Haft Hesar Journal of Environmental Studies
ISSN: 2322-5602
دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان
فصلنامه مطالعات محیطی هفت حصار

Research Article Vol. 15, No. 57, Autumn 2026, pp. 125–140

Identifying the Areas of Technology Integration in Improving Efficiency and Reducing Energy Consumption of Climate-Responsive Housing in Bandar Abbas

Zahra Mehraban Sehgonbad[1], Mehrdad Javidinejad[1]*, Saeid Tizghalam Zonouzi[1]

1. Department of Architecture, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

HJES, 2026
Vol. 15, No. 57, pp. 125–140
Received: 2026/01/18
Accepted: 2026/05/14

Article Type:
Research Article-Case Study

Keywords:
Technology Integration, Energy Efficiency, Climate-Responsive Housing, Hot and Humid Climate, Vernacular Architecture, Bandar Abbas

Cite this article:
Sehgonbad, Z. M., Javidinejad, M., & Zonouzi, S. T. (2026). Identifying the Areas of Technology Integration in Improving Efficiency and Reducing Energy Consumption of Climate-Responsive Housing in Bandar Abbas. *Haft Hesar Journal of Environmental Studies, 15*(57), 125–140.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Housing is one of the most basic human needs and has long been a central concern of architecture, urban planning and energy policy. With intensifying environmental crises, growing fossil-fuel consumption, climate change and rapid urbanization, energy efficiency in the housing sector has become a fundamental challenge of sustainable development. The building sector accounts for a considerable share of final energy use and greenhouse-gas emissions, and in hot and humid regions the cooling load of buildings raises this share significantly. The hot and humid climate of southern Iran, and Bandar Abbas in particular, with high temperatures, high relative humidity, intense solar radiation and limited natural ventilation in some seasons, is one of the most demanding contexts for designing energy-efficient housing. The mismatch between prevailing construction patterns and these climatic conditions increases dependence on energy-intensive mechanical systems and raises operating costs. By contrast, the vernacular architecture of Iran's hot and humid regions, the product of centuries of adaptation, contains a rich repertoire of passive climatic strategies. Domestic studies have emphasized the role of climate-responsive and vernacular design in thermal comfort, but have mostly focused on passive approaches, while international studies of smart, green and low-energy buildings have mostly addressed temperate climates or developed countries, and their direct transfer to hot and humid climates of developing countries is questionable. Existing studies also tend to examine single technologies or single dimensions of climate in isolation. A systematic, integrated and prioritized identification of the areas in which technology can be integrated into climate-responsive housing in Bandar Abbas is therefore lacking, and few studies have combined in-depth qualitative methods for extracting indicators with advanced quantitative models for validating them. The present study addresses this gap. It aims to explain and prioritize the areas of technology integration that improve efficiency and reduce energy consumption in climate-responsive housing in Bandar Abbas, and to

* Corresponding Author's E-mail: Mehrabanzari64@gmail.com

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

offer a localized, evidence-based model that links traditional knowledge with contemporary technology.

Methodology: The research is applied in purpose, descriptive–analytical in nature and mixed (qualitative–quantitative) in approach. In the qualitative phase, semi-structured interviews with open questions were conducted with 15 academic and professional experts in climatic architecture, building technology, energy and sustainable design, selected by purposive sampling until theoretical saturation. The interview data were analysed with grounded theory through open, axial and selective coding, and a paradigm model was drawn following Strauss and Corbin. In the quantitative phase, the extracted indicators were screened with the fuzzy Delphi method, and a researcher-made questionnaire on a five-point Likert scale was administered to 250 specialists. The conceptual model was then validated by confirmatory factor analysis and partial least squares structural equation modelling (PLS-SEM). Sampling adequacy was assessed with the KMO index and Bartlett's test of sphericity; reliability with Cronbach's alpha, rho_A and composite reliability; convergent validity with the average variance extracted (AVE); discriminant validity with the Fornell–Larcker criterion and the heterotrait–monotrait ratio (HTMT); collinearity with the variance inflation factor (VIF); and the quality of the structural model with CV.RED, R^2, f^2, the goodness-of-fit index (GOF) and the standardized root mean square residual (SRMR).

Results: Open coding produced concepts such as smart building envelopes, renewable (especially solar) energy, smart energy-management systems, natural and adaptive ventilation, humidity and temperature control, vernacular materials suited to hot and humid conditions, indoor air quality, reduction of cooling loads and smart shading. Axial coding grouped them into four main categories: energy-related factors (9 indicators), building air-quality factors (9), environmental factors (7) and physical factors (7), 32 indicators in all. The core category was identified as the smart integration of new technologies with the principles of vernacular architecture and climatic design. In the paradigm model, rising energy use in southern housing, inefficient conventional construction and climatic pressures form the causal conditions; the physical characteristics of local housing, high solar potential, traditional ventilation patterns and the local culture of dwelling form the context; high technology costs, limited infrastructure, weak technical knowledge and the lack of supportive policies act as intervening conditions; and smart energy management, adaptive ventilation, humidity-resistant materials and renewables are the main strategies. All indicators exceeded the fuzzy Delphi threshold of 0.7. KMO was 0.922 and Bartlett's test was significant ($\chi^2 = 5318.541$, $df = 496$, $p < 0.001$). Factor loadings ranged from 0.644 to 0.843 and were all significant. Cronbach's alpha ranged from 0.884 to 0.903, composite reliability from 0.907 to 0.924 and AVE from 0.520 to 0.635; all HTMT values were below 0.9 and all VIF values below 5. R^2 ranged from 0.657 to 0.812, all f^2 values exceeded 0.35, GOF was 0.639 (strong) and SRMR was 0.096 (within the acceptable limit of 0.10). All path coefficients were positive and significant: building air quality 0.901 ($t = 45.067$), energy-related factors 0.838 ($t = 31.867$), environmental factors 0.822 ($t = 27.352$) and physical factors 0.810 ($t = 23.266$).

Discussion: The four dimensions together constitute the main pillars of technology integration in climate-responsive housing in Bandar Abbas, and their synergy, rather than the scattered use of individual technologies, is the key to reducing energy consumption. The prominence of building air quality reflects the local climate, in which high humidity and long hot periods threaten thermal comfort and indoor air quality more than any other factor, so that technologies for ventilation, humidity control and thermal comfort have the most direct effect on both living quality and energy use. These results are consistent with earlier studies on climate-responsive design, smart ventilation, smart load management and green-building innovation ecosystems. The effectiveness of new

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

technologies is maximized when they are deployed along the principles of vernacular architecture and climatic design. Practical implementation nevertheless faces obstacles: humidity and salinity shorten the life of smart equipment, initial costs are high, local contractors lack technical knowledge, some technologies depend on imports and policy incentives are absent. The study offers a localized, systems-based model that can guide policymakers, designers and developers towards low-energy, resilient and sustainable housing in hot and humid climates. Future research should develop humidity- and corrosion-resistant smart systems, socio-economic models to reduce implementation costs, building-scale energy simulation and life-cycle assessment of technologies.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

فصلنامه
مطالعات محیطی هفت حصار
Haft Hesar Journal of Environmental Studies
ISSN: 2322-5602
دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

مقاله پژوهشی | شماره پنجاه و هفتم/ سال پانزدهم/ پاییز ۱۴۰۵، صفحات ۱۲۵-۱۴۰

شناسایی زمینه‌های تلفیق فناوری در ارتقای بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی مسکن اقلیمی شهر بندرعباس*

زهرا مهربان سه‌گنبد[۱]، مهرداد جاویدی‌نژاد[۱]، سعید تیزقلم زنوزی[۱]**

۱. گروه معماری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

مطالعات محیطی هفت حصار، ۱۴۰۵
دوره ۱۵، شماره ۵۷، صفحات ۱۲۵-۱۴۰
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۴

نوع مقاله:
پژوهشی – مطالعه موردی

واژگان کلیدی:
تلفیق فناوری، بهره‌وری انرژی، مسکن اقلیمی، اقلیم گرم و مرطوب، معماری بومی، بندرعباس

ارجاع به این مقاله:
سه‌گنبد، زهرا مهربان، جاویدی‌نژاد، مهرداد و زنوزی، سعید تیزقلم (۱۴۰۵). شناسایی زمینه‌های تلفیق فناوری در ارتقای بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی مسکن اقلیمی شهر بندرعباس. *مطالعات محیطی هفت حصار*، ۱۵(۵۷)، ۱۲۵-۱۴۰.

چکیده

مقدمه: در اقلیم گرم و مرطوب بندرعباس، بار سرمایشی بالا و ناهماهنگی الگوهای رایج ساخت‌وساز با اقلیم، مصرف انرژی مسکن را به‌شدت افزایش داده است. پژوهش حاضر با هدف تبیین و اولویت‌بندی زمینه‌های تلفیق فناوری در ارتقای بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی مسکن اقلیمی این شهر انجام شده است.

روش‌شناسی: پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش ترکیبی (کیفی–کمی) است. در بخش کیفی، داده‌ها با مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با ۱۵ خبره حوزه معماری، انرژی و طراحی اقلیمی گردآوری و با روش نظریه داده‌بنیاد تحلیل شد. در بخش کمی، شاخص‌ها با روش دلفی فازی غربال و مدل مفهومی با تحلیل عاملی تأییدی و مدل‌سازی معادلات ساختاری (PLS-SEM) بر پایه پرسشنامه ۲۵۰ متخصص اعتبارسنجی شد.

یافته‌ها: کدگذاری باز، محوری و انتخابی به شناسایی ۳۲ شاخص در چهار بُعد «عوامل مربوط به انرژی»، «کیفیت هوای ساختمان»، «عوامل زیست‌محیطی» و «عوامل کالبدی» انجامید و مقدار فازی‌زدایی همه شاخص‌ها از آستانه ۰/۷ بیشتر بود. شاخص KMO برابر ۰/۹۲۲ و آزمون بارتلت معنادار بود؛ بارهای عاملی همه شاخص‌ها از ۰/۶۴ بیشتر و معنادار، آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی بالاتر از ۰/۸۸، AVE بالاتر از ۰/۵۰ و روایی واگرا بر پایه معیار فورنل–لارکر و HTMT تأیید شد. شاخص GOF برابر ۰/۶۳۹ (قوی) و SRMR برابر ۰/۰۹۶ (در مرز پذیرش) بود. بیشترین ضریب مسیر به کیفیت هوای ساختمان (۰/۹۰۱) تعلق داشت.

بحث: هر چهار بُعد ارکان تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی بندرعباس‌اند و اثربخشی فناوری‌های نوین زمانی بیشینه می‌شود که در امتداد اصول معماری بومی و طراحی اقلیمی به کار گرفته شوند. یافته‌ها الگویی بومی برای توسعه مسکن کم‌مصرف و تاب‌آور در اقلیم گرم و مرطوب فراهم می‌کند.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول است که به راهنمایی نگارندگان دوم و سوم در دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی انجام شده است.

** نویسنده مسئول:
Meh.javidinejad@iauctb.ac.ir

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

مقدمه

مسکن به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین نیازهای انسانی، همواره در کانون مطالعات معماری، شهرسازی و برنامه‌ریزی انرژی قرار داشته است. در دهه‌های اخیر، با تشدید بحران‌های زیست‌محیطی، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، تغییرات اقلیمی و رشد شتابان شهرنشینی، بهره‌وری انرژی در بخش مسکن به یکی از چالش‌های اساسی توسعه پایدار تبدیل شده است. بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، بخش ساختمان سهم قابل‌توجهی از مصرف نهایی انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد و در مناطق گرم و مرطوب، بار سرمایشی ساختمان‌ها این سهم را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد (IEA, 2023). در چنین شرایطی، بازاندیشی در الگوهای طراحی مسکن و حرکت به‌سوی راهکارهای اقلیم‌محور، فناورانه و بومی‌گرا ضرورتی انکارناپذیر برای کاهش مصرف انرژی و ارتقای کیفیت محیطی به شمار می‌رود. اقلیم گرم و مرطوب جنوب ایران، به‌ویژه شهر بندرعباس، به دلیل دمای بالا، رطوبت نسبی زیاد، تابش شدید خورشید و محدودیت تهویه طبیعی در برخی فصول، یکی از پرچالش‌ترین بسترها برای طراحی مسکن کارآمد از نظر انرژی است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ناهماهنگی الگوهای رایج ساخت‌وساز با شرایط اقلیمی این مناطق به وابستگی بیشتر به سیستم‌های مکانیکی پرمصرف و در نتیجه افزایش مصرف انرژی و هزینه‌های بهره‌برداری می‌انجامد (Kamel & Memari, 2021; Husainy et al., 2024). در مقابل، معماری بومی مناطق گرم و مرطوب ایران، که حاصل قرن‌ها تجربه زیستی و سازگاری با محیط است، مجموعه‌ای غنی از راهبردهای غیرفعال اقلیمی را در خود جای داده است که می‌تواند منبعی ارزشمند برای بهینه‌سازی مصرف انرژی باشد.

مطالعات داخلی متعددی بر نقش معماری بومی و طراحی همساز با اقلیم در ایجاد آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی تأکید کرده‌اند. Entezari et al. (2019) با بررسی راهبردهای طراحی مبتنی بر خورشید، باد و نور در شهر یزد نشان دادند که بهره‌گیری آگاهانه از عناصر اقلیمی نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای آسایش حرارتی دارد. Shams & Khodakarami (2010) نیز در مطالعه معماری سنتی شهر سنندج بر اهمیت تطبیق کالبد ساختمان با شرایط اقلیمی برای کاهش نیاز به انرژی‌های فسیلی تأکید کردند. Farokhzad & Roshan (2022) با پیشنهاد اطلس زیست‌اقلیمی ایران، لزوم تدوین راهبردهای منطقه‌محور برای طراحی معماری همساز با اقلیم را برجسته ساختند. این پژوهش‌ها اگرچه بر اهمیت اقلیم در طراحی معماری تأکید دارند، عمدتاً بر رویکردهای غیرفعال متمرکزند و نقش تلفیق فناوری‌های نوین در کنار این راهبردها کمتر به‌صورت نظام‌مند بررسی شده است. در سال‌های اخیر، مفهوم تلفیق فناوری در ساختمان‌ها از سطح هوشمندسازی‌های منفرد فراتر رفته و به سمت ایجاد اکوسیستم‌های یکپارچه انرژی، محیطی و کالبدی حرکت کرده است. مطالعات خارجی نشان می‌دهد که فناوری‌های هوشمند، سیستم‌های مدیریت انرژی، تهویه تطبیقی، انرژی‌های تجدیدپذیر و مصالح نوین می‌توانند در تعامل با طراحی اقلیمی، نقش بسزایی در کاهش مصرف انرژی و افزایش تاب‌آوری ساختمان‌ها ایفا کنند (Huseien & Shah, 2022; Apanavičienė & Shahrabani, 2023; Jafari & Valipour, 2020) در بررسی فناوری نسل پنجم ارتباطات در مدیریت انرژی ساختمان‌های هوشمند نشان دادند که زیرساخت‌های دیجیتال می‌توانند بهره‌وری سیستم‌های سرمایش و گرمایش را به‌طور چشمگیری افزایش دهند. Wang et al. (2021) نیز مسیرهای فناورانه سرمایش کارآمد و سازگار با اقلیم را از الزامات دستیابی به بی‌طرفی کربنی در بخش ساختمان معرفی کرده‌اند. در مقیاس شهری، Zach et al. (2019) نشان دادند که یکپارچه‌سازی تقاضای انرژی با منابع تجدیدپذیر محلی در پهنه‌های توسعه شهری هوشمند، گزینه‌های تازه‌ای برای برنامه‌ریزی شهری تاب‌آور و دوستدار اقلیم فراهم می‌کند. مفهوم «فناوری‌های دوستدار اقلیم» امروزه از بخش ساختمان نیز فراتر رفته و در حوزه‌هایی چون دامپروری و نظام سلامت به‌عنوان راهبردی برای کاهش اثرات اقلیمی دنبال می‌شود (Oğuz et al., 2024; Leal Filho et al., 2024).

در سطح داخلی، پژوهش‌هایی همچون Salehi et al. (2022) در یزد و Rahmani & Abdollahzadeh (2021) در شیراز نشان داده‌اند که بهینه‌سازی پوسته خارجی و مدیریت هوشمند بار الکتریکی می‌تواند در کاهش پیک مصرف و مصرف کل انرژی ساختمان‌های مسکونی مؤثر باشد. Zarezadeh (2024) نیز با تمرکز بر استان هرمزگان، ظرفیت بالای انرژی خورشیدی را یکی از محورهای کلیدی تأمین انرژی پایدار در این منطقه معرفی می‌کند. Zahedi & Norouzi (2023) با طراحی سیستم تهویه تطبیقی هوشمند در بندرعباس نشان دادند که ترکیب فناوری‌های هوشمند با شناخت دقیق اقلیم گرم و مرطوب می‌تواند به بهبود کیفیت هوای داخلی و کاهش مصرف انرژی منجر شود. با این حال، بیشتر این مطالعات هر یک به‌صورت مجزا به یک بُعد خاص از فناوری یا اقلیم پرداخته‌اند و چارچوبی جامع برای شناسایی و اولویت‌بندی زمینه‌های تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی ارائه نمی‌دهند. در ادبیات بین‌المللی نیز، با وجود پژوهش‌های گسترده درباره ساختمان‌های سبز، هوشمند و کم‌مصرف، تمرکز بسیاری از آن‌ها بر اقلیم‌های معتدل یا کشورهای توسعه‌یافته بوده و قابلیت بومی‌سازی مستقیم آن‌ها برای اقلیم‌های گرم و مرطوب کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، محل تردید است (Al-Homoud, 2022; Daioglou et al., 2022). مطالعاتی نظیر پژوهش Gustafsson et al. (2021) درباره نوسازی انرژی‌کارآمد ساختمان‌های چندخانواری در سوئد، هرچند از نظر روش‌شناسی پیشرفته‌اند،

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

تفاوت‌های اقلیمی، فرهنگی و اقتصادی را برجسته می‌سازند و ضرورت بازتعریف این الگوها در بسترهای محلی را نشان می‌دهند. از سوی دیگر، رویکردهای نوینی همچون اکوسیستم‌های نوآوری در ساختمان‌های سبز، به‌کارگیری بلاکچین در مدیریت انرژی شهری و توسعه شهرهای هوشمند افق‌های تازه‌ای برای تلفیق فناوری و معماری گشوده‌اند (Jiang & Zheng, 2021; Husainy et al., 2024). این رویکردها بر تعامل فناوری، سیاست‌گذاری، طراحی و مشارکت ذی‌نفعان تأکید دارند و نشان می‌دهند که ارتقای بهره‌وری انرژی صرفاً مسئله‌ای فنی نیست، بلکه پدیده‌ای چندبعدی و بین‌رشته‌ای است. در این میان، توجه به معماری بومی و دانش محلی در کنار فناوری‌های پیشرفته می‌تواند راهبردی متوازن و پایدار برای پاسخ به چالش‌های انرژی در اقلیم‌های خاص فراهم آورد؛ رویکردی که در آثار Aravena & Iacobelli (2016) با تأکید بر طراحی مشارکتی و مسکن تدریجی نیز مورد توجه قرار گرفته است.

با وجود این بدنه غنی از مطالعات، مرور پیشینه نشان می‌دهد که خلأ قابل‌توجهی در شناسایی نظام‌مند، یکپارچه و اولویت‌بندی‌شده زمینه‌های تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی شهر بندرعباس وجود دارد. اغلب پژوهش‌های داخلی یا بر معماری بومی و راهبردهای غیرفعال تمرکز داشته‌اند یا فناوری‌های نوین را به‌صورت موردی و جداگانه بررسی کرده‌اند. همچنین کمتر پژوهشی با رویکرد ترکیبی، از روش‌های کیفی عمیق برای استخراج شاخص‌ها و از مدل‌های کمی پیشرفته برای اعتبارسنجی و اولویت‌بندی آن‌ها بهره گرفته است؛ در حالی که تصمیم‌گیری‌های کلان در حوزه مسکن و انرژی نیازمند چارچوب‌هایی مبتنی بر اجماع خبرگان، شواهد علمی و تحلیل‌های ساختاری است. پژوهش حاضر با تمرکز بر شهر بندرعباس و اقلیم گرم و مرطوب آن، در پی پاسخ به این خلأ است و می‌کوشد با شناسایی زمینه‌های تلفیق فناوری در ارتقای بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی مسکن اقلیمی، الگویی بومی، علمی و کاربردی ارائه دهد و پیوندی معنادار میان دانش سنتی و فناوری معاصر برقرار سازد. در این راستا، استانداردهای بین‌المللی آسایش حرارتی (ASHRAE, 2017)، مطالعات تطبیقی درباره فناوری‌های سرمایش سازگار با اقلیم (Zhong, 2023; Wang et al., 2021) و ظرفیت‌های انرژی خورشیدی ایران (Memon, 2022) پشتوانه نظری و تجربی پژوهش را تشکیل داده‌اند.

نوآوری پژوهش حاضر را می‌توان در سه سطح تبیین کرد. نخست، برخلاف بخش قابل‌توجهی از مطالعات پیشین که یا صرفاً بر راهبردهای غیرفعال معماری بومی و یا به‌صورت منفصل بر فناوری‌های نوین ساختمانی تمرکز داشته‌اند، این پژوهش با نگاهی یکپارچه امکان هم‌افزایی میان اصول معماری بومی اقلیم گرم و مرطوب و فناوری‌های معاصر مدیریت انرژی را بررسی می‌کند. دوم، از حیث روش‌شناسی، استفاده هم‌زمان از نظریه داده‌بنیاد برای استخراج عمیق شاخص‌ها و مدل‌سازی معادلات ساختاری برای اعتبارسنجی و اولویت‌بندی آن‌ها، چارچوبی ترکیبی و کمتر استفاده‌شده در مطالعات معماری اقلیمی فراهم می‌سازد. سوم، پژوهش با تمرکز بر بستر خاص شهر بندرعباس، الگویی بومی‌شده برای تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی ارائه می‌دهد که می‌تواند مبنایی کاربردی برای طراحی، سیاست‌گذاری و توسعه مسکن کم‌مصرف در سایر شهرهای دارای شرایط مشابه باشد.

روش تحقیق

نوع و رویکرد پژوهش: پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی–تحلیلی است و با رویکرد آمیخته (کیفی–کمی) انجام شده است. انتخاب این رویکرد به دلیل ماهیت چندبعدی مسئله پژوهش، یعنی لزوم شناسایی عمیق مؤلفه‌های اثرگذار و نیز اعتبارسنجی ساختاری روابط میان آن‌ها، صورت گرفته است. در گام نخست، ادبیات نظری مرتبط با معماری بومی، طراحی اقلیمی، فناوری‌های نوین ساختمان، بهره‌وری انرژی و مسکن پایدار به‌صورت نظام‌مند بررسی شد و هم‌زمان مصاحبه با خبرگان انجام گرفت تا چارچوب مفهومی اولیه شکل گیرد. در گام دوم، شاخص‌های به‌دست‌آمده از بخش کیفی با روش‌های کمی پالایش و اعتبارسنجی شدند.

جامعه آماری و نمونه‌گیری: جامعه آماری بخش کیفی شامل خبرگان دانشگاهی و اجرایی در حوزه معماری اقلیمی، فناوری ساختمان، انرژی و طراحی پایدار بود که با روش نمونه‌گیری هدفمند و تا رسیدن به اشباع نظری، ۱۵ نفر از آنان مصاحبه شدند. در بخش کمی، پرسشنامه محقق‌ساخته در اختیار ۲۵۰ نفر از متخصصان و صاحب‌نظران مرتبط قرار گرفت.

ابزار گردآوری داده‌ها: در مرحله کیفی، ابزار گردآوری داده‌ها مصاحبه نیمه‌ساختاریافته مبتنی بر پرسش‌های باز بود. در مرحله کمی، پرسشنامه‌ای بر اساس شاخص‌های استخراج‌شده از بخش کیفی طراحی شد که طیف پاسخ‌گویی آن بر مبنای مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت تنظیم گردید.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

تحلیل داده‌های کیفی: داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها با روش نظریه داده‌بنیاد[1] و طی سه مرحله کدگذاری باز، محوری و انتخابی تحلیل شدند (Strauss & Corbin, 1998). در این فرایند، مفاهیم اولیه استخراج، در قالب مقوله‌های محوری سازمان‌دهی و در نهایت مقوله هسته‌ای پژوهش شناسایی شد.

تحلیل داده‌های کمی: برای غربالگری و تأیید شاخص‌ها از روش دلفی فازی[2] استفاده شد. سپس برای بررسی برازش مدل مفهومی و سنجش روابط میان سازه‌ها، تحلیل عاملی تأییدی[3] و مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی[4] به کار گرفته شد.

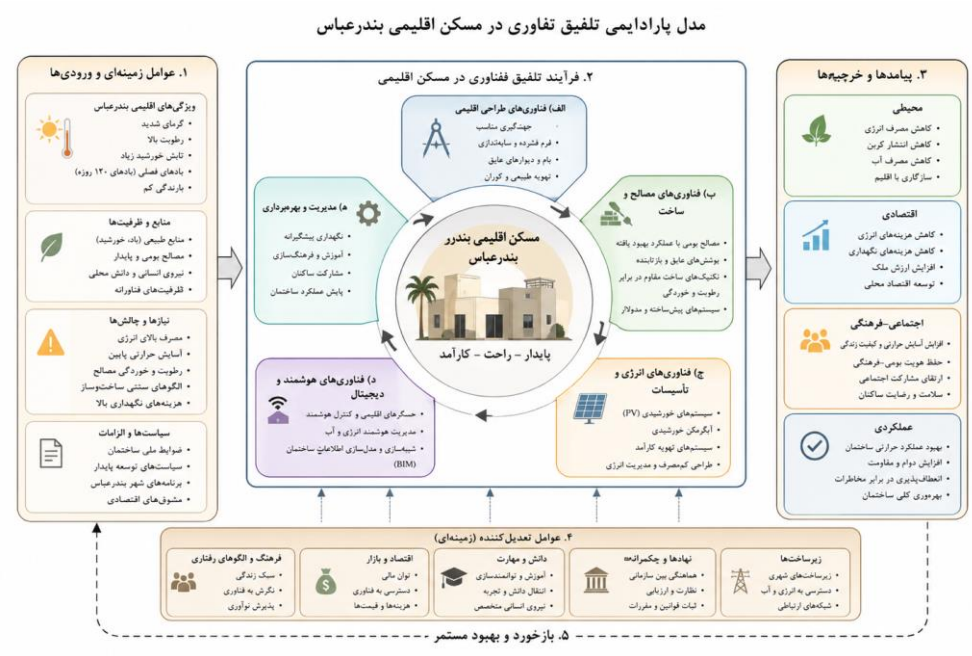
سنجش روایی و پایایی: برای ارزیابی کفایت داده‌ها از آزمون KMO و آزمون کرویت بارتلت، برای سنجش پایایی از آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی، برای بررسی روایی همگرا از میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) و برای سنجش روایی واگرا از معیار فورنل–لارکر (Fornell & Larcker, 1981) و شاخص HTMT[5] (Henseler et al., 2015) استفاده شد. کیفیت مدل ساختاری نیز با شاخص‌های GOF[6]، SRMR[7]، R^2 و f^2 ارزیابی گردید.

یافته‌ها

یافته‌های کیفی و مدل پارادایمی: در مرحله کدگذاری باز، داده‌های خام مصاحبه‌ها به‌صورت خط‌به‌خط بررسی و مفاهیم اولیه مرتبط با راهبردهای اقلیمی، فناوری‌های نوین، الگوهای بومی و مؤلفه‌های کالبدی استخراج شد. مهم‌ترین کدهای مفهومی عبارت بودند از: بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق پوسته هوشمند، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی، به‌کارگیری سامانه‌های مدیریت هوشمند انرژی، تهویه طبیعی و تطبیقی، کنترل رطوبت و دما، بهره‌گیری از مصالح بومی سازگار با اقلیم گرم و مرطوب، ارتقای کیفیت هوای داخلی، کاهش بار سرمایشی، طراحی سایه‌اندازهای هوشمند و انطباق فناوری با الگوهای زیست بومی بندرعباس. در این مرحله، تمرکز بر استخراج حداکثری مفاهیم بدون اعمال پیش‌فرض‌های نظری بود. در مرحله کدگذاری محوری، کدهای مشابه و هم‌معنا در چهار مقوله اصلی تجمیع شدند. مقوله نخست، «عوامل مربوط به انرژی»، شامل مدیریت هوشمند مصرف انرژی، سامانه‌های تولید انرژی تجدیدپذیر، کاهش پیک مصرف و افزایش راندمان سیستم‌های سرمایشی بود. مقوله دوم، «عوامل کیفیت هوای ساختمان»، مؤلفه‌هایی چون تهویه طبیعی و مکانیکی هوشمند، کنترل رطوبت، بهبود شرایط آسایش حرارتی و انطباق با استانداردهای آسایش حرارتی را دربر می‌گرفت. مقوله سوم، «عوامل زیست‌محیطی»، بر کاهش اثرات زیست‌محیطی ساختمان، کاهش جزیره حرارتی، استفاده از فناوری‌های کم‌کربن و ارتقای پایداری محیطی تأکید داشت. مقوله چهارم، «عوامل کالبدی»، شامل طراحی پوسته ساختمان، جهت‌گیری مناسب بنا، استفاده از مصالح بومی نوآورانه و تلفیق فناوری با ساختار فضایی مسکن اقلیمی بود. در مرحله کدگذاری انتخابی، با یکپارچه‌سازی مقوله‌های محوری، «تلفیق هوشمندانه فناوری‌های نوین با اصول معماری بومی و طراحی اقلیمی به‌منظور ارتقای بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی در مسکن اقلیمی بندرعباس» به‌عنوان مقوله هسته‌ای شناسایی شد. نتایج نشان داد که تحقق بهره‌وری انرژی در مسکن اقلیمی نه صرفاً از طریق به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته، بلکه در گرو هم‌افزایی فناوری، اقلیم، الگوهای بومی و ساختار کالبدی است. در مجموع، فرایند کدگذاری به استخراج ۳۲ شاخص مفهومی در چهار بُعد اصلی انجامید که مبنای طراحی مدل مفهومی و ورود به مراحل کمی پژوهش قرار گرفت.

بر مبنای کدگذاری محوری و انتخابی، مدل پارادایمی پژوهش بر اساس الگوی Strauss & Corbin (1998) ترسیم گردید (تصویر ۱). در این مدل، تلفیق هوشمندانه فناوری‌های نوین با اصول معماری بومی و طراحی اقلیمی پدیده محوری است. شرایط علّی شکل‌گیری این پدیده شامل افزایش مصرف انرژی در مسکن جنوب، ناکارآمدی الگوهای ساخت‌وساز متعارف و تشدید فشارهای اقلیمی ناشی از گرما و رطوبت بالا بود. شرایط زمینه‌ای دربرگیرنده ویژگی‌های کالبدی مسکن بندرعباس، ظرفیت بالای انرژی خورشیدی، الگوهای سنتی تهویه و فرهنگ سکونت منطقه است. عواملی نظیر هزینه بالای فناوری، محدودیت زیرساخت‌های اجرایی، ضعف دانش فنی و نبود سیاست‌های حمایتی به‌عنوان شرایط مداخله‌گر عمل می‌کنند. راهبردهای اصلی شامل هوشمندسازی مدیریت انرژی، سامانه‌های تهویه تطبیقی، مصالح نوین سازگار با رطوبت و انرژی‌های تجدیدپذیر است و پیامد این راهبردها کاهش مصرف انرژی، ارتقای آسایش حرارتی، بهبود کیفیت محیط داخلی و افزایش پایداری زیست‌محیطی مسکن اقلیمی خواهد بود.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]



تصویر ۱: مدل پارادایمی تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی بندرعباس

کفایت نمونه‌گیری: پیش از انجام تحلیل عاملی تأییدی، کفایت حجم نمونه و وجود همبستگی کافی میان متغیرهای مشاهده‌شده با آزمون Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) و آزمون کرویت بارتلت بررسی شد. شاخص KMO دامنه‌ای بین صفر و یک دارد و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، کفایت نمونه‌گیری بیشتر است؛ بر اساس معیارهای متداول، مقادیر بالاتر از ۰/۶۰ قابل قبول، بالاتر از ۰/۷۰ خوب، بالاتر از ۰/۸۰ بسیار خوب و بالاتر از ۰/۹۰ عالی تلقی می‌شود. آزمون بارتلت فرضیه صفر مبنی بر نبود همبستگی میان متغیرها را می‌آزماید و معنادار بودن آن (سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵) نشان می‌دهد که ماتریس همبستگی متغیرها با ماتریس همانی تفاوت دارد و استخراج عوامل مشترک امکان‌پذیر است.

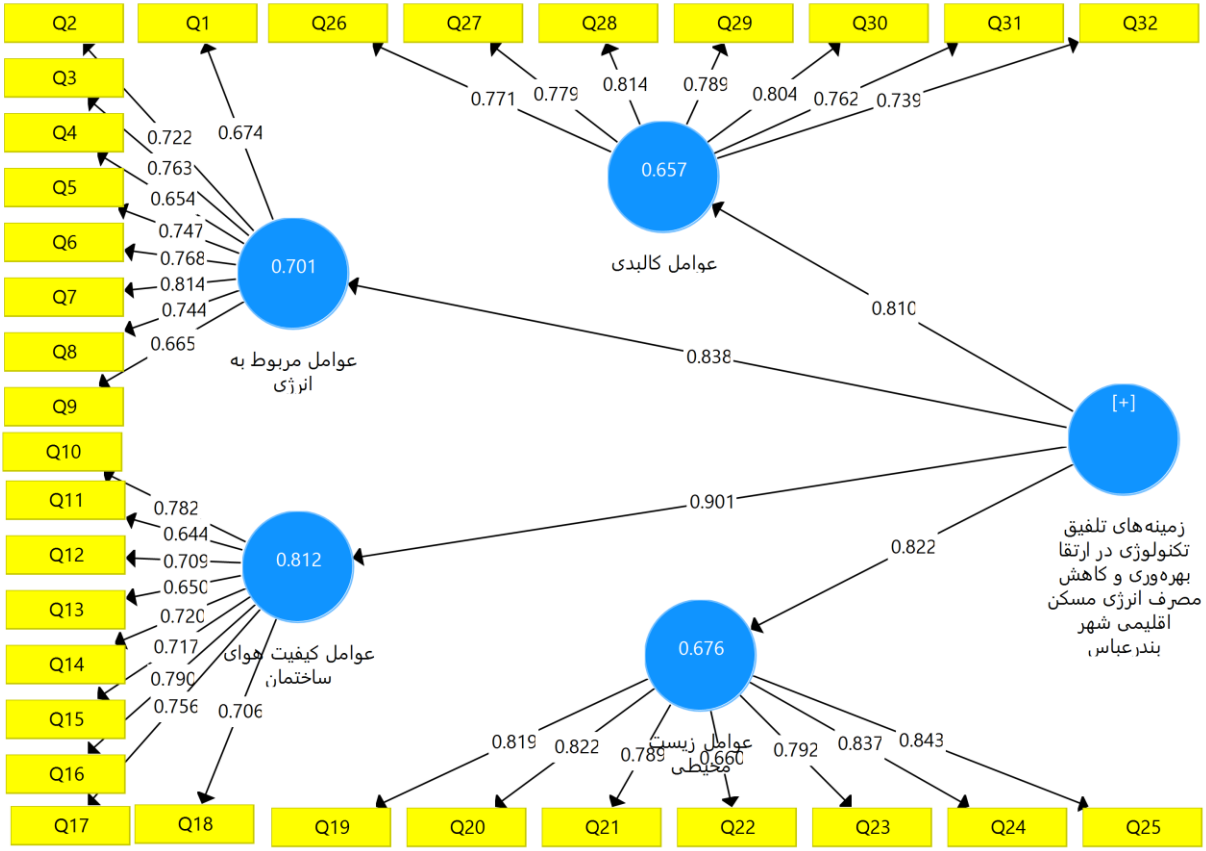
جدول ۱: آزمون KMO و بارتلت برای سنجش کفایت نمونه‌گیری

شاخص KMO	آزمون کرویت بارتلت		
	آماره کای‌دو	درجه آزادی	سطح معناداری
۰/۹۲۲	۵۳۱۸/۵۴۱	۴۹۶	۰/۰۰۰

مقدار شاخص KMO برابر ۰/۹۲۲ است که از معیار عالی ۰/۹۰ نیز بالاتر است (جدول ۱) و بر کفایت عالی حجم نمونه و مناسبت ساختار همبستگی متغیرها برای تحلیل عاملی دلالت دارد. نتایج آزمون کرویت بارتلت نیز با آماره کای‌دو ۵۳۱۸/۵۴۱ و ۴۹۶ درجه آزادی در سطح کمتر از ۰/۰۰۱ معنادار است؛ بنابراین همبستگی‌های قابل‌توجهی میان مقوله‌ها وجود دارد و داده‌ها پیش‌فرض‌های لازم برای تحلیل عاملی تأییدی را دارند.

مدل اندازه‌گیری: برای شناسایی زمینه‌های تلفیق فناوری، ابتدا الگوی مفهومی با تحلیل عاملی تأییدی به روش حداقل مربعات جزئی (PLS) آزموده شد. در این تحلیل، مدل اندازه‌گیری سازه‌ها بر اساس شاخص‌هایشان ارزیابی می‌شود تا روشن شود آیا شاخص‌ها سازه‌های مدنظر را به‌درستی اندازه‌گیری می‌کنند. مدل اندازه‌گیری شامل چهار زمینه اصلی است: عوامل مربوط به انرژی با ۹ مقوله، عوامل کیفیت هوای ساختمان با ۹ مقوله، عوامل زیست‌محیطی با ۷ مقوله و عوامل کالبدی با ۷ مقوله (تصویر ۲).

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]



تصویر ۲: مدل اندازه‌گیری زمینه‌های تلفیق فناوری در ارتقای بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی مسکن اقلیمی شهر بندرعباس

بارهای عاملی قدرت و جهت رابطه میان متغیرهای مشاهده‌شده و عوامل نهفته را نشان می‌دهند و بار عاملی دست‌کم ۰/۵۰ بیانگر سهم قابل قبول متغیر در اندازه‌گیری سازه است. بارهای عاملی همه شاخص‌ها بین ۰/۶۴۴ و ۰/۸۴۳ و در سطح ۰/۰۰۱ معنادار بود (جدول ۷ در پیوست)؛ بنابراین مدل اندازه‌گیری چهارعاملی از روایی سازه مناسبی برخوردار است و همه مقوله‌های شناسایی‌شده افزون بر معناداری آماری، قدرت تبیینی قابل قبولی دارند.

پایایی، روایی همگرا و کیفیت سازه‌ها: پایایی سازه‌ها با آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی سنجیده شد که مقادیر ۰/۷۰، ۰/۸۰ و ۰/۹۰ برای آن‌ها به ترتیب سطوح قابل قبول، خوب و عالی به شمار می‌رود. آلفای کرونباخ چهار سازه بین ۰/۸۸۴ و ۰/۹۰۳ است و بالاترین مقدار به «عوامل زیست‌محیطی» (۰/۹۰۳) تعلق دارد که سازگاری درونی بسیار قوی هفت مقوله این بُعد را نشان می‌دهد. پایایی ترکیبی (CR) همه سازه‌ها نیز بین ۰/۹۰۷ و ۰/۹۲۴ و در سطح عالی است (جدول ۲). روایی همگرا با AVE و ضریب rho_A ارزیابی شد؛ مقادیر AVE بیشتر از ۰/۵ و rho_A بیشتر از ۰/۷ تأییدکننده روایی همگرا هستند. مقادیر AVE بین ۰/۵۲۰ و ۰/۶۳۵ است؛ یعنی بیش از ۵۰ درصد واریانس متغیرهای مشاهده‌شده را سازه‌های نهفته تبیین می‌کنند. بالاترین AVE به «عوامل زیست‌محیطی» (۰/۶۳۵) و کمترین آن به «عوامل کیفیت هوای ساختمان» (۰/۵۲۰) تعلق دارد که همچنان از حد مجاز بالاتر است؛ این تفاوت جزئی می‌تواند ناشی از تنوع بیشتر جنبه‌های کیفیت هوا باشد. ضرایب rho_A نیز بین ۰/۸۸۵ و ۰/۹۰۵ است. در نهایت، شاخص اشتراک (CV.COM) همه سازه‌ها مثبت و بین ۰/۳۸۷ و ۰/۴۹۶ است که توانایی مناسب سازه‌ها در پیش‌بینی واریانس متغیرهای مشاهده‌شده را نشان می‌دهد؛ بالاترین مقدار باز هم به «عوامل زیست‌محیطی» (۰/۴۹۶) تعلق دارد.

جدول ۲: پایایی، روایی همگرا و کیفیت سازه‌های زمینه‌های تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی شهر بندرعباس

سازه	آلفای کرونباخ	rho_A	پایایی ترکیبی (CR)	میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE)	شاخص اشتراک (CV.COM)
عوامل زیست‌محیطی	۰/۹۰۳	۰/۹۰۵	۰/۹۲۴	۰/۶۳۵	۰/۴۹۶

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

سازه	آلفای کرونباخ	rho_A	پایایی ترکیبی (CR)	میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE)	شاخص اشتراک (CV.COM)
عوامل مربوط به انرژی	۰/۸۸۹	۰/۸۹۱	۰/۹۱۱	۰/۵۳۳	۰/۴۰۳
عوامل کالبدی	۰/۸۹۳	۰/۸۹۳	۰/۹۱۶	۰/۶۰۹	۰/۴۶۵
عوامل کیفیت هوای ساختمان	۰/۸۸۴	۰/۸۸۵	۰/۹۰۷	۰/۵۲۰	۰/۳۸۷

روایی واگرا: برای ارزیابی تمایز سازه‌ها از ماتریس فورنل–لارکر و شاخص HTMT استفاده شد. در ماتریس فورنل–لارکر، جذر AVE هر سازه (قطر اصلی) از همبستگی آن با سایر سازه‌ها بیشتر است (جدول ۳)؛ بنابراین هر سازه با شاخص‌های خود تعامل بیشتری دارد تا با سازه‌های دیگر و روایی واگرای مدل تأیید می‌شود.

جدول ۳: روایی واگرای سازه‌ها به روش فورنل–لارکر (اعداد قطر اصلی: جذر AVE)

سازه	۱	۲	۳	۴
۱. عوامل زیست‌محیطی	**۰/۷۹۷**			
۲. عوامل مربوط به انرژی	۰/۵۵۴	**۰/۷۳۰**		
۳. عوامل کالبدی	۰/۴۷۴	۰/۶۰۳	**۰/۷۸۰**	
۴. عوامل کیفیت هوای ساختمان	۰/۶۹۳	۰/۷۰۳	۰/۶۶۵	**۰/۷۲۱**

شاخص HTMT همبستگی میان شاخص‌های یک سازه را با همبستگی آن‌ها با شاخص‌های سازه‌های دیگر مقایسه می‌کند. مقادیر HTMT همه زوج سازه‌ها کمتر از ۰/۹ (بین ۰/۵۲۷ و ۰/۷۸۶) است (جدول ۴)؛ از این رو سازه‌ها به‌خوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند و همپوشانی زیادی ندارند.

جدول ۴: روایی واگرای سازه‌ها بر اساس شاخص HTMT

سازه	۱	۲	۳	۴
۱. عوامل زیست‌محیطی				
۲. عوامل مربوط به انرژی	۰/۶۱۴			
۳. عوامل کالبدی	۰/۵۲۷	۰/۶۶۹		
۴. عوامل کیفیت هوای ساختمان	۰/۷۷۸	۰/۷۸۶	۰/۷۴۸	

وزن‌های بیرونی و عامل تورم واریانس: نتایج آزمون معناداری وزن‌های بیرونی نشان داد که وزن همه شاخص‌ها از نظر آماری معنادار است (سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵)؛ یعنی هر شاخص سهم قابل‌توجهی در تبیین سازه مربوط دارد. عامل تورم واریانس (VIF)[۸] نیز برای بررسی هم‌خطی میان شاخص‌ها محاسبه شد؛ مقدار VIF کمتر از ۵ نشان‌دهنده نبود مشکل هم‌خطی است. همه مقادیر VIF بین ۱/۵۰۳ و ۳/۲۱۵ و کمتر از ۵ است (جدول ۷ در پیوست)؛ بنابراین مدل فاقد مشکل هم‌خطی است.

نیکویی برازش: برای سنجش نیکویی برازش سازه‌های درون‌زا از شاخص افزونگی (CV.RED)، ضریب تعیین (R^2) و اندازه اثر (f^2) و برای سنجش کیفیت مدل کلی از شاخص‌های GOF و SRMR استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۵: شاخص‌های نیکویی برازش مدل زمینه‌های تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی شهر بندرعباس

سازه	CV.RED	R^2	سطح	f^2	سطح	GOF	SRMR
عوامل زیست‌محیطی	۰/۳۹۸	۰/۶۷۶	قابل توجه	۲/۰۸۸	قابل توجه	۰/۶۳۹	۰/۰۹۶
عوامل مربوط به انرژی	۰/۳۴۳	۰/۷۰۱	قابل توجه	۲/۳۴۹	قابل توجه		
عوامل کالبدی	۰/۳۷۳	۰/۶۵۷	قابل توجه	۱/۹۱۳	قابل توجه		
عوامل کیفیت هوای ساختمان	۰/۳۹۱	۰/۸۱۲	قابل توجه	۴/۳۲۴	قابل توجه		

مقدار CV.RED برای هر چهار سازه (۰/۳۴۳ تا ۰/۳۹۸) بالاتر از صفر است؛ بنابراین مدل قدرت پیش‌بینی مطلوبی برای متغیرهای درون‌زا دارد. بالاترین مقدار به عوامل زیست‌محیطی (۰/۳۹۸) و کمترین آن به عوامل مربوط به انرژی (۰/۳۴۳) تعلق دارد. ضریب تعیین میزان اثر متغیر برون‌زا بر متغیر درون‌زا را می‌سنجد و مقادیر ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ به ترتیب ضعیف، متوسط و قوی تلقی می‌شوند. مقادیر R^2 بین ۰/۶۵۷ و

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

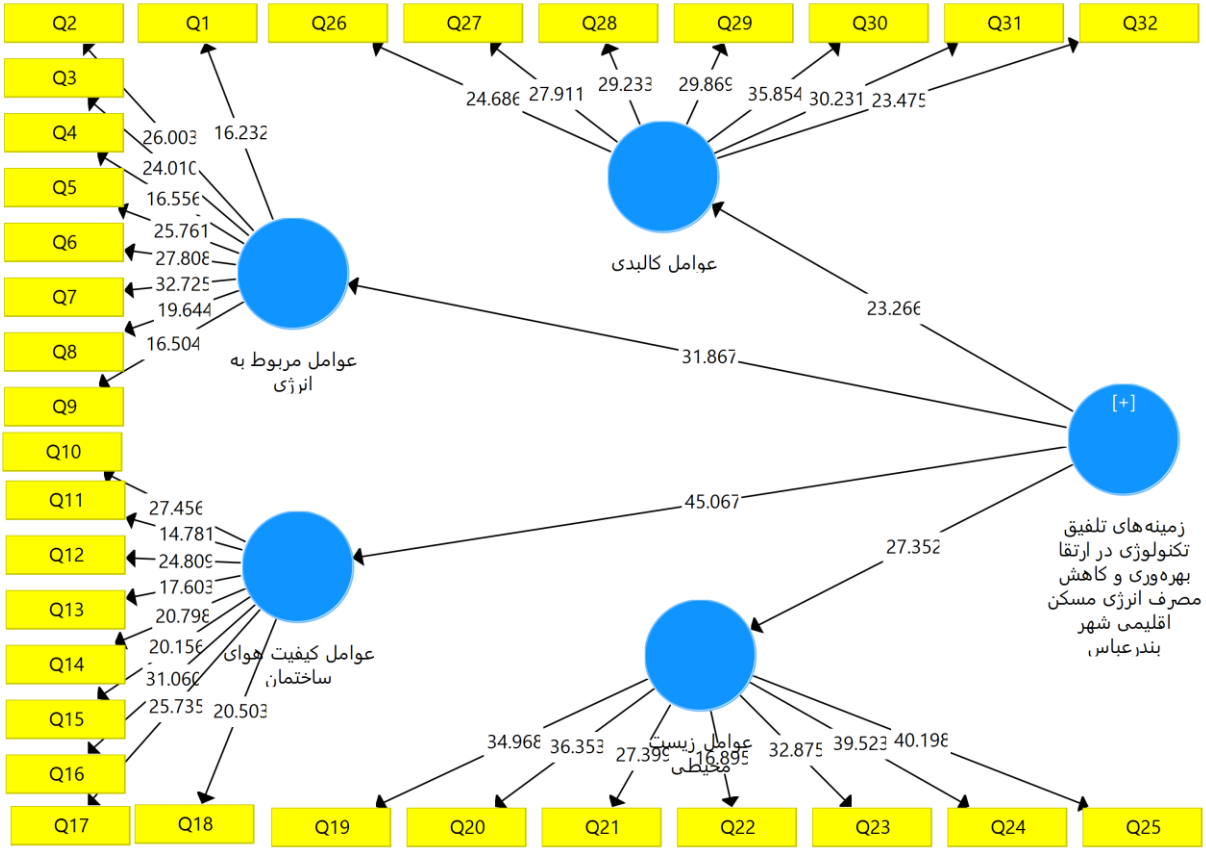
۰/۸۱۲ است؛ بالاترین مقدار به کیفیت هوای ساختمان (۰/۸۱۲) تعلق دارد، یعنی بیش از ۸۱ درصد واریانس این سازه تبیین شده است، و کمترین مقدار به عوامل کالبدی (۰/۶۵۷) که همچنان در سطح قابل‌توجه قرار دارد. اندازه اثر نشان می‌دهد که با حذف یک متغیر مستقل از مدل، برآورد متغیر وابسته چه اندازه تغییر می‌کند؛ بر اساس Cohen (1988) مقادیر ۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ به ترتیب اثر ضعیف، متوسط و قوی را نشان می‌دهند. همه مقادیر f^2 (۱/۹۱۳ تا ۴/۳۲۴) بسیار بالاتر از ۰/۳۵ است و بزرگ‌ترین مقدار به کیفیت هوای ساختمان (۴/۳۲۴) تعلق دارد. برای ارزیابی کیفیت کلی مدل از شاخص GOF استفاده شد که مقادیر ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶ برای آن به ترتیب سطوح ضعیف، متوسط و قوی است. مقدار GOF برابر ۰/۶۳۹ است که طبق معیار Wetzels et al. (2009) قوی محسوب می‌شود. مقدار SRMR برابر ۰/۰۹۶ است؛ با آنکه مقدار مطلوب کمتر از ۰/۰۸ است، مقادیر تا ۰/۱۰ همچنان پذیرفتنی تلقی می‌شوند و بنابراین ناسازگاری جدی میان ماتریس کوواریانس مشاهده‌شده و برآوردشده وجود ندارد.

معناداری مسیرهای مدل: همان‌گونه که در جدول ۶ گزارش شده است، همه ضرایب مسیر مثبت و از نظر آماری معنادار هستند (آماره t بیشتر از ۱/۹۶ و سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵). عوامل زیست‌محیطی با ضریب ۰/۸۲۲ و آماره t برابر ۲۷/۳۵۲ اثری مثبت و بسیار قوی دارند. عوامل مربوط به انرژی با ضریب ۰/۸۳۸ و آماره t برابر ۳۱/۸۶۷ اثرگذاری قوی و معنادار دارند. عوامل کالبدی با ضریب ۰/۸۱۰ و آماره t برابر ۲۳/۲۶۶ تأثیر مناسب و معناداری دارند. عوامل کیفیت هوای ساختمان با ضریب ۰/۹۰۱ و آماره t برابر ۴۵/۰۶۷ قوی‌ترین اثر را در میان مسیرهای مدل نشان می‌دهند (تصویر ۳). معناداری همه مسیرها بیانگر آن است که روابط پیش‌بینی‌شده در مدل به‌طور تجربی تأیید می‌شوند و مقوله‌ها و زمینه‌های استخراج‌شده از تحلیل کیفی به‌درستی انتخاب شده‌اند؛ بنابراین مدل پیشنهادی از روایی سازه، قدرت تبیین بالا و انسجام ساختاری مطلوب برخوردار است.

جدول ۶: ضرایب مسیر مدل زمینه‌های تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی شهر بندرعباس و آزمون معناداری آن‌ها

مسیر	ضریب استاندارد مسیر	خطای معیار	آماره t	سطح معناداری
تلفیق فناوری ← عوامل زیست‌محیطی	۰/۸۲۲	۰/۰۳۰	۲۷/۳۵۲	۰/۰۰۰
تلفیق فناوری ← عوامل مربوط به انرژی	۰/۸۳۸	۰/۰۲۶	۳۱/۸۶۷	۰/۰۰۰
تلفیق فناوری ← عوامل کالبدی	۰/۸۱۰	۰/۰۳۵	۲۳/۲۶۶	۰/۰۰۰
تلفیق فناوری ← عوامل کیفیت هوای ساختمان	۰/۹۰۱	۰/۰۲۰	۴۵/۰۶۷	۰/۰۰۰

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]



تصویر ۳: مدل زمینه‌های تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی شهر بندرعباس در حالت ضرایب معناداری (آماره t)

بحث

پژوهش حاضر بر ضرورت تلفیق فناوری‌های نوین در مسکن اقلیمی بندرعباس تأکید دارد و زمینه‌های این تلفیق را از دو منظر کیفی و کمی تحلیل کرده است. نتایج ساختاری منسجم را نشان می‌دهد که عوامل مؤثر در بهینه‌سازی مصرف انرژی و کیفیت هوای ساختمان‌ها در این منطقه را شناسایی و سازمان‌دهی می‌کند. در بخش کیفی، کدگذاری باز گستره وسیعی از فناوری‌ها و راهکارها را آشکار کرد که عمدتاً حول محورهایی چون هوشمندسازی سیستم‌ها، انرژی‌های تجدیدپذیر، کنترل کیفیت هوا و مصالح نوین متمرکز بودند. کدگذاری محوری این مفاهیم پراکنده را در چهار مقوله کلان سامان داد و نشان داد که مسئله انرژی در مسکن اقلیمی پدیده‌ای تک‌بعدی نیست و نیازمند توجه هم‌زمان به ابعاد فنی، بهداشتی، زیست‌محیطی و کالبدی است. کدگذاری انتخابی با تعیین مقوله هسته‌ای «تلفیق هوشمندانه فناوری‌های نوین با اصول معماری بومی و طراحی اقلیمی» بر مهم‌ترین یافته بخش کیفی تأکید کرد: کلید موفقیت در کاهش مصرف انرژی در بندرعباس، شکل‌گیری اکوسیستمی یکپارچه، تاب‌آور و کم‌مصرف از طریق هم‌افزایی فناوری‌ها و مقوله‌های مختلف است، نه کاربرد پراکنده و جداگانه آن‌ها. این مدل پارادایمی، پژوهش را از فهرست‌سازی فناوری‌ها به سمت رویکردی سیستمی سوق داد.

بخش کمی با هدف اعتبارسنجی، اولویت‌بندی و کمّی‌سازی یافته‌های کیفی انجام شد. نتایج دلفی فازی با مشارکت ۱۵ خبره نشان داد که هر ۳۲ شاخص استخراج‌شده از اهمیت قابل قبولی (بالاتر از آستانه ۰/۷) برخوردارند و میانگین نمرات قطعی شاخص‌ها بین ۰/۷۰ و ۰/۸۰ بود که از اجماع قوی خبرگان بر جامعیت چارچوب اولیه حکایت دارد. تحلیل عاملی تأییدی با نمونه ۲۵۰ نفری از متخصصان، برازش و اعتبار مدل چهارعاملی را تأیید کرد و ضرایب مسیر، اثر قوی و مثبت هر چهار زمینه بر سازه کلان تلفیق فناوری را نشان داد؛ بیشترین ضریب به عوامل کیفیت هوای ساختمان (۰/۹۰۱) و کمترین آن (که همچنان قوی است) به عوامل زیست‌محیطی (۰/۸۲۲) تعلق داشت. برجستگی کیفیت هوای ساختمان را می‌توان با شرایط اقلیمی بندرعباس توضیح داد: در اقلیمی که رطوبت بالا و گرمای طولانی، آسایش حرارتی و سلامت هوای داخلی

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

را بیش از هر عامل دیگری تهدید می‌کند، فناوری‌هایی که تهویه، رطوبت و آسایش حرارتی را کنترل می‌کنند، مستقیم‌ترین اثر را بر کیفیت سکونت و مصرف انرژی دارند.

این یافته‌ها با پژوهش‌های پیشین همسو است. Entezari et al. (2019) در یزد تأکید کردند که جهت‌گیری ساختمان، سایه‌اندازی مناسب و تهویه طبیعی می‌تواند مصرف انرژی را کاهش دهد که با ابعاد انرژی و کالبدی پژوهش حاضر همخوانی دارد. Shams & Khodakarami (2010) نیز با بررسی معماری سنتی سنندج نشان دادند که مصالح بومی و تطبیق طراحی ساختمان با شرایط اقلیمی، نیاز به انرژی را کاهش و آسایش حرارتی را افزایش می‌دهد؛ این نتیجه با شاخص‌های کالبدی و کیفیت هوای ساختمان در پژوهش کنونی مطابقت دارد. در بعد فناوری، اهمیت کلیدی سامانه‌های هوشمند مدیریت انرژی، کنترل تطبیقی دما و رطوبت و انرژی خورشیدی با مطالعه Zahedi & Norouzi (2023) درباره سیستم تهویه هوشمند در بندرعباس و پژوهش Rahmani & Abdollahzadeh (2021) درباره مدیریت هوشمند بار الکتریکی ساختمان‌های مسکونی همخوانی دارد. افزون بر این، Pourahmad et al. (2023) نشان دادند که طراحی فضاهای باز شهری و کاهش جزیره حرارتی می‌تواند مصرف انرژی ساختمان‌ها را کاهش دهد که با بعد کالبدی و زیست‌محیطی پژوهش حاضر همسو است. در بعد زیست‌محیطی، نتایج با پژوهش‌های Husainy et al. (2024) و Jiang & Zheng (2021) درباره اکوسیستم‌های نوآوری و ساختمان‌های سبز در شهرهای هوشمند همخوان است. همچنین هم‌افزایی چهار بُعد انرژی، کیفیت هوا، زیست‌محیطی و کالبدی به‌عنوان مبنای بهره‌وری انرژی، با تأکید Al-Homoud (2022) و Kamel & Memari (2021) بر ضرورت رویکرد یکپارچه در ساختمان‌های کم‌مصرف اقلیم گرم همسو است. در مجموع، ادغام فناوری‌های نوین با طراحی بومی و اقلیمی، افزون بر کاهش مصرف انرژی، کیفیت محیط داخلی و پایداری را ارتقا و اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد.

با وجود تأیید اثرگذاری بالای ابعاد چهارگانه مدل، تحقق عملی این الگو در بندرعباس با چالش‌هایی همراه است. رطوبت بالا و شوری هوای ساحلی می‌تواند طول عمر برخی تجهیزات هوشمند را کاهش و هزینه نگهداری آن‌ها را افزایش دهد. هزینه اولیه نصب سامانه‌های مدیریت انرژی، تهویه هوشمند و پنل‌های خورشیدی نیز برای بخش قابل‌توجهی از خانوارها بالاست. محدودیت دانش فنی پیمانکاران محلی، وابستگی برخی فناوری‌ها به تجهیزات وارداتی و نبود مشوق‌های سیاستی از دیگر موانع اجرایی به شمار می‌روند. از این رو، استقرار فناوری در مسکن اقلیمی بندرعباس نیازمند بومی‌سازی فنی، آموزش اجرایی و حمایت‌های اقتصادی هم‌زمان است.

نتیجه‌گیری

در منطقه گرم و مرطوب بندرعباس، توسعه مسکن هوشمند و اقلیمی نیازمند رویکردی جامع، سیستم‌محور و راهبردی است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که تلفیق فناوری‌های نوین با اصول معماری اقلیمی در بندرعباس به چارچوبی چهاربعدی و منسجم شامل عوامل مربوط به انرژی، کیفیت هوای ساختمان، عوامل زیست‌محیطی و عوامل کالبدی می‌انجامد و هم‌افزایی این ابعاد، هسته مرکزی موفقیت در کاهش مصرف انرژی و ارتقای بهره‌وری مسکن اقلیمی است. نتایج مدل‌سازی معادلات ساختاری اعتبار مدل پیشنهادی و اثرگذاری معنادار همه ابعاد را تأیید کرد و بعد کیفیت هوای ساختمان بیشترین اثر را نشان داد. از منظر نظری، این مطالعه مدلی پارادایمی و یکپارچه برای تلفیق فناوری در مسکن اقلیمی ارائه می‌دهد که از سطح توصیف فناوری‌ها فراتر رفته و به سمت رویکردی سیستم‌محور حرکت می‌کند. از منظر کاربردی، مدل می‌تواند به‌عنوان نقشه راه تصمیم‌سازی برای سیاست‌گذاران، طراحان و توسعه‌دهندگان مسکن در بندرعباس به کار رود و اولویت را به بهبود کیفیت هوای داخلی ساختمان‌ها بدهد. ترکیب تحلیل کیفی با روش‌های کمی پیشرفته (دلفی فازی و PLS-SEM) نیز به دقت و اعتبار مدل مفهومی افزوده و شکاف میان نظریه و اجرا را در مناطق گرم و مرطوب کاهش می‌دهد.

پژوهش‌های آتی می‌توانند بر بومی‌سازی فناوری‌های هوشمند متناسب با اقلیم گرم و مرطوب، به‌ویژه توسعه سیستم‌های مقاوم در برابر رطوبت و خوردگی، تمرکز کنند. بررسی مدل‌های اقتصادی–اجتماعی برای کاهش هزینه‌های پیاده‌سازی و افزایش پذیرش اجتماعی فناوری‌ها نیز ضروری است. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده از شبیه‌سازی انرژی در مقیاس واقعی ساختمان و تحلیل چرخه عمر (LCA)[9] فناوری‌ها بهره گیرند و چارچوب‌های سیاست‌گذاری شهری برای حمایت از مسکن هوشمند اقلیمی توسعه یابد. این اقدامات می‌تواند بندرعباس را به سمت شهری مقاوم، سالم و پایدار در اقلیم گرم و مرطوب هدایت کند.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

پیوست

جدول ۷: بارهای عاملی، آزمون معناداری و عامل تورم واریانس (VIF) شاخص‌های مدل

سازه	شاخص	بار عاملی	خطای معیار	آماره t	سطح معناداری	VIF
عوامل مربوط به انرژی	Q1	۰/۶۷۴	۰/۰۴۲	۱۶/۲۳۲	۰/۰۰۰	۱/۷۳۰
	Q2	۰/۷۲۲	۰/۰۲۸	۲۶/۰۰۳	۰/۰۰۰	۱/۹۱۴
	Q3	۰/۷۶۳	۰/۰۳۲	۲۴/۰۱۰	۰/۰۰۰	۲/۲۷۹
	Q4	۰/۶۵۴	۰/۰۴۰	۱۶/۵۵۶	۰/۰۰۰	۱/۷۶۵
	Q5	۰/۷۴۷	۰/۰۲۹	۲۵/۷۶۱	۰/۰۰۰	۱/۹۳۹
	Q6	۰/۷۶۸	۰/۰۲۸	۲۷/۸۰۸	۰/۰۰۰	۲/۱۰۷
	Q7	۰/۸۱۴	۰/۰۲۵	۳۲/۷۲۵	۰/۰۰۰	۳/۲۱۵
	Q8	۰/۷۴۴	۰/۰۳۸	۱۹/۶۴۴	۰/۰۰۰	۲/۰۱۴
	Q9	۰/۶۶۵	۰/۰۴۰	۱۶/۵۰۴	۰/۰۰۰	۱/۵۰۳
عوامل کیفیت هوای ساختمان	Q10	۰/۷۸۲	۰/۰۲۸	۲۷/۴۵۶	۰/۰۰۰	۲/۱۸۹
	Q11	۰/۶۴۴	۰/۰۴۴	۱۴/۷۸۱	۰/۰۰۰	۱/۷۴۸
	Q12	۰/۷۰۹	۰/۰۲۹	۲۴/۸۰۹	۰/۰۰۰	۱/۷۵۶
	Q13	۰/۶۵۰	۰/۰۳۷	۱۷/۶۰۳	۰/۰۰۰	۱/۸۰۲
	Q14	۰/۷۲۰	۰/۰۳۵	۲۰/۷۹۸	۰/۰۰۰	۱/۸۸۳
	Q15	۰/۷۱۷	۰/۰۳۶	۲۰/۱۵۶	۰/۰۰۰	۱/۹۴۵
	Q16	۰/۷۹۰	۰/۰۲۵	۳۱/۰۶۰	۰/۰۰۰	۲/۳۵۳
	Q17	۰/۷۵۶	۰/۰۲۹	۲۵/۷۳۵	۰/۰۰۰	۲/۲۴۸
	Q18	۰/۷۰۶	۰/۰۳۴	۲۰/۵۰۳	۰/۰۰۰	۱/۸۷۳
عوامل زیست‌محیطی	Q19	۰/۸۱۹	۰/۰۲۳	۳۴/۹۶۸	۰/۰۰۰	۲/۵۱۴
	Q20	۰/۸۲۲	۰/۰۲۳	۳۶/۳۵۳	۰/۰۰۰	۲/۴۸۹
	Q21	۰/۷۸۹	۰/۰۲۹	۲۷/۳۹۹	۰/۰۰۰	۲/۲۴۴
	Q22	۰/۶۶۰	۰/۰۳۹	۱۶/۸۹۵	۰/۰۰۰	۱/۵۱۷
	Q23	۰/۷۹۲	۰/۰۲۴	۳۲/۸۷۵	۰/۰۰۰	۲/۱۰۲
	Q24	۰/۸۳۷	۰/۰۲۱	۳۹/۵۲۳	۰/۰۰۰	۲/۴۵۷
	Q25	۰/۸۴۳	۰/۰۲۱	۴۰/۱۹۸	۰/۰۰۰	۲/۷۷۴
عوامل کالبدی	Q26	۰/۷۷۱	۰/۰۳۱	۲۴/۶۸۶	۰/۰۰۰	۱/۹۶۴
	Q27	۰/۷۷۹	۰/۰۲۸	۲۷/۹۱۱	۰/۰۰۰	۲/۰۴۸
	Q28	۰/۸۱۴	۰/۰۲۸	۲۹/۲۳۳	۰/۰۰۰	۲/۴۴۹
	Q29	۰/۷۸۹	۰/۰۲۶	۲۹/۸۶۹	۰/۰۰۰	۲/۰۵۵
	Q30	۰/۸۰۴	۰/۰۲۲	۳۵/۸۵۴	۰/۰۰۰	۲/۳۴۶
	Q31	۰/۷۶۲	۰/۰۲۵	۳۰/۲۳۱	۰/۰۰۰	۲/۱۳۰
	Q32	۰/۷۳۹	۰/۰۳۱	۲۳/۴۷۵	۰/۰۰۰	۲/۰۸۱

پی‌نوشت

۱. Grounded Theory
۲. Fuzzy Delphi Method
۳. Confirmatory Factor Analysis (CFA)
۴. Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)
۵. Heterotrait–Monotrait Ratio
۶. Goodness of Fit
۷. Standardized Root Mean Square Residual
۸. Variance Inflation Factor
۹. Life Cycle Assessment

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

منابع

- Al-Homoud, M. S. (2022). Energy-efficient building design in hot climates: A review of passive and active strategies. *Energy and Buildings, 254*, 111558.
- Apanavičienė, R., & Shahrabani, M. M. N. (2023). Key factors affecting smart building integration into smart city: Technological aspects. *Smart Cities, 6*(4), 1832–1857. DOI: https://doi.org/10.3390/smartcities6040085
- Aravena, A., & Iacobelli, A. (2016). *Elemental: Incremental housing and participatory design manual*. Ostfildern: Hatje Cantz.
- ASHRAE. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Daioglou, V., Mikropoulos, E., Gernaat, D., & van Vuuren, D. P. (2022). Efficiency improvement and technology choice for energy and emission reductions of the residential sector. *Energy, 243*, 122994.
- Entezari, A., Mayvaneh, F., & Khazaei Nejad, F. (2019). Sun, wind and light (design strategies in consistent architecture with climate), case study: Yazd city. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 223–240. (In Persian) URL: https://jgs.khu.ac.ir/article-1-3026-en.pdf
- Farokhzad, M., & Roshan, Gh. (2022). Proposing a bioclimatic atlas for Iran to achieve climate-responsive architectural strategies. *Journal of Architecture and Urban Planning*, 81–95. (In Persian) URL: https://aup.journal.art.ac.ir/article_1000.html
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research, 18*(1), 39–50. DOI: https://doi.org/10.1177/002224378101800104
- Gustafsson, M., Dodoo, A., & Bonakdar, F. (2021). Cost-effective energy renovation of a multi-family building in Sweden: Analysis of different renovation packages. *Energy and Buildings, 231*, 110598.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science, 43*(1), 115–135. DOI: https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8
- Husainy, A. S., Mangave, S. S., Ingale, A. S., Patil, Y. R., & Koganole, M. (2024). Innovation ecosystems and green building techniques for a sustainable future: Leveraging advanced technologies. *The Asian Review of Civil Engineering, 13*(2), 1–10.
- Huseien, G. F., & Shah, K. W. (2022). A review on 5G technology for smart energy management and smart buildings in Singapore. *Energy and AI, 7*, 100116.
- IEA. (2023). *The future of cooling*. Paris: International Energy Agency.
- Jafari, A., & Valipour, E. (2020). A review of intelligent building technologies for energy efficiency. *Journal of Building Engineering, 32*, 101608.
- Jiang, Y., & Zheng, W. (2021). Coupling mechanism of green building industry innovation ecosystem based on blockchain smart city. *Journal of Cleaner Production, 307*, 126766. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126766
- Kamel, E., & Memari, A. M. (2021). A review of energy-efficient building technologies in hot and humid climates. *Sustainable Cities and Society, 73*, 103098.
- Leal Filho, W., Luetz, J. M., Thanekar, U. D., Dinis, M. A. P., & Forrester, M. (2024). Climate-friendly healthcare: Reducing the impacts of the healthcare sector on the world's climate. *Sustainability Science, 19*(3), 1103–1109.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]

- Memon, S. A. (2022). Solar energy potential and utilization in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 158*, 112128.
- Oğuz, C., Örs, A., Öğür, A. Y., & Çelik, Y. (2024). Determining the factors affecting the climate-friendly innovative technology usage levels of sheep farms. *New Medit, 2024*(1), 55–72.
- Pourahmad, A., Habibi, K., & Mahdavi, M. (2023). The effect of urban open space design on reducing the heat island and building energy consumption (Case study: District 22 of Tehran). *Journal of Environmental Science and Technology, 25*(1), 1–18. (In Persian)
- Rahmani, M., & Abdollahzadeh, Gh. (2021). A model for smart electrical load management of residential buildings to reduce peak demand (Case study: Shiraz). *Iranian Journal of Energy Engineering, 13*(4), 77–92. (In Persian)
- Salehi, S., Taghaddosi, A., & Mousavi, S. F. (2022). Evaluating the effect of external envelope optimization on cooling energy consumption in a hot and dry climate (Case study: Yazd). *Journal of Environment and Energy Studies, 12*(2), 45–60. (In Persian)
- Shams, M., & Khodakarami, M. (2010). A study of traditional architecture compatible with cold climate (Case study: Sanandaj). *Environmental Based Territorial Planning (Amayesh-e Mohit), 3*(10). (In Persian)
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Wang, J., Yu, C. W., & Cao, S. J. (2021). Technology pathway of efficient and climate-friendly cooling in buildings: Towards carbon neutrality. *Indoor and Built Environment, 30*(9), 1307–1311. DOI: https://doi.org/10.1177/1420326X211027365
- Wetzels, M., Odekerken-Schröder, G., & van Oppen, C. (2009). Using PLS path modeling for assessing hierarchical construct models: Guidelines and empirical illustration. *MIS Quarterly, 33*(1), 177–195. DOI: https://doi.org/10.2307/20650284
- Zach, F., Kretschmer, F., & Stoeglehner, G. (2019). Integrating energy demand and local renewable energy sources in smart urban development zones: New options for climate-friendly resilient urban planning. *Energies, 12*(19), 3672. DOI: https://doi.org/10.3390/en12193672
- Zahedi, M., & Norouzi, A. (2023). Design of a smart adaptive ventilation system for residential buildings in the hot and humid climate of Bandar Abbas. *Modares Mechanical Engineering, 23*(10), 29–42. (In Persian)
- Zarezadeh, M. (2024). Providing sustainable energy to solve the energy shortage in Hormozgan province using solar power plants. *Sustainable Energy Systems, 3*(1), 23–38. (In Persian) URL: https://ses.ut.ac.ir/article_98184.html
- Zhong, S. (2023). *Development of climate-friendly cooling technologies: Trends and driving factors, 1990–2019* (ADBI Working Paper No. 1374). Tokyo: Asian Development Bank Institute.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-11-29]