

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 Haghpanah²

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
Received: 2024-09-14

Online ISSN: 2981-1295
Accepted: 2024-12-31

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcdsa>
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: 10.82526/jcdsa.2025.1183872

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.





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

آذر زینلی خراجی^{۱*}، مریم حق پناه^۲

۱- گروه معماری، واحد رودان، دانشگاه آزاد اسلامی، رودان، ایران (com_zinaliazar@gmail)

۲- گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (com_haghpahanah@gmail_mar)

چکیده: این پژوهش به ارزیابی کاهش مصرف انرژی نهفته در ساختمان (انرژی مصرف شده در زمان ساخت) و مقایسه آن با مصرف انرژی در دوره بهره برداری (برق مصرفی) پرداخته است. ابتدا با توجه به مطالعات میدانی و کتابخانه ای متغیرهای مستقل تاثیرگذار تبیین می شوند. سپس انرژی نهفته یک ساختمان در اقلیم گرم و خشک در شهر شیراز پس از مدل سازی در نرم افزار اکسل محاسبه می گردد. 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 می دهد که انرژی نهفته هر مترمربع ساختمان نمونه در بخش معماری ۱/۸ مگاژول در هر مترمربع است و نتایج نشان می دهد که این متغیرها باعث تغییر انرژی نهفته بین ۰/۳ تا ۳/۷۵ مگاژول در هر مترمربع می گردند. همانطور که مشخص است انرژی نهفته زمان ساخت یک ساختمان با متر ۱۰۸۰ مترمربع برابر با مصرف سه سال برق مصرفی یک ساختمان می باشد. این تحقیق همچنین نشان می دهد که با راهکارهای معماری می توان انرژی نهفته ساختمان را در صنعت ساختمان کاهش داد.

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

DOI: 10.82526/jcdsa.2025.1183872

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴

تحقیق به این پرسش پاسخ داده خواهد شد که راهبردهای کاربردی کاهش انرژی زمان بهره برداری چه تاثیری بر انرژی نهفته دارند؟ راهکارهای ارائه شده در این تحقیق در کل ساختمان ها بر اساس محاسبه انرژی نهفته هر ساختمان قابل تعمیم است و باعث کاهش مصرف انرژی نهفته به عنوان راه حل کاهش تاثیرات زیست محیطی می گردد.

۲- انرژی نهفته ساختمان

ساختمان ها با انواع مصالح ساختمانی که به انرژی در سراسر مراحل تولید، استفاده و تخریب خود نیاز دارند، ساخته شده اند. 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 می کنند [۱]. انرژی نهفته عبارت است از انرژی مصرف شده در طول استخراج و فرآوری مواد خام، حمل و نقل مواد خام اصلی، تولید

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 بهره گیری از طراحی معماری در ساختمان های مسکونی در اقلیم گرم و خشک شیراز صورت نگرفته است. پژوهش حاضر با هدف پرکردن این خلأ تحقیقاتی و دستیابی به نتایج عملی و فنی و اقتصادی مطلوب صورت گرفته است. مطالعات پیشینه تحقیق نشان می دهد که هر چند تعدادی از متغیرها می توانند انرژی زمان بهره برداری و برق ساختمان را کاهش دهند اما به طور قابل توجهی باعث افزایش انرژی نهفته ساختمان می گردند. 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 طرح هایی 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 می دهند مطرح می گردد و با توجه به راهبرد علت و معلولی



این تحقیق انتخاب شده است، که از این تعداد ۷۰ مورد انتخاب گردیده است که پس از غربالگری نهایی ۵۵ مورد که با اهداف و فرضیه تحقیق همخوانتر بودند و در بازه زمانی ده سال قرار داشتند انتخاب شدند. در جدول (۱) نتایج بررسی ادبیات تحقیق با توجه به نمونه های موردی و نوع نمونه و نوع تحقیق و زمینه پژوهش و سایر موارد دسته بندی شده است. که هر چند این محققین در متن ارجاع داده نشده اند اما در روش های محاسبات و مقدار انرژی نهفته و متغیرهای تحقیق از این پیشینه های تحقیق استفاده شده اند. همچنین در بررسی ادبیات تحقیق ۱۴ محقق به رابطه انرژی نهفته و انرژی زمان بهره برداری (مصرفی) پرداخته اند که در زیر شرح داده شده است.

در [۱] نشان داد که یک ساختمان اداری دو طبقه با نسبت ۲ در ۵.۵ دارای انرژی عملیاتی تقریباً ۱۱.۴ میلیون مگاژول در طول ۲۵ سال است. که با رعایت جهت گیری و بهینه سازی ساختمان انرژی عملیاتی ۹.۴ میلیون مگاژول برای ۲۵ سال می باشد. 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. پایان نامه [۲]، با عنوان ارزیابی انرژی نهفته سازه ساختمان بیان می کند که تلاش های شدیدی برای کاهش انرژی عملیاتی انجام می گیرد. با این حال ممکن است انرژی عملیاتی کاهش یابد، اما انرژی نهفته افزایش یابد. بنابراین در تحقیق خود انرژی نهفته سازه ساختمان را محاسبه می کند و نتیجه می گیرد که نوع مواد سازه ای در طراحی ساختمان های 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 ساختمان ها می باشد. در [۳] به مقایسه انرژی عملیاتی و انرژی نهفته پرداخته شده است. بیان می کند که، ممکن است انرژی عملیاتی کاهش پیدا کند اما انرژی نهفته افزایش یابد.

بررسی ۷۳ مورد را در ۱۳ کشور در [۴] نشان داد که انرژی نهفته ۱۰-۲۰ درصد از کل انرژی چرخه زندگی را در مقایسه با ۸۰-۹۰ درصد برای انرژی عملیاتی نشان می دهد. مقاله [۵] انرژی عملیاتی در مقابل انرژی نهفته را با استفاده از دستورالعمل ساختمان جدید انرژی در ۹۷ آپارتمان نشان دادند. انرژی عملیاتی در ساختمان های 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 می دهد. 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 آن ها در برآورد برخی از صرفه جویی های عملیاتی انرژی می باشد. نتایج نشان می دهد که زمان بازپایی حدود ۴ تا ۹ سال بسته به اقدامات مورد بررسی است [۶]. برای یک خانه 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

مصالح ساختمانی و قطعات و استفاده از انرژی برای فرآیندهای مختلف در طول ساخت و تخریب ساختمان. ساختمان ها در طول مراحل پیش از ساخت، فرآیندهای مختلف ساخت و مراحل پس از ساخت، مانند بازسازی و نوسازی و تخریب نهایی انرژی مصرف می کنند. این مراحل شامل استخراج مواد خام، حمل و نقل، ساخت، مونتاژ، نصب و راه اندازی و همچنین جداسازی قطعات، ساختارزدایی و تخریب آن ها 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، انرژی نهفته یک ساختمان را می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\text{انرژی نهفته ساختمان} = \text{انرژی نهفته مصالح} + \text{انرژی نهفته حمل} + \text{انرژی مصرفی در سایت}$$

۳- مکان پژوهش

با توجه به اینکه ساختمان های اقلیم گرم و خشک در گروه بندی میزان مصرف انرژی، در گروه مصرف انرژی بالا قرار دارند و کاهش مصرف انرژی در این شهرها از اولویت های کشور می باشد، مکان پژوهش در اقلیم گرم و خشک 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 نمونه موردی با جزئیات اجرایی مشخص انتخاب می گردد. نقشه ساختمان شاهد در زمینی به مساحت ۳۰۰ مترمربع و به ابعاد ۱۵ در ۲۰ متر قرار دارد. این ساختمان دارای شش طبقه روی هم کف و یک طبقه در هم کف می باشد که مساحت هر طبقه ۱۸۰ مترمربع و مجموع کل مساحت ساختمان ۱۰۸۰ مترمربع می باشد. 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 بهره برداری و انرژی نهفته ساختمان ارتباط معناداری وجود دارد که به این معنی است که کاهش انرژی زمان بهره برداری منجر به افزایش انرژی نهفته می شود. به عنوان مثال، با کاهش بخشی از پوشش ساختمان و یا راه حل های فنی، کاهش انرژی در بهره برداری می تواند بطور قابل توجهی کاهش یابد. با این حال، انرژی نهفته به دلیل اقدامات صرفه جویی انرژی ممکن است افزایش یا کاهش یابد. در این تحقیق پیشینه پژوهش داخلی و خارجی به دو دسته پایان نامه ها و مقالات دسته بندی شده است. جستجوی ادبیات با رویکرد گلوله برفی انجام شده است که در نتیجه صدها مقاله در مجلات علمی یا پایان نامه ها 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 و ۲۰ مقاله و پایان نامه داخلی با توجه به اهداف و سولات و فرضیه تحقیق جمع آوری سپس همه آن ها بررسی گردیده است. در نتیجه پژوهش های مرتبط با هدف



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 می‌تولند در دامنه ۹۸.۴ گیگا ژول بر مترمربع باشد. انرژی نهفته می‌تولند در شرایط اقلیمی مطلوب بخش قبل 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 چرخه عمر را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر ساختمان‌های 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 قلیل قبول برای محاسبه انرژی نهفته با دقت و پایدار وجود ندارد، بنابراین تغییرات گسترده‌ای در ارقام اندازه‌گیری اجتناب‌ناپذیر است. ممکن است اقداماتی برای کاهش انرژی عملیاتی ساختمان‌ها منجر به افزایش انرژی نهفته شود. به عنوان مثال از طریق انتخاب مسئولانه ساختن محصولات، ممکن است به طور قلیل 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 می‌تواند 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 می‌شود: در طول عمر ساختمان، با انرژی نهفته بالاتر، اما انرژی عملیاتی پایین‌تر می‌تواند انرژی کمتری داشته باشد [۱۲]. با توجه به مطالب بالا تأثیر 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 می‌شود. 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 و سپس 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 بر کیلوگرم است، که پس از ضرب در جرم حجمی مواد به واحد مگاژول بر مترمکعب تبدیل می‌شود که برای بدست آوردن مقدار انرژی نهفته هر مترمربع ساختمان با واحد گیگاژول برای هر مترمربع ساختمان اندازه‌گیری می‌شود. واحد اندازه‌گیری جرم حجمی کیلوگرم بر مترمکعب 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 تحلیل داده‌ها 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 در کیلوگرم 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 و مقدار مصالح که در جزئیات مشخص شده است ضرب می‌گردد تا انرژی نهفته با واحد مگاژول بدست بیاید و از 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



جدول (۱): جمع بندی منابع در پیشینه تحقیق

نتایج بررسی در ۵۵ تحقیق از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۱					
نوع تحقیق		زمینه محقق		گرایش محققین	
تر	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 پوک	۶۰۰	۰/۲۴	۱۴۴
۹	بتن کف سازی	۲۴۰۰	۱	۲۴۰۰
۱۰	موزائیک	۲۵۰۰	۰/۹۴	۲۱۱۵
۱۱	آجر ۵×۱۰×۲۱	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)

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

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

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 پنجره ها و جهت ساختمان در اقلیم گرم و خشک شیراز انتخاب گردید. اثر هر کدام از متغیرها بر کاهش انرژی نهفته ساختمان بررسی و تحلیل 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 بهره برداری و انرژی کلی را کاهش دهد. این را می توان با مثال زیر نشان داد. برای بهبود عملکرد حرارتی دیوارهای خارجی ضخامت لایه عایق می تواند افزایش یابد. استفاده از عایق های بیشتر بدین معنی است که انرژی نهفته بیشتری لازم است. عملکرد حرارتی بهبود یافته دیوار موجب کاهش انرژی زمان بهره برداری خواهد شد. بنابراین، در این مثال، افزایش انرژی نهفته منجر به کاهش انرژی زمان بهره برداری (برق) می شود. مقایسه انرژی کل دو ساختمان با مقادیر مختلف انرژی نهفته که منجر به ارزش های زمان بهره برداری مختلفی می شود، در طول عمر ساختمان، ساختمان با انرژی نهفته بالاتر، اما انرژی زمان بهره برداری پایین تر می تواند انرژی کمتری داشته باشد [۸].

در این تحقیق پس از محاسبات انرژی نهفته کل ساختمان شاهد در نرم افزار اکسل که ۱/۸ مگاژول در هر مترمربع بدست آمده است. این بار انرژی نهفته همان ساختمان با اضافه کردن متغیر عایق حرارتی محاسبه می گردد، که نتایج جدول (۴) نشان می دهد. با استفاده از یک لایه عایق حرارتی انرژی مصرفی کمتر می شود. ولی انرژی نهفته ساختمان ۴۴۲ گیگا ژول افزایش می یابد و برای هر مترمربع ساختمان ۳ گیگاژول انرژی نهفته افزایش می آید که پیشنهاد می گردد 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 می دهد با انتخاب شیشه های دو جداره در ساختمان انرژی مصرفی کاهش می یابد اما انرژی نهفته ۷ گیگا ژول در این ساختمان تغییر می کند که می توان از این افزایش صرفه جویی کرد.

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

ردیف	تغییرات	انرژی نهفته کل ساختمان (کیلووات ساعت)	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 (کیلووات ساعت)	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 آجری	گرافیت سنگ	آلومینیوم نمای
انرژی نهفته گیگا ژول	۶/۲۵	۴۹۲۷	۲۴۹۱	۶۶/۵
انرژی نهفته گیگا ژول بر مترمربع	۸۵.۱	۶۴/۳	۸۴.۱	۷۴/۳

۳-۷- متغیر رواق بر انرژی نهفته

در ابتدا انرژی نهفته هر مترمربع جزئیات رواق در نرم افزار اکسل محاسبات جزئیات ساختمان محاسبه گردیده است که نتایج نشان می دهد هر مترمربع رواق در همکف ۱۰۳۰ مگاژول در هر مترمربع و انرژی نهفته رواق در طبقات ۱۴۹۱ مگاژول در هر مترمربع می باشد. پس نتیجه می گیریم که استفاده از رواق در طراحی معماری برای کاهش انرژی زمان بهره برداری، هر چند که باعث کاهش انرژی زمان بهره برداری می گردد ولی انرژی نهفته را افزایش می دهد.

۴-۷- 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 می گردد پس نتیجه می گیریم که کاهش سطح بازشوها باعث کاهش انرژی نهفته و انرژی بهره برداری می گردد.

۵-۷- متغیر مساحت دیوار خارجی بر انرژی نهفته

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

۶-۷- متغیر جهت بازشوها بر انرژی نهفته

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

۷-۷- متغیر جهت ساختمان بر انرژی نهفته

در [۱] نشان داده شد که یک ساختمان اداری دو طبقه با نسبت ۲ در ۵/۵۲ دارای انرژی زمان بهره برداری تقریباً ۴/۱۱ میلیون مگاوات در طول ۲۵ سال است. که با رعایت جهت گیری و بهینه سازی ساختمان انرژی زمان بهره برداری 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 بهره برداری حدود ۱۱ میلیون مگاژول (در طول ۲۵ سال) است. نتایج نشان می دهد که جهت قرارگیری ساختمان هر چند که در انرژی زمان بهره برداری موثر می باشد اما تاثیری بر انرژی نهفته ندارد.

۸-۷- متغیر پیلوت بر انرژی نهفته

با توجه به محاسبات انرژی نهفته ساختمان انرژی نهفته کفها ۴۰ درصد انرژی نهفته کل ساختمان را شامل می شود. 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 قلیل کنترل می باشند. پس اضافه کردن هر مترمربع در کف باعث افزایش انرژی نهفته می گردد. هر چند که وجود پیلوت که به نوعی اضافه کردن کف است باعث کاهش انرژی زمان بهره برداری در اقلیم گرم و خشک می گردد.

۸- مقایسه انرژی نهفته و انرژی 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 فیش های برق ماهانه ساختمان در یک مطالعه میدانی میزان



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

تغییر متغیرها	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 (اجری)	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 عملیاتی	انرژی نهفته	انرژی عملیاتی	انرژی نهفته
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 تأثیر متغیرها

ردیف	تغییر	انرژی نهفته	تأثیر بر انرژی زمان 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 دیوارهای خارجی	کاهش	کاهش
۶	سطح بازشوها	کاهش	کاهش
۷	جهت باز شوها	بدون تأثیر	کاهش
۸	جهت ساختمان	بدون تأثیر	کاهش

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 می باشد. در این تحقیق با توجه به جدول (۷) با تغییر در متغیرهای که انرژی نهفته را تغییر می دهند ما می توانیم 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 بهره برداری در اقلیم گرم و خشک مشخص گردید. برای تأثیر 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 هر مترمربع 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 بهره برداری و انرژی نهفته نتایج در جدول ۹ نشان داده شده است. عایق حرارتی، شیشه دوجداره، رواق و پیلوت باعث کاهش انرژی مصرفی می گردند، اما باعث افزایش انرژی نهفته در ساختمان می شود. کاهش سطح دیوارهای خارجی و کاهش سطح بازشوها و تراکم ساختمان باعث کاهش انرژی نهفته و کاهش انرژی مصرفی می گردند. متغیرهای جهت قرارگیری ساختمان و جهت بازشوها، باعث کاهش انرژی زمان بهره برداری می گردند، اما تأثیری بر انرژی نهفته ندارند.

۱۰- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش با توجه به گردآوری داده های تحقیق و فرضیه، پرسش و اهداف تحقیق در ابتدا تأثیر ۸ متغیر بررسی شد. نتایج نشان می دهد که این متغیرها باعث تغییر انرژی نهفته بین ۰/۳ تا ۳/۷۵ مگاژول در هر مترمربع می گردند. بنابراین این فرضیه که راهبردهای کاهش انرژی زمان بهره برداری انرژی نهفته را افزایش می دهند مورد تأیید نمی باشد. می توانیم بگوییم که راهبردهای کاهش مصرف انرژی زمان بهره برداری بر انرژی نهفته موثر می باشند. و با توجه به راهبرد علت و معلولی تحقیق به این پرسش پاسخ داده شده است که راهبردهای کاربردی کاهش انرژی زمان بهره برداری چه تأثیری بر انرژی نهفته دارند؟

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](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. Drousa, 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 CO₂ 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>.

همانطور که در جدول (۹) مشخص است چهار متغیر انرژی نهفته را افزایش می‌دهند دو متغیر انرژی نهفته را کاهش می‌دهند و دو متغیر تأثیری بر انرژی نهفته ندارند همچنین با توجه به سوال تحقیق نتایج نشان می‌دهد که مساحت دیوار خارجی بیشترین تأثیر 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 مترژ 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 تأثیر افزایش فضا ها و مساحت 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 و رواق 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 و حیاط 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 و خشک 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 عایق حرارتی باعث کاهش انرژی زمان بهره‌برداری در اقلیم گرم و خشک شیراز می‌گردند، اما باعث افزایش انرژی نهفته ساختمان می‌گردند. این افزایش انرژی نهفته قابل توجه نیست.
۵. ارائه نقشه‌های 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 آگاه کردن دست‌اندرکاران ساخت وساز از جمله معماران در خصوص 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.



- [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 Technologies 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>