

Evaluating the Effects of Part 19 of Iran's National Building Regulations on Architectural Envelopes for Reducing Fossil Energy Consumption: A Comparative Study of Residential Buildings in Tehran during the 2000s and 2010s

1. Fatemeh Afshari[✉]: Ph.D. Student, Department of Architecture, Ard.C., Islamic Azad University, Ardabil, Iran

2. Masoud Yousefi Tazakor^{✉*}: Assistant Professor, Department of Architecture, Ard.C., Islamic Azad University, Ardabil, Iran.

3. Behrooz Janipour[✉]: Assistant Professor, Department of Green Space Engineering, University of Tehran, Iran

4. Ali Javan Forouzande[✉]: Assistant Professor, Department of Architecture, Ard.C., Islamic Azad University, Ardabil, Iran

*Corresponding Author's Email Address: Myousefy56@gmail.com

How to Cite: Afshari, F., Yousefi Tazakor, M., Janipour, B., & Javan Forouzande, A. (2026). Evaluating the Effects of Part 19 of Iran's National Building Regulations on Architectural Envelopes for Reducing Fossil Energy Consumption: A Comparative Study of Residential Buildings in Tehran during the 2000s and 2010s. *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 4(3), 1-25.

Abstract:

This study aimed to evaluate the effects of implementing Part 19 of Iran's National Building Regulations on the thermal performance of architectural envelopes and fossil energy consumption in residential buildings constructed in Tehran during the 2000s and 2010s. This applied study adopted a descriptive-analytical, quantitative, and comparative design. The study population comprised multistory residential buildings in Tehran, from which six buildings representing the two construction periods were selected through purposive stratified sampling. The cases were comparable in terms of residential use, climatic conditions, floor area, and number of stories. Data were collected through documentary analysis, field observations, and assessment of building-envelope thermal-performance indicators. The evaluated variables included wall and roof U-values, window-to-wall ratio, insulation type and thickness, glazing and frame type, air infiltration, heating and cooling loads, and annual energy consumption. DesignBuilder and Climate Consultant were used to model and compare each building under three scenarios: a conventional baseline, the existing envelope condition, and an optimized condition incorporating improved insulation, high-performance glazing, shading systems, and more efficient building services. Comparative simulation results indicated that existing envelope strategies reduced annual energy consumption by approximately 20% to 47% relative to the conventional baseline. Under the optimized scenarios, the estimated reduction increased to approximately 49%–61%. The Jamaran Building, characterized by a detached brick screen, extensive vegetation, and double-glazed windows, demonstrated the strongest existing performance and the greatest optimization potential. Buildings constructed more recently generally exhibited lower thermal transmittance, better-controlled window-to-wall ratios, greater use of insulation and double glazing, and higher compliance with Part 19 requirements. Nevertheless, no formal inferential statistical tests, confidence intervals, or probability values were reported; therefore, these findings represent comparative inferences derived from energy simulations rather than statistical hypothesis testing. Part 19 provides an essential regulatory basis for reducing fossil energy use in residential buildings; however, its effectiveness depends on integrated climate-responsive envelope design, rigorous construction supervision, and performance-oriented implementation beyond minimum regulatory compliance.

Keywords: Part 19 of the National Building Regulations, architectural envelope, fossil energy consumption, thermal performance, climate-responsive architecture, residential buildings.

Received: 07 May 2026

Revised: 26 June 2026

Accepted: 11 July 2026

Initial Publication: 12 July 2026

Final Publication: 22 November 2026



ارزیابی اثرات مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران بر پوسته‌های معماری در کاهش مصرف انرژی فسیلی: مطالعه تطبیقی ساختمان‌های مسکونی تهران در دهه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ میلادی

۱. فاطمه افشاری^۱: دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

۲. مسعود یوسفی تذکر^۲: استادیار گروه معماری، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران. (نویسنده مسئول)

۳. بهروز جانی پور^۳: استادیار گروه مهندسی فضای سبز، دانشگاه تهران، ایران

۴. علی جوان فروزنده^۴: استادیار گروه معماری، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: Myousefy56@gmail.com

نحوه استناددهی: افشاری، فاطمه، یوسفی تذکر، مسعود، جانی پور، بهروز، و جوان فروزنده، علی. (۱۴۰۵). ارزیابی اثرات مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران بر پوسته‌های معماری در کاهش مصرف انرژی فسیلی: مطالعه تطبیقی ساختمان‌های مسکونی تهران در دهه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ میلادی. تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۴(۳)، ۱-۲۵.

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر اجرای الزامات مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان بر عملکرد حرارتی پوسته معماری و کاهش مصرف انرژی فسیلی در ساختمان‌های مسکونی تهران در دهه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ میلادی انجام شد. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی با رویکرد تطبیقی و کمی بود. جامعه پژوهش را ساختمان‌های مسکونی چندطبقه شهر تهران تشکیل دادند که از میان آن‌ها شش ساختمان متعلق به دو دوره زمانی مورد مطالعه، با روش نمونه‌گیری هدفمند طبقه‌بندی شده انتخاب شدند. نمونه‌ها از نظر کاربری، شرایط اقلیمی، تعداد طبقات و زیربنا قابلیت مقایسه داشتند. داده‌ها از طریق مطالعات اسنادی، برداشت‌های میدانی و ارزیابی شاخص‌های عملکرد حرارتی پوسته گردآوری شدند. ضریب انتقال حرارت جداره‌ها، نسبت سطح پنجره به دیوار، نوع و ضخامت عایق، نوع شیشه و قاب پنجره، نفوذ هوا، بارهای گرمایشی و سرمایشی و مصرف سالانه انرژی ارزیابی شدند. عملکرد هر ساختمان با استفاده از نرم‌افزارهای DesignBuilder و Climate Consultant در سه سناریوی پایه، موجود و بهینه‌سازی شده شبیه‌سازی و مقایسه شد. تحلیل تطبیقی شبیه‌سازی‌ها نشان داد که راهکارهای موجود در پوسته ساختمان‌ها، مصرف سالانه انرژی را در مقایسه با سناریوی پایه بین ۲۰ تا ۴۷ درصد کاهش دادند؛ درحالی‌که اجرای کامل راهکارهای بهینه‌سازی، ظرفیت کاهش مصرف را به ۴۹ تا ۶۱ درصد افزایش داد. ساختمان جماران با پوسته آجری باز، پوشش گیاهی گسترده و پنجره‌های دوجداره، بیشترین کاهش مصرف موجود و بالاترین ظرفیت بهینه‌سازی را نشان داد. ساختمان‌های جدیدتر عموماً دارای ضریب انتقال حرارت کمتر، بازشوهای کنترل‌شده‌تر، عایق‌کاری مؤثرتر و انطباق بیشتر با مبحث نوزدهم بودند. با این حال، آزمون آماری استنباطی رسمی در پژوهش گزارش نشد و نتایج بر استنباط تطبیقی حاصل از شبیه‌سازی انرژی مبتنی بودند. مبحث نوزدهم چارچوبی ضروری برای کاهش مصرف انرژی فسیلی است، اما دستیابی به عملکرد مطلوب مستلزم طراحی یکپارچه و اقلیم‌محور پوسته، مصرف انرژی فسیلی، عملکرد حرارتی، معماری اقلیم‌محور، ساختمان مسکونی.

کلیدواژگان: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، پوسته معماری، مصرف انرژی فسیلی، عملکرد حرارتی، معماری اقلیم‌محور، ساختمان مسکونی.

تاریخ دریافت: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری: ۵ تیر ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش: ۲۰ تیر ۱۴۰۵

اولین انتشار: ۲۱ تیر ۱۴۰۵

انتشار نهایی: ۱ آذر ۱۴۰۵



مقدمه

رشد شتابان شهرنشینی، گسترش ساخت‌وسازهای مسکونی و افزایش وابستگی زندگی شهری به سامانه‌های مکانیکی گرمایش و سرمایش، مصرف انرژی در بخش ساختمان را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و مدیریتی معاصر تبدیل کرده است. ساختمان‌ها بخش قابل توجهی از انرژی نهایی را به‌طور مستقیم برای گرمایش، سرمایش، تهویه، تأمین آب گرم و روشنایی مصرف می‌کنند و به‌طور غیرمستقیم نیز از طریق انرژی نهفته در مصالح و فرایندهای ساخت، سهم چشمگیری در مصرف منابع تجدیدناپذیر و انتشار آلاینده‌ها دارند. بررسی الگوهای جهانی مصرف انرژی نشان می‌دهد که بخش ساختمان، به دلیل طولانی بودن دوره بهره‌برداری، گستردگی سطح زیربنا و وابستگی عملکرد آن به شرایط اقلیمی و رفتار بهره‌برداران، یکی از حوزه‌های اصلی مداخله برای بهبود کارایی انرژی محسوب می‌شود (1). در ایران نیز وفور نسبی و قیمت یارانه‌ای حامل‌های انرژی طی دهه‌های گذشته، در کنار ضعف تاریخی در طراحی اقلیم‌محور، استفاده گسترده از تجهیزات کم‌بازده و اجرای ناقص عایق‌کاری حرارتی، زمینه شکل‌گیری الگوهای پرمصرف را در ساختمان‌های مسکونی فراهم کرده است. ازاین‌رو، کاهش وابستگی ساختمان‌ها به سوخت‌های فسیلی صرفاً یک مسئله فنی نیست، بلکه ضرورتی راهبردی برای کاهش هزینه‌های ملی انرژی، ارتقای امنیت انرژی، بهبود کیفیت محیط‌زیست شهری و حرکت به سوی توسعه پایدار به شمار می‌رود.

عملکرد انرژی ساختمان حاصل تعامل پیچیده‌ای میان اقلیم، فرم معماری، جهت‌گیری بنا، سازمان‌دهی فضایی، ویژگی‌های پوسته خارجی، سامانه‌های تأسیساتی و شیوه استفاده ساکنان است. در این میان، پوسته ساختمان به‌عنوان مرز فیزیکی میان محیط کنترل‌شده داخلی و شرایط متغیر بیرونی، نقشی بنیادین در تنظیم تبادل حرارت، نور، هوا و رطوبت ایفا می‌کند. دیوارهای خارجی، بام، کف مجاور فضای باز، پنجره‌ها، درها، سایه‌بان‌ها و سایر اجزای پوسته می‌توانند از یک سو مانع اتلاف حرارت در فصول سرد شوند و از سوی دیگر، ورود ناخواسته گرما و تابش خورشیدی را در دوره‌های گرم محدود کنند. اصول فیزیک ساختمان نشان می‌دهد که ضریب انتقال حرارت، ظرفیت حرارتی، مقاومت حرارتی، زمان تأخیر حرارتی، ضریب کاهش دامنه، میزان نفوذ هوا و خصوصیات تابشی سطوح، از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد پوسته هستند (2). بنابراین، هرگونه ضعف در طراحی یا اجرای پوسته می‌تواند بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان را افزایش دهد و وابستگی آن را به تجهیزات مکانیکی و مصرف انرژی فسیلی تشدید کند.

معماری اقلیم‌گرا بر این اصل استوار است که ساختمان باید پیش از اتکا به تجهیزات فعال، از ظرفیت‌های محیطی و راهبردهای غیرفعال برای تأمین آسایش حرارتی استفاده کند. جهت‌گیری صحیح، تنظیم نسبت سطوح بازو به جداره، استفاده از جرم حرارتی مناسب، طراحی سایه‌بان، ایجاد تهویه طبیعی، بهره‌گیری کنترل‌شده از تابش خورشیدی و انتخاب مصالح متناسب با اقلیم، از مهم‌ترین اصول این رویکرد هستند. گیونی تأکید می‌کند که هماهنگی میان طراحی ساختمان و ویژگی‌های اقلیم محلی می‌تواند دامنه نوسانات دمای داخلی را کاهش دهد و شرایط آسایش را با حداقل انرژی مکانیکی فراهم سازد (3). رویکرد زیست‌اقلیمی نیز بر پیوند میان متغیرهای آب‌وهوایی و تصمیم‌های معماری تأکید دارد و پوسته ساختمان را ابزاری فعال برای پاسخ‌گویی به تابش، دما، باد و رطوبت می‌داند (4). در مطالعات داخلی نیز بر این موضوع تأکید شده است که شناخت پهنه‌های اقلیمی ایران و انطباق فرم، مصالح و اجزای ساختمان با شرایط منطقه‌ای، می‌تواند میزان نیاز به گرمایش و سرمایش مکانیکی را به‌طور چشمگیری کاهش دهد (5).

با وجود اهمیت اصول معماری اقلیم‌گرا، تحولات ساخت‌وساز معاصر در شهرهای بزرگ ایران، به‌ویژه تهران، در بسیاری از موارد با فاصله گرفتن از الگوهای بومی و افزایش وابستگی به فناوری‌های مکانیکی همراه بوده است. تراکم بالای ساختمانی، محدودیت زمین، تغییر الگوی سکونت، گسترش نماهای شیشه‌ای و سنگی، افزایش سطح بازشوها و اولویت یافتن ملاحظات اقتصادی و زیبایی‌شناختی کوتاه‌مدت، موجب شده است که عملکرد حرارتی پوسته در برخی پروژه‌ها به حاشیه رانده شود. در چنین شرایطی، معماری پرمصرف نه تنها به افزایش هزینه بهره‌برداری می‌انجامد، بلکه آسایش حرارتی ساکنان را نیز به عملکرد مداوم تجهیزات وابسته می‌سازد. مفهوم انرژی در کالبد معماری بر ضرورت ادغام ملاحظات انرژی در فرایند شکل‌گیری فرم، فضا و جزئیات اجرایی تأکید دارد و نشان می‌دهد که بهینه‌سازی انرژی نباید به مرحله نصب تجهیزات محدود شود، بلکه باید از نخستین مراحل تصمیم‌گیری معماری آغاز گردد (6). همچنین، معماری سرآمد از منظر انرژی مستلزم هماهنگی میان طراحی غیرفعال، مصالح کارآمد، فناوری‌های نوین و مدیریت هوشمند بهره‌برداری است (7).

در پاسخ به گسترش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، تدوین مقررات الزام‌آور به یکی از اصلی‌ترین ابزارهای سیاست‌گذاری تبدیل شده است. مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش انتقال حرارت از پوسته، بهبود راندمان سامانه‌های تأسیساتی و ارتقای کیفیت عملکرد انرژی ساختمان‌ها تدوین شده است. این مبحث الزامات مشخصی را درباره مقاومت حرارتی جداره‌ها، مشخصات درها و پنجره‌ها، کنترل نفوذ هوا، عایق‌کاری حرارتی، کاهش پل‌های حرارتی و بهره‌گیری از تجهیزات با بازده مناسب ارائه می‌کند. راهنمای طراحی پوسته ساختمان با رویکرد بهینه‌سازی مصرف انرژی نیز بر ضرورت محاسبه دقیق اجزای پوسته، انتخاب مصالح مناسب و کنترل کیفیت اجرای جزئیات اتصال تأکید کرده است (8). از منظر استانداردهای بین‌المللی، ارزیابی کارایی انرژی باید بر پایه مجموعه‌ای از شاخص‌های قابل‌اندازه‌گیری، شامل انتقال حرارت، بار گرمایشی و سرمایشی، نفوذ هوا، مصرف سالانه انرژی و شرایط آسایش داخلی انجام شود (9). در نتیجه، اثربخشی مقررات زمانی تحقق می‌یابد که الزامات محاسباتی، تصمیم‌های طراحی و کیفیت اجرای ساختمان در یک چارچوب منسجم به یکدیگر پیوند داده شوند.

مطالعات انجام‌شده درباره ساختمان‌های مسکونی تهران نشان می‌دهد که اجرای مقررات ملی ساختمان می‌تواند به کاهش مصرف انرژی منجر شود، اما شدت این اثر به میزان رعایت الزامات و کیفیت واقعی اجرای پوسته وابسته است. بررسی آثار مقررات ملی ساختمان بر مصرف انرژی واحدهای مسکونی تهران نشان داده است که کاربرد عایق حرارتی، بهبود مشخصات پنجره‌ها و کنترل انتقال حرارت از جداره‌های خارجی، ظرفیت قابل‌توجهی برای کاهش بارهای حرارتی دارد (10). تحلیل عملکرد پوسته با تأکید بر مبحث نوزدهم نیز بیانگر آن است که صرف درج مشخصات فنی در نقشه‌ها برای تحقق اهداف انرژی کافی نیست و کیفیت مصالح، اجرای پیوسته عایق، حذف پل‌های حرارتی و نصب صحیح بازشوها، نقش تعیین‌کننده‌ای در نتیجه نهایی دارند (11). از این رو، فاصله میان انطباق اسنادی و عملکرد واقعی ساختمان، یکی از چالش‌های اساسی اجرای مقررات انرژی در ایران به شمار می‌رود.

مطالعات تطبیقی ساختمان‌های احداث‌شده پیش و پس از گسترش اجرای مبحث نوزدهم، امکان ارزیابی روند تغییرات در کیفیت پوسته و مصرف انرژی را فراهم می‌کنند. مقایسه ساختمان‌های مسکونی تهران در دوره‌های مختلف نشان داده است که ساختمان‌های جدیدتر، به‌طور کلی، از عایق‌کاری گسترده‌تر، پنجره‌های دوجداره، قاب‌های کارآمدتر و توجه بیشتر به کنترل انتقال حرارت برخوردارند؛ با این حال، میزان انطباق پروژه‌ها یکسان نیست و در بسیاری از موارد، اجرای مقررات در سطح حداقل باقی مانده است (12). این مسئله می‌تواند ناشی از تفاوت در سطح آگاهی طراحان، توان اقتصادی کارفرمایان، دسترسی به مصالح

استاندارد، کیفیت نظارت و مهارت مجریان باشد. به همین دلیل، دوره ساخت به تنهایی نمی تواند تضمین کننده عملکرد مطلوب باشد، اما می تواند به عنوان شاخصی برای میزان مواجهه پروژه ها با مقررات اصلاح شده، فناوری های جدید و دانش حرفه ای مرتبط با انرژی در نظر گرفته شود.

ویژگی های فیزیکی مصالح و لایه های تشکیل دهنده پوسته نیز تأثیر مستقیمی بر رفتار حرارتی ساختمان دارند. مطالعات انجام شده بر ساختمان های بلندمرتبه نشان داده اند که ضخامت، چگالی، ظرفیت حرارتی و آرایش لایه های جداره، زمان تأخیر ورود موج حرارتی و ضریب کاهش انتقال حرارت را تغییر می دهند (13). در اقلیم هایی با اختلاف دمای محسوس شب و روز، استفاده مناسب از جرم حرارتی می تواند انتقال اوج حرارت به فضای داخلی را به ساعات کم بار منتقل کند و نیاز به سرمایش مکانیکی را کاهش دهد. در مقابل، جداره های سبک و فاقد عایق ممکن است به تغییرات دمای بیرون پاسخ سریع نشان دهند و نوسانات حرارتی داخل را افزایش دهند. پژوهش درباره طراحی پوسته ساختمان های مسکونی نیز نشان داده است که ضخامت عایق، محل قرارگیری آن و نسبت سطوح شفاف به کدر می تواند به طور معناداری بارهای گرمایشی و سرمایشی را تغییر دهد (14). بنابراین، ارزیابی عملکرد پوسته باید فراتر از ظاهر نما انجام شود و ساختار لایه ای، خواص حرارتی مصالح و کیفیت اتصالات را نیز در بر گیرد.

بازشوها از آسیب پذیرترین اجزای پوسته در برابر انتقال حرارت و نفوذ هوا محسوب می شوند. سطح شیشه، نوع شیشه، تعداد لایه ها، فاصله هوایی، پوشش کم گسیل، جنس قاب و کیفیت درزبندی، همگی بر تبادل حرارت اثر می گذارند. افزایش کنترل نشده نسبت پنجره به دیوار ممکن است موجب افزایش جذب تابش خورشیدی در تابستان و اتلاف حرارت در زمستان شود، درحالی که طراحی متناسب بازشوها می تواند نور طبیعی، دید، تهویه و آسایش حرارتی را به طور هم زمان تأمین کند. پژوهش های مربوط به روش های صرفه جویی انرژی در خانه های کم مصرف، ترکیب عایق کاری مناسب، بازشوهای استاندارد، سایه بان های مؤثر و تجهیزات کارآمد را از مهم ترین راهبردهای کاهش تقاضای انرژی معرفی کرده اند (15). همچنین، بررسی کمی تأثیر شاخص های آسایش حرارتی بر مصرف انرژی ساختمان های مسکونی نشان داده است که تنظیم شرایط داخلی صرفاً بر اساس محدوده های ثابت و بدون توجه به سازگاری اقلیمی می تواند به مصرف بیش از اندازه انرژی منجر شود (16).

یکی از راهبردهای مهم برای بهبود رفتار حرارتی نما، استفاده از پوسته های دوگانه است. نمای دوپوسته با ایجاد فضای میانی میان لایه خارجی و جداره اصلی، امکان کنترل تابش، تهویه حفره و تعدیل شرایط حرارتی را فراهم می کند. با این حال، کارایی این سامانه به نوع مصالح، فاصله دو پوسته، ابعاد بازشوها، جهت نما و شیوه مدیریت جریان هوا وابسته است. مطالعات انجام شده در اقلیم تهران نشان داده اند که پوسته دوگانه در صورت طراحی صحیح می تواند از ورود مستقیم تابش جلوگیری کرده و به کاهش بار سرمایشی کمک کند (17). بررسی تعداد لایه های داخلی و خارجی نماهای دوپوسته نیز بیانگر آن است که تغییر ساختار پوسته می تواند الگوی مصرف انرژی ساختمان های اداری و آموزشی را به طور محسوسی تحت تأثیر قرار دهد (18). در اقلیم گرم و خشک ایران نیز ظرفیت پوسته های دوجداره برای کاهش مصرف انرژی تأیید شده است، هرچند طراحی نامتناسب حفره یا تهویه ناکافی ممکن است موجب تجمع حرارت و کاهش کارایی سامانه شود (19).

مقایسه نماهای مختلف نشان می دهد که انتخاب یک فناوری صرفاً به دلیل ویژگی های ظاهری یا شهرت آن، الزاماً به عملکرد بهتر انرژی منجر نمی شود. بررسی تطبیقی بارهای حرارتی و برودتی نماهای لامل و دوپوسته شیشه ای در اقلیم خشک نشان داده است که رفتار انرژی هر نما به نحوه پاسخ آن به تابش، جریان هوا و شرایط بهره برداری وابسته است (20). بنابراین، ارزیابی پوسته باید مبتنی بر شبیه سازی و داده های اقلیمی باشد و نمی توان یک راهکار واحد را برای

همه جهت‌ها، گونه‌های ساختمانی و شرایط اقتصادی تجویز کرد. بهره‌گیری از ابزارهای شبیه‌سازی انرژی این امکان را فراهم می‌سازد که اثر مستقل یا ترکیبی عایق، شیشه، سایه‌بان، جرم حرارتی و سامانه‌های تأسیساتی پیش از اجرا بررسی شود. این رویکرد، تصمیم‌گیری طراحی را از قضاوت‌های صرفاً تجربی به سوی ارزیابی عملکردمحور هدایت می‌کند.

در کنار کاهش تقاضای انرژی، ادغام سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر با طراحی معماری نیز می‌تواند وابستگی ساختمان به منابع فسیلی را کاهش دهد. باین حال، استفاده از انرژی خورشیدی یا سایر منابع تجدیدپذیر زمانی اثربخش‌تر است که ابتدا تقاضای انرژی ساختمان از طریق بهبود پوسته و راهبردهای غیرفعال کاهش یافته باشد. تعامل معماری و انرژی‌های نو نیازمند هماهنگی میان فرم ساختمان، جهت‌گیری، سطح در دسترس پوسته، شرایط سایه‌اندازی و فناوری تولید انرژی است (21). در غیر این صورت، نصب تجهیزات تجدیدپذیر بر ساختمانی با پوسته ناکارآمد ممکن است تنها بخشی از مصرف بالا را جبران کند، بدون آنکه مسئله اصلی اتلاف انرژی برطرف شود. از این رو، سلسله‌مراتب منطقی طراحی انرژی شامل کاهش تقاضا، بهبود بازده سامانه‌ها و سپس تأمین بخشی از انرژی از منابع تجدیدپذیر است.

تهران به دلیل وسعت، تراکم جمعیت، تنوع بافت‌های شهری، تفاوت‌های ارتفاعی و حجم گسترده ساخت‌وساز مسکونی، بستر مهمی برای ارزیابی پیامدهای اجرای مبحث نوزدهم است. ساختمان‌های احداث‌شده در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ خورشیدی، دوره‌ای از گذار میان شیوه‌های متعارف ساخت و افزایش تدریجی توجه به ضوابط انرژی را نمایندگی می‌کنند. در این دوره، هم‌زمان با توسعه استفاده از پنجره‌های دوجداره، عایق‌های حرارتی و نماهای چندلایه، گرایش به طراحی نماهای پیچیده، افزایش سطوح شفاف و به‌کارگیری مصالح جدید نیز گسترش یافت. در نتیجه، کیفیت انرژی ساختمان‌های این دو دهه را نمی‌توان صرفاً بر اساس جدید یا قدیمی بودن آن‌ها تعیین کرد و لازم است مشخصات واقعی پوسته، راهبردهای اقلیمی و میزان انطباق با الزامات مبحث نوزدهم به‌صورت موردی ارزیابی شوند. همچنین، نمونه‌های معماری می‌توانند نشان دهند که راهکارهایی مانند مشبک‌های آجری، پوسته‌های گیاهی، ایوان‌های عمیق، کرکره‌های متحرک و نماهای دوپوسته چگونه در کنار عایق‌کاری و پنجره استاندارد بر مصرف انرژی اثر می‌گذارند.

با وجود مطالعات متعدد درباره مصرف انرژی ساختمان، بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های داخلی یا بر محاسبات کلی بار حرارتی متمرکز بوده‌اند، یا سامانه‌های تأسیساتی را به‌عنوان عامل اصلی کارایی انرژی بررسی کرده‌اند. در مقابل، مطالعات تطبیقی که نقش پوسته معماری را در ساختمان‌های واقعی دو دوره زمانی و تحت شرایط اقلیمی نسبتاً مشابه تهران تحلیل کنند، همچنان محدود هستند. افزون بر این، بسیاری از ارزیابی‌ها میان رعایت حداقل الزامات مقرراتی و دستیابی به عملکرد بهینه تمایز روشنی قائل نشده‌اند. این تمایز اهمیت زیادی دارد؛ زیرا یک ساختمان ممکن است از نظر اداری منطبق با مقررات شناخته شود، اما به دلیل اجرای ناقص عایق، وجود پل حرارتی، درزبندی نامناسب یا طراحی ناکارآمد بازشوها، در عمل مصرف انرژی بالایی داشته باشد. از سوی دیگر، برخی ساختمان‌ها ممکن است با بهره‌گیری از راهبردهای اقلیمی و عناصر معماری غیرفعال، حتی بدون برخورداری از کامل‌ترین تجهیزات، عملکرد مطلوب‌تری نشان دهند. بنابراین، مقایسه سناریوی پایه، وضعیت موجود و وضعیت بهینه‌شده می‌تواند تصویری دقیق‌تر از تأثیر واقعی پوسته و ظرفیت ارتقای آن ارائه کند.

بر این اساس، مسئله اصلی آن است که اجرای مبحث نوزدهم تا چه اندازه توانسته است کیفیت حرارتی پوسته ساختمان‌های مسکونی تهران را در دو دهه مورد بررسی بهبود دهد، کدام مؤلفه‌های پوسته بیشترین نقش را در کاهش مصرف انرژی داشته‌اند و چه فاصله‌ای میان عملکرد موجود ساختمان‌ها و ظرفیت بهینه آن‌ها وجود دارد. پاسخ به این مسئله می‌تواند برای بازنگری ضوابط، تقویت نظام کنترل و نظارت، بهبود آموزش حرفه‌ای معماران و هدایت تصمیم‌های طراحی

به سوی ارزیابی عملکرد محور مفید باشد. همچنین، تحلیل نمونه‌های واقعی امکان شناسایی راهکارهایی را فراهم می‌کند که علاوه بر رعایت مقررات، با اقلیم تهران، امکانات اجرایی و محدودیت‌های اقتصادی ساخت و ساز مسکونی سازگاری بیشتری دارند.

هدف پژوهش حاضر ارزیابی تأثیر اجرای الزامات مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان بر عملکرد حرارتی پوسته‌های معماری و کاهش مصرف انرژی فسیلی و مقایسه ساختمان‌های مسکونی منتخب تهران در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ خورشیدی است.

روش‌شناسی پژوهش

روش تحقیق مقاله حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی - تحلیلی است و با رویکرد علی - مقایسه‌ای انجام شده است. هدف اصلی، ارزیابی میزان تأثیر اجرای الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بر عملکرد پوسته‌های معماری و کاهش مصرف انرژی فسیلی در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران و مقایسه آن در دو بازه زمانی ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ خورشیدی است. محدوده مکانی پژوهش، شهر تهران و محدوده زمانی آن ساختمان‌های مسکونی احداث شده در دهه‌های ۱۳۸۰ و دهه ۱۳۹۰ خورشیدی است. انتخاب شهر تهران به دلیل سهم بالای مصرف انرژی در بخش ساختمان، تنوع تیپ‌های ساختمانی و نقش آن به عنوان الگوی ساخت و ساز در کشور صورت گرفته است. جامعه آماری شامل برخی ساختمان‌های مسکونی چند طبقه که در دهه‌های مورد نظر احداث شده‌اند می‌باشد. نمونه‌های منتخب از روش هدفمند طبقه‌بندی شده انتخاب و شامل سه نمونه ساختمان‌های مسکونی دهه ۱۳۸۰ (جدول ۱) و سه نمونه ساختمان‌های مسکونی دهه ۱۳۹۰ (جدول ۲) می‌باشند. در هر گروه ساختمان‌هایی انتخاب شده‌اند که کاربری صرفاً مسکونی داشته باشند و در اقلیم نسبتاً مشابه (اقلیم نیمه خشک تهران) واقع و از نظر تعداد طبقات و زیربنا قابل مقایسه باشند. این رویکرد امکان مقایسه معنادار عملکرد پوسته معماری را فراهم می‌سازد.

جدول ۱. نمونه‌های منتخب اجرا شده در دهه ۱۳۸۰ خورشیدی در تهران

ردیف	نام ساختمان	محل ساخت	طراح	تصویر پروژه
۱	ساختمان کهریزک	کهریزک	استودیو معماری کات	
۲	ساختمان اندرزگو	اندرزگو	دفتر معماری آیین	



۳ ساختمان صبا هروی دفتر معماری تداوم پویا

جدول ۲. نمونه‌های منتخب اجرا شده در دهه ۱۳۹۰ خورشیدی در تهران

ردیف	نام ساختمان	محل ساخت	طراح	تصویر پروژه
۱	ساختمان الهیه	الهیه	بهروز بیات	
۲	ساختمان جماران	جماران	مهدی پناهی	
۳	ساختمان زندگی	توانیر	مرجان فرضیان	

شاخص‌ها و معیارهای سنجش پژوهش

به منظور ارزیابی میزان تاثیر اجرای الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بر عملکرد پوسته‌های معماری و کاهش مصرف انرژی فسیلی، شاخص‌های پژوهش در دو دسته: شاخص‌های پوسته معماری (جدول ۳) و شاخص‌های انرژی (جدول ۴) تعریف شده‌اند. انتخاب این شاخص‌ها با توجه به مبانی نظری و سوابق پژوهش الزامات مبحث ۱۹ و قابلیت سنجش در مطالعات موردی انجام شده است.

جدول ۳. شاخص‌های ارزیابی پوسته معماری

ردیف	شاخص	تعریف مفهومی	معیار سنجش	منبع
۱	ضریب انتقال حرارت جداره ها (U-value)	میزان انتقال حرارت از طریق دیوارها و سقف	w/m^2	مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان
۲	نسبت سطح پنجره به دیوار (WWR)	نسبت مساحت بازشوها به سطح کل نما	(%)	Olgyay
۳	نوع و ضخامت عایق حرارتی	میزان مقاومت حرارتی جداره ها	R-value	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
۴	نوع شیشه پنجره	تک جداره، دو جداره، کم گسیل	کیفی-طبقه ای	Givoni, ۱۹۹۸
۵	جنس قاب پنجره	آلومینیومی، یوپی وی سی، چوبی	کیفی-طبقه ای	مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان
۶	میزان نفوذ هوا	میزان تبادل ناخواسته هوا از پوسته	نسبی (کم/متوسط/زیاد)	ASHRAE

جدول ۴. شاخص‌های ارزیابی انرژی

ردیف	شاخص	تعریف	واحد سنجش	هدف
۱	مصرف انرژی فسیلی سالانه	میزان کل انرژی مصرفی ساختمان	$Kwh/m^2 \cdot year$	مقایسه عملکرد
۲	بار گرمایشی	انرژی مورد نیاز برای گرمایش	Kwh	ارزیابی اتلاف حرارتی
۳	بار سرمایشی	انرژی مورد نیاز برای سرمایش	Kwh	ارزیابی جذب حرارتی
۴	شاخص مصرف انرژی	انرژی مصرفی به ازای سطح زیربنا	Kwh/m^2	شاخص کلیدی عملکرد

معیار انطباق با مبحث ۱۹

شاخص‌های معیار انطباق با مبحث ۱۹ در سه سطح: انطباق کامل، انطباق نسبی، عدم انطباق، در جدول (۵) بیان شده است.

جدول ۵. شاخص‌های معیار انطباق با مبحث ۱۹

تعریف	سطح انطباق
رعایت کامل الزامات حرارتی مطابق با مبحث ۱۹	انطباق کامل
رعایت بخشی از الزامات (نقص در طراحی یا اجرا)	انطباق نسبی
عدم رعایت الزامات حرارتی پوسته	عدم انطباق

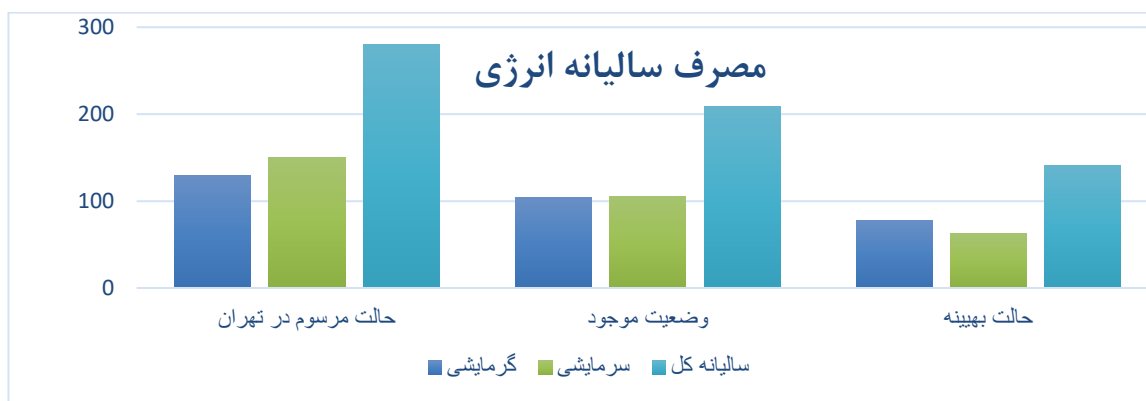
این طبقه بندی امکان مقایسه کمی-کیفی میان ساختمان‌های دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ را فراهم می‌سازد.

برای محاسبه میزان کاهش مصرف انرژی فسیلی در نمونه‌های موردی، سناریوهای مختلفی به فراخور مشخصات هر نمونه در نظر گرفته و با نرم افزار دیزاین بیلدر آنالیز شد که نتایج آن در (جداول ۶ تا ۱۲) مشاهده می‌گردد.

جدول ۶. نتایج حاصل از شبیه سازی و تحلیل ساختمان کهریزک در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

ردیف	وضعیت پوسته ساختمان	مصرف انرژی گرمایشی (kWh/m ²)	مصرف انرژی سرمایشی (kWh/m ²)	مصرف انرژی سالیانه (kWh/m ²)	کاهش مصرف نسبت به حالت مرسوم
۱	حالت مرسوم در کهریزک (بدون عایق، پنجره تک جداره، بدون سایه بان، بدون مشبک)	۱۳۰	۱۵۰	۲۸۰	(مبنای محاسبه)
۲	وضعیت موجود (ساختمان کهریزک: مدول‌های آجری مشبک + آجر سفالی سوراخدار + پنجره‌های قدی)	۱۰۴	۱۰۵	۲۰۹	~۲۵٪
۳	حالت بهینه‌سازی شده (وضعیت موجود + عایق‌کاری کامل پوسته + پنجره دوجداره کم‌گسیل + سامانه خورشیدی)	۷۸	۶۳	۱۴۱	~۵۰٪

با توجه به موقعیت جغرافیایی ساختمان کهریزک که در جنوب شهر تهران قرار دارد، الگوی مصرف کاملاً متفاوتی نسبت به نمونه‌های شمال تهران دارد. سهم مصرف سرمایشی در این ساختمان بیشتر از گرمایشی است. مشبک‌های آجری (مشربی‌ها) با ایجاد سایه دائمی و آجر سفالی سوراخدار به عنوان مصالح بومی با خاصیت عایق‌بودن نسبی، توانسته‌اند مصرف انرژی را ۲۵ درصد نسبت به حالت مرسوم منطقه کاهش دهند. همچنین پتانسیل بهینه‌سازی ۵۰ درصدی این ساختمان نشان دهنده آن است که حتی در مناطق کم‌برخوردار، با تخصیص منابع محدود برای عایق‌کاری و پنجره استاندارد، می‌توان بهبود قابل توجهی در زمینه مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر ایجاد کرد (شکل‌های ۱ تا ۶).

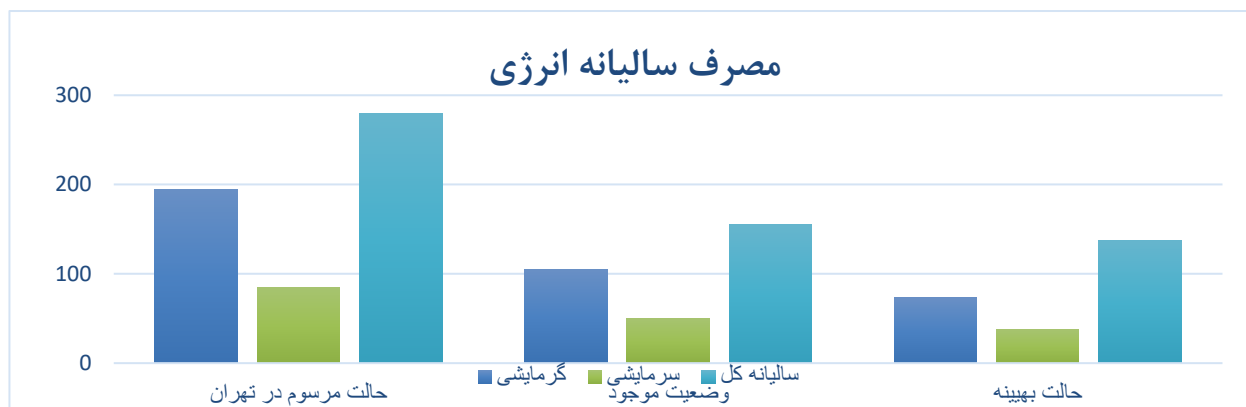


شکل ۱. میزان مصرف انرژی ساختمان کهریزک

جدول ۷. نتایج حاصل از شبیه سازی و تحلیل ساختمان اندرزگو در دیزاین بیلدر

ردیف	وضعیت پوسته ساختمان	مصرف گرمایشی (kWh/m ²)	انرژی مصرف سرمایه‌ی (kWh/m ²)	مصرف سالیانه انرژی (kWh/m ²)	کاهش مصرف نسبت به حالت مرسوم
۱	حالت مرسوم در تهران (بدون عایق، پنجره دوجداره، بدون سایه‌بان)	۱۹۵	۸۵	۲۸۰	مبنای محاسبه
۲	وضعیت موجود (ساختمان اندرزگو): سنگ گرانیت، کرکره چوبی متحرک، پنجره دوجداره	۱۰۵	۵۰	۱۵۵	~۴۴٪
۳	حالت بهینه‌سازی شده (وضعیت موجود + عایق‌کاری کامل پوسته + شیر ترموستاتیک)	۷۳	۳۸	۱۱۱	~۶۰٪

بکارگیری همزمان از سه راهکار غیرفعال (کرکره چوبی متحرک برای کنترل نور مزاحم غرب، سنگ گرانیت خاکستری با جذب حرارت پایین و حیاط خلوت شمالی برای نورگیری فضاهای شمالی)، در این ساختمان، راندمان بالای انرژی را به همراه داشته است. بطوریکه مصرف سالیانه این ساختمان ۱۵۵ کیلووات ساعت بر مترمربع است که نسبت به حالت مرسوم ۴۲.۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد. با نگاهی به تحلیل بدست آمده مشاهده می‌شود که ترکیب چند راهکار غیرفعال می‌تواند اثربخشی بیشتری نسبت به یک راهکار واحد داشته باشد. همچنین پتانسیل بهینه‌سازی این ساختمان با افزودن عایق حرارتی به پوسته اصلی و ارتقاء پنجره‌ها به نوع کم‌گسیل (Low-E)، مصرف را به ۱۱۲ کیلووات ساعت بر مترمربع (۵۸.۵ درصد کاهش) خواهد رساند.

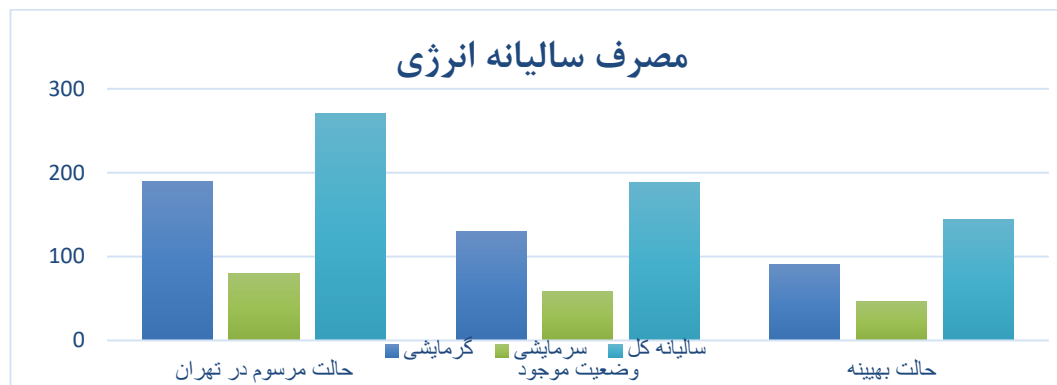


شکل ۲. میزان مصرف انرژی ساختمان اندرزگو

جدول ۸. نتایج حاصل از شبیه سازی و تحلیل ساختمان صبا در دیزاین بیلدر

ردیف	وضعیت پوسته ساختمان	مصرف گرمایشی (kWh/m ²)	انرژی مصرف سرمایه‌ی (kWh/m ²)	مصرف سالیانه انرژی (kWh/m ²)	کاهش مصرف نسبت به حالت مرسوم
۱	حالت مرسوم در تهران (بدون عایق، پنجره تک‌جداره، بدون کنترل هوشمند)	۱۹۰	۸۰	۲۷۰	مبنای محاسبه
۲	وضعیت موجود (ساختمان صبا): نمای دوپوسته، پنجره دوجداره، مصالح محلی	۱۳۰	۵۸	۱۸۸	~۳۰٪
۳	حالت بهینه‌سازی شده (وضعیت موجود + عایق‌کاری کامل پوسته + شیر ترموستاتیک)	۹۱	۴۶	۱۳۷	~۴۹٪

ساختمان صبا با نمای دوپوسته چوبی متحرک، نمونه‌ای از معماری دوره گذار است که هم‌زمان با اجباری شدن اجرای الزامات مبحث ۱۹ طراحی شده است. طبق شبیه‌سازی‌ها مشاهده می‌شود که پوسته دوم چوبی با ایجاد فضای حائل حرارتی و کنترل نور مزاحم، توانسته مصرف انرژی را نسبت به حالت مرسوم ۳۰ درصد کاهش داده و به ۱۸۸ کیلووات ساعت بر مترمربع برساند. با این حال، نبود عایق حرارتی استاندارد در جداره اصلی و کیفیت متوسط پنجره‌ها، مانع از دستیابی به پتانسیل کامل صرفه‌جویی شده است. در حالت فرضی بهینه‌سازی شده با افزودن عایق حرارتی به پوسته داخلی و ارتقاء سیستم تأسیسات، امکان کاهش مصرف تا ۴۹ درصد و به ۱۳۷ کیلووات ساعت بر مترمربع وجود دارد.

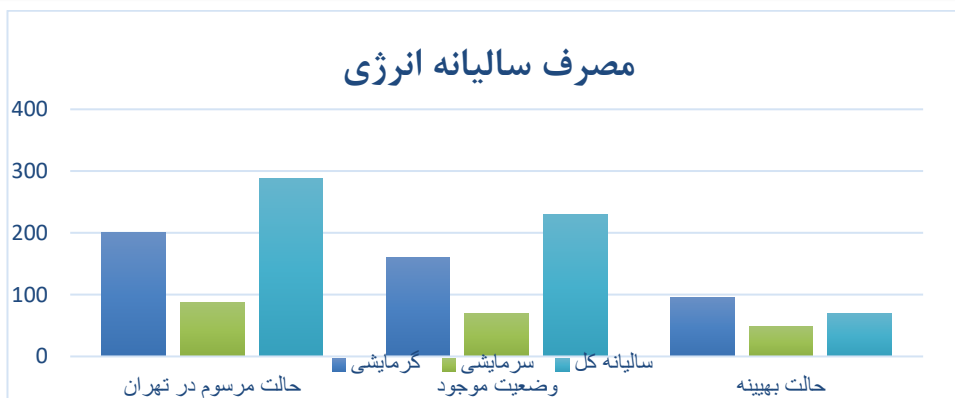


شکل ۳: میزان مصرف انرژی ساختمان صبا

جدول ۹. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تحلیل ساختمان الهیه در دیزاین بیلدر

ردیف	وضعیت پوسته ساختمان	مصرف گرمایشی (kWh/m²)	مصرف سرمایشی (kWh/m²)	مصرف انرژی سالیانه (kWh/m²)	انرژی کل	کاهش مصرف نسبت به حالت مرسوم
۱	حالت مرسوم در تهران (دون عایق، پنجره دوجداره، بدون سایه‌بان)	۲۰۰	۸۸	۲۸۸	(مبنای محاسبه)	
۲	وضعیت موجود (ساختمان الهیه، طراحی بهروز بیات، سال ۱۳۸۱)	۱۶۰	۷۰	۲۳۰	~۲۰٪	
۳	حالت بهینه‌سازی شده (اعمال الزامات کامل مبحث ۱۹ بر روی طراحی بهروز بیات)	۹۶	۴۸	۱۴۴	~۵۰٪	

در ساختمان مسکونی الهیه، علیرغم تعلق به دوره پیش از الزامات سختگیرانه مبحث ۱۹ (سال ۱۳۸۱)، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کاهش ۲۰ درصدی مصرف نسبت به حالت مرسوم است و بیشتر ناشی از طراحی اقلیمی هوشمندانه معمار (بهروز بیات) و تأمین نور و تهویه طبیعی فضاهاست، اما نبود الزامات قانونی در آن دوره، مانع از دستیابی به عملکرد بهینه‌تر شده است. پتانسیل قابل توجه بهینه‌سازی (تا ۵۰ درصد) نشان می‌دهد که اگر این ساختمان با همان کیفیت طراحی، اما منطبق بر الزامات امروزی مبحث ۱۹ ساخته می‌شد، می‌توانست به مصرف ۱۴۴ کیلووات ساعت بر مترمربع دست یابد.



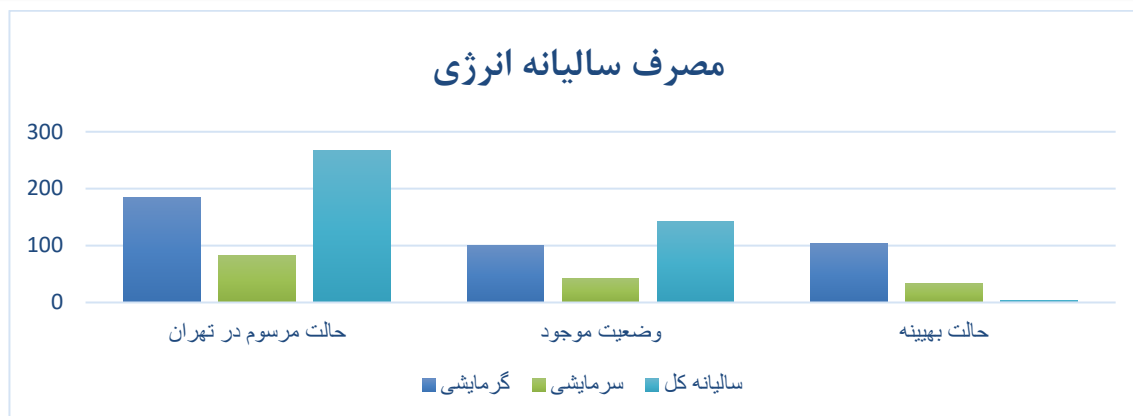
شکل ۴. میزان مصرف انرژی ساختمان الهیه

جدول ۱۰. نتایج حاصل از شبیه سازی و تحلیل ساختمان جماران در دیزاین بیلدر

ردیف	وضعیت پوسته ساختمان	مصرف گرمایشی (kWh/m²)	مصرف سرمایشی (kWh/m²)	انرژی مصرف	مصرف سالیانه (kWh/m²)	انرژی کل	کاهش مصرف نسبت به حالت مرسوم
۱	حالت مرسوم در تهران (بدون عایق، پنجره دوجداره، بدون سایه بان، بدون فضای سبز)	۱۸۵	۸۲	۲۶۷	۲۶۷	۲۶۷	مبنای محاسبه
۲	وضعیت موجود (ساختمان جماران: پوسته باز آجری با فاصله از بدنه + گیاهان گسترده + پنجره دوجداره)	۱۰۰	۴۲	۱۴۲	۱۴۲	۱۴۲	~۴۷٪
۳	حالت بهینه سازی شده (وضعیت موجود + عایق کاری کامل پوسته اصلی + بهینه سازی سیستم تأسیسات)	۷۰	۳۳	۱۰۳	۱۰۳	۱۰۳	~۶۱٪

در تحلیل نتایج شبیه سازی، ساختمان جماران با رویکرد "خانه سبز" و آمیختگی پوسته معماری با گیاهان گسترده، بهترین عملکرد انرژی را در میان نمونه های مورد مطالعه نشان می دهد. اجرای پوسته باز از جنس آجر با فاصله از بدنه اصلی، همراه با گیاهان در هر دو سوی پوسته، از طریق سایه اندازی و خنک سازی تبخیری (تعریق)، بار سرمایشی را به شدت کاهش داده است. مصرف سالیانه این ساختمان ۱۴۲ کیلووات ساعت بر مترمربع است که ۴۷ درصد کمتر از حالت مرسوم می باشد. مهمترین دستاورد این ساختمان، مصرف سرمایشی ۴۲ کیلووات ساعت بر مترمربع است که پایین ترین میزان در میان تمام نمونه های موردی دیگر می باشد. با بهینه سازی حالت موجود، (عایق کاری پوسته اصلی و سیستم تأسیسات کارآمدتر)، پتانسیل کاهش مصرف تا ۶۱ درصد (رسیدن به ۱۰۳ کیلووات ساعت بر مترمربع) وجود دارد.

ترکیب چندین راهکار معماری غیرفعال با هم بیشترین بازده را در زمینه کاهش وابستگی به انرژی های تجدیدناپذیر دارد.

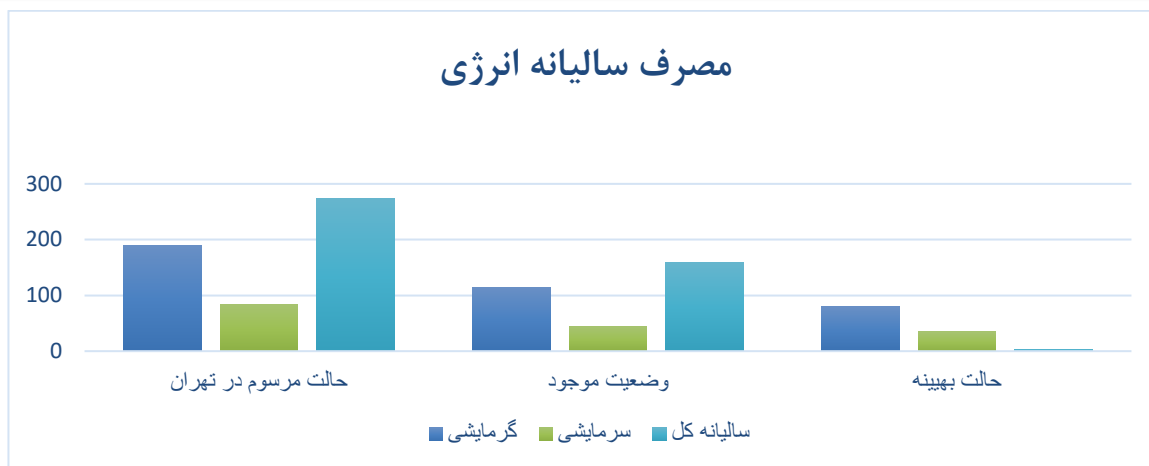


شکل ۵. میزان مصرف انرژی ساختمان جماران

جدول ۱۱. نتایج حاصل از شبیه سازی و تحلیل ساختمان زندگی در دیزاین بیلدر

ردیف	وضعیت پوسته ساختمان	مصرف انرژی گرمایشی (kWh/m ²)	مصرف انرژی سرمایشی (kWh/m ²)	مصرف انرژی کل (kWh/m ²)	کاهش مصرف نسبت به حالت مرسوم
۱	حالت مرسوم در تهران (بدون عایق، پنجره دوجداره، بدون سایه بان، بدون ایوان)	۱۹۰	۸۴	۲۷۴	(مبنای محاسبه)
۲	وضعیت موجود (ساختمان زندگی: ایوان های عمیق + بازشوهای بهینه + پنجره دوجداره)	۱۱۵	۴۴	۱۵۹	~۴۲٪
۳	حالت بهینه سازی شده (وضعیت موجود + عایق کاری کامل پوسته + بهینه سازی سیستم تأسیسات + پنجره کم گسیل)	۸۰	۳۵	۱۱۵	~۵۸٪

در ساختمان زندگی با تأکید بر ایوان های عمیق و فضای نیمه باز مسکونی، راهکار متفاوتی برای کنترل شرایط اقلیمی ایجاد شده است. وجود ایوان های عمیق به عنوان سایه بان دائمی عمل کرده و از تابش مستقیم به جداره های شیشه ای جلوگیری می کنند و امکان تهویه طبیعی متقابل را هم بطور همزمان فراهم می آورند. مصرف سالیانه این ساختمان ۱۵۹ کیلووات ساعت بر مترمربع است که ۴۲ درصد کاهش نسبت به حالت مرسوم را نشان می دهد. در صورت بهینه سازی این ساختمان با عایق کاری حرارتی و جایگزینی پنجره های این ساختمان با پنجره های سه جداره، می توان مصرف را به ۱۱۵ کیلووات ساعت بر مترمربع (۵۸ درصد کاهش) رساند.



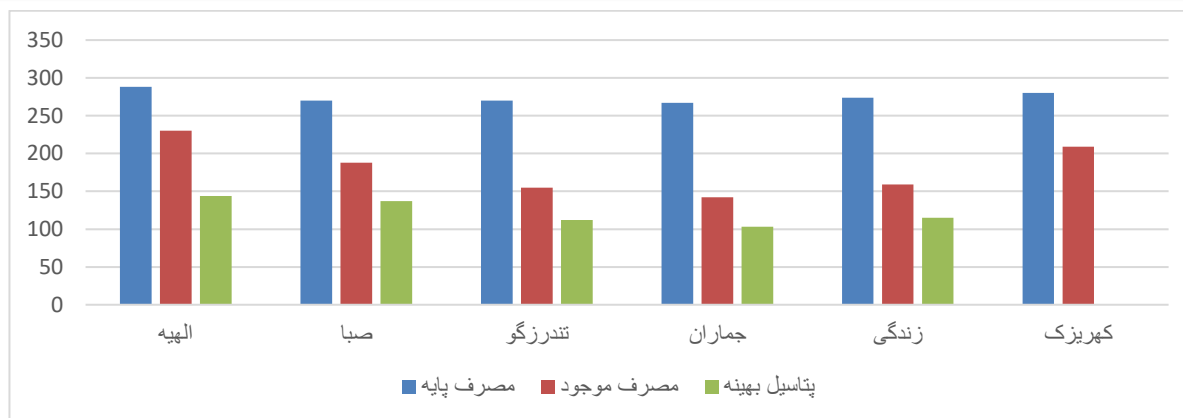
شکل ۶. میزان مصرف انرژی ساختمان زندگی

یافته‌های پژوهش

با آنالیزهای انجام شده، یافته‌های این مقاله بر اساس تحلیل تطبیقی شاخص‌های عملکرد پسته معماری و مصرف انرژی فسیلی در ساختمان‌های مسکونی دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ شهر تهران استخراج و در جدول ۱۲ و شکل ۷ با هم مقایسه شده است.

جدول ۱۲. مقایسه کلی نمونه‌های موردی با هم

ردیف	نام ساختمان	مصرف پایه (kWh/m ²)	مصرف موجود (kWh/m ²)	کاهش مصرف موجود (%)	پتانسیل بهینه (kWh/m ²)	پتانسیل بهینه	ویژگی کلیدی تأثیرگذار بر انرژی
۱	الهییه	۲۸۸	۲۳۰	۲۰٪	۱۴۴	۵۰٪	طراحی پیش از الزامات مبحث ۱۹، نورگیری و تهویه طبیعی
۲	صبا	۲۷۰	۱۸۸	۳۰٪	۱۳۷	۴۹٪	نمای دوپسته چوبی متحرک
۳	اندرزگو	۲۷۰	۱۵۵	۴۲.۶٪	۱۱۲	۵۸.۵٪	کرکره متحرک چوبی + سنگ گرانیت + حیاط خلوت شمالی
۴	جماران	۲۶۷	۱۴۲	۴۷٪	۱۰۳	۶۱٪	پوسته باز آجری + گیاهان گسترده (خانه سبز)
۵	زندگی	۲۷۴	۱۵۹	۴۲٪	۱۱۵	۵۸٪	ایوان‌های عمیق + فضای نیمه‌باز
۶	کهریزک	۲۸۰	۲۰۹	۲۵٪	۱۴۱	۵۰٪	مشبک آجری (مشربی) + مصالح بومی با محدودیت بودجه



شکل ۷. مقایسه عملکرد نمونه‌های موردی در کاهش مصرف انرژی

نتایج نشان می‌دهد که ساختمان‌های احداث شده در دهه ۱۳۹۰ خورشیدی به طور متوسط دارای ضریب انتقال حرارت پایین‌تری در جداره‌های خارجی نسبت به ساختمان‌های دهه ۱۳۸۰ هستند. این امر عمدتاً ناشی از استفاده گسترده‌تر از عایق‌های حرارتی و به کارگیری مصالح با مقاومت حرارتی بالاتر در پوسته ساختمان است. همچنین نسبت سطح پنجره به دیوار در ساختمان‌های دهه ۱۳۹۰ کنترل شده‌تر بوده و استفاده از پنجره‌های دوجداره و شیشه‌های با عملکرد حرارتی بهتر به طور محسوسی افزایش یافته است. در مقابل در بسیاری از ساختمان‌های دهه ۱۳۸۰، بازشوها بدون ملاحظات دقیق حرارتی طراحی شده‌اند که منجر به افزایش اتلاف انرژی شده است.

تحلیل میزان انطباق ساختمان‌ها با الزامات مبحث ۱۹ نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از ساختمان‌های دهه ۱۳۸۰ در سطح عدم انطباق یا انطباق نسبی قرار می‌گیرند. در ساختمان‌های دهه ۱۳۹۰، درصد ساختمان‌های دارای انطباق کامل با الزامات حرارتی پوسته به طور محسوسی افزایش یافته است. این یافته بیانگر آن است که اجرای عملی مبحث ۱۹ در دهه ۱۳۹۰ جدی طرح شده هرچند همچنان نواقصی در اجرای جزئیات فنی پوسته شاهده می‌شود.

با نگاهی به نتایج بدست آمده از تحلیل انرژی نمونه‌های موردی که از خروجی نرم افزار دیزاین بیلدر استخراج گردید نتایج زیر بدست آمد:

با توجه به یکسان بودن شرایط اقلیمی، موقعیت جغرافیایی مشترک قرار گیری نمونه‌ها و کاربری یکسان آنها، میزان مصرف پایه نمونه‌ها کم و بیش یکسان است. لازم به توضیح است که مصرف پایه در این پژوهش، میزان انرژی است که بدون در نظر گرفتن شاخصه‌های متمایز موجود در نمای هر ساختمان، مصرف شده است.

عملکرد ساختمان‌ها در میزان مصرف موجود هر ساختمان نشان می‌دهد به ترتیب ساختمان جماران ۶۱ درصد، ساختمان اندرزگو ۵۸.۵ درصد، ساختمان زندگی ۵۸ درصد، ساختمان کهریزک ۵۰ درصد، ساختمان الهیه ۵۰ درصد و ساختمان صبا ۴۹ درصد، کاهش مصرف انرژی نسبت به سناریوی اول یعنی مصرف پایه را داشته اند.

همچنین می‌توان با بهینه سازی پوسته خارجی این نمونه ها، میزان بیشتری از مصرف مورد نیاز انرژی را کاهش داد و در سناریوی بهینه شده، ساختمان جماران پتانسیل بیشتری در کاهش مصرف انرژی فسیلی، نسبت به نمونه‌های دیگر دارد.

بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر اجرای الزامات مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان بر عملکرد حرارتی پوسته‌های معماری و کاهش مصرف انرژی فسیلی در ساختمان‌های مسکونی تهران انجام شد. یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی انرژی شش نمونه موردی نشان داد که ویژگی‌های موجود پوسته ساختمان‌ها، در مقایسه با سناریوی پایه و متعارف، مصرف سالانه انرژی را بین ۲۰ تا ۴۷ درصد کاهش داده‌اند. ساختمان الهیه کمترین کاهش مصرف موجود، معادل ۲۰ درصد، و ساختمان جماران بیشترین کاهش، معادل ۴۷ درصد، را نشان دادند. کاهش مصرف موجود در ساختمان‌های کهریزک، صبا، اندرزگو و زندگی نیز به ترتیب حدود ۲۵، ۳۰، ۴۲/۶ و ۴۲ درصد بود. همچنین، نتایج سناریوی بهینه‌سازی شده نشان داد که با تکمیل عایق‌کاری پوسته، ارتقای کیفیت پنجره‌ها، کنترل بهتر نفوذ هوا، بهبود سامانه‌های تأسیساتی و استفاده از راهکارهای غیرفعال، ظرفیت کاهش مصرف انرژی می‌تواند به حدود ۴۹ تا ۶۱ درصد برسد. در این سناریو، ساختمان جماران با ظرفیت کاهش ۶۱ درصدی بهترین عملکرد را داشت و ساختمان‌های اندرزگو، زندگی، الهیه، کهریزک و صبا به ترتیب ظرفیت کاهش حدود ۵۸/۵، ۵۸، ۵۰، ۴۹ و ۵۰ درصدی را نشان دادند. این نتایج بیانگر آن است که پوسته معماری نه تنها یکی از اجزای اصلی کنترل‌کننده اتلاف حرارت است، بلکه کیفیت ترکیب و هماهنگی راهکارهای آن می‌تواند تفاوت چشمگیری در مصرف انرژی ساختمان ایجاد کند.

یکی دیگر از یافته‌های اصلی پژوهش آن بود که ساختمان‌های متعلق به دوره جدیدتر، به‌طور کلی، از ضریب انتقال حرارت پایین‌تر، عایق‌کاری گسترده‌تر، نسبت کنترل‌شده‌تر پنجره به دیوار، پنجره‌های دوجداره و جزئیات مناسب‌تر پوسته برخوردار بودند. این نتیجه نشان می‌دهد که تقویت تدریجی اجرای مبحث نوزدهم، افزایش دسترسی به مصالح عایق و گسترش آگاهی حرفه‌ای درباره مصرف انرژی، بر کیفیت حرارتی پوسته ساختمان‌های مسکونی اثر گذاشته است. این یافته با نتایج مطالعه تطبیقی ساختمان‌های مسکونی تهران پیش و پس از اجرای مبحث نوزدهم همسو است؛ در آن مطالعه نیز ساختمان‌های جدیدتر از نظر استفاده از عایق حرارتی، پنجره‌های کارآمد و کنترل انتقال حرارت وضعیت مطلوب‌تری داشتند، هرچند میزان رعایت ضوابط در همه ساختمان‌ها یکسان نبود (12). همچنین، ارزیابی اثرات مقررات ملی ساختمان در ساختمان‌های مسکونی تهران نشان داده است که اجرای ضوابط انرژی می‌تواند به کاهش مصرف منجر شود، اما اثربخشی آن به کیفیت طراحی، نظارت و اجرای واقعی اجزای پوسته وابسته است (10). بنابراین، تفاوت مشاهده‌شده میان دو دوره را نمی‌توان صرفاً به زمان ساخت نسبت داد، بلکه این تفاوت حاصل تعامل دوره ساخت با کیفیت طراحی، سطح الزام‌آوری مقررات، فناوری مصالح و کنترل اجرایی است.

یافته‌های مربوط به عملکرد ساختمان جماران نشان داد که ترکیب پوسته باز آجری، فاصله میان لایه بیرونی و بدنه اصلی، پوشش گیاهی گسترده و پنجره‌های دوجداره، بیشترین کاهش مصرف انرژی را در وضعیت موجود ایجاد کرده است. مصرف سالانه انرژی این ساختمان از مقدار پایه ۲۶۷ کیلووات‌ساعت بر مترمربع به ۱۴۲ کیلووات‌ساعت بر مترمربع کاهش یافت و در سناریوی بهینه‌سازی، امکان کاهش آن تا ۱۰۳ کیلووات‌ساعت بر مترمربع فراهم شد. این نتیجه نشان می‌دهد که استفاده هم‌زمان از سایه‌اندازی، تهویه فضای میانی، کاهش جذب تابش و خنک‌سازی تبخیری گیاهان می‌تواند عملکردی فراتر از کاربرد منفرد هر راهکار داشته باشد. این یافته با اصول طراحی اقلیم‌گرا سازگار است؛ زیرا در رویکرد زیست‌اقلیمی، پوسته باید به‌عنوان یک سامانه پاسخ‌گو به تابش، باد و دما عمل کند و نه صرفاً یک مرز ثابت میان داخل و خارج (4). گیونی نیز بر این نکته تأکید دارد که ترکیب سایه‌اندازی، تهویه طبیعی و تعدیل حرارتی جداره‌ها می‌تواند دامنه

نوسانات دمای داخلی و نیاز به سرمایش مکانیکی را کاهش دهد (3). همچنین، یافته‌های مربوط به پوسته‌های دوگانه در اقلیم تهران نشان داده‌اند که ایجاد لایه واسط و کنترل جریان هوا در صورت طراحی صحیح می‌تواند رفتار حرارتی نما را بهبود دهد (17).

نتایج ساختمان اندرژگو نیز اهمیت ترکیب چند راهکار غیرفعال را تأیید کرد. در این ساختمان، استفاده از کرکره چوبی متحرک برای کنترل تابش مزاحم، نمای سنگی و سازمان‌دهی حیاط خلوت شمالی موجب شد مصرف انرژی موجود از ۲۷۰ به ۱۵۵ کیلووات‌ساعت بر مترمربع کاهش یابد. در سناریوی بهینه‌شده نیز با افزودن عایق کامل و ارتقای تأسیسات، مصرف به حدود ۱۱۲ کیلووات‌ساعت بر مترمربع رسید. این یافته نشان می‌دهد که کنترل تابش از طریق عناصر متحرک، به‌ویژه در نماهای در معرض تابش شدید، می‌تواند هم‌زمان بار سرمایشی را کاهش دهد و امکان بهره‌گیری از نور طبیعی را حفظ کند. راهبردهای صرفه‌جویی در خانه‌های کم‌مصرف نیز بر ترکیب سایه‌بان، عایق حرارتی، پنجره کارآمد و طراحی متناسب با جهت جغرافیایی تأکید کرده‌اند (15). از سوی دیگر، مبانی فیزیک ساختمان نشان می‌دهد که پاسخ حرارتی نما تنها تابع مقاومت حرارتی نیست، بلکه جذب تابش، ظرفیت ذخیره حرارت، زمان تأخیر و کیفیت کنترل بازشوها نیز در آن نقش دارند (2). بنابراین، عملکرد مناسب اندرژگو را می‌توان حاصل هماهنگی میان کنترل تابش، خصوصیات مصالح و سازمان‌دهی فضایی دانست.

در ساختمان زندگی، ایوان‌های عمیق و فضاهای نیمه‌باز نقش اصلی را در کاهش مصرف انرژی ایفا کردند. مصرف سالانه این ساختمان از ۲۷۴ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در سناریوی پایه به ۱۵۹ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در وضعیت موجود کاهش یافت و در حالت بهینه‌شده به حدود ۱۱۵ کیلووات‌ساعت بر مترمربع رسید. ایوان‌های عمیق با جلوگیری از برخورد مستقیم تابش به بازشوها و فراهم کردن امکان تهویه طبیعی، از افزایش بار سرمایشی جلوگیری کرده‌اند. این نتیجه با مبانی معماری اقلیم‌محور در ایران همسو است؛ زیرا عناصر نیمه‌باز در معماری سنتی، علاوه بر کارکرد فضایی، ابزاری برای تعدیل شرایط محیطی و ایجاد منطقه واسط حرارتی بوده‌اند (5). مفهوم انرژی در کالبد معماری نیز تأکید می‌کند که کنترل مصرف انرژی باید در سازمان‌دهی فرم و فضا ادغام شود و به افزودن تجهیزات پس از پایان طراحی محدود نماند (6). بنابراین، عملکرد ساختمان زندگی نشان می‌دهد که بازخوانی عناصر اقلیمی در معماری معاصر می‌تواند بدون محدود کردن کیفیت فضایی، به کاهش تقاضای انرژی منجر شود.

در ساختمان صبا، نمای دوپوسته چوبی متحرک توانست مصرف انرژی را در وضعیت موجود حدود ۳۰ درصد کاهش دهد؛ با این حال، نبود عایق حرارتی استاندارد در جداره اصلی و کیفیت متوسط پنجره‌ها مانع از دستیابی ساختمان به ظرفیت کامل صرفه‌جویی شد. کاهش مصرف از ۲۷۰ به ۱۸۸ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در وضعیت موجود و امکان رسیدن به ۱۳۷ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در سناریوی بهینه‌شده نشان می‌دهد که پوسته دوم به‌تنهایی نمی‌تواند جایگزین عایق‌کاری و کنترل انتقال حرارت از جداره اصلی شود. این نتیجه با مطالعات مربوط به نماهای دوپوسته همخوان است. بررسی تعداد لایه‌های داخلی و خارجی نماهای دوپوسته نشان داده است که تغییر آرایش لایه‌ها می‌تواند مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار دهد، اما کارایی نهایی به رابطه میان لایه‌ها، جریان هوا و خصوصیات جداره اصلی وابسته است (18). ارزیابی ظرفیت پوسته‌های دوجداره در اقلیم گرم و خشک نیز نشان داده است که این سامانه‌ها در صورت طراحی صحیح می‌توانند بار حرارتی را کاهش دهند، ولی تهویه نامناسب حفره یا انتخاب نادرست مصالح ممکن است به تجمع گرما بینجامد (19). همچنین، مقایسه نمای لامل و نمای دوپوسته شیشه‌ای نشان داده است که هیچ نوع نمایی بدون توجه به جهت، اقلیم و شرایط بهره‌برداری برتری مطلق ندارد (20).

عملکرد ساختمان کهریزک نشان داد که حتی در شرایط محدودیت اقتصادی نیز استفاده هدفمند از مصالح بومی و عناصر سایه‌انداز می‌تواند به کاهش مصرف انرژی منجر شود. مشبک‌های آجری و آجرهای سفالی سوراخ‌دار موجب کاهش حدود ۲۵ درصدی مصرف نسبت به حالت پایه شدند و امکان دستیابی به کاهش

۵۰ درصدی در سناریوی بهینه‌شده وجود داشت. اهمیت این یافته در آن است که بهینه‌سازی انرژی لزوماً مستلزم فناوری‌های پیچیده و پرهزینه نیست. مصالح بومی در صورت برخورداری از تخلخل، جرم حرارتی و آرایش مناسب می‌توانند انتقال حرارت و تابش مستقیم را کنترل کنند. بررسی ویژگی‌های فیزیکی پوسته‌ها نشان داده است که ضخامت، چگالی و ظرفیت حرارتی مصالح بر زمان تأخیر و ضریب کاهش انتقال حرارت اثر می‌گذارند (13). همچنین، مطالعات معماری با عملکرد انرژی بالا بر لزوم انتخاب راهکارهای متناسب با امکانات اقتصادی، شرایط اقلیمی و ظرفیت اجرایی هر پروژه تأکید دارند (7). بنابراین، نتایج کهریزک از امکان توسعه الگوهای مقرون‌به‌صرفه برای بهسازی پوسته در بافت‌های کم‌برخوردار حمایت می‌کند.

ساختمان الهیه با وجود برخورداری از نورگیری و تهویه طبیعی مناسب، کمترین کاهش مصرف موجود را در میان نمونه‌ها نشان داد. مصرف پایه این ساختمان ۲۸۸ کیلووات‌ساعت بر مترمربع بود که در وضعیت موجود به ۲۳۰ کیلووات‌ساعت بر مترمربع کاهش یافت. با اجرای کامل الزامات حرارتی، ظرفیت کاهش تا ۱۴۴ کیلووات‌ساعت بر مترمربع برآورد شد. این اختلاف میان وضعیت موجود و حالت بهینه بیانگر آن است که کیفیت فضایی و طراحی اقلیمی، هرچند ضروری است، بدون عایق‌کاری مناسب، بازشوهای کارآمد و تأسیسات پربازده برای دستیابی به عملکرد مطلوب کافی نیست. مطالعه اثر طراحی پوسته بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی نیز نشان داده است که ضخامت و محل عایق، ویژگی‌های شیشه و نسبت سطوح شفاف به کدر بر بارهای گرمایشی و سرمایشی تأثیر مستقیم دارند (14). راهنمای طراحی پوسته با رویکرد بهینه‌سازی انرژی نیز بر پیوستگی عایق، حذف پل‌های حرارتی و نصب صحیح پنجره‌ها تأکید می‌کند (8). ازاین‌رو، عملکرد الهیه نشان می‌دهد که طراحی اقلیمی باید با الزامات مهندسی پوسته تکمیل شود.

در مجموع، نتایج همه نمونه‌ها نشان داد که عایق‌کاری حرارتی کامل، ارتقای پنجره‌ها به شیشه‌های دوجداره یا کم‌گسیل، کاهش نفوذ هوا و بهبود سامانه‌های تأسیساتی، بیشترین ظرفیت تکمیلی را برای کاهش مصرف انرژی فراهم می‌کنند. این یافته با استانداردهای کارایی انرژی ساختمان همسو است که ارزیابی هم‌زمان انتقال حرارت، نفوذ هوا، بارهای گرمایشی و سرمایشی و راندمان سامانه‌ها را ضروری می‌دانند (9). تحلیل عملکرد پوسته با تأکید بر مبحث نوزدهم نیز نشان داده است که اجرای پیوسته عایق و نصب استاندارد بازشوها از مهم‌ترین شروط دستیابی به کاهش واقعی مصرف هستند (11). همچنین، بررسی معیارهای آسایش حرارتی در ساختمان‌های مسکونی نشان داده است که بهینه‌سازی انرژی نباید به کاهش مصرف بدون توجه به کیفیت محیط داخلی منجر شود و لازم است مصرف انرژی در ارتباط با آسایش کاربران تحلیل شود (16). بنابراین، سناریوهای بهینه پژوهش حاضر نه‌تنها بیانگر ظرفیت کاهش مصرف، بلکه نشان‌دهنده ضرورت ارزیابی یکپارچه پوسته، تأسیسات و شرایط آسایش هستند.

یافته‌های پژوهش همچنین نشان داد که رعایت مبحث نوزدهم در بسیاری از نمونه‌ها در سطح حداقلی باقی مانده و فاصله‌ای میان اهداف نظری مقررات و کیفیت تحقق آن در عمل وجود دارد. این موضوع را می‌توان ناشی از رویکرد کنترل نقشه‌محور، ضعف نظارت بر مرحله اجرا، محدودیت مهارت نیروهای اجرایی و نبود ارزیابی عملکرد ساختمان پس از بهره‌برداری دانست. مرور اطلاعات مصرف انرژی ساختمان‌ها در سطح جهانی نیز نشان داده است که وجود ضوابط فنی به‌تنهایی تضمین‌کننده کاهش مصرف نیست و اثربخشی مقررات به پایش، کنترل کیفیت و اصلاح مستمر استانداردها وابسته است (1). افزون بر این، تعامل میان معماری و انرژی‌های نو زمانی مؤثر خواهد بود که ابتدا تقاضای انرژی از طریق پوسته کارآمد کاهش یابد و سپس سامانه‌های تجدیدپذیر برای تأمین بخشی از نیاز باقی‌مانده به کار گرفته شوند (21). بنابراین، نتایج حاضر بر ضرورت گذار از رعایت صوری مقررات به سوی ارزیابی عملکردمحور تأکید دارند؛ رویکردی که در آن مصرف واقعی یا شبیه‌سازی‌شده ساختمان به‌عنوان معیار اصلی سنجش موفقیت طراحی و اجرا در نظر گرفته شود.

پژوهش حاضر با چند محدودیت مواجه بود که باید در تفسیر یافته‌ها مورد توجه قرار گیرد. نخست، تعداد نمونه‌های موردی محدود به شش ساختمان مسکونی بود و نمونه‌ها به صورت هدفمند انتخاب شدند؛ بنابراین، تعمیم نتایج به همه ساختمان‌های مسکونی تهران باید با احتیاط انجام شود. دوم، داده‌های اصلی بر شبیه‌سازی انرژی مبتنی بودند و مصرف واقعی ثبت‌شده در دوره بهره‌برداری، رفتار ساکنان، الگوی استفاده از تجهیزات، ساعات حضور و تنظیم دمای داخلی به صورت طولی اندازه‌گیری نشدند. سوم، تفاوت‌های احتمالی در زیربنا، فرم، جهت‌گیری، تعداد طبقات، کیفیت ساخت و سامانه‌های تأسیساتی می‌تواند بخشی از اختلاف عملکرد نمونه‌ها را توضیح دهند. چهارم، کیفیت واقعی اجرای اجزای پنهان پوسته، مانند پیوستگی عایق و پل‌های حرارتی، در همه نمونه‌ها به طور مستقیم قابل مشاهده نبود. همچنین، تحلیل اقتصادی هزینه‌های اولیه و دوره بازگشت سرمایه راهکارهای بهینه‌سازی در دامنه پژوهش قرار نداشت.

پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با حجم نمونه بزرگ‌تر و استفاده از نمونه‌گیری از مناطق مختلف تهران، اثر دوره ساخت و میزان انطباق با مبحث نوزدهم را با دقت بیشتری بررسی کنند. ترکیب شبیه‌سازی انرژی با اندازه‌گیری میدانی دمای سطح، نفوذ هوا، مصرف واقعی گاز و برق و شرایط آسایش داخلی می‌تواند اعتبار نتایج را افزایش دهد. همچنین، لازم است تأثیر مستقل هر مؤلفه پوسته، از جمله ضخامت عایق، نوع شیشه، نسبت پنجره به دیوار، سایه‌بان، جرم حرارتی و پوشش گیاهی، از طریق تحلیل حساسیت بررسی شود. مطالعات آینده می‌توانند تحلیل چرخه عمر، هزینه-فایده و دوره بازگشت سرمایه راهکارها را نیز انجام دهند و نقش رفتار ساکنان و الگوهای بهره‌برداری را وارد مدل کنند. مقایسه تهران با سایر اقلیم‌های ایران و بررسی عملکرد ساختمان‌ها پیش و پس از بهسازی واقعی نیز می‌تواند شواهد کاربردی‌تری برای اصلاح مقررات فراهم سازد.

در عرصه طراحی و اجرا، پوسته ساختمان باید از نخستین مراحل شکل‌گیری طرح به عنوان سامانه‌ای یکپارچه برای کنترل حرارت، تابش، نور و جریان هوا در نظر گرفته شود. معماران و مهندسان باید از اتکا به حداقل الزامات محاسباتی پرهیز کنند و تصمیم‌های مربوط به جهت‌گیری، نسبت بازشوها، عایق‌کاری، سایه‌اندازی و انتخاب مصالح را بر پایه شبیه‌سازی عملکرد اتخاذ کنند. کنترل پیوستگی عایق، حذف پل‌های حرارتی، درزبندی دقیق پنجره‌ها و نظارت بر اجرای جزئیات باید در فرایند بازرسی ساختمان تقویت شود. همچنین، استفاده ترکیبی از راهکارهای غیرفعال مانند ایوان، پوسته مشبک، نمای دوگانه، سایه‌بان متحرک، تهویه طبیعی و پوشش گیاهی متناسب با شرایط هر پروژه توصیه می‌شود. تدوین مشوق‌های اقتصادی برای ساختمان‌های فراتر از حداقل استاندارد، آموزش تخصصی مجریان و انجام ارزیابی انرژی پس از بهره‌برداری می‌تواند فاصله میان ضوابط نظری و عملکرد واقعی ساختمان‌ها را کاهش دهد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

خلاصه مبسوط

Extended Abstract

Introduction

The rapid expansion of urbanization, residential construction, and dependence on mechanical heating and cooling systems has made energy consumption in buildings a major environmental, economic, and architectural concern. Buildings account for a substantial proportion of final energy use because energy is continuously required for space heating, cooling, ventilation, lighting, and domestic hot water throughout their long operational life. International evidence indicates that the building sector is among the largest energy-consuming sectors and, therefore, represents a critical domain for reducing fossil-fuel dependence and greenhouse-gas emissions (1). In Iran, the problem is intensified by energy-intensive construction practices, inadequate thermal insulation, inefficient openings, insufficient attention to climatic design, and historically low energy prices. Consequently, improving the energy performance of residential buildings is essential not only for lowering operational costs but also for enhancing national energy security, reducing environmental degradation, and supporting sustainable urban development.

The architectural envelope constitutes the primary interface between indoor spaces and the external environment. External walls, roofs, floors, windows, doors, shading devices, and intermediate façade layers regulate heat transfer, solar radiation, airflow, moisture, and daylight. Their thermal performance is determined by factors such as thermal transmittance, thermal resistance, heat capacity, time lag, decrement factor, air infiltration, glazing properties, and construction quality (2). Research has demonstrated that the thickness, density, thermal mass, and arrangement of envelope layers substantially influence the timing and intensity of heat transfer into indoor spaces (13). The design of residential building envelopes, particularly insulation placement, glazing characteristics, and the proportion of transparent to opaque surfaces, can therefore significantly alter heating and cooling demands (14). An inefficient envelope increases indoor temperature fluctuations and mechanical energy requirements, whereas a well-designed envelope moderates external climatic effects and supports stable indoor conditions.

Climate-responsive architecture seeks to reduce mechanical energy demand through passive design strategies before active technologies are introduced. Appropriate building orientation, controlled window-to-wall ratios, thermal mass, solar shading, natural ventilation, and climate-compatible materials can improve indoor comfort while limiting energy consumption. Climatic design principles emphasize that architectural decisions should respond directly to local temperature, solar radiation, wind, and humidity conditions (3). Bioclimatic design similarly conceptualizes the envelope as an adaptive mediator between the building

and its climatic context (4). These principles are particularly relevant to Iran, where climatic diversity requires differentiated architectural responses rather than standardized façade solutions (5). Energy efficiency must consequently be integrated into building form, spatial organization, material selection, and construction details rather than treated as a supplementary technical consideration (6). High-performance architecture also requires the coordination of passive strategies, efficient materials, mechanical systems, and operational management (7).

Part 19 of Iran's National Building Regulations was developed as the principal regulatory framework for reducing energy consumption in buildings. It establishes requirements for the thermal resistance of opaque components, insulation continuity, glazing and frame performance, air-infiltration control, and the efficiency of mechanical systems. The national envelope-design guideline further stresses the importance of calculating thermal properties, preventing thermal bridges, selecting appropriate materials, and supervising construction details (8). International technical guidance likewise recommends evaluating energy performance through measurable indicators such as envelope transmittance, infiltration, heating and cooling loads, energy-use intensity, and indoor comfort conditions (9). Research on residential buildings in Tehran has shown that implementing national regulations can reduce energy use, although the magnitude of improvement depends on the quality of design, construction, and supervision (10). Envelope-performance analyses have also indicated that formal compliance does not necessarily guarantee actual efficiency when insulation, openings, and thermal connections are inadequately executed (11). Comparative evidence suggests that buildings constructed after the wider implementation of Part 19 generally employ more insulation and higher-performance windows, although significant differences persist among individual projects (12).

Passive façade systems, including double-skin façades, perforated brick screens, deep balconies, movable shading devices, and vegetated envelopes, offer additional opportunities for reducing energy demand. Studies conducted in Tehran have demonstrated that properly designed double-skin façades can moderate solar gains and improve thermal performance by creating a ventilated intermediate layer (17). The number, configuration, and physical properties of internal and external façade layers can substantially influence total energy consumption (18). Similar findings have supported the application of double-skin envelopes in Iran's hot and dry climatic regions, provided that cavity ventilation and solar control are appropriately designed (19). Comparisons of lamella and glazed double-skin façades further show that façade efficiency depends on climate, orientation, ventilation, and operational conditions rather than façade type alone (20). Low-energy housing consequently requires a coordinated combination of insulation, efficient openings, shading, and passive environmental control (15). Thermal-comfort criteria must also be incorporated into energy evaluations to prevent reductions in energy use from compromising indoor environmental quality (16). Finally, renewable-energy technologies are most effective when integrated into buildings whose initial energy demand has already been reduced through envelope optimization and climate-responsive design (21). Against this background, the present study evaluated the effects of implementing Part 19 on architectural-envelope performance and fossil energy consumption by comparing selected residential buildings constructed in Tehran during the 2000s and 2010s.

Methods and Materials

This applied study employed a descriptive-analytical, quantitative, and comparative research design. The study setting was Tehran, which was selected because of its extensive residential construction, high building-sector energy demand, climatic conditions, and influence on national construction practices. The study population consisted of multistory residential buildings constructed during the two selected periods. Six buildings were selected through purposive stratified sampling, including three representative cases from each period. The selected buildings were exclusively residential and were considered broadly

comparable in terms of climatic exposure, approximate scale, floor area, and number of stories. The six cases were the Elahiyeh, Saba, Andarzgoo, Jamaran, Zendegi, and Kahrizak buildings.

Data were collected through documentary review, field observations, examination of architectural characteristics, and energy simulation. Envelope-performance indicators included the thermal transmittance of external walls and roofs, window-to-wall ratio, insulation type and thickness, glazing type, window-frame material, estimated air infiltration, and the presence of shading, intermediate façade layers, vegetation, balconies, or other passive strategies. Energy indicators comprised annual heating demand, annual cooling demand, total annual energy consumption, and energy use per unit of floor area. Compliance with Part 19 was classified as complete compliance, partial compliance, or noncompliance according to the extent to which envelope-related thermal requirements had been incorporated into each building.

Energy performance was evaluated using DesignBuilder, supported by climatic analysis through Climate Consultant. Three scenarios were developed for each case. The baseline scenario represented a conventional Tehran residential building with limited or no thermal insulation, standard openings, and no effective passive façade strategy. The existing scenario reproduced the actual architectural-envelope characteristics of each selected building. The optimized scenario retained the architectural identity of the building while incorporating feasible improvements, including continuous thermal insulation, low-emissivity or higher-performance glazing, improved airtightness, more efficient mechanical systems, thermostatic controls, and, where appropriate, solar-energy systems. The annual energy consumption of the existing and optimized scenarios was compared with that of the baseline scenario, and the percentage reduction in energy consumption was calculated for each building.

Findings

The comparative simulations revealed substantial differences among the six buildings. Baseline annual energy consumption ranged from 267 to 288 kWh/m², indicating broadly similar conventional energy demands under the climatic and functional conditions considered. In the existing scenarios, annual energy consumption ranged from 142 to 230 kWh/m². Across all six cases, the mean baseline consumption was approximately 274.8 kWh/m², whereas mean consumption under the existing conditions was approximately 180.5 kWh/m². Thus, the architectural-envelope strategies already incorporated into the selected buildings produced an average reduction of approximately 34.4% relative to the baseline.

The Elahiyeh Building had a baseline consumption of 288 kWh/m² and an existing consumption of 230 kWh/m², representing a 20% reduction. Its climate-responsive daylighting and natural ventilation provided some benefit, but the absence of comprehensive insulation and advanced envelope components limited its performance. Under the optimized scenario, consumption decreased to 144 kWh/m², corresponding to a 50% reduction from the baseline. The Saba Building reduced consumption from 270 to 188 kWh/m², or approximately 30%, through a movable wooden double-skin façade, double glazing, and locally appropriate materials. The optimized scenario reduced its annual consumption to 137 kWh/m², equivalent to a 49% reduction.

The Andarzgoo Building achieved a decrease from approximately 270 to 155 kWh/m², corresponding to a 42.6% reduction. Its relatively strong performance was associated with movable wooden shutters, façade materials with favorable solar-response characteristics, and spatial arrangements supporting controlled daylight. After comprehensive insulation and mechanical-system improvements, its annual energy use was estimated at approximately 112 kWh/m², representing an optimization potential of about 58.5%. The Kahrizak Building reduced consumption from 280 to 209 kWh/m², or approximately 25%. Perforated brick screens and hollow clay bricks provided shading and moderate thermal protection despite budgetary limitations. Adding complete insulation, low-emissivity double glazing, and supplementary energy improvements reduced its simulated consumption to 141 kWh/m², representing a 50% reduction.

The Zendegi Building reduced annual consumption from 274 to 159 kWh/m², equivalent to approximately 42%. Deep balconies, semi-open residential spaces, optimized openings, and double-glazed windows limited direct solar exposure and supported natural ventilation. Its optimized consumption was estimated at 115 kWh/m², indicating a 58% reduction relative to the baseline. The Jamaran Building demonstrated the best existing performance. Its annual consumption decreased from 267 to 142 kWh/m², representing a 47% reduction. A detached perforated brick layer, extensive vegetation, double-glazed windows, shading, cavity ventilation, and evaporative cooling from plants contributed to this result. Under the optimized scenario, its annual consumption declined to approximately 103 kWh/m², corresponding to a 61% reduction, the highest among the cases.

Overall, the optimized scenarios produced annual consumption values ranging from 103 to 144 kWh/m², with a mean of approximately 125.3 kWh/m². The average potential reduction relative to the baseline was approximately 54.4%. Buildings from the more recent construction period generally showed lower thermal transmittance, more frequent use of insulation, more controlled window-to-wall ratios, and greater use of double glazing and passive façade strategies. Nevertheless, compliance remained incomplete in several cases, particularly in relation to insulation continuity, window performance, thermal bridging, and the coordination of envelope and mechanical systems.

Discussion and Conclusion

The findings demonstrate that architectural-envelope design has a decisive effect on fossil energy consumption in residential buildings. The range of reductions observed under existing conditions indicates that passive architectural measures can substantially improve energy performance even before comprehensive technical optimization is undertaken. However, the differences among the buildings also show that the presence of a single energy-efficient feature is insufficient. The strongest results emerged where several compatible measures—including shading, cavity ventilation, vegetation, thermal mass, efficient glazing, and controlled openings—worked together as an integrated environmental system.

The superior performance of the Jamaran Building illustrates the potential of combining a ventilated secondary skin with vegetation and efficient openings. The relatively strong results for the Andarzgoo and Zendegi buildings similarly demonstrate the value of movable shading and deep semi-open spaces. By contrast, the Saba Building showed that a double-skin façade cannot achieve its full potential when the main wall remains insufficiently insulated. The Elahiyeh Building demonstrated that daylighting and natural ventilation, although valuable, must be complemented by appropriate insulation and glazing. The Kahrizak case showed that locally available materials and low-cost shading devices can generate meaningful savings, making energy-efficient design relevant to economically constrained construction contexts.

The comparison between construction periods suggests that the wider implementation of Part 19 has contributed to improved envelope performance. More recent buildings generally incorporated better windows, insulation, and climatic-control strategies. Nevertheless, the results reveal a continuing gap between regulatory objectives and construction practice. In many buildings, compliance appears to have been approached as a minimum administrative requirement rather than as a comprehensive performance target. The substantial additional reductions achieved in the optimized scenarios confirm that existing buildings retain considerable unrealized energy-saving potential.

It can therefore be concluded that Part 19 provides an essential but insufficient framework for reducing fossil energy consumption in Tehran's residential buildings. Its effectiveness depends on integrating climatic design, technical calculations, material selection, construction supervision, and post-occupancy performance assessment. Transitioning from document-based compliance to performance-based regulation would allow actual or simulated energy outcomes to become the principal criterion of success. Comprehensive envelope optimization, combined with efficient mechanical systems and context-sensitive passive design, could reduce annual energy consumption by more than half in many residential buildings. Sustainable energy

performance in Tehran consequently requires architects, engineers, contractors, regulators, and building owners to treat the envelope as an integrated environmental system rather than merely as an external architectural surface.

References

1. Perez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A Review on Buildings Energy Consumption Information. *Energy and Buildings*. 2008;40(3):394-8.
2. Ghiabakloo Z. *Fundamentals of Building Physics 2: Environmental Conditioning*. Tehran: Academic Center for Education, Culture and Research, Amirkabir University of Technology Branch; 2015.
3. Givoni B. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York, NY: John Wiley & Sons; 1998.
4. Olgyay V. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton, NJ: Princeton University Press; 2015.
5. Ghobadian V. *Climate and Architecture*. Tehran: University of Tehran Press; 2015.
6. Abdolkarimi Komleh H. *Energy in the Body of Architecture*. Tehran: Shaparak-e Sorkh Publications; 2018.
7. Mahdavi-Nejad M, Bemanian M, Javanroodi K. *Energy and High-Performance Architecture*. Tehran: Tarbiat Modares University Press; 2019.
8. Road H, Urban Development Research C. *Guideline for Building Envelope Design with an Energy-Consumption Optimization Approach*. Tehran: Road, Housing and Urban Development Research Center; 2017.
9. Ashrae. *ASHRAE Handbook: Energy Efficiency in Buildings*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2020.
10. Habibi SM, Bahrami M. Evaluating the Effects of National Building Regulations on Reducing Energy Consumption in Residential Buildings in Tehran. *Hoviat-e Shahr Quarterly*. 2014;7(15):55-68.
11. Sadeghi A, Rezaei F. Analysis of Building Envelope Performance in Reducing Energy Consumption with Emphasis on Topic 19 of the National Building Regulations. *Iranian Journal of Architecture and Urbanism*. 2018;9(2):33-48.
12. Ghanbari M. A Comparative Study of Residential Buildings before and after the Implementation of Topic 19 in Tehran. *Journal of Sustainable Architecture Research*. 2019;4(1):21-36.
13. Sharifi, Ghobadian. Examining the Effect of Physical Characteristics of Building Envelopes on Time Lag and Heat-Transfer Decrement Factor: A Case Study of High-Rise Buildings in Hamedan. *Environmental Science and Technology*. 2017;19(Special issue 4):167-78.
14. Al-Sanea SA, Zedan MF, Al-Hussain SN. Effect of Building Envelope Design on Thermal Performance of Residential Buildings. *Applied Energy*. 2012;94:187-200.
15. Arjmandnia R, Younesi G. *Energy-Saving Methods in the Architecture of Low-Energy Houses*. Tehran: Danesh va Fan Publications; 2020.
16. Salehi. Examining the Quantitative Effect of Applying Thermal Comfort Index Criteria on Energy Consumption in Residential Buildings in Ilam. *Environmental Science and Technology*. 2021;23(10):193-206.
17. Ghanbaran. Examining the Thermal Behavior of Double-Skin Facades in the Climate of Tehran. *Sustainable Architecture and Urbanism*. 2014;1(2):43-53.
18. Seraj. The Effect of the Number of Inner and Outer Layer Skins of Double-Skin Facades on Energy Consumption in Office and Educational Buildings: A Case Study of the Basic Sciences Faculty Building at Iran University of Science and Technology. *Environmental Science and Technology*. 2014;16(3):181-90.
19. Hadianpour. Assessing the Capacity for Using Double-Skin Envelopes in Architectural Design for Iran's Hot and Dry Climate to Reduce Energy Consumption: The Case of Yazd. *Honar-ha-ye Ziba: Architecture and Urbanism*. 2014;19(3):29-38.
20. Vosough A. A Comparative Study of Heating and Cooling Loads of a Building with a Lamella Facade and a Glass Double-Skin Facade in a Dry Climatic Region [Master's thesis, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Thermal and Fluids Engineering]: University of Kashan; 2018.
21. Ghiyasvand J, Abadi Pazouki R. *The Interaction of Architecture and Renewable Energies*. Tehran: Faranama Publications; 2022.