

Assessment and smart management of energy demands in buildings in Marivan City using energy maps

Salah Vaisi¹- Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Somayeh Hosseinipour- Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Negar Khiabanchian- Department of Urban Planning and Design, Faculty of Art and Architecture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Seyyed Mohammadmahdi Hosseinikia- Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 29 March 2025 Accepted: 26 July 2025

Highlights

- By integrating GIS techniques with real electricity and natural gas consumption data, this study develops detailed and spatially precise urban energy maps that quantify annual demand at the building scale.
- The resulting energy maps function as a strategic planning tool, enabling city managers to optimize infrastructure investment, design smart energy policies, and facilitate the transition toward sustainable urban energy systems.

Extended Abstract

Introduction

As Iran continues to confront critical challenges in large-scale energy production, distribution, and long-term resource security, the issue of energy imbalance has become a central concern for national development. Urban areas, which account for a substantial share of global and national energy consumption, require accurate and place-based planning tools that can support evidence-driven policymaking. In this context, the city of Marivan in Kurdistan Province offers a compelling case for investigating the dynamics of urban energy demand due to its unique climatic conditions, heterogeneous building patterns, and expanding urban footprint.

This research seeks to estimate building-level energy consumption and to produce high-resolution energy demand maps for Marivan using an integrated modeling approach. The study also aims to examine how local climatic factors, building function (residential versus non-residential), and physical characteristics influence macro-scale energy consumption patterns. Furthermore, it investigates the ways in which urban energy maps—when grounded in empirical utility data—can serve as a scientific decision-support tool for smart energy management. In doing so, the research contributes to the broader discourse on sustainable energy planning and provides a methodological foundation for developing smart cities in Iran and other regions undergoing similar transitions.

Theoretical Framework

¹ Correspondence to: svaisi@uok.ac.ir and vaisis@tcd.ie

The study is informed by the expanding field of Urban Building Energy Modeling (UBEM), a multidisciplinary framework that integrates building physics, GIS, data science, and urban planning. UBEM enables researchers to estimate and visualize energy consumption at the urban scale by combining both physical characteristics of buildings and empirical utility data.

The conceptual framework of this research employs a hybrid top-down/bottom-up approach. From a top-down perspective, aggregated real-world energy consumption data—captured through electricity and gas billing records—are used to establish statistical relationships between different types of buildings and their energy use profiles. This ensures that the model is rooted in actual consumption behavior rather than relying solely on theoretical assumptions.

The bottom-up component incorporates detailed building attributes, such as conditioned area, form, and functional classification, providing a granular understanding of how spatial and physical conditions influence energy demand. Within this dual approach, the study applies energy benchmarking techniques, drawing from internationally recognized standards such as CIBSE TM46 while also integrating locally calibrated benchmarks tailored to the climatic conditions of the Kurdish highland region.

This integrated theoretical framework ultimately positions urban energy maps as more than visualization tools; rather, they become essential instruments for strategic energy governance. They support policy evaluation, identification of high-consumption hotspots, assessment of energy inefficiencies, and planning for renewable energy deployment—functions that align closely with the principles of smart city development.

Methodology

This applied study employs a quantitative–analytical approach, combining correlation analysis, multiple linear regression (MLR), and spatial modeling.

The statistical population of the study consists of approximately 35,000 buildings, representing 98% of all structures in Marivan. Building characteristics, including conditioned area and land-use classification, were obtained from the Kurdistan Road and Urban Development Department. Real consumption data for electricity and natural gas were acquired directly from utility providers, ensuring a high degree of reliability and spatial accuracy.

Following data screening and organization in Excel and SPSS, a regression model was constructed using two independent variables—conditioned area and building function—to predict the dependent variable, annual energy consumption. The model parameters were subsequently applied within a GIS environment. Using customized Visual Basic (VB) scripts, the calculated energy intensity benchmarks (kWh/m²/year) were assigned to each building footprint, generating spatially explicit predictive maps for annual electricity demand, gas demand, and total combined energy consumption.

Model validation was performed through a comparative analysis between predicted and actual consumption datasets. This validation strengthened the credibility of the model and allowed for minor calibration adjustments to better align with observed consumption patterns across different parts of the city.

Results and Discussion

The findings reveal key insights into Marivan's urban energy dynamics. The city requires an estimated 2032 MWh of thermal energy (natural gas) and 117 MWh of electrical energy annually, with significant spatial variability across districts. The central urban area demonstrates the highest energy intensity, reflecting its concentration of commercial activities, dense residential blocks, and aging building stock. In contrast, northern neighborhoods exhibit the lowest consumption levels, partly due to newer construction and lower population density.

Residential buildings emerge as the dominant energy consumers, using nearly ten times more total energy than non-residential buildings due to their numerical prevalence and larger cumulative conditioned area. Seasonal analysis illustrates a clear divergence: peak electricity demand (41 MWh) occurs during the summer months—

primarily due to cooling loads—while peak gas consumption (855 MWh) is concentrated in winter, driven by extensive heating needs.

Regression analysis confirms a significant positive correlation between building area and gas consumption, validating the role of building size as a major determinant of annual energy demand. The results underscore the necessity of adopting a differentiated policy approach that targets high-consumption zones and building categories.

Conclusion

This study demonstrates that GIS-based UBEM modeling, when combined with real consumption data and locally calibrated benchmarks, can accurately forecast and map urban energy demand at the building scale. The resulting energy maps provide a powerful decision-support framework for city managers, planners, and energy service companies.

Given Iran's ongoing energy imbalance, the research emphasizes the need to diversify the urban energy portfolio by gradually transitioning from fossil-fuel dependency toward distributed renewable systems, especially solar energy. The spatial outputs of this research offer a scientific basis for identifying optimal sites for photovoltaic installations and for prioritizing zones requiring energy retrofits.

The study's methodology is replicable and can be applied to other Iranian cities, promoting the development of smart energy dashboards to monitor, manage, and enhance energy efficiency at the national level. Future research is encouraged to incorporate socioeconomic variables, household behavioral patterns, and climate change scenarios to enrich the predictive capacity of urban energy models.

Keywords

City energy map; Energy demand calculation and modeling; Sustainable architecture and city; Smart city management; Low-energy buildings; Energy consumption benchmarks.

Citation: Vaisi, S, Hosseinipour, S, Khiabanchian, N, and Hosseinikia, S M. (2025). Assessment and smart management of energy demands in buildings in Marivan City using energy maps. *Motaleate Shahri*, 14(56), 19-34. doi: 10.22034/urbs.2025.143406.5144

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



ارزیابی و مدیریت هوشمند انرژی در ساختمان‌های شهر مریوان با استفاده از نقشه‌های انرژی

صلاح ویسی^۱ - دانشیار گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
سمیه حسینی پور - کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
نگار خیابان چیان - دانشجوی دکتری شهرسازی، گروه مهندسی شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
سید محمد مهدی حسینی کیا - دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

تاریخ دریافت: ۰۹ فروردین ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۰۴ مرداد ۱۴۰۴

چکیده

کشور ایران با چالش‌های اساسی در زمینه تولید و تأمین انرژی در مقیاس کلان مواجه است. ناترازی انرژی به چالش اصلی کشور تبدیل شده و بر کشاورزی، بازار، صنعت و حتی امنیت ملی هم تأثیر منفی گذاشته است. برآورد نیاز انرژی در مقیاس شهری بر اساس داده‌های واقعی یا شبیه‌سازی بر مبنای پنج مارک (نشان)‌های انرژی، یک ابزار دقیق برنامه‌ریزی و مدیریت مصرف انرژی است. در این پژوهش مصرف انرژی شهر مریوان در سطح ساختمان برآورد شده و سپس بر اساس آنها نقشه‌های دقیق نیاز انرژی شهر تولید شده‌اند. محاسبات پس از انجام غربالگری و پایش داده‌های واقعی با استفاده از دو متغیر مستقل مساحت فضاهای کنترل شده و کاربری ساختمان و همچنین متغیر وابسته یعنی مصرف سالانه برق و گاز و مصرف سالانه کل انرژی (مجموع برق و گاز) با مدل‌سازی GIS نهایی شدند. نتایج نشان می‌دهد که هر ساختمان با کاربری مشخص، چه میزان انرژی برق و گاز نیاز دارد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین میزان مصرف مربوط به بخش میانی شهر بوده و بخش شمالی کمترین انرژی را مصرف کرده است. در مجموع ساختمان‌های مسکونی ده برابر بیشتر از ساختمان‌های غیرمسکونی انرژی مصرف کرده‌اند. تحلیل نقشه‌ها نشان می‌دهد شهر مریوان سالیانه به ۲۰۳۲ مگاوات ساعت انرژی گاز و ۱۱۷ مگاوات ساعت انرژی برق نیاز دارد. بر اساس تحلیل‌های به دست آمده، بیشترین نیاز انرژی برق برابر ۴۱ مگاوات ساعت مربوط به فصل تابستان و کمترین آن برابر ۳۳ مگاوات ساعت مربوط به فصل بهار است. در حالی که بیشترین مصرف گاز ۸۵۵ مگاوات ساعت در فصل زمستان بوده و کمترین مصرف ۲۳۹ مگاوات ساعت در فصل تابستان بوده است.

واژگان کلیدی: نقشه انرژی شهر، محاسبه و مدل‌سازی نیاز انرژی، معماری و شهر پایدار، مدیریت شهر هوشمند، ساختمان کم مصرف انرژی، پنج مارک مصرف انرژی.

نکات برجسته:

- با استفاده از GIS و داده‌های مصرف واقعی، نقشه‌های انرژی دقیقی برای تجسم و تعیین کمیت تقاضای سالانه برق و گاز طبیعی در سطح ساختمان ایجاد می‌کند.
- این یافته‌ها ابزاری راهبردی برای مدیران شهری فراهم می‌کند تا برنامه‌ریزی هوشمند انرژی را اجرا کنند، زیرساخت‌ها را بهینه کنند و به سمت منابع انرژی پایدار حرکت کنند.

۱. مقدمه

استفاده از انرژی‌های پاک به وجود آمده است (Hassan et al., 2024; Fabra & Reguant, 2024). در این مسیر مدل‌های انرژی معماری و ساختمان می‌توانند به عنوان مبنایی برای تخمین مصرف انرژی به منظور صرفه‌جویی و اقدامات کلی برای برنامه‌های پایداری انرژی و اقلیم به کار گرفته شوند (Pérez-Lombard, 2007). مطالعات اخیر در مقیاس‌های مختلف از ساختمان‌های منفرد تا شهرها یا مناطق شهری انجام شده است (World Urbanization Prospects, 2018). این مدل‌سازی انرژی در مقیاس شهری (UBEM) ^۳ در حال رشد است (Hong et al., 2019) و دارای مزایای بسیاری است که یکی از آنها، استفاده از فناوری‌های تولید پراکنده (DG) ^۴ است. به طور کلی مدل‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها می‌تواند نقطه شروعی برای چنین تحلیل‌هایی به وسیله معماران، مدیران شهری و برنامه‌ریزان باشد (Howard et al., 2012). علاوه بر سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، برنامه‌ریزی‌های مبتنی بر (UBEM) و (GIS) می‌تواند به شهرداری‌ها کمک کند تا انواع دیگر سیاست‌های مربوط به برچسب انرژی ساختمان، ناترازی انرژی یا تأمین پایدار انرژی شهری را ارزیابی کنند (Schiefelbein et al., 2015). سرانجام مدل‌های UBEM در تجزیه و تحلیل تقاضای انرژی برای برنامه ریزی اهداف طراحی معماری، تأثیر ویژه‌ای دارند؛ زیرا با کمک آنها می‌توان اثرات تحولات جدید را برای طراحی سیستم‌های منطقه‌ای و تولید محلی پیش بینی کرد.

پژوهش حاضر به تحلیل مدل انرژی مصرفی انواع ساختمان‌های شهر می‌بویان در قالب نقشه‌های انرژی می‌پردازد. این تحقیق با هدف بررسی مصرف انرژی (گاز و برق) در ساختمان‌های مسکونی و غیر مسکونی در شهر می‌بویان به منظور شناسایی میزان مصرف انرژی مبتنی بر نقشه‌های انرژی می‌پردازد. همچنین در پی پاسخ به این پرسش‌هاست که چه رابطه‌ای میان اقلیم محلی، کاربری ساختمان‌ها شامل کاربری مسکونی و گروه غیر مسکونی و میزان نیاز انرژی در مقیاس کلان (شهر) وجود دارد؟ چگونه می‌توان از این رابطه در مدیریت خردمندان انرژی استفاده کرد؟ چگونه نقشه‌های انرژی شهری به مثابه یک ابزار علمی جدید در شهرهای هوشمند، توانایی برنامه‌ریزی بهتری در اختیار دولت و مدیران رده بالای شهری فراهم می‌کنند؟

ایمنی انرژی (Energy Security) و تأمین مداوم و پایدار آن از مهمترین چالش‌های امروز دولت‌هاست. تعادل نیاز و مصرف انرژی، اساسی‌ترین وظیفه برنامه‌ریزان این بخش است. ایمنی انرژی به معنای تداوم رشد اقتصادی، رفاه اجتماعی، توسعه سلامت، رضایت عمومی و ثبات حکومت است. با گسترش شهرنشینی و رشد جمعیت در دهه‌های اخیر، مصرف انرژی شهرها و ساختمان‌ها به ترتیب به ۷۵ درصد و ۴۰ درصد از کل مصرف جهانی رسیده است (Taminiau, 2020; Nejat et al., 2014). از سوی دیگر فعالیت‌های آلاینده محیط زیست به وسیله انسان، منجر به تغییرات آب و هوا شده که از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم است (Physical & Basis, 2013). یکی از تأثیرات اصلی این تغییرات، افزایش دمای جهانی است که نیاز به اقدامات فوری دارد (Nations and Programme, 2010). با تغییر الگوی انرژی از فسیلی به الکتریسیته خورشیدی، انتشار CO₂ در کشورهای توسعه‌یافته به حدود صفر تقلیل یافته است (Vaisi & Taheri, 2023). امروزه نقشه‌های انرژی در مقیاس سالیانه شهری (کلان و گسترده) تا ساعتی برای تک ساختمان (مقیاس خرد) ترسیم شده و برای برنامه‌ریزان شهری و دولت‌های محلی و ملی امکان مدیریت تقاضا را با ضریب اطمینان بالا فراهم آورده است (Bustamante-Castaño et al., 2024); Blachangnco et al., 2024; Howard et al., 2017; Vaisi et al., 2017) از طرفی به منظور بهبود این ناکارآمدی، سیستم معیار چند سطحی می‌تواند راهنمایی‌های سریع و روشنی را برای طراحان ساختمان، اپراتورها و سازمان‌های نظارتی - اجرایی ساختمان در سطوح محلی، منطقه‌ای و بین‌المللی ارائه کند (Vaisi et al., 2023). افزایش پیش‌بینی نشده میزان تقاضا می‌تواند عرضه انرژی را تهدید کند، موجب فشار بر سیستم انرژی و همین‌طور افزایش هزینه‌ها شود (Pereira & De Assis, 2013). به علاوه اجرای فناوری‌های بهره‌وری انرژی به مراتب کم هزینه‌تر از به‌کارگرفتن منابع انرژی سبز مانند باد و خورشید است (Howland & Student, 2013). در دهه‌های گذشته برنامه‌ریزی شهری با رویکردهای جداگانه‌ای اجرا می‌شدند اما اخیراً سیاست‌های توسعه و مدیریت شهری بر سهم ساختمان‌ها در تقاضای کلی انرژی تأکید دارند و نیاز به رویکردی برای یکپارچه سازی این دو زمینه یعنی بهره‌وری و

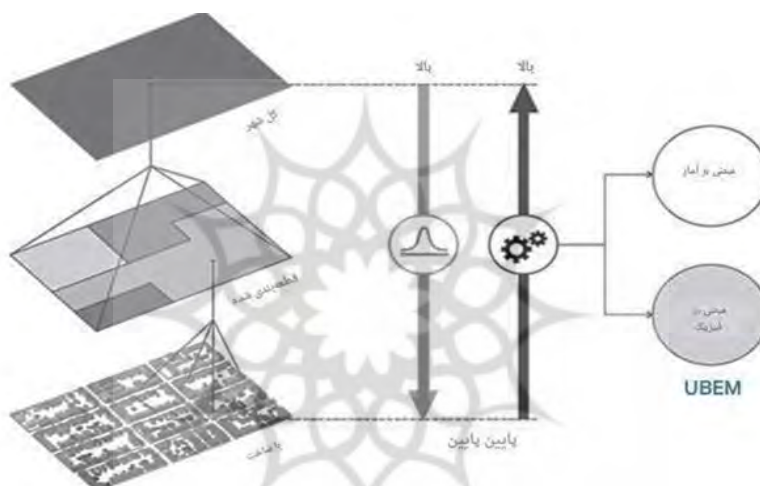
⁴ Distributed Generation

³ Urban Building Energy Model

۲.۲. مدل سازی انرژی در ساختمان⁶ BSM

اساس عملکرد، آنها را به ۲۹ دسته طبقه‌بندی کرده است. کاربری‌های مورد اشاره شامل ۹۸ درصد کل کاربری‌های موجود در یک شهر است. پنج مارک‌های استاندارد نیاز انرژی نشان می‌دهند که عملکرد انرژی یک ساختمان نسبت به ساختمان‌های با همان کاربری مشابه چگونه است. در بخش تحلیل یافته‌ها توضیح داده خواهد شد که چگونه از تعدادی از این ضرایب در تهیه نقشه انرژی استفاده شده است. تقاضای بیشتر انرژی به این معناست که برای تأمین انرژی کم‌کربن به گزینه‌های بیشتر نیاز خواهد بود و متقابلاً داشتن تقاضای انرژی کمتر، انعطاف‌پذیری را در انتخاب گزینه‌های تأمین انرژی افزایش می‌دهد (Selvan et al., 2022). از دیگر تلاش‌ها در این حوزه می‌توان به ابتکار اتحادیه اروپا اشاره کرد که قصد دارد تا سال ۲۰۵۰ یک سیستم

نمونه‌های زیادی از مدل‌سازی انرژی در بخش ساختمان (BSM) وجود دارد که برای ارزیابی تقاضای انرژی در ساختمان‌های موجود استفاده شده‌اند. به طور کلی از رویکردهای مدل‌سازی از بالا به پایین (Top-Down) و پایین به بالا (Bottom-Up) برای تحلیل نقشه‌های انرژی استفاده می‌شود. مدل‌های بالا به پایین برای ارزیابی اثرات ساختمان‌ها در مقیاس شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های بالا به پایین را می‌توان به دو زیر گروه تقسیم کرد؛ مدل‌های آماری و مدل‌های شبیه‌سازی. در رویکرد بالا به پایین بر اساس اطلاعات قبض مصرف مشترکین با استفاده آمار توصیفی، رگرسیون یا یادگیری ماشین مدل‌سازی انجام می‌شود (Österbring et al., 2016).



تصویر شماره ۲: شماتیک دو رویکرد اصلی در مدل سازی مصرف انرژی شهری، ماخذ: (UBEM, 2016)

انرژی پاک پایدار ایجاد کند. چالش جهانی توسعه پایدار در هفده هدف با نام توسعه پایدار سازمان ملل متحد (UN SDGs) خلاصه شده است. از میان آنها اهدافی چون اطمینان از دسترسی به انرژی مقرون به صرفه، قابل اعتماد، پاک برای همه، ایجاد زیرساخت‌های انعطاف‌پذیر، ترویج صنعتی شدن پایدار و تقویت نوآوری، ساخت شهرهای ایمن، انعطاف‌پذیر و پایدار، اطمینان از مصرف پایدار و اقدام فوری برای مبارزه با تغییرات آب و هوا مرتبط با بحث انرژی و شهر هستند. طی دهه‌های گذشته، ابتدا مدل‌های انرژی ساختمان‌ها به صورت منفرد (BEM)⁷ و سپس مدل‌هایی در مقیاس منطقه‌ای، شهری و یا کشوری به ترتیب به روش‌های تجزیه و تحلیل برای معماران و سیاست‌گذاران انرژی تبدیل شدند. اخیراً این دو راهکار یعنی نقشه انرژی و بهینه‌سازی،

(Swan & Ugursal, 2009) سوان و همکاران (2016). سوان و همکاران (2016) بر تکنیک‌های مدل‌سازی انرژی بخش مسکونی ارائه کرده‌اند. روش‌های مدل‌سازی اولیه که در پژوهش آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند، ترکیب رویکرد بالا به پایین (مدل‌های آماری) و پایین به بالا (مدل‌های شبیه‌سازی) بودند (تصویر شماره ۲).

۲.۳. ارزیابی انرژی (TM46)

استاندارد CIBSE TM46 برگرفته از (https://www.cibse.org) آخرین نسخه از روش سنجش پنج مارک مصرف انرژی است که در بریتانیا منتشر شده است. این استاندارد، ۲۳۷ نوع کاربری ساختمان را مشخص کرده و بر

⁷ Building Energy Modeling

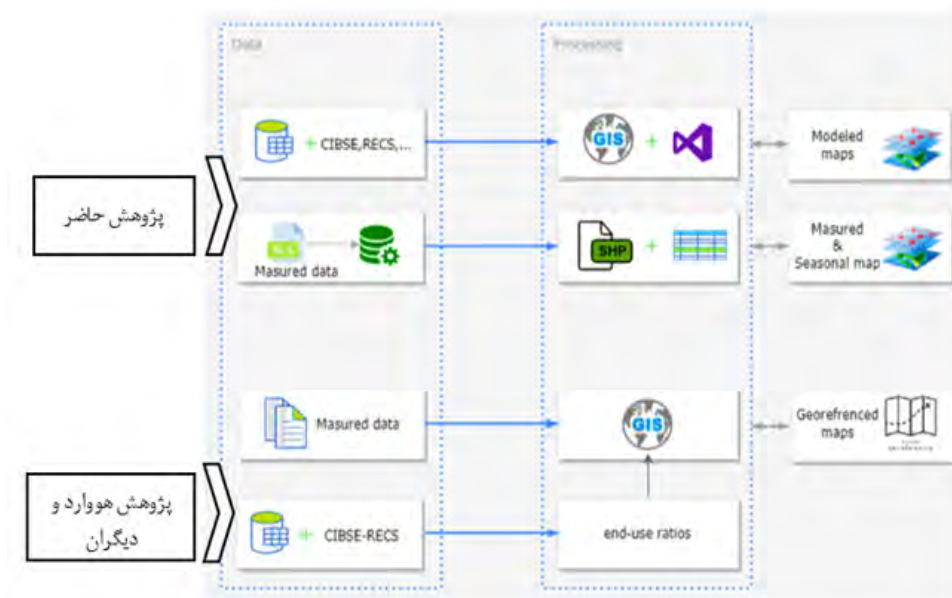
⁶ Building Stock Modeling

این دو مجموعه، محاسبه مصرف انرژی براساس موقعیت مکانی، لوازم، دسته‌های استفاده نهایی امکان پذیر شد. نتایج این پژوهش مشخص کرده که توزیع مکانی مصرف انرژی با وضعیت اجتماعی و اقتصادی خانوارها در ارتباط مسقیم است. در یکی از تازه‌ترین تحقیقات در آفریقای جنوبی، از روشی استفاده شد که داده‌های ورودی مدل مبتنی بر اطلاعات فیزیکی ساختمان^{۱۰} است (Kalua, 2020). هدف اصلی مطالعه بررسی میزان مصرف انرژی به وسیله لوازم مصرف‌کننده، در ساختمان‌های مسکونی شهر مالاوی بود و از آنجا که رویکرد فیزیک/داده می‌تواند مصرف انرژی به وسیله اجزای جداگانه ساختمان را برآورد کند، برای این پروژه انتخاب شد. در مجموع ۳۳ شرکت کننده به نمایندگی از ۳۳ خانوار، طی یک دوره شش ماهه در این مطالعه شرکت کردند. پژوهشگران برای برآورد مقادیر هر یک از متغیرهای وابسته از چند معادله ساده استفاده کردند و داده‌های مورد نیاز را به وسیله پرسشنامه به‌دست آوردند. این پژوهش به طور عمده به دنبال به دست آوردن اطلاعاتی بود که درک کلی در مورد رفتار ساکنان ارائه می‌داد. نتایج نشان می‌دهد که یخچال، روشنایی، تلویزیون، پخت و پز و گرمایش آب برخی از مهمترین مصارف نهایی انرژی در ساختمان مسکونی شهری مالاوی شمرده می‌شوند. در مطالعه آنها ورودی داده‌ها در بخش مدل سازی با استفاده از استانداردهای CIBSE و REECS به‌دست آمد. در حالی که در مقاله حاضر علاوه بر CIBSE و REECS از داده‌های واقعی و پنج مارک‌های انرژی مربوط به اقلیم شهر میوان برای دقت بیشتر در تولید نقشه‌های مربوط به بخش مدل سازی (پیش‌بینی) استفاده شد که وجه تمایز این پژوهش با پژوهش‌های پیشین است. به علاوه در بخش اعتبارسنجی، با استفاده از داده‌های واقعی مصرف انرژی، به تولید پنج مارک‌های محلی جدید اقدام گردید. گفتنی است که تفاوت دیگر این پژوهش با دیگر پژوهش‌ها دقت بالای داده‌های واقعی در مقایسه با روش‌های شبیه‌سازی است که در مطالعه حاضر هم در مقیاس ساختمان (مشابه تحقیق هووارد و همکاران) و هم در مقیاس بلوک شهری به کار رفته است (تصویر شماره ۳).

به منظور تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی در مقیاس کلان، در قالب روش‌های ترکیبی باهم ادغام می‌شوند (Baldi & Giuseppe, 2017). مدل‌های انرژی ساختمان‌های شهری موسوم به (UBEM)، توانایی ترکیب داده‌های مربوط به ساختمان‌ها و نقشه‌برداری از انرژی شهری را دارند (Gesing, 2017; Baldi and Giuseppe, 2017). همچنین از دیدگاه دیگر که بالدی و جوزپه (آن را به اصطلاح «ترکیبی» نامیدند) یک مدل تقاضای انرژی آماری^۸، ترکیب شده با مرجع جغرافیایی^۹ ارائه شد. دانشگاه کلمبیا در نیویورک برای تجزیه و تحلیل و تأکید بر استفاده از انرژی محلی و برنامه‌ریزی در مورد زیرساخت‌های انرژی موجود، این مدل را تهیه کرد. هووارد و همکاران (Howard et al., 2012) میزان انرژی مصرفی در هر قطعه بلوک ساختمان‌های شهر نیویورک را تخمین زدند و نوع نیازهای انرژی را به چهار نوع مصرف نهایی تفکیک کردند که شامل گرمایش فضاهای معماری، آب گرم خانگی، برق برای سرمایش فضاها و مصرف تجهیزات برقی مانند یخچال و ماشین لباسشویی می‌شود.

در سال ۲۰۱۳، پژوهشگران (UCLA) با استفاده از داده‌های اداره آب و برق لس‌آنجلس و بررسی جامعه آمریکا، مصرف انرژی و املاک را در سطح بلوک نشان دادند. برای هر بلوک ساختمان، کاربران می‌توانند اطلاعات دقیق از جمله ترکیب کاربری اراضی، درآمد متوسط، متوسط سال ساخت ساختمان و مساحت بلوک را ببینند (Howland & Student, 2013). این نقشه با استفاده از اطلاعات مربوط به زمین، درآمد و سال ساخت، چشم انداز دقیق‌تری را از نقشه انرژی نیویورک ارائه می‌دهد. علاوه بر این، با نمایش روند تغییرات طی یک دوره ۱۸ ماهه، کاربران می‌توانند در مقیاس بلوک شهری تغییرات فصلی مصرف انرژی را مشاهده کنند. مطالعه پیرا و همکارش (Pereira & De Assis, 2013) با هدف ایجاد مدلی که قادر باشد مصرف انرژی بخش‌های مسکونی، در مناطق مختلف را برآورد کند، در شهر بلازوهونته برزیل انجام شد. در نخستین قدم، بررسی وضعیت مالکیت لوازم و مشخصات اجتماعی و اقتصادی خانوارهای هر منطقه در داخل شهر، از طریق تحلیل آماری داده‌های سرشماری انجام شد. مرحله دوم توصیف میانگین مصرف انرژی به وسیله تجهیزات متداول مسکونی بود که از نظرسنجی‌ها و گزارش‌ها در مورد مصرف انرژی و عادات کاربر محاسبه شد. سپس با ادغام

¹⁰Physics-data⁸Statistical-data⁹ Hybrid geo-referenced models



تصویر شماره ۳: دیاگرام مقایسه‌ای فرایند تحقیق حاضر و دیگران

۳. روش

خطی چند گانه به دست آمد. سپس نتایج به دست آمده از مدل - سازی با مقادیر واقعی مستخرج از قبوض برق و گاز مصرفی محاسبه و مقایسه شد تا درستی روش پژوهش ارزیابی شود. به این ترتیب با ضرب مساحت "فضاهای کنترل شده" ساختمان‌ها در مقدار بنج مارک مصرف هر کاربری (EUI, kWh/m²/yr)، مصرف انرژی آن ساختمان به دست آمد. به طور کلی پژوهش حاضر از دو فاز کلی داده پردازی و مدل سازی در سه گام آنالیز، اعتبارسنجی و تولید ابزار تشکیل شده است (تصویر شماره ۴). همچنین بر اساس نظر ریگان (Ravitch & Riggan, 2017) چارچوب نظری^{۱۱} در دل چارچوب مفهومی^{۱۲} قرار دارد و روابط تئوری که تحقیق بر مبنای آنها طرح ریزی شد، استخراج گردیدند. مدل مفهومی و فرآیند انجام پژوهش در قالب تصویر شماره ۴ ارائه شد.

این پژوهش با رویکردی کاربردی با روشی کمی - تحلیلی به شیوه همبستگی و با استفاده از رگرسیون خطی انجام شده است. در مرحله نخست گردآوری، آماده سازی و پایش اولیه داده‌ها در نرم افزار اکسل و سپس مدل سازی در نرم افزار MLR انجام گرفت. در مرحله بعد تحلیل و ارزیابی مقادیر در نرم افزار SPSS و ارائه همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه در تحقیق صورت پذیرفت. در نهایت مدلی ارائه شد که بنج مارک‌های انرژی انواع ساختمان‌ها را در شهر میوان تبیین خواهد کرد. جامعه آماری ۳۵ هزار ساختمان (حدود ۹۸ درصد تمام کاربری‌های مختلف) از کل ساختمان‌های شهر میوان است.

داده‌های مربوط به ویژگی‌های ساختمان‌ها از اداره کل راه و شهرسازی استان کردستان و داده‌های مصرف واقعی برق و گاز مشترکین شهر از شرکت‌های گاز و برق استان کردستان گردآوری شدند. این مدل تحلیل آماری، به طور کلی دارای رابطه‌ای با حداقل دو متغیر مستقل است: کاربری ساختمان و "مساحت فضاهای کنترل شده" ساختمان. شدت مصرف انرژی نهایی ساختمان، متغیر وابسته است که به وسیله متغیرهای مستقل توصیف می‌شود. از این رو متغیر پاسخ از روش رگرسیون

¹¹ Theoretical frame work

¹² Conceptual frame work



۳.۱. بانک داده‌ها

مشترکین گاز و برق در سه سال شمسی متوالی، ۱۳۹۸، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۶ فراهم شد. آنچه از سامانه‌های شرکت های برق و گاز دریافت شد شامل اطلاعات مشترکین شرکت برق، با حذف اطلاعات طبقه بندی شده (حساس) بخش‌های نظامی و انتظامی مربوط به سه سال مورد مطالعه است.

۳.۳. پایش داده های برق و گاز مشترکین

بسیاری از مقادیر مورد نیاز برای به‌کارگیری در روند تولید نقشه‌های انرژی فصلی یا سالیانه، در بانک اطلاعات دریافت شده از شرکت گاز مانند تعداد روزهای مابین هر کنتورخوانی، تعداد و طول دوره‌های زمان بندی مصارف موجود نبود. نخستین قدم مرتب‌سازی و دسته‌بندی سطرها و ستون‌ها بر اساس تاریخ کنتورخوانی بود. سپس برای ساماندهی داده‌ها در سه سال ۹۸، ۹۷ و ۹۹ ابتدا داده‌های مربوط به اشتراک‌هایی که مجموع تعداد روزهای مصارف آنها کمتر از ۱۱ ماه (۳۳۵ روز) و بیشتر از ۱۳ ماه (۳۹۵ روز) بود، حذف شدند؛ زیرا طبق استاندارد CIBSE TM47 میزان مصارف باید براساس ارقام واقعی که در قبوض انرژی ثبت شده، اندازه‌گیری شود و نقص داده‌ها حداکثر برای $\pm 30\%$ روز قابل قبول است. در مرحله بعد در راستای پیشگیری از اختلال در محاسبات، ارقام مشکوک از بانک داده‌ها حذف شدند. به همین منظور ساختمان‌های با مصارف صفر از همه دوره‌ها حذف شدند. به علاوه داده‌های ساختمان‌های با مصارف مابین صفر تا ۲۰ متر مکعب (خیلی کم) نیز از همه دوره‌ها غیر از تابستان حذف شدند؛ زیرا در فصول غیر از تابستان میزان کم مصرف انرژی گاز، نه به دلیل مشکلات و خرابی کنتور بلکه می‌تواند به این دلیل باشد که سیستم‌های گرمایشی در زمستان مورد استفاده قرار نمی‌گیرند یا مشکلی در ثبت داده وجود داشته است.

روند پایش برای داده‌های مصرف برق به این صورت انجام شد که ابتدا داده‌های مربوط به اشتراک‌هایی که مجموع تعداد روزهای مصرف آنها کمتر از ۱۱ ماه (۳۳۵ روز) و بیشتر از ۱۳ ماه (۳۹۵ روز) بود و پس از آن اشتراک‌های با مصارف مابین صفر تا ۱۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در هر دوره، حذف شدند؛ زیرا این میزان چه برای کاربری‌های مسکونی و چه برای کاربری‌های دیگر، از دید کارشناسان و طبق استاندارد مصرف انرژی غیر منطقی به نظر می‌رسد. همچنین به دلیل طولانی شدن برخی از

شاخص مصرف انرژی به وسیله کاربران، متغیر وابسته^{۱۳} و متغیرهایی چون مصرف سالانه گاز و برق ($kWh/m^2/yr$) متغیرهای مستقل^{۱۴} هستند. همچنین دیگر متغیرهای مرتبط همچون مساحت فضاهای کنترل شده در ساختمان (m^2) و نوع کاربری جزو متغیرهای تعدیل‌کننده^{۱۵} هستند. در خصوص جمع آوری داده‌ها، این پژوهش یک روش تحقیق کمی ثانویه محسوب می‌شود زیرا داده‌های مورد نیاز با مراجعه به سازمان‌ها و شرکت‌های زیربنا به دست آمدند. این روش شامل استفاده از داده‌های موجود یا داده‌های ثانویه است که برای افزایش اثربخشی کلی تحقیقات خلاصه و جمع آوری می‌شوند. منابع چنین پژوهشی، مراکز آمار دولتی، کتابخانه‌ها، گزارش‌های تحقیقاتی و غیره است (Baldi & Giuseppe, 2017). گفتنی است از بین داده‌های قابل تحلیل (ارائه شده در مدل مفهومی) داده‌های نوع ساختمان اعم از کاربری مسکونی و غیر مسکونی و مساحت برای تحلیل در این مطالعه انتخاب شدند. علت این امر در دسترس بودن این داده‌ها و اهمیت بالاتر آنهاست. تحلیل داده‌های قابل بررسی دیگر در اهداف این مقاله نگنجدیده و مطالعه دیگری را می‌طلبد.

۳.۲. داده‌های مصرف انرژی ساختمان‌ها و نقشه انرژی

شهر میروان در بستر GIS

مدل‌سازی انرژی شهری به تعداد زیادی از داده‌های دقیق نیاز دارد که در بانک اطلاعاتی ساختمان‌های شهری (UBD)^{۱۶} قابل ذخیره هستند و از سیستم اطلاعات شهری هوشمند پشتیبانی می‌کنند (Pereira & De Assis, 2013). پروژه حاضر نیز در گام نخست نیازمند نقشه GIS کل شهر، متصل به DB (Data Bank) یا همان بانک داده‌های مورد نیاز بود که شامل مساحت ساختمان‌ها (فضاهای کنترل شده)، تعداد طبقات و کاربری آنهاست. بنابراین بانک اطلاعات و نقشه به روز شده ساختمان‌های شهر میروان در بستر GIS از اداره کل راه و شهرسازی دریافت و ویژگی‌های ساختمان‌ها در جدول اطلاعات توصیفی^{۱۷} بررسی شد. این جدول شامل داده‌های مساحت کل، تراکم، سطح اشغال، تعداد طبقات، نوع مالکیت، نوع ناماسازی، سال ساخت ساختمان و نوع کاربری بود. مغایرت‌های احتمالی از طریق پیمایش برطرف گردید. در این پژوهش، طبق نیاز دسترسی به داده‌های دوره‌ای (حدود ۳۰ تا ۶۰ روزه) مصارف

¹⁶ Urban Building Database

¹⁷ Attribute table

¹³ Dependent variable

¹⁴ Independent variable

¹⁵ Moderator variable

Y_i : میزان مصرف برق یا گاز برای هر اشتراک؛ X_{in} : مساحت فضاهای کنترل شده طبقات هر ساختمان با کاربری k .
 β_i : شدت برق یا گاز برآزش شده با رگرسیون (EUI): k تعداد طبقات هر ساختمان؛ ε : خطای تصادفی.

۴.۱. پنج مارک‌های استفاده شده در نقشه های مدل سازی شده

پنج مارک‌های ارائه شده در جدول شماره ۱، از منابع موثق و به روز شده مختلف جمع‌آوری شده تا نزدیک ترین معیارها از نظر اقلیمی و فرهنگی به مورد مطالعاتی این پژوهش (شهر مریوان) در نظر گرفته شود. برخی از پنج مارک‌ها به وسیله تیم ویسی و همکاران در تحقیقات دیگری محاسبه شده بود و اینجا نیز مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول شماره ۱: پنج مارک‌های استفاده شده در آنالیزها

منبع	پنج مارک انرژی برق kWh/m ² /yr	منبع	پنج مارک انرژی گاز kWh/m ² /yr	کاربری ساختمان
Vaisi (2020)	۲۱	Vaisi (2020)	۳۰۴	مسکونی
https://CIBSE.org	۲۰	https://CIBSE.org	۱۰۵	تجاری
and Varmezizari Vaisi (2019)	۴۰	and Varmezizari Vaisi (2019)	۲۵۲	اداری
Vaisi and Firouzi (2021)	۹	Vaisi and Firouzi (2021)	۱۷۱	آموزشی
Vaisi (2020)	۲۱	Vaisi (2020)	۳۰۴	مسکونی/تجاری
Varmezizari and Vaisi (2019)	۴۰	Varmezizari and Vaisi (2019)	۲۵۲	تجاری/اداری
Vaisi and Firouzi (2021)	۹	Vaisi and Firouzi (2021)	۱۷۱	تجاری/آموزشی

شد (جدول شماره ۱). این میزان برای مصرف گاز عدد ۲۵۲ و برق ۴۰ است (تصویر شماره ۵).

فواصل کنتورخوانی که اغلب در فصل تابستان اتفاق افتاده بود، بخشی از مصارف تابستان در فصل پاییز قرائت شده بودند که همگی این نوع مشترکین از بانک داده حذف شدند.

۴. نقشه‌های انرژی مدل سازی شده

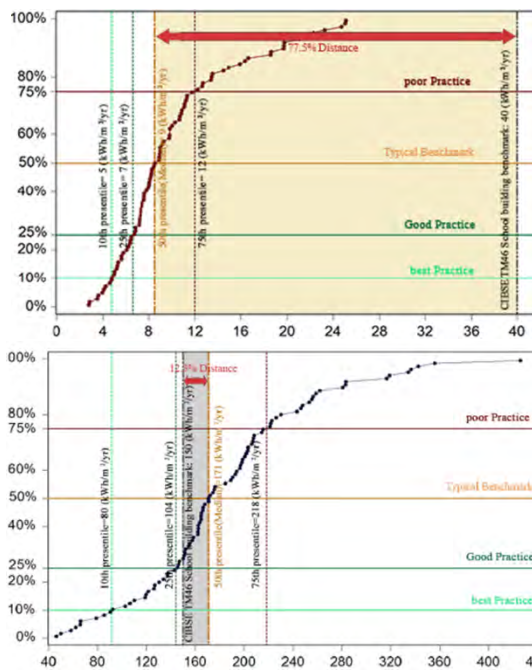
ابتدا مقادیر مصرف سالانه برق و گاز به وسیله جای گذاری مقادیر متغیرهای مستقل موجود در بانک اطلاعات GIS و ضرایب موجود در جدول شماره ۱ با استفاده از کدهای برنامه نویسی VB^{۱۸} تولید شد و سپس خروجی نقشه‌های مصرف سالانه برق، گاز و مصرف کل انرژی سالانه حاصل از جمع مصرف انرژی برق و گاز به دست آمدند.

$$Y_i = \beta_1 k_1 x_{i1} + \beta_2 k_2 x_{i2} + \dots + \beta_n k_n x_{in} + \varepsilon$$

معادله شماره (۱)

طی مطالعه‌ای، ویسی و ورمزیاری (Vaisi et al., 2023a) پنج مارک مصرف انرژی گاز و برق برای کاربری‌های مسکونی را برای شهرستان‌های استان کردستان تعیین نمودند. مقدار این عدد برای یک ساختمان اداری معیار در شهر مریوان ۲۹۲ محاسبه

¹⁸ Visual Basic



تصویر شماره ۶: پنج مارک مصرف برق و گاز ساختمان‌های آموزشی شهرستان سنندج، Firouzi and Vasi, 2021

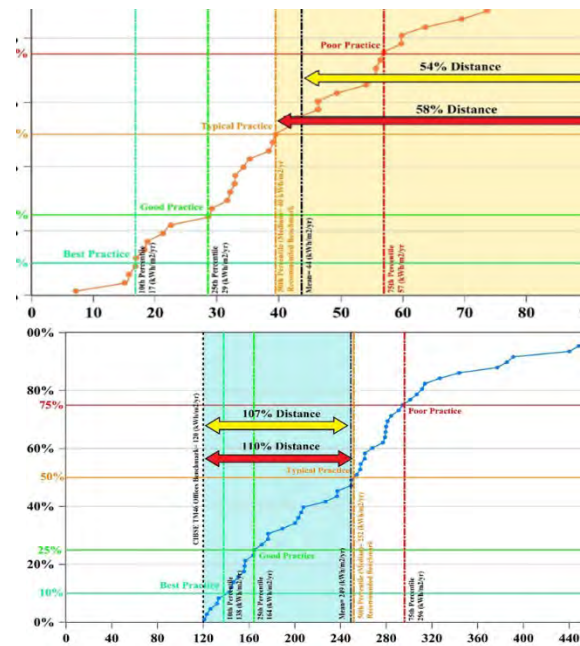
به همین ترتیب پنج مارک‌های دوره‌ای (برای همه دوره‌ها) و پنج مارک‌های فصلی (برای چهار فصل) و پنج مارک‌های سالانه برای انرژی برق و گاز به طور جداگانه محاسبه شدند.

۵. بحث و یافته‌ها

نقشه‌های فصلی بر اساس پنج مارک‌های محاسبه شده از مصارف واقعی تولید شدند. اندازه مصرف هر ساختمان مانند نقشه‌های پیش‌بینی متأثر از دو متغیر مساحت، تعداد طبقات و کاربری ساختمان با روش‌های آمار توصیفی محاسبه شد.

۵.۱. نقشه‌های فصلی مصرف برق و گاز

شهر میوان در فصل تابستان با ۴۱ MWh بیشترین مقدار مصرف انرژی برق را در میان فصول دارد و زمستان با ۳۸ و پاییز ۳۵ و در بهار کمترین میزان ۳۳ MWh مصرف داشته است. فصول پرمصرف گاز به ترتیب نزولی عبارتند از زمستان، پاییز، بهار و تابستان و مصارف آنها نیز به ترتیب ۸۵۵، ۶۹۹، ۴۰۲ و ۲۳۹ MWh محاسبه شده و در تصویر شماره ۷ نشان داده شده است.



تصویر شماره ۵: پنج مارک مصرف برق و گاز ساختمان‌های اداری شهرستان سنندج، Vrmazyari and vasi, 2019

برای محاسبه مصرف انرژی ساختمان‌های آموزشی نیز، مناسب‌ترین معیار مربوط به پنج مارک شهر سنندج است که در پژوهش ویسی و فیروزی مقدار دقیق آن محاسبه شده که برای برق ۹ و گاز $171 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$ به دست آمده است (تصویر شماره ۶). پنج مارک کل انرژی برابر مجموع برق و گاز یعنی $\text{kWh/m}^2/\text{yr}$ ۱۸۰ لحاظ گردید (Vaisi et al., 2023b).

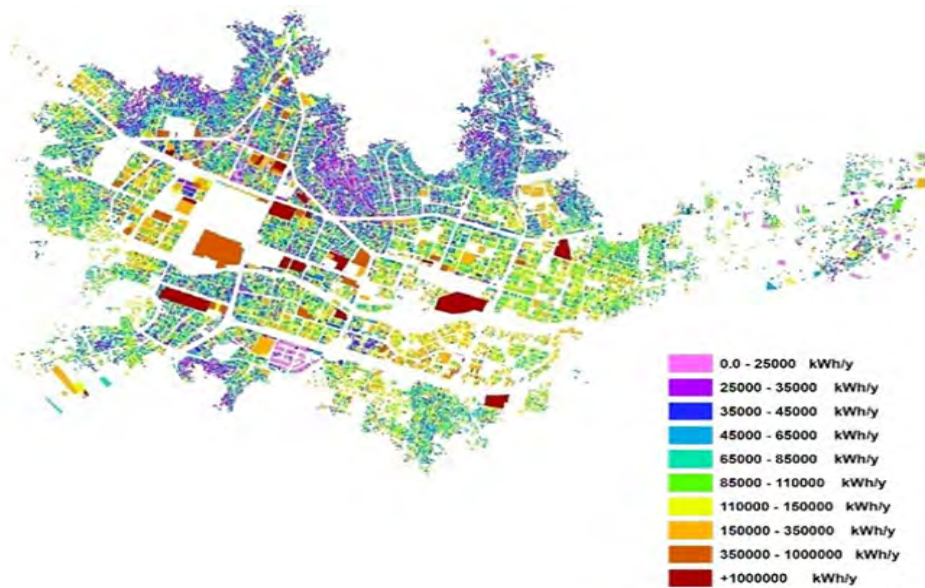
۴.۲. محاسبه پنج مارک‌های انرژی برای شهر میوان

پس از آماده‌سازی اولیه داده‌های مصرف واقعی برق و گاز برای تولید پنج مارک‌های جدید، طبق تاریخ شروع و پایان کنتورخوانی دوره‌ای، داده‌ها به صورت دوره‌ای و فصلی در هر سال دسته‌بندی و به صورت زیر محاسبه شدند:

$$\frac{3}{3} / (\text{مصارف دوره ۱ سال ۹۷} + \text{مصارف دوره ۱ سال ۹۸} + \text{مصارف دوره ۱ سال ۹۹}) = \text{متوسط مصرف دوره ۱}$$

مجموع مساحت فضاهای کنترل شده / متوسط مصرف دوره ۱ = پنج مارک دوره نخست

$$\frac{3}{3} / (\text{مصارف فصل بهار سال ۹۷} + \text{مصارف فصل بهار سال ۹۸} + \text{مصارف فصل بهار سال ۹۹}) = \text{متوسط مصرف فصل بهار}$$



تصویر شماره ۷: نقشه پیش‌بینی نیاز سالانه کل انرژی ساختمان‌های شهر مریوان با استفاده از پنج مارک‌ها

شویم به تعداد ساختمان‌های بلندمرتبه و با مساحت بالا افزوده می‌شود. نیاز کل انرژی (گاز و برق) در بخش میانی شهر آشکار است.

در مورد تراکم مصرف در نواحی مختلف به طور کلی می‌توان نقشه شهر را به سه بخش تقسیم کرد. با توجه به تصویر شماره ۸ بخش قابل توجهی از ساختمان‌های غیر مسکونی در کنار خیابان‌های اصلی واقعند، طبیعتاً هرچه به مرکز شهر نزدیک‌تر



تصویر شماره ۸: نقشه پیش‌بینی مصرف سالانه انرژی برق (سمت راست) و گاز (سمت چپ) ساختمان‌های شهر مریوان با استفاده از ضرایب اندازه‌گیری شده

جدول شماره ۲ مقادیر مصرف برای هرگروه کاربری بیان شده است.

برای درک و مقایسه مصرف کاربری‌ها نسبت به هم و کل مصرف، آنها را به دو دسته تقسیم نموده و در نقشه به تفکیک کاربری مسکونی و غیر مسکونی نشان داده شد (تصویر شماره ۹). در



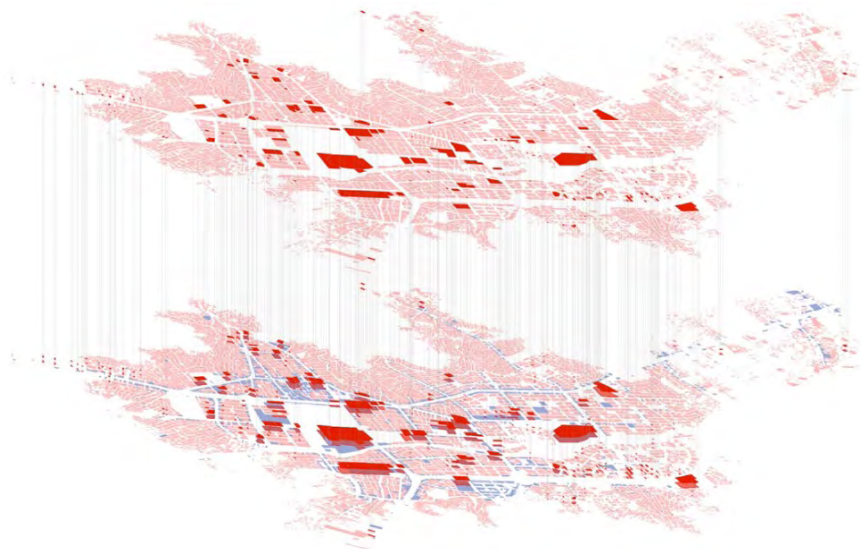
تصویر شماره ۹: نقشه مصرف سالانه کل انرژی اندازه‌گیری شده. رنگ صورتی نماد ساختمان‌های مسکونی و آبی نماد ساختمان‌های غیر مسکونی

جدول شماره ۲: نسبت مصرف کل انرژی اندازه‌گیری شده به تفکیک کاربری MWh/m^2

مصرف سالانه کل انرژی		مصرف سالانه انرژی گاز MWh/yr		مصرف سالانه انرژی برق MWh/yr		مساحت کل %	مساحت کل m^2	کاربری ساختمان
اندازه‌گیری شده	پیش‌بینی شده	اندازه‌گیری شده	پیش‌بینی شده	اندازه‌گیری شده	پیش‌بینی شده			
۲۰۳۲	۱۷۹۹	۲۰۳۲	۱۶۸۲	۱۱۷	۱۱۷	۷۶	۵۵۶۶۵۱۹	مسکونی
۱۷۰	۲۰۱	۱۷۰/۱	۱۷۰/۵	۳۰/۲	۳۰/۳	۲۴	۱۳۴۵۹۴۲	غیر مسکونی

نشان می‌دهد ساختمان‌های غیرمسکونی با این که در کل سطح شهر دارای تعداد کمی هستند اما از نظر پرمصرف بودن انرژی حائز اهمیت زیادی هستند. اما در مقیاس شهری اهمیت مصرف انرژی با ساختمان‌های مسکونی به علت تعداد غالب آنها است. این رقم به ضرورت توجه به مصرف انرژی در بخش مسکونی در شهرها اشاره می‌کند. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد بخش مرکزی شهر بیشترین میزان مصرف و بخش شمالی کمترین مصرف انرژی را در کل شهر داراست (تصویر شماره ۱۰). همچنین در مجموع مصرف کل ساختمان‌های مسکونی ده برابر بیشتر از ساختمان‌های غیرمسکونی است.

همچنین در تصویر شماره ۱۰، لکه‌های قرمز رنگ ساختمان‌هایی را نشان می‌دهند که مصرف سالانه کل انرژی در آنها بالاتر از $300 MWh/yr$ است. ۱۷۴ ساختمان در این بازه مصرف قرار دارند که از این تعداد ۱۱۲ ساختمان دارای کاربری مسکونی و جمع مصارف آنها $707 MWh/yr$ و ۶۲ ساختمان دیگر، غیرمسکونی با جمع مصارف $561 MWh/yr$ است. از طرفی با توجه به این که کاربری‌های غیر مسکونی ۶۴ درصد از تعداد کل ساختمان‌های پرمصرف را تشکیل می‌دهند، مصرف سالانه انرژی آنها ۵۶ درصد از کل مصرف انرژی سالانه را در میان ساختمان‌های پرمصرف به خود اختصاص می‌دهند. این آنالیز

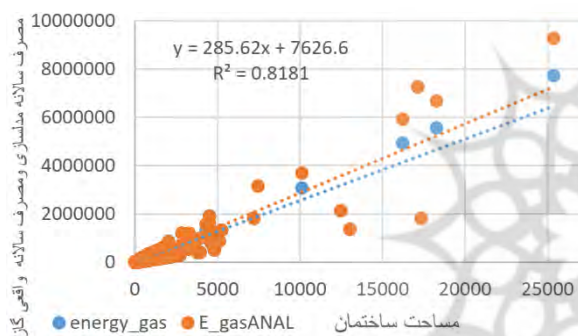


تصویر شماره ۱۰: نقشه همپوشانی ساختمان‌های پرمصرف با ساختمان‌ها در نقشه تفکیک کاربری مصرف سالانه کل انرژی اندازه‌گیری شده (رنگ صورتی نشانگر ساختمان‌های مسکونی و آبی نشانگر ساختمان‌های غیر مسکونی و قرمز نشانگر ساختمان‌های پرمصرف)

۵.۲. تحلیل رگرسیون (اعتبارسنجی)

۵.۲.۱. رگرسیون مصرف سالانه انرژی گاز

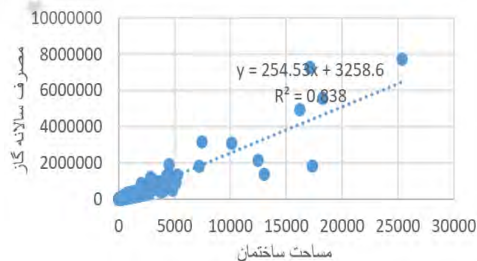
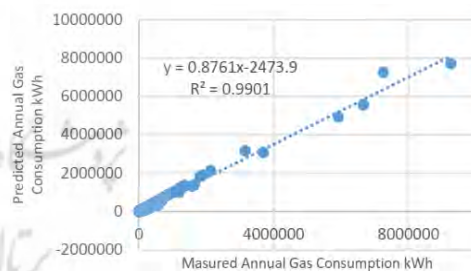
در تصاویر شماره ۱۱، ۱۲ و ۱۳، محور Y مقادیر نیاز انرژی پیش‌بینی شده و محور X مقادیر اندازه‌گیری شده برق و گاز را نشان می‌دهند که نشانگر توانایی مدل برای پیش‌بینی مصرف انرژی است.



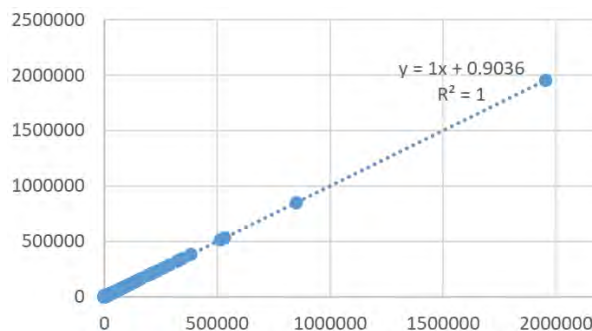
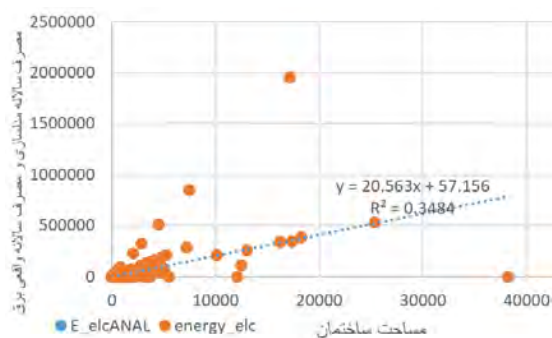
تصویر شماره ۱۲: نمودار رگرسیون خطی برای مقایسه مقادیر پیش-بینی شده و اندازه‌گیری شده مصرف سالانه گاز با مساحت ساختمان

۵.۲.۲. رگرسیون مصرف سالانه انرژی برق

از آنجایی که پنج مارک‌های به دست آمده از مصارف واقعی برق برابر با پنج مارک نقشه‌های مدل شده، نقاط پراکندگی داده‌ها کاملاً یکسان است و دو خط رگرسیون در نمودار منطبق بر هم نمایش داده می‌شوند. لازم به توضیح است که مراحل انجام رگرسیون به منظور اعتبارسنجی پنج مارک‌های نقشه مدل شده صورت گرفت. تحلیل‌ها رابطه ضعیف مصرف برق و مساحت را نشان می‌دهند.



تصویر شماره ۱۱: نمودار رگرسیون خطی برای مقایسه مقادیر پیش-بینی شده با اندازه‌گیری شده و رابطه نیاز و مساحت ساختمان به همراه نمایش معادله و ضریب رگرسیون در مصرف سالانه گاز



تصویر شماره ۱۳: نمودار رگرسیون خطی برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده با اندازه‌گیری‌شده در مصرف سالانه برق و نیز مقادیر پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری‌شده مصرف سالانه برق با مساحت ساختمان

آب‌وهوایی محلی و نقش اقتصاد بر مصرف انرژی، آلاینده‌گی و هزینه‌هاست.

با توجه به ناترازی انرژی در ایران خصوصاً قطعی برق و گاز و پتانسیل‌های استفاده از انرژی خورشیدی و بادی، طبق نقشه‌های انرژی تولید شده برای شهر مریوان، تنوع سبد منابع انرژی و انتقال از انرژی فسیلی به منابع تجدید پذیر پیشنهاد می‌شود. نقشه‌های شدت انرژی شهری (EUI) مکان مناسب استقرار و ایجاد توسعه نیروگاه‌های خورشیدی آینده در سطح شهر را نشان می‌دهند. به سیاست گذاران در سطح ملی و محلی توصیه می‌شود از راهکارهای مدیریت هوشمند انرژی شهری با استفاده از دی‌تیا، شبیه‌سازی و روش‌های جدید برای مدیریت ناترازی و بهبود کارایی انرژی استفاده کنند. روش ارائه شده برای همه شهرهای کشور قابل تکرار و اجراست. داشبورد هوشمند مدیریت شهری مونیتوری برای رصد و کارایی مدیریت انرژی خواهد بود و لازم است این سیاست در کل کشور به دغدغه مدیران شهری تبدیل شود.

۶. نتیجه گیری

با توجه به تحلیل دقیق داده‌ها، متغیر مصرف انرژی برق از شاخص‌های انرژی با شاخص مساحت بنا دارای رابطه مستقیم است. همچنین متغیر مصرف انرژی گاز از شاخص‌های انرژی با شاخص مساحت بنا دارای رابطه معنادار با سطح معناداری ۰/۸۲ و بافاصله اطمینان ۹۵ درصد است. تحلیل نقشه‌ها نشان می‌دهد شهر مریوان سالانه به 20.32 MWh/yr انرژی گاز و 117 MWh/yr برق در بخش مسکونی نیاز دارد. بر اساس تحلیل‌های متوسط نیاز مصرف بیشترین نیاز انرژی برق برابر ۴۱ مگاوات ساعت مربوط به فصل تابستان و کمترین آن برابر ۳۳ مگاوات ساعت مربوط به فصل بهار است. بیشترین مصرف گاز نیز 855 MWh/yr در فصل زمستان بوده، در حالی که کمترین مصرف 239 MWh/yr در فصل تابستان بوده است.

بر اساس یافته‌های نقشه انرژی این پژوهش، اطلاعات فنی و مدیریتی به منظور برنامه‌ریزی راهبردی به وسیله دستگاه‌های مدیریت شهری چون شهرداری و شرکت‌های خدمات انرژی مانند شرکت گاز، آب و فاضلاب و برق در اختیار تصمیم‌گیران این دستگاه‌ها قرار خواهد گرفت. از دیگر سو نقش مشوق‌ها برای ارتقای تجهیزات گرمایشی و سرمایشی و همچنین جایگزینی انرژی‌های فسیلی با منابع تجدیدپذیر مانند نیروگاه‌های خورشیدی غیرمتمرکز راهبردی موفق است که در شهرهای پیشرفته در حال انجام است. همچنین با توجه به این که در این پژوهش متغیرهای کاربری و مساحت بر میزان مصرف انرژی برق و گاز مورد بررسی قرار گرفت، پیشنهاد تحقیقات آینده شامل تحلیل تأثیر سناریوهای رشد جمعیت، درآمد خانوار، تغییرات

References

- Baldi, M. G. and G. Giuseppe (2017). "The second law and the energy use mapping for sustainability planning." *Energy Procedia* **111**: 730–739.
- Bustamante-Castaño, S., et al. (2024). "Systematic mapping study on energy models with thermal energy carriers: Opportunities and challenges." *Energy for Sustainable Development* **81**: 101461.
- Fabra, N. and M. Reguant (2024). "The energy transition: A balancing act." *Resource and Energy Economics* **76**: 101408.
- Giorio, M., Manni, M., Köker, N. I., Bertolin, C., Thebault, M., & Lobaccaro, G. (2025). Interactive platforms for solar energy planning in smart cities: A state-of-the-art review of solar cadasters. *Solar Energy*, 287, 113227.
- Giulia, M. Mininni, Timothy J. Foxon, Claire Copeland, Beatriz Aguirre Martinez, Donal Brown, Marie Claire Brisbois, Gerardo A. Torres Contreras, Siobhan Stack-Maddox, Max Lacey-Barnacle, Christian Jaccarini, (2024) Increasing wellbeing through energy demand reduction for net zero: Citizen Perceptions of co-benefits of local measures, *Energy Research & Social Science*, Volume 118, 103799, ISSN 2214-6296, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103799>.
- Hong, T., Chen, Y., Luo, X., Luo, N., & Lee, S. H. (2020). Ten questions on urban building energy modeling. *Building and Environment*, 168, 106508. T. Physical and S. Basis, CLIMATE CHANGE 2013. 2013.
- Howard B, L. Parshall, J. Thompson, S. Hammer, J. Dickinson, and V. Modi, (2012). "Spatial distribution of urban building energy consumption by end-use," vol. 45, pp. 141–15, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.10.061.
- Howard, B., Waite, M., & Modi, V. (2017). Current and near-term GHG emissions factors from electricity production for New York State and New York City. *Applied Energy*, 187, 255-271.
- Howland, A. A. B. (2013). The residential energy map: Catalyzing energy efficiency through remote energy assessments and improved data access (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Kalua, A. (2020). Urban residential building energy consumption by end-use in Malawi. *Buildings*, 10(2), 31.
- Li, W., Zhou, Y., Cetin, K., Eom, J., Wang, Y., Chen, G., & Zhang, X. (2017). Modeling urban building energy use: A review of modeling approaches and procedures. *Energy*, 141, 2445-2457.
- Mohammadi, S., de Vries, B., & Schaefer, W. (2013). A comprehensive review of existing urban energy models in the built environment. *Planning support systems for sustainable urban development*, 249-265.
- Nejat, P., Jomehzadeh, F., Taheri, M. M., Gohari, M., & Majid, M. Z. A. (2015). A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). *Renewable and sustainable energy reviews*, 43, 843-862.
- Österbring, M., Mata, É., Thuvander, L., Mangold, M., Johnsson, F., & Wallbaum, H. (2016). A differentiated description of building stocks for a georeferenced urban bottom-up building-stock model. *Energy and Buildings*, 120, 78-84. Obaidullah Yaqubi, Sihem Guernouti, Auline Rodler, Marjorie Musy, (2025) Mapping indoor overheating exposure rate at city scale: A data-driven method based on building typologies and surrogate-modelling, *Energy and Buildings*, 115441, ISSN 0378-7788,
- Pereira, I. M., & de Assis, E. S. (2013). Urban energy consumption mapping for energy management. *Energy Policy*, 59, 257-269.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 40(3), 394-398.
- Qusay Hassan, Ahmed K. Nassar, Ali Khudhair Al-Jiboory, Patrik Viktor, Ahmad A. Telba, Emad Mahrous Awwad, Ayesha Amjad, Hassan Falah Fakhruideen, Sameer Algburi, Saoud Chayid Mashkoor, Marek Jaszczur, Aws Zuhair Sameen, Maha Barakat, (2024), Mapping Europe renewable energy landscape: Insights into solar, wind, hydro, and green hydrogen production, *Technology in Society*, Volume 77, 102535, ISSN 0160-791X, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102535>
- Ravitch, S. M., & Riggan, M. (2017). Reason & Rigor: How Conceptual Frameworks Guide Research, 2nd Edition. *Occupational Therapy In Health Care*, 31(4), pp. 378–379
- Reinhart, C. F., & Davila, C. C. (2016). Urban building energy modeling—A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196-202.
- Ryan A. , W. Paul, M. Christine, and L. Chris, (2014). "Ac ce p us cr t," *Energy Build.*, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.
- Selvan, R., Bhagwat, N., Wolff Anthony, L. F., Kanding, B., & Dam, E. B. (2022). Carbon footprint of selecting and training deep learning models for medical image analysis. *International*

- Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, Springer.
- Schiefelbein, J., Diekerhof, M., Javadi, A. P., Bode, G. T., Streblov, R., Müller, D., & Monti, A. (2016). Development of a tool chain for complex city district energy system modeling and simulation. *Universitätsbibliothek der RWTH Aachen*.
 - Swan, L. G., & Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(8), 1819-1835.
 - Taminiau, J., & Byrne, J. (2020). City-scale urban sustainability: Spatiotemporal mapping of distributed solar power for New York City. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 9(5), e374.
 - Vaisi, S. (2017). Thermal energy modeling, benchmarking, and mapping for university campus buildings.
 - Vaisi, S., & Taheri, H. (2023). Developing the water-energy nexus performance of direct evaporative coolers in a hot and dry climate: Toward a green space cooling. *Water-Energy Nexus*, 6, 244-254.
 - Vaisi, S., Dyer, D., & Pilla, F. (2014, June). Energy requirement mapping for university campus using CIBSE benchmarks and comparing CIBSE to display energy certificate (DEC) to extract a new criterion. In *Proceedings of the Energy Systems Conference, London, UK* (pp. 24-25).
 - Vaisi, S., Firouzi, M., & Varmazyari, P. (2023b). Energy benchmarking for secondary school buildings, applying the Top-Down approach. *Energy and Buildings*, 279, 112689.
 - Vaisi, S., Varmazyari, P., Esfandiari, M., & Sharbaf, S. A. (2023a). Developing a multi-level energy benchmarking and certification system for office buildings in a cold climate region. *Applied Energy*, 336, 120824.
 - Zhao, H. X., & Magoulès, F. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3586-3592.
 - Varmezayari, Pouya, Salah, Vaisi (2019). Energy Audit of Office Buildings in Sanandaj City and Its Application in Architectural Design, Master's Thesis, University of Kurdistan. [In Persian]
 - Vaisi, Salah (2020). Benchmarking gas consumption of residential subscribers in Kurdistan province, identifying parameters affecting gas consumption and providing optimal consumption management solutions, Vice-Chancellor of Research, University of Kurdistan. [In Persian]
 - Vaisi, Salah, Firouzi, Mahtab (2021). Benchmarking energy consumption in junior secondary schools in Sanandaj and extracting practical patterns in designing a model school, Master's thesis, University of Kurdistan. [In Persian]

نحوه ارجاع به مقاله:

ویسی، صلاح، حسینی پور، سمیه، خیابان چیان، نگار و حسینی کیا، سید محمد مهدی (۱۴۰۴). ارزیابی و مدیریت هوشمند نیاز انرژی ساختمان‌های شهر مریوان با استفاده از نقشه‌های انرژی. *مطالعات شهری*، ۱۴(۵۶)، ۱۹-۳۴. Doi: 10.22034/urbs.2025.143406.5144

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

