



وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه بناب



Research Paper

Energy Performance Audit of Electricity Distribution Company Administrative Buildings in the Cold Semi-Arid Climate of Tabriz

1. **Tohid Adibi (Corresponding author)***: Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran.
2. **Radman Ebadi**: M.S Student, Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. **Sevda Najafi**: B.S Student, Department of Mechanical Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran.

ARTICLE INFO

Received:2025/05/20

Accepted:2025/07/29

PP: 1-21

Scan the QR code below
to access and read this
article.



Keywords: Energy
audit; Server room; Energy
optimization; Energy
labeling; Solar cooling;
Sustainable architecture

Abstract

The increasing energy consumption in office buildings, along with environmental impacts and rising energy costs, has made energy efficiency optimization a critical necessity. This study aims to analyze the energy performance of various administrative buildings located in the cold semi-arid climate of Tabriz based on the Iranian National Standard No. 14254 (National Energy Standard). In this research, the electricity and natural gas consumption data of 22 office buildings were examined. The total equivalent energy consumption of the buildings was calculated using measured electricity and gas consumption data and compared with national standard benchmarks to determine the energy label of each building.

In several office buildings, server rooms represent one of the most significant energy consumers throughout the year due to their continuous cooling requirements. Therefore, the performance of server rooms was investigated separately in this study. The results indicate that the energy consumption ratio of the investigated buildings varies between 2.94 and 14.8, with an average value of 5.81. Furthermore, both short-term and long-term strategies for reducing energy consumption in these buildings are proposed. The findings of this research can serve as a practical framework for energy consumption optimization in similar buildings located in cold and semi-arid climates, as well as other climatic regions.

Citation: Adibi, T., Ebadi, R., Najafi, S. (2025). Energy Performance Audit of Electricity Distribution Company Administrative Buildings in the Cold Semi-Arid Climate of Tabriz. *Journal of Cold Climate Architecture and Environment*, Vol 1, No 1, PP: 1-21.

* **Email:** tohidadibi@ubonab.ac.ir



Extended Abstract

Introduction

The rapid growth of energy consumption in office buildings has become a critical global challenge, particularly in regions experiencing harsh climatic conditions. Office buildings represent a substantial share of total energy use due to continuous occupancy, extensive use of electrical equipment, and the demand for heating and cooling systems. In parallel with increasing energy demand, rising energy costs and growing environmental concerns associated with greenhouse gas emissions have intensified the need for effective energy management strategies. As a result, energy auditing has emerged as a key tool for assessing building energy performance and identifying opportunities for efficiency improvement.

In cold and semi-arid climates, energy consumption patterns exhibit unique characteristics. Long and cold winters significantly increase heating demand, while high solar radiation during summer months leads to increased cooling loads. Tabriz, located in northwestern Iran, is classified under the Köppen–Geiger climate classification as a cold semi-arid (BSk) region. This climatic condition creates a complex energy profile in buildings, where both heating and cooling demands are substantial throughout the year. Despite the strategic importance of energy efficiency in such regions, comprehensive energy audits tailored to this specific climate remain limited.

Office buildings belonging to electricity distribution companies are particularly important from an energy management perspective. These buildings are expected to serve as role models for rational energy consumption due to their institutional function and public visibility. However, preliminary observations indicate that many of these buildings suffer from inefficient energy use, outdated building envelopes, and poorly optimized heating and cooling systems. One of the most energy-intensive components in modern office buildings is the server room. Server rooms operate continuously and require stable thermal conditions, leading to significant cooling energy consumption throughout the year. In many cases, these spaces are not designed or managed according to energy efficiency principles.

The present study aims to conduct a comprehensive energy audit of 22 office buildings belonging to the Tabriz Electricity Distribution Company, located in a cold and semi-arid climate. The audit is performed in accordance with Iran's National Energy Standard No. 14254, which provides criteria for calculating energy consumption intensity and assigning energy labels. In addition to evaluating overall building energy performance, this study places particular emphasis on the energy behavior of server rooms as critical high-consumption zones. By integrating climatic considerations, building characteristics, and operational conditions, this research seeks to fill an existing knowledge gap and provide practical recommendations for energy optimization in similar office buildings.

Methodology

This research adopts a mixed-methods approach combining quantitative analysis and qualitative field observations to perform a detailed energy audit. The methodological framework consists of four main stages: (1) field data collection, (2) calculation of equivalent energy consumption, (3) comparison with national energy benchmarks and energy labeling, and (4) focused analysis of server room conditions.

Field data were collected through extensive on-site inspections and the examination of utility bills for electricity and natural gas. A total of 22 office buildings were studied over two separate periods, from April to July 2021 and from May to August 2024. During these periods, 46 site visits were conducted, primarily between 8:00 a.m. and 2:00 p.m., to ensure consistent operating conditions. Data recorded during field visits included building location, conditioned floor area, window type, insulation condition, heating system characteristics, cooling equipment, and server room specifications.

Annual electricity consumption (kWh) and natural gas consumption (m^3) were extracted from official utility bills. To allow meaningful comparison between different energy carriers, gas consumption was converted into equivalent electrical energy using a calorific value of 10.5 kWh per cubic meter of natural gas. Electricity consumption was converted into primary energy using a conversion factor of 0.27, accounting for power plant efficiency and transmission losses. This implies that approximately 3.7 kWh of primary energy is required to generate 1 kWh of delivered electricity.

The total equivalent annual energy consumption of each building was calculated as the sum of converted electricity and gas energy. Energy consumption intensity was then obtained by dividing total equivalent energy by the conditioned floor area ($kWh/m^2 \cdot year$). Based on these values, buildings were classified according to the Iranian National Standard 14254, which categorizes buildings from energy label A (most efficient) to G (most energy-intensive).

All calculations and data processing were carried out using the Engineering Equation Solver (EES) software. EES was selected due to its strong capability in solving nonlinear systems, its comprehensive thermodynamic property



libraries, and its flexibility in advanced programming and optimization tasks. The use of EES ensured high computational accuracy and reproducibility of results.

A separate and detailed assessment was conducted for server rooms. Parameters such as indoor air temperature, relative humidity, cooling system type, window characteristics, and room usage were recorded. Measured temperature and humidity values were compared with the ASHRAE-recommended psychrometric comfort zone (A1 class) for electronic equipment to evaluate operational safety and energy optimization potential.

Results and Discussion

The results of the energy audit reveal significant variations in energy consumption among the studied buildings. The calculated energy consumption ratio ranged from 2.94 to 14.8, indicating a wide disparity in energy performance. The average energy consumption ratio across all buildings was found to be 5.81, reflecting generally poor energy efficiency. Only two buildings achieved an energy label of C, while the majority fell into categories D, E, F, or G. Approximately one-third of the buildings were so energy-intensive that they did not qualify for any energy label under the national standard.

Analysis of energy carrier distribution showed that, on average, 24.6% of energy consumption was attributed to electricity and 75.4% to natural gas. However, when floor area was taken into account, electricity consumption accounted for nearly one-third of total energy use in larger buildings. This indicates that electrical loads, including lighting, office equipment, and cooling systems, become increasingly dominant as building size increases.

Field observations revealed that buildings with high energy consumption typically exhibited poor envelope performance, such as single-glazed windows, inadequate insulation in boiler rooms, and lack of temperature control systems. Conversely, buildings with relatively lower energy consumption often benefited from double-glazed windows, insulated piping, and basic temperature control mechanisms. In some cases, contradictions were observed where technically well-equipped buildings displayed high energy use due to operational issues, such as improper thermostat settings or human behavior, including leaving windows open during heating operation.

Server room analysis highlighted their critical role in overall energy consumption. Approximately 63% of server rooms were equipped with split air-conditioning systems, 16% used evaporative coolers, and 21% had no dedicated cooling system. Measured temperatures ranged from 17°C to 31°C, while relative humidity varied between 20% and 31%. The findings suggest that server rooms can safely operate at temperatures as high as 31°C without compromising equipment reliability. This creates a substantial opportunity for reducing cooling energy demand by relying on natural ventilation during most months of the year.

Furthermore, the use of solar-assisted absorption cooling systems during peak summer months was identified as a promising alternative to conventional compression-based cooling. Given the high solar radiation levels in Tabriz during summer, such systems could significantly reduce electricity demand while maintaining acceptable thermal conditions in server rooms.

Conclusion

This study provides a comprehensive energy audit of 22 office buildings located in the cold and semi-arid climate of Tabriz. The findings indicate that energy efficiency levels in the majority of these buildings are unsatisfactory, with an average energy label of F and only limited compliance with national energy standards. Server rooms were identified as major contributors to excessive energy consumption due to continuous cooling requirements and inefficient system design.

The results demonstrate that significant energy savings can be achieved through relatively low-cost and practical measures, such as improving building insulation, upgrading cooling systems, optimizing temperature setpoints, and adopting climate-responsive strategies. In particular, allowing higher operating temperatures in server rooms, utilizing natural cooling for extended periods, and implementing solar-driven absorption cooling systems can substantially reduce electricity consumption.

The proposed framework is not only applicable to the studied buildings but can also serve as a model for similar office buildings in other cold and semi-arid regions. From a policy perspective, the findings support the prioritization of energy audits, user training programs, and incentive-based retrofitting strategies. Future research is recommended to incorporate detailed economic analyses, statistical modeling, and comparative studies across different climatic zones to further enhance the robustness of energy optimization strategies.



وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه بناب

فصلنامه معماری و محیط اقلیم سرد

زمستان ۱۴۰۴ سال ۱ شماره ۲

شماره ISSN (آنلاین)

<https://ccae.ubonab.ac.ir>



مقاله پژوهشی

ممیزی انرژی ساختمان‌های اداری شرکت توزیع برق در اقلیم نیمه خشک و سرد تبریز

۱. توحید ادیبی (نویسنده مسئول مکاتبات)*: دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، بناب، ایران
۲. رادمان عبادی: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳. سودا نجفی: دانشجوی کارشناسی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷</p> <p>شماره صفحات: ۲۱-۱</p> <p>برای مطالعه این مقاله کد زیر را اسکن کنید</p>  <p>واژه‌های کلیدی:</p> <p>ممیزی انرژی، اتاق سرور، بهینه سازی، برجسب انرژی، سرمایه‌گذاری، معماری پایدار</p>	<p>افزایش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری، همراه با پیامدهای زیست‌محیطی و هزینه‌های رو به رشد انرژی، بهینه‌سازی مصرف انرژی را به یک ضرورت تبدیل کرده است. این پژوهش با هدف تحلیل عملکرد ساختمان‌های اداری مختلف در اقلیم نیمه‌خشک و سرد شهر تبریز، بر مبنای استاندارد ملی ۱۴۲۵۴ (استاندارد ملی انرژی) انجام شده است. در این مطالعه، مصرف انرژی (برق و گاز) در ۲۲ ساختمان اداری مورد بررسی قرار گرفت. مصرف انرژی کل معادل ساختمان‌ها با استفاده از داده‌های میزان گاز و برق مصرفی ساختمان محاسبه، و با شاخص‌های استاندارد ملی ایران مقایسه شد تا برجسب انرژی هر ساختمان تعیین شود. در برخی از ساختمان‌های اداری اتاق‌های سرور به علت نیاز به سرمایه‌گذاری دایمی یکی از مهمترین مصرف‌کننده‌های انرژی در طول سال هستند. برای همین در این مطالعه، وضعیت اتاق‌های سرور به طور مجزا بررسی شده است. نتایج نشان داد که نسبت مصرف انرژی در این ساختمانها بین ۲.۹۴ تا ۱۴.۸ متغیر بوده است. میانگین نسبت مصرف انرژی در این ساختمانها نیز ۵.۸۱ به دست آمد. همچنین راهکارهای کوتاه مدت و بلند مدت برای کاهش مصرف انرژی در این ساختمانها در این مقاله ارائه شده است. یافته‌های این تحقیق می‌تواند الگویی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در سایر ساختمان‌های مشابه در اقلیم سرد و نیمه خشک یا سایر اقلیم‌ها ارائه دهد.</p>

استناد: ادیبی، توحید؛ عبادی، رادمان؛ نجفی، سودا. (۱۴۰۴). ممیزی انرژی ساختمان‌های اداری شرکت توزیع برق در اقلیم نیمه خشک و سرد تبریز. فصلنامه

معماری و محیط اقلیم سرد، (۱)، صفحات: ۲۱-۱

* پست الکترونیکی: tohidadibi@ubonab.ac.ir

۱- مقدمه

با توجه به روند فزاینده هزینه‌های انرژی و همچنین پیامدهای مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی، لزوم بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. این مسئله نه تنها از جنبه اقتصادی، بلکه از منظر پایداری محیط‌زیست و مسئولیت‌پذیری اجتماعی نیز حائز اهمیت است [۱، ۲]. در این راستا، شناسایی راهکارهای نوین و کارآمد برای کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری در ساختمان‌های اداری، به یک اولویت استراتژیک تبدیل شده است. مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری، به‌ویژه در بخش‌های حساسی مانند اتاق‌های سرور، به یکی از چالش‌های اساسی در حوزه مدیریت انرژی تبدیل شده است. اتاق‌های سرور به‌عنوان قلب پردازشی و مخابراتی بسیاری از سازمان‌های اداری، نقشی حیاتی در عملکرد روزمره این مراکز ایفا می‌کنند. این فضاها به‌صورت شبانه‌روزی در حال فعالیت‌اند و تجهیزات الکترونیکی حساس در آن‌ها نیازمند شرایط محیطی پایدار هستند. از آنجایی که این تجهیزات حرارت زیادی تولید می‌کنند، اتاق‌های سرور به سیستم‌های سرمایشی قوی و پیوسته نیاز دارند که مصرف انرژی قابل توجهی را به همراه دارد. استفاده از سیستم‌های سرمایش با راندمان بالا، به‌کارگیری تهویه طبیعی در اقلیم‌های مناسب، عایق کاری بهینه، و طراحی مبتنی بر استانداردهای مصرف انرژی از جمله راهکارهایی هستند که می‌توانند به کاهش مصرف انرژی این فضاها کمک کنند. در چارچوب مدیریت سبز ساختمان، توجه ویژه به عملکرد اتاق‌های سرور نه تنها موجب افزایش کارایی انرژی کل ساختمان می‌شود، بلکه از منظر پایداری زیست‌محیطی نیز اهمیت دارد. بهینه‌سازی مصرف انرژی در این فضاها می‌تواند تأثیر مستقیم بر کاهش بار سرمایشی، کاهش ردپای کربن، و ارتقای سطح برچسب انرژی ساختمان داشته باشد. از این‌رو، ارزیابی دقیق این فضاها و ارائه راهکارهای فنی برای بهبود عملکرد آن‌ها، بخشی جدایی‌ناپذیر از تحلیل انرژی ساختمان به شمار می‌آید [۳، ۴].

در این مطالعه از دسته‌بندی اقلیمی کوپن که یکی از معروف‌ترین سیستم‌های طبقه‌بندی اقلیمی است، استفاده شده است. این دسته‌بندی توسط ولادیمیر کوپن، اقلیم‌شناس آلمانی، در سال ۱۹۰۰ ارائه شد و سپس توسط خود او و دیگران اصلاح گردید. این سیستم بر اساس دما، بارش و الگوی فصلی آنها، اقلیم‌های جهان را به پنج گروه اصلی و چندین زیرگروه تقسیم می‌کند [۵-۷]. در این نوع تقسیم بندی تبریز در اقلیم BSk یا به عبارت دیگر اقلیم خشک و سرد قرار می‌گیرد.

مطالعات گسترده‌ای در زمینه مدیریت سبز ساختمان‌ها و بهینه‌سازی مصرف انرژی در اقلیم نیمه‌خشک و سرد انجام شده است و پژوهش‌های متعددی به بررسی روش‌های کاهش مصرف انرژی و بهبود عملکرد سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی پرداخته‌اند. به عنوان مثال، چن و همکارانش [۸] در مطالعه‌ای نشان دادند که استفاده از عایق کاری حرارتی پیشرفته در دیوارها و سقف‌های ساختمان‌های واقع در مناطق اقلیم سرد و نیمه خشک یا سایر اقلیم‌ها می‌تواند اتلاف انرژی را تا ۲۰ درصد کاهش دهد و به حفظ دمای مطلوب داخلی کمک کند. همچنین، کومار و سینگ [۹] به بررسی کارایی سیستم‌های سرمایش تبخیری در اقلیم نیمه‌خشک و سرد پرداختند و گزارش کردند که این سیستم‌ها می‌توانند با مصرف انرژی کمتر، بازدهی تا ۳۵ درصد در خنک‌سازی ارائه دهند، هرچند در مناطق مرطوب کارایی آن‌ها محدود است. از سوی دیگر، لوپز و گارسیا [۱۰] در پژوهشی به تأثیر استفاده از پنجره‌های دوجداره با پوشش کم‌گسیل در اقلیم نیمه‌خشک و سرد پرداختند و دریافتند که این راهکار می‌تواند انتقال حرارت را کاهش داده و مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی را تا ۱۵ درصد بهبود بخشد. در زمینه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، ژانگ و همکارانش [۱۱] استفاده از پنل‌های خورشیدی را در ساختمان‌های اقلیم سرد و نیمه خشک یا سایر اقلیم‌ها بررسی کردند و نشان دادند که این سیستم‌ها می‌توانند تا ۴۰ درصد از وابستگی به شبکه برق بکاهند، به‌ویژه در فصول گرم که تابش خورشید در این مناطق فراوان است. علاوه بر این، اسمیت و پاتل [۱۲] در مطالعه‌ای به نقش تهویه طبیعی در کاهش

مصرف انرژی در اتاق‌های سرور کوهستانی پرداختند و گزارش کردند که طراحی مناسب ورودی‌ها و خروجی‌های هوا می‌تواند نیاز به سرمایش مکانیکی را تا ۲۵ درصد کاهش دهد، به شرطی که شرایط اقلیمی اجازه دهد. در راستای بهینه‌سازی سیستم‌های سرمایشی، وانگ و لی [۱۳] به تحلیل چیلرهای جذبی خورشیدی در ساختمان‌های اداری کوهستانی پرداختند و نشان دادند که این سیستم‌ها با استفاده از انرژی خورشیدی به جای برق، عملکرد قابل قبولی ارائه می‌دهند و از نظر زیست‌محیطی مزیت دارند. در زمینه ممیزی انرژی، رودریگز و همکاران [۱۴] روش‌های نوین مبتنی بر حسگرهای هوشمند را برای پایش مصرف انرژی در ساختمان‌های کوهستانی پیشنهاد کردند و دریافتند که این فناوری می‌تواند دقت برچسب‌گذاری انرژی را تا ۱۰ درصد افزایش دهد و به شناسایی نقاط هدررفت کمک کند. در نهایت، علی و همکاران [۱۵] بررسی سیستم‌های خنک‌کننده مایع برای اتاق‌های سرور در اقلیم نیمه‌خشک و سرد پرداختند و نشان دادند که این فناوری می‌تواند راندمان انرژی را در مقایسه با کولرهای گازی سنتی تا ۴۵ درصد بهبود بخشد، به‌ویژه در شرایطی که دمای تجهیزات بالا باشد. برای مرور بهتر منابع معرفی شده، نکات کلیدی این پژوهش‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ - یافته‌ها و روش‌ها و متغیرهای پژوهش‌های مطالعه شده

ردیف	منبع	متغیرهای پژوهش	یافته‌های کلیدی	روش تحقیق
۱	ادیبی و همکاران (۲۰۱۷)	دمای محیط، تابش خورشید، بازده سیستم جذبی، بار سرمایشی	جایگزینی چرخه‌های تراکمی با چرخه‌های جذبی خورشیدی در مناطق گرمسیری ایران امکان‌پذیر است و کاهش مصرف انرژی را به همراه دارد.	شبیه‌سازی با نرم‌افزار EES و تحلیل ترمودینامیکی
۲	حافظ و همکاران (۲۰۲۳)	راهکارهای بهینه‌سازی انرژی، چالش‌ها، انگیزه‌های سیاستی	عایق‌کاری، مدیریت انرژی هوشمند و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مؤثرترین راهکارهای بهینه‌سازی انرژی هستند.	مرور سیستماتیک و تحلیل ترمودینامیکی
۳	سو و لو (۲۰۲۴)	دمای سرور، جریان هوا، مصرف برق	کنترل هوشمند دما در اتاق‌های سرور منجر به کاهش ۲۰-۱۵٪ مصرف انرژی می‌شود.	مدل‌سازی عددی، آزمایش میدانی
۴	هه و همکاران (۲۰۲۲)	دمای محیط، دبی آب خنک‌کننده، بار حرارتی	مدیریت بهینه برج خنک‌کننده تحت دماهای مختلف محیطی، بازده انرژی سیستم خنک‌کننده را تا ۲۵٪ افزایش می‌دهد.	بهینه‌سازی چندهدفه با الگوریتم ژنتیک
۵	چن و همکاران (۲۰۲۰)	ضریب انتقال حرارت، مصالح ساختمانی، شرایط آب‌وهوایی	عایق‌بندی ساختمان‌های مناطق اقلیم سرد و نیمه خشک یا سایر اقلیم‌ها می‌تواند تلفات حرارتی را تا ۳۰٪ کاهش دهد.	شبیه‌سازی انرژی با نرم‌افزار EnergyPlus
۶	کومار و سینگ (۲۰۲۱)	رطوبت نسبی، دمای هوا، سرعت باد	سیستم‌های سرمایش تخریری در مناطق اقلیم سرد و نیمه خشک یا سایر اقلیم‌ها خشک بازدهی بالایی دارند و مصرف انرژی را کاهش می‌دهند.	آزمایش تجربی و مدل‌سازی ترمودینامیکی
۷	لوپز و گارسیا (۲۰۲۱)	ضریب انتقال حرارت پنجره، جهت‌گیری ساختمان	پنجره‌های دو جداره باعث کاهش ۲۰-۳۰٪ تلفات انرژی در ساختمان‌ها می‌شوند.	شبیه‌سازی حرارتی با نرم‌افزار DesignBuilder
۸	ژانگ و همکاران (۲۰۲۳)	تابش خورشید، ارتفاع از سطح دریا، بازده پنل‌های خورشیدی	بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در مناطق اقلیم سرد و نیمه خشک یا سایر اقلیم‌ها با چالش‌هایی مانند کاهش بازده در ارتفاعات بالا مواجه است.	تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌سازی انرژی
۹	اسمیت و پاتل (۲۰۲۴)	الگوی جریان هوا، دمای داخلی، رطوبت	تهویه طبیعی در اتاق‌های سرور می‌تواند تا ۱۵٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی کند.	شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار ANSYS Fluent
۱۰	وانگ و لی (۲۰۲۵)	دمای منبع حرارتی، ضریب عملکرد (COP) سیستم جذبی	چیلرهای جذبی خورشیدی برای سرمایش پایدار در مناطق گرم مناسب هستند و بازدهی بالایی دارند.	مدل‌سازی ترمودینامیکی با نرم‌افزار EES

۱۱	رودریگز و همکاران (۲۰۲۵)	دما، مصرف برق، دقت حسگرها	حسگرهای هوشمند در ممیزی انرژی دقت اندازه‌گیری را افزایش داده و مصرف انرژی را بهینه می‌کنند.	مطالعه موردی با اینترنت اشیا
۱۲	علی و همکاران (۲۰۲۵)	دبی مایع خنک‌کننده، دمای پردازنده‌ها	سیستم‌های خنک‌کننده مایع برای اتاق‌های سرور پرتراфик، بازدهی انرژی را تا ۴۰٪ بهبود می‌بخشند.	آزمایش عملی و تحلیل داده‌ها

با توجه به بحران انرژی جهانی و ضرورت بهینه‌سازی مصرف، ممیزی انرژی به عنوان ابزاری کلیدی در مدیریت انرژی ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است، اما نتایج این پژوهش‌ها به دلیل تفاوت‌های اقلیمی، فرهنگی و فنی، قابل تعمیم به تمامی مناطق جهان نیستند. این مسئله به ویژه در مورد اقلیم سرد و نیمه‌خشک تبریز که دارای ویژگی‌های منحصر به فردی از نظر دمای پایین در زمستان، تابش شدید خورشید در تابستان و الگوی مصرف انرژی خاص است، بیشتر صدق می‌کند. با بررسی پیشینه تحقیق مشخص می‌شود که در حال حاضر هیچ ممیزی جامع از عملکرد انرژی ساختمان‌های اداری در اقلیم تبریز انجام نشده است. این پژوهش با تمرکز بر ساختمان‌های شرکت توزیع برق تبریز به عنوان نماد مدیریت انرژی کشور، سه نوآوری اصلی را ارائه می‌دهد. نخست، این مطالعه اولین بررسی جامع ممیزی انرژی در این اقلیم خاص محسوب می‌شود که با ارائه داده‌های بومی، خلأ پژوهشی موجود را پر می‌کند. انتخاب شرکت توزیع برق به دلیل الگوبودن آن در مصرف انرژی، قابلیت تعمیم نتایج به سایر ساختمان‌های اداری مشابه در ایران را فراهم می‌سازد.

دومین نوآوری تحقیق، توسعه چارچوبی اقلیم‌محور برای ممیزی انرژی است که در آن شاخص‌های خاص اقلیم تبریز مانند نوسانات دمایی شدید و رطوبت پایین در روش‌شناسی تحقیق ادغام شده‌اند. این رویکرد امکان مقایسه تطبیقی با یافته‌های مطالعات دیگر در مناطق گرمسیری را فراهم کرده و تفاوت‌های اقلیمی را به خوبی برجسته می‌سازد.

سومین جنبه نوآورانه، ارائه راهکارهای عملیاتی متناسب با بستر فرهنگی-سازمانی ایران است. این پژوهش با در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و مالی موجود در ساختمان‌های اداری کشور و همچنین فرهنگ مصرف کارکنان، مداخلات انرژی را طراحی کرده است. اهمیت کاربردی این پژوهش در دو سطح قابل بررسی است. در سطح منطقه‌ای، نتایج مطالعه می‌تواند به عنوان الگویی برای سایر شهرهای با اقلیم مشابه مانند ارومیه و زنجان مورد استفاده قرار گیرد. در سطح ملی نیز چارچوب ارائه شده می‌تواند مبنایی برای تدوین استانداردهای ملی مدیریت انرژی در ساختمان‌های اداری ایران باشد. این تحقیق با پوشش دادن همزمان ابعاد فنی، اقلیمی و فرهنگی، گامی فراتر از مطالعات تکراری ممیزی انرژی برداشته و الگویی قابل تعمیم برای مناطق مشابه ایجاد می‌کند. یافته‌های آن نه تنها برای محققان حوزه انرژی، بلکه برای سیاست‌گذاران و مدیران تأسیسات ساختمانی نیز دارای ارزش کاربردی قابل توجهی خواهد بود. در همین راستا، این پژوهش تلاش دارد به سه پرسش کلیدی در زمینه عملکرد انرژی ساختمان‌های اداری در اقلیم سرد و نیمه خشک یا سایر اقلیم‌ها پاسخ دهد:

- ✓ با انتخاب ساختمان‌های شرکت توزیع برق تبریز به عنوان نمونه مورد مطالعه، بررسی شد که مشخص شود ساختمان‌های اداری در استان آذربایجان شرقی تا چه اندازه در مدیریت مصرف انرژی موفق عمل کرده‌اند؟
- ✓ چه رابطه‌ای میان ویژگی‌های راهکارهای بکار گرفته‌شده در ساختمان‌ها و میزان برچسب انرژی آن‌ها وجود دارد؟
- ✓ در شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک، کدام عوامل فنی و اجرایی بیشترین تأثیر را در بهینه‌سازی انرژی مصرفی اتاق‌های سرور دارد.

۲- چهارچوب نظری پژوهش

این مطالعه با رویکردی ترکیبی (کمی-کیفی) و با هدف اجرای ممیزی انرژی در ساختمانهای شرکت توزیع برق تبریز انجام شده است. روش تحقیق مبتنی بر سه مرحله اصلی است: (۱) گردآوری دادههای میدانی (شامل مصرف انرژی، مشخصات فنی ساختمانها و پارامترهای اقلیمی منطقه)، (۲) محاسبه مقادیر مختلف انرژی و مقایسه آنها با استاندارد ملی انرژی (مثل انرژی معادل سالانه و نسبت مصرف انرژی) با استفاده از نرمافزار EES (۳) مقایسه نتایج با وضعیت عمومی ساختمانها (نوع پنجره ساختمان و مساحت آن). (۴) جمع آوری و تحلیل داده های اتاقهای سرور.

۱.۲. گردآوری داده های میدانی

در این قسمت اطلاعات کلی مصرف برق و گاز ساختمانها استخراج شده است. همچنین ویژگی های کلی ساختمانها مثل محل قرار گیری، مساحت حرارتی ساختمان، نوع پنجره های ساختمان، شرایط موتورخانه، شرایط اتاق سرور و غیره در بازدید های میدانی تعیین و ثبت شده است.

۲.۲. محاسبه مقادیر مختلف انرژی و مقایسه آنها با استاندارد ملی انرژی

برای انجام این مرحله از پژوهش مراحل زیر انجام شده است.

الف) استخراج مصرف انرژی (گاز و برق):

- مصرف گاز: مقدار گاز مصرفی بر حسب مترمکعب (m^3) از قبض های گاز استخراج می شود.
- مصرف برق: مقدار برق مصرفی بر حسب کیلوواتساعت (kWh) از قبض های برق استخراج می شود.

ب) تبدیل مصرف گاز به انرژی معادل: (kWh)

- هر مترمکعب گاز طبیعی دارای ارزش حرارتی تقریبی $10/5$ کیلوواتساعت است.

پ) تبدیل مصرف برق به انرژی معادل اولیه: (kWh)

- برای محاسبه انرژی اولیه مصرف شده در نیروگاه جهت تولید برق، از ضریب $0/27$ استفاده می شود.
- این ضریب بازده نیروگاه های حرارتی ($\sim 37/$) و تلفات انتقال ($\sim 10/$) را در نظر می گیرد.
- به عبارت دیگر، برای تولید 1 کیلوواتساعت برق، حدود $3/7$ کیلوواتساعت انرژی حرارتی مصرف می شود.

ت) محاسبه انرژی کل ساختمان:

انرژی کل معادل ساختمان از مجموع انرژی معادل گاز مصرفی و برق مصرفی به دست می آید.

ث) تعیین برچسب انرژی ساختمان بر اساس استاندارد ملی 14254 :

- پس از محاسبه انرژی کل، عدد به دست آمده با مقادیر مرجع استاندارد ملی 14254 مقایسه می شود.
- این استاندارد ساختمانها را بر اساس شدت مصرف انرژی (کیلوواتساعت بر مترمربع در سال) در رده های A (بهینه) تا G (پرمصرف) طبقه بندی می کند.

تمامی مراحل بالا با کدنویسی در نرم افزار EES انجام شده است. نرم افزار EES^1 به عنوان یک ابزار قدرتمند محاسباتی در حوزه مهندسی انرژی و ترمودینامیک شناخته می شود. این نرم افزار با دارا بودن ویژگی های منحصر به فرد، امکان تحلیل و شبیه سازی سیستم های پیچیده انرژی را با دقت بالا فراهم می کند. از مهم ترین قابلیت های EES می توان به موارد زیر اشاره کرد:

¹ Engineering Equation Solver

- ✓ محیط حل معادلات غیرخطی: EES قادر است سیستم‌های معادلات جبری غیرخطی را که در تحلیل سیستم‌های انرژی بسیار رایج هستند، به صورت عددی و با روش‌های پیشرفته حل کند.
- ✓ کتابخانه جامع خواص ترمودینامیکی: این نرم‌افزار دارای پایگاه داده کاملی از خواص ترمودینامیکی مواد مختلف است که امکان محاسبه دقیق پارامترهای سیالات مختلف را در دماها و فشارهای گوناگون فراهم می‌کند.
- ✓ امکان برنامه‌نویسی پیشرفته: کاربران می‌توانند با استفاده از ساختارهای برنامه‌نویسی مانند حلقه‌ها و شرط‌ها، الگوریتم‌های پیچیده را پیاده‌سازی کنند.
- ✓ ابزارهای بهینه‌سازی: EES دارای قابلیت‌های بهینه‌سازی یک و چند هدفه است که برای یافتن پارامترهای بهینه در طراحی سیستم‌های انرژی بسیار مفید است.
- ✓ رابطه گرافیکی کاربرپسند: خروجی‌ها به صورت جدول‌ها و نمودارهای متنوع قابل نمایش هستند که تحلیل نتایج را تسهیل می‌کند.
- ✓ قابلیت ارتباط با نرم‌افزارهای دیگر: EES می‌تواند با نرم‌افزارهایی مانند MATLAB و Excel تبادل داده داشته باشد. دقت محاسباتی بالا و توانایی حل مسائل پیچیده، EES را به ابزاری ایده‌آل برای مطالعات انرژی تبدیل کرده است.

۳.۲. مقایسه نتایج با وضعیت عمومی ساختمانها

در بررسی‌های انجام شده، الگوهای متفاوتی از مصرف انرژی در ساختمان‌های مورد مطالعه مشاهده شد که هر کدام دلایل خاص خود را داشتند:

الف) ساختمان‌های با مصرف انرژی بالا:

- این ساختمان‌ها دارای مشخصه‌های فنی نامناسبی بودند که در مشاهدات میدانی به وضوح قابل تشخیص بود:

* استفاده از پنجره‌های تک‌جلد با کیفیت پایین

* عدم وجود عایق کاری مناسب در موتورخانه

* نقص در سیستم‌های کنترل دما

ب) ساختمان‌های با مصرف انرژی بهینه:

- در این موارد، اجرای تمهیدات مناسب انرژی مشاهده شد:

* نصب پنجره‌های دوجداره با کیفیت

* عایق کاری استاندارد

* سیستم‌های کنترل هوشمند دما

ج) موارد خاص با تناقض در مصرف انرژی:

ج-۱) ساختمان‌های با مشخصات فنی مناسب اما مصرف انرژی بالا:

- در این موارد با بازبینی دقیق‌تر مشخص شد که:

* خطاهای انسانی عامل اصلی بوده است (مانند تنظیم دمای موتورخانه بالاتر از حد نیاز)

* باز گذاشتن پنجره‌ها و درها هنگام فعالیت سیستم‌های گرمایشی

* مشکلات در سیستم کنترل اتوماتیک

ج-۲) ساختمان‌های با مشخصات فنی ضعیف اما مصرف انرژی پایین:

- بررسی‌های تکمیلی نشان داد که:

* دمای محیط در حد استاندارد نگه داشته نمی‌شد (مثلاً دمای ۱۰ درجه سانتی گراد در زمستان)

* این شرایط اگرچه منجر به کاهش مصرف انرژی شده بود، اما:

- باعث کاهش رفاه و رضایت کارکنان شده بود.

- از بهره‌وری نیروی انسانی کاسته بود.

- در بلندمدت می‌توانست به سلامت افراد آسیب برساند.

برای اطمینان از صحت نتایج، در مواردی که تناقضی بین مصرف انرژی و مشخصات فنی ساختمان مشاهده می‌شد:

(الف) داده‌های اولیه (مصرف برق و گاز) مجدداً بررسی می‌شدند.

(ب) مشاهدات میدانی با دقت بیشتری تکرار می‌شدند.

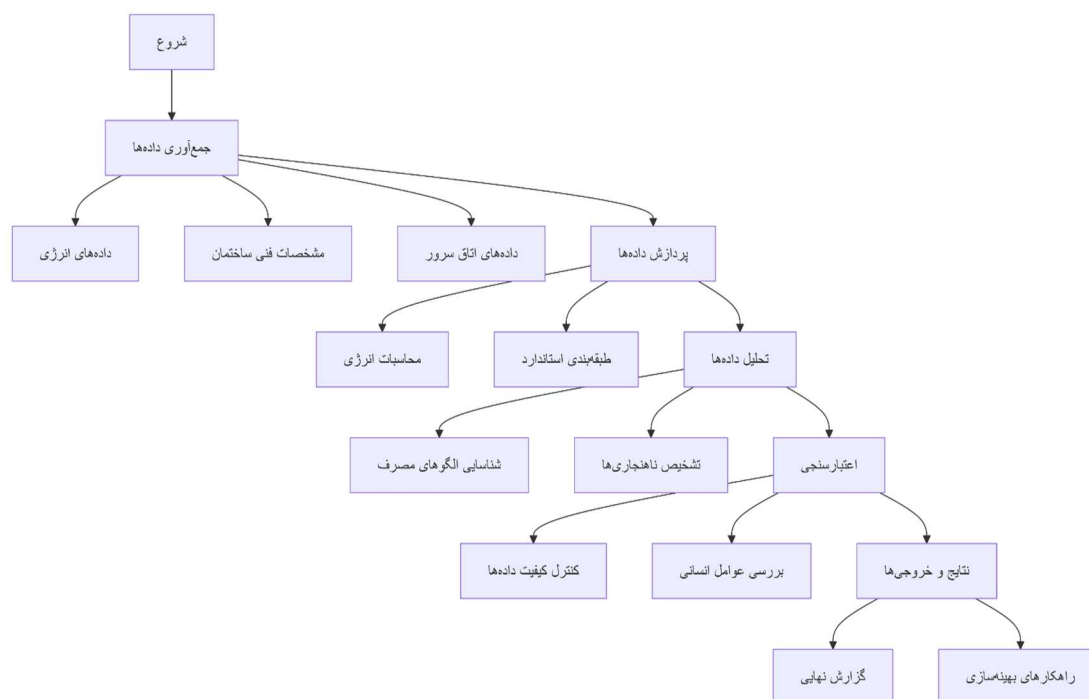
(ج) مصاحبه‌هایی با مسئولان و کاربران ساختمان انجام می‌گرفت.

(د) پارامترهای عملیاتی سیستم‌ها به دقت کنترل می‌شدند.

این رویکرد سیستماتیک به ما امکان داد تا نه تنها الگوهای مصرف انرژی را شناسایی کنیم، بلکه دلایل پنهان پشت این الگوها را نیز به دقت تحلیل نماییم.

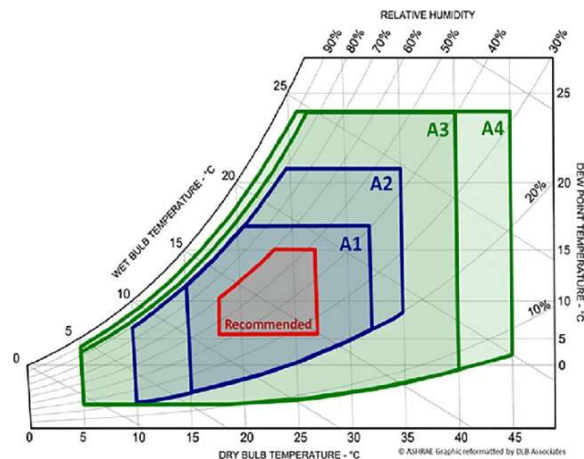
۴.۲. جمع‌آوری و تحلیل داده‌های اتاقهای سرور

با توجه به اهمیت ویژه اتاقهای سرور این اتاق‌ها در پژوهش با دقت بیشتری بررسی شدند. میزان رطوبت نسبی، دمای اتاق، نوع سیستم سرمایشی، روشن یا خاموش بودن سیستم سرمایش در زمان بازدید میدانی، نوع پنجره‌ها، نوع استفاده از اتاقهای سرور در این گزارش‌ها بررسی و ثبت شد. برای درک بهتر، موارد گفته شده به صورت یک فلوجارت در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ - فلوجارت مراحل انجام پژوهش

منطقه قابل قبول برای عملکرد صحیح تجهیزات الکترونیکی در اتاق‌های سرور با استفاده از شکل ۲ تحلیل شده است. این شکل، که منطقه امن (A1) را نشان می‌دهد، بر اساس اصول سایکرومتریک ارائه شده در کتاب ترمودینامیک ترسیم شده و محدوده‌های دما و رطوبت نسبی مناسب برای تجهیزات را مشخص می‌کند. در این مطالعه، این منطقه به‌عنوان معیاری برای مقایسه شرایط واقعی اتاق‌های سرور با استانداردهای بهینه مورد استفاده قرار گرفته است [۱۶].



شکل ۲- منطقه امن برای تجهیزات الکترونیکی (منطقه A1) [۱۶]

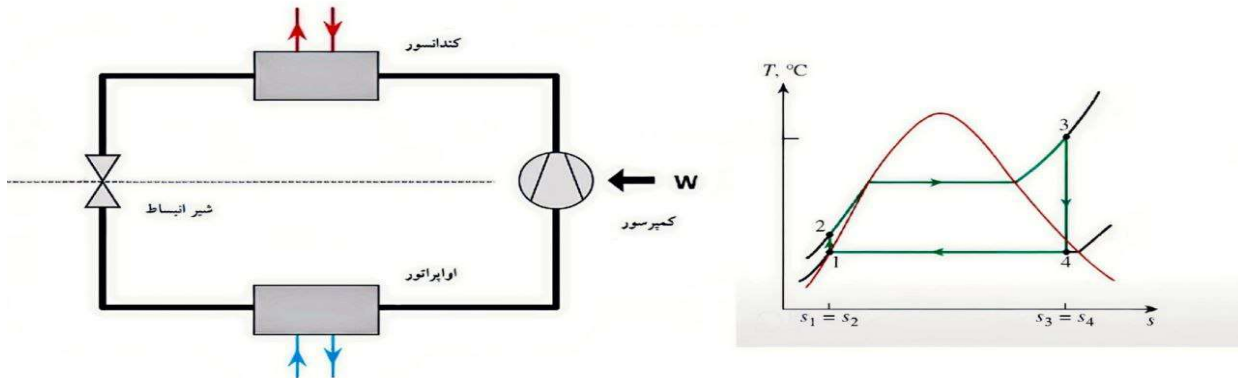
۵.۲. انواع سیستم‌های سرمایش

سیکل سرمایش تبخیری یک روش ساده و کارآمد برای خنک‌سازی هوا است که بر اساس اصل تبخیر آب عمل می‌کند. در این فرآیند، گرمای هوای محیط باعث تبخیر آب شده و در نتیجه دمای هوا کاهش می‌یابد. این سیکل نیازی به استفاده از مبردهای شیمیایی یا تجهیزات پیچیده مانند کمپرسور ندارد و به همین دلیل از نظر انرژی بسیار مقرون‌به‌صرفه است. سیستم‌های سرمایش تبخیری معمولاً در مناطق خشک و کم‌رطوبت عملکرد بهتری دارند، زیرا رطوبت نسبی پایین، امکان تبخیر بیشتر آب و در نتیجه خنک‌سازی مؤثرتر را فراهم می‌کند. از جمله کاربردهای رایج این سیکل می‌توان به کولرهای آبی و سیستم‌های خنک‌کننده تبخیری در صنایع اشاره کرد. این روش نه‌تنها انرژی کمتری مصرف می‌کند، بلکه به دلیل استفاده از آب به‌عنوان ماده خنک‌کننده، دوست‌دار محیط‌زیست نیز محسوب می‌شود. در این سیکل حداکثر تا دمای مرطوب می‌توان هوا را خنک کرد. در نتیجه در مناطق مرطوب که دمای مرطوب نزدیک به دمای خشک است کولر آبی یا سرمایش تبخیری بی‌نتیجه خواهد بود. بازده سیستم سرمایش تبخیری از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$\eta = \frac{T_{DB} - T_{OUT}}{T_{DB} - T_{WB}} \quad (1)$$

در رابطه بالا T_{DB} دمای خشک، T_{WB} دمای مرطوب، T_{OUT} دمای خروجی کولر آبی، η بازده کولر آبی است.

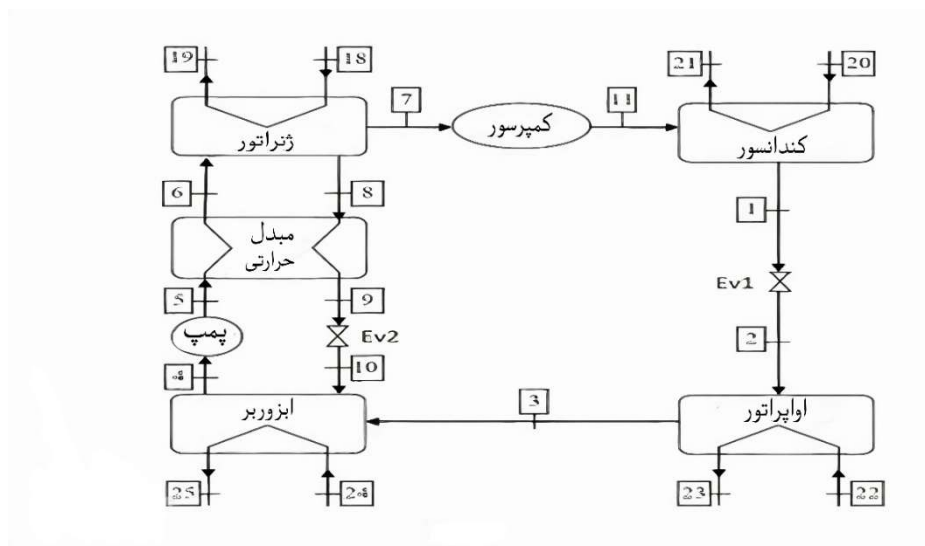
سیکل سرمایش تراکمی یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تولید سرمایش است که در سیستم‌هایی مانند کولرهای گازی، یخچال‌ها و چیلرها استفاده می‌شود. این سیکل بر اساس چهار مرحله اصلی فشرده‌سازی، چگالش، انبساط، و تبخیر عمل می‌کند. در شکل ۳ اجزای سیکل تبرید تراکمی (کولرگازی) نشان داده شده است. همچنین فرایندهایی که در یک سیکل تبرید تراکمی ایده آل رخ می‌دهد، در نمودار دما-آنترپنی نشان داده شده است.



شکل ۳- نمودار دما آنترروپی و اجزای سیکل تبرید تراکمی آن

در سیکل تبرید تراکمی، در داخل اوپراتور، گرما از محیط سرد گرفته می‌شود. سیال عامل که دمایی کمتر از محیط سرد دارد، به راحتی گرما را جذب کرده و بخار می‌شود. قبلاً از سیال‌های مخرب لایه اوزون در سیستم‌های تبرید استفاده می‌شد، اما بعدها سیال‌های سازگارتر با محیط زیست جایگزین شدند. در کمپرسور، دما و فشار سیال عامل افزایش می‌یابد و پره‌های آن توسط موتور الکتریکی می‌چرخند که برق زیادی مصرف می‌کند. سپس سیال با دمای بالا وارد کندانسور شده و از حالت گاز به مایع تبدیل می‌شود و گرما را به محیط گرم منتقل می‌کند. در این مرحله، دمای سیال از محیط گرم بیشتر است (مثلاً در یخچال تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد). در نهایت، سیال با عبور از شیر فشارشکن، با کاهش دما و فشار به اوپراتور بازمی‌گردد و چرخه تکرار می‌شود.

✓ نوع دیگر سیستم سرمایش سیکل تبرید جذبی است که در شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۴- اجزای سیکل تبرید جذبی

چیلرهای جذبی برخلاف چیلرهای تراکمی، کمپرسور ندارند و بنابراین برق کمتری مصرف می‌کنند. در این سیستم‌ها، همچنان اوپراتور، کندانسور و شیر فشارشکن وجود دارد، اما فرآیند سرمایش به روش متفاوتی انجام می‌شود. سیال عامل (مانند آمونیاک در سیکل آب-آمونیاک) با فشار و دمای پایین وارد جاذب می‌شود و در یک سیال جاذب‌کننده (مثل آب) حل می‌شود. مخلوط حاصل پس از افزایش فشار توسط پمپ (که برق کمتری نسبت به کمپرسور مصرف می‌کند)، از یک مبدل گرمایی عبور کرده و

سپس در ژنراتور حرارت بیشتری دریافت می‌کند. در این مرحله، آمونیاک از آب جدا شده و به صورت گاز داغ به اواپراتور می‌رود، در حالی که آب به جاذب بازگردانده می‌شود.

انرژی مورد نیاز چیلر جذبی معمولاً از طریق سوخت فسیلی یا انرژی خورشیدی تأمین می‌شود. این سیستم با دریافت گرما، سرمایش تولید می‌کند که یک مزیت مهندسی چشمگیر محسوب می‌شود. از آنجا که اوج نیاز به سرمایش (مثل روزهای گرم تابستان) با اوج تابش خورشید همزمان است، استفاده از انرژی خورشیدی در این سیستم‌ها بسیار کارآمد است. در فصول سرد که نیازی به سرمایش فعال نیست، می‌توان از سرمایش طبیعی استفاده کرد [۱۷].

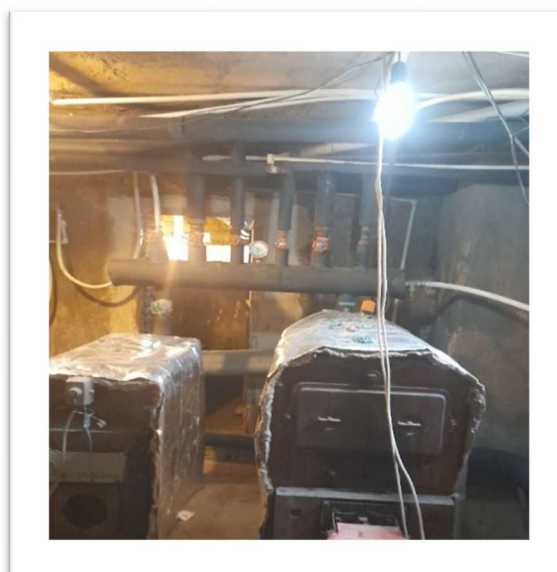
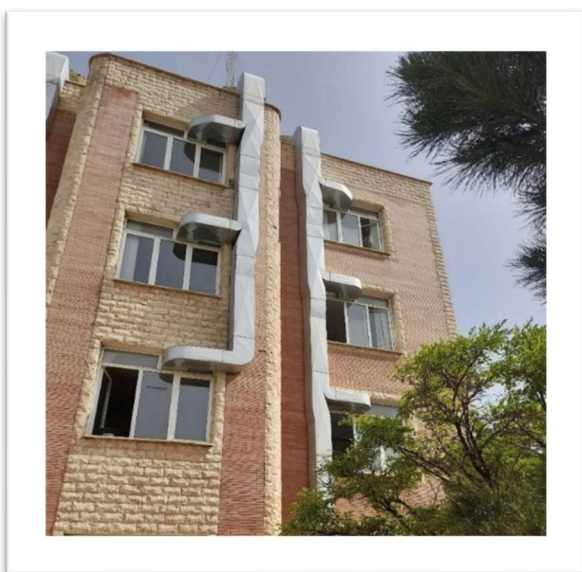
هرچند چیلرهای جذبی ضریب عملکرد (COP) پایین‌تری نسبت به چیلرهای تراکمی دارند، اما از آنجا که از انرژی کم‌بازده (مانند گرمای تلف‌شده یا انرژی خورشیدی) استفاده می‌کنند، می‌توانند گزینه‌ای رقابتی باشند. اگر ضریب عملکرد بر اساس قانون دوم ترمودینامیک (مبتنی بر انرژی) محاسبه شود، مقایسه بین این دو سیستم منصفانه‌تر خواهد بود. در مقررات مهندسی (مانند مبحث ۱۹)، ضریب عملکرد پایین‌تری برای چیلرهای جذبی در نظر گرفته شده است، به طوری که حتی تا ۴ برابر کمتر از چیلرهای تراکمی نیز قابل قبول است [۱۸، ۱۹].

۳- مواد و روش تحقیق

در این قسمت یافته‌ها در سه زیر بخش ارائه شده است. در بخش اول بازدیدهای میدانی انجام شده، ارائه شده است. در بخش دوم میزان مصرف برق و گاز استخراج و ارائه شده است. در بخش سوم نیز گزارش میدانی اتاق‌های سرور ارائه شده است.

۱.۳. بازدیدهای میدانی انجام شده

بازدیدهای میدانی یکی از مهمترین قسمت‌های این پژوهش بوده است. در این بازدیدهای اطلاعات مهمی استخراج و ثبت می‌شدند. این بازدیدهای میدانی در دو پروژه از فروردین ۱۴۰۰ تا تیر ماه ۱۴۰۰ و همچنین از اردیبهشت ۱۴۰۳ تا مرداد ۱۴۰۳ انجام گرفته است. بازدیدها از ساعت ۸ صبح تا ۲ بعد از ظهر انجام شده است. در مجموع ۴۶ بازدید مختلف عموماً با فاصله‌های سه روزه انجام گرفته است. عکس‌های متعددی نیز در این بازدیدهای میدانی تهیه شده است، که برای حفظ ساختار مقاله فقط تعدادی از مهمترین این عکس‌ها در شکل ۵ با توضیحات مرتبط آن در ادامه آورده شده است.

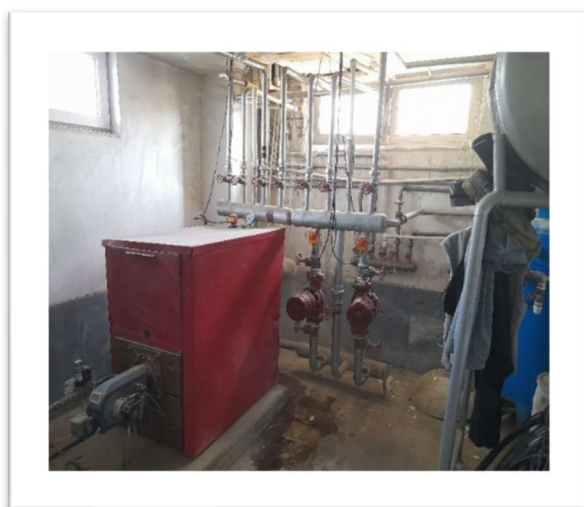


(الف)



(ج)

(ب)

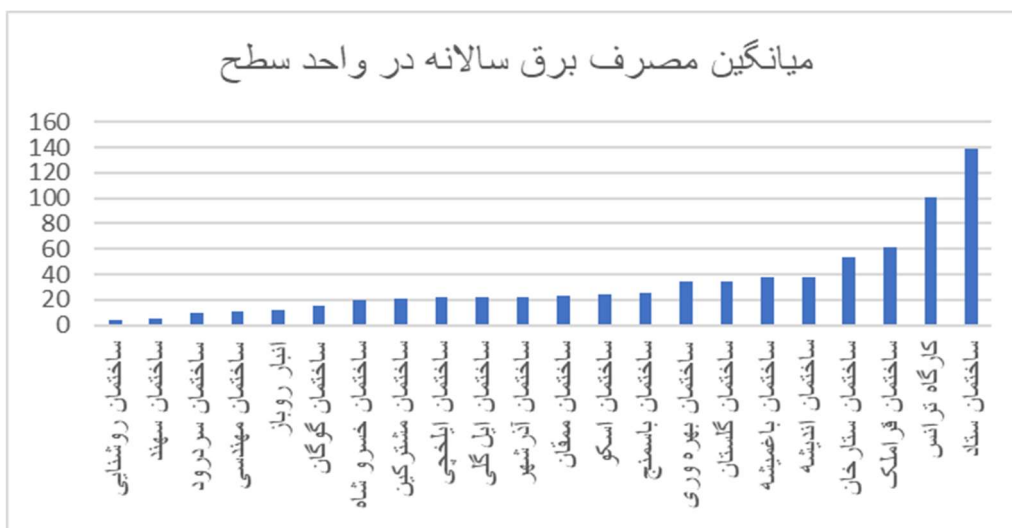


(د)

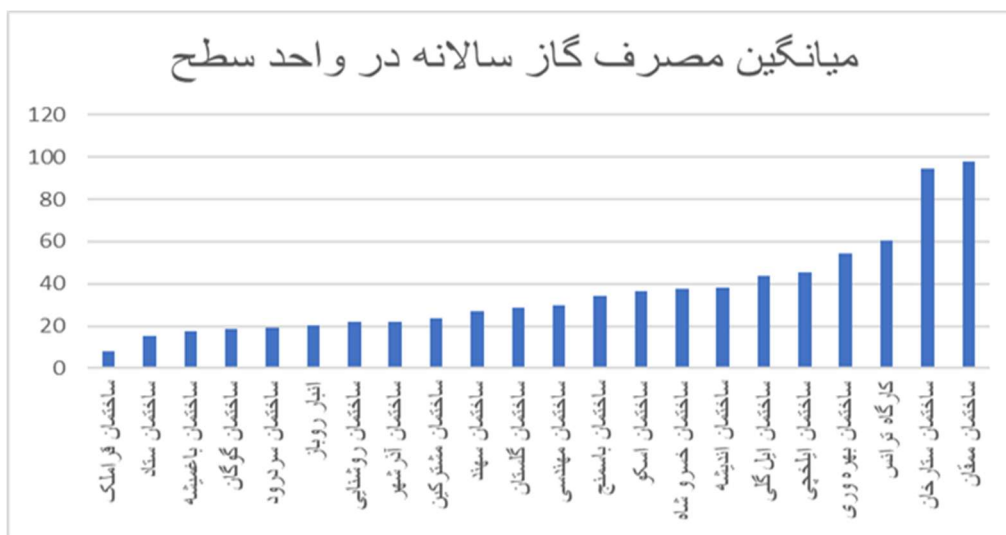
شکل ۵- الف) موتورخانه با عایق در ساختمان ایل گلی ب) کانال های آبی بدون عایق کاری در ساختمان باغمیسه ج) دمای بسیار بالا برای سطح عایق (اندازه گیری شده با دماسنج لیزری) د) لوله های بدون عایق در موتورخانه ساختمان باسمنج

۲.۳. استخراج میزان مصرف برق و گاز در ساختمان های مختلف

میزان مصرف برق و گاز در ساختمان های مختلف استخراج و ثبت شده است. میزان مصرف برق و گاز در ساختمان های مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در این شکلها مشخص است، ساختمانهای روشنایی، سهند، سردرود کمترین مصرف برق و ساختمانهای ستاد، کارگاه ترانس و ساختمان قراملک بیشترین مصرف برق را دارند. ساختمانهای قراملک، ستاد و باغمیسه کمترین گاز مصرفی و ساختمانهای ممقان، ستارخان و کارگاه ترانس بیشترین مصرف گاز را دارند.



(الف)

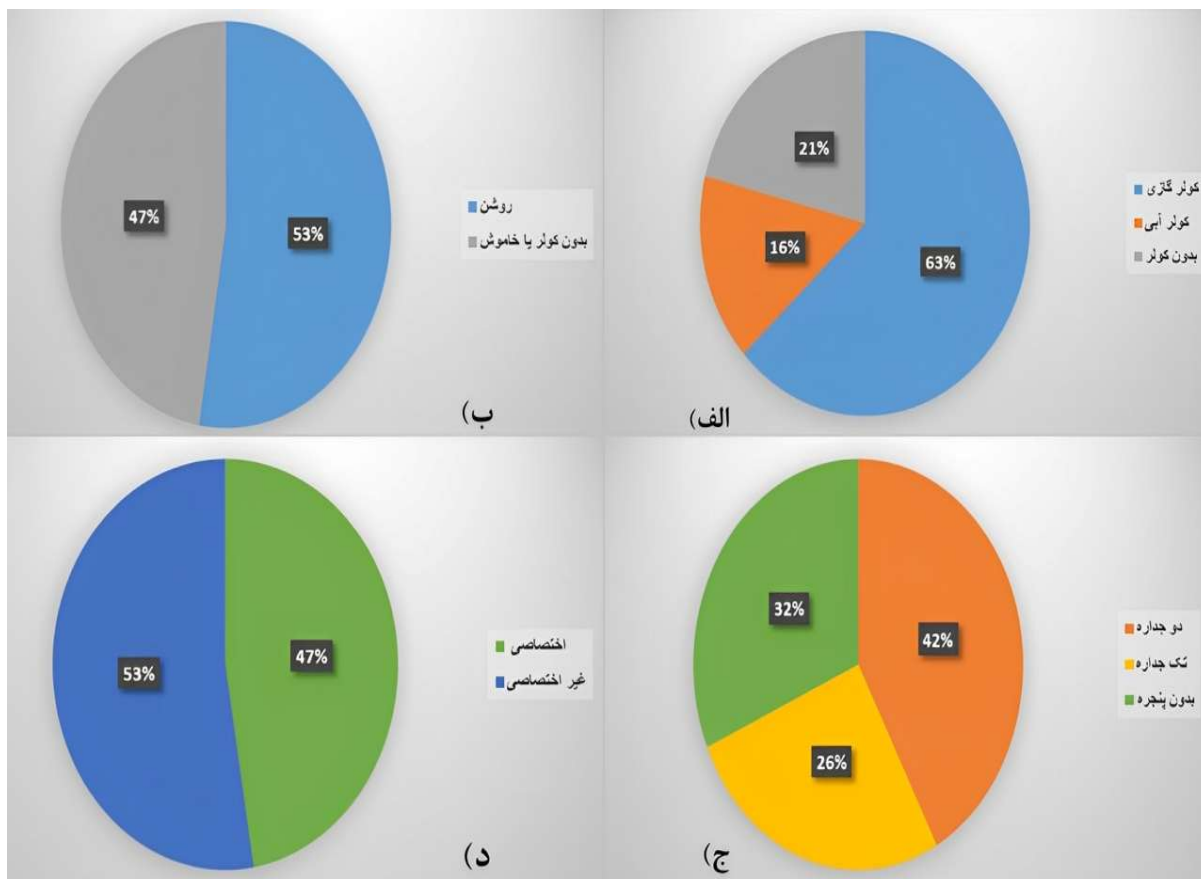


(ب)

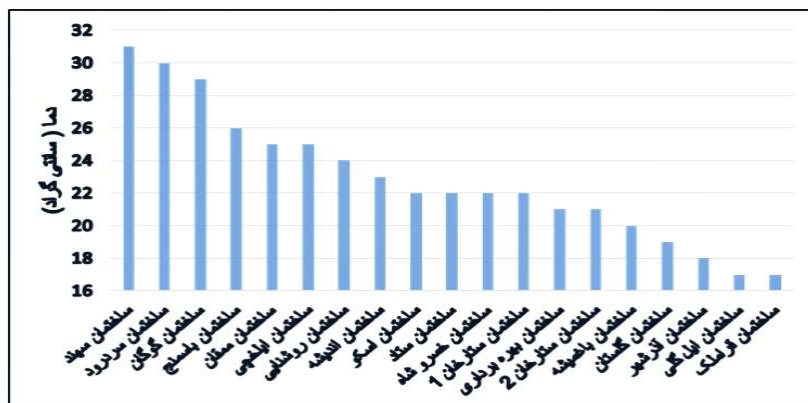
شکل ۶- الف) مقایسه میانگین مصرف برق سالانه در واحد سطح برای ساختمانهای ممیزی شده (ب) مقایسه میانگین مصرف گاز سالانه در واحد سطح برای ساختمان های مطالعه شده

۳.۳. اتاق های سرور

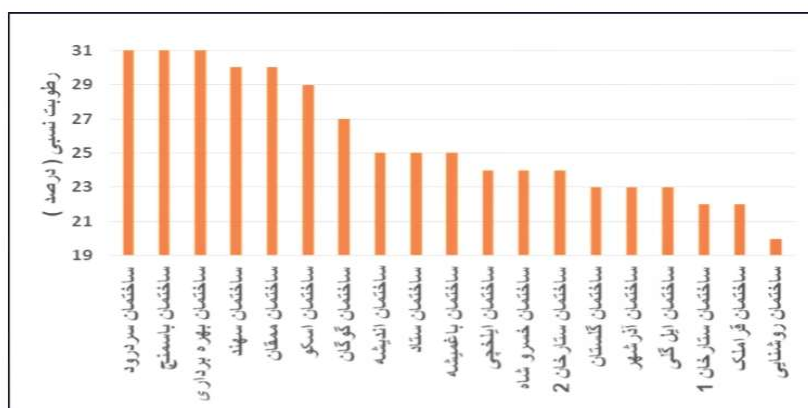
در این پژوهش با توجه به انرژی مصرفی بالای اتاقهای سرور این اتاق ها به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تفکیک شده در نمودارهای این قسمت ارائه شده است. شکل های ۷ و ۸ به تحلیل و بررسی وضعیت سیستم های سرمایشی، پنجره ها، و کاربری اتاق های سرور در ساختمان های مورد مطالعه می پردازند. این شکل ها شامل نمودارها و جداولی هستند که اطلاعاتی مانند نوع سیستم های سرمایشی مورد استفاده (کولر گازی، کولر آبی، یا عدم وجود سیستم سرمایش)، وضعیت پنجره ها (تک جداره، دو جداره، یا بدون پنجره) و کاربری اتاق های سرور (اختصاصی یا غیراختصاصی) را نشان می دهند. همچنین، نمودارهای مربوط به دما و رطوبت نسبی اندازه گیری شده در اتاق های سرور ارائه شده اند که شرایط محیطی این فضاها را به طور دقیق تر بررسی می کنند. این داده ها به طور کلی نشان دهنده تنوع در سیستم های سرمایشی و نیاز به بهبود در مدیریت انرژی و شرایط محیطی در اتاق های سرور هستند.



شکل ۷- الف) سیستم سرمایش مورد استفاده در اتاقهای سرور (ب) وضعیت سیستم سرمایش مورد استفاده در اتاقهای سرور (ج) وضعیت پنجره های مورد استفاده در اتاقهای سرور (د) کاربری اتاقهای سرور



(الف)



(ب)

شکل ۸- الف) دمای اندازه گیری شده در اتاقهای سرور ب) رطوبت نسبی اندازه گیری شده در اتاقهای سرور

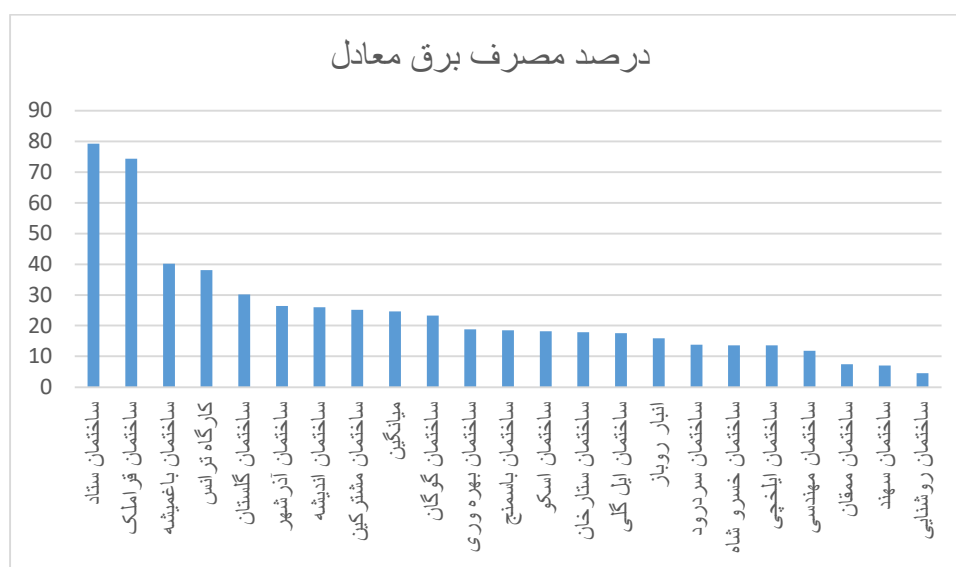
۴- بحث و یافته‌های تحقیق

در این بخش، داده‌های جمع‌آوری شده در بخش ۳ تحلیل و بررسی می‌شوند و نتایج مورد بحث قرار می‌گیرد. در جدول ۲ درصد مصرف انرژی برق و گاز هر کدام از ساختمان‌های مطالعه شده نشان داده شده است. به طور میانگین ۲۴/۶ درصد مصرف انرژی ساختمان‌ها به صورت برق و ۷۵/۴ درصد مصرف انرژی ساختمانها به صورت گاز بوده است. البته در این میانگین گیری سطح زیربنای هر ساختمان مد نظر نبوده است. با در نظر گرفتن مساحت ساختمان‌ها، یک سوم کل مصرف انرژی کل ساختمان‌ها به صورت برق و دوم سوم آن به صورت گاز بوده است. با مقایسه این دو میانگین گیری می‌توان نتیجه گرفت که در ساختمان‌های بزرگتر نسبت مصرف برق به گاز در قیاس با ساختمان‌های کوچکتر بیشتر بوده است. برای درک بهتر در شکل ۹ درصد میزان مصرف برق و گاز به صورت صعودی به نزولی نشان داده شده است. ساختمان ستاد با نزدیک ۸۰ درصد مصرف برق در صدر مصرف برق بالا و ساختمان روشانی با ۹۵٪ مصرف گاز بالاترین درصد مصرف گاز را دارد. به غیر از دو ساختمان ستاد و

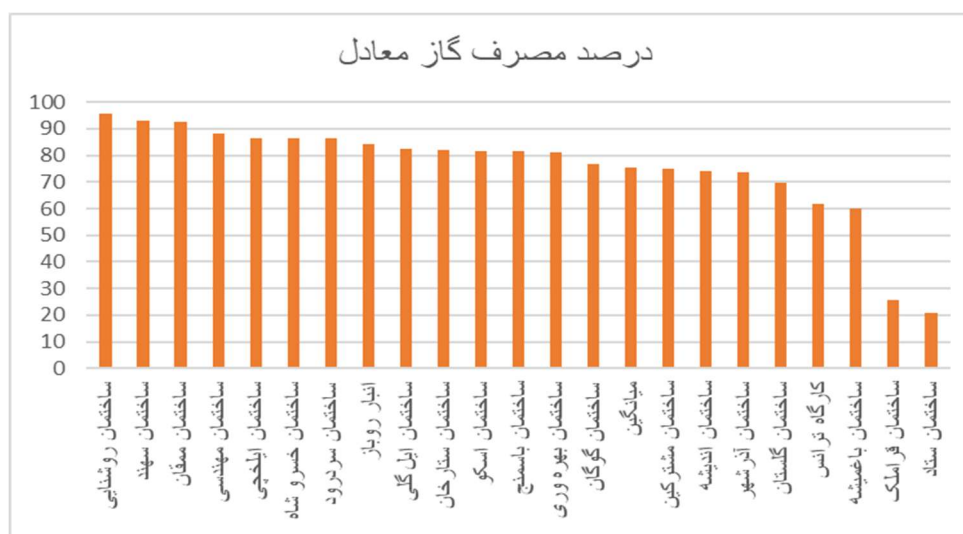
قراملك در بقیه ساختمانها درصد مصرف گاز بالاتر است. با توجه به اینکه سیستم های گرمایشی ساختمان ها با گاز تامین می شود و با توجه به سردسیر بودن تبریز این نتایج دور از انتظار نیست.

جدول ۲- درصد مصرف انرژی معادل به صورت برق و گاز در ساختمان های مطالعه شده

شماره ساختمان	نام ساختمان	درصد مصرف برق معادل	درصد مصرف گاز معادل
۱	ساختمان ستاد	۷۹/۲	۲۰/۸
۲	ساختمان مهندسی	۱۱/۹	۸۸/۱
۳	ساختمان بهره وری	۱۸/۸	۸۱/۲
۴	ساختمان مشترکین	۲۵/۲	۷۴/۸
۵	ساختمان روشنایی	۴/۵	۹۵/۵
۶	ساختمان گلستان	۳۰/۲	۶۹/۸
۷	ساختمان قراملك	۷۴/۳	۲۵/۷
۸	ساختمان ستارخان	۱۷/۹	۸۲/۱
۹	ساختمان ایل گلی	۱۷/۶	۸۲/۴
۱۰	ساختمان باغمیشه	۴۰/۱	۵۹/۹
۱۱	ساختمان اسکو	۱۸/۲	۸۱/۸
۱۲	ساختمان خسرو شاه	۱۳/۶	۸۶/۴
۱۳	ساختمان اندیشه	۲۶/۰	۷۴/۰
۱۴	ساختمان آذرشهر	۲۶/۵	۷۳/۵
۱۵	ساختمان سهند	۷/۰	۹۳/۰
۱۶	ساختمان ایلخچی	۱۳/۲۶	۸۶/۴
۱۷	ساختمان باسمنج	۱۸/۵	۸۱/۵
۱۸	ساختمان سردرود	۱۳/۸	۸۶/۲
۱۹	ساختمان گوگان	۲۳/۳	۷۶/۷
۲۰	ساختمان ممقان	۷/۴	۹۲/۶
۲۱	کارگاه ترانس	۳۸/۱	۶۱/۹
۲۲	انبار روباز	۱۵/۹	۸۴/۱
	میانگین	۲۴/۶	۷۵/۴



(الف)



(ب)

شکل ۹- الف) درصد مصرف برق در ساختمان های ممیزی شده ب) درصد مصرف گاز در ساختمانهای ممیزی شده در جدول ۳ نتایج ممیزی انجام شده برای ساختمان ها نشان داده شده است. همچنین رتبه بندی ساختمانها بر اساس میزان مصرف انرژی در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین کل مصرف انرژی ساختمان ها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج به دست آمده برای ساختمانهای ممیزی شده

شماره	نام ساختمان	زیربنای حرارتی (مترمربع)	مجموع برق مصرفی سالانه (کیلووات ساعت)	مجموع گاز مصرفی سالانه (مترمکعب)	نسبت مصرف انرژی	برچسب
۱	ساختمان ستاد	۲/۹۰۰	۴۲۹/۹۰۱	۵۵/۰۲۱	۹/۳۴	تعلق نمیگیرد
۲	ساختمان مهندسی	۶۵۰	۷/۴۰۸	۲۱/۷۰۰	۴/۹۰	E
۳	ساختمان بهره وری	۴۵۰	۱۴/۷۳۳	۲۳/۸۸۰	۸/۴۶	تعلق نمیگیرد
۴	ساختمان مشترکین	۹۵۰	۲۱/۵۱۹	۲۶/۴۱۱	۴/۶۹	E
۵	ساختمان روشنایی	۶۵۰	۳/۱۷۹	۱۳/۱۰۳	۲/۸۶	C
۶	ساختمان گلستان	۱/۱۵۰	۴۰/۷۶۹	۳۴/۰۱۵	۵/۵۱	F
۷	ساختمان قراملک	۱/۲۰۰	۷۳/۹۹۷	۱۰/۴۰۱	۳/۹۹	D
۸	ساختمان ستارخان	۶۰۰	۳۰/۴۸۸	۵۹/۳۷۲	۱۵/۳۰	تعلق نمیگیرد
۹	ساختمان ایل گلی	۷۰۰	۱۴/۷۴۹	۳۳/۹۲۰	۷/۳۲	تعلق نمیگیرد
۱۰	ساختمان باغمیشه	۸۰۰	۳۰/۹۰۳	۱۳/۱۰۳	۳/۹۳	D
۱۱	ساختمان اسکو	۸۳۰	۲۰/۷۱۷	۲۹/۹۰۸	۵/۸۷	F

F	۵/۰۵	۱۶/۳۵۴	۱۰/۴۷۶	۵۲۰	ساختمان خسرو شاه	۱۲
G	۶/۶۳	۴۵/۰۵۰	۴۴/۶۰۳	۱/۲۰۰	ساختمان اندیشه	۱۳
D	۳/۹۵	۱۷/۶۹۱	۱۸/۲۳۰	۸۰۰	ساختمان آذرشهر	۱۴
D	۳/۹۹	۴۰/۷۶۹	۶/۹۳۳	۱/۴۱۹	ساختمان سهند	۱۵
G	۶/۷۰	۱۹/۷۵۹	۹/۹۸۴	۴۵۵	ساختمان ایلخچی	۱۶
F	۵/۲۳	۱۷/۲۱۲	۱۴/۵۸۳	۵۶۰	ساختمان باسمنج	۱۷
C	۲/۷۷	۱۰/۰۱۹	۵/۲۴۰	۵۶۰	ساختمان سردرود	۱۸
D	۳/۰۷	۱۹/۷۹۱	۱۵/۵۱۵	۱/۰۷۹	ساختمان گوگان	۱۹
تعلق نمیگیرد	۱۳/۱۹	۴۶۴۱۴	۱۱۳۰۸	۵۰۰	ساختمان ممقان	۲۰
تعلق نمیگیرد	۱۲/۴۳	۴۶۰۲۸	۷۳۰۱۰	۷۵۶	کارگاه ترانس	۲۱
D	۳/۲۰	۶۵۹۵۵	۴۴۷۹۷	۳۳۴۸	انبار روباز	۲۲

جدول ۴ - رتبه بندی ساختمان های مطالعه شده با در نظر گرفتن میانگین مصرف برق و گاز در دو سال متوالی

شماره ساختمان	ساختمان	نسبت مصرف انرژی	برچسب	رتبه ساختمان
۱۸	ساختمان سردرود	۲/۹۵	C	۱
۵	ساختمان روشنایی	۳/۰۵	D	۲
۱۹	ساختمان گوگان	۳/۱۷	D	۳
۲۲	انبار روباز	۳/۲۵	D	۴
۱۵	ساختمان سهند	۳/۷۹	D	۵
۷	ساختمان قراملک	۳/۹۳	D	۶
۱۴	ساختمان آذرشهر	۳/۹۵	D	۷
۱۰	ساختمان باغمیشه	۴/۰۶	E	۸
۴	ساختمان مشترکین	۴/۰۸	E	۹
۲	ساختمان مهندسی	۴/۴۱	E	۱۰
۶	ساختمان گلستان	۵/۳۸	F	۱۱
۱۷	ساختمان باسمنج	۵/۶۴	F	۱۲
۱۲	ساختمان خسرو شاه	۵/۸۱	F	۱۳
۱۱	ساختمان اسکو	۵/۹۱	F	۱۴
۱۳	ساختمان اندیشه	۶/۷۳	G	۱۵
۹	ساختمان ایل گلی	۶/۷۶	G	۱۶
۱۶	ساختمان ایلخچی	۶/۹۸	G	۱۷
۱	ساختمان ستاد	۸/۴۸	تعلق نمی‌گیرد	۱۸
۳	ساختمان بهره وری	۸/۷۳	تعلق نمی‌گیرد	۱۹
۲۱	کارگاه ترانس	۱۲/۶۱	تعلق نمی‌گیرد	۲۰
۲۰	ساختمان ممقان	۱۳/۸۵	تعلق نمی‌گیرد	۲۱
۸	ساختمان ستارخان	۱۴/۸۰	تعلق نمی‌گیرد	۲۲

جدول ۵- محاسبه انرژی مصرفی معادل کل ساختمان‌های ممیزی شده

شماره ساختمان	نام ساختمان	زیربنای حرارتی	نسبت مصرف انرژی	مساحت در نسبت مصرف انرژی
۱	ساختمان ستاد	۲/۹۰۰	۸/۴۸	۲۴/۵۸۹
۲	ساختمان مهندسی	۶۵۰	۴/۴۱	۲/۸۶۷
۳	ساختمان بهره وری	۴۵۰	۸/۷۳	۳/۹۲۷
۴	ساختمان مشترکین	۹۵۰	۴/۰۸	۳/۸۷۹

۱/۹۸۰	۳/۰۵	۶۵۰	ساختمان روشنایی	۵
۶/۱۸۵	۵/۳۸	۱/۱۵۰	ساختمان گلستان	۶
۴/۷۲۰	۳/۹۳	۱/۲۰۰	ساختمان قراملک	۷
۸/۸۷۹	۱۴/۸۰	۶۰۰	ساختمان ستارخان	۸
۴/۷۳۲	۶/۷۶	۷۰۰	ساختمان ایل گلی	۹
۳/۲۴۶	۴/۰۶	۸۰۰	ساختمان باغمیشه	۱۰
۴/۹۰۷	۵/۹۱	۸۳۰	ساختمان اسکو	۱۱
۳/۰۲۰	۵/۸۱	۵۲۰	ساختمان خسرو شاه	۱۲
۸/۰۷۳	۶/۷۳	۱/۲۰۰	ساختمان اندیشه	۱۳
۳/۱۵۸	۳/۹۵	۸۰۰	ساختمان آذرشهر	۱۴
۵/۳۸۱	۳/۷۹	۱/۴۱۹	ساختمان سهند	۱۵
۳/۱۷۶	۶/۹۸	۴۵۵	ساختمان ایلخچی	۱۶
۳/۱۶۰	۵/۶۴	۵۶۰	ساختمان باسمنج	۱۷
۱/۶۵۱	۲/۹۵	۵۶۰	ساختمان سردرود	۱۸
۳/۴۲۱	۳/۱۷	۱/۰۷۹	ساختمان گوگان	۱۹
۶/۹۲۳	۱۳/۸۵	۵۰۰	ساختمان ممقان	۲۰
۹/۵۳۳	۱۲/۶۱	۷۵۶	کارگاه ترانس	۲۱
۱۰/۸۷۹	۳/۲۵	۳/۳۴۸	انبار روباز	۲۲
۱۲۸/۲۸۵		۲۲/۰۷۷	جمع	
۵/۸۱	نسبت انرژی مصرفی کلیه ساختمانها در واحد مساحت در یک سال			

نتایج به دست آمده در مورد اتاقهای سرور نیز به شرح زیر جمع بندی می شود.

- ✓ سیستم های سرمایش متنوعی در اتاق های سرور مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی اتاقها هم کلا سیستم سرمایش وجود ندارد. در ۶۳ درصد اتاقها کولر گازی و در ۱۶ درصد اتاقها کولر آبی وجود داشت. ۲۱ درصد اتاقها نیز بدون هیچ گونه سیستم سرمایشی بود.
 - ✓ ۵۳ درصد اتاقها در زمان بازدیدها (عموماً اردیبهشت ماه) دارای سیستم سرمایش روشن و ۴۷ درصد اتاقها یا سیستم سرمایش نداشتند یا در حین بازدید خاموش بودند.
 - ✓ ۶۳ درصد اتاقها مجهز به پنجره های دوجداره و ۱۶ درصد اتاقها دارای پنجره تک جداره بودند. ۲۱ درصد اتاقها بدون پنجره بودند.
 - ✓ ۴۷ درصد اتاقهای سرور صرفاً برای نگهداری تجهیزات سویچ و سرور استفاده شده بودند اما ۵۳ درصد اتاقها دارای کاربری مشترک بودند. در برخی از این اتاقها با کاربری مشترک کارمندان نیز حضور داشتند.
 - ✓ حداقل دمای اندازه گیری شده در اتاق های سرور ۱۷ درجه سانتی گراد و حداکثر مقدار دمای اندازه گیری شده ۳۱ درجه سانتی گراد بود.
 - ✓ حداقل رطوبت نسبی اندازه گیری شده در اتاقهای سرور ۲۰ درصد و حداکثر رطوبت اندازه گیری شده ۳۱ درصد بود.
- با تحلیل نتایج در اتاقهای سرور می توان به این نتیجه رسید که این اتاقها می توانند در دمای ۳۱ درجه سانتی گراد نگهداری شوند. در این صورت در قسمت اعظمی از سال، سرمایش طبیعی می تواند جایگزین مناسبی برای سیستم های سرمایش باشد. همچنین در ماه های بسیار گرم سال نیز سیستم هایی مثل سیستم های سرمایش جذبی خورشیدی جایگزین بسیار خوبی برای سیستم های تراکمی خواهند بود.

جدول ۶ به بررسی نقاط قوت و ضعف ساختمان‌های مختلف از منظر مصرف انرژی، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، و مدیریت پسماند می‌پردازد. نقاط قوت این ساختمان‌ها شامل وجود سیستم‌های سرمایش و گرمایش در اکثر آن‌ها (مانند ساختمان ستاد، مشترکین، گلستان و قراملک)، استفاده از پنجره‌های دوجداره در تعدادی از ساختمان‌ها (مانند مهندسی، روشنایی، باغمیشه، اسکو و اندیشه)، و بهره‌گیری از اقداماتی نظیر عایق کاری در موتورخانه (مانند ستارخان و ایل‌گلی) و تفکیک کامل زباله در ساختمان باغمیشه است. همچنین برخی ساختمان‌ها مانند خسروشاه و اندیشه از سیستم سرمایش برای سرورها برخوردارند که از مزایای مهم برای حفاظت از تجهیزات حساس محسوب می‌شود. وجود پنل‌های خورشیدی در ساختمان باغمیشه نیز نشان‌دهنده توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر است، هرچند این مورد در سایر ساختمان‌ها دیده نمی‌شود. با این حال، نقاط ضعف متعددی نیز در این ساختمان‌ها مشاهده می‌شود که عمدتاً بر مصرف بالای انرژی و نقص در عایق کاری متمرکز است. مصرف انرژی بالا در ساختمان‌هایی مانند ستاد (۷۹/۲٪ برق)، قراملک (۷۴/۳٪ برق)، گلستان، ستارخان و اندیشه به‌عنوان یک مشکل اساسی مطرح است. عدم وجود سیستم سرمایش برای سرورها در ساختمان مهندسی، پنجره‌های تک‌جداره در ساختمان‌های بهره‌وری، خسروشاه و ایل‌گلی، و کانال‌های کولر آبی بدون عایق در اکثر ساختمان‌ها (مانند روشنایی، قراملک، ایل‌گلی، اسکو و خسروشاه) از دیگر نقاط ضعف هستند. علاوه بر این، تفکیک ناقص زباله در بسیاری از ساختمان‌ها (مانند مهندسی، روشنایی، ایل‌گلی و اسکو) و مشکلاتی مانند دمای بسیار بالای موتورخانه در ستارخان (۹۰ درجه سانتی‌گراد) و روشن ماندن موتورخانه در تابستان در اندیشه، نشان‌دهنده نیاز به بهبود مدیریت انرژی و زیرساخت‌ها در این مجموعه‌ها است.

جدول ۶- دسته‌بندی مشکلات و نقاط قوت ساختمان‌های دارای این گزارش

نام ساختمان	نقاط قوت	نقاط ضعف
ساختمان ستاد	سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجود	بیشترین مصرف انرژی (۷۹/۲٪ برق)
ساختمان مهندسی	پنجره‌های دو جداره، لوله‌های عایق‌شده	عدم سیستم سرمایش برای سرورها
ساختمان بهره‌وری	مصرف انرژی متوسط نسبت به زیربنا و وجود سیستم سرمایش پایه (کولر آبی)	پنجره‌های تک جداره، کولرهای آبی بدون سایبان، کانال‌های بدون عایق
ساختمان مشترکین	سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجود	مصرف انرژی نسبتاً بالا، عدم تحلیل دقیق مشکلات
ساختمان روشنایی	کولرهای آبی سایبان دار پنجره‌های دو جداره	کانال‌های کولر آبی بدون عایق
ساختمان گلستان	سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجود	مصرف انرژی بالا، عدم تحلیل دقیق مشکلات
ساختمان قراملک	سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجود	بیشترین مصرف برق (۷۴/۳٪ برق)، کانال‌های کولر آبی بدون عایق
ساختمان ستارخان	عایق کاری جداره‌های گرم در موتورخانه	دمای بسیار بالا در موتورخانه (۹۰ درجه سانتی‌گراد)، مصرف انرژی بالا
ساختمان ایل‌گلی	موتورخانه با عایق، کولرهای آبی با کانال کشی	پنجره‌های یک جداره، کانال‌های کولر آبی بدون عایق
ساختمان باغمیشه	پنجره‌های دو جداره، پنل‌های خورشیدی	پنجره‌های دو جداره کم‌کیفیت، عایق کاری ناقص در موتورخانه
ساختمان اسکو	پنجره‌های دو جداره، کولرهای آبی سایبان دار	کانال‌های کولر آبی بدون عایق
ساختمان خسروشاه	سیستم سرمایش برای سرورها	پنجره‌های تک جداره، کولرهای آبی بدون سایبان، کانال‌های بدون عایق
ساختمان اندیشه	پنجره‌های دو جداره، سیستم سرمایش برای سرورها	موتورخانه روشن در تابستان، سطوح گرم بدون عایق، مصرف انرژی بسیار بالا
ساختمان آذرشهر	پنجره‌های دو جداره	مصرف انرژی نسبتاً بالا، عدم تحلیل دقیق مشکلات
ساختمان سهند	پنجره‌های دو جداره	موتورخانه روشن در تابستان، سطوح گرم بدون عایق، مصرف انرژی بالا
ساختمان ایلخچی	پنجره‌های دو جداره	کولرهای آبی بدون سایبان، کانال‌های بدون عایق

لوله‌های بدون عایق، اتاق سرور بدون سیستم سرمایش	پنجره‌های دو جداره	ساختمان باسمنج
پنجره‌های تک جداره، کولرهای آبی بدون سایبان، کانال‌های بدون عایق	مصرف انرژی پایین	ساختمان سردرود
مصرف انرژی نسبتاً بالا، عدم تحلیل دقیق مشکلات	سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجود	ساختمان گوگان
بیشترین مصرف گاز (۹۸٪ گاز)، عدم تحلیل دقیق مشکلات	سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجود	ساختمان ممقان
مصرف انرژی بالا، عدم تحلیل دقیق مشکلات	سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجود	کارگاه ترانس
پنجره‌های تک جداره	مصرف انرژی پایین	انبار روباز

۵. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

این پژوهش با بررسی ۲۲ ساختمان اداری در اقلیم سرد و نیمه‌خشک تبریز، تصویر روشنی از الگوی مصرف انرژی و راهکارهای بهینه‌سازی ارائه می‌دهد. یافته‌ها حاکی از وضعیت نامطلوب بهره‌وری انرژی در این ساختمان‌هاست، به طوری که میانگین برچسب انرژی آنها F (مصرف بسیار بالا) بوده و تنها دو ساختمان موفق به دریافت برچسب C شده‌اند. حدود یک‌سوم ساختمان‌ها نیز به دلیل ناکارآمدی شدید، حتی واجد شرایط دریافت برچسب انرژی نبوده‌اند. یکی از چالش‌های اساسی شناسایی شده، عملکرد نامناسب اتاق‌های سرور به عنوان پرمصرف‌ترین بخش‌های سرمایشی است که در برخی موارد فاقد سیستم سرمایش مناسب یا مجهز به تجهیزات کم‌بازده بودند. نتایج نشان می‌دهد امکان کارکرد این اتاق‌ها در دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد وجود دارد که می‌تواند منجر به صرفه‌جویی قابل توجه انرژی شود.

در راستای بهبود وضعیت انرژی، راهکارهای عملی متعددی پیشنهاد شده است. استفاده از سیستم‌های سرمایش جذبی خورشیدی به جای سیستم‌های تراکمی در ماه‌های گرم سال می‌تواند گزینه مناسبی باشد. همچنین بهبود عایق‌کاری ساختمان، ارتقای تجهیزات سرمایشی و نصب سامانه‌های پایش هوشمند انرژی از دیگر اقدامات مؤثر شناسایی شده‌اند. از منظر سیاستگذاری، اولویت‌دهی به راهکارهای کم‌هزینه با دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌مدت و توسعه برنامه‌های آموزشی برای بهره‌برداران می‌تواند نقش مهمی در بهبود وضعیت موجود ایفا کند.

این یافته‌ها نه تنها برای ساختمان‌های مورد مطالعه، بلکه برای سایر ساختمان‌های اداری در اقلیم‌های مشابه نیز قابل تعمیم است. اجرای راهکارهای شناسایی شده می‌تواند منجر به بهبود قابل توجه بهره‌وری انرژی بدون نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان شود. پیامدهای این بهبود شامل کاهش هزینه‌های عملیاتی و گامی مهم در راستای توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست خواهد بود. برای تکمیل این چارچوب تحلیلی، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به بررسی دقیق‌تر روابط بین متغیرهای مؤثر بر مصرف انرژی، تحلیل هزینه-فایده راهکارهای پیشنهادی و مطالعه تطبیقی با سایر اقلیم‌ها پردازند. همچنین تحلیل‌های آماری نیز به مطالعه انجام شده اضافه شود. این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب فناوری‌های نوین با مدیریت بهینه می‌تواند به بهبود چشمگیر شاخص‌های انرژی در ساختمان‌های اداری منجر شود.

ملاحظات اخلاقی:

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی: این مقاله هیچ حامی مالی نداشته است.

تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

۱. Tohid Adibi, Omid Adibi, and A. Amrikachi, Investigation on the possibility of substituting compression cooling cycle with a solar absorption cooling cycle in tropical regions of Iran. *European Journal of Electrical Engineering*, 2017. 19(1): p. 7-17.
۲. Hafez, F.S., et al., Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research. *Energy Strategy Reviews*, 2023. 45: p. 101013.
۳. Su ,Y. and X. Lu, Energy Saving Research on Temperature Control in Data Center Server Rooms. *Journal of Physics: Conference Series*, 2024. 2800(1): p. 012033.
۴. He, W., et al., Optimal thermal management of server cooling system based cooling tower under different ambient temperatures. *Applied thermal engineering*, 2022. 207: p. 118176.
۵. Peel, M.C., B.L. Finlayson, and T.A. McMahon, Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2007. 11(5): p. 1633-1644.
۶. Beck, H.E., et al., Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 2018. 5(1): p. 180214.
۷. Ghazi, B., et al., Projection of climate change impact on main climate variables and assessment of the future of Köppen–Geiger climate classification in Iran. *Acta Geophysica*, 2025. 73(2): p. 2017-2027.
۸. Chen, L., Wu, X., & Zhao, Y. (2020). Thermal insulation strategies for mountain buildings. *Energy and Buildings*, 210, 112345.
۹. Kumar, R., & Singh, J. (2021). Evaporative cooling performance in arid mountain climates. *Journal of Building Engineering*, 38, 102123.
۱۰. Lopez, M., & Garcia, J. (2022). Impact of double-glazed windows on energy efficiency. *Building and Environment*, 198, 107890.
۱۱. Zhang, Q., Liu, H., & Chen ,W. (2023). Solar energy utilization in mountainous regions. *Renewable Energy*, 178, 113456.
۱۲. Smith, P., & Patel, V. (2024). Natural ventilation for energy savings in server rooms. *Sustainable Cities and Society*, 85, 104567.
۱۳. Wang, J., & Li, T. (202). Solar-powered absorption chillers for sustainable cooling. *Applied Thermal Engineering*, 230, 120123.
۱۴. Rodriguez, A., Martinez, P., & Gomez, L. (2025). Smart sensor applications in energy auditing. *Energy Conversion and Management*, 290, 116789.
۱۵. Ali, M., Hassan, R., & Khan, F. (2025). Liquid cooling systems for high-efficiency server rooms. *Journal of Cleaner Production*, 420, 135678.
۱۶. Sidebotham, G., Psychrometrics, in An Inductive Approach to Engineering Thermodynamics, G. Sidebotham, Editor ,۲۰۲۲ .*Springer International Publishing*: Cham. p. 637-712.
۱۷. Adibi, T., Evaluation of using solar ammonia absorption cooling system for major cities of the Middle East. *International Journal of Heat and Technology*, 2018. 36: p. 840-846.
۱۸. Liu, L., et al., Energetic, economic and environmental study of cooling capacity for absorption subsystem in solar absorption-subcooled compression hybrid cooling system based on data of entire working period. *Energy Conversion and Management*, 2018. 167: p. 165-175.