اندازه‌گیری می‌کند. مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده خوشه‌بندی (تجمع مقادیر مشابه) و مقادیر منفی نشان‌دهنده پراکندگی (تفاوت مقادیر) است. این تحلیل به درک توزیع فضایی مصرف برق و شناسایی مناطق با الگوهای مشابه کمک می‌کند (جکسون^۱ و همکاران، ۲۰۱۰).

۳،۲ تحلیل گروهی

تحلیل گروهی یک روش آماری برای دسته‌بندی داده‌ها بر اساس شباهت‌های آن‌هاست. در این مطالعه، از تحلیل گروهی برای طبقه‌بندی مناطق شهری بر اساس الگوهای مصرف برق استفاده شده است. با به‌کارگیری الگوریتم‌هایی مانند K-means یا سلسله‌مراتبی، مناطق با مصرف برق مشابه در گروه‌های همگن دسته‌بندی می‌شوند. این روش به شناسایی مناطق با مصرف بالا یا پایین و تحلیل عوامل مؤثر بر هر گروه کمک می‌کند (بارو^۲ و همکاران، ۱۹۲۷).

۳،۳ تحلیل نقاط سرد و داغ

تحلیل نقاط سرد و داغ با استفاده از آماره‌های فضایی مانند Getis-Ord Gi انجام می‌شود. این روش مناطق با مقادیر به‌طور غیرتصادفی بالا (نقاط داغ) یا پایین (نقاط سرد) را شناسایی می‌کند. در این مطالعه، از این تحلیل برای شناسایی مناطق با مصرف برق بسیار بالا (داغ) یا بسیار پایین (سرد) در سطح شهر یزد استفاده شده است. نتایج این تحلیل به برنامه‌ریزی هدفمند برای کاهش مصرف برق در مناطق داغ و بررسی عوامل مؤثر در مناطق سرد کمک می‌کند (کوندو^۳، ۲۰۱۶).

قوانین وابستگی مکانی: قوانین وابستگی مکانی (Spatial Association Rules) به مجموعه‌ای از قواعد گفته می‌شود که روابط بین ویژگی‌های مختلف در داده‌های مکانی را توصیف می‌کنند. این قوانین قابلیت برای یافتن روابط ناشناخته موجود در داده‌های مکانی است. قوانین وابستگی مکانی قانونی است که دلالت مجموعه‌ای از خصوصیات را بر مجموعه‌ای دیگر از خصوصیات در پایگاه داده مکانی را بیان می‌کند. این قوانین برای کشف قاعده‌های موجود بین محصولات در داده‌های تراکنشی با مقیاس بالا معرفی می‌شود. بعضی الگوریتم‌های معروف در این زمینه عبارت‌اند از: آپریوری، اکلات (Eclat و FP-Growth) تمامی این الگوریتم‌ها تنها انجام دهنده نیمی از

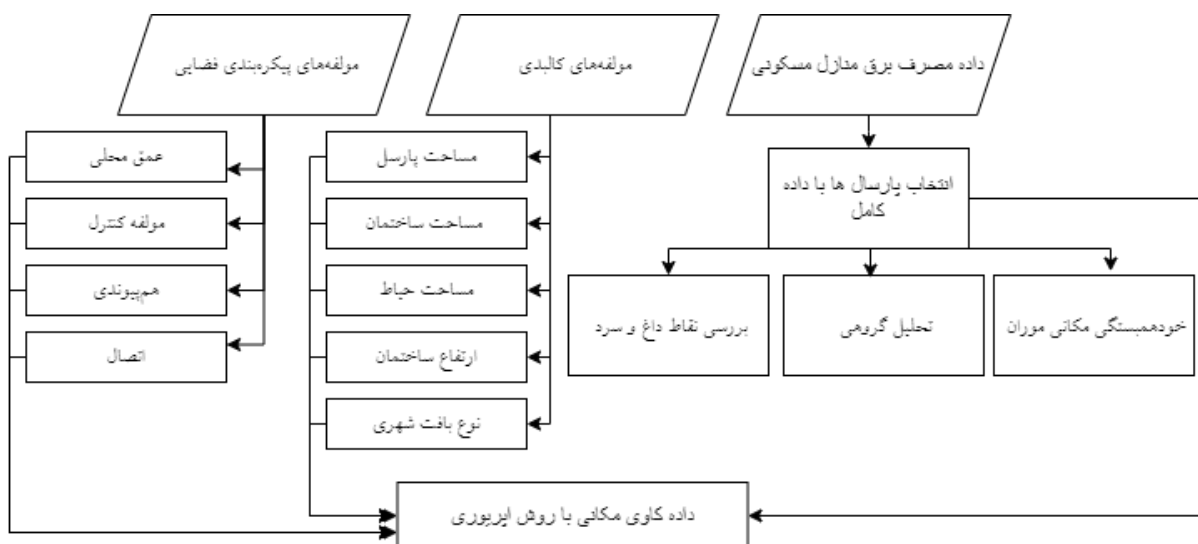
¹ Jackson

² Burrow

³ Kondo

مسیر تولید قوانین وابستگی است؛ زیرا این الگوریتمها برای کاوش مجموعه آیتمهای مکرر^۱ ساخته شدهاند و پروسه دیگری روی مجموعه آیتمهای مکرر باید انجام شود تا منتهی به قوانین وابستگی شوند.

مفاهیم کلیدی در قوانین وابستگی مکانی شامل موارد زیر است: پشتیبانی (Support): نسبت تعداد نمونه‌هایی که همزمان هر دو ویژگی را دارند به کل نمونه‌ها. اطمینان (Confidence): احتمال وقوع ویژگی دوم به شرط وقوع ویژگی اول. بالابری (Lift): نسبت اطمینان قانون به احتمال وقوع ویژگی دوم به تنهایی. در شکل ۲ فلوچارتی از مراحل پژوهش نمایش داده شده است.

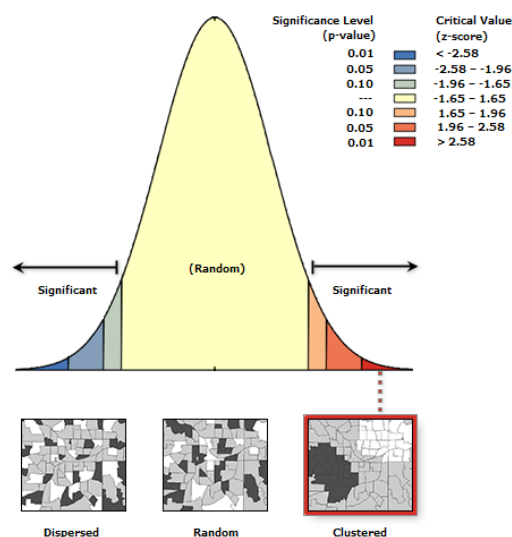


شکل ۲. فلوچارتی از مراحل پژوهش حاضر

۴ نتایج و بحث

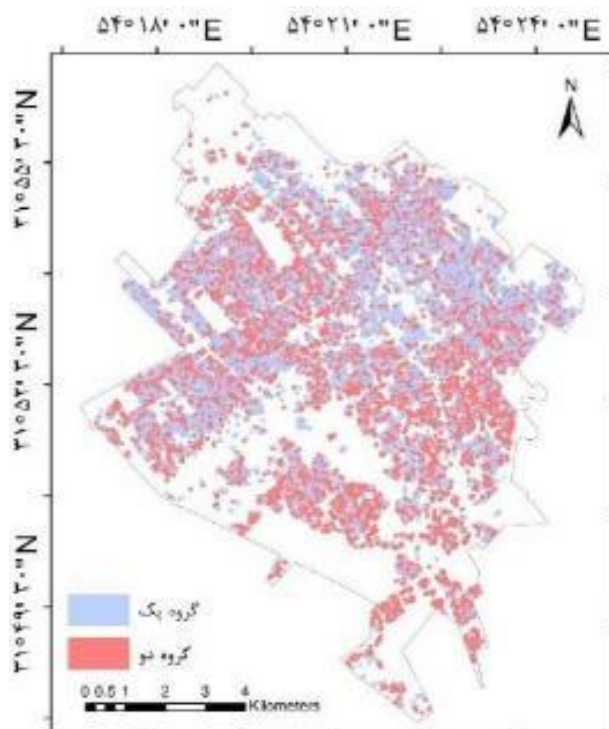
از خودهمبستگی مکانی موران برای شناسایی الگوهای پنهان در داده‌های مکانی مصرف برق مناطق مسکونی استفاده شد. درواقع خودهمبستگی مکانی موران نشان می‌دهد که یک متغیر در مکان‌های نزدیک به هم به صورت تصادفی توزیع شده یا الگوی خاصی در این توزیع وجود دارد. این الگو می‌تواند به صورت خوشه‌ای، پراکنده یا تصادفی باشد. داده‌های مصرف برق مناطق مسکونی با استفاده از شاخص خودهمبستگی فضایی موران و بر مبنای فاصله اقلیدسی موردبررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد الگوی توزیع مصرف برق به صورت خوشه‌ای هست. مقدار z-score به میزان ۷۷٫۴ است که بیانگر سطح اطمینان ۹۹ درصد است و مقدار p-value نیز صفر است نشان می‌دهد که احتمال مشاهده شدن این الگوی خوشه‌ای به صورت تصادفی بسیار کم است و هرچقدر مقدار آن کمتر باشد نشان می‌دهد این پدیده تصادفی نیست بدین معنی که مقادیر مشابه در کنار هم قرار دارد. مقدار ضریب Moran's ۰٫۰۶ برآورد شد که مقدار مثبت این ضریب نیز نشان‌دهنده الگوی خوشه‌ای است یعنی مناطق با مصرف برق بالا تمایل دارند در کنار هم قرار بگیرند (شکل ۳).

^۱ Frequent item-set mining



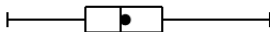
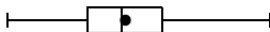
شکل ۳. بررسی خودهمبستگی مکانی موران داده‌های مصرف برق منازل مسکونی

تحلیل گروهی به فرآیندی گفته می‌شود که در آن، مؤلفه‌های مکانی بر اساس ویژگی‌های مشترک به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند. با تقسیم داده‌ها به گروه‌های همگن، درک بهتر از داده‌ها و الگوهای موجود در آن‌ها امکان‌پذیر می‌شود. داده‌های مصرف برق در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ با استفاده از این تکنیک به دو گروه تقسیم شدند که نتایج گروه‌بندی آن‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده است.

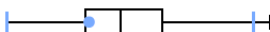
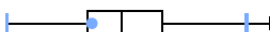
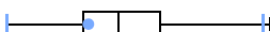


شکل ۴. نتایج تحلیل گروهی داده‌های مصرف برق منازل مسکونی در سال‌های مختلف

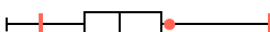
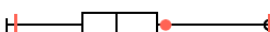
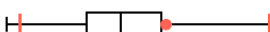
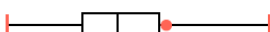
Overall Variable Statistics: Count = 35361; Std. Distance = 2327.0564; SSD = 58458.5623

Variable	Mean	Std. Dev.	Min	Max	R2	
TOTAL1397	3320.8650	1154.5104	662.0000	6592.0000	0.6214	
TOTAL1396	3274.8591	1167.2931	663.0000	6650.0000	0.6040	
TOTAL1398	3394.6244	1128.8106	681.0000	6728.0000	0.5776	
TOTAL1395	3294.2642	1202.2937	661.0000	6621.0000	0.5438	

Group 1: Count = 19622; Std. Distance = 1373.0749; SSD = 27343.2941

Variable	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share	
TOTAL1397	2505.7535	656.9966	662.0000	6211.0000	0.9358	
TOTAL1396	2462.3941	662.1679	663.0000	6539.0000	0.9815	
TOTAL1398	2626.2989	699.7673	681.0000	6180.0000	0.9094	
TOTAL1395	2500.2110	724.9478	661.0000	6457.0000	0.9725	

Group 2: Count = 15739; Std. Distance = 1639.0156; SSD = 31115.2682

Variable	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share	
TOTAL1397	4337.0741	771.6790	1436.0000	6592.0000	0.8695	
TOTAL1396	4287.7689	815.9218	873.0000	6650.0000	0.9649	
TOTAL1398	4352.5049	773.8272	1000.0000	6728.0000	0.9472	
TOTAL1395	4284.2198	909.0362	674.0000	6621.0000	0.9978	

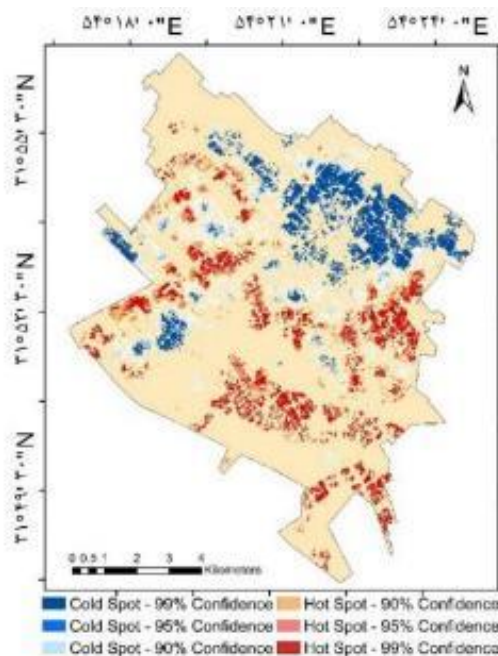
شکل ۵. بررسی مؤلفه‌های آماری حاصل از تحلیل گروهی داده‌های مصرف برق منازل مسکونی در سال‌های مختلف

مؤلفه‌های آماری شامل میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر مصرف برق در سال‌های موردبررسی محاسبه شد و نتایج بررسی تحلیل گروهی داده‌های مصرف برق در سال‌های مختلف نشان داد که میانگین مصرف برق در چهار سال موردبررسی تغییر زیادی نداشته ولی در سال ۱۳۹۸ نسبت به ۱۳۹۵ افزایش یافته است و در این دو سال میانگین مجموع مصرف برق سالانه به ترتیب ۳۲۹۴٫۲ کیلووات ساعت^۱ و ۳۳۹۴٫۶ کیلووات ساعت بوده است. مقادیر حداقل نیز در سال‌های مختلف بین ۶۶۱ تا ۶۵۳۹ kWh بوده است که به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ است. حداکثر مصرف برق نیز در سال ۱۳۹۸ نسبت به ۱۳۹۵ افزایش یافته است بطوریکه در این دو سال به ترتیب ۶۶۵۰ و ۶۶۲۱ kWh بوده است. همچنین نمودار جعبه‌ای نحوه پراکنش داده‌های سالانه مصرف برق نیز برای هر سال ترسیم گردید. این نمودار کمک می‌کند تا در یک نگاه، اطلاعاتی مانند حداقل، حداکثر، چارک اول، چارک سوم و میانه داده‌ها به دست آید. با استفاده از تحلیل گروه‌بندی داده‌های مصرف برق در سال‌های مختلف به دو گروه تقسیم شد که آن گروه کم‌مصرف و پرمصرف نام‌گذاری شد. در گروه یک که مصرف کمتری در بازه زمانی چهارساله داشته است میانگین مصرف برق ۲۵۰۰ است که از میانگین کل شهر ۸۰۰ kWh کمتر است. مقدار حداکثر مصرف برق نیز در این گروه در سال ۱۳۹۸، ۶۱۸۰ بوده که نسبت به میزان حداکثر در کل منطقه مورد مطالعه ۶۰۰ واحد کمتر است. این گروه ۵۵ درصد از مشترکین را در بر گرفته است. نتایج بررسی گروه دو یا پرمصرف نیز نشان داد که میانگین مصرف برق سالانه این گروه در سری زمانی مورد مطالعه افزایش یافته است بطوریکه از ۴۲۸۴ kWh در سال ۱۳۹۵ به ۴۳۵۲ kWh در سال ۱۳۹۸ رسیده است و به‌طور کلی میانگین این گروه نسبت به کل منطقه مورد مطالعه که ۳۳۰۰ است، ۱۰۰۰ واحد بیشتر است. مقدار حداقل نیز در سال ۱۳۹۸،

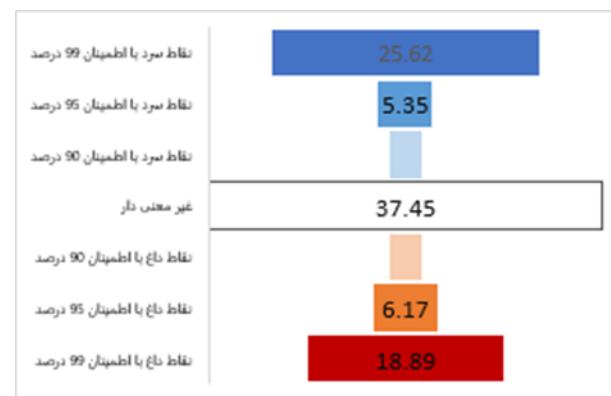
^۱ kWh

۱۰۰۰ است که در مقایسه با کل شهر که ۶۰۰ است ۴۰۰ واحد بیشتر است. این گروه ۱۵۷۳۹ مشترک و به عبارتی ۴۴ درصد از کل مشترکین مورد مطالعه را در بردارد (جدول ۱).

نتایج بررسی نقاط داغ و سرد داده‌های مصرف برق منازل مسکونی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که توزیع مصرف برق در منازل مسکونی نامتقارن است؛ یعنی تعداد منازلی که مصرف برق بسیار بالایی دارند، بیشتر از تعداد منازلی است که مصرف برق بسیار پایینی دارند. این موضوع نشان می‌دهد که برخی از منازل مصرف برق بسیار بیشتری نسبت به متوسط دارند. به‌طور کلی ۱۸٫۹ درصد از منازل مصرف برق بسیار بالا با اطمینان ۹۹ درصد و ۶٫۱ و ۳٫۲ نیز مصرف بالا با سطح اطمینان ۹۵ و ۹۰ درصد داشته است. همچنین ۲۵٫۶ درصد از منازل نیز مصرف برق بسیار پایین با اطمینان ۹۹، ۵٫۳ و ۳٫۲ درصد از منازل نیز با سطح اطمینان ۹۵ و ۹۰ درصد مصرف برق بسیار پایینی داشته‌اند. لازم به ذکر است ۳۷٫۴ درصد از منازل نیز در گروه طبقه‌بندی نشده قرار گرفته است. نتایج بررسی نقاط داغ و سرد در شکل ۶ و ۷ نمایش داده شده است.

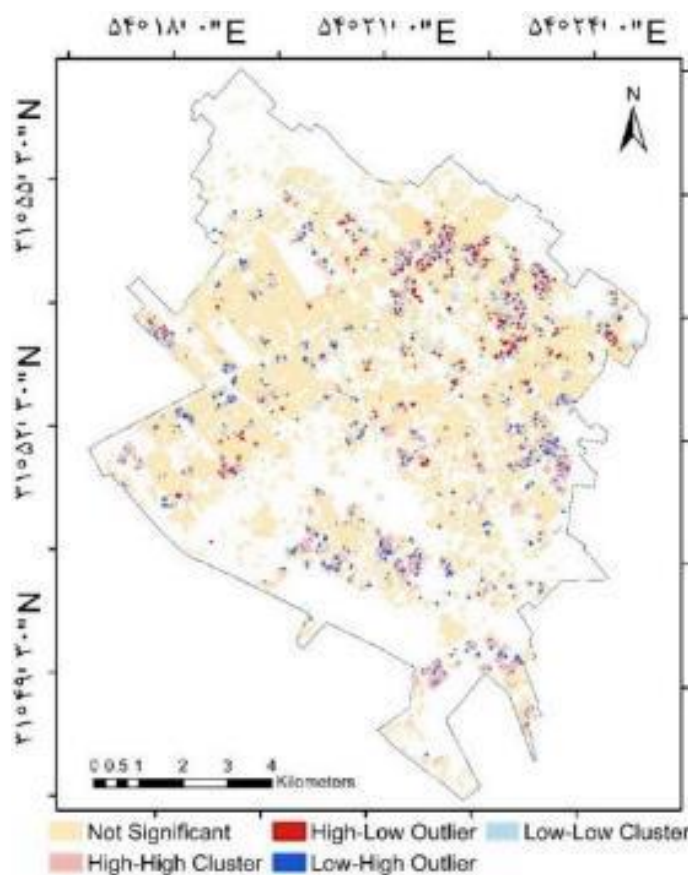


شکل ۷. بررسی نقاط داغ و سرد مصرف برق در منازل مسکونی



شکل ۶. بررسی درصد تعداد پارسل در دسته نقاط داغ و سرد داده‌های مصرف برق منازل مسکونی

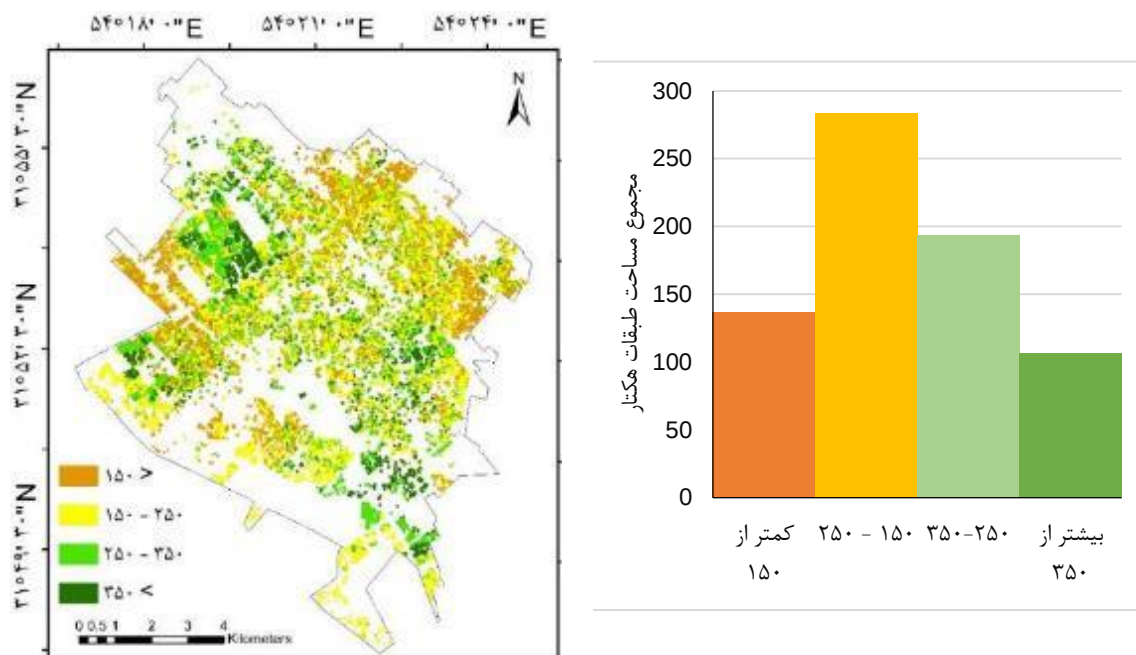
نقاطی که از الگوی کلی داده‌ها فاصله زیادی دارند یا داده‌های پرت با استفاده از آنالیز موران محلی شناسایی شد و در شکل ۸ نتایج آن نمایش داده شده است؛ که گروه High_Low نشان‌دهنده داده‌هایی است که مقدار زیادی دارد اما در مناطقی قرار گرفته است که پارسل‌های همسایه مصرف کمی دارند و برعکس آن برای گروه Low_High صدق می‌کند. در مجموع ۳/۲ درصد از تعداد پارسل‌های منطقه را داده پرت از نوع Low_High و ۴/۷ درصد را High_Low تشکیل داده است.



شکل ۸. بررسی داده‌های پرت با استفاده از آنالیز موران محلی

۴.۱ مساحت پارسل‌های انتخابی

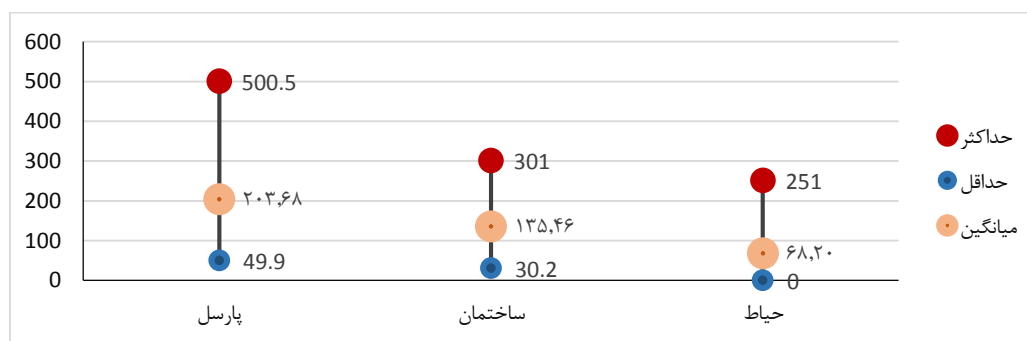
پس از انتخاب پارسل‌های منتخب بنابر داده‌های مصرف برق، مؤلفه‌های قابل بررسی در پارسل‌ها که می‌تواند بر مصرف برق اثرگذار باشد استخراج شد. با افزایش مساحت ساختمان، تأسیسات برقی آن نیز معمولاً بزرگ‌تر و پیچیده‌تر می‌شود. به‌طور مثال، تعداد و طول کابل‌ها و ردياب‌های برقی برای تأمین برق به ساختمان افزایش می‌یابد که می‌تواند به افزایش مصرف برق منجر شود. مجموع مساحت هریک از طبقات مساحتی، محاسبه شد و نتایج نشان داد در مجموع ۷۲۰ هکتار مساحت کل پارسل‌های منتخب است که ۱۳۶ هکتار را ساختمان‌های کمتر از ۱۵۰ مترمربع تشکیل داده است و بیشترین فراوانی مربوط به ساختمان‌هایی با مساحت ۱۵۰ تا ۲۵۰ مترمربع است و کمترین مساحت را نیز دسته با مساحت بیش از ۳۵۰ تشکیل داده است. این اطلاعات در مراحل بعدی پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر مساحت ساختمان بر مصرف برق مورداستفاده قرار می‌گیرد (شکل ۹).



شکل ۹. طبقه‌بندی پارسل‌های منتخب بر اساس مساحت و برآورد مجموع مساحت آنها برحسب هکتار

۴,۲ تفکیک مساحت ساختمان و حیاط منازل

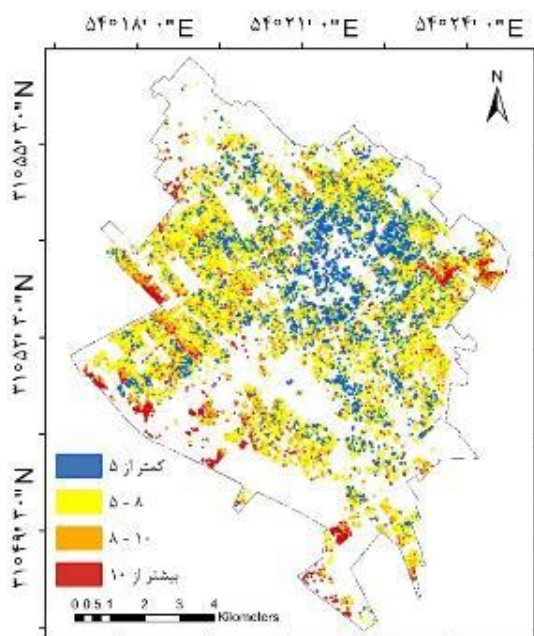
با توجه به اینکه مساحت پارسل به‌تنهایی نمی‌تواند داده معتبری باشد زیرا ممکن است مساحت پارسل یا قطعه زمین موردبررسی زیاد باشد اما قسمت کوچکی از آن را ساختمان در بر گرفته باشد یا در پارسلی با مساحت زیاد، اراضی ساخته‌شده مساوی با پارسل با مساحت کمتر باشد لذا لازم است علاوه بر مساحت پارسل اطلاعات مساحت عرصه و اعیان نیز مشخص گردد. مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل مساحت در پارسل، حیاط و ساختمان موردبررسی قرار گرفت (شکل ۱۰). نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بیشترین مساحت پارسل ۵۰۰ مترمربع است و میانگین مساحت پارسل ۲۰۳ و حداقل آن ۴۹ مترمربع است. حداکثر و حداقل مساحت ساختمان نیز به ترتیب ۳۰۱ و ۳۰ مترمربع برآورد شد. میانگین مساحت اراضی ساخته‌شده در منطقه مورد مطالعه، ۱۳۵ مترمربع است و حداکثر مساحت حیاط ۲۵۱ و میانگین آن ۶۸ مترمربع است.



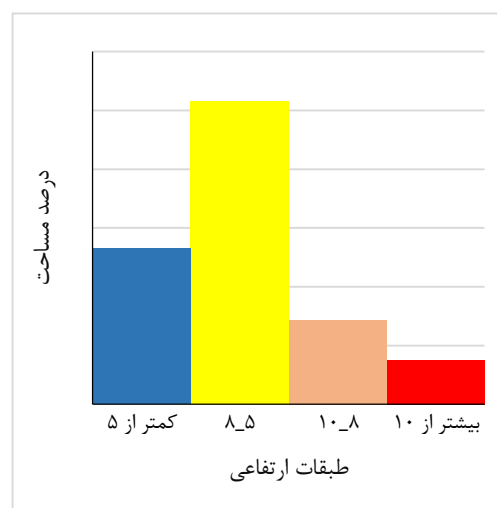
شکل ۱۰. بررسی میزان میانگین، حداکثر و حداقل مساحت پارسل، اعیانی و عرصه در منطقه مورد مطالعه

۴,۳ برآورد ارتفاع ساختمان‌ها

ارتفاع هر ساختمان نیز به‌عنوان یکی از پارامترهایی است که می‌تواند در مصرف برق تأثیرگذار باشد زیرا ساختمان‌هایی با ارتفاع بیشتر به سیستم روشنایی بیشتری نیاز دارد همچنین، با افزایش ارتفاع، نیاز به سیستم‌های تهویه مکانیکی نیز افزایش می‌یابد. پس از برآورد نقشه ارتفاع ساختمان با استفاده از مدل رقومی زمین، طبقات ارتفاعی از کمتر از ۵، ۵ تا ۸، ۸ تا ۱۰ و بیشتر از ۱۰ طبقه‌بندی شد که در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. بررسی تعداد ساختمان موجود در هر کلاس نشان داد که بیشترین فراوانی مربوط به ساختمان‌هایی با ارتفاع ۵ تا ۸ متر بوده بیشتر شامل ساختمان‌های یک طبقه است که شامل یک زیرزمین مسکونی و طبقه همکف است. نتایج بررسی درصد مساحت هر یک از طبقات ارتفاعی نیز نتایج کاملاً مشابه با بررسی تعداد ساختمان در طبقات مختلف ارتفاعی را نشان داد به‌طورکلی در منطقه مورد مطالعه ۵۱ درصد از ساختمان‌ها، ارتفاعی بین ۵ تا ۸ متر دارند و ۲۶,۴ درصد از ساختمان‌ها ارتفاع کمتر از ۵ متر دارند و در مجموع ارتفاع ۲۱ درصد از ساختمان‌ها بیشتر از ۸ متر است.



ب

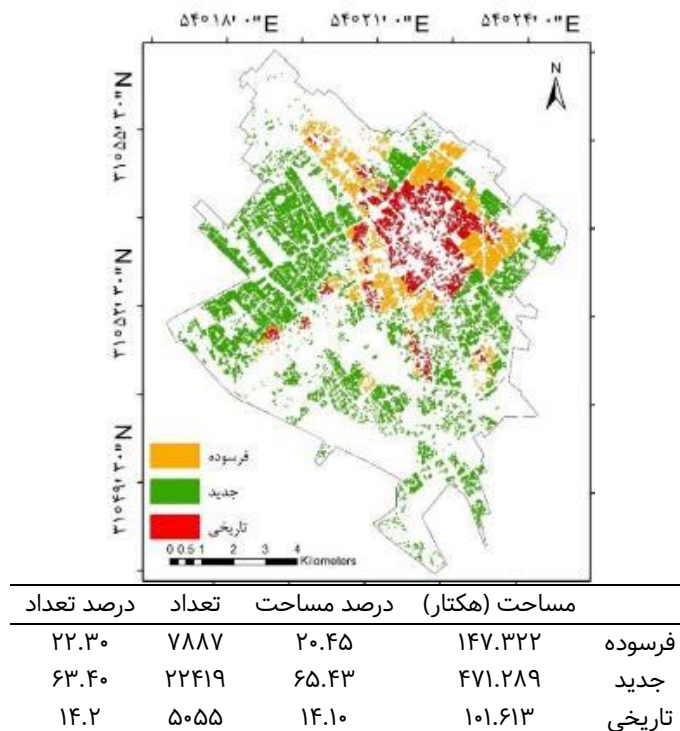


الف

شکل ۱۱. الف) نقشه طبقات ارتفاعی ساختمان‌ها در قسمتی از منطقه مورد مطالعه ب) بررسی درصد مساحت طبقات ارتفاعی مختلف

۴,۴ تفکیک بافت شهری

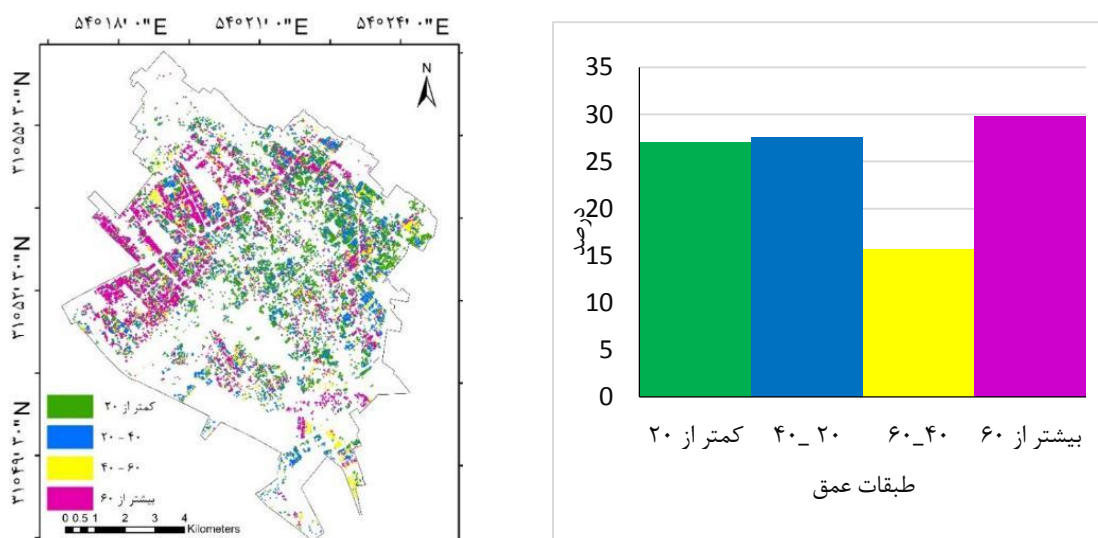
منطقه مورد مطالعه از نظر بافت منازل مسکونی به سه دسته شامل: تاریخی، فرسوده و جدید است؛ که بافت تاریخی در قسمت مرکزی شهر قرار گرفته و بافت فرسوده در اطراف آن قرار دارد. بافت جدید در تمام حواشی شهر دیده می‌شود. نوع بافت تمام پارس‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه تعیین شد و تعداد ساختمان‌های موجود در هر نوع بافت برآورد شد که نتایج نشان داد که ۲۲ درصد از تعداد ساختمان‌های منطقه مورد مطالعه در بافت فرسوده قرار دارد همچنین ۱۴,۲ درصد در بافت تاریخی و ۶۳,۴ درصد نیز در بافت جدید قرار گرفته است. (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. طبقه‌بندی بافت شهری در دسته‌های فرسوده، تاریخی و جدید و برآورد تعداد و مساحت ساختمان‌ها در هر بافت

۴/۵ پارامترهای پیکره‌بندی فضایی

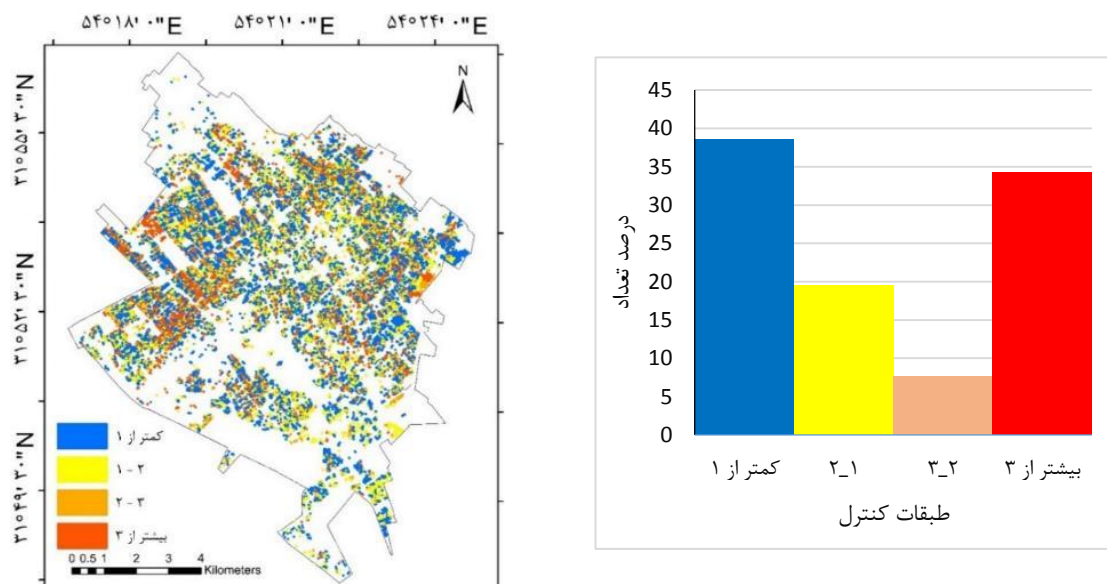
عمق محلی: برخی از پارامترهای پیکره‌بندی فضایی نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت تا در ادامه تأثیر آنها بر میزان مصرف برق ارزیابی شود. یکی از این مؤلفه‌ها، عمق محلی است عمق محلی از یک فضا یعنی برای رسیدن به آن مکان یا فضا بایستی از چند مکان یا فضای دیگر عبور کرد به عبارت دیگر عمق بیانگر تعداد تغییر جهاتی است که برای رسیدن از یک فضا به فضای دیگر لازم است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. طبقه‌بندی عمق فضایی در منطقه مورد مطالعه و مقایسه تعداد دسته‌های مختلف

نتایج بررسی مؤلفه عمق در ساختمان‌های موجود در منطقه مورد مطالعه نشان داد که میانگین عمق محلی در کل منطقه مورد مطالعه ۵۷٫۸ است و در ۲۷ درصد از ساختمان‌ها عمق محلی ۱ تا ۲۰ بوده و عمق ۲۰ تا ۴۰ نیز ۲۷٫۶ درصد از ساختمان‌ها را در بر گرفته است. میانگین عمق نشان‌دهنده عمق فضاها است؛ یعنی هرچه عمق یک فضا بیشتر باشد، نفوذپذیری آن فضا کمتر خواهد بود. با استفاده از این پارامتر می‌توان جدایی‌گزینی یک فضای شهری نسبت به کلیت پیکره‌بندی فضایی شهر را یافت. درواقع فضاهایی که دارای عمق بیشتر هستند از پیکره‌بندی فضایی شهر جدا مانده‌اند. به عبارتی عمق تعداد فضایی است که در شهر عبور می‌کنیم تا به فضای مورد نظر برسیم و فضاهایی با عمق کمتر دسترسی راحت‌تر و سریع‌تری دارند. با توجه به نقشه میانگین عمق در شهر یزد، میانگین کمترین عمق مربوط به همان استخوان‌بندی اصلی شهر است. این استخوان‌بندی با برخی محورهایی متصل به آنها که نفوذپذیری زیادی در بافت‌های شهری ندارند جز فضاهایی با دسترسی بهتر و سریع‌تر می‌باشند.

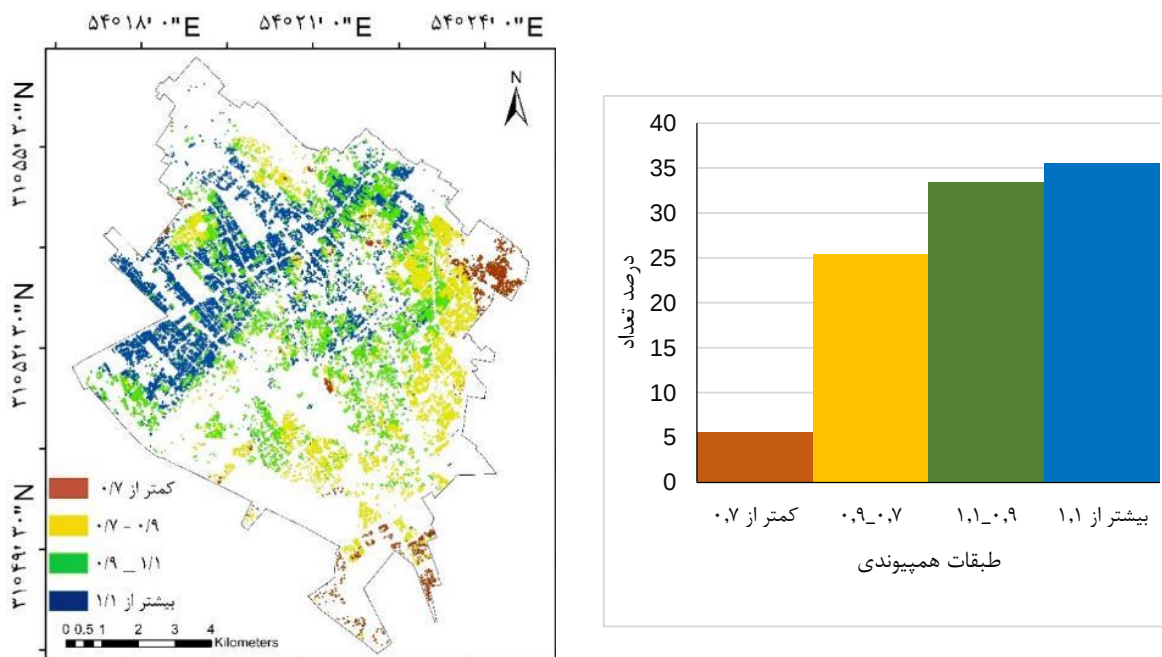
مؤلفه کنترل: از دیگر پارامترهای ساختار فضایی شهری، مؤلفه کنترل است که بیان‌کننده احتمال گزینش یک فضا در یک گره شهری است، به‌عنوان نمونه در یک چهارراه احتمال گزینش هریک از مسیرها برابر ۰٫۲۵ است؛ که برابر با مقدار کنترل آنها است. هر چه مقدار کنترل بیشتر باشد امکان گزینش فضاهای شهری توسط مخاطبان آنها بیشتر خواهد بود. در این پارامتر نیز بیشترین امتیاز مربوط به دو محور اصلی شمالی - جنوبی و شرقی - غربی شهر یزد است. از آنجایی که این محورها چهار جهت اصلی شهر را تحت پوشش قرار داده‌اند انتظار می‌رود که احتمال گزینش این محورها بیشتر باشد علاوه بر این، محور شمالی - جنوبی و نیمه غربی محور شرقی - غربی در سلسله‌مراتب معابر شهر جزء خیابان‌های شریانی درجه دو (۳۴-۴۵ متری) و توزیع‌کننده اصلی می‌باشند. در این پژوهش به‌منظور بررسی پارامتر کنترل بر مصرف برق، ابتدا به پایش و بررسی این مؤلفه در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد و مقدار پارامتر کنترل در هر یک از پارس‌های منتخب برآورد شد. همچنین به‌منظور نمایش و پایش بهتر در دسته‌های مختلف طبقه‌بندی گردید و تعداد پارس‌های موجود در هر دسته نیز ارزیابی شد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. تصویری از مؤلفه میانگین کنترل در قسمتی از منطقه مورد مطالعه و برآورد درصد تعداد و درصد مساحت دسته‌های مختلف میانگین کنترل

نتایج بررسی مؤلفه میانگین کنترل در منطقه مورد مطالعه نشان داد میانگین مؤلفه کنترل در منطقه مورد مطالعه ۱,۷۴ و انحراف معیار آن ۲,۶ برآورد شد. همچنین مؤلفه کنترل در ۳۸,۵ درصد از منازل موجود در منطقه کمتر از ۱ است و ۱۹,۵ درصد از تعداد منازل نیز میانگین کنترل ۱ تا ۲ است هر چه میانگین کنترل بیشتر باشد احتمالاً گزینش آن محل بیشتر است. به عبارتی ۵۷ درصد از منازل که در این دو گروه قرار گرفته است احتمال گزینش کمتری نسبت به سایرین دارند همچنین در ۳۴ درصد از کل منازل نیز مؤلفه میانگین کنترل بیشتر از ۳ برآورد شده است.

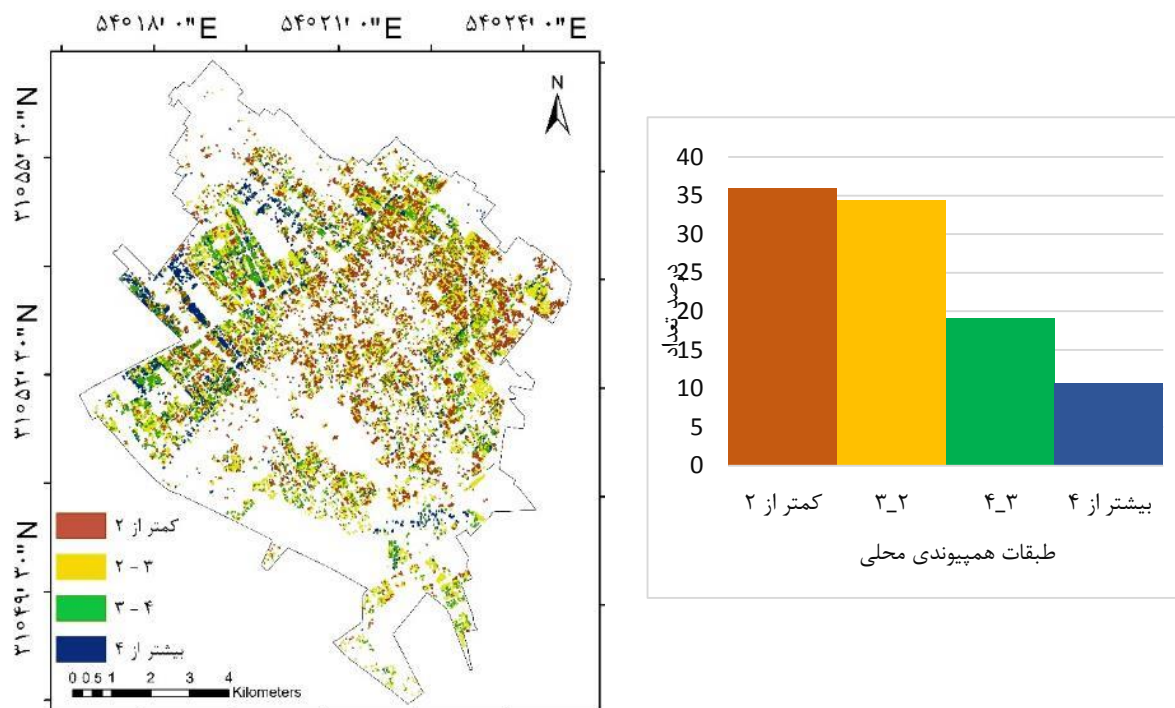
هم‌پیوندی: هم‌پیوندی، مفهومی ارتباطی (نه متریک و فاصله‌ای) دارد و بیانگر میزان ارتباط یک خط با ساختار کلی مجموعه است. میزان هم‌پیوندی بیشترین استفاده را در مطالعه دسترسی فضاهای شهری، بافت فرسوده، بافت‌های مهاجرنشین و الگوی پخشایش کاربری‌ها، حرکت و ... دارد. این شاخص بیانگر انسجام فضایی نیز است یعنی هرچه میزان هم‌پیوندی در یک فضا بیشتر باشد، آن فضا دارای انسجام بیشتری با دیگر فضاها و کلیت سازمان فضایی شهر دارد و از سویی دیگر آن فضا از دسترسی بالاتری نسبت به دیگر فضاها برخوردار است که این فضاها اغلب به کاربری‌های تجاری اختصاص می‌یابند. این ارزش، در مقیاس کلی و محلی قابل بررسی است. طبق نقشه هم‌پیوندی کلان‌شهر یزد، می‌توان ادعا نمود که هم‌پیوندترین خطوط، کل سطح شهر را پوشش داده‌اند. در نتیجه هسته هم‌پیوندی در شهر یزد به صورت ستون فقرات و متصل به هم در اکثر نقاط شهر نفوذ پیدا کرده‌اند (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. نمایش مؤلفه هم‌پیوندی کلان در کل منطقه مورد مطالعه در پارسل‌های منتخب و برآورد درصد تعداد هر یک از طبقات آن

با توجه به نقشه هم‌پیوندی کلان بیشترین هم‌پیوندی مربوط به بافت میانی شهر است که علت بالا بودن هم‌پیوندی این محدوده را می‌توان ارتباط مستقیم با معابر اصلی به‌ویژه بخشی از رینگ اصلی شمالی - جنوبی شهر دانست که دسترسی به سایر نقاط شهری را فراهم می‌آورند. به منظور بررسی تأثیر مؤلفه هم‌پیوندی کلان بر میزان مصرف برق، این پارامتر برای هر کدام از پارسل‌های منتخب برآورد شد که در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. نتایج بررسی مؤلفه هم‌پیوندی کلان در منطقه مورد مطالعه نشان داد که در ۹۰ درصد از مساحت منطقه

مورد مطالعه این مؤلفه بین ۰٫۷ تا ۱٫۳ برآورد شده است. در ۳۳ درصد از کل منازل مورد بررسی مؤلفه هم‌پیوندی کلان ۰٫۹ تا ۱٫۱ و در ۲۵٫۴ درصد نیز این مؤلفه بین ۰٫۷ تا ۰٫۹ ارزیابی شده است. ۳۵٫۵ درصد از منطقه مورد مطالعه بیشترین مؤلفه هم‌پیوندی کلان به میزان بیشتر از ۱٫۱ را به خود اختصاص داده است. مؤلفه هم‌پیوندی محلی نیز برآورد شده که برای تمام منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۶ نمایش داده شده است.

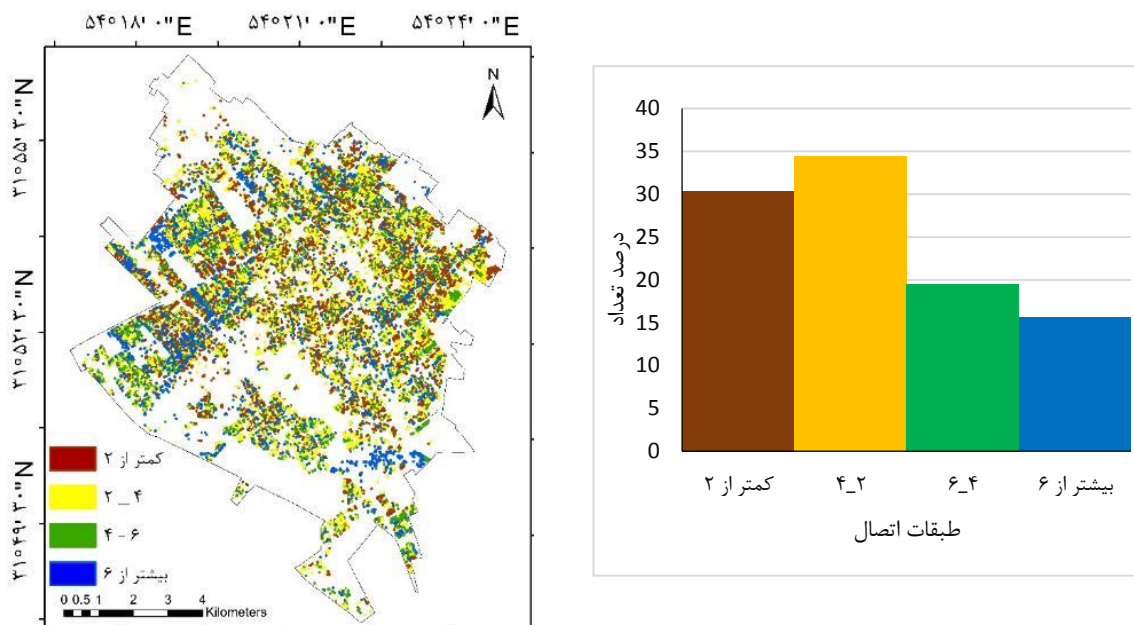


شکل ۱۶. نمایش مؤلفه هم‌پیوندی محلی در منطقه مورد مطالعه و مقایسه درصد تعداد منازل در دسته‌های مختلف هم‌پیوندی محلی

طبق نقشه هم‌پیوندی محلی شهر یزد، بیشترین میزان هم‌پیوندی مربوط به بخش‌های پیرامون مرکز شهر یا به عبارتی بخش‌هایی که در لایه بیرونی شهر قرار گرفته‌اند است. از سوی دیگر بخش‌های مرکزی شهر نسبت به بخش‌های پیرامونی از هم‌پیوندی محلی پایین‌تری برخوردار هستند که علت این امر، تفاوت در ساختار فضایی و بافت این بخش‌ها است. استخوان‌بندی شهر به صورتی صحیح شکل گرفته است اما فضای مجاور این استخوان‌بندی اصلی هنوز تکامل نیافته است. این استخوان‌بندی به جز در مناطق مرکزی شهر، بیشتر پاسخگویی نیاز جابه‌جایی ساکنین شهر است. هم‌پیوندی کلان در مرکز شهر به علت مجاورت با محورهای ارتباطی اصلی شهر بالاتر است اما هم‌پیوندی محلی در حاشیه و پیرامون مرکز شهر بالاتر است و علت این امر، ساختار فضایی شطرنجی بخش‌های پیرامونی است. همچنین مقایسه درصد تعداد منازل با مؤلفه هم‌پیوندی محلی متفاوت نیز نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، ۳۴ درصد از پارسل‌های شهری دارای هم‌پیوندی محلی ۲ تا ۳ و ۳۵٫۹ درصد نیز هم‌پیوندی محلی کمتر از ۲ داشته است.

اتصال: به معنی ارتباط فضایی است به عبارت دیگر هرچه تعداد اتصالات بیشتر باشد، ارتباطات با دیگر فضاها بیشتر خواهد بود. مفهوم کاربردی آن دسترسی است و مقدار عددی اتصال بیان‌کننده تعداد دسترسی‌های منتهی به فضای مورد نظر است. به عبارتی به عنوان تعدادی نقاط تعریف می‌شود که یک نقطه به طور مستقیم با نقاط دیگر ارتباط برقرار می‌کند. طبق نقشه اتصالات شهر یزد، بیشترین اتصال مربوط به تقاطع دو محور اصلی شمالی - جنوبی و شرقی - غربی شهر است. در نتیجه بیشترین میزان اتصال مربوط به بخش‌های هم‌جوار

با معابر اصلی و شریانی شهر است و کمترین اتصالات مربوط به جنوبی‌ترین قسمت شهر است؛ که علت آن فاصله نسبتاً زیاد با معابر شریانی اصلی است (شکل ۱۷).



شکل ۱۷. نمایش مؤلفه اتصال در منطقه مورد مطالعه و مقایسه درصد تعداد منازل در دسته‌های مختلف اتصال

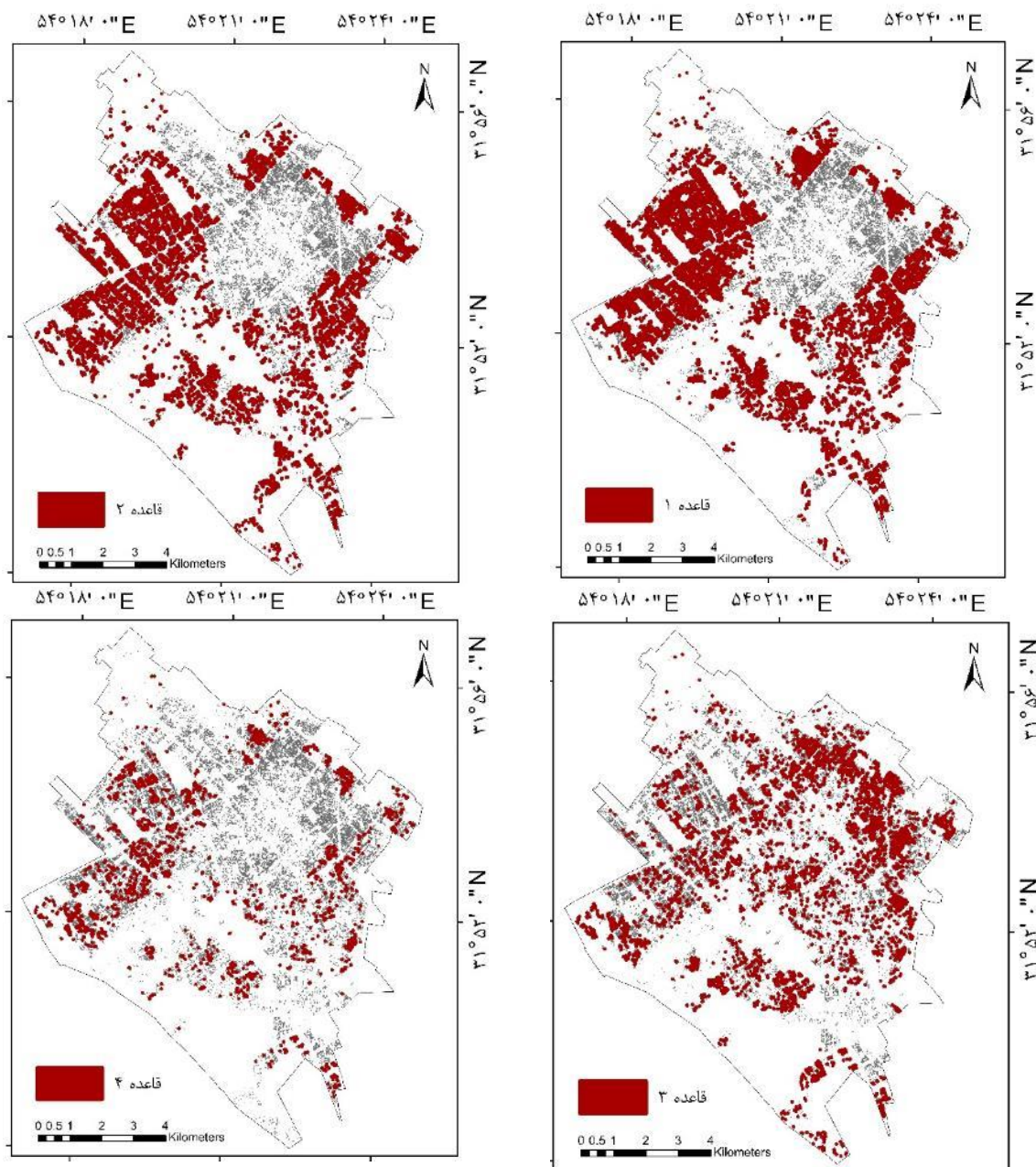
۴٫۶ نتایج حاصل ابرپوری

الگوریتم ابرپوری به‌عنوان یکی از روش‌های اصلی در داده‌کاوی برای کشف قواعد انجمنی شناخته می‌شود. این الگوریتم به دنبال پیدا کردن روابط بین آیتم‌ها در یک مجموعه داده است. در حوزه انرژی و به‌طور خاص تحلیل مصرف برق، ابرپوری می‌تواند کاربردهای بسیار مفیدی داشته باشد. در این مطالعه و پس از اجرای الگوریتم ابرپوری قواعد مختلف به دست آمد که ۴ قاعده اصلی و قابل‌اعتماد به شرح جدول شماره ۲ آمده است.

جدول ۱. نتایج حاصل از ابرپوری و بررسی قواعد موجود در مصرف برق سالانه منازل مسکونی

Confidence	توضیحات	قاعده
۰/۹۳	ارتفاع ساختمان = ۵ تا ۸ متر و نوع بافت شهری = جدید == مصرف برق سالانه = بیش از ۳۵۰۰	قاعده ۱
۰/۸۷	نوع بافت شهری = جدید و میانگین کنترل = کمتر از ۱ == مصرف برق سالانه = بیش از ۳۵۰۰	قاعده ۲
۰/۷۴	مساحت پارسل = ۱۵۰ تا ۲۵۰ و هم‌پیوندی محلی ۲-۳ == مصرف برق سالانه = بیش از ۳۵۰۰	قاعده ۳
۰/۶۱	مساحت پارسل = ۱۵۰ تا ۲۵۰ و نوع بافت شهری = جدید و مساحت حیاط کمتر از ۷۵ == مصرف برق سالانه = بیش از ۳۵۰۰	قاعده ۴

نتایج بررسی قواعد با استفاده از ابرپوری نشان داد در قاعده یک: ساختمان‌هایی با ارتفاع ۵ تا ۸ متر که در بافت شهری جدید قرار دارند، به‌احتمال زیاد (۹۳٪) مصرف برق سالانه آن‌ها بیش از ۳۵۰۰ واحد است. قاعده دو: ساختمان‌هایی که در بافت شهری جدید قرار دارند و کنترل آن‌ها کمتر از ۱ است، به‌احتمال زیاد (۸۷٪) مصرف برق سالانه آن‌ها بیش از ۳۵۰۰ واحد است. قاعده سه: ساختمان‌هایی که در پارسل‌هایی با مساحت ۱۵۰ تا ۲۵۰ مترمربع و هم‌پیوندی محلی ۲-۳ قرار دارند، به‌احتمال زیاد (۷۴٪) مصرف برق سالانه آن‌ها بیش از ۳۵۰۰ واحد است. قاعده چهار: ساختمان‌هایی که پارسل‌هایی با مساحت ۱۵۰ تا ۲۵۰ مترمربع و در بافت شهری جدید و با مساحت حیاط کمتر از ۷۵ مترمربع قرار دارند، به‌احتمال زیاد (۶۱٪) مصرف برق سالانه آن‌ها بیش از ۳۵۰۰ واحد است.



شکل ۱۸. نمایش قواعد موجود در مصرف برق سالانه منازل مسکونی

۵ نتیجه‌گیری

در استفاده از قوانین انجمنی برای بررسی عوامل مؤثر بر مصرف برق خانگی، هدف شناسایی روابط و الگوهای پنهان در داده‌های مصرف برق است. قوانین انجمنی، مانند الگوریتم اپریوری، قادرند روابط بین ویژگی‌های مختلف داده‌ها را به صورت «اگر-آنگاه» استخراج کنند و این روابط را به مدیران انرژی یا مصرف‌کنندگان کمک کنند تا الگوهای مصرف بهینه‌تری شناسایی کنند. قوانین انجمنی قادرند الگوهایی را که به راحتی با روش‌های سنتی قابل‌شناسایی نیستند، استخراج کنند و اطلاعات مفیدی را برای بهینه‌سازی مصرف انرژی فراهم کنند. نتایج حاصل از استخراج قوانین انجمنی به صورت قوانینی ساده و قابل‌درک ارائه می‌شوند که می‌توانند برای اتخاذ

تصمیمات بهینه در مدیریت مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها مفید باشند. این روش به‌ویژه برای تحلیل داده‌های پیچیده و غیرخطی مناسب است، جایی که روابط بین متغیرها به راحتی مدل‌سازی نمی‌شود. یکی از چالش‌های عمده در استفاده از قوانین انجمنی در داده‌های بزرگ، نیاز به پردازش زمان‌بر و مصرف منابع زیاد است، به‌ویژه وقتی که داده‌ها پیچیده و شامل تعداد زیادی ویژگی باشند. قوانین انجمنی معمولاً برای داده‌های گسسته طراحی شده‌اند و برای داده‌های عددی ممکن است نیاز به پیش‌پردازش‌های پیچیده مانند تبدیل داده‌ها به مقادیر دسته‌بندی شده باشد. همچنین انتخاب مناسب پارامترهایی همچون حداقل پشتیبانی و اعتماد می‌تواند دشوار باشد و تأثیر زیادی بر کیفیت و کاربردی بودن نتایج استخراج شده داشته باشد. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی در صورت امکان از داده‌های ساعتی مصرف برق استفاده گردد تا تأثیر عوامل بیشتری قابل بررسی باشد.

References

- Kamalipour Hessam, Memarian Gholamhossein, Faizi Mohsen, Mousavian Mohammad Farid. Shape composition and spatial configuration in native housing: a comparative comparison of guest space arena in traditional houses of Kerman, housing and village environment 2013; 31(138): 16-3. [In Persian]
- Bakiri, H. A., & Mbembati, H. (2023). The effect of electricity consumption determinants in household load forecasting models. Journal of Electrical Systems and Information Technology, 10(1), 52.
- Bélaïd, F., & Abderrahmani, F. (2013). Electricity consumption and economic growth in Algeria: A multivariate causality analysis in the presence of structural change. Energy policy, 55, 286-295.
- Bernstein, R., & Madlener, R. (2015). Short-and long-run electricity demand elasticities at the subsectoral level: A cointegration analysis for German manufacturing industries. Energy Economics, 48, 178-187.
- Burrow, T. (1927). The group method of analysis. The Psychoanalytic Review (1913-1957), 14, 268.
- Chen, Y. T. (2017). The factors affecting electricity consumption and the consumption characteristics in the residential sector—a case example of Taiwan. Sustainability, 9(8), 1484.
- Fu, K. S., Allen, M. R., & Archibald, R. K. (2015). Evaluating the relationship between the population trends, prices, heat waves, and the demands of energy consumption in cities. Sustainability, 7(11), 15284-15301.
- Fu, K. S., Allen, M. R., & Archibald, R. K. (2015). Evaluating the relationship between the population trends, prices, heat waves, and the demands of energy consumption in cities. Sustainability, 7(11), 15284-15301.
- Gumaru, R., Chester, R., & Banta, R. (2019). A Comprehensive Study of Electricity Consumption of People in Each Region in the Philippines. American Journal of Mechanics and Applications, 7(3), 45-48.
- Hillier, B. (2005). The art of place and the science of space. World Architecture, 185, 96-102.

- Hillier, B.(2007). Space is the machine: a configurational theory of architecture. Space Syntax.
- Jackson, M. C., Huang, L., Xie, Q., & Tiwari, R. C. (2010). A modified version of Moran's I. International journal of health geographics, 9, 1-10.
- Jiang, B., & Claramunt, C. (2002). Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban morphology. Transactions in GIS, 6(3), 295-309.
- Jones, R. V., & Lomas, K. J. (2015). Determinants of high electrical energy demand in UK homes: Socio-economic and dwelling characteristics. Energy and Buildings, 101, 24-34.
- Kondo, K. (2016). Hot and cold spot analysis using Stata. The Stata Journal, 16(3), 613-631.
- Kuhe, A., & Bisu, D. Y. (2020). Influence of situational factors on household's energy consumption behaviour: towards an effective energy policy. International Journal of Energy Sector Management, 14(2), 389-407.
- Labiadh, M. (2021). Methodology for construction of adaptive models for the simulation of energy consumption in buildings (Doctoral dissertation, Université de Lyon).
- Le, V. T., & Pitts, A. (2019). A survey on electrical appliance use and energy consumption in Vietnamese households: Case study of Tuy Hoa city. Energy and Buildings, 197, 229-241.
- Lü, X., Lu, T., Kibert, C. J., & Viljanen, M. (2015). Modeling and forecasting energy consumption for heterogeneous buildings using a physical-statistical approach. Applied Energy, 144, 261-275.
- McLoughlin, F., Duffy, A., & Conlon, M. (2012). Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. Energy and buildings, 48, 240-248.
- O'Doherty, J., Lyons, S., & Tol, R. S. (2008). Energy-using appliances and energy-saving features: Determinants of ownership in Ireland. Applied energy, 85(7), 650-662.
- Paatero, J. V., & Lund, P. D. (2006). A model for generating household electricity load profiles. International journal of energy research, 30(5), 273-290.
- Sarsangi, A., Toomanian, A., Samany, N. N., Kiavarz, M., & Saraei, M. H.(2024). Association between public and private greenspace availability and electricity consumption. Energy and Buildings, 324, 114855.
- Shahi, D. K., Rijal, H. B., & Shukuya, M. (2020). A study on household energy-use patterns in rural, semi-urban and urban areas of Nepal based on field survey. Energy and Buildings, 223, 110095.
- Son, H., & Kim, C. (2020). A deep learning approach to forecasting monthly demand for residential-sector electricity. Sustainability, 12(8), 3103.
- Verdejo, H., Awerkin, A., Becker, C., & Olguin, G. (2017). Statistic linear parametric techniques for residential electric energy demand forecasting. A review and an implementation to Chile. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 512-521.

- Zhang, C., Zhou, K., Yang, S., & Shao, Z. (2017). On electricity consumption and economic growth in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 353-368.
- Zhang, C.; Zhang, M.; Zhang, N. CO2 Emissions from the Power Industry in the China's Beijing-Tianjin-Hebei Region: Decomposition and Policy Analysis. *Pol. J. Environ. Stud.* 2017, 26, 903–916. [Google Scholar] [CrossRef].
- Zhou, K.; Yang, S.; Shao, Z. Household monthly electricity consumption pattern mining: A fuzzy clustering-based model and a case study. *J. Clean. Prod.* 2017, 141, 900–908, [doi:10.1016/j.jclepro.2016.09.165](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.165).