Karafan
Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University
Winter 2022, Vol. 18, No. 4, p. 345-361
Journal homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en
TVU
doi:10.48301/KSSA.2022.306864.1761
20.1001.1.23829796.1400.18.4.21.6
Original Research
E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

Strategic Principles of Designing the form of a Residential Building in Bushehr Based on Reducing Energy Consumption

Elnaz Heydari[1], Jamaludin Mahdinejad[2*], Pouya Doulabi[3]

[1]Ph.D. Student, Department of Architecture, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran.
[2]Visiting Professor, Department of Architecture, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran.
Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Design Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.
[3]Visiting Professor, Department of Architecture, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran.
Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 10.10.2021
Revised: 12.19.2021
Accepted: 02.08.2022

Keyword:
Form geometry
Hot and humid climate
Shading
Energy consumption reduction
Self-shading shell
Design builder

***Corresponding Author:**
Jamaludin Mahdinejad
Email:
mahdinejad@sru.ac.ir

ABSTRACT

Given the global energy crisis, architects need to focus one of the most practical energy management solutions in buildings, the issue of using passive design strategies. By using indigenous passive cooling methods and updating them, strategies optimizing the cooling energy consumption in contemporary buildings can be achieved. The main purpose of this study was to find and prioritize inactive solutions by adding shading volumes in building form to increase the shading of the building form in the hot and humid climate of Bushehr, which can reduce the energy consumption of coolers while maintaining thermal comfort. The research method of this study was a combination of field surveys to collect data on selected buildings and the cluster method to classify the data. Then, with the help of Design Builder software, the annual energy consumption of buildings was studied. In the present study, the building was first studied in terms of form, shape, geometry and feature details and the optimal form for each model was extracted. By integrating and combining the selected optimal models, the buildings were re-examined and the amount of energy consumption reduction was analyzed. The shading selection strategies were such that by combining the appropriate form and shading elements, the energy consumption of the first building was reduced by 25% and the second building by 16%, reducing the annual initial energy consumption.

© 2022 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
زمستان ۱۴۰۰، دوره ۱۸، شماره ٤، ۳٦۱-۳٤٥
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2022.306864.1761
20.1001.1.23829796.1400.18.4.21.6
شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

مقاله پژوهشی

اصول راهبردی طراحی فرم ساختمان مسکونی در بوشهر، مبتنی بر کاهش مصرف انرژی

الناز حیدری[۱]، جمال الدین مهدی نژاد[۲*]، پویا دولابی[۳]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی معماری، گروه معماری، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران.
۲- استاد مدعو، گروه معماری، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران.
استاد، گروه معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
۳- استاد مدعو، گروه معماری، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران.
استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه خلیج‌فارس، بوشهر، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸
بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸
پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹

کلید واژگان:
هندسه فرم
اقلیم گرم و مرطوب
سایه‌اندازی
کاهش مصرف انرژی
پوسته خودسایه‌انداز
دیزاین بیلدر

***نویسنده مسئول:** جمال الدین مهدی نژاد
پست الکترونیکی:
mahdinejad@sru.ac.ir

چکیده

با توجه به بحران انرژی در جهان، نیاز است که معماران به یکی از عملی‌ترین راهکارهای مدیریت انرژی در ساختمان‌ها، به مبحث به‌کارگیری راهبردهای طراحی غیرفعال توجه کنند. با بهره‌گیری از روش‌های سرمایشی غیرفعال بومی و به‌روز کردن آن‌ها می‌توان به راهبردهایی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی سرمایشی در ساختمان‌های امروزی دست یافت. هدف اصلی از این پژوهش، یافتن و اولویت‌بندی راهکارهای غیرفعال از طریق افزودن احجام سایه‌انداز در فرم ساختمان با هدف افزایش سایه‌اندازی فرم بنا در آب‌وهوای گرم و مرطوب بوشهر است که بتواند ضمن حفظ آسایش حرارتی باعث کاهش بار انرژی مصرفی خنک‌کننده‌ها شود. روش تحقیق این پژوهش، روش ترکیبی می‌باشد که اطلاعات ساختمان‌های منتخب در آن با استفاده از برداشت میدانی جمع‌آوری و درنهایت به روش خوشه‌ای دسته‌بندی شده است. سپس در این مقاله به کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر، میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان‌ها بررسی شده است. در این پژوهش ابتدا به بررسی ساختمان به لحاظ فرم، شکل، هندسه و جزییات پرداخته شد و فرم بهینه برای هر مدل استخراج گردید، سپس با تجمیع و تلفیق مدل‌های بهینه انتخابی، ساختمان‌های مدنظر دوباره بررسی شد و میزان کاهش مصرف انرژی تحلیل گردید. راهبردهای انتخاب سایه‌اندازها به‌گونه‌ای است که با ترکیب فرم مناسب و عناصر سایه‌انداز باعث می‌شود میزان مصرف انرژی ساختمان اول ۲۵ درصد و ساختمان دوم ۱۶ درصد کاهش مصرف انرژی اولیه سالانه را به دنبال داشته باشد.

© 2022 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

ایران به داشتن معماری غنی در زمینه ارتباط با بوم و زمینه، همچنین پاسخ‌های معماری هم‌سو با طبیعت در طول تاریخ مطرح بوده است. علی‌رغم دارا بودن الگوهای مناسب در این راستا، یکی از معضلات کشور، افزایش مصرف انرژی در بخش ساختمان و بهره‌مند نبودن این بناها از الگوی صحیح مصرف انرژی در این بخش است که با توجه به آب‌وهوای گرم در مناطق گرمسیری باعث وابستگی بیش‌ازحد به سیستم‌های خنک‌کننده مکانیکی شده است.

این پژوهش راهبردهای کاهش مصرف انرژی و بهبود سطح آسایش حرارتی را برای ساختمان‌های مسکونی در مناطق گرم و مرطوب ایران با هدف یافتن راه‌حل‌های طراحی به‌منظور پوشش ساختمان موردتوجه قرار داده است که ضمن حفظ آسایش حرارتی فضای داخلی، باعث کاهش بار انرژی مصرفی خنک‌کننده‌ها نیز خواهد گشت. ازاین‌رو به نظر می‌رسد که شناسایی عملکرد راهبردها در استفاده مجدد عناصر بومی مورداستفاده در اقلیم گرم و مرطوب مهم می‌باشد و کمک خواهد کرد تا امکانی به‌منظور حل مشکلات روز، به‌منظور بازآفرینی و استفاده مجدد این عناصر، فراهم آید. بسیاری از محققان، راهبردهای طراحی غیرفعال متنوعی را برای مدیریت و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها ارائه کرده‌اند. بر اساس تمرکز بر اجزای متنوع یا جنبه‌های مختلف، یک ساختمان به جداره، محیط پیرامون، تهویه طبیعی، کیفیت نور روز، جهت‌گیری مناسب، عایق حرارتی، سایه‌اندازی، مصالح ساختمانی و ... طبقه‌بندی می‌شود [۱-۱۴]. با وجود تحقیقات صورت‌گرفته در زمینه ابزارهای سایه‌انداز در ساختمان‌های سراسر جهان، تاکنون در مورد ترکیب ابزارهای سایه‌انداز خارجی بر پوسته با هدف ایجاد پوسته خود سایه‌انداز بهینه، در مراحل اولیه طراحی ساختمان‌های واقع در مناطق گرم و مرطوب، تحقیقات قابل‌توجهی صورت نگرفته است. مطابق با تحقیقات محققان در آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، یکی از گزینه‌های طراحی منفعل برای کنترل دمای بالا در یک ساختمان، فرم هندسی آن به‌منظور خودسایه‌اندازی بهینه می‌باشد [۱۵]. عوامل مؤثر بر میزان مصرف انرژی در ساختمان عبارتند از: آب‌وهوا، فعالیت‌ها، فرم و پوشش ساختمان و سیستم‌های تأسیساتی ساختمان. با توجه به موارد ذکرشده، پوشش ساختمان، نقش قابل‌توجهی در مصرف بهینه قسمتی از کل انرژی مصرفی در محیط ساخته‌شده را دارا می‌باشد. ازاین‌رو، به‌کارگیری راهبردهای طراحی غیرفعال در مرحله نخست طراحی، یکی از راهکارهای اصولی غیرفعال، با صرفه اقتصادی و مدیریت حرارتی جهت کنترل مصرف انرژی در ساختمان‌ها است. بافت ساحلی شهر بوشهر در جنوب ایران دارای ویژگی‌های معماری بومی ارزشمندی می‌باشد و با بررسی پژوهش‌های پیشین مرتبط با عناصر بومی، این نتیجه حاصل می‌شود که در این پژوهش‌ها به مسئله ترکیب هم‌زمان فرم ساختمان و عناصر بومی در معماری ساختمان‌های معاصر کمتر پرداخته‌شده است. ازاین‌رو در این مقاله با بررسی نمونه‌های منتخب از بین ساختمان‌های معاصر بافت تاریخی واقع در محور ساحلی شهر بوشهر، میزان مصرف انرژی تحلیل شد. همچنین راهکارهایی در راستای ترکیب هم‌زمان عناصر سنتی به‌روز شده با فرم ساختمان و در نظر قرار دادن کارآمدی هرچه بیشتر این عناصر در مقیاس سایه‌اندازی مطلوب، ارائه خواهد شد. شهر بوشهر به دلیل رشد جمعیت و بالا رفتن سرعت ساخت‌وساز با معضلات توسعه مسکن روبه‌رو شده است. در بیشتر ایام سال، ساختمان‌های مسکونی این شهر، جهت برقراری آسایش حرارتی خود متکی به استفاده از دستگاه‌های تهویه مطبوع مکانیکی می‌باشند. طبق آمار تقویم هواشناسی ایران (از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۰)، متوسط حداقل دمای سردترین ماه سال در بوشهر ۱۰.۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال ۳۸.۱ درجه سانتی‌گراد بوده است. بر اساس داده‌های آب‌وهوایی و نرم‌افزار متئونورم[1] برای بازه‌های یک‌ساله شهر بوشهر می‌توان به این نتیجه رسید که در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و آبان در طول شب، دمای هوا در محدوده آسایش قرار دارد. با توجه به مقایسه صورت‌گرفته بین داده‌های آب‌وهوایی نرم‌افزار متئونرم و داده‌های ثبت‌شده در سایت https://weatherspark.com در تاریخ یک تیرماه ۱۳۹۹ می‌توان به‌راستی آزمایی داده‌های آب‌وهوایی این نرم‌افزار اعتبار بخشید و از آن برای نرم‌افزار

[1] Meteonorm

دیزاین بیلدر استفاده کرد. به‌منظور اعتبارسنجی داده‌های خروجی، نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار متئونرم با داده‌های ثبت‌شده در سایت مذکور مقایسه شدند. مقایسه داده‌ها نشان می‌دهد که روش مورداستفاده برای انجام این پژوهش دارای دقت مطلوب است. روش تحقیق این پژوهش، استفاده از روش‌های ترکیبی است. ابتدا از طریق روش خوشه‌ای سلسله‌مراتبی که برای نمونه‌های کوچک مناسب بود، خانه‌های معاصر واقع در بافت تاریخی بوشهر انتخاب شد و سپس به روش کمی براساس عملکرد حرارتی و مصرف انرژی، مطالعه شد. سپس، از خروجی‌های به‌دست‌آمده در روش کمی از طریق نرم‌افزار دیزاین بیلدر، مهم‌ترین راهکارهای غیرفعال پیشنهادی برای ایجاد پوسته خودسایه‌انداز بهینه موردسنجش قرار گرفتند. عملکرد پوسته خودسایه‌انداز بهینه به این صورت است که در تابستان، بیشترین میزان سایه‌اندازی را روی جداره بیرونی خود ایجاد می‌کند درحالی‌که در زمستان، مانعی در برابر تابش نور خورشید بر روی نمای بیرونی ندارد؛ بنابراین از این راهکارها در بازطراحی ساختمان‌های مسکونی معاصر واقع در نوار ساحلی بافت تاریخی استفاده می‌گردد و تأثیر آن‌ها نیز اندازه‌گیری شده است.

پرسش‌های تحقیق

ترکیب سایه‌اندازها بر پوسته ساختمان‌های مسکونی مدرن برای ایجاد پوسته خودسایه‌انداز بهینه چه تأثیری بر کاهش مصرف انرژی سرمایشی دارند؟ ترکیب سایه‌اندازهای خارجی با فرم بنا برای خودسایه‌اندازی به چه میزان بر کاهش مصرف انرژی سرمایشی تأثیرگذار خواهند بود؟

فرضیه تحقیق

در پاسخ به سؤال اصلی این تحقیق، می‌توان بیان کرد که با به‌کارگیری مهم‌ترین روش‌های سرمایشی غیرفعال در منطقه گرم و مرطوب شامل ترکیبی از سایه‌اندازهای افقی و عمودی، زاویه مناسب سایه‌اندازهای خارجی و میزان برآمدگی، موقعیت و جهت‌گیری مناسب پوسته خارجی و ترکیب آن‌ها با هندسه فرمی ساختمان‌های مسکونی جهت ایجاد پوسته خودسایه‌انداز بهینه می‌تواند مصرف انرژی سرمایشی را در طول سال کاهش دهد. به نظر می‌رسد که در یافته‌های بیان‌شده در تحقیق، میزان کاهش مصرف انرژی سرمایشی نیز مشخص خواهد شد و از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه خواهد بود.

پیشینه تحقیق

با توجه به اینکه مطالعه حاضر، تدوین اصول طراحی پوسته خارجی ساختمان است، پژوهش‌های انجام‌شده مرتبط با ابزارها و راهکارهای سایه‌اندازی بررسی و ارائه شد.

پالمرو مارِرو و اولیوِرا[1] در مورد تأثیر ابزارهای سایه‌انداز کرکره‌ای (افقی و عمودی) بر مصرف انرژی ساختمان را برای عرض‌های مختلف جغرافیایی بررسی کردند. مطابق با تحلیل‌های صورت‌گرفته، ابزارهای سایه‌انداز کرکره‌ای می‌توانند در مقایسه با ساختمان‌های بدون سایه‌انداز مصرف انرژی به‌صرفه‌ای داشته باشند [۱۱].

لیم و همکاران[2] در زمینه بهبود عملکرد نور روز بر یک ساختمان اداری در مالزی آزمایش‌هایی انجام دادند و با این روش دریافتند که با تغییر شیشه پنجره و ابزارهای سایه‌انداز، از طریق بهبود کمیت و کیفیت نور روز در مناطق گرمسیری می‌توان به آسایش بصری دست یافت [۷].

[1] Palmero-Marrero et al
[2] Lim et al

فریوان[1] تأثیر ابزارهای سایه‌انداز بر دمای هوای محیط بصری و فعالیت کاربران در نمای جبهه جنوب‌غربی دفاتر اداری را بررسی کرد. سه ابزار سایه‌انداز ثابت مانند باله‌های عمودی، باله‌های مورب و شانه تخم‌مرغی در سه دفتر به‌صورت یکسان نصب شدند. ابزارهای سایه‌انداز می‌توانند در مقایسه با شرایط اولیه، دمای محیط را کاهش دهند و محیط بصری در دفاتر را بهبود بخشند. همچنین، باله‌های مورب و شانه تخم‌مرغی نسبت به باله‌های عمودی بهتر عمل می‌کنند [۱۶].

چو و همکاران[2] بر ابزارهای سایه‌انداز خارجی ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه کشور کره متمرکز شدند. در این مورد صرفه‌جویی در مصرف انرژی خنک‌کننده حدود ۲۰ درصد بود، درحالی‌که کاهش گرمای خورشیدی توسط ترکیب سایه‌انداز افقی (بالکن‌ها) و پانل عمودی می‌تواند بار خنک‌کننده را به‌ترتیب ۱۹.۷ درصد و ۱۷.۳ درصد کاهش دهد [۱۷].

آلشامانی و عبدالمجعبو[3] گزینه‌های مختلفی از بالکن‌ها و باله‌های متصل به نماهای جنوب، غرب و شرق ساختمان مدرسه ابتدایی در لس‌آنجلس را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که برآمدگی‌ها و بال‌ها، همچنین موقعیت و جهت‌گیری مناسب آن‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد انرژی ساختمان دارند؛ بنابراین استفاده از برآمدگی با بال‌ها در نمای جنوبی، غرب و شرق می‌تواند مصرف انرژی سالانه را تا ۱۳.۶۲ درصد و در کل هزینه انرژی (برق + سوخت) را تا ۱۲.۵ درصد افزایش دهد [۱۸].

مپلیسوس و آتینایتس[4] تأثیرات هم‌زمان سطح شیشه دار، ویژگی‌های ابزار سایه‌انداز و کنترل سایه بر بارهای خنک‌کننده و نور را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که صرفه‌جویی در مصرف انرژی خنک‌کننده و روشنایی می‌تواند با استفاده از یک روش یک‌پارچه برای کنترل خودکار سایه‌انداز مکانیکی همراه با سیستم‌های کنترل روشنایی الکتریکی به‌دست آید [۱۹].

دوتا و همکاران[5] تأثیر جهت‌گیری ساختمان بر مصرف انرژی را مطالعه کردند و بررسی‌ها نشان داد که دریافت گرما از طریق پنجره‌های جنوبی بعد از پنجره‌هایی که در جهت شرق، غرب و شمالی در یک آب‌وهوای گرمسیری واقع در نیم‌کره شمالی، بیشتر است. یک کنترل‌کننده منطقی قابل‌برنامه‌ریزی (PLC)[6] مبتنی بر ابزار سایه‌انداز متحرک می‌تواند صرفه‌جویی انرژی را تا ۱۴.۹ درصد با میانگین سالیانه ۹.۸ درصد انجام دهد [۲۰].

الواریچ و گوما[7] در خصوص راهبردهای مختلف در راستای به‌روز کردن ساختمان‌های آموزشی کشور مصر، عایق‌بندی دیوارهای خارجی، شیشه دوجداره، تنگناهای هوا و ابزارهای سایه‌انداز را در نظر گرفتند. در میان بررسی این گزینه‌ها دریافتند پنجره‌های کرکره‌ای فلزی ۰.۵ متر می‌توانند مصرف انرژی را به‌طور متوسط ۳۳ درصد کاهش دهند، درحالی‌که هوای فشرده و عایق‌بندی دیوارها ۱۰ درصد و پنجره دوجداره ۸ درصد کاهش می‌دهند [۲۱].

برخی از مطالعات مشابه شامل مواردی است که توسط هرناندز و همکاران[8] [۲۲]، کومار و کوشیک[9] [۲۳]، ووجوزویچ و کریستی- فورندگیچ[10] [۲۴] و نیکوفرد و همکاران[11] [۲۵] گزارش شده است؛ بنابراین، مقوله اتلاف انرژی حرارتی برای فرم‌های ساختمانی مختلف باید با رابطه ضریب انتقال حرارتی پوسته ساختمان تعیین شود. بااین‌حال، در مقایسه با روند

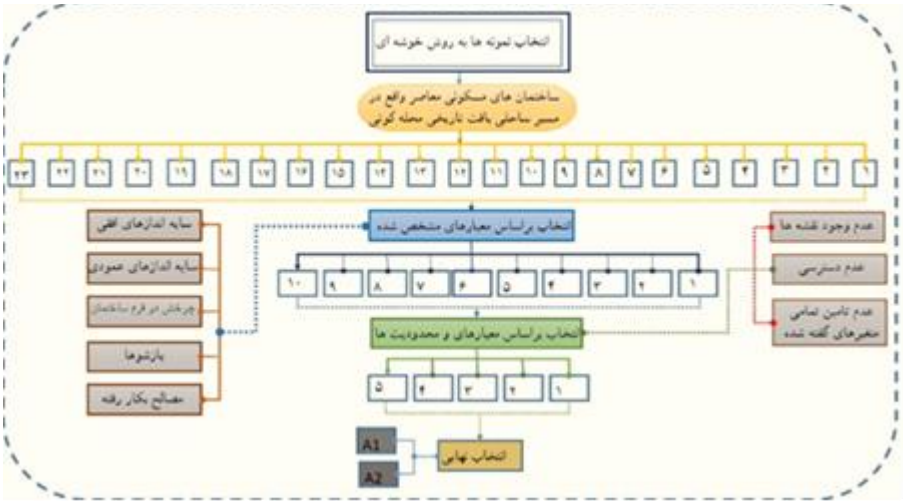
[1] Freewan et al
[2] Cho et al
[3] Alshamrani et al
[4] Tzempelikos et al
[5] Dutta et al
[6] Programmable Logic Controller
[7] El-Darwish et al
[8] Hernández et al
[9] Kumar et al
[10] Vujošević et al
[11] Nikoofard et al

تحقیقات جهانی، محدوده وسیعی در زمینه تحقیق و امکان‌سنجی در مورد ساختمان‌های مسکونی در ایران، به‌ویژه در اجرای طرح‌های منفعل وجود دارد. بر این اساس، تمرکز ویژه این مطالعه، بررسی تأثیر راهکارهای سایه‌اندازی خارجی بر پوسته ساختمان به‌منظور کاهش مصرف انرژی سرمایشی و مطالعه امکان‌سنجی اقتصادی آن با قیاس دو ساختمان مسکونی معاصر واقع در بافت تاریخی در نوار ساحلی شهر بوشهر می‌باشد.

روش‌شناسی تحقیق

این پژوهش با استفاده از روش ترکیبی در دو گام به بررسی کمی و کیفی ساختمان‌ها پرداخته است:

در گام اول مطابق با شکل ۱، پس از جمع‌آوری اطلاعات میدانی از نمونه ساختمان‌های معاصر واقع در نوار گردشگری بافت، از طریق روش خوشه‌ای نمونه‌ها انتخاب شد و به روش کمی بر اساس عملکرد حرارتی و مصرف انرژی مطالعه گردید. برای انجام تحلیل خوشه‌ای از میان رویکردهای چند میانگینی، دوگانی سلسله‌مراتبی، برای این پژوهش، روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی که برای نمونه‌های کوچک مناسب است انتخاب شد.



شکل ۱. انتخاب نمونه‌ها با استفاده از روش آماری (خوشه‌ای)

در گام دوم از خروجی‌های به‌دست‌آمده در روش کمی از طریق نرم‌افزار دیزاین بیلدر، مهم‌ترین راهکارهای غیرفعال پیشنهادی با هدف ایجاد پوسته خودسایه‌انداز بهینه سنجیده شد و ازاین‌رو راهکارها در بازطراحی ساختمان‌های مسکونی معاصر استفاده گردید و تأثیر آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. گردآوری داده‌های موردنیاز در بخش اول به روش میدانی می‌باشد. از این طریق، اطلاعات مهم اقلیمی موردنیاز در شبیه‌سازی به کمک ابزارهای اندازه‌گیری جمع‌آوری می‌شود که در شرایط کنونی حاکم بر کشور به دلیل اپیدمی بیماری کرونا امکان‌پذیر نبود؛ از این رو از روش رایانه‌ای و نرم‌افزار متئونورم استفاده گردید. از روش میدانی، اطلاعات و نقشه‌های نمونه ساختمان‌های بومی موجود برای راهکارهای غیرفعال در بافت تاریخی و ساختمان‌های معاصر منتخب در بافت محله کوتی استفاده گردید و به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای نیز تحلیل داده‌ها در بخش اول و دوم تحقیق انجام شد. به دلیل اینکه محاسبات مربوط به تأثیر راهکارهای غیرفعال در راستای ایجاد پوسته خود سایه‌انداز بهینه بر مصرف انرژی روی نمونه‌های موجود و اصلاح آن‌ها به همراه استفاده از اطلاعات

میدانی، پیچیده و زمان‌بر بود؛ با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز، دقت محاسبات افزایش یافت. پس از انجام مدل‌سازی و شبیه‌سازی نمونه‌های منتخب، مدل‌های اصلاح‌شده با بهره‌وری مناسب در ارائه، قابل‌بررسی و مقایسه شدند. شکل ۲ ساختار و روند پژوهش را به‌صورت خلاصه نشان می‌دهد.

شکل ۲. روند پژوهش

مطالعات و بررسی‌ها

منطقه انتخابی برای بررسی تأثیر راهکارهای سایه‌انداز خارجی بر مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر، مستلزم مطالعه دقیق می‌باشد. مطابق با هدف پژوهش باید راهکارهای غیرفعال پیشنهادی در ساختمان‌های معاصر برای ایجاد پوسته خودسایه‌انداز بهینه و اندازه‌گیری تأثیر آن‌ها بر کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و مرطوب بوشهر تحلیل شد. ابتدا براساس هدف و سؤال اصلی پژوهش، ساختمان‌های مهم به‌صورت هدفمند به روش خوشه‌ای متناسب با معیارهای از پیش تعیین‌شده بررسی گردید و درنهایت موارد نزدیک به معیارها برای مدل‌سازی انتخاب شد. بررسی میدانی انجام‌شده نشان می‌دهد که براساس نقشه‌های موجود در نظام مهندسی و شهرداری استان، تعداد ۲۳ خانه مسکونی در مسیر گردشگری (مسیر ساحلی) بافت تاریخی بوشهر وجود دارد که از بین آن‌ها ۶ خانه مسکونی بدون نقشه، ۷ نمونه تغییر کاربری داده شده، ۶ نمونه اجازه برداشت از طرف مالک در شرایط کرونا داده نشد و

۲ نمونه در حال ساخت که با توجه به نقشه‌های ثبت‌شده در شهرداری در حین کار، تغییر کاربری داده‌اند و مالک، حاضر به همکاری نشد.

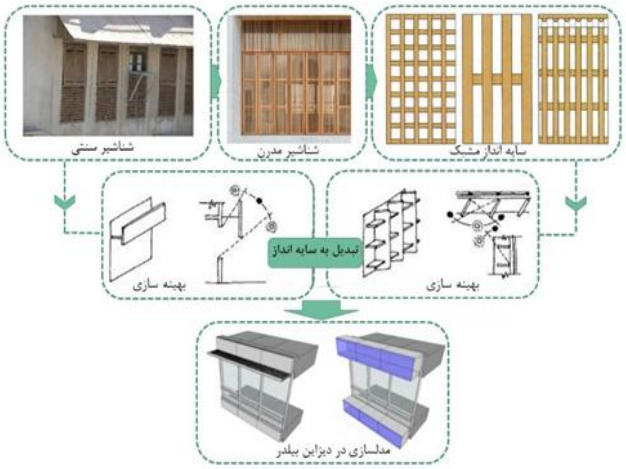
شکل ۳. چهار محله بافت قدیمی بوشهر، محله موردپژوهش، موقعیت ساختمان‌های نوار ساحلی موردتحقیق و ساختمان A1 و A2، برای انجام مدل‌سازی (منبع:Google Earth)

با در نظر گرفتن هدف پژوهش و روش جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت میدانی، شرایط دسترسی به ۱۰ خانه مسکونی متناسب با معیارهای انتخاب نمونه‌ها فراهم شد. در نهایت با استفاده از روش خوشه‌ای، ۲ خانه مسکونی با داشتن شرایط موردنظر، در مقایسه با ۲۳ نمونه دیگر که دارای نقشه‌های کامل و عدم‌تغییر کاربری بودند، در این پژوهش از نظر ابعاد هندسی و فرم، بررسی شد.

شکل ۴. موقعیت سایت و نقاط موردتحلیل (منبع:Google Earth).

مطابق شکل ۳ و ۴، بافت قدیمی بوشهر در شمالی‌ترین بخش شهر در نوار ساحلی واقع شده است که شامل چهار محله دهدشتی، شنبدی، بهبهانی و کوتی است. این مقاله به بررسی ساختمان (A1) به نام پویاور و ساختمان (A2) واقع در محدوده شمال‌غربی شهر بوشهر (28°59′N 50°49′E) می‌پردازد. براساس آنچه تاکنون گفته شد در این پژوهش ساختمان‌های منتخب با توجه به تخلخل و شکست در حجم، دارای بهره‌گیری مناسب، از نظر فرم ساختمانی و پوسته خودسایه‌انداز بهینه در طراحی می‌باشند. نخست شرایط اقلیمی و مصرف انرژی ساختمان‌های منتخب موردبررسی قرار گرفت، سپس با ساختمان‌های عمومی در شهر از لحاظ مصرف انرژی سالانه مقایسه گردید و در مرحله بعد با ایجاد تغییرات فرمی و سایه‌اندازها راهکارهایی برای بهبود مصرف انرژی سرمایشی ساختمان‌های منتخب ارائه گردید؛ از این رو با تدوین راهبردهای کارآمد به‌منظور ایجاد پوسته خودسایه‌انداز بهینه، در ساختمان‌های مسکونی، متناسب با اقلیم

هر منطقه می‌توان در قوانین ساختمان‌سازی کشور بازبینی کرد. تحلیل‌ها در هفت دسته بررسی شدند: ۱- تحلیل وضع موجود ساختمان ۲- تحلیل سایبان‌های بهینه ۳- جهت‌گیری بهینه ساختمان ۴- تغییر جهت تراس اصلی ساختمان ۵- تحلیل عایق حرارتی پوسته ساختمان ۶- تغییرات فرمی و افزایش سایه‌اندازی ۷- حالت تلفیقی و ترکیب فرم ساختمانی و پوسته‌های خود سایه‌انداز. روش تحلیل به‌صورت خطی می‌باشد؛ ابتدا مصالح بهینه برای ساختمان‌ها تحلیل و بررسی شد، سپس عایق و مصالح انتخابی در مدل‌سازی مجدد ساختمان‌ها استفاده گردید. در گام بعد، جهت‌گیری مناسب از میان تحلیل‌ها انتخاب و ساختمان‌ها در موقعیت جهت‌گیری جدید قرار داده شد. این پروسه خطی باعث مشخص شدن هر پارامتر در شرایط خاص هندسی ساختمان‌ها می‌گردد و شرایط بهینه را برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها رقم می‌زند. با بررسی و تحلیل عناصر اقلیمی بوشهر از قبیل شناشیر و طارمه و ... می‌توان به بازطراحی این عناصر در راستای ترکیب سایه‌اندازهای مناسب به‌منظور ایجاد پوسته خودسایه‌انداز بهینه در ساختمان‌های مسکونی معاصر اقدام کرد. شکل ۵ روند شکل‌گیری جداره خودسایه‌انداز بهینه را با بهره‌گیری از عناصر بومی به‌روز شده به‌طور خلاصه بیان می‌کند.



شکل ۵. روند شکل‌گیری جداره خودسایه‌انداز با بهره‌گیری از عناصر بومی به‌روز شده

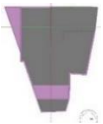
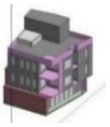
یافته‌های تحقیق

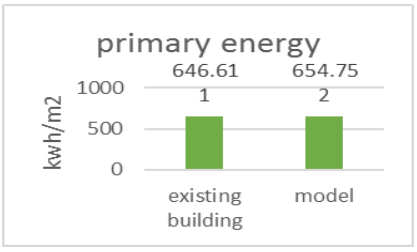
با توجه به موارد بیان‌شده در مرحله اول روند شبیه‌سازی، مدل کردن ساختمان‌های منتخب و تعیین میزان مصرف انرژی گرمایش، سرمایش و روشنایی مدنظر قرار گرفته است. ساختمان‌های انتخابی با حداکثر شباهت از لحاظ مصالح و ساختار وضعیت موجود، مدل‌سازی شده‌اند. داده‌های ورودی به نرم‌افزار در سه بخش فعالیت‌ها، ساختار، مصالح و سیستم‌های تأسیسات وارد گردیده است.

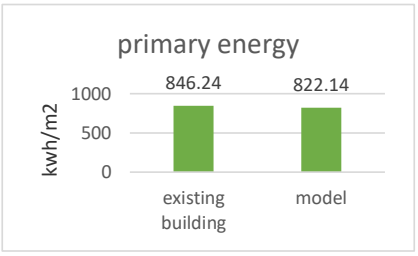
عکس ۱. وضعیت موجود ساختمان A1 سمت چپ و A2 سمت راست

مدل‌سازی: ابتدا مدل‌های اولیه ساختمان‌ها با شرایط موجود و با توجه به داده‌های ورودی، تحلیل و بررسی شد. جدول ۱ تمامی مراحل تحلیل و بررسی، کاهش و افزایش میزان مصرف انرژی نسبت به تغییرات اعمال‌شده در هریک از ساختمان‌ها را نشان می‌دهد که شامل وضع موجود، جهت‌گیری، عایق‌بندی، سایه‌اندازها، فرم هندسی و ... می‌باشد. نمودار ۱ میزان مصرف انرژی اولیه و مقایسه هر دو ساختمان را در شرایط تغییر بازشو اصلی آن‌ها نشان می‌دهد. جهت‌گیری ساختمان‌ها یکی از عوامل مؤثر در میزان مصرف انرژی آن‌ها می‌باشد. با توجه به انواع جهت‌گیری‌ها، تأثیر کمتر بر میزان مصرف انرژی روشنایی می‌باشد، درحالی‌که تأثیر حداکثری بر انرژی مصرفی جهت سرمایش ساختمان را دارد. با بررسی‌های انجام‌شده در نمونه‌های انتخابی جهت‌گیری مناسب برای ساختمان A1، ۱۳۵ درجه نسبت به شمال است و برای ساختمان A2 زاویه ۱۰۵ می‌باشد که این نشان از تفاوت اندک در فرم کلی هر دو ساختمان می‌باشد. همچنین تحلیل و بررسی عایق‌بندی هم‌زمان دیوار و سقف تأثیر به‌سزایی بر میزان مصرف انرژی اولیه نسبت به حالت جداگانه دیوار و سقف وجود دارد. با توجه به تحلیل صورت گرفته‌شده، ساختمان‌های فاقد سایبان افقی در مقایسه با ساختمان‌های دارای سایبان افقی به طول ۹۰ سانتی‌متر، گزینه مناسب برای ساختمان A1 و ساختمان A2 با توجه به کاهش نیافتن میزان کیفیت نور روز داخل ساختمان‌ها، سایبان ۹۰ سانتی‌متر مناسب می‌باشد که میزان ورود نور را تا حد قابل‌قبولی کنترل می‌کند. ساختمان A1 دارای ایوانی در جبهه جنوب‌غربی به همراه بازشوی وسیع است که در این پژوهش به تحلیل و تغییر جهت این بازشو در جهات دیگر پرداخته شد و با تحلیل‌های صورت گرفته در جبهه شمال‌غربی و جنوب‌شرقی این نتیجه حاصل شد که گزینه وضع موجود براساس طراحی معمار بهترین حالت برای ساختمانA1 می‌باشد. علی‌رغم تلاش معمار ساختمان A2 برای کاهش مصرف انرژی، بررسی‌ها نشان می‌دهد که پس از ایجاد تغییر در ایوان و جابه‌جایی آن در جبهه‌های مختلف ساختمان، مصرف انرژی به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است. در حالت نهایی با تغییر در فرم ساختمان‌ها و ترکیب آن‌ها با سایه‌اندازها، باعث کاهش میزان مصرف انرژی اولیه در ساختمان A1 و ساختمان A2 گردید. تحلیل و بررسی‌های انجام‌شده به‌منظور راهکارهای غیرفعال در جدول ۱، به‌صورت خلاصه و مقایسه‌ای ارائه شده است، سپس به تحلیل و بررسی سایبان‌های خارجی مشبک و حالت‌های سایبان‌های افقی و عمودی در ابعاد مختلف پرداخته شد.

جدول ۱. خلاصه میزان مصرف انرژی در حالت‌های مختلف راهبردهای غیرفعال برای ساختمان‌های انتخابی برحسب kwh/m2

ردیف	بهترین حالت در هر دسته آنالیز	تصویر تغییرات مدل A1	تصویر تغییرات مدل A2	انرژی اولیه A1	انرژی اولیه A2	کاهش / افزایش
۱	وضعیت موجود			۸۴۶.۲۳	۶۴۶۶۱	-
۲	زاویه ۱۳۵ درجه A1 زاویه ۱۰۵ درجهA2			۷۸۶.۷۳	۶۱۵.۴۲	هردو کاهش دو جهت‌گیری مختلف
۳	عایق‌بندی سقف و بدنه	-	-	۷۳۷.۰۱	۵۸۰.۳۲	هردو کاهش
۴	سایبان بهینه ۹۰ سانتی‌متری			۷۷۸.۰۵	۶۱۷.۴۱	هردو طول پیشامدگی ثابت
۵	تغییر جهت اصلی‌ترین بازشو			۸۴۶.۲۳	۶۵۴.۳۹	بدون تغییر / افزایش مصرف
۶	تغییرات هندسه فرمی و پوسته خود سایه‌انداز			۸۲۲.۱۴	۶۵۴.۷	کاهش محسوس / افزایش مصرف





نمودار ۱. میزان مصرف انرژی اولیه و مقایسه هر دو ساختمان در شرایط تغییر بازشو اصلی، راست:A1 – چپ: A2

در جدول ۲ حالت‌های مدل‌سازی شده سایبان‌های مشبک را نشان می‌دهد در بین این سایبان‌ها مدل شماره ۲ برای ساختمان A1 و مدل شماره ۱ برای ساختمان A2 بهترین حالت را به خود اختصاص می‌دهد. ساختمان‌های مدنظر در ۴ حالت با پیش‌آمدگی‌های مختلف شبیه‌سازی‌شده است.

۱- در حالت اول پیش‌آمدگی به‌صورت صفحه افقی به عرض ۳۰ سانتی‌متر و عمود بر نما، در ترازبالای پنجره قرار گرفته است.

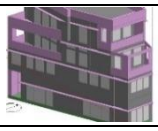
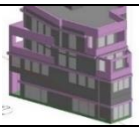
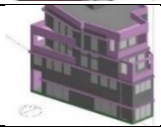
۲- در حالت دوم پیش‌آمدگی به‌صورت صفحه عمودی به ارتفاع ۷۳ سانتیمتر (فاصله بالای پنجره تا کف طبقه) و به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نما قرار گرفته است.

۳- در شبیه‌سازی حالت سوم، پیش‌آمدگی به‌صورت لوورهای موازی با نمای ساختمان به ارتفاع ۷۳ سانتیمتر (فاصله بالای پنجره تا کف طبقه) و به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نما قرار گرفته است.

۴- در حالت چهارم پیش‌آمدگی به‌صورت لوورهای افقی به عرض ۳۰ سانتیمتر و عمود بر نما، در تراز بالای پنجره قرار گرفته است.

جدول ۲ حالات مختلف پیش‌آمدگی مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در محیط نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

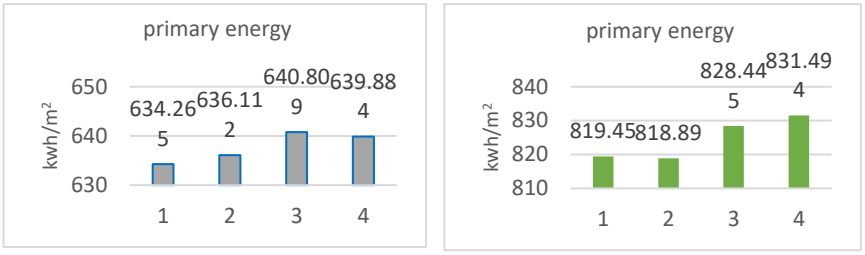
جدول ۲. مدل‌های شبیه‌سازی‌شده عناصر سایه‌انداز خارجی مشبک در محیط نرم‌افزار ساختمان A1 و A2

	۴	۳	۲	۱
مدل A1				
مدل A2				

جدول ۳ میزان مصرف انرژی در هر دو ساختمان، با عناصر سایه‌انداز خارجی در حالات مختلف و برحسب (kwh/m^2) مطابق با شبیه‌سازی و تحلیل‌ها را نشان می‌دهد. طبق نتایج، کمترین میزان مصرف انرژی اولیه مربوط به مدل شماره (۲) و شماره (۱) است. مطابق با تحلیل بخش‌های مختلف، به جمع‌بندی و تلفیق حالت‌های بهینه در ۷ راهبرد ارائه‌شده پرداخته تا بتوان حالت بهینه را برای ساختمان‌های موردنظر انتخاب کرد.

جدول ۳. میزان مصرف انرژی در ساختمان A1 و A2 برحسب kwh/m2 در حالت وضع موجود و مدل (۲) و مدل (۱) سایه‌انداز خارجی

	Lighting	Heating	Cooling	Total	Primary Energy
Existing Building A1	27.21	1.13	207.51	235.85	846.24
Model 2 – A1	27.33	1.27	199.74	228.34	818.89
%	+0.44	+12.38	-3.74	-3.18	-3.23
Existing Building A2	24.42	1.65	154.69	180.76	646.61
Model 1 – A2	24.44	1.75	151.21	177.4	634.26
%	-0.04%	+1.89%	-1.42%	-1.19%	-1.14%

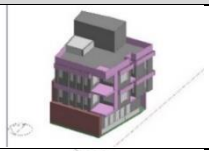
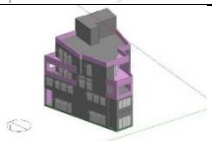
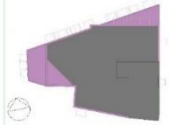


نمودار ۱. میزان مصرف انرژی اولیه در ساختمان A1 و A2 با عناصر سایه‌انداز خارجی

نمودار ۲ مقایسه حالت‌های مختلف سایه‌اندازها، جهت مجموع میزان مصرف انرژی اولیه ساختمان‌های منتخب را نشان می‌دهد. ازآنجایی‌که میزان مصرف انرژی ساختمان‌های منتخب برحسب هر یک مترمربع متراژ ساختمان برآورد شده است، تفاوت در میزان مساحت هردو ساختمان مشکلی ایجاد نمی‌کند و شرایط بهتر ساختمان A2 قابل مشاهده است.

با توجه به خروجی‌ها و تحلیل‌های صورت‌گرفته از مدل‌های شش‌گانه، حالت‌های بهینه برای هر مدل انتخاب گردیده و به‌صورت یکپارچه در هر دو ساختمان مدل‌سازی شده است (جدول ۴). هر دو مدل تلفیقی سپس تحلیل و بررسی شدند و میزان مصرف انرژی محاسبه گردید. جدول ۵ میزان مصرف انرژی هر دو ساختمان را در بخش‌های روشنایی، گرمایش، سرمایش، مجموع و انرژی اولیه نشان می‌دهد.

جدول ۱. صاویر مدل‌سازی ساختمان‌ها در نرم‌افزار، مدل تلفیقی

	Axonometric view	Detail	Top view
مدل تلفیقیA1			
مدل تلفیقی A2			

جدول ۲. میزان مصرف انرژی هر دو ساختمان در مدل تلفیقی برحسب kwh/m2

	Lighting	Heating	Cooling	Total	Primary Energy
وضع موجود A1	27.21	1.13	207.51	235.85	846.24
مدل تلفیق A1	29.95	2.04	146.04	178.03	635.8
%	+10.06%	+80.53	-29.62%	+24.51	-24.86%
وضع موجود A2	24.42	1.65	154.69	180.76	646.61
مدل تلفیقA2	24.28	1.3	126.36	151.94	543.72
%	+%0.57	-%21.21	-%18.31	-%15.94	-%15.91

نتایج تحلیل

براساس نتایج آورده شده در جدول ۵ که میزان کاهش و افزایش مصرف انرژی مدل‌های تلفیقی را نشان می‌دهد، میزان درصد کاهش مصرف انرژی در مدل ساختمان A1 بیشتر بوده و حدود ۲۵ درصد کاهش مصرف انرژی اولیه را شامل شده است. این در صورتی است که در مدل ساختمان A2 این مقدار به ۱۶ درصد رسیده است. شکل ۶ تغییرات هندسی و فرمی صورت گرفته برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها را نشان می‌دهد. آنچه از ترکیب فرم ساختمان‌های انتخابی و سایبان‌های عمودی و افقی بهینه حاصل شد این است که هر دو ساختمان به لحاظ مصرف انرژی در شرایط اولیه نسبتاً مناسبی قرار داشتند که تغییرات صورت گرفته در طول این پژوهش باعث افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی شد. با توجه به فرضیه و سؤال تحقیق در ابتدای این پژوهش در خصوص تأثیر فرم هندسی خود سایه‌انداز و سایبان‌های بهینه در کاهش مصرف انرژی، می‌توان مشاهده کرد که نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با گفته‌ها و تحقیقات آزمایشگاه ملی لارنس هم‌راستا بوده که طراحی فرم خودسایه‌انداز بهینه یکی از گزینه‌های منفعل برای کنترل گرما در یک ساختمان می‌باشد.

شکل ۳. استراتژی‌های غیرفعال پیشنهادی موردبررسی در تحلیل ساختمان‌های انتخابی A2 در بالا و ساختمان A1 در پایین.

آنچه از مقایسه دو ساختمان منتخب حاصل می‌شود، توجه به شرایط طراحی فرم بهینه، سایه‌اندازها و نوع طراحی حجم ساختمانی از اهمیت فراوانی برخوردار است. با توجه به طراحی اولیه ساختمان A2 این نتیجه حاصل شد که شرایط میزان مصرف انرژی وضع موجود آن از مقدار مطلوب‌تری نسبت به ساختمان A1 برخوردار است. در این دو ساختمان با قرارگیری در راستای یک خیابان، جهت جغرافیایی یکسان و شرایط ارتفاعی نزدیک به هم میزان مصرف انرژی برای هر یک مترمربع متفاوت می‌باشد. ساختمان A2 با توجه به داشتن تخلخل‌های فرمی و بالکن سایه‌انداز، در وضع موجود شرایط مناسب را برای محیط اقلیمی خود مهیا کرده است.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر باهدف بررسی و شناسایی راهبردهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و دوام اقتصادی از طریق ترکیب فرم و سایه‌اندازها، به تجزیه‌وتحلیل ساختمان‌های مسکونی معاصر در اقلیم گرم و مرطوب شهر بوشهر پرداخته شد. سپس با ایجاد حداکثر سایه بر روی جداره‌های بیرونی ساختمان، مصرف انرژی سرمایشی در فصول گرم تا میزان قابل‌توجهی کاهش داده شد. اقلیم گرم و مرطوب بوشهر با داشتن گرمای شدید در تابستان، اهمیت نیاز به داشتن سایه‌اندازی و سایبان بر پوسته ساختمان را دوچندان کرده است. این پژوهش در دو بخش تغییرات جزئی ساختمان (عایق حرارتی، جهت‌گیری، سایبان بهینه، تغییر جهت بازشو اصلی، تغییرات هندسه اصلی) و تغییرات کلی فرمی (مجموع ترکیب بهینه و تلفیق آن با فرم بهینه در بخش اول) در خصوص دو ساختمان انتخابی صورت گرفته است. مدل تلفیقی ساختمان (A1) حدود ۲۴.۸۶ درصد کاهش مصرف انرژی اولیه در مقایسه با وضع موجود ساختمان داشته است درصورتی‌که در ساختمان (A2) این میزان به ۱۵.۹۱ درصد رسیده است. این تفاوت در کاهش مصرف انرژی دو ساختمان نکته بسیار مهم در خصوص پژوهش‌های انرژی برای ساختمان‌های موجود را یادآور می‌گردد که تفاوت در طراحی و فرم ساختمانی چقدر می‌تواند در کاهش مصرف انرژی مؤثر باشد. در ساختمان (A2) با کشیدگی بیشتر، میزان سطح به حجم آن (SUV) یا حتی میزان بازشوهای موجود در جبهه‌های مختلف خود در شرایط وضع موجود دارای مصرف انرژی ۶۴۶ کیلووات ساعت است درصورتی‌که در ساختمان (A1) دارای ۸۴۶ کیلووات ساعت مصرف انرژی بوده است. نتایج نشان می‌دهد شرایط وضع موجود ساختمان A2 مناسب‌تر بوده که با بهره‌گیری از روش‌های کاهش مصرف انرژی به میزان ۵۴۳ کیلووات ساعت بر مترمربع کاهش پیداکرده است. این در حالی است که ساختمان (A1) با داشتن شرایط مصرف انرژی بالاتر با راهکارهای غیرفعال و سایه‌انداز توانسته است میزان مصرف انرژی را تا حد ۶۳۵ کیلووات ساعت کاهش دهد. همان‌گونه که در بالا به آن اشاره شد اهمیت نقش معمار، در طراحی ساختمان‌های مسکونی و آشنایی با نوع عملکرد فرم و سایه‌اندازی ساختمان‌ها می‌تواند میزان مصرف انرژی در بخش خانگی را به میزان قابل‌توجهی در سطح کشور بهبود بخشد. تمامی راهبردهای جزئی و کلی انتخاب‌شده برای این ساختمان‌ها با توجه به تعداد طبقات و نوع طراحی آن‌ها موردبررسی قرارگرفته است.

در این پژوهش راهبردهای کلی انجام‌شده برای هرکدام از ساختمان‌های نوار ساحلی شامل جهت‌گیری و کشیدگی مناسب، استفاده از سایبان افقی بهینه ۹۰ سانتی‌متری، پنل های عمودی سرتاسری کناره پنجره‌ها، عایق حرارتی مناسب، تخلخل فضایی پوسته نمای بیرونی با هدف سایه‌اندازی حداکثری در تابش‌های بعدازظهر می‌باشد. در این پژوهش نشان داده شد که در مرحله طراحی ساختمان‌های مسکونی با ترکیب فرم بهینه و سایه‌اندازهای خارجی به‌منظور ایجاد پوسته خود سایه‌انداز بهینه در جبهه شمال‌غربی، انرژی سرمایشی تا حد مطلوبی کاهش می‌یابد. مطالعات آینده ممکن است انواع دیگر ساختمان‌ها از نظر مناطق آب‌وهوایی متفاوت، مکان‌ها، نسبت و جهت پنجره‌ها به دیوار، روشنایی روز، مقایسه با اجرای سایه‌اندازهای متحرک، تأثیرات فردی و مشترک و سایر گزینه‌های طراحی منفعل مانند محوطه‌سازی و بام سبز را مدنظر قرار دهد. مطالعات انجام‌شده، طراحان، سازندگان و مالکان را به استفاده از گزینه‌های طراحی منفعل برای بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی متناسب با اقلیم هر منطقه تشویق می‌کند.

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری الناز حیدری با عنوان« تدوین اصول طراحی ساختمان‌های مسکونی بر اساس رابطه فرم و سایه اندازهای خارجی با تأکید بر بهینه سازی مصرف انرژی در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه مورد پژوهش: بوشهر)» می باشد که در دانشکده معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر تحت راهنمایی دکتر جمال الدین مهدی نژاد و مشاوره دکتر پویا دولابی، در حال انجام است.

References

[1] Abdul Mujeebu, M., & Alshamrani, O. S. (2016). Prospects of energy conservation and management in buildings – The Saudi Arabian scenario versus global trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *58*, 1647-1663. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.327

[2] Aflaki, A., Mahyuddin, N., Al-Cheikh Mahmoud, Z., & Baharum, M. R. (2015). A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. *Energy and Buildings*, *101*, 153-162. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.033

[3] Al-Obaidi, S. H. (2011). *Metal works of Mosul school in Abbasid era* (A. N. Talab, M. Afrough, & M. Ahmadi, Trans.). https://db.ketab.ir/bookview.aspx?bookid=1604117

[4] Gupta, N., & Tiwari, G. N. (2016). Review of passive heating/cooling systems of buildings. *Energy Science & Engineering*, *4*(5), 305-333. https://doi.org/10.1002/ese3.129

[5] Hennicke, P., & Bodach, S. (2010). *Energierevolution: Effizienzsteigerung und erneuerbare Energien als globale Herausforderung*. Oekom-Verlag. https://books.google.com/books?id=3CPyQwAACAAJ

[6] Kamal, M. A. (2010). A study on shading of buildings as a preventive measure for passive cooling and energy conservation in buildings. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, *10*(6), 19-22. http://www.ijens.org/102406-5252%20IJCEE-IJENS.pdf

[7] Lim, Y.-W., Kandar, M. Z., Ahmad, M. H., Ossen, D. R., & Abdullah, A. M. (2012). Building façade design for daylighting quality in typical government office building. *Building and Environment*, *57*, 194-204. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.015

[8] Maleki, B. A. (2011). Shading: Passive cooling and energy conservation in buildings. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, *3*(4), 72-79. http://www.iotpe.com/IJTPE/IJTPE-2011/IJTPE-Issue9-Vol3-No4-Dec2011/11-IJTPE-Issue9-Vol3-No4-Dec2011-pp72-79.pdf

[9] Motealleh, P., Zolfaghari, M., & Parsaee, M. (2018). Investigating climate responsive solutions in vernacular architecture of Bushehr city. *HBRC Journal*, *14*(2), 215-223. https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2016.08.001

[10] Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(6), 3559-3573. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045

[11] Palmero-Marrero, A. I., & Oliveira, A. C. (2010). Effect of louver shading devices on building energy requirements. *Applied Energy*, *87*(6), 2040-2049. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.020

[12] Rodriguez-Ubinas, E., Montero, C., Porteros, M., Vega, S., Navarro, I., Castillo-Cagigal, M., Matallanas, E., & Gutiérrez, A. (2014). Passive design strategies and

performance of Net Energy Plus Houses. *Energy and Buildings*, *83*, 10-22. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.074

[13] Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(8), 3617-3631. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014

[14] Tzikopoulos, A. F., Karatza, M. C., & Paravantis, J. A. (2005). Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings. *Energy and Buildings*, *37*(5), 529-544. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.09.002

[15] Robinson, A., & Selkowitz, S. (2013, October). *Tips for daylighting with windows*. L. B. N. L. Environmental Energy Technologies Division. https://escholarship.org/uc/item/5qx2n0gj

[16] Freewan, A. A. Y. (2014). Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions. *Solar Energy*, *102*, 14-30. https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.009

[17] Cho, J., Yoo, C., & Kim, Y. (2014). Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. *Energy and Buildings*, *82*, 771-785. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.092

[18] Alshamrani, O., & Abdul Mujeebu, M. (2016). Effects of shading strategy and orientation on energy performance of school building. *Journal of Architecture and Planning*, *28*(1), 129-141. https://cap.ksu.edu.sa/sites/cap.ksu.edu.sa/files/imce_images/jap_ksu_jan2016_en1.pdf

[19] Tzempelikos, A., & Athienitis, A. K. (2007). The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy*, *81*(3), 369-382. https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.015

[20] Dutta, A., Samanta, A., & Neogi, S. (2017). Influence of orientation and the impact of external window shading on building thermal performance in tropical climate. *Energy and Buildings*, *139*, 680-689. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.018

[21] El-Darwish, I., & Gomaa, M. (2017). Retrofitting strategy for building envelopes to achieve energy efficiency. *Alexandria Engineering Journal*, *56*(4), 579-589. https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.011

[22] Hernández, F. F., Cejudo López, J. M., Peña Suárez, J. M., González Muriano, M. C., & Rueda, S. C. (2017). Effects of louvers shading devices on visual comfort and energy demand of an office building. A case of study. *Energy Procedia*, *140*, 207-216. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.136

[23] Kumar, R., & Kaushik, S. (2005). Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. *Building and Environment*, *40*(11), 1505-1511. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.11.015

[24] Vujošević, M., & Krstić-Furundžić, A. (2017). The influence of atrium on energy performance of hotel building. *Energy and Buildings*, *156*, 140-150. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.068

[25] Nikoofard, S., Ugursal, V. I., & Beausoleil-Morrison, I. (2011). Effect of external shading on household energy requirement for heating and cooling in Canada. *Energy and Buildings*, *43*(7), 1627-1635. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.003