Islamic Azad University , Shiraz Branch
نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis
sanad.iau.ir/journal/jcdsa

The effect of climatic design of the building on the reduction of Embodied energy and comparison with the consumed electricity (A case-study of Shiraz city)

Azar Zinali-kharagy[1*], Maryam Haghpanah[2]

[1] Associate Professor, Department of Architecture, Roudan Branch, Islamic Azad University, Roudan, Iran
zinaliazar@gmail .com

[2] Associate Professor, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
mar.haghpanah@gmail .com

Abstract: This research has evaluated the reduction of embodied energy consumption in the building (energy consumed during construction) and comparing it with energy consumption during the exploitation period (electricity consumption). First, according to field and library studies, influential independent variables are explained. Then the Embodied energy of a building in hot and dry climate in Shiraz city is calculated after modeling in Excel software. The results in this article include two parts: theoretical results that are the product of literature review and experimental results that are obtained from calculations and analyzed. The results of this research show that the Embodied energy of each square meter of the sample building in the architectural sector is 1.8 megajoules per square meter and the results show that these variables change the Embodied energy between 0.3 and 3.75 megajoules per square meter. As it is known, the embodied energy during the construction of a building with an area of 1080 square meters is equal to three years of electricity consumption of a building. This research also shows that architectural efficiency can reduce the Embodied energy of the building in the construction industry.

Keywords: Embodied Energy, architectural design, building materials, architectural solutions, consumed electricity

JCDSA, Vol. 2, No. 4, Winter 2025	Online ISSN: 2981-1295	Journal Homepage: https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcdsa
Received: 2024-09-14	Accepted: 2024-12-31	Published: 2025-03-20

CITATION

Zinali, A ., Haghpanah, M ., "*reduction of Embodied energy and comparison with the consumed electricity (A case study of Shiraz city)*", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 2, No. 4, pp. 70-79, 2025.
DOI: 00.00000/0000

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0

* Corresponding author

Extended Abstract

1-Introduction

Given the high energy consumption of buildings in Iran and the fact that no research has been conducted on reducing latent energy by utilizing architectural design in residential buildings in the hot and dry climate of Shiraz, the present study aims to fill this research gap. Background studies show that although a number of variables can reduce the energy during operation and electricity of a building, they significantly increase the latent energy of the building, so it is necessary to address this important effect. The ultimate goal of this study is to help construction workers, including architects, to present designs that, given the high volume of construction in the country, in addition to observing all the principles of architectural design, also reduce latent energy. Therefore, the hypothesis that strategies for reducing latent energy during operation increase latent energy is proposed and the question will be answered: What effect do practical strategies for reducing latent energy during operation have on latent energy?

2-Methodology

The type of research in this study is applied and the method of collecting field and library information is used. The data analysis method is quantitative and based on statistics and tables. The analysis in this study is of a quantitative explanatory type. In explanatory analysis, the cause and effect relationships between independent and dependent variables are discussed and examined, and the researcher confirms or rejects the cause and effect relationships between variables and Embodied energy by rejecting or confirming statistical hypotheses, and after analysis, solutions are explained. In this study, a review of the research literature has been used to select the method of calculating the Embodied energy of materials and implementation details and selecting variables. First, the Embodied energy of the building is calculated in Excel software. Then, the Embodied energy of the entire building is compared with the changes in the energy reduction variables during operation, and then the analysis is performed. According to the research literature, the components of energy consumption reduction during operation in climate design are considered as independent variables and Embodied energy as dependent variables.

3-Results and discussion

In this study, to prove the hypothesis, after reviewing the research literature, the design variables effective on reducing energy during operation in hot and dry climates were determined. In order to determine the effect of the variables on the total Embodied energy in the building under study, it was necessary to calculate the total Embodied energy of the building, and then in the table designed in Excel, the research variables could be changed each time and the Embodied energy results extracted. This was done by examining 8 variables. The total Embodied energy of the building under study, calculated in Shiraz with an area of 1080 square meters, was 1944 (Gigajoules), and the Embodied energy per square meter of the building was 1.8 Gigajoules. In examining the energy consumption variables during operation and Embodied energy, the following results were obtained. Thermal insulation, double-glazed glass, glazing, and pilot lights reduce energy consumption, but increase Embodied energy in the building. Reducing the surface area of external walls, reducing the surface area of openings, and building density reduce Embodied energy and reduce energy consumption. Variables such as building orientation and opening orientation reduce energy during operation but have no effect on the latent heat.

4-Conclusion

The results show that the research variables cause the Embodied energy to change between 0.3 and 3.75 megajoules per square meter. The researcher, in examining the electrical energy consumption of a building and the Embodied energy, has concluded that the Embodied energy during the construction of a building with an area of 1080 square meters is equal to the three-year electricity consumption of a building. Therefore, according to the research objectives, the following solutions are effective in the Shiraz climate.

1-Architects can calculate the effect of increasing spaces and areas according to the Embodied energy table of the building and avoid additional spaces and details in the plan and provide solutions in the design that reduce the energy during operation and Embodied energy.

2-The porch and central courtyard in this climate, although they reduce the energy during operation, significantly increase the Embodied energy of the building.

3-In the study of climate design, the use of windows with fewer surfaces and external walls with fewer surfaces and a dense plan reduces energy during operation and reduces the Embodied energy of the building.

4-The use of multi-pane glass and thermal insulation reduces energy during operation but increases the Embodied energy of the building, but this increase in Embodied energy is not significant.

Islamic Azad University , Shiraz Branch
نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis
sanad.iau.ir/journal/jcdsa

تاثیر طراحی اقلیمی ساختمان بر کاهش انرژی نهفته و مقایسه با برق مصرفی (نمونه موردی شهر شیراز)

آذر زینلی خراجی *[1]، مریم حق‌پناه[2]

۱- گروه معماری، واحد رودان، دانشگاه آزاد اسلامی، رودان، ایران (com .zinaliazar@gmail)
۲- گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (com .haghpanah@gmail .mar)

چکیده: این پژوهش به ارزیابی کاهش مصرف انرژی نهفته درساختمان (انرژی مصرف شده در زمان ساخت) و مقایسه آن با مصرف انرژی در دوره بهره‌بردای (برق مصرفی) پرداخته است. ابتدا با توجه به مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای متغیرهای مستقل تاثیرگذار تبیین می‌شوند. سپس انرژی نهفته یک ساختمان در اقلیم گرم‌وخشک در شهر شیراز پس از مدل‌سازی در نرم‌افزار اکسل محاسبه می‌گردد. نتایج در این مقاله شامل دو بخش است: نتایج نظری که محصول بررسی متون است و نتایج تجربی که از محاسبات حاصل شده و تحلیل گردیده است. دستاوردهای این پژوهش نشان می‌دهد که انرژی نهفته هر مترمربع ساختمان نمونه در بخش معماری ۱/۸ مگاژول در هر مترمربع است و نتایج نشان می‌دهد که این متغیرها باعث تغییر انرژی نهفته بین ۰/۳ تا ۳/۷۵ مگاژول در هر مترمربع می‌گردند. همانطور که مشخص است انرژی نهفته زمان ساخت یک ساختمان با متراژ ۱۰۸۰ مترمربع برابر با مصرف سه سال برق مصرفی یک ساختمان می‌باشد. این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که با راهکارهای معماری می‌توان انرژی نهفته ساختمان را در صنعت ساختمان کاهش داد.

واژه های کلیدی: انرژی نهفته، طراحی معماری، مصالح ساختمانی، روش‌های معماری، برق مصرفی

نوع مقاله: پژوهشی
DOI: 00.00000/0000
تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱ تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۳۰

۱- مقدمه

با توجه به مصرف بالای انرژی ساختمان در ایران و با توجه به اینکه هیچ پژوهش جامعی در مورد کاهش انرژی نهفته با بهره‌گیری از طراحی معماری در ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و خشک شیراز صورت نگرفته است. پژوهش حاضر با هدف پرکردن این خلاتحقیقاتی و دستیابی به نتایج عملی و فنی و اقتصادی مطلوب صورت گرفته است. مطالعات پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که هر چند تعدادی از متغیرها می‌توانند انرژی زمان بهره برداری وبرق ساختمان را کاهش دهند اما به طور قابل توجهی باعث افزایش انرژی نهفته ساختمان می‌گردند. پس ضرورت دارد که به این تاثیر مهم پرداخته شود. هدف نهایی این پژوهش این است که به دست اندرکاران ساخت و ساز از جمله معماران کمک کند که با توجه به حجم بالای ساخت و ساز در کشور طرح‌هایی را ارائه دهند که علاوه بر رعایت همه اصول طراحی معماری، به کاهش انرژی نهفته نیز بپردازند. بنابراین این فرضیه که راهبردهای کاهش انرژی زمان بهره برداری انرژی نهفته را افزایش می‌دهند مطرح می‌گردد و با توجه به راهبرد علت و معلولی تحقیق به این پرسش پاسخ داده خواهد شد که راهبردهای کاربردی کاهش انرژی زمان بهره‌برداری چه تاثیری بر انرژی نهفته دارند؟ راهکارهای ارائه شده در این تحقیق در کل ساختمان‌ها بر اساس محاسبه انرژی نهفته هر ساختمان قابل تعمیم است و باعث کاهش مصرف انرژی نهفته به عنوان راه‌حل کاهش تاثیرات زیست‌محیطی می‌گردد.

۲- انرژی نهفته ساختمان

ساختمان‌ها با انواع مصالح ساختمانی که به انرژی در سراسر مراحل تولید، استفاده و تخریب خود نیاز دارند، ساخته شده‌اند. انرژی نهفته مواد ساختمانی مختلف وابسته به فرایند تولید آن است و محتوای انرژی نهفته تا حد زیادی در انواع مختلف ساخت متغیر است (انرژی نهفته را به عنوان کل انرژی مورد نیاز در ایجاد یک ساختمان، از جمله انرژی مستقیم مورد استفاده در روند ساخت، مونتاژ و انرژی غیر مستقیم، که لازم است برای تولید مواد و قطعات ساختمان مصرف شود تعریف می‌کنند [۱]. انرژی نهفته عبارت است از انرژی مصرف شده در طول استخراج و فرآوری موادخام، حمل‌ونقل موادخام اصلی، تولید

* نویسنده مسئول

مصالح ساختمانی و قطعات و استفاده از انرژی برای فرآیندهای مختلف در طول ساخت و تخریب ساختمان. ساختمان‌ها در طول مراحل پیش از ساخت، فرآیندهای مختلف ساخت و مراحل پس از ساخت، مانند بازسازی و نوسازی و تخریب‌نهایی انرژی مصرف می‌کنند. این مراحل شامل استخراج موادخام، حمل‌ونقل، ساخت، مونتاژ، نصب و راه‌اندازی و همچنین جداسازی قطعات، ساختارزدایی و تخریب آن‌ها است انرژی مصرف شده در مراحل چرخه حیات یک ساختمان در مجموع به عنوان انرژی نهفته تفسیر شده است [۲]. با توجه به تعاریف ارائه شده، انرژی‌نهفته یک ساختمان را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

انرژی‌نهفته ساختمان = انرژی‌نهفته مصالح + انرژی‌نهفته حمل + انرژی مصرفی در سایت

۳- مکان پژوهش

با توجه به اینکه ساختمان‌های اقلیم گرم وخشک در گروه‌بندی میزان مصرف انرژی، در گروه مصرف انرژی بالا قرار دارند و کاهش مصرف انرژی در این شهرها از اولویت‌های کشور می‌باشد، مکان پژوهش دراقلیم گرم‌وخشک و شهر شیراز انتخاب شده است. شهر شیراز در استان فارس واقع شده و از نظر تقسیمات کشوری و سیاسی مرکز این استان است. برای انجام این تحقیق در ابتدا یک ساختمان با توجه به فراوانی در شهر شیراز به عنوان نمونه‌موردی با جزئیات اجرایی مشخص انتخاب می‌گردد. نقشه ساختمان شاهد در زمینی به مساحت ۳۰۰ مترمربع و به ابعاد ۱۵ در ۲۰ متر قرار دارد. این ساختمان دارای شش طبقه روی هم‌کف و یک طبقه در هم‌کف می‌باشد که مساحت هرطبقه ۱۸۰ مترمربع و مجموع کل مساحت ساختمان ۱۰۸۰ مترمربع می‌باشد. این ساختمان با دیوار بلوک سفالی و نمای سنگ و کف طبقات از سرامیک ساخته شده است.

۴- پیشینه تحقیق

بر طبق نظر بسیاری از نویسندگان، بین انرژی زمان بهره‌برداری و انرژی‌نهفته ساختمان ارتباط معناداری وجود دارد که به این معنی است که کاهش انرژی زمان بهره‌برداری منجر به افزایش انرژی‌نهفته می شود. به عنوان مثال، با کاهش بخشی از پوشش ساختمان و یا راه‌حل‌های فنی، کاهش انرژی در بهره‌برداری می‌تواند بطور قابل‌توجهی کاهش یابد. با این حال، انرژی‌نهفته به دلیل اقدامات صرفه‌جویی انرژی ممکن است افزایش یا کاهش یلبد. در این تحقیق پیشینه پژوهش داخلی و خارجی به دو دسته پایان نامه‌ها و مقالات دسته‌بندی شده‌است. جستجوی ادبیات با رویکرد گلوله‌برفی انجام شده‌است که در نتیجه صدها مقاله در مجلات علمی یا پایان‌نامه‌ها انتخاب گردیده است. سپس کلیه خلاصه مقالات این لیست از ادبیات بررسی و در نتیجه مقالاتی مرتبط با هدف این تحقیق انتخاب شده است . پس از بررسی پیشینه تحقیق ۱۴۰ مقاله و رساله خارجی و۲۰ مقاله وپایان‌نامه داخلی با توجه به اهداف وسولات وفرضیه تحقیق جمع‌آوری سپس همه آن‌ها بررسی گردیده‌است. در نتیجه پژوهش‌های مرتبط با هدف این تحقیق انتخاب شده است، که از این تعداد ۷۰ مورد انتخاب گردیده‌است که پس از غربالگری نهایی ۵۵ موردکه با اهداف و فرضیه تحقیق همخواناتر بودند ودر بازه‌زمانی ده سال قرار داشتند انتخاب شدند. در جدول (۱) نتایج بررسی ادبیات تحقیق با توجه به نمونه‌های موردی ونوع نمونه ونوع تحقیق و زمینه پژوهش وسایر موارد دسته‌بندی شده-است. که هر چند این محققین در متن ارجاع داده‌نشده‌اند اما در روش‌های محاسبات ومقدار انرژی‌نهفته ومتغیرهای تحقیق از این پیشینه‌های تحقیق استفاده شده‌اند. همچنین در بررسی ادبیات تحقیق ۱۴ محقق به رابطه انرژی‌نهفته و انرژی‌زمان‌بهره‌برداری (مصرفی) پرداخته‌اند که در زیر شرح داده‌شده است .

در [۱] نشان داد که یک ساختمان اداری دو طبقه با نسبت ۲ در ۵۲. ۵ دارای انرژی عملیاتی تقریبا ۱۱. ۴ میلیون مگاوات در طول ۲۵ سال است. که با رعایت جهت‌گیری و بهینه‌سازی ساختمان انرژی‌عملیاتی ۹. ۴ میلیون مگاژول برای ۲۵ سال می‌باشد . همچنین نتایج نشان داد که انرژی نهفته این پروژه حدود ۳ میلیون مگاژول و انرژی عملیاتی حدود ۱۱ میلیون مگاژول(در طول ۲۵ سال) است. پایان‌نامه [۲] ، با عنوان ارزیابی انرژی‌نهفته سازه‌ساختمان بیان می‌کند که تلاش‌های شدیدی برای کاهش انرژی عملیاتی انجام می‌گیرد. با این حال ممکن است انرژی عملیاتی کاهش یابد، اما انرژی‌نهفته افزایش یلبد. بنابراین در تحقیق خود انرژی‌نهفته سازه‌ساختمان را محاسبه می‌کند و نتیجه می‌گیرد که نوع مواد سازه‌ای در طراحی ساختمان‌های که حفظ محیط داخلی را از طریق استفاده موثر از انرژی دارند کاهش میدهد. همچنین استفاده از طراحی انرژی منفعل، (کاهش مصرف انرژی، از طریق مصالح با انرژی نهفته کمتر و کاهش مصرف انرژی با استفاده از مصالح بازیافتی و بازسازی) باعث کاهش انرژی ساختمان‌ها می‌باشد. در [۳] به مقایسه انرژی عملیاتی و انرژی نهفته پرداخته شده است. بیان می‌کند که، ممکن است انرژی عملیاتی کاهش پیدا کند اما انرژی نهفته افزایش بیابد .

بررسی ۷۳ مورد را در ۱۳ کشور در [۴] نشان داد که انرژی نهفته۱۰-۲۰ درصد از کل انرژی چرخه زندگی را در مقایسه با ۸۰-۹۰ درصد برای انرژی عملیاتی نشان می‌دهد. مقاله [۵] انرژی عملیاتی در مقابل انرژی نهفته را با استفاده از دستورالعمل ساختمان جدید انرژی در ۹۷ آپارتمان نشان دادند. انرژی عملیاتی در ساختمان‌های امروز به طور متوسط ۲/۱۸۷ مگاژول بر مترمربع بود و انرژی نهفته حدود ۲/۳۷۲ مگاژول بر مترمربع است، که حدود ۳/۲۵٪ برای عمر ۵۰ ساله را نشان می‌دهد. کاهش عمده انرژی عملیاتی به این معنی است که انرژی مورد نیاز برای ساخت مصالح ساختمانی، انرژی نهفته، در آینده نزدیک به ۴۰۰ درصد انرژی عملیاتی خواهد رسید. در بخش دوم کار، اقدامات صرفه جویی در انرژی مشترک، اندازه گیری انرژی نهفته و تاثیر آن‌ها در برآورد برخی از صرفه‌جویی‌های عملیاتی انرژی می‌باشد. نتایج نشان می دهد که زمان بازیابی حدود ۴ تا ۹ سال بسته به اقدامات مورد بررسی است [۶]. برای یک خلنه کوچک حدود ۶۵ مترمربع، میانگین مصرف انرژی می تواند در محدوده ۱۲۰ تا ۱۵۰ واحد (کیلووات ساعت) در هر ماه باشد. این بدان معناست که در حدود

۵۴۰ مگاژول در هر ماه در ۱۸۰ واحد یا در کل ۳۲۴ گیگا ژول در طول عمر ۵۰ ساله برای مساحت ۶۵ مترمربع اختصاص می‌یابد. از این رو، انرژی عملیاتی می تولند در دامنه ۴. ۹۸ گیگا ژول بر مترمربع باشد. انرژی نهفته می‌تولند در شرایط اقلیمی مطلوب بخش قابل توجهی از کل انرژی چرخه زندگی باشد [۷].

برای یک خانه معمولی تک خانواده، درصد انرژی نهفته می‌تواند تا ٪۴۰ -٪۵۰ از کل مصرف انرژی اولیه چرخه زندگی را تشکیل دهد [۹]. این مطالعه نشان می‌دهد که علیرغم تأثیرات عظیم مرحله عملیاتی برکربن چرخه عمر ساختمان‌های با سوخت فسیلی، اثرات نهفته بین ۸/۸ و ۲۳/۸ درصد متغیر باشد. تعیین کننده اصلی تأثیر متناسب انرژی نهفته، ماهیت مواد مورد استفاده در ساخت و سازهای ساختمان است. ساختمان‌های که از مواد با جرم حرارتی بالا مانند بتن و آجر ساخته شده‌اند، باعث کاهش انرژی عملیاتی می‌شوند، اما به نوبه خود، اثرات نهفته در کل چرخه‌عمر را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر ساختمان های با قاب چوب و فولاد. افزایش انرژی نهفته بیش از سود حاصل از انرژی عملیاتی می‌باشد، به ویژه هنگامی که ساختمان‌های چوب و قاب فولادی از مواد عایق کافی برخوردار هستند. بنابراین، این نیاز به کاهش انرژی نهفته به عنوان ابزاری برای کاهش تأثیرات زیست محیطی کل زندگی را نشان می‌دهد [۱۰].

در [۱۱] پیشنهاد می‌شود که در حالی که اندازه‌گیری انرژی عملیاتی آسان است، تعیین انرژی نهفته پیچیده و وقت‌گیر است. افزون‌براین، هیچ روش عمومی قابل قبول برای محاسبه انرژی‌نهفته بادقت و پایدار وجود ندارد، بنابراین تغییرات گسترده‌ای در ارقام اندازه‌گیری اجتناب‌ناپذیر است. ممکن است اقداماتی برای کاهش انرژی عملیاتی ساختمان‌ها منجر به افزایش انرژی‌نهفته شود. به عنوان مثال از طریق انتخاب مسئولانه ساختن محصولات، ممکن است به طور قابل توجهی انرژی عملیاتی و انرژی کلی را کاهش دهد. این را می‌توان با مثال زیر نشان داد.

برای بهبود عملکرد حرارتی دیوارهای خارجی ضخامت لایه عایق می تواند افزایش یابد. استفاده از عایق‌های بیشتر بدین معنی است که انرژی نهفته بیشتری لازم است. عملکرد حرارتی بهبودیافته دیوار موجب کاهش انرژی عملیاتی خواهد شد. بنابراین، در این مثال، افزایش انرژی نهفته منجر به کاهش انرژی عملیاتی می‌شود. مقایسه انرژی کل دو ساختمان با مقادیر مختلف انرژی نهفته که منجر به ارزش‌های عملیاتی مختلفی می شود: در طول عمر ساختمان، با انرژی نهفته بالاتر، اما انرژی عملیاتی پایین‌تر می‌تواند انرژی کمتری داشته باشد [۱۲]. با توجه به مطالب بالا تاثیر انرژی نهفته بر ساختمان بیشتر از انرژی عملیاتی یا مصرفی می‌باشد. در جدول (۲) بین انرژی عملیاتی و انرژی نهفته ساختمان مقایسه انجام شده است [۱۳].

۵- روش تحقیق

نوع پژوهش در این تحقیق کاربردی است و روش گردآوری اطلاعات برای تمام مراحل تحقیق شامل گردآوری اطلاعات به صورت اسنادی، میدانی و کتابخانه‌ای است. روش تحلیل داده‌ها کمی و مبتنی بر آمار و جداول می‌باشند. تجزیه و تحلیل در این پژوهش از نوع کمی تبیینی است. در تجزیه و تحلیل تبیینی، روابط علت و معلول بین متغیرهای مستقل و وابسته مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و پژوهشگر با رد یا تأیید فرض‌های آماری به تأیید یا رد روابط علت و معلول بین متغیرها و انرژی نهفته می‌پردازد و پس از تحلیل راهکارهایی تبیین می شود.

در این تحقیق برای انتخاب نحوه محاسبه انرژی نهفته مصالح و جزئیات اجرایی و انتخاب متغیرها از بررسی ادبیات پژوهش استفاده شده است. در ابتدا انرژی نهفته ساختمان در نرم افزار اکسل محاسبه می‌گردد. سپس انرژی نهفته کل ساختمان با تغییر متغیرهای کاهش انرژی زمان بهره‌برداری مقایسه می‌گردد وسپس تحلیل انجام می‌گیرد. بر اساس ادبیات تحقیق مؤلفه‌های کاهش مصرف انرژی زمان بهره‌برداری در طراحی اقلیمی به عنوان متغیر مستقل و انرژی نهفته به عنوان متغیر وابسته و سایر عوامل مانند طراحی سازه و تاسیسات متغیر کنترل می‌باشند.

۶- روش محاسبه انرژی نهفته در تحقیق

به منظور هماهنگی در محاسبات نیاز به واحدی یکسان در انجام تمامی محاسبات است. در این تحقیق واحد انرژی نهفته مگاژول برکیلوگرم است، که پس از ضرب در جرم‌حجمی مواد به واحد مگاژول برمترمکعب تبدیل می شود که برای بدست آوردن مقدار انرژی نهفته هر مترمربع ساختمان با واحد گیگاژول برای هر مترمربع ساختمان اندازه‌گیری می‌شود . واحد اندازه‌گیری جرم‌حجمی کیلوگرم برمترمکعب است و مصالح ساختمانی در این تحقیق با واحدهای مترمربع و کیلوگرم محاسبه شده‌اند.

در این تحقیق با توجه به مطالعات پیشینه تحقیق که بیشتر از نرم‌افزار اکسل در محاسبات استفاده کرده بودند محقق نیز در این تحقیق برای محاسبات انرژی نهفته از اکسل استفاده کرده است . برای مدل‌سازی و محاسبه مصالح از نرم‌افزارهای بیم شامل: ریویت و اتوکد استفاده شده است. سپس تحلیل‌داده‌ها در اکسل انجام شده است. در ابتدا جدولی مانند جدول (۳) در برنامه اکسل طراحی می‌شود که انرژی نهفته جزئیات متفاوت را محاسبه نماید. در جدول (۳) اطلاعات موردنیاز برای محاسبه انرژی نهفته جزئیات شامل وزن مخصوص که از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و انرژی نهفته مصالح از اطلاعات دانشگاه بت و ضخامت مصالح در جزئیات اجرایی از اطلاعات کتابخانه‌ای و میدانی بدست آمده است. در این جدول وزن مخصوص مصالح در انرژی نهفته مصالح ساختمانی با واحد مگاژول درکیلوگرم که در جدول (۲) انرژی نهفته تعدادی از مصالح آورده شده است، ضرب می‌گردد تا انرژی نهفته با واحد مگاژول در هر مترمکعب بدست آید. سپس در ضخامت ومقدار مصالح که در جزئیات مشخص شده است ضرب می‌گردد تا انرژی نهفته با واحد مگاژول بدست بیاید واز جمع همه مصالح آن جزئیات انرژی نهفته هر جزئیات محاسبه می‌گردد و از جمع همه جزئیات انرژی نهفته کل هر جزئیات محاسبه می‌گردد. باید همه

جزئیات را در متراژها ضرب کرد تا انرژی نهفته کل ساختمان محاسبه گردد. همچنین با توجه به تغییر متغیرهای مستقل در جدول اکسل نهایی انرژی نهفته کل محاسبه می‌گردد. در انتها پس از تحلیل نتایج راهکارهایی برای معماران برای کاهش انرژی نهفته ساختمان مناسب با طراحی اقلیمی ارائه می‌گردد.

۷- متغیرهای کاهش مصرف انرژی ساختمان

در این قسمت پس از بررسی ادبیات موضوع ،متغیرهای مناسب برای کاهش انرژی زمان مصرفی(برق) ساختمان شامل: عایق حرارتی، پنجره با شیشه دوجداره، وجود رواق، کاهش سطح پنجره، کاهش مساحت دیوارهای خارجی، وجود پیلوت در ساختمان، جهت پنجره‌ها و جهت ساختمان در اقلیم گرم وخشک شیراز انتخاب گردید. اثر هرکدام از متغیرها بر کاهش انرژی نهفته ساختمان بررسی وتحلیل می گردد.

۷-۱- متغیر عایق حرارتی بر انرژی نهفته

ممکن است اقداماتی برای کاهش انرژی زمان بهره برداری ساختمان ها منجر به افزایش انرژی نهفته شود. به عنوان مثال از طریق انتخاب مسئولانه ساختن محصولات، ممکن است به طور قابل توجهی انرژی زمان بهره‌برداری و انرژی کلی را کاهش دهد. این را می‌توان با مثال زیر نشان داد. برای بهبود عملکرد حرارتی دیوارهای خارجی ضخامت لایه عایق می‌تواند افزایش یابد. استفاده از عایق‌های بیشتر بدین معنی است که انرژی نهفته بیشتری لازم است. عملکرد حرارتی بهبودیافته دیوار موجب کاهش انرژی زمان بهره‌برداری خواهدشد. بنابراین، در این مثال، افزایش انرژی نهفته منجر به کاهش انرژی زمان بهره‌برداری (برق) می‌شود. مقایسه انرژی کل دو ساختمان با مقادیر مختلف انرژی نهفته که منجر به ارزش‌های زمان بهره برداری مختلفی می شود، در طول عمر ساختمان، ساختمان با انرژی نهفته بالاتر، اما انرژی زمان بهره‌برداری پایین‌تر می‌تواند انرژی کمتری داشته باشد [۸].

در این تحقیق پس از محاسبات انرژی نهفته کل ساختمان شاهد در نرم‌افزار اکسل که ۱/۸ مگاژول در هر مترمربع بدست آمده است. این بار انرژی نهفته همان ساختمان با اضافه کردن متغیر عایق حرارتی محاسبه می‌گردد، که نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد. با استفاده از یک لایه عایق حرارتی انرژی مصرفی کمتر می‌شود. ولی انرژی نهفته ساختمان ۴۴۲ گیگا ژول افزایش می‌یابد وبرای هرمترمربع ساختمان ۳گیگاژول انرژی نهفته افزایش می‌آید که پیشنهاد می‌گردد مصالح جایگزین با انرژی نهفته کمتر استفاده شود.

۷-۲- متغیر شیشه دو جداره بر انرژی نهفته

در جدول محاسبات انرژی نهفته کل این بار محاسبات انرژی نهفته کل با تغییر متغیر شیشه دو جداره انجام شده است که نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد با انتخاب شیشه‌های دو جداره در ساختمان انرژی مصرفی کاهش می‌یابد اما انرژی نهفته ۷ گیگا ژول در این ساختمان تغییر می‌کند که می‌توان از این افزایش صرفه‌جویی کرد.

جدول (۱): جمع بندی منابع در پیشینه تحقیق

نتایج بررسی در ۵۵ تحقیق از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۱					
نوع تحقیق		زمینه محقق		گرایش محققین	
تز	مقاله	تعاریف انرژی نهفته	متغیر	غیر معماری	معماری
۱۳	۴۲	۵	۵۰	۲۵	۳۰
٪۲۳	٪۷۷	۱۰٪	۹۰٪	٪۴۶	٪۵۴
تعداد ساختمان		انتخاب نمونه موردی		نرم افزار محاسبات	
بیشتر	یک خانه	غیر مسکونی	مسکونی	سایر نرم افزارها	اکسل
۱۹	۲۴	۷	۳۶	۹	۵
٪۴۴	٪۵۶	٪۱۷	٪۸۳	٪۶۴	٪۳۶

جدول (۲): جدول انرژی نهفته مصالح متداول (ماخذ: نگارنده)

ردیف	مصالح مصرفی	وزن مخصوص kg/M^3	انرژی نهفته MJ/kg	انرژی نهفته MJ/M^3
۱	ملات ماسه سیمان	۲۱۰۰	۱/۲۷	۲۶۶۷
۲	سنگ نما تراورتن	۲۴۰۰	۳۶	۸۶۴۰۰
۳	دیوار آجری	۱۷۰۰	۷/۲	۱۲۲۴۰
۴	گچ پرداختی	۱۳۰۰	۴/۵	۵۸۵۰
۵	بلوک سفالی	۱۳۰۰	۰/۱۵	۲۶۰
۶	عایق رطوبتی	۱۵	۰/۴۷	۷/۰۵
۷	سرامیک	۱۷۰۰	۰/۰۴	۶۸
۸	بتن پوکه	۶۰۰	۰/۲۴	۱۴۴
۹	بتن کف سازی	۲۴۰۰	۱	۲۴۰۰
۱۰	موزائیک	۲۵۰۰	۰/۹۴	۲۱۱۵
۱۱	آجر ۵×۱۰×۲۱. ۵	۶۰۰	۷/۲	۴۳۲۰
۱۲	سازه فلزی	۷۲۰۰	۲۹/۲	۲۱۲۴۰
۱۳	شیشه	۲۵۰۰	۱۵	۳۷۵۰۰
۱۴	آلومینیم (کامپوزیت)	۲۷۰۰	۱۹۱	۵۱۵۷۰۰

جدول (۳): محاسبه انرژی نهفته در هر جزئیات (ماخذ: نگارنده)

ردیف	مصالح مصرفی	وزن مخصوص kg/M^3	انرژی نهفته MJ/kg	انرژی نهفته MJ/M3	ضخامت(متر)	متراژ M^2
۱	A	A1	A2	A1*A2	A3	A4
۲	B	B1	B2	B1*B2	B3	B4
۳	C	C1	C2	C1*C2	C3	C4
MJ جمع کل						

جدول (۴): مقایسه انرژی نهفته کل ساختمان با عایق حرار تی و بدون عایق حرارتی (نگارنده)

ردیف	تغییرات	انرژی نهفته کل ساختمان (گیگا	انرژی نهفته ساختمان برای
۱	دیوارها و کف های خارجی با یک لایه پلی استایرن میانی به ضخامت ۶ سانتیمتر	۲۹۳۰	۲/۱
۲	ساختمان بدون عایق حرارتی	۲۴۸۸	۱/۸
۳	اختلاف	۴۴۲	۰/۳

جدول (۵): انرژی نهفته با تغییرات در شیشه ها

ردیف	تغییرات	انرژی نهفته کل ساختمان (گیگا	انرژی نهفته ساختمان برای هر
۱	بازشوها با شیشه دوجداره	۲۹۹۵	۱/۸
۲	بازشوها بدون شیشه دوجداره	۲۴۸۸	۱/۸
۳	اختلاف	۷	۰

جدول (۶): انرژی نهفته کل ساختمان شاهد با تغییر متغیرهای مصالح نما (نگارنده)

انرژی نهفته کل ساختمان شاهد با تغییر متغیرهای مصالح نما				
انرژی نهفته	نمای سیمانی	نمای اجری	نمای سنگ گرانیت	نمای آلومینیوم
انرژی نهفته گیگا ژول	۶/۲۵	۴۹۲۷	۲۴۹۱	۶۶/۵
انرژی نهفته گیگا ژول بر مترمربع	۸۵ .۱	۶۴/۳	۸۴ .۱	۷۴/۳

۷-۳- متغیر رواق بر انرژی نهفته

در ابتدا انرژی نهفته هرمترمربع جزئیات رواق در نرم‌افزار اکسل محاسبات جزئیات ساختمان محاسبه گردیده است که نتایج نشان می‌دهد هر مترمربع رواق در همکف ۱۰۳۰ مگاژول در هر مترمربع و انرژی نهفته رواق در طبقات ۱۴۹۱ مگاژول در هرمترمربع می‌باشد. پس نتیجه می‌گیریم که استفاده از رواق در طراحی معماری برای کاهش انرژی زمان بهره‌برداری، هر چند که باعث کاهش انرژی زمان بهره برداری می‌گردد ولی انرژی نهفته را افزایش می‌دهد.

۷-۴- متغیر سطح بازشوها بر انرژی نهفته

انرژی نهفته هر مترمربع شیشه ۴۵۳ گیگا ژول برای هر مترمربع دیوار است، که پس از بررسی متغیر مساحت بازشوها در دیوارهای خارجی هر مترمربع بازشو باعث افزایش ۴۸ مگاژول بر مترمربع انرژی نهفته ساختمان می‌گردد پس نتیجه می‌گیریم که کاهش سطح بازشوها باعث کاهش انرژی نهفته وانرژی بهره برداری می‌گردد.

۷-۵- متغیر مساحت دیوارخارجی بر انرژی نهفته

مساحت دیوارهای خارجی طبق محاسبات جدول ۶ با توجه به جزئیات متفاوت تاثیر زیادی بر انرژی نهفته دارد و می‌تواند انرژی نهفته ساختمان را بین ۱/۸۵ تا ۳/۷۴ گیگاژول برمترمربع تغییر دهد. بنابراین متغیر مساحت دیوارهای خارجی همانطور که بر انرژی مصرفی زمان بهره‌برداری موثر است بیشترین تاثیر را بر انرژی نهفته دارد.

۷-۶- متغیر جهت بازشوها بر انرژی نهفته

جهت قرارگیری بازشوها هر چند که تاثیر زیادی بر کاهش انرژی زمان بهره‌برداری ساختمان دارد، اما بر انرژی نهفته کل ساختمان موثر نیست.

۷-۷- متغیر جهت ساختمان بر انرژی نهفته

در [۱] نشان داده‌شد که یک ساختمان اداری دو طبقه با نسبت ۲ در ۵/۵۲ دارای انرژی زمان بهره برداری تقریبا ۴/۱۱میلیون مگاوات در طول ۲۵ سال است. که با رعایت جهت‌گیری و بهینه‌سازی ساختمان انرژی زمان بهره‌برداری ۴/۹ میلیون مگاژول برای ۲۵ سال است. همچنین نتایج او نشان داد که انرژی نهفته این پروژه حدود ۳ میلیون مگاژول و انرژی زمان بهره‌برداری حدود ۱۱ میلیون مگاژول (در طول ۲۵ سال) است. نتایج نشان می‌دهد که جهت قرارگیری ساختمان هر چند که در انرژی زمان بهره‌برداری موثر می‌باشد اما تاثیری بر انرژی نهفته ندارد.

۷-۸- متغیر پیلوت بر انرژی نهفته

با توجه به محاسبات انرژی نهفته ساختمان انرژی نهفته کف‌ها ۴۰درصد انرژی نهفته کل ساختمان را شامل می‌شود. دو عامل مساحت کف‌ها و جزئیات و مقدار انرژی نهفته هر کدام از جزئیات کف ها عوامل موثر بر انرژی نهفته جزئیات است، که این عوامل توسط معماران در زمان طراحی قابل کنترل می‌باشند . پس اضافه کردن هر مترمربع درکف باعث افزایش انرژی نهفته می‌گردد. هر چند که وجود پیلوت که به نوعی اضافه کردن کف است باعث کاهش انرژی زمان بهره‌برداری در اقلیم گرم وخشک می‌گردد .

۸- مقایسه انرژی نهفته وانرژی برق مصرفی با تغییر متغیرها

محقق در ساختمان شاهد مصرف سالانه با توجه به قبوض برق را بدست آورده است، که در بررسی انرژی مصرفی ساختمان شاهد با توجه به فیش‌های برق ماهانه ساختمان در یک مطالعه میدانی میزان

انرژی مصرفی یک سال ۱۶۴۱۶ کیلو وات ساعت است. پس از تبدیل واحد(هر وات ساعت ۳۶۰۰ ژول است) ۰/۵۶ مگاژول برای هر مترمربع در سال بدست آمده است. که با توجه به محاسبات انرژی نهفته ساختمان شاهد در شهر شیراز ۱/۸ مگاژول برای هر مترمربع بدست آمده است. همانطور که مشخص است انرژی نهفته زمان ساخت یک ساختمان با متراژ ۱۰۸۰ مترمربع برابر با مصرف سه سال برق مصرفی یک ساختمان می‌باشد. در این تحقیق با توجه به جدول (۷) با تغییر در متغیرهای که انرژی نهفته را تغییر می‌دهند ما می‌توانیم انرژی مصرفی را بین ۳ تا ۳۳ سال تغییر دهیم. در جدول (۸) مقایسه بین انرژی نهفته و انرژی عملیاتی (انرژی مصرفی) ساختمان از ادبیات تحقیق آورده شده است و با نتایج محقق مقایسه گردیده است.

۹- یافته های تحقیق

در این تحقیق برای اثبات فرضیه در ابتدا پس از بررسی ادبیات پژوهش متغیرهای طراحی موثر بر کاهش انرژی زمان بهره‌برداری در اقلیم گرم و خشک مشخص گردید. برای تاثیر متغیرها بر انرژی نهفته کل در ساختمان مورد بررسی، نیاز بود که انرژی نهفته کل ساختمان محاسبه گردد و سپس در جدول طراحی شده در اکسل بتوان هر بار متغیرهای تحقیق را تغییر داد و نتایج انرژی نهفته را استخراج کرد. این کار با بررسی ۸ متغیر انجام شد، که نتایج کلی در جدول (۹) آورده شده است. انرژی نهفته کل ساختمان مورد مطالعه محاسبه شده در شهر شیراز به متراژ ۱۰۸۰ مترمربع مقدار ۱۹۴۴ (گیگا ژول) و انرژی نهفته هرمترمربع ساختمان ۸/۱ گیگاژول بدست آمده است. سپس نتایج انرژی نهفته کل با مقادیر مبانی نظری مقایسه و تحلیل گردیده است. در بررسی متغیرهای انرژی مصرفی زمان بهره‌برداری وانرژی نهفته نتایج در جدول ۹ نشان داده شده است. عایق حرارتی، شیشه دوجداره، رواق و پیلوت باعث کاهش انرژی مصرفی می‌گردند، اما باعث افزایش انرژی نهفته در ساختمان می‌شود. کاهش سطح دیوارهای خارجی وکاهش سطح بازشوها وتراکم ساختمان باعث کاهش انرژی نهفته وکاهش انرژی مصرفی می‌گردند. متغیرهای جهت قرارگیری ساختمان وجهت بازشوها، باعث کاهش انرژی زمان بهره‌برداری می‌گردند، اما تاثیری بر انرژی نهفته ندارند.

۱۰- نتیجه گیری وپیشنهادات

در این پژوهش با توجه به گردآوری داده‌های تحقیق و فرضیه، پرسش و اهداف تحقیق در ابتدا تاثیر ۸ متغیر بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که این متغیرها باعث تغییر انرژی نهفته بین ۰/۳ تا ۳/۷۵ مگاژول در هر مترمربع می‌گردند. بنابراین این فرضیه که راهبردهای کاهش انرژی زمان بهره‌برداری انرژی نهفته را افزایش می‌دهند مورد تایید نمی‌باشد. می‌توانیم بگوییم که راهبردهای کاهش مصرف انرژی زمان بهره‌برداری بر انرژی نهفته موثر می‌باشند. و با توجه به راهبرد علت و معلولی تحقیق به این پرسش پاسخ داده شده است که راهبردهای کاربردی کاهش انرژی زمان بهره‌برداری چه تاثیری بر انرژی نهفته دارند؟

جدول (۷): تاثیر متغیرهای طراحی و انرژی مصرفی ساختمان (نگارنده)

تغییر متغیر ها	مقدار انرژی نهفته کل	انرژی نهفته مگاژول برای هر مترمربع	انرژی مصرفی مگاژول هر مترمربع در سال	مقایسه انرژی مصرفی و نهفته در سال
تغییر در مصالح (نما و دیوار)	۲۵۰۱۰	۱۸/۵	۰/۵۶	۳۳
تغییر در نما (آلومینیوم)	۱۸۷۱۵/۷	۱۳/۸	۰/۵۶	۲۵
تغییر در دیوار (آجری)	۱۴۷۶۰	۶/۵	۰/۵۶	۱۲
تغییر در جزئیات (نرده استیل)	۲۶۶۴/۶	۲	۰/۵۶	۴
تغییر اندازها	۲۵۳۵	۱/۹	۰/۵۶	۳
ساختمان شاهد	۲۴۹۱/۴	۱/۹	۰/۵۶	۳

جدول (۸): انرژی عملیاتی و انرژی نهفته [۱۷]

انرژی نهفته برای هر خانه	انرژی عملیاتی برای هر خانه	انرژی نهفته	انرژی عملیاتی
۷۳/۶	۲۵۰/۴	۶۶/۴	۱۸۴
۶۷/۷	۲۴۳/۱	۷۴/۴	۱۶۸/۷
۴۶	۱۴۶/۷	۴۷	۹۹/۷
۴۹/۲	۱۶۴/۹	۵۵/۳	۱۰۹/۵
۴۵/۱	۱۵۴/۱	۳۹/۷	۱۱۴/۴
۴۶/۵	۱۵۴/۳	۳۴/۳	۱۲۰
۴۴/۲	۱۵۲/۸	۳۷/۷	۱۱۵
۵۲/۸	۱۶۲/۴	۳۷/۷	۱۲۴/۷
۳۹/۲	۸۷/۳	۲۱/۳	۶۶
۶۹	۱۵۱/۹	۲۶/۲	۱۲۵/۷
۵۹/۵	۱۵۴/۷	۳۴/۵	۱۲۰/۲
۴۸/۹	۱۳۲/۶	۴۳/۵	۸۹/۱

جدول (۹): نتایج تاثیر متغیرها

ردیف	نوع متغیر	تاثیر بر انرژی نهفته	تاثیر بر انرژی زمان بهره برداری
۱	عایق حرارتی	افزایش	کاهش
۲	شیشه دو جداره	افزایش	کاهش
۳	طراحی رواق	افزایش	کاهش
۴	پیلوت در ساختمان	افزایش	کاهش
۵	مساحت دیوار های خارجی	کاهش	کاهش
۶	سطح بازشوها	کاهش	کاهش
۷	جهت باز شوها	بدون تاثیر	کاهش
۸	جهت ساختمان	بدون تاثیر	کاهش

همانطور که در جدول (۹) مشخص است چهار متغیر انرژی نهفته را افزایش می‌دهند دو متغیر انرژی نهفته را کاهش می‌دهند ودو متغیر تاثیری بر انرژی نهفته ندارند همچنین با توجه به سوال تحقیق نتایج نشان می‌دهد که مساحت دیوار خارجی بیشترین تاثیر را بر انرژی نهفته دارد محقق در ساختمان شاهد مصرف سالانه با توجه به قبوض برق را بدست آورده است. در بررسی انرژی مصرفی ساختمان شاهد با توجه به فیش‌های برق ماهانه ساختمان در یک مطالعه میدانی میزان انرژی مصرفی یک سال ۱۶۴۱۶ کیلو وات ساعت که پس از تبدیل واحد (هر وات ساعت ۳۶۰۰ ژول است) ۰/۵۶ مگاژول برای هر مترمربع در سال بدست آمده است. که با توجه به محاسبات انرژی نهفته ساختمان شاهد در شهر شیراز ۱/۸ مگاژول برای هر مترمربع بدست آمده است. همانطور که مشخص است انرژی نهفته زمان ساخت یک ساختمان با متراژ ۱۰۸۰ مترمربع برابر با مصرف سه سال برق مصرفی یک ساختمان می باشد. بنابراین با توجه به اهداف تحقیق راهکارهای زیر موثر می باشد.

۱. با توجه به نتایج تحقیق انرژی نهفته هر مترمربع ساختمان ۱.۸ مگاژول است پس معماران می توانند تاثیر افزایش فضا ها ومساحت ها را با توجه به جدول انرژی نهفته ساختمان محاسبه واز فضا ها و جزئیات اضافه در نقشه اجتناب کنند و راهکارهایی را در طراحی ارائه بدهند که باعث کاهش انرژی زمان بهره‌برداری و انرژی نهفته گردند.

۲. در طراحی معماری اقلیمی گرم و مرطوب شهر شیراز، استفاده از حیاط مرکزی ورواق در جبهه‌های ساختمان پیشنهاد می‌شود، اما با توجه به محاسبات انرژی نهفته هر مترمربع ساختمان با مصالح متداول دارای ۱/۸ مگاژول انرژی نهفته است. با توجه به تحلیل اقلیمی شهر شیراز رواق وحیاط مرکزی در این اقلیم هر چند انرژی زمان بهره‌برداری را کاهش می‌دهند، اما باعث افزایش قابل توجه انرژی نهفته ساختمان می‌گردند.

۳. در بررسی طراحی ساختمان در اقلیم گرم وخشک استفاده از پنجره‌ها با سطوح کمتر و دیوارهای خارجی با سطوح کمتر و پلان متراکم باعث کاهش انرژی زمان بهره‌برداری و کاهش انرژی نهفته ساختمان می‌گردند.

۴. استفاده از شیشه چندجداره و عایق‌حرارتی باعث کاهش انرژی زمان بهره‌برداری در اقلیم گرم وخشک شیراز می‌گردند، اما باعث افزایش انرژی نهفته ساختمان می‌گردند. این افزایش انرژی نهفته قابل توجه نیست.

۵. ارائه نقشه های فاز دوم معماری و انتخاب مصالح و انتخاب جزئیات با توجه به محاسبات انرژی نهفته ساختمان پس از راه‌حل‌های طراحی می‌تواند دستورالعمل مناسبی برای کاهش انرژی باشد. همچنین آگاه‌کردن دست‌اندرکاران ساخت وساز از جمله معماران درخصوص اهمیت انرژی نهفته در ساختمان و آگاهی ایشان در نحوه محاسبات و متغیرهای با اهمیت در انرژی نهفته کل ساختمان و ارائه راهکارهایی که سبب کاهش انرژی نهفته ساختمان و در نتیجه از تغییر اقلیم و حفظ جلوگیری محیط زیست گردد.

مراجع

[1] A. M. Soe, “The Low Volatility Effect: A Comprehensive Look,” SSRN Electronic Journal, 2012, doi: https://doi.org/10.2139/ssrn.2128634.

[2] B. G. Amado, R. Arce, and A. Herraiz, “Psychological injury in victims of child sexual abuse: A meta-analytic review,” Psychosocial Intervention, vol. 24, no. 1, pp. 49–62, Jan. 2015, doi: https://doi.org/10.1016/j.psi.2015.03.002.

[3] C. B. Aktas and M. M. Bilec, “Impact of lifetime on US residential building LCA results,” International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 17, no. 3, pp. 337–349, Mar. 2012, doi: https://doi.org/10.1007/S11367-011-0363-X

[4] C. Langston, F. K. W. Wong, E. C. M. Hui, and L.-Y. Shen, “Strategic assessment of building adaptive reuse opportunities in Hong Kong,” Building and Environment, vol. 43, no. 10, pp. 1709–1718, Oct. 2008, doi: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.017

[5] C. Thormark, “A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential,” Building and Environment, vol. 37, no. 4, pp. 429–435, Apr. 2002, doi: https://doi.org/10.1016/s0360-1323(01)00033-6.

[6] D. M. K. W. Dissanayake, C. Jayasinghe, and M. T. R. Jayasinghe, “A comparative embodied energy analysis of a house with recycled expanded polystyrene (EPS) based foam concrete wall panels,” Energy and Buildings, vol. 135, pp. 85–94, Jan. 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.044

[7] E. Dascalaki, P. Argiropoulou, C. A. Balaras, K. Droutsa, S. Kontoyiannidis, and D. Koubogiannis, “On the share of embodied energy in the lifetime energy use of typical Hellenic residential buildings,” IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 410, p. 012070, Jan. 2020, doi: https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012070.

[8] G. F. Menzies, “Historic Scotland Technical Paper 13: Embodied Energy Considerations for Historic Buildings,” Sep. 2011

[9] G. Syngros, C. A. Balaras, and D. G. Koubogiannis, “Embodied CO 2 Emissions in Building Construction Materials of Hellenic Dwellings,” Procedia Environmental Sciences, vol. 38, pp. 500–508, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.113

[10] J. Giesekam and F. Pomponi, “Briefing: Embodied carbon dioxide assessment in buildings: guidance and gaps,” Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability, vol. 171, no. 7, pp. 334–341, Oct. 2018, doi: https://doi.org/10.1680/jensu.17.00032.

[11] K. I. Praseeda, B. V. Venkatarama Reddy, and M. Mani, “Embodied and operational energy of urban residential buildings in India,” Energy and Buildings, vol. 110, pp. 211–219, Jan. 2016, doi: https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.09.072.

[12] L. Aye, T. Ngo, R. H. Crawford, R. Gammampila, and P. Mendis, “Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules,” Energy and Buildings, vol. 47, pp. 159–168, Apr. 2012, doi: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.049.

[13] M. G. de Almeida, R. L. Barbosa, and R. L. M. Castro Malheiro, “Effect of Embodied Energy on Cost-Effectiveness of a Prefabricated Modular Solution on Renovation Scenarios in Social Housing in Porto, Portugal,” Sustainability, vol. 12, no. 4, p. 1631, Feb. 2020, doi: https://doi.org/10.3390/SU12041631

[14] M. Hu, “A Building Life-Cycle Embodied Performance Index—The Relationship between Embodied Energy, Embodied Carbon and Environmental Impact,” Energies, vol. 13, no. 8, p. 1905, Apr. 2020, doi: https://doi.org/10.3390/en13081905.

[15] M. K. Dixit, “Embodied Energy Calculation: Method and Guidelines for a Building and its Constituent Materials,” Oct. 2013.

[16] M. K. Dixit, C. H. Culp, S. Lavy, and J. Fernandez-Solis, “Recurrent embodied energy and its relationship with service life and life cycle energy,” Facilities, vol. 32, no. 3/4, pp. 160–181, Feb. 2014, doi: https://doi.org/10.1108/f-06-2012-0041

[17] Pullen, S. (2007). A tool for depicting the embodied energy of the Adelaide urban environment (Doctoral dissertation, AIBS) https://doi.org/10.2495/esus110351.

[18] R. Pacheco-Torres, S. Etxebarria-Berrizbeitia, and E. J. Gago, “Influence of urban density on energy retrofit of building stock: case study of Spain,” Architectural Engineering and Design Management, pp. 1–24, Jan. 2024, doi: https://doi.org/10.1080/17452007.2024.2307992.

[19] S. Bardhan, “Embodied energy analysis of multi-storied residential buildings in urban India,” Energy and Sustainability III, Apr. 2011, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113401

[20] S. O. Ajayi, L. O. Oyedele, and O. M. Ilori, “Changing Significance of Embodied Energy: A comparative study of material specifications and building energy sources,” Journal of building engineering, vol. 23, pp. 324–333, Feb. 2019, doi: https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.02.008.

[21] S. Ramesh, “Appraisal of Vernacular Building Materials and Alternative Technoligies for Roofing and Terracing Options of Embodied Energy in Buildings,” Energy Procedia, vol. 14, pp. 1843–1848, 2012, doi: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1177