



Impact of Building Porosity on Self-Shading and Absorbed Solar Heat Reduction in Hot and Humid Regions

ARTICLE INFO

Article Type

Descriptive Study

Authors

Saligheh E.¹ MSc,
Saadatjoo P.^{*1} PhD

How to cite this article

Saligheh E, Saadatjoo P. Impact of Building Porosity on Self-Shading and Absorbed Solar Heat Reduction in Hot and Humid Regions. Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2020;9(4):257-271.

ABSTRACT

Aims Today, the overwhelming consumption of energy has become one of the most critical concerns of human life. The implementation of solutions to reduce energy consumption in buildings is becoming increasingly important. One of the most important factors determining the amount of energy received by a building is the general form of a building and the amount of its porosity. Considering the self-shading as an efficient passive cooling solution in hot and humid regions, the present study investigates the effect of porosity on self-shading and heat absorption amount.

Instruments & Methods The research method of this study is descriptive-analytical, and simulations are conducted by Ecotect 2011 to explore self-shading potential and the amount of received solar energy.

Findings Investigations indicated that the modification of terrace depth does not influence the amount of received solar energy significantly. A comparative study of the porous models revealed that the U-RL models have the best and R-RL models have the worst performance from the viewpoint of self-shading and solar heat absorption.

Conclusion The implementation of porosity into the solid models does not always improve the shading potential. Optimization of building self-shading depends on the comprehensive study and essential simulations that subsequence the design period.

Keywords Porosity; Energy; Self-Shading; Radiation; Building

CITATION LINKS

[1] Solar facade module for nearly zero energy building [2] Energy efficiency in buildings [3] Optimum energy efficient architecture based on thermal behavior of buildings [4] The impact of Iwan as a traditional shading device on the building energy consumption [5] Energy performance of the self-shading building envelope [6] Heat transfer reduction using self shading strategy in energy commission building in Malaysia [7] Summer thermal comfort and self-shading geometries in Passivhaus dwellings: A pilot study using future UK climates [8] Defining sustainability characteristics for residential buildings in hot and humid climate (case study: Traditional houses of Ahwaz) [9] Studying the qualitative and quantitative roles of Ivan in traditional houses and revitalization of them in the shape of the terrace [10] Climatic analysis of the traditional Iranian buildings [11] An analysis of the function of external senasir types and their effects on the wind flow in the historical part of Bushehr [12] The role of self-shading in reducing energy consumption in public buildings [13] Self-shading and high performance architecture, case studies: Configuration of contemporary buildings of Tehran [14] Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems [15] Minimising solar insolation in high-rise buildings through self-shaded form [16] A study on external shading devices for reducing cooling loads and improving daylighting in office buildings [17] Effect of shading on thermal performance of dormitory building on hot Climate [18] Optimal placement of shadow tools of double-skin facade with the aim of achieving thermal comfort in hot climate [19] A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions [20] Porosity rendering in high-performance architecture: Wind-driven natural ventilation and porosity distribution patterns [21] A study on a porous residential building model in hot and humid regions: Part 1-the natural ventilation performance and the cooling load reduction effect of the building model [22] Sustainable design based on hot and humid climate [23] Progettare con il clima [24] Investigating the climate effects on the vernacular architecture of southern coasts: Bandar Abbas [25] arcamlak.com [26] fmzd.co

¹Architecture Department, Civil Engineering Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran

*Correspondence

Address: Architecture Department, Civil Engineering Faculty, University of Tabriz, 29 Bahman Boulevard, Tabriz, Iran. Postal Code: 5166616471
Phone: +98 (41) 33392409
Fax: -
paria.saadatjoo@tabrizu.ac.ir

Article History

Received: August 10, 2019

Accepted: November 21, 2019

ePublished: December 21, 2019

بررسی نقش تخلخل در خودسایه‌اندازی و کاهش انرژی دریافتی جداره‌ها در ساختمان‌های اقلیم گرم و مرطوب

الهام سلیقه MSc

گروه معماری، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

پریا سعادتجو PhD

گروه معماری، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

اهداف: امروزه مصرف بی‌رویه انرژی به یکی از مهمترین دغدغه‌های زندگی بشری تبدیل شده است و به‌کارگیری راهکارهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها اهمیت فراوانی یافته است. یکی از مهمترین عوامل موثر در میزان انرژی دریافتی ساختمان، فرم و شکل کلی بدنه و میزان تخلخل حجمی آن است. با توجه به اینکه استفاده از خودسایه‌اندازی در ساختمان‌های مناطق گرم و مرطوب روشی موثر برای خنک‌سازی بنا است، پژوهش حاضر می‌کوشد تا به بررسی تاثیر تخلخل ساختمان‌ها در میزان خودسایه‌اندازی آن و کاهش انرژی دریافتی بدنه‌ها بپردازد. **ابزار و روش‌ها:** این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی است که در آن به کمک نرم افزار Ecotect 2011 شبیه‌سازی فرم ساختمان و بررسی تاثیر خودسایه‌اندازی حاصل از تخلخل بر میزان انرژی دریافتی جداره‌های ساختمان می‌پردازد.

یافته‌ها: بررسی‌ها نشان داد که تغییرات عمق تراس تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان سطوح تحت سایه ندارد و دامنه انرژی تابشی دریافتی در ارتباط مستقیم با تغییرات عمق تراس نیست. مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های متخلخل با مدل صلب نشان داد که در حالت کلی مدل‌های متخلخل دانه‌ای بهترین و مدل‌های متخلخل ردیفی بدترین رفتار از منظر سایه‌اندازی و انرژی تابشی دریافتی را دارند. **نتیجه‌گیری:** ایجاد تخلخل در ساختمان همیشه منجر به بهبود عملکرد سایه‌اندازی ساختمان نمی‌شود و تلاش برای بهینه‌سازی سایه‌اندازی به واسطه ایجاد تخلخل مستلزم انجام مطالعات و شبیه‌سازی‌های دقیق قبل از طراحی است.

کلیدواژه‌ها: تخلخل، انرژی، خودسایه‌اندازی، تابش، ساختمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۳۰

*نویسنده مسئول: paria.saadatjoo@tabrizu.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر نیاز فزاینده به سوخت‌های فسیلی و تاثیرات نامطلوب آنها بر محیط زیست باعث شده است تا دستیابی به راهکارهای حفاظت از انرژی، کمک به جلوگیری از آلودگی محیط زیست و تغییرات آب و هوایی به یک مساله چالش‌برانگیز برای بسیاری از مردم جهان تبدیل شود^[1]. در ایران نیز مساله چگونگی حفاظت از انرژی به مساله مهم روز به‌ویژه در صنعت ساختمان تبدیل شده است، چراکه بیشترین مصرف انرژی مربوط به بخش ساختمان است و نگاهی به آمارها نشان می‌دهد که در بخش ساختمان به‌تنهایی مصرف انرژی ۲ تا ۴/۵ برابر استانداردهای جهانی است^[2]. از این رو استفاده از راهکارهای مناسب به‌منظور کاهش مصرف انرژی به‌ویژه در ساختمان‌هایی با استفاده مداوم کمک قابل توجهی به حفظ منابع موجود می‌کند^[3]. با توجه به اینکه

استفاده روزافزون از سیستم‌های تهویه مطبوع برقی برای سرمایش فضاهای مسکونی باعث افزایش تقاضای انرژی شده است^[2] یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی به‌ویژه در مناطق گرم و مرطوب با سطح بسیار بالای انرژی تابشی دریافتی در اکثر ماه‌های سال، کمک به سرمایش ایستای ساختمان است. تاکنون موارد مختلفی در طراحی خصوصیات کالبدی ساختمان‌ها برای کاهش و ایجاد تغییر در مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فارغ از ویژگی‌های سایه‌اندازها و نحوه قرارگیری آنها^[4]، فرم و شکل کلی بدنه و میزان تخلخل حجمی از مهمترین عوامل هستند که می‌توانند در میزان دریافت انرژی در ساختمان موثر باشند^[5-7]، چراکه فرورفتگی‌ها و برجستگی‌های بدنه بنا، امکان ایجاد سایه و درنتیجه تغییر سطح انرژی تابشی دریافتی را امکان‌پذیر می‌کنند. البته باید توجه داشت که نور طبیعی و برخورداری از آن در فضاهای داخلی ساختمان اهمیت زیادی دارد و سایه‌اندازی نباید به گونه‌ای باشد که در فصل غیر بحرانی محرومیت از تابش را موجب شود. بالکن‌ها مهمترین و ساده‌ترین فرورفتگی‌هایی هستند که می‌توان در بدنه ساختمان‌ها از وجود آنها بهره برد، چراکه در فصل گرم موجب سایه‌اندازی می‌شوند و در فصل سرد به دلیل زوایای پایین تابشی مانع از تابش خورشید به فضاهای درونی نمی‌شوند. در معماری سنتی ایران عنصر ایوان (تراس یا بالکن) فراهم‌کننده فرورفتگی و سایه‌اندازی در بنا بوده است^[8]. در معماری جدید ایران نیز اخیراً تمایل به ایجاد بالکن‌ها در بدنه ساختمان‌ها به‌ویژه در ساختمان‌های مسکونی بیشتر شده است. امروزه زندگی در آپارتمان یک الزام است که انسان را با زمین و طبیعت غریبه کرده است. تراس یکی از مطلوب‌ترین فضاهای آپارتمان‌ها است که می‌تواند تا حدی خلاء حیاط و ایوان را جبران کند^[9]. معماری نوین با خلق ساختمان‌های متخلخل و تراس آپارتمان‌ها ترکیبی از معماری سنتی و مدرن ایجاد کرده و امکان استفاده مجدد از مزایای این عنصر ساختمانی را فراهم آورده است. بنابراین پژوهش حاضر بر آن است تا به بررسی تاثیر خودسایه‌اندازی حاصل از تخلخل و درنتیجه میزان کاهش دریافت انرژی تابشی از طریق بدنه‌های ساختمان در اقلیم گرم بپردازد.

پیشینه پژوهش

راهکار سایه‌اندازی و سرمایش حاصل از آن یکی از ابتدایی‌ترین و پرکاربردترین راهکارهایی بوده است که بشر در طول سالیان برای کاهش دریافت انرژی خورشیدی از آن استفاده کرده است. معماری سنتی ایران به مثابه تجربه‌های دیرینه از پس سالیان از سایه و عناصر سایه‌انداز استفاده زیادی کرده است، سباط‌ها، گره چینی و سایبان پنجره‌ها از تدابیر استفاده‌شده در معماری سنتی برای ایجاد سایه بوده است^[10]. استفاده از شناشیرها و عناصر مشبک در معماری سنتی ضمن افزایش سایه‌اندازی، به واسطه افزایش سرعت جریان باد پتانسیل تهویه طبیعی ساختمان را افزایش می‌داد^[11]. لازم به ذکر است که مطلوبیت سایه در فضاهای زیستی انسان با توجه به اقلیم مشخص می‌شود. در اقلیم گرم در مواقع بحرانی سال

فرم‌های خودسایه‌انداز پرداخته است. این پژوهش نشانگر آن است که خودسایه‌اندازی حاصل از فرم ساختمان‌ها موجب کاهش قابل توجه تابش مستقیم خورشید در جبهه‌های مختلف ساختمان می‌شود. او در این راستا میزان کاهش انرژی دریافتی در فرم‌های خودسایه‌انداز مکعبی و استوانه‌ای را مقایسه کرده است و نتیجه می‌گیرد که خودسایه‌اندازی می‌تواند به نحو موثری انرژی مورد نیاز برای سرمایش را کاهش دهد^[15]. در پژوهشی که توسط کیم و همکاران به‌منظور بررسی تاثیر طراحی سایه موثر بر ساختمان‌های اداری انجام شده است، ساختمان مورد مطالعه در یک دوره زمانی با گرمای بحرانی و طراحی‌های مختلفی از سایه‌اندازی از نظر کاهش بار سرمایشی مطالعه شده است. با توجه به نتایج این پژوهش استفاده از دستگاه‌های سایه‌انداز خارجی میزان انتقال حرارت به داخل ساختمان و بار سرمایشی بنا را حدود ۳۵/۱٪ کاهش می‌دهد و همچنین از خیرگی حاصل از تابش مستقیم نور خورشید جلوگیری می‌کند^[16]. پژوهش دیگری با عنوان ارزیابی عملکرد حرارتی ساختمان تحت تاثیر سایه‌های مجاور در اقلیم گرم انجام شده است که علاوه بر تایید موضوع کاهش بار سرمایشی ساختمان به توضیح شکل ایده‌آل سایبان‌ها در منطقه مورد مطالعه پرداخته است^[17]. پژوهش انجام‌شده توسط هود و همکاران ثابت کرد که نماهای دوپوسته ساختمان علاوه بر کنترل تهویه طبیعی، با قابلیت نصب ابزار سایه‌انداز می‌توانند میزان گرمای تابشی خورشید را کنترل کنند. در این میان محل نصب سایه‌انداز و همچنین تعداد لایه‌های شیشه تعیین‌کننده میزان دقیق انرژی تابشی دریافتی خواهند بود^[18]. ساختمان‌های متخلخل (تراس آپارتمان‌ها) به‌عنوان تیپولوژی نسبتاً جدید گونه‌های آپارتمانی ترکیبی از آپارتمان‌های صلب مدرن و خانه‌های حیاطدار سنتی به شمار می‌آیند که به واسطه ساختار ویژه خود باعث بهبود عملکرد ساختمان در برخی زمینه‌ها از جمله تهویه طبیعی می‌شوند (شکل ۱). ارتقای کیفیت و تنوع فضاهای زیستی آپارتمانی، ایجاد تعامل میان فضای درونی و بیرونی، ایجاد فضاهای جمعی در ارتفاع و پتانسیل بالای تهویه طبیعی این‌گونه از ساختمان‌ها باعث افزایش تمایل روزافزون معماران به طراحی تراس آپارتمان‌ها شده است. تاکنون پژوهش‌هایی در زمینه تاثیر بالکن‌ها و تراس‌ها بر تهویه طبیعی ساختمان‌ها انجام شده است. سعادت‌جو و همکاران در پژوهشی به بررسی نقش عمق تراس در ساختمان‌های متخلخل در اقلیم گرم و مرطوب پرداخته‌اند. در این پژوهش یک بلوک آپارتمان بدون تراس و چهار فرم آپارتمانی تراس‌دار با عمق تراس‌های متفاوت از منظر کیفیت نحوه تهویه طبیعی و رفتار باد به وسیله محاسبات دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشانگر آن است که میزان نفوذپذیری با تغییر فرم تراس‌ها می‌تواند بهبود پیدا کند. بنابراین برخی تغییرات شکلی بدنه از جمله ایجاد بالکن می‌تواند بر میزان تهویه طبیعی بنا موثر باشد^[19]. در پژوهش دیگری نقش الگوی توزیع تخلخل در کارایی تهویه یک ساختمان متخلخل میان‌مرتبه بررسی و الگوی دانه‌ای به‌عنوان بهترین الگو معرفی شد^[20]. هیرانو و همکاران نیز

و اوج گرما سایه‌اندازی و ایجاد سایه یکی از راهکارهای موثر برای ایجاد شرایط آسایش است. به همین دلیل یکی از مهمترین اهداف در طراحی ساختمان‌های اقلیم گرم جلوگیری از تابش نور خورشید و ایجاد سایه بر روی بنا است. این سایه می‌تواند توسط ابزارهای سایه‌انداز، درختان و موانع طبیعی و یا حتی با فرم و شکل خود ساختمان حاصل شود که به آن خودسایه‌اندازی می‌گویند. مفهوم خودسایه‌اندازی در طراحی معماری، استفاده از راهکارهایی برای ایجاد سایه روی سطوح پیرامون ساختمان، در طول ماه‌های گرم سال به‌منظور کاهش دمای داخل ساختمان است^[12]. در کانسپت معماری سرآمد، خودسایه‌اندازی به‌عنوان تدبیری است که مانع از رسیدن تابش آفتاب بر سطوح پیرامونی و داخلی ساختمان می‌شود و بالعکس در فصل سرد که فضاهای ساختمان نیازمند دریافت و جذب انرژی هستند، تا حد امکان نور خورشید را به فضاهای ساختمان هدایت می‌کند^[13]. در اقلیم گرم و مرطوب که متوسط دمای سالیانه به گونه‌ای است که در اغلب اوقات سال بنا نیازمند سرمایش است، بخش اول اولویت بیشتری پیدا می‌کند. تاکنون پژوهشات متعددی در زمینه پتانسیل سایه‌اندازی ساختمان و نقش آن در میزان بار سرمایشی انجام شده است. این پژوهشات تاثیرات فرم ساختمان (خودسایه‌اندازی)، شرایط پیرامونی بنا، جهت‌گیری بنا، تجهیزات سایه‌انداز، پوسته بنا (نماهای دوپوسته) و نسبت مساحت به دیوار را بر روی سایه‌اندازی و میزان انرژی تابشی دریافتی بررسی کرده‌اند.

والد/رس و همکاران در پژوهشی با عنوان صرفه‌جویی در مصرف انرژی با استفاده از تکنیک‌های کنترل خورشید و جهت‌گیری بهینه ساختمان در تعیین موقعیت سیستم‌های سایه‌انداز روی نما به بررسی چهار عامل اصلی شامل نمای خودسایه‌انداز، تجهیزات سایه‌انداز، نسبت مساحت پنجره به دیوار و جهت‌گیری ساختمان پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشانگر آن است که سیستم‌های غیرفعال مذکور با کاهش موثر جذب انرژی، موجب کاهش مصرف انرژی به میزان ۴/۶۷٪ تا ۷۶/۵۷٪ شده‌اند. این پژوهش که روی شش مورد مطالعاتی در مناطق نیمه‌استوایی و معتدل انجام شده است، بهترین راه حل پیشنهادی را طراحی ترکیبی نماهای خودسایه‌انداز و ابزار و وسایل سایه‌انداز می‌داند^[14]. در پژوهش دیگری مهدوی‌نژاد و مسعودی تنکابنی به بررسی ۱۶ نمونه از فرم‌های متداول ساختمان‌های میان‌مرتبه موجود در معماری معاصر جهان با هدف دستیابی به فرم بهینه ساختمان سایه‌انداز در اقلیم تهران پرداخته‌اند و از طریق شبیه‌سازی و تحلیل و مقایسه میزان جذب انرژی خورشیدی در مدل‌های ساخته‌شده در ماه‌های مختلف سال و بررسی شاخص‌های در نظر گرفته‌شده مدل‌های مورد نظر را تحلیل کردند. نتیجه این پژوهش نشان‌دهنده آن است که به‌کارگیری شیوه خودسایه‌اندازی و ایجاد سایه در سطوح پیرامونی ساختمان‌ها به واسطه کنترل انتقال حرارت به محیط داخلی ساختمان تاثیر زیادی در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارد^[13]. لینگ در پژوهش خود به بررسی کاهش دریافت انرژی خورشیدی توسط

به بررسی تاثیر ایجاد فضای خالی در بدنه ساختمان‌ها بر تهویه طبیعی بنا پرداختند و مجدداً تاثیر تغییر فرم و ایجاد خلل و فرج در فرم کلی ساختمان را بر افزایش میزان تهویه و کاهش بار سرمایشی ساختمان مثبت ارزیابی کردند^[21]. علی‌رغم پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با پتانسیل تهویه طبیعی ساختمان‌های متخلخل، تاکنون پژوهشی در زمینه خودسایه‌اندازی این‌گونه از ساختمان‌ها انجام نشده است. پژوهش حاضر با شبیه‌سازی مدل‌های متخلخل چهار طبقه در اقلیم گرم و مرطوب و مقایسه نتایج با مدل صلب، میزان کارایی مدل‌های متخلخل در خودسایه‌اندازی و کاهش تابشی دریافتی را بررسی می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱ نمونه‌هایی از تراس آپارتمان‌های طراحی و اجراشده در ایران در سال‌های اخیر^[26, 27]

ابزار و روش‌ها

تحلیل شرایط اقلیمی نمونه مورد مطالعه

شهر بندرعباس روی عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶ متر از سطح دریا در سواحل شمالی خلیج فارس و تنگه هرمز قرار گرفته است. دما و رطوبت زیاد هوا در تمام طول سال، میزان بارندگی منظم سالانه با متوسط حدود ۱۸۰ میلی‌متر، تغییرات نامحسوس دمای شب و روز و همچنین بادهایی با سرعت متوسط از مهمترین ویژگی‌های اقلیمی شهر بندرعباس محسوب می‌شوند^[22].

نمودار ۱ نتایج آمار هواشناسی ۳۰ ساله این شهر را نشان می‌دهد. براساس این نمودارها متوسط دمای هوای بندرعباس 25.9°C و اختلاف دمای سالانه آن 25°C است و تقریباً همیشه در گروه رطوبتی ۵۰٪ تا ۷۰٪ قرار دارد^[22]. در پژوهش دیگری که در جدول ۱ ارایه شده، میانگین حداقل و حداکثر دما و رطوبت و نیز میزان بارندگی بندرعباس در یک دوره ۴۶ ساله نشان داده شده است. نمودار ۱ نشانگر میانگین بارندگی، درجه حرارت و رطوبت برای دوره ۳۰ ساله شهر بندرعباس است (جدول ۱)^[23].

نمودار ۲ نمودار قائم مسیر حرکت خورشید در شهر بندرعباس را نشان می‌دهد. براساس این نمودار در ۶۵٪ از ساعات سال به‌منظور دستیابی به شرایط آسایش به سایه‌اندازی نیاز است. این در حالی است که در ۲۱٪ مواقع با قرارگیری در دمای آسایش حرارتی در ۱۴٪ ساعات سال به‌دلیل سرمای هوا به سایه نیازی نیست.

از مهمترین راهکارها برای ایجاد آسایش حرارتی به‌ویژه در مواقع بحرانی سال در شهر بندرعباس ایجاد امکان تهویه به وسیله کوران

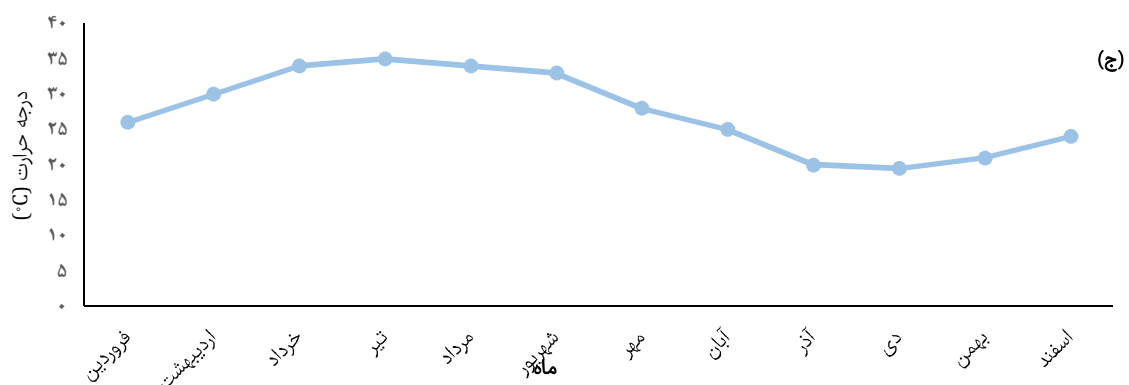
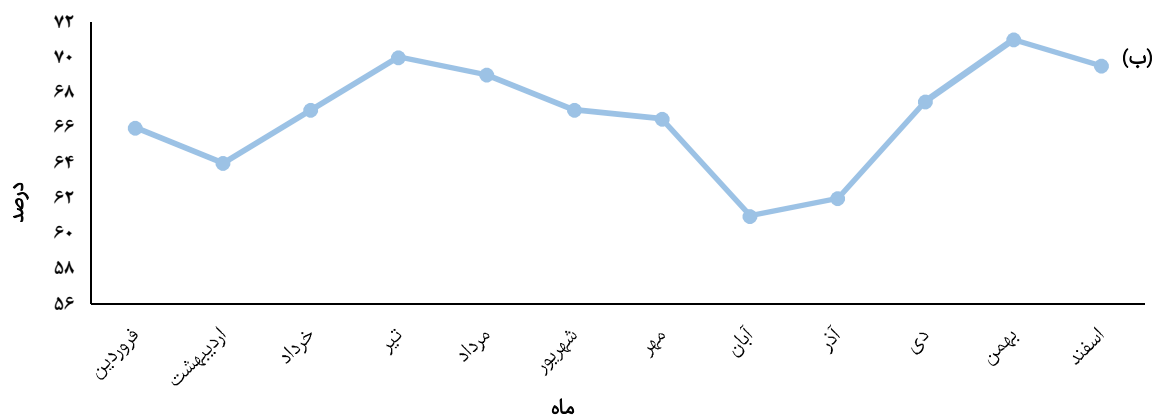
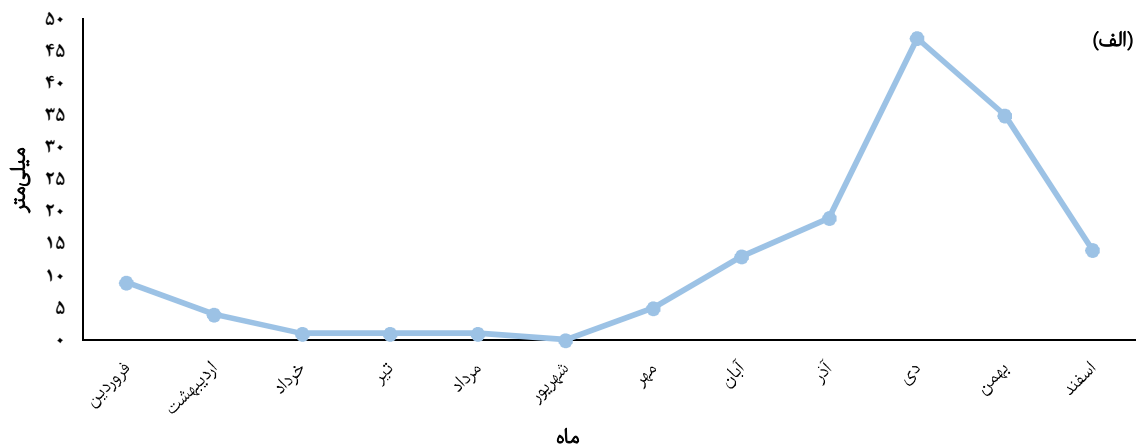
و نیز استفاده از دستگاه‌های تهویه مطبوع و سرمایشی از یک طرف و جلوگیری از تابش خورشید بر بدنه ساختمان و ایجاد سایه از طرف دیگر است. در مورد مطالعه شرایط آسایش در شهر بندرعباس، روش گیونی و مشاهده نمودار سایکرومتریک نشانگر آن است که هوای این شهر در اکثر ماه‌های سال گرم و خارج از منطقه آسایش قرار دارد که با استفاده از سیستم‌های مکانیکی سرمایشی تا حدی می‌توان منطقه را در آسایش قرار داد. این شهر در ماه‌های آبان، اسفند و فروردین در محدوده آسایش قرار دارد و نیازی به استفاده از سیستم‌های مکانیکی نیست. در ماه‌های مهر و اردیبهشت با استفاده از کوران در ساختمان‌های معمولی می‌توان به شرایط آسایش نسبی دست یافت. با توجه به اینکه شهر مورد بررسی جزء اقلیم گرم و مرطوب است، ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور اوج گرمای این شهر است که برای کنترل و کاهش دمای هوا استفاده از سیستم تهویه مطبوع، مناسب‌ترین سیستم برای کنترل و کاهش دمای هوای داخل ساختمان محسوب می‌شود. البته در این ماه‌ها از دستگاه رطوبت‌زدا نیز استفاده می‌شود. از مطالعه تغییرات دما و رطوبت هوا در زمستان در بندرعباس نیز می‌توان نتیجه گرفت که سرمای زمستان در حدی است که در صورت استفاده از رعایت اصول طراحی متناسب، نیاز مبرم به دستگاه‌های گرمازا وجود ندارد. بنابراین مشکل اساسی این شهر کنترل و کاهش دمای هوا در ماه‌های گرم سال تابستان و اواخر بهار است. بنابراین باید اصول طراحی با توجه به این دو موضوع رعایت شود^[24]. براساس نمودار سایکرومتریک در ۵۲/۵٪ ساعات سال (۴۵۹۸ ساعت) با بهره‌گیری از سیستم‌های سرمایشی و رطوبت‌زدایی و در ۳۰/۲٪ از ساعات سال (۲۶۴۲ ساعت) با استفاده از سایه‌اندازهای خورشیدی می‌توان در حوزه آسایش اقلیمی قرار گرفت. این آمارها نشان می‌دهند که سایه‌اندازی یکی از تمهیدات اصلی موثر در این شهر برای دستیابی به آسایش حرارتی است (نمودار ۳).

مدل‌ها و شرایط شبیه‌سازی

مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در این پژوهش تراس آپارتمان‌های ۴ مرتبه‌ای هستند که در شهر بندرعباس (اقلیم گرم و مرطوب) در نظر گرفته شده‌اند. طراحی مناسب در اقلیم گرم و مرطوب مستلزم به‌کارگیری راهکارهای معمارانه برای کاهش گرمای تابشی دریافتی و بهره‌گیری از روش‌های سرمایش ایستا است. با توجه به اینکه کاهش گرمای تابشی دریافتی اولین و مهمترین راهکار سرمایش ایستای ساختمان به شمار می‌آید، هدف این پژوهش بررسی امکان به‌حداقل‌رساندن میزان انرژی تابشی به واسطه طراحی فرم‌های خودسایه‌انداز است. در شبیه‌سازی پژوهش حاضر، امتداد شمال-جنوب به‌عنوان جهت قرارگیری هر بلوک ساختمانی در نظر گرفته شده است. ضمناً به‌منظور سنجش پتانسیل ساختار فرمی تک‌بنا در ایجاد سایه و کاهش بار سرمایشی، از تاثیر سایه‌اندازی ساختمان‌های مجاور صرف نظر و بنا به‌صورت منفرد مدل‌سازی شد. بلوک‌های مسکونی متشکل از ۴ طبقه هستند که ارتفاع هر طبقه ۳ متر در نظر گرفته شده است. به علاوه هر طبقه متشکل از یک

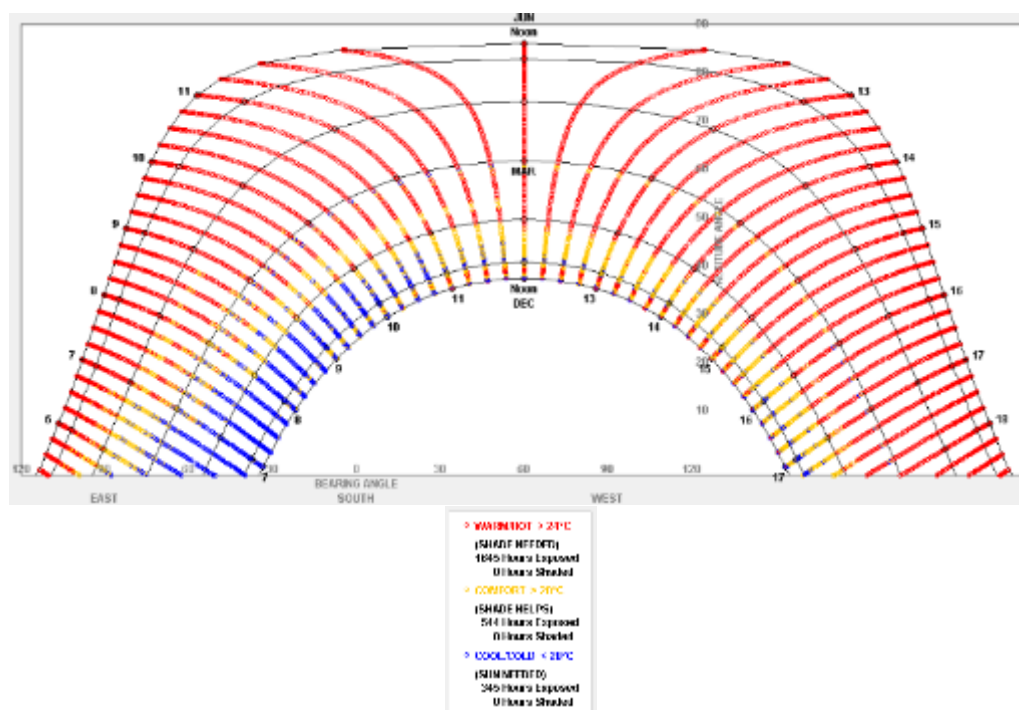
و دیوار در فضای داخلی واحدهای مسکونی وجود ندارد. تراس و آپارتمان‌های متخلخل در این پژوهش با روش جابه‌جایی سطوح حجمی در راستای محور Y مدل‌سازی شده‌اند. ایجاد تخلخل در احجام باعث تغییر در مجموع سطوح در معرض تابش شده است. اما تمامی مدل‌ها از نظر زیربنای ساختمان، تعداد بازشوها و ابعاد آنها، جانمایی بلوک‌ها و غیره دارای شرایط مشابهی هستند. نام و مشخصات فیزیکی مدل‌ها در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ آمده است.

واحد مسکونی با ابعاد ۱۰×۱۵ متر و هر واحد مسکونی مجموعاً دارای ۸ پنجره است. ابعاد پنجره‌های رو به جنوب ۲×۱ متر و ابعاد بازشوهای جبهه‌های شرقی و غربی ۴×۱ متر در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر صرفاً بررسی و مقایسه تطبیقی سایه‌اندازی و میزان انرژی تابشی دریافتی سطوح در معرض تابش در مدل‌های مختلف است، فاکتورهای بی‌تاثیر از قبیل جانمایی و تعبیه پارتیشن‌های داخلی، ارتباطات عمودی و غیره، منطبق بر مدل‌های واقعی نیستند. بنابراین در این مدل‌ها هیچ‌گونه پارتیشن

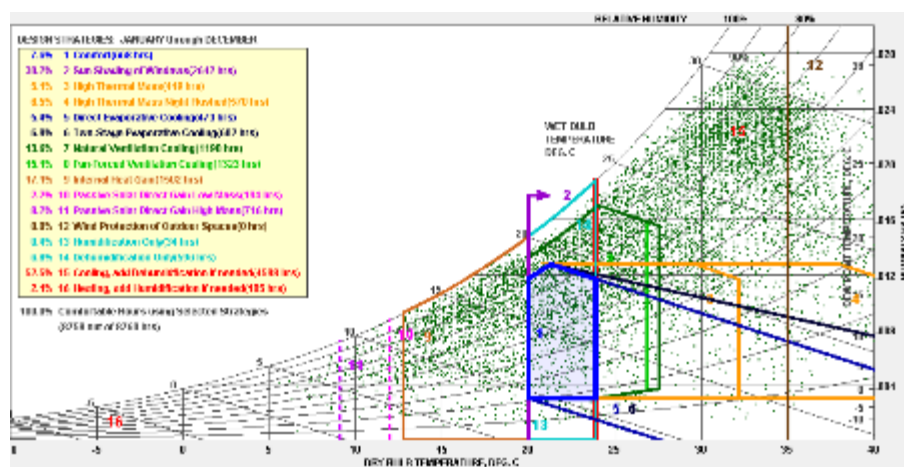


نمودار ۱) آمار ۳۰ ساله هواشناسی برای شهر بندرعباس؛ الف) میانگین بارندگی؛ ب) میانگین درجه حرارت؛ ج) میانگین رطوبت (منبع: اداره کل هواشناسی استان هرمزگان، ۱۳۸۵)

ماه	میانگین حداکثر دما (°C)	میانگین حداقل دما (°C)	میانگین حداکثر رطوبت (درصد)	میانگین حداقل رطوبت (درصد)	میزان بارندگی (میلی‌متر)
۱۱ دی- ۱۱ بهمن	۲۳/۴	۱۲/۳	۸۳	۴۶	۵۱/۳
۱۲ بهمن- ۹ اسفند	۲۴/۵	۱۴/۱	۸۶	۵۰	۴۳/۶
۱۰ اسفند- ۱۱ فروردین	۲۷/۶	۱۷/۴	۸۵	۵۰	۳۵
۱۲ فروردین- ۱۰ اردیبهشت	۳۱/۸	۲۱	۸۳	۴۶	۹/۱
۱۱ اردیبهشت- ۱۰ خرداد	۳۶/۵	۲۴/۹	۸۰	۴۳	۳/۲
۱۱ خرداد- ۹ تیر	۳۸/۵	۲۸/۱	۸۲	۴۶	صفر
۱۰ تیر- ۹ مرداد	۳۸/۳	۳۰/۴	۸۲	۵۳	۱
۱۰ مرداد- ۹ شهریور	۳۷/۶	۳۰/۳	۸۳	۵۶	۱/۶
۱۰ شهریور- ۸ مهر	۳۶/۷	۲۷/۸	۸۳	۵۳	۰/۵
۹ مهر- ۹ آبان	۳۴/۹	۲۳/۷	۸۴	۴۶	۴/۳
۱۰ آبان- ۹ آذر	۳۰/۲	۱۸/۲	۷۹	۴۲	۶/۱
۱۰ آذر- ۱۰ دی	۲۵/۵	۱۳/۷	۸۱	۴۵	۲۹/۸



نمودار (۲) تصویر قائم مسیر حرکت خورشید (آلمانا) برای شهر بندرعباس برگرفته از نرم‌افزار Climate Consultant 6.0: (براساس نمودار فوق، نقاط قرمز رنگ نیاز شدید به سایه‌اندازی، نقاط زرد رنگ شرایط آسایش و نقاط آبی رنگ عدم نیاز به سایه‌اندازی را نشان می‌دهند).



نمودار (۳) نمودار سایکرومتریک شهر بندرعباس برگرفته از نرم‌افزار Climate Consultant 6.0

جدول ۲) مشخصات ساختاری مدل صلب و مدل‌های متخلخل با الگوی توزیع تخلخل دانه‌ای

مدل	Solid	U-RL 0.9	U-RL 1.2	U-RL 1.5	U-RL 1.8
تعداد واحد مسکونی	۴	۴	۴	۴	۴
عمق تراس (متر)	صفر	۰/۹	۱/۲	۱/۵	۱/۸
الگوی توزیع تخلخل	-	شطرنجی	شطرنجی	شطرنجی	شطرنجی
تعداد تراس	صفر	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
زیربنا (متر مربع)	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰
حجم تخلخل (متر مکعب)	صفر	۱۶۲	۲۱۶	۲۷۰	۳۲۴
سطح در معرض تابش (متر مربع)	۱۸۰۰	۱۸۴۳/۲	۱۸۵۷/۶	۱۸۷۲	۱۸۸۶/۴
تعداد بازشو	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
مساحت بازشوها (متر مربع)	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰

جدول ۳) مشخصات ساختاری مدل‌های متخلخل با الگوی توزیع تخلخل ردیفی

مدل	R-RL 0.9	R-RL 1.2	R-RL 1.5	R-RL 1.8
تعداد واحد مسکونی	۴	۴	۴	۴
عمق تراس (متر)	۰/۹	۱/۲	۱/۵	۱/۸
الگوی توزیع تخلخل	ردیفی	ردیفی	ردیفی	ردیفی
تعداد تراس	۳	۳	۳	۳
زیربنا (متر مربع)	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰
حجم تخلخل (متر مکعب)	۱۶۲	۲۱۶	۲۷۰	۳۲۴
سطح در معرض تابش (متر مربع)	۱۸۰۰	۱۸۰۰	۱۸۰۰	۱۸۰۰
تعداد بازشو	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
مساحت بازشوها (متر مربع)	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰

جدول ۴) مشخصات ساختاری مدل‌های متخلخل با الگوی توزیع تخلخل ترکیبی

مدل	CO-RL 0.9	CO-RL 1.2	CO-RL 1.5	CO-RL 1.8
تعداد واحد مسکونی	۴	۴	۴	۴
عمق تراس (متر)	۰/۹	۱/۲	۱/۵	۱/۸
الگوی توزیع تخلخل	ترکیبی	ترکیبی	ترکیبی	ترکیبی
تعداد تراس	۶	۶	۶	۶
زیربنا (متر مربع)	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰
حجم تخلخل (متر مکعب)	۱۶۲	۲۱۶	۲۷۰	۳۲۴
سطح در معرض تابش (متر مربع)	۱۸۲۱/۶	۱۸۲۸/۸	۱۸۳۷/۹	۱۸۴۳/۲
تعداد بازشو	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
مساحت بازشوها (متر مربع)	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰

ترکیبی با نام Co-RL (Combined Relocation) آمده‌اند. اعداد مندرج در کنار نام هر مدل بیانگر عمق تراس بر حسب متر است.

تنوع و فراوانی مدل‌های متخلخل مستلزم تعریف متغیرهایی مشخص و تولید مدل‌ها بر مبنای این متغیرها است که از جمله آنها می‌توان به درصد تخلخل، تراز توزیع تخلخل، الگوی هندسی توزیع و واحد تخلخل اشاره کرد. دسته ای از این مدل‌ها می‌توانند بدون الگوریتم و برخی دیگر نیاز به تعریف الگوریتم‌های مربوطه در محیط گرس‌هاپر دارند. از آنجایی که هدف پژوهش‌های مرتبط در این زمینه‌ها بررسی تاثیر هر یک از این متغیرها بر میزان سایه‌اندازی، جریان باد و غیره است، از تاثیر جزئیات ساختمانی اغماض شد و مدل‌های ساختمانی به‌صورت کاملاً ساده مدل‌سازی شدند (شکل‌های ۲-۵).

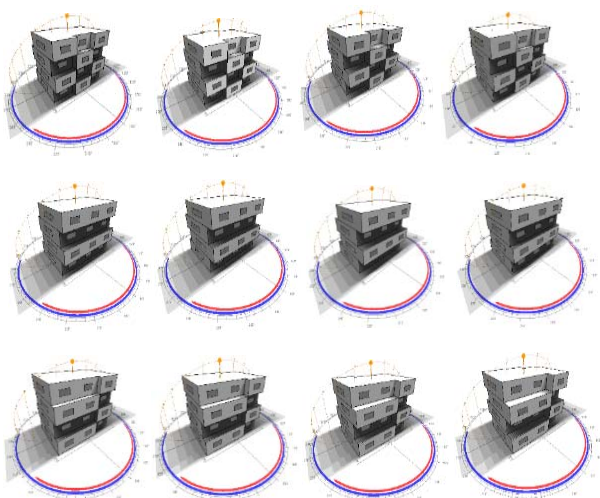
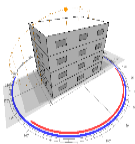
هدف اول این پژوهش بررسی تاثیر الگوی توزیع تراس‌ها (شطرنجی، خطی و ترکیبی) بر میزان سایه‌اندازی و کاهش انرژی تابشی دریافتی و هدف دوم آن بررسی تاثیر عمق تراس در ساختمان‌هایی با الگوهای تخلخل متفاوت است. به‌منظور بررسی کارایی این مدل‌ها لازم بود تا در گام اول مدلی صلب و بدون هر گونه پیش‌سازمندی مدل‌سازی و آنالیز شود. ساخت مدل‌های متخلخل با الگوهای توزیع و همچنین عمق تراس‌های متفاوت در گام‌های بعدی پژوهش انجام شد. تصاویر سه بعدی و ویژگی این مدل‌ها در تصاویر ۵-۸ و جداول ۲-۴ آمده است. نام‌گذاری مدل‌ها براساس الگوی توزیع تخلخل و عمق تراس است^[20]، به‌طوری که مدل صلب با نام S (Solid)، مدل‌های دانه‌ای یا همان شطرنجی با نام مدل‌های U-RL (Unit Relocation)، مدل‌هایی با تراس ردیفی با عنوان R-RL (Row Relocation) و مدل‌های

با عمق‌های متفاوت در دو جبهه شمالی و جنوبی ساختمان‌های متخلخل تعبیه شده‌اند. جبهه‌های شرقی و غربی مدل‌ها از نظر میزان انرژی تابشی دریافتی و سایه‌اندازی در طول سال در شرایط مشابهی قرار دارند، چراکه هیچ‌گونه تغییرات حجمی در این دو جبهه ایجاد نشده است.

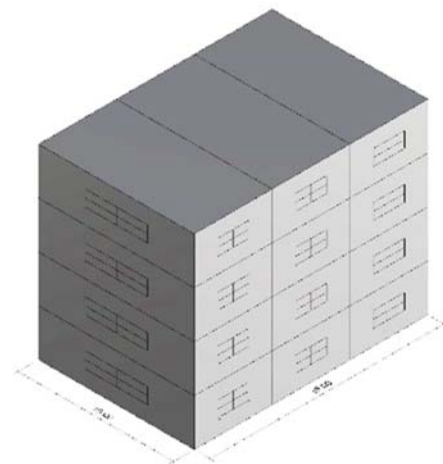
در گام اول به‌منظور بررسی تطبیقی دامنه سایه در مدل‌های مختلف، روز اول تیر (انقلاب تابستانی) به‌عنوان روز مبنا انتخاب و وضعیت سایه از ساعت ۹ تا ۱۷ در ۱۳ مدل با یکدیگر مقایسه شد. در گام بعدی با انجام شبیه‌سازی‌ها، درصد سطوح تحت سایه و همچنین میزان متوسط انرژی تابشی دریافتی توسط سطوح در تمامی مدل‌ها طی یک سال مورد مقایسه قرار گرفت. گام نهایی پژوهش محاسبه میانگین ماهانه درصد سطوح سایه‌گیر و همچنین متوسط انرژی تابشی دریافتی به ازای هر مترمربع برای تمامی مدل‌ها است. نتایج این شبیه‌سازی‌ها نقش الگوی توزیع تخلخل و همچنین تأثیر عمق تراس در پرهیز از گرمای تابشی که منجر به کاهش بار سرمایشی ساختمان می‌شود را نشان می‌دهد.

یافته‌ها

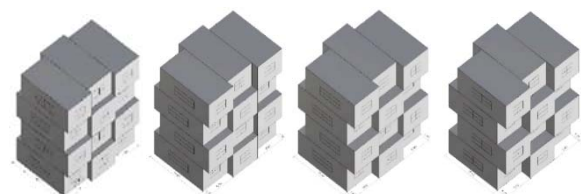
این پژوهش پتانسیل خودسایه‌اندازی در یک مدل صلب، مدل‌های متخلخل با الگوی توزیع تخلخل و عمق تراس‌های مختلف را تحلیل و مقایسه کرده است. دسته اول نتایج به بررسی تطبیقی دامنه سایه از ساعت ۹ تا ۱۵ روز مبنا (اول تیر) میان مدل‌های ۱۳ گانه می‌پردازد (شکل‌های ۶ و ۷).



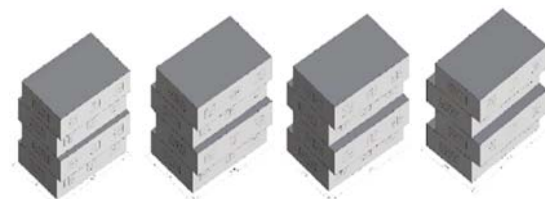
شکل ۶ دامنه سایه در بازه زمانی ۹:۰۰ تا ۱۵:۰۰ روز اول ماه تیر برای مدل‌های ۱۳ گانه



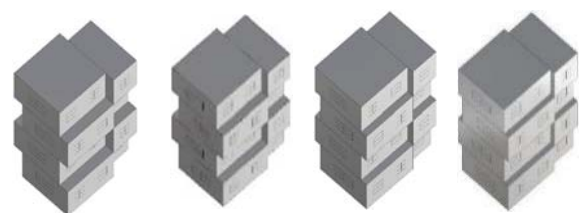
شکل ۲ شبیه‌سازی مدل صلب Solid



شکل ۳ مدل‌های متخلخل با الگوی توزیع تخلخل دانه‌ای و عمق تراس‌های متفاوت (از چپ به راست: U-RL 0.9, U-RL 1.2, U-RL 1.5, U-RL 1.8)



شکل ۴ مدل‌های متخلخل با الگوی توزیع تخلخل ردیفی و عمق تراس متفاوت (از چپ به راست: U-RL 0.9, U-RL 1.2, U-RL 1.5, U-RL 1.8)



شکل ۵ مدل‌های متخلخل با الگوی توزیع تخلخل ترکیبی (از چپ به راست: Co-RL 0.9, Co-RL 1.2, Co-RL 1.5, Co-RL 1.8)

چنانچه ذکر شد در اقلیم گرم و مرطوب بندرعباس کاهش دریافت گرمای خورشید و استفاده از راهکارهای سرمایش ایستا به‌عنوان یک نیاز اساسی در طول سال به شمار می‌آید. از این رو مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در طول سال از نظر سایه‌اندازی بررسی و آنالیز شدند. جهت‌گیری مدل‌ها در راستای محور شمال-جنوب بود و تراس‌هایی

نمای جنوبی مدل‌های مختلف در روز اول تیر					
طلوع تا ۹	۹	۱۱:۳۰	۱۴	۱۴ تا غروب	
					Solid
					U-RL 1.2
					R-RL 1.2
					CO-RL 1.2
نمای شمالی مدل‌های مختلف در روز اول تیر					
طلوع تا ۹	۹	۱۱:۳۰	۱۴	۱۴ تا غروب	
					Solid
					U-RL 1.2
					R-RL 1.2
					CO-RL 1.2

شکل ۷) بررسی شرایط نور و سایه در نماهای جنوبی و شمالی مدل صلب و مدل‌های متخلخل از طلوع تا غروب روز اول ماه تیر

حالی است که سطوح تحت سایه نمای جنوبی در مدل‌های متخلخل به واسطه ساختار ویژه خود در مقادیری بالاتر از صفر قرار می‌گیرد. اما این نتیجه به معنی افزایش قابلیت سایه‌اندازی مدل متخلخل نسبت به صلب نیست، چراکه پیشامدگی‌های ایجادشده در مدل‌های متخلخل و نورگیری آنها باعث تغییر در میانگین مجموع سطوح تحت سایه یک مدل می‌شود. شرایط سایه‌اندازی در جبهه شمالی سیری معکوس نسبت به نمای جنوبی را طی می‌کند، به‌طوری که مدل صلب در بازه زمانی ۹ تا ۱۴ در سایه کامل و قبل و پس از آن (تا غروب) در روشنایی کامل قرار دارد. از این رو ساعت ۹ صبح و ۱۴ بعد از ظهر به‌دلیل تغییر قابل ملاحظه در میزان سایه ساختمان به‌عنوان نقاط عطف زمانی محسوب می‌شوند. بخش اعظم سایر مدل‌های تراس‌دار در بازه زمانی مذکور در سایه قرار دارد، ولی این مقدار به‌دلیل وجود پیشامدگی‌های تراس و نورگیری آنها همیشه کمتر از ۱۰۰٪ است. طلوع خورشید تا ۹ صبح و ۱۴ تا غروب خورشید زمان نورگیری کامل نمای شمالی در مدل صلب و ترکیب سایه و روشنایی در مدل‌های تراس‌دار است.

بررسی تطبیقی دامنه سایه در روز مینا در مدل‌های ۱۳ گانه نشان می‌دهد که تمامی مدل‌ها به‌دلیل تشابه ساختاری در جبهه‌های شرقی و غربی دارای شرایط یکسانی از منظر سایه‌اندازی در روز انقلاب تابستانی و در طول سال هستند. اما شرایط سایه‌اندازی در جبهه‌های شمالی و جنوبی مدل‌ها به‌دلیل تغییرات ساختاری و فرورفتگی‌های ایجادشده متفاوت است. بررسی‌ها نشان داد که برای نماهای شمالی و جنوبی از منظر سایه‌اندازی ۴ نقطه عطف زمانی در طول روز قابل تعریف است که بر اثر تغییر ارتفاع خورشید در آسمان پدید می‌آیند. شرایط نور و سایه نماهای شمالی و جنوبی در ۵ بازه زمانی تعریف‌شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمای جنوبی مدل صلب در بازه زمانی طلوع خورشید تا ۹ صبح و ۱۴ تا غروب خورشید در سایه ۱۰۰٪ قرار دارد، در حالی که در سایر مدل‌های متخلخل این درصد از سایه‌اندازی به‌دلیل پیشامدگی‌های کف تراس و نورگیری آنها کاهش می‌یابد. میزان سایه جبهه جنوبی در بازه زمانی ۹ تا ۱۴ به‌دلیل نورگیری کامل به صفر می‌رسد، این در

بررسی‌ها نشان داد که ایجاد تخلخل دانه‌ای، میزان سایه‌اندازی سطوح را به اندازه ۵/۷۵٪ افزایش و انرژی تابشی دریافتی را به میزان ۲۵/۹۶٪ در مقایسه با مدل صلب کاهش می‌دهد. مدل‌های متخلخل ترکیبی با تأثیری مشابه مدل دانه‌ای، باعث افزایش سطح سایه به میزان ۵/۵٪ و کاهش انرژی تابشی دریافتی به میزان ۲۲/۷٪ نسبت به مدل صلب می‌شوند. این در حالی است که برخلاف تصور، ایجاد تخلخل با الگوی ردیفی تأثیری منفی بر پتانسیل سایه‌اندازی احجام در مقایسه با مدل صلب دارد، به‌طوری که سطح سایه‌انداز در مدل ردیفی نسبت به مدل صلب به میزان ۱۰٪ کاهش و انرژی تابشی دریافتی آن به میزان ۲۲/۸۳٪ افزایش یافته است. گام نهایی پژوهش به معرفی یک مدل بهینه از هر گروه و مقایسه آنها با مدل صلب براساس نتایج حاصل می‌پردازد. نمودار ۷ نمودار ساعتی دریافت انرژی تابشی مدل‌های بهینه و مدل صلب و نمودارهای ۸ و ۹ نمودار سطوح تحت سایه و انرژی تابشی دریافتی مدل‌های مذکور در ۱۲ ماه از سال را نشان می‌دهند.

بررسی تطبیقی مدل بهینه هر گروه با مدل صلب در ۱۲ ماه از سال نشان داد که میزان سایه در مدل بهینه گروه R-RL در طول سال به میزان تقریبی ۱۸٪ کمتر از سایر مدل‌های بهینه و حتی مدل صلب است. اختلاف سطوح تحت سایه مدل R-RL 0.9 با مدل صلب در سه ماهه اول سال و سه ماهه انتهایی تقریباً ۱۸٪ است. این اختلاف در ۶ ماه میانی سال کمتر می‌شود، به‌طوری که در اواخر خرداد و اوایل تیر تقریباً به صفر می‌رسد.

مقایسه نتایج مدل‌های Co-RL 1.5 و U-RL 1.5 با مدل صلب حاکی از این است که متوسط سطوح تحت سایه در تمامی این مدل‌ها در دو ماهه ابتدای سال و ۳ ماهه انتهایی سال با هم برابر است. اما اختلاف سایه‌اندازی میان مدل‌های متخلخل Co-RL 1.5 و U-RL 1.5 و مدل صلب از اواسط اسفند افزایش می‌یابد، در اواخر خرداد و اوایل تیر به حداکثر مقدار خود می‌رسد و پس از این نقطه عطف دوباره رو به کاهش می‌رود تا اینکه در اواخر شهریور و اوایل مهر اختلاف این نمودارها متمایل به صفر می‌شود.

بررسی نمودار انرژی تابشی حاکی از این است که دو مدل بهینه U-RL 1.5 و Co-RL 1.5 تقریباً رفتار مشابهی از لحاظ دریافت انرژی تابشی در طول سال دارند، هرچند مدل U-RL 1.5 با الگوی تخلخل دانه‌ای با اندکی اختلاف، رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد. نقاط ابتدا و انتهای مدل صلب در دو ماه یعنی دی و اوایل بهمن تقریباً منطبق بر نمودارهای U-RL 1.5 و Co-RL 1.5 است، اما رفتار این مدل با اختلاف از مدل‌های متخلخل در طول سال تغییر می‌کند و انرژی تابشی دریافتی با شیبی مثبت تا اوایل تیر رو به افزایش و پس از آن با شیبی منفی رو به کاهش است. این امر حاکی از رفتار ایده‌آل مدل‌های متخلخل در طول سال و به‌ویژه ماه‌های گرم (میان بهار) است. نمودار مدل بهینه متخلخل ردیفی نشان می‌دهد که این مدل با انرژی تابشی دریافتی بالا در مقایسه با سه دسته دیگر، گزینه مناسبی از نظر سایه‌اندازی و ارتقای رفتار سرمایشی ساختمان به شمار نمی‌رود. بر این اساس ایجاد تخلخل

گام دوم پژوهش به بررسی تطبیقی سطوح تحت سایه و انرژی تابشی دریافتی در مدل صلب و مدل‌های متخلخل با عمق تراس‌های متفاوت می‌پردازد. به این منظور مدل‌هایی با سه الگوی تخلخل متفاوت ایجاد شد و عمق تراس در این مدل‌ها از ۹/۰ تا ۱/۸ تغییر کرد. نتایج حاصل از پژوهش تأثیر افزایش یا کاهش عمق تراس در میزان خودسایه‌اندازی و کاهش دریافت گرما در مدل‌هایی با الگوی توزیع تخلخل متفاوت را نشان می‌دهند. در انتهای این مرحله یک مدل بهینه از هر گروه انتخاب می‌شود. در نتایج شبیه‌سازی متوسط سطوح تحت سایه کل و متوسط انرژی تابشی دریافتی در واحد سطح برای کل سال محاسبه و در نمودارهای ۴ و ۵ نشان داده شده است.

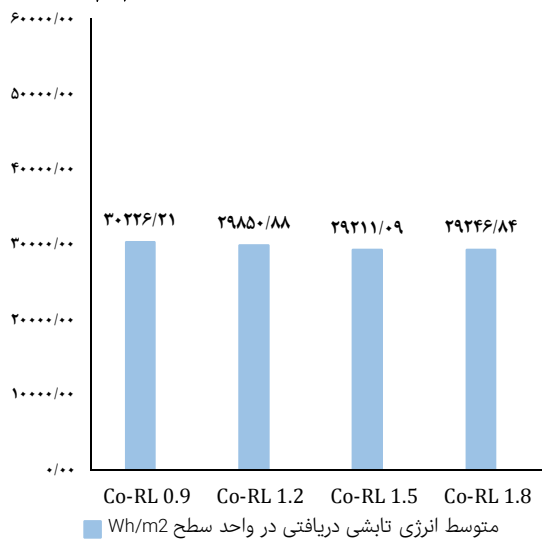
بررسی‌ها نشان داد که تغییر عمق تراس تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر متوسط سالانه سطوح تحت سایه در مدل‌های متخلخل ندارد. در گروه اول با الگوی توزیع تخلخل دانه‌ای (U-RL)، افزایش عمق تراس از ۹/۰ به ۱/۲ متر میزان سطح تحت سایه را به اندازه ۱٪ کاهش می‌دهد. این تغییر با افزایش مجدد عمق تراس تا ۱/۵ و ۱/۸ متر مجدداً جبران می‌شود و متوسط سطح تحت سایه به ۸۱٪ می‌رسد. تغییر عمق تراس در مدل‌های گروه دوم (R-RL) با الگوی توزیع تخلخل ردیفی هیچ تأثیری بر میزان سایه‌اندازی ندارد. در مدل‌های گروه سوم (Co-RL)، افزایش عمق تراس از ۹/۰ به ۱/۲ متر بدون تأثیر و افزایش از ۱/۲ به ۱/۵ متر باعث رشد یک درصدی متوسط سطوح تحت سایه می‌شود.

بررسی‌ها نشان داد که میان عمق تراس و میزان انرژی تابشی دریافتی در ساختمان‌های متخلخل ارتباط مستقیم و مشخصی وجود ندارد. در مدل‌های گروه اول (U-RL)، با افزایش عمق تراس از ۹/۰ به ۱/۲ متر، میزان انرژی تابشی در واحد سطح به اندازه ۳۰/۷۹٪ افزایش می‌یابد. پس از این مرحله با افزایش عمق تراس به اندازه ۳/۰ و ۶/۰ متر کاهش میزان انرژی تابشی به اندازه ۴/۰٪ و ۳۴/۳٪ مشاهده می‌شود.

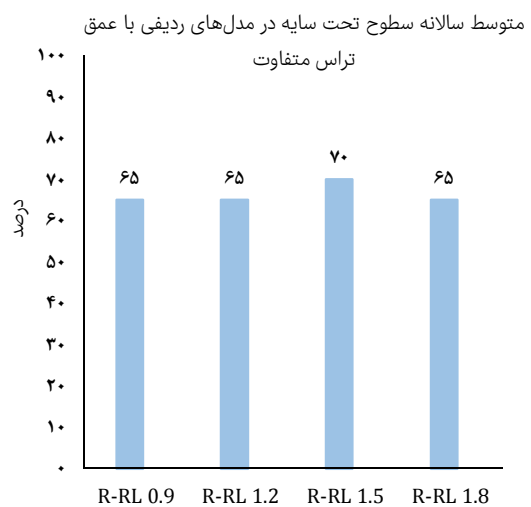
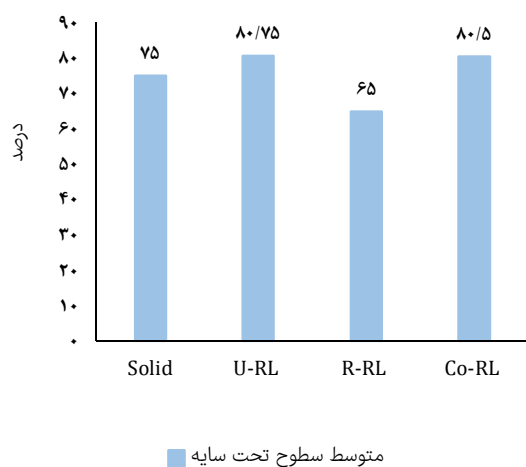
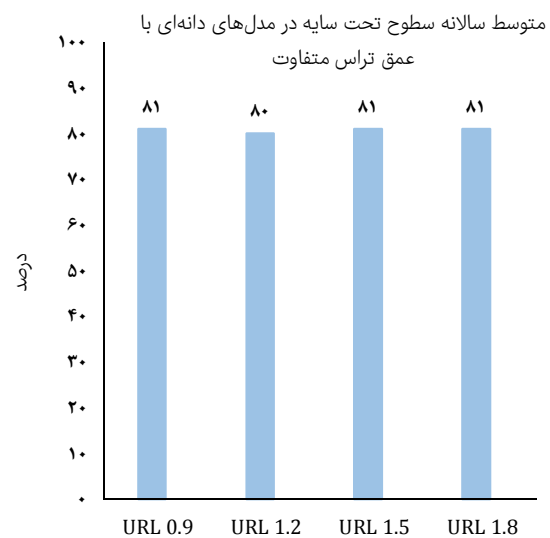
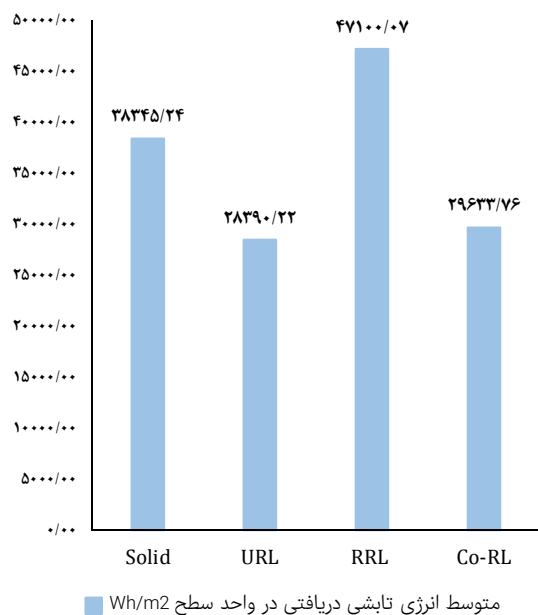
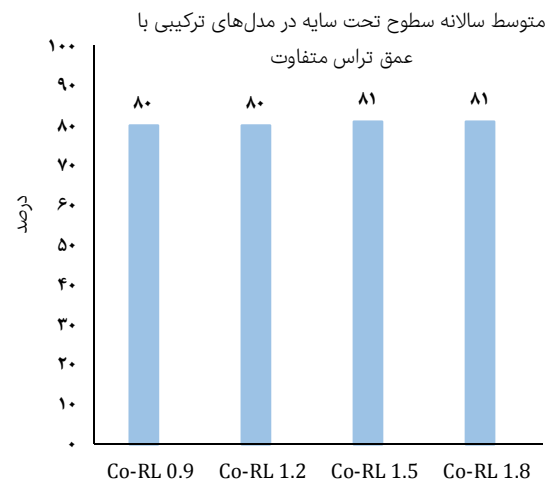
در مدل‌های دسته دوم (R-RL)، افزایش عمق تراس تأثیری منفی بر سرمایش ایستای ساختمان ایجاد می‌کند. به‌طوری که با افزایش عمق تراس‌ها از ۹/۰ به ۱/۲ و ۱/۵ متر، انرژی تابشی دریافتی در واحد سطح ساختمان به میزان ۲۱/۰٪ و ۱۳/۰٪ افزایش پیدا می‌کند. تغییر عمق تراس از ۱/۵ به ۱/۸ متر باعث تغییر انرژی تابشی دریافتی به میزان ۱۹/۰٪ می‌شود.

روند تغییرات در مدل‌های گروه سوم (تخلخل ترکیبی) بسیار متفاوت با گروه‌های قبلی است. در این دسته از مدل‌ها می‌توان افزایش عمق تراس را به‌عنوان فاکتوری مثبت در راستای سرمایش ایستای ساختمان و کاهش دریافت انرژی گرمایشی خورشید به شمار آورد. با افزایش عمق تراس از ۹/۰ به ۱/۲ و ۱/۵ متر میزان انرژی تابشی دریافتی به اندازه ۱/۲٪ و ۲۴/۲٪ کاهش می‌یابد. تغییرات عمق تراس از ۱/۵ به ۱/۸ متر در مدل‌های این گروه با افزایش جزیی انرژی تابشی به مقدار ۹/۰ کیلووات بر مترمربع همراه است (نمودار ۵).

ردیفی نه تنها کمکی به بهبود رفتار ساختمان نمی‌کند، بلکه باعث افزایش بار سرمایشی ساختمان در طول ایام گرم سال خواهد شد.



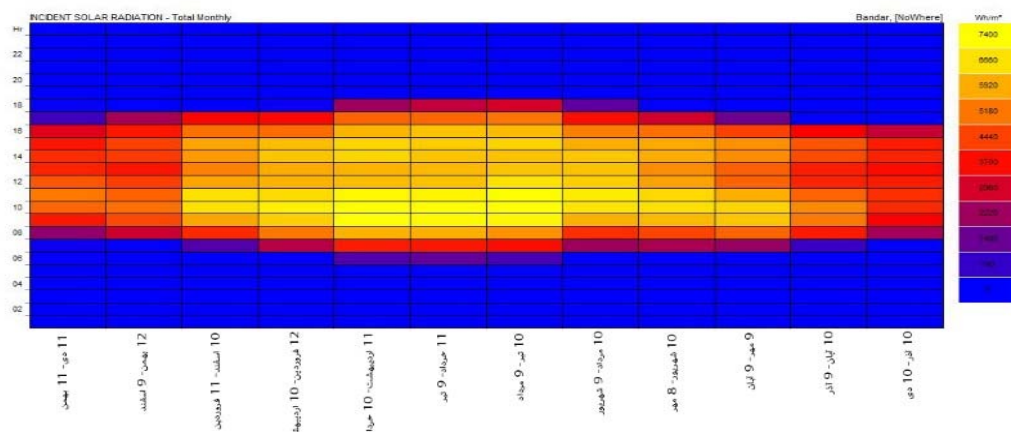
نمودار ۵) متوسط انرژی تابشی دریافتی بر واحد سطح ($\frac{Wh}{m^2}$) برای مدل‌های ۱۳ گانه در طول یک سال



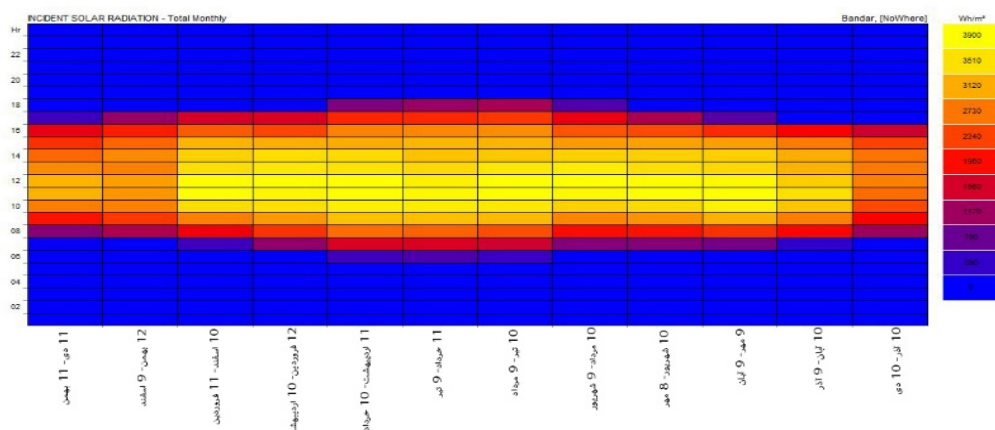
نمودار ۶) میانگین انرژی تابشی دریافتی و سطوح تحت سایه مدل‌های هر گروه

نمودار ۴) متوسط سالانه سطوح تحت سایه در مدل‌های متخلخل با عمق تراس مختلف

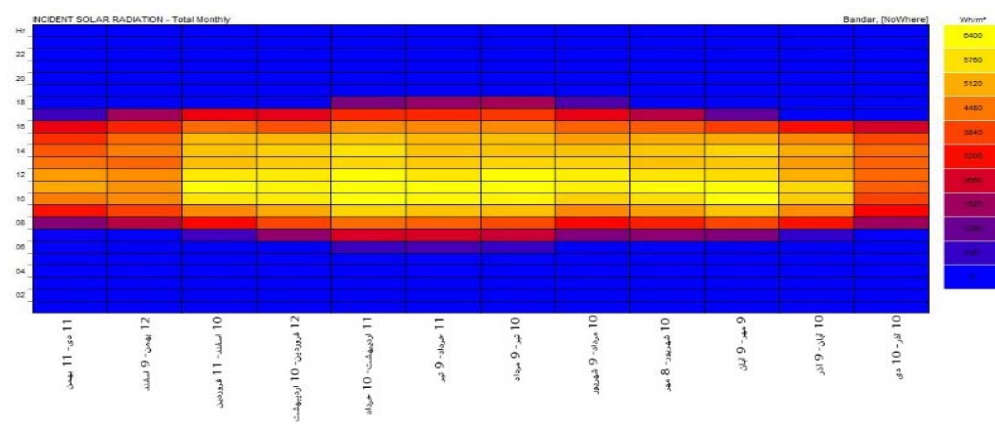
Solid



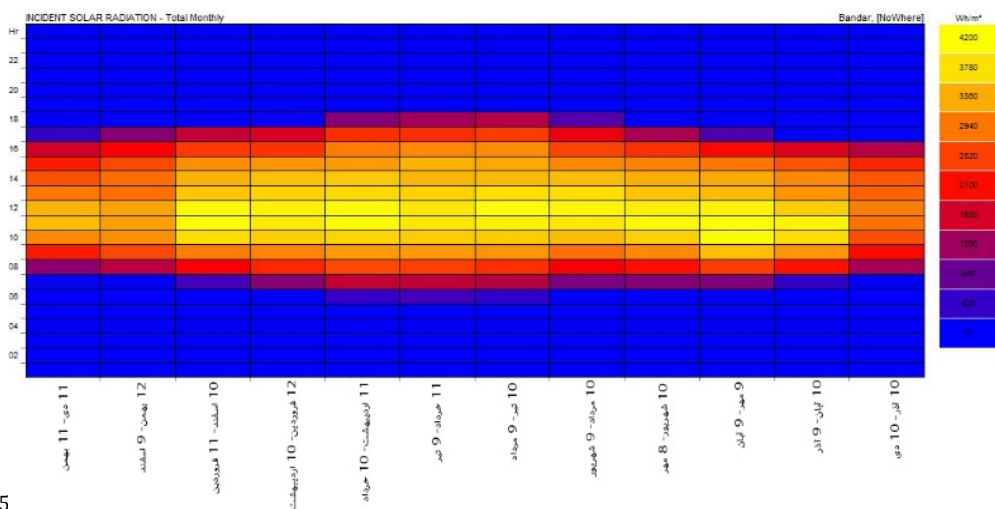
U-RL 1.5



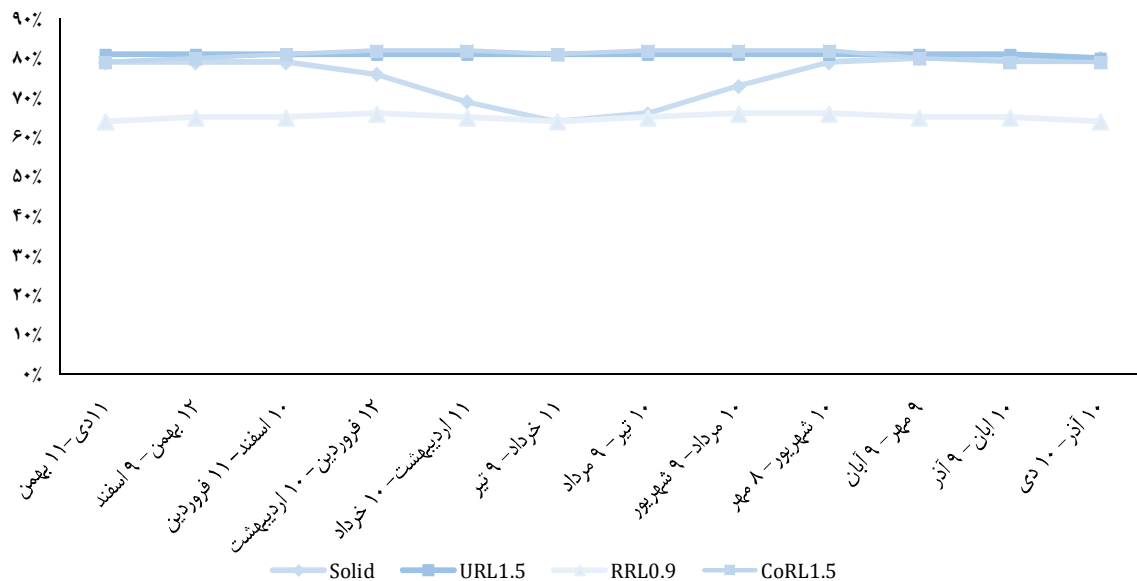
R-RL 0.9



CO-RL 1.5

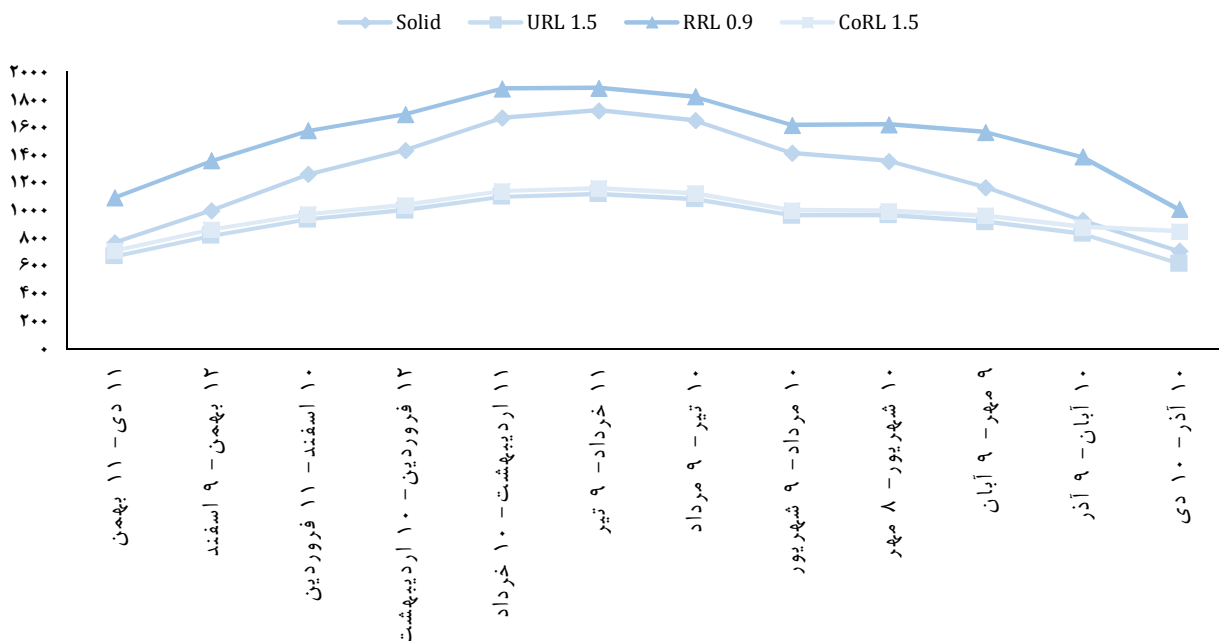


نمودار ۷) نمودار ساعتی دریافت انرژی تابشی مدل‌های بهینه و مدل صلب برگرفته از نرم‌افزار اکوتکت



نمودار ۸) متوسط سطوح تحت سایه در مدل‌های بهینه هر گروه و مدل صلب به تفکیک ماه

متوسط انرژی تابشی دریافتی میانه ماه در مدل‌های بهینه هر گروه



نمودار ۹) متوسط انرژی تابشی دریافتی در مدل‌های بهینه هر گروه و مدل صلب به تفکیک ماه

بحث

نمی‌کند و ثابت است. این مقدار در مدل‌های با تخلخل دانه‌ای در عمق ۰/۹، ۱/۵ و ۱/۸ متر برابر بوده و در عمق ۱/۲ متر به مقدار بسیار جزئی و قابل چشم‌پوشی کاهش یافته است. در مدل تخلخل ردیفی نیز در عمق تراس‌های ۰/۹ و ۱/۲ متر مقدار سطوح تحت سایه برابر و در عمق ۱/۵ و ۱/۸ متر این میزان به مقدار بسیار کمی افزایش یافته است. در مقایسه سه مدل بالا همچنان که مشهود است به جز مدل متخلخل ردیفی که درصد سطوح تحت سایه کمی دارد، سایر مدل‌ها وضعیت بسیار مشابهی دارند. بنابراین بیشترین میزان سطح

یافته‌های منتج از آنالیز داده‌ها به صورت زیر است:
 ۱) نتایج حاصل از شبیه‌سازی داده‌ها نشان داد که در انقلاب تابستانی و در روز اول تیر در شهر بندرعباس تخلخل در بدنه ساختمان در میزان سایه‌اندازی و افزایش سطح تحت سایه در کل مدت روز مزیت خاصی نسبت به مدل صلب ندارد.
 ۲) نتایج نشانگر آن است که متوسط سطوح تحت سایه در کل روزهای سال، در مدل‌هایی با تخلخل ردیفی با تغییر عمق تغییری

خود ضمن ارتقای کیفیت فضایی، افزایش تعاملات فضای درونی و بیرونی، ایجاد فضاهای جمعی در ارتفاع می‌توانند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در عملکرد حرارتی ساختمان ایجاد کنند. گرایش معماران به طراحی اینگونه از ساختمان‌ها و جایگزینی آپارتمان‌های صلب متداول با برج‌ها دلیل بارزی بر این مدعا است.

این پژوهش به مطالعه پتانسیل خودسایه‌اندازی تراس آپارتمان‌های متخلخل و بررسی تطبیقی آنها با مدل صلب در شهر بندرعباس پرداخت. در این میان نقش تغییر عمق تراس‌ها و همچنین الگوی توزیع تخلخل بر پتانسیل خودسایه‌اندازی ساختمان‌های متخلخل مورد مطالعه قرار گرفت. دستاوردهای پژوهش نشان‌دهنده آن است که تغییرات عمق تراس تغییر قابل ملاحظه‌ای بر میزان سطوح تحت سایه ندارد و تأثیر آن تقریباً قابل اغماض است. بررسی‌ها نشان داد که تغییرات انرژی تابشی دریافتی در ارتباط مستقیم با تغییرات عمق تراس نیست و از میان مدل‌های مختلف، افزایش عمق تراس تنها در مدل‌های متخلخل ترکیبی به‌عنوان راهکار مفید در کاهش انرژی تابشی دریافتی به شمار می‌آید. میانگین نتایج حاصل از مدل‌های چهارگانه هر گروه و بررسی تطبیقی نتایج حاصل با مدل صلب نشان داد که در حالت کلی مدل‌های متخلخل دانه‌ای بهترین و مدل‌های متخلخل ردیفی بدترین رفتار از منظر سایه‌اندازی و انرژی تابشی دریافتی را دارند. به‌طوری که الگوهای رفتاری مدل‌های ردیفی حتی در شرایط بدتری از مدل صلب قرار می‌گیرد. بررسی تطبیقی مدل‌های بهینه هر گروه با مدل صلب در طول یک سال نیز این ادعا را ثابت کرد.

به‌طور کلی می‌توان اذعان کرد که ایجاد تخلخل در ساختمان همیشه منجر به بهبود عملکرد سایه‌اندازی ساختمان نمی‌شود، به‌طوری که ایجاد تغییرات فرمال بدون پشتوانه علمی و شبیه‌سازی‌های منطقی حتی گاهی منجر به تضعیف سایه‌اندازی و افزایش بار سرمایشی ساختمان می‌شود. فاکتورهای ساختاری و شاخصه‌های فرمی ساختمان نقش به‌سزایی در سایه‌اندازی و رفتار حرارتی ساختمان دارند. هر چند میزان تأثیر تمامی این شاخصه‌ها یکسان نیست. همان‌طور که این پژوهش ثابت کرد الگوی تخلخل به‌عنوان یک متغیر فرمی تأثیرات بسیار پررنگ‌تری بر سایه‌اندازی ساختمان در مقایسه با تغییر عمق تراس ایجاد کرد. از این رو انجام مطالعات در زمینه متغیرهای فرمی تراس آپارتمان‌ها به‌عنوان الگوی ایده‌آل آپارتمانی و آرایه راهکارهای کمک طراحی می‌تواند ضمن کمک به طراحان ساختمان تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد حرارتی اینگونه از بناها داشته باشد.

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تأییدیه اخلاقی: نویسندگان مطالعه حاضر با اعلام موافقت خود مبنی بر ارسال این مقاله به نشریه نقش جهان، مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی تعهد می‌کنند که این مطالعه در زمان ارسال برای این نشریه در هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی در حال بررسی نیست و تا تعیین تکلیف قطعی در این نشریه برای هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی دیگری ارسال نخواهد شد و خانم پریا سعادتجو را از نویسندگان به‌عنوان

تحت سایه مربوط به عمق تراس‌های ۰/۹، ۱/۵ و ۱/۸ متر در مدل دانه‌ای و همین‌طور مربوط به عمق تراس ۱/۵ و ۱/۸ متر در مدل ترکیبی است.

۳) در خصوص متوسط انرژی تابشی دریافتی، نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که در مدل‌های متخلخل ایجادشده تغییر عمق تراس‌ها ارتباط مستقیمی با میزان انرژی تابشی دریافتی در واحد سطح در طول سال ندارد، به گونه‌ای که در مدل متخلخل دانه‌ای افزایش عمق تراس‌ها از ۰/۹ به ۱/۲ متر موجب افزایش قابل توجه انرژی دریافتی شده است، اما در عمق ۱/۵ متر مجدداً این مقدار کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته و سپس در عمق ۱/۸ متر مقدار کمی افزایش یافته است. در مدل‌های ردیفی نیز به گونه‌ای مشابه میزان متوسط انرژی تابشی دریافتی از عمق ۰/۹ به ۱/۲ متر افزایش یافته، سپس از عمق ۱/۲ به ۱/۵ متر این مقدار با کاهش مواجه شده و مجدداً با افزایش عمق به ۱/۸ متر، مقدار متوسط انرژی تابشی دریافتی بیشتر شده است. در خصوص مدل‌های متخلخل ترکیبی این افزایش از عمق ۰/۹ تا ۱/۸ متر تقریباً سیر نزولی را طی می‌کند و رفتاری کاملاً متفاوت با سایر مدل‌ها دارد.

۴) میانگین نتایج حاصل از مدل‌های چهارگانه هر گروه و بررسی تطبیقی نتایج حاصل با مدل صلب نشان داد که در حالت کلی مدل‌های متخلخل دانه‌ای بهترین و مدل‌های متخلخل ردیفی بدترین رفتار از منظر سایه‌اندازی و انرژی تابشی دریافتی را دارند.

۵) نتایج مقایسه حالت بهینه هر دسته از مدل‌های دانه‌ای، ردیفی و متخلخل با مدل صلب از منظر پتانسیل خودسایه‌اندازی، بیانگر آن است که اگر متوسط سالانه سطوح تحت سایه در مدل صلب به‌عنوان حالت متوسط در نظر گرفته شود، در مدل متخلخل ردیفی سایه‌اندازی کمتر و در مدل متخلخل دانه‌ای بیشترین میزان سایه‌اندازی مشاهده می‌شود. مدل متخلخل ترکیبی نیز مقدار سایه‌اندازی نسبتاً بالایی داشته و اختلاف بسیار کمی با مدل متخلخل دانه‌ای از این حیث دارد.

در خصوص متوسط انرژی تابشی دریافتی مدل‌ها در طول سال نیز اگر مدل صلب حالت میانی در نظر گرفته شود، مدل‌های متخلخل دانه‌ای و ترکیبی با اختلاف کمی از یکدیگر هر دو انرژی دریافتی کمتری نسبت به مدل صلب دارند، اما در خصوص مدل متخلخل ردیفی این مقدار بسیار بیشتر از مدل صلب است. بنابراین استفاده از یکی از طرح‌های متخلخل دانه یا ترکیبی برای کاهش میزان انرژی دریافتی در طول سال مناسب است.

نتیجه‌گیری

سایه‌اندازی و پرهیز از انرژی تابشی دریافتی به‌عنوان اولین رویکرد سرمایش ایستای ساختمان نقش به‌سزایی در کاهش بار سرمایشی به‌ویژه در اقلیم گرم و مرطوب دارد. در این میان استفاده از تدابیر معماری به‌منظور طراحی فرم‌های خودسایه‌انداز به‌عنوان اولین و موثرترین گام طراحی پایدار محسوب می‌شود. ساختمان‌های متخلخل و تراس آپارتمان‌ها به واسطه ویژگی‌های ساختاری خاص

buildings. International Conference on Civil Engineering, Architecture and cityscape, 2016 July 28, Istanbul, Turkey. Istanbul: Istanbul University; 2016. [Persian]

13- Mahdavinejad MJ, Masoodi Tonekaboni S. Self-shading and high performance architecture, case studies: Configuration of contemporary buildings of Tehran. *Armanshahr Archit Urban Dev*. 2019;11(25):201-8. [Persian]

14- Valladares-Rendón LG, Schmid G, Lo SL. Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems. *Energy Build.* 2017;140:458-79.

15- Ling CS. Minimising solar insolation in high-rise buildings through self-shaded form [Dissertation]. Johor Bahru: University of Technology Malaysia; 2007.

16- Kim M, Leigh SB, Kim T, Cho S. A study on external shading devices for reducing cooling loads and improving daylighting in office buildings. J Asian Archit Build Eng. 2015;14(3):687-94.

17- Minangi FS, Alibaba HZ. Effect of shading on thermal performance of dormitory building on hot Climate. *Int J Interdiscip Res Innov.* 2018;6(4):610-21.

18- Hood SD, Mahmoodi Zarandi M, Kamyabi S. Optimal placement of shadow tools of double-skin facade with the aim of achieving thermal comfort in hot climate. NAQSHEJAHAN. 2018;8(3):171-7. [Persian]

19- Saadatjoo P, Mahdavinjad MJ, Zhang G. A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions. *Build Simul.* 2018;11(2):359-72.

20- Saadatjoo P, Mahdavinejad MJ, Zarkesh A. Porosity rendering in high-performance architecture: Wind-driven natural ventilation and porosity distribution patterns. *Armanshahr Archit Urban Dev*. 2019;12(26):73-88.

21- Hirano T, Kato Sh, Murakami Sh, Ikaga T, Shiraishi Y. A study on a porous residential building model in hot and humid regions: Part 1-the natural ventilation performance and the cooling load reduction effect of the building model. *Build Environ*. 2006;41(1):21-32.

22- Moshiri Sh. Sustainable design based on hot and humid climate. HOVIATE SHAHR. 2010;3(5):39-46. [Persian]

23- Olgyay V. Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico. Padua: Franco Muzzio Editore; 2013.

24- Omidvar K, Rostami Gurani R, Beiranvandzadeh M, Ebrahimi S. Investigating the climate effects on the vernacular architecture of southern coasts: Bandar Abbas. Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World, 2010 April 25-27, Zahedan, Iran. Zahedan: University of Sistan and Baluchestan; 2010. [Persian]

25- arcamlak.com [Internet]. Tehran: CAOI; 2019 [cited 2019 November 3]. Available from: <http://arcamlak.com/residential/item/45>. [Persian]

26- fmzd.co [Internet]. Tehran: FMZD; 2019 [cited 2019 February 25]. Available from: <https://fmzd.co/projects/detail?id=29>.

نویسنده رابط معرفی کردند و وکالت تام ایشان در کلیه امور مرتبط با این مقاله به‌ویژه انجام اصلاحات احتمالی نزد نشریه نقش جهان، مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی را می‌پذیرند.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان یافت نشد.

سهم نویسندگان: الهام سلیقه (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۵۰٪؛ پریا سعادت جو (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۵۰٪).

منابع مالی: هزینه‌های مرتبط با این مطالعه به عهده نویسندگان است.

منابع

1- Vanaga R, Blumberga A, Freimanis R, Mols T, Blumberga D. Solar facade module for nearly zero energy building. *Energy*. 2018;157:1025-34.

2- National Science and Technology Forecasting Committee. Energy efficiency in buildings [Internet]. Tehran: National Science and Technology Forecasting Committee; 2018 [cited 2017 May 21]. Available from: <http://infpr.ir/2018/08/%D9%8D%D9%8Denergy-efficiency-in-buildings/>. [Persian]

3- Mahdavinejad MJ, Badri N, Fakhari M. Optimum energy efficient architecture based on thermal behavior of buildings. NAQSHEJAHAN. 2013;3(2):35-42. [Persian]

4- Eskandari H, Saedvandi M, Mahdavinejad MJ. The impact of Iwan as a traditional shading device on the building energy consumption. *Buildings*. 2018;8(1):3.

5- Guedi Capeluto I. Energy performance of the self-shading building envelope. *Energy Build.* 2003;35(3):327-36.

6- Nikpour M, Kandar MZ, Ghasemi M, Ghomeshi M, Safizadeh MR. Heat transfer reduction using self shading strategy in energy commission building in Malaysia. J Appl Sci. 2012;12(9):897-901.

7- Lavafpour Y, Sharples S. Summer thermal comfort and self-shading geometries in Passivhaus dwellings: A pilot study using future UK climates. *Buildings*. 2015;5(3):964-84.

8- Attarian K, Safarali Najar B. Defining sustainability characteristics for residential buildings in hot and humid climate (case study: Traditional houses of Ahwaz). NAOSHEIAHAN. 2018;8(3):161-70. [Persian]

9- Khanmohammadi MA, Azimi S, Rahmaneji Y, Hossaini M. Studying the qualitative and quantitative roles of Ivan in traditional houses and revitalization of them in the shape of the terrace. HOVIATE SHAHR. 2016;10(26):21-32. [Persian]

10- Ghobadiaon V. Climatic analysis of the traditional Iranian buildings. 5th Edition. Tehran: University of Tehran Press; 2010. [Persian]

11- Bahrani HR, Ranjbar E, Ahmadi S. An analysis of the function of external senasir types and their effects on the wind flow in the historical part of Bushehr. NAQSHEJAHAN. 2018;8(3):179-86. [Persian]

12- Mohammadi M, Mahdavinejad MJ. The role of self-shading in reducing energy consumption in public