

Explanation of optimal architectural physical form patterns with the approach of providing comfortable conditions in open spaces of residential complexes (case study: Tehran)

ARTICLE INFO

Article Type Original Research

Author

Teimur Heydari¹
Mansour Yeganeh^{2*}
Elham Pourmahabadian³

How to cite this article

Heydari T., Yeganeh M., Pourmahabadian E. Explanation of optimal architectural physical form patterns with the approach of providing comfortable conditions in open spaces of residential complexes (case study: Tehran). Urban Design Discourse. 2024; 5(3): 75-100.

Doi:

doi.org/10.48311/UDD.5.3.5

¹ PhD student in Architecture, Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran. Student in Architecture, Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

² Visiting Professor, Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran, Faculty of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat University, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

* Correspondence

Address: Faculty of Art and Architecture, Tarbiat University, Tehran, Iran
Email: yeganeh@modares.ac.ir

Article History

Received: December 26, 2023
Accepted: March 11, 2024
September 28, 2024

ABSTRACT

The problem of thermal comfort of users has long been the concern of architects and designers of residential spaces. In the traditional architecture of Iran, according to the climate of each region, the form, the placement of spaces and the design of open spaces are formed according to the climate of each region. In modern times, due to the increase in the population of cities and the increase in the need for residential spaces and traffic space, the issue of open and social spaces and its role in providing human comfort has been given less attention. Residential has become effective in providing thermal comfort to the residents. For this purpose, using the study of scientific texts, the components of urban form affecting the thermal comfort of urban open spaces were extracted in a hierarchy from texture to building, then ENVI-met software was used to simulate and analyze the design factors, and each of the blocks Residential houses with a certain height are simulated in the software. The results show that the nine isolated cubes provide better heat in the open space. The better performance of this arrangement in providing thermal comfort in the open space can be attributed to the distribution of building blocks, which prevents the creation of open spaces without large shadows inside the site. The shade created by the building blocks prevents the temperature from rising too much in the summer afternoon hours.

Keywords: Residential blocks, building typology, outdoor thermal comfort, Tehran.

CITATION LINKS

[1] Zulfiqari, Parisa, a... [2] Qabadian, Vahid, Fai... [3] Watson, Donald, Lees... [4] Jodet, Mohammad Reza... [5] Bahraini, Seyyed Hos... [6] Shakibaei, Siamak an... [7] Ratti, Carlo, Rayda... [8] Targhi, M. Z., & Va... [9] Middel, Ariane, Hüb... [10] Horison, E., & Amirtha... [11] Naini's truth, Gholamrez... [12] Andreou, E (2013). Therm... [13] Sharmin, Tania, Steemers... [14] Taleghani, Mohammad, Tenp... [15] Ali-Toudert F, Mayer H. ... [16] Yezioro A, Capeluto IG, ... [17] Berkovic S, Yezioro A, B... [18] Ali-Toudert F, Mayer, H... [19] Johansson E. (2006) Infl... [20] Bourbia, F, Boucheriba, ... [21] Errell, E, et al (2012). ... [22] Taleghani, Mohammad, Kle... [23] Bosselmann, T, Menke, P ... [24] Dalman, Masoud, Salleh, ... [25] Krüger, E.L., Minella, F.O... [26] Noori Kakon, Anisha, Mis... [27] Yang, Jun, Li, Shihua, Su ... [28] Elnabawi, Mohamed H, Nev... [29] Sanaieian, Haniyeh, Tenp... [30] Zabeti Targhia, Milad, V... [31] Xuan, Yingli, Yang, Guan... [32] Behzadfar, Mustafa, Mena... [33] Rezazadeh, Raziheh, Aghaj... [34] Mahmoudi, Amir Masoud, S... [35] Rafiyan, Mojtabi, Fatah ... [36] Ali Akbari, Hojjat (2012... [37] Menshizadeh, Rahmatullah... [38] Hajipour, Khalil and Nar... [39] Madanipour, a. (ed.). (2... [40] Li, j., & liu, n. (2020)... [41] Kamel, e., sheikh, s., &... [42] Alghamdi, s., tang, w., ... [43] Kumar, p., & sharma, a. ... [44] Esfrizi, Maryam, Gandham... [45] Lau, k. K. L., tan, z., ... [46] Shang, c. (2022). Simula... [47] Yang, j., yang, y., sun,... [48] Farrokhi, Maryam; Yazidi... [49] Aflaki, A., Mirnezhad, M... [50] Simon, Helge, Lindén, Je... [51] Yang, F., et al. (2013)... [52] Hedquist, Brent C, Braze... [53] Ghaffarianhoseini, Amirh... [54] Acero, Juan A, Herranz-P... [55] Ketterer, Christine, Mat... [56] Wang, Yupeng, Akbari, Ha... [57] Jänicke, Britta, Meier,... [58] Lee, J., Kim, J., & Choi... [59] Salata, F., et al. (2015... [60] Nasrollahi, Nazanin, Hat... [61] Cortes, Aiza, Jesfel Rej... [62] Faragallah, Riham Nady, R... [63] Hadianpour, Mohammad, Ma... [64] Olgyay, Victor (1963). D... [65] Cheung, Pui Kwan a, Jim,... [66] Tseliou, Areti, Tsiros, ... [67] Matzarakis, Andreas, May... [68] Haghsheenas, Mohammad, Ha... [69] Mi, Jiayi, Hong, Bo, Zha... [70] Johansson, Erik, Thorso... [71] ISO. 2005. ISO Standard ... [72] Nasrollahi, Nazanin, Hat... [73] Lee, K.M. (2004). Presen... [74] strategies for urban cou... [75] Azizibabani, M.; Bemanian... [76] Ahmadi S, Yeganeh M, Mot... [77] Zare Z, Yeganeh M, Dehgh... [78] Mansour Y. Educating Des... [79] Shahbazi M, Yeganeh M, B... [80] Kandelán SN, Yeganeh M, ... [81] Baradaran Motie M, Yegan... [82] Ashtari B, Yeganeh M, Be... [83] N. Ariannia, N. Naseri, ...

تبیین الگوهای کالبدی فرم معماری بهینه با رویکرد تأمین شرایط آسایشی در فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی (نمونه مطالعاتی: شهر تهران)

چکیده

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی اصیل

نویسندگان:

تیمور حیدری^۱

منصور یگانه^{۲*}

الهام پورمهابادیان^۳

نحوه استناد به این مقاله:

حیدری، تیمور، یگانه، منصور و پورمهابادیان، الهام. تبیین الگوهای کالبدی فرم معماری بهینه با رویکرد تأمین شرایط آسایشی در فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی (نمونه مطالعاتی: شهر تهران). گفتمان طراحی شهری: مروری بر ادبیات و نظریه‌های معاصر، ۵ (۳)، ۷۵-۱۰۰.

مسئله تحقیق: مسئله آسایش حرارتی کاربران در فضاهای باز و مابین ساختمان‌ها و بلوک‌های شهری از دیرباز مورد توجه معماران و طراحان فضاهای مسکونی بوده است. در معماری سنتی ایران با توجه به آب‌وهوای هر منطقه فرم، جایگیری فضاها و طراحی فضاهای باز با توجه به اقلیم هر منطقه شکل گرفته است که این تدابیر طراحی امکان تأمین شرایط آسایشی مطلوب را می‌داده است. عملکرد بهتر این چیدمان در ارائه آسایش حرارتی در فضای باز را می‌توان به توزیع بلوک‌های ساختمانی نسبت داد که از ایجاد فضاهای باز بدون سایه بزرگ در داخل سایت جلوگیری می‌کند. سایه‌ای که توسط بلوک‌های ساختمانی ایجاد می‌شود از افزایش بیش‌ازحد دما در ساعات بعدازظهر تابستان جلوگیری می‌نماید.

هدف: هدف این پژوهش یافتن مؤلفه‌های طراحی فضاهای باز مجتمع‌های مسکونی مؤثر در تأمین آسایش حرارتی ساکنین شده است.

روش پژوهش: روش تحقیق در این پژوهش شبیه‌سازی نرم افزاری و میدانی است که خروجی‌های نرم افزاری برای اعتبارسنجی با استفاده از داده‌ای میدانی حاصل از اندازه‌گیری محیطی کنترل شده‌اند. بدین منظور با استفاده از مطالعه متون علمی مؤلفه‌های فرم شهری تأثیرگذار بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در سلسله‌مراتبی از بافت تا بنا استخراج شده سپس برای شبیه‌سازی و تحلیل عوامل طراحی از نرم‌افزار ENVI-met بهره گرفته و هر یک از بلوک‌های مسکونی با ارتفاع مشخص در نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است.

نتیجه: نتایج نشان می‌دهد که بلوک‌های شهری منفرد مکعبی شکل آسایش حرارت بهتری را در فضای باز ارائه می‌کنند. عملکرد بهتر این چیدمان در ارائه آسایش حرارتی در فضای باز را می‌توان به توزیع بلوک‌های ساختمانی نسبت داد که از ایجاد فضاهای باز بدون سایه بزرگ در داخل سایت جلوگیری می‌کند. سایه‌ای که توسط بلوک‌های ساختمانی ایجاد می‌شود از افزایش بیش‌ازحد دما در ساعات بعدازظهر تابستان جلوگیری می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: آسایش حرارتی فضای باز، نرم‌افزار tem-IVNE، گونه‌شناسی ساختمان، مجموعه‌های مسکونی، تهران.

* نویسنده مسئول:

دکتر منصور یگانه

نشانی: گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس

مدرس، تهران

ایمیل: yeganeh@modares.ac.ir

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۷/۱۵

۱. مقدمه و بیان مسئله

فاکتورهای مهم اقلیمی ازجمله باد، تابش و... اثر مهمی بر شکل‌گیری فرم شهر دارد به‌طوری‌که در قدیم حفظ حداقل آسایش اقلیمی در خانه‌ها و محافظت از ساختمان‌ها در مقابل باد و تابش امری ضروری بوده، اما بعدها با توسعه شهرها و پیشرفت وسایل تهویه، توجه به مسائل اقلیمی در استقرار ساختمان‌ها کم‌رنگ‌تر شده است. تاکنون مطالعات بسیاری در راستای مصرف اقتصادی و مقرون به‌صرفه انرژی در بخش ساختمان و راهکارهای تأمین آسایش حرارتی درونی (تأمین نور، دما، تهویه و

اقلیم تأثیر قابل‌توجهی بر شرایط آسایش انسان دارد و شناخت و کاربرست راهکارهای اقلیمی می‌تواند دستیابی به شرایط مطلوب زیستی را فراهم سازد. منظور از شرایط آسایش انسان، مجموعه حالاتی است که از نظر رژیم دما دست‌کم برای ۸۰ درصد از افراد مناسب باشد. به عبارت دیگر انسان در آن شرایط، نه احساس سرما و نه احساس گرما خواهد کرد [۲].

معماران در زمان‌های گذشته بر اثر تجربه اثرات باد، آفتاب و باران را بر مسکن و بناها می‌دانسته‌اند و روش‌های جالبی نیز برای کاهش اثرات نامطلوب این عوامل ارائه داده‌اند. در معماری معاصر تغییراتی که با توجه به معیارهای زیست‌اقلیمی و پایداری پدید می‌آید، هرروز اهمیت بیشتری می‌یابد. درواقع بوم‌شناسی ساختمان بر قابلیت ساختمان بر تلفیق عوامل محیطی و جوی و تبدیل آن‌ها به‌صورت کیفیت‌های فضایی و آسایش فرم تأکید دارد [۳]. لذا ساختمان که به‌عنوان پوسته سوم انسانی است (پوسته اول پوست طبیعی انسان بوده و پوسته دوم پوشش مناسب) در رابطه با اقلیم و محیط زیست می‌باشد [۴]. همچنین ضروری به‌نظر می‌رسد که به بررسی و تحلیل تأثیر ویژگی‌های کالبدی بلوک‌های شهری بر میزان مصرف

ازاین‌رو پژوهش‌های متعددی در زمینه بهبود شرایط آسایش حرارتی افراد در فضای داخلی و بیرونی انجام شده است؛ اما عموماً در جهان و به‌ویژه در ایران، روابط بین مباحث سازگاری روانی با شرایط اقلیم به‌طور بسیار محدودی مطالعه شده و درمجموع پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه آسایش حرارتی بیشتر بر مباحث کالبدی و مداخلات فیزیکی متمرکز شده‌اند. تحقیقات گسترده‌ای که پیرامون موضوع آسایش حرارتی در دهه‌های اخیر انجام شده است، نیز مؤید اهمیت پرداختن به این موضوع می‌باشد که در بخش‌های بعدی مقاله به آن‌ها اشاره می‌شود. با توجه به وجود رابطه متقابل و تنگاتنگ بین ساختمان‌ها و محیط خارجی آن‌ها، عواملی چون ساخت و بافت شهری، شکل، ارتفاع و اندازه بناها، جهت خیابان‌ها و ساختمان‌ها و سطح فضاهای باز، اقلیم خرد شهری که منظور همان وضعیت آب و هوایی اطراف ساختمان‌ها است را تحت تأثیر

قرار می‌دهند. به عبارتی، هر عنصر انسان‌ساخت شهری در بالا و اطراف خود اقلیم مصنوعی خاصی پدید می‌آورد که همواره با آن در ارتباط متقابل قرار می‌گیرد. فرم شهر و اجزا و عناصر تشکیل‌دهنده آن علاوه بر اینکه می‌توانند بر کیفیت فضاهای شهری اثر بگذارند، کیفیت هوای شهر را نیز می‌توانند تغییر دهند؛ به‌نحوی‌که تمرکز یا پراکندگی عناصر آلوده‌کننده هوا که از مسائل عمده شهرهای امروز دنیا است و به جریان‌های جوی و تشکیل جزایر حرارتی در داخل شهر بستگی دارد، نیز به‌نوبه خود تحت تأثیر شکل و فرم شهر قرار می‌گیرد [۵].

در مقاله حاضر با توجه به مفاهیمی چون آسایش، آسایش حرارتی، فرم شهری و عناصر و اجزای تشکیل‌دهنده آن، سعی شد خرده اقلیم و آسایش حرارتی فضاهای باز شهری موردبررسی قرار گیرد و با معرفی فاکتورهای فرم شهری به عنوان مهمترین ابزارهای دستیابی به بافت‌های انرژی کارا، و به کارگیری عملی آنها در روش‌های غیر فعال طراحی، به ارزیابی الگوهای پایدار فرم شهری بپردازد.

۲. پیشینه و مبانی نظری پژوهش

رابطه متقابل و تنگاتنگی بین ساختمان‌ها و هر عنصر انسان‌ساخت شهری دیگر و محیط پیرامون آن‌ها وجود دارد. درواقع هر عنصر مصنوعی، وضعیت آب‌وهوای اطراف خود را تغییر می‌دهد. هندسه و مقطع شهر، اندازه و ابعاد شهر، تراکم و فشردگی شهر در مقیاس‌های وسیع‌تر و شکل، ارتفاع و اندازه بناها، جهت‌گیری خیابان‌ها و ساختمان‌ها و سطح فضاهای باز، پوشش سطح زمین در مقیاس‌های خردتر همگی عواملی هستند که بر اقلیم خرد شهری تأثیرگذارند [۶]. اکثر مطالعات موجود در ایران معطوف به آسایش حرارتی در فضای درون ساختمان و به‌منظور کاهش مصرف انرژی بوده است؛ مطالعات معدودی به آسایش حرارتی در فضای باز پرداخته‌اند؛ اما در دهه‌های اخیر مشاهده می‌شود که توجه بیشتری به مطالعات تأثیر فرم شهری بر روی خرده اقلیم فضای باز شده است. اولگی (۱۹۶۳) و اوک (۱۹۸۷) اولین پژوهشگرانی بودند که پیرامون رابطه بین معماران و طراحان شهر از دیدگاه کلیماتولوژیک با تأکید بر اثر متقابل بین طراحی شهری و خرده اقلیم تحقیق کردند. گیونی (۱۹۹۸) تأثیرات تیپولوژی شهری را در اقلیم‌های مختلف موردبررسی قرار می‌دهد. استیمرز و همکاران (۱۹۹۷) شش نمونه فرم کلی شهری را برای لندن ارائه کردند و تابش خورشید، دسترسی به نور خورشید و محیط ساخته‌شده را مقایسه کردند. پژوهش آن‌ها توسط راتی و همکاران برای شهر مراکش ادامه داده شد و این نتیجه حاصل گردید که خانه‌های بزرگ از نظر زیست‌محیطی در اقلیم سرد مناسب هستند و تحت شرایط هندسی مشخص مانند کنستانتتره خورشیدی عمل می‌کنند و در مقابل بادهای سرد مانند سرپناه عمل می‌کنند [۷]. بوربیا و

غربی) است و چنین اذعان نمودند که جهت شمالی- جنوبی (NS) در مدت‌زمان خیلی کوتاه، نور خورشید مستقیم را در مرکز حیاط دارد و این یافته‌ها در اقلیم‌های مشابه که تابش خورشید کمتری دارند قابل‌تعمیم است. آن‌ها همچنین آسایش حرارتی تابستان را بررسی کرده و نشان دادند که باوجودی که تفاوت دمای هوا بین سطوح سایه و غیر سایه تنها ۰/۵ کلوین بود، اما دمای میانگین تابش بیشتر از ۳۰ درجه کلوین متفاوت بود [۱۷]، علی‌تودرت و مایر [۱۸] مدل خرده اقلیم-ENVI met را برای شبیه‌سازی آسایش حرارتی بیرونی در اقلیم گرم و خشک الجزیره استفاده کرده و تأثیر جهت‌گیری‌های مختلف دالان‌های شهری را موردبررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که زمانی که نسبت ارتفاع ساختمان یا خیابان به عرض آن

اوبی تأثیر شاخص ارتفاع به عرض (H/W) و عامل دید به آسمان (SVF^۱) یک گروه ساختمانی را در اقلیم فضای باز و دمای سطح در شهر ال‌اود در الجزایر بررسی کردند. طبق نتایج جدول ۱ آن‌ها به این نتیجه رسیدند که از طریق کنترل فاکتور SVF و معماری خیابان می‌توان از دمای بالا در دالان‌های شهری جلوگیری کرد و این عوامل تأثیر بیشتری در مقیاس محلی نسبت به مقیاس شهری دارند [۸] [۹] [۱۰]

یک پژوهش جامع در مورد فضاهای باز شهری در مختصات جغرافیایی ۲۶-۳۴ درجه شمالی توسط «یزبرو» و همکاران [۱۶] با استفاده از برنامه Shading انجام شده و به این نتیجه رسیدند که به‌منظور خنک‌سازی، بهترین جهت‌گیری، حیاط‌های مستطیلی شمالی- جنوبی (وجه بزرگ‌تر در جهت شرقی-

جدول ۱ نتایج به دست آمده از بررسی عامل هندسه کالبدی در پژوهش‌های انجام شده در حوزه آسایش حرارتی فضاهای بیرونی [۱۱]

پژوهش	شهر و اقلیم مورد مطالعه	نتایج
Andreou, 2013 [۱۲]	Tinos, Greece گرم و معتدل (کوپن: Csa)	نتایج حاصل از شبیه‌سازی گواه آن است که در اقلیم‌های گرم، خیابان‌های با نسبت ارتفاع به عرض بیشتر (چهار) از منظر آسایش حرارتی در قیاس با دیگر خیابان‌ها بهتر عمل می‌کنند و از نظر جهت‌گیری نیز، خیابان‌های شمالی جنوبی، به دلیل سایه‌اندازی، بهترین شرایط حرارتی را در فصل تابستان دارند.
Sharmin et al., 2015 [۱۳]	Dhaka, Bangladesh اقلیم گرمسیری (کوپن: Aw)	تنوع در ارتفاع بناها، طرح خیابان‌ها و ترکیب‌بندی کلی معابر می‌تواند شبکه‌ای از فضاهای سایه گیر را به وجود آورد که تهویه مطبوعی را در بافت‌های شهری ایجاد نماید و کاهش میانگین دما را در طول روز سبب می‌شوند. بافت‌های مسکونی برنامه‌ریزی‌شده به دلیل ماهیت هندسی و منظمشان، میانگین دمایی بالاتری را (تا ۴ درجه سانتی‌گراد) موجب می‌شوند. همچنین شواهدی از پدیده جزایر حرارتی شهری نیز در این بافت‌ها به چشم می‌خورد.
Taleghani et al., 2015 [۱۴]	De Bilt, Netherland معتدل (کوپن: Ctb)	چینش خطی و پیوسته بلوک‌های ساختمانی در جهت شرقی-غربی، موجبات تابش مستقیم خورشید به مدت ۱۲ ساعت در روز را فراهم می‌آورد که چندان مطلوب نیست. در مقابل، چینش خطی و پیوسته بلوک‌های ساختمانی در جهت شمالی-جنوبی، تنها ۴ ساعت تابش مستقیم خورشید را برای فضای میانی در پی خواهد داشت.
Ali-Toudert & Mayer, 2006 [۱۵]	Ghardaia, Algerian Sahara اقلیم گرم و خشک (کوپن: BWh)	در نواحی نیمه گرمسیری، محیط حرارتی خیابان‌های عریض (H/W=0.5) بسیار تنش‌زا است و جهت‌گیری خیابان‌ها، تأثیری بر بهبود آن ندارد (گرچه خیابان‌هایی با جهت‌گیری شرقی-غربی شرایط بسیار بدتری دارند). بهبود شرایط حرارتی خیابان‌های شرقی-غربی بسیار دشوار است. در مقابل، خیابان‌های شمالی-جنوبی با نسبت ارتفاع به عرض بیشتر (برابر و یا بیشتر از دو) محیط حرارتی بسیار مطلوب‌تری را فراهم می‌آورند.

1. Sky View Factor (SVF)

جدول ۲. خلاصه مطالعات انجام شده در زمینه رابطه میان مؤلفه‌های فرم شهری، خرده اقلیم، آسایش حرارتی و مصرف انرژی

نام محقق / محققان	متغیرهای مستقل مورد مطالعه	متغیرهای وابسته مورد مطالعه
Bosselmann et al., 1995 [23]	ابعاد خیابان‌ها و مکان ساختمان‌ها	تابش، باد و آسایش حرارتی
Toudert et al., 2006 [18]	جهت‌گیری، نسبت دالان‌های شهری، ارتفاع به عرض خیابان‌ها H/W	آسایش حرارتی بیرونی
Bourbia et al., 2010 [20]	ویژگی‌های هندسی خیابان: ارتفاع به عرض عامل نمای آسمان (SVF)، جهت‌گیری (تعریف شده توسط محور طولی آن)	آب‌وهوا خیابان (دمای خیابان)
Dalman & Salleh, 2011 [24]	جهت خیابان، نسبت H/W	آسایش حرارتی (دمای آسایش)
Krüger et al., 2011 [25]	هندسه شهری: آکس‌های خیابان‌ها، ارتفاع ساختمان‌ها و ویژگی‌هایشان	آسایش حرارتی بیرونی کیفیت هوا (پراکندگی آلاینده)
Noori Kakon & Mishima, 2012 [26]	فرم خیابان: شکل و ارتفاع، فرم ساختمان‌ها	آسایش حرارتی بیرونی
Yang et al., 2013 [27]	فرم شهری و تراکم	پتانسیم تهویه بیرونی
Middel et al., 2014 [9]	نوع محوطه‌سازی، چیدمان ساختمان‌ها	دما، جریان باد
Elnabawi, 2014 [28]	فرم شهری	آسایش حرارتی
Sanaieian & et al (2014) [29]	فرم و موقعیت بلوک‌های شهری	عملکرد گرمایی، تابش خورشیدی و تهویه
Zabeti Targhia, Steven Van Dessel (2015) [30]	ارتفاع به عرض (H/W)، ضریب دید به آسمان (SVF)، جهت‌گیری	UHI جزیره گرمایی شهری (شاخص PET)
Taleghani & et al (2015) [22]	فرم‌های حیاط‌دار	آسایش حرارتی بیرونی در فضاهای شهری، مدت زمان تابش مستقیم، متوسط دمای اشعه تابشی
Yingli Xuan & et al (2016) [31]	فرم‌های متفاوت شهری: نسبت میان فاصله ساختمان به ارتفاع ساختمان ۰/۲۴ و ۰/۳۶ و ۰/۴۸ و ۰/۷۱ و ۰/۹۵ و ۱/۱۹ و ۱/۴۳	سرعت باد، سطح تابش
بهزادفر و همکاران، ۱۳۸۹ [۳۲]	ضریب دید به آسمان (SVF)	آسایش حرارتی فضای باز شهری (میانگین دمای تابشی)
رضازاده و همکاران، ۱۳۸۹ [۳۳]	الگوی توده‌گذاری بلوک‌های مسکونی	آسایش حرارتی
محمودی و دیگران، ۱۳۸۹ [۳۴]	ضریب دید به آسمان، میزان سایه، فاصله تا ساختمان	آسایش حرارتی فضای باز (PET)
رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰ [۳۵]	فرم و تراکم بلوک‌های مسکونی، ویژگی‌های کالبدی ساختمان. فرم پلان ساختمان (ابعاد قطعه)، جهت‌گیری، ارتفاع، تراکم ساختمانی	مصرف انرژی شهر
علی‌اکبری، ۱۳۹۱ [۳۶]	بافت شهری: فرم چیدمان ساختمان‌ها، جزئیات بنا، جهت‌گیری، فرم پلان ساختمان، ارتفاع، ویژگی‌های فیزیکی و کیفی شبکه معابر، اندازه و تراکم، دسترسی، الگوی کاربری‌ها، محصوریت، اتصال و پیوند	خرداقلیم و انرژی
منشی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲ [۳۷]	ارتفاع ساختمان‌ها	آسایش حرارتی
حاجی پور و همکاران، ۱۳۹۳ [۳۸]	تعداد طبقات، کیفیت بنا، عمر بنا، نمای ساختمان، سازه، جهت‌گیری ساختمان، تعداد زوایای آفتاب‌گیر، مساحت	میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی

میان متغیرهای کالبدی و اقلیمی پرداخته می‌شود.

بافت شهر را می‌توان به لحاظ فیزیکی، تجمع واحدهای فضا‌ساختی دید [۳۹]. در یک تعریف کلی بافت ناظر بر آن دسته از ویژگی‌های کالبدی شکل شهرها می‌باشد که در آن نحوه و چگونگی ترکیب و تلفیق سلول‌ها و اجزای شهر در مقیاس سه بعدی در سطح (طول و عرض و ارتفاع) مورد توجه قرار می‌باشد.

ارتباط بین آسایش حرارتی در فضای باز و مصرف انرژی ساختمان یک موضوع پیچیده است که هم جنبه‌های خرد اقلیم شهری و هم جنبه‌های رفتاری را شامل می‌شود [۴۰]. مصرف انرژی ساختمان تحت تأثیر متغیرهای مختلفی از جمله رفتار ساکنان و عوامل خارجی (اقلیمی) نظیر دما، رطوبت، تابش خورشیدی و سرعت باد است [۴۱]. برای طراحان، شناسایی پارامترهای طراحی مناسب در راستای ارتقای آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی ساختمان همواره چالش برانگیز بوده است [۴۲]. با بهبود شرایط آسایش حرارتی در محیط‌های بیرونی، می‌توان موجب کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی انرژی توده‌های ساختمانی را فراهم کرد [۴۳]. استفاده از نیروهای طبیعی (نظیر خورشید) نه تنها محیط زندگی را به فضایی آسوده تبدیل خواهد کرد بلکه در کاهش مصرف انرژی نیز تأثیر فراوانی خواهد داشت [۴۴]. در نتیجه، آسایش حرارتی برای کیفیت زندگی ساکنان شهری مهم است [۴۵]. همانگونه که پیشتر بدان اشاره شد، یکی از ابعاد طراحی شهری، بعد مورفولوژیکی است

(H/W) افزایش می‌یابد، دمای هوا به آرامی کاهش می‌یابد و شاخص PET^1 ارتقاء می‌یابد. جانسون [۱۹] ارزیابی‌هایی را در فز و مورکو انجام داد و به این نتیجه رسید که طراحی شهری فشرده با دالان‌های شهری عمیق برای تابستان مناسب است، در صورتی که در زمستان دالان‌های پهن‌تر برای گرمایش خورشیدی غیرفعال، بهتر و مناسب‌تر است. «بوریا و بوچریا» [۲۰]. دمای سطح و هوای بیرونی را در هفت سایت مختلف با نسبت‌های متفاوت ارتفاع به عرض بین ۱ تا ۴/۸ و ضریب دید به آسمان بین ۰/۰۷۶ و ۰/۵۸۰ در کنستانتین الجزیره ارزیابی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که نسبت ارتفاع به عرض بزرگ‌تر، دمای هوا و دمای سطح پایین‌تری دارد. در مناطق با آب‌وهوای گرم عامل دید به آسمان بیشتر (SVF)، دمای هوای بیرونی بالاتری نیز دارد. همچنین نقش پوشش گیاهی و طراحی خرده اقلیم مناسب در اقلیم گرم و خشک به‌طور گسترده توسط ارنل و همکاران [۲۱] و طالقانی و همکاران [۲۲] بررسی شده است.

از آنجا که قطعات، خیابان‌ها، فضاهای ساخته‌شده و فضاهای باز و کاربری اراضی، عناصر تشکیل‌دهنده بافت هستند که دارای رابطه با یکدیگرند و یک سیستم را تشکیل می‌دهند، لذا می‌توان گفت کلیه مؤلفه‌ها و شاخصه‌ای فرم کالبدی از مقیاس بنا تا بلوک شهری در مقیاس بافت نیز می‌تواند مطرح گردد. در ادامه به معرفی تفصیلی متغیرهای تأثیرگذار فرم کالبدی بر خرده اقلیم و آسایش حرارتی فضاهای باز شهری و تبیین نحوه اثرگذاری و رابطه

جدول ۳. متغیرهای فرم شهری (مقیاس بنا و قطعه) مؤثر بر آسایش حرارتی بیرونی

شاخص	توضیح شاخص
میانگین مساحت قطعه	نشان‌دهنده میانگین ابعاد و اندازه قطعه است.
میانگین بر قطعات	نشان‌دهنده میانگین میزان سطح دسترسی افراد، نور و تهویه در قطعه است.
میانگین عرض به طول قطعه	نشان‌دهنده میانگین شکلی قطعات در بلوک در طیف مربع، مستطیل عادی، مستطیل‌های کشیده و اشکال چندضلعی هست.
تراکم ساختمانی (تعداد طبقات)	نشان‌دهنده میانگین ارتفاع ساختمان‌ها و سایه‌اندازی آن‌ها است. تراکم ساختمانی بر ایجاد جزایر حرارتی در شهر تأثیرگذار است.
جهت‌گیری ساختمان‌ها	نشان‌دهنده موقعیت نسبت به زاویه تابش خورشید است.
مقعر یا محدب بودن نماها	نشان‌دهنده میزان سطح تابش و سایه‌اندازی است.
نوع، رنگ و جنس مصالح	نشان‌دهنده میزان جذب انرژی خورشیدی و سرمایش و گرمایش موردنیاز برای تعدیل حرارتی درون ساختمان است.
الگوی ساخت	نشان‌دهنده نحوه ترکیب و چیدمان فضای ساخته‌شده و فضای خالی در درون یک قطعه است. (حیات مرکزی، یک جبهه، گونه U شکل، گونه L شکل، ساختمان مرکزی)
پرو خالی	نشان‌دهنده درصد فضای باز ب فضای خالی است.

1. Physiological Effective Temperature (PET)

جدول شماره ۴. متغیرهای فرم شهری (مقیاس خیابان) مؤثر بر آسایش حرارتی بیرونی

شاخص	توضیح شاخص
عرض مسیرهای پیاده	نشان‌دهنده میزان سطح تابش و سایه‌اندازی است.
عرض و طول مسیرها	نشان‌دهنده میزان سطح تابش و سایه‌اندازی، جریان باد و کوران باد است.
محصوریت معابر (تناسبات عرض و ارتفاع)	نشان‌دهنده میزان سطح تابش و سایه‌اندازی، جریان باد است.
نظم هندسی شبکه معابر	نسبت ارتفاع به عرض معابر شدت جزیره‌های حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نشان‌دهنده نظم هندسی شبکه معابر در کنار یکدیگر می‌باشد که می‌تواند به صورت ارگانیک، الگوی شطرنجی، شعاعی، حلقوی و ... باشد.
جنس و رنگ مصالح کف	نشان‌دهنده میزان جذب و انعکاس انرژی خورشیدی برخوردکننده به سطح می‌باشد.
جهت‌گیری معابر	نشان‌دهنده موقعیت نسبت به زاویه تابش خورشید، کوران باد و تهویه است.
نوع و تراکم پوشش گیاهی	نشان‌دهنده تهویه طبیعی هوا است و شدت جزیره حرارتی به میزان پوشش گیاهی وابسته است.

جدول ۵. تبیین همبستگی متغیرهای ریزاقلیم را در یک محیط پیچیده شهری شبیه‌سازی شده

مقدار	ارتفاع اندازه‌گیری (متر)	منبع
۰/۹۴	۱/۵	Yang et al., 2013 [51]
۰/۸۹	۱/۵	Hedquist and Brazel, 2014 [52]
۰/۹۶	۱/۵	Ghaffarianhoseini et al., 2015 [53]
۰/۹۲	۱	Acero and Herranz-Pascual, 2015 [54]
۰/۸۸	۲	Ketterer and Matzarakis, 2015 [55]
۰/۸۱	۱/۵	Wang and Zacharias, 2015 [56]
۰/۸۹	۱/۱	Jänicke et al., 2015 [57]
۰/۸۰	۱/۶	Taleghani et al., 2015 [22]
۰/۸۵	۱/۵	Lee et al., 2016 [58]
۰/۸۸	۱/۱	Salata et al., 2016 [59]
۰/۸۷	۱/۵	Nasrollahi et al., 2017 [60]
۰/۷۸۳۲	۱/۵	Cortes et al., 2022 [61]
۰/۹۷۶	*N/S	Faragallah and Ragheb, 2022 [62]
۰/۲۶	۱/۶	Taleghani et al., 2014 [14]
۰/۲۸	۲	Ketterer and Matzarakis, 2015 [55]
۰/۶۲۶	*N/S	Faragallah and Ragheb, 2022 [62]]

*N/S: مشخص نشده است.

ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)

ضریب تعیین (R^2)

گزینه‌ها برای بهینه کردن شرایط اقلیمی گرفته می‌شود. سپس با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون داده‌ها خلاصه‌سازی و آماده طبقه‌بندی می‌شوند. با استفاده از استدلال منطقی داده‌ها را به زبان معماری تبدیل کرده و در نهایت فرم مناسب تعیین می‌گردد.

۳-۱. روایی و پایایی پژوهش

شاخص‌های تعیین‌شده به دلیل این‌که از طریق رجوع به تحقیقات پیشین و شاخص‌های متداول و پذیرفته‌شده محققان حوزه معماری منظر و شهرسازی است، از اعتبار معیار برخوردار است. علاوه بر این، شاخص‌ها از اعتبار سازه نیز برخوردار هستند، زیرا بر اساس چارچوب نظری پژوهش تعیین شده‌اند. پایایی نتایج این پژوهش به واسطه معتبر بودن و مورد استناد قرار گرفتن نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش (Envi-met) و نرم‌افزار جانبی اینویمت یعنی Leonardo است، که در اکثر پایان‌نامه‌ها و مقالات و پژوهش‌های علمی مرتبط با موضوع مورد استناد قرار گرفته است.

۳-۲. معرفی نرم‌افزار مورد استفاده پژوهش

استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) پرهزینه‌ترین تکنیک برای ارزیابی تأثیرات اشکال شهری بر متغیرهای ریزاقلیمی و آسایش حرارتی است [۴۹].

ENVI-met یک نرم‌افزار مدل‌سازی CFD با کاربری آسان است که معمولاً توسط محققان در رشته‌های مختلف متمرکز بر محیط شهری (به‌عنوان مثال، معماری منظر، برنامه‌ریزی شهری، مهندسی عمران و آب‌وهوای شهری) استفاده می‌شود. طرح ورودی نسبتاً ساده مدل و یک رابط کاربرپسند تقریباً به هر محقق با حداقل تخصص امکان شبیه‌سازی هندسه‌های پیچیده شهری و پوشش گیاهی را می‌دهد.

بر اساس اطلاعات ارائه‌شده در وبسایت (https://ENVI-met.info)، ماژول این نرم‌افزار از مدل جوی (شامل میدان باد، دما و رطوبت هوا، تلاطم، شارهای تابشی و پراکندگی آلاینده‌ها) تشکیل شده است. مدل‌های خاک (شامل دمای سطح و خاک، محتوای آب خاک، تأمین آب گیاهی و بدنه‌های آبی)، مدل پوشش گیاهی (شامل هندسه سه‌بعدی گیاه، دمای شاخ و برگ، TreePass و فرایندهای تبادل با محیط)، و محیط ساخته‌شده (شامل کامل هندسه ساختمان سه‌بعدی، تک دیوارها، مصالح ساختمانی دقیق، فیزیک ساختمان با وضوح بالا، عملکرد انرژی ساختمان، سیستم‌های دیوار سبز و سقف). ENVI-met می‌تواند شاخص‌های زیست‌هواشناسی مانند دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)، میانگین رای پیش‌بینی شده (PMV¹)، درصد پیش‌بینی شده ناراضی (PPD²) و دمای مؤثر

که غالباً در ارتباط با پیکربندی فرم و فضای شهری و الگوهای فضایی زیرساخت‌هایی است که از آن پشتیبانی می‌کنند [۴۶]. علاوه بر این، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی، تحت تأثیر هندسه بلوک‌های شهری است [۴۷]. بر همین اساس، یکی از عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در شهرها، فرم شهری است که به میزان قابل توجهی امکان کاهش مصرف انرژی را از طریق طراحی فراهم می‌سازد [۴۸]. با توجه به موارد اشاره شده می‌توان از کلیه ابعاد، ویژگی‌ها و خصوصیات فرمال سلول‌ها و دانه‌های شهری، انواع مختلف بافت‌های شهری را شکل داد و بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها تأثیر گذاشت.

۳-۳. روش تحقیق

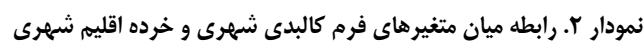
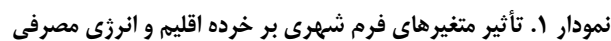
این پژوهش باهدف دستیابی به مدلی برای تولید الگوهای برای ارتقاء میزان آسایش حرارتی در فضای باز مجموعه مسکونی از طریق بهینه‌سازی فرم انجام گرفته است؛ بنابراین به بررسی تأثیر انواع ساختمان‌ها بر آسایش حرارتی می‌پردازد. ۲۲ شکل مختلف بلوک ساختمانی جهت آسایش حرارتی در فضای باز با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ENVI-met در ساعات بعدازظهر ۳۱ خرداد در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است.

این پژوهش از نظر هدف کاربردی و به‌صورت کمی است و در دو بخش نظری و عملی انجام شده است. در بخش نظری ابتدا به‌صورت تحلیلی - توصیفی با رجوع به اسناد علمی و مطالعه متغیرهای آسایش حرارتی و الگوهای فرمی طراحی برای ایجاد شرایط آسایش در فضا باز مجتمع‌های مسکونی شهر تهران و در بخش عملی شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Envi-met انجام شده است. پس از آنالیز توسط این نرم‌افزار میزان تأثیر هر متغیر بر شاخص‌های آسایش حرارتی مشخص می‌شود.

سایت مورد شهر تهران و داده‌های مورد نیاز شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی مربوط به متغیرهای اقلیمی و متغیرهای فرمی شامل ارتفاع، جهت، عرض و میزان محصوریت در محیط شهری است و میزان آسایش حرارتی متغیر وابسته در این پژوهش است.

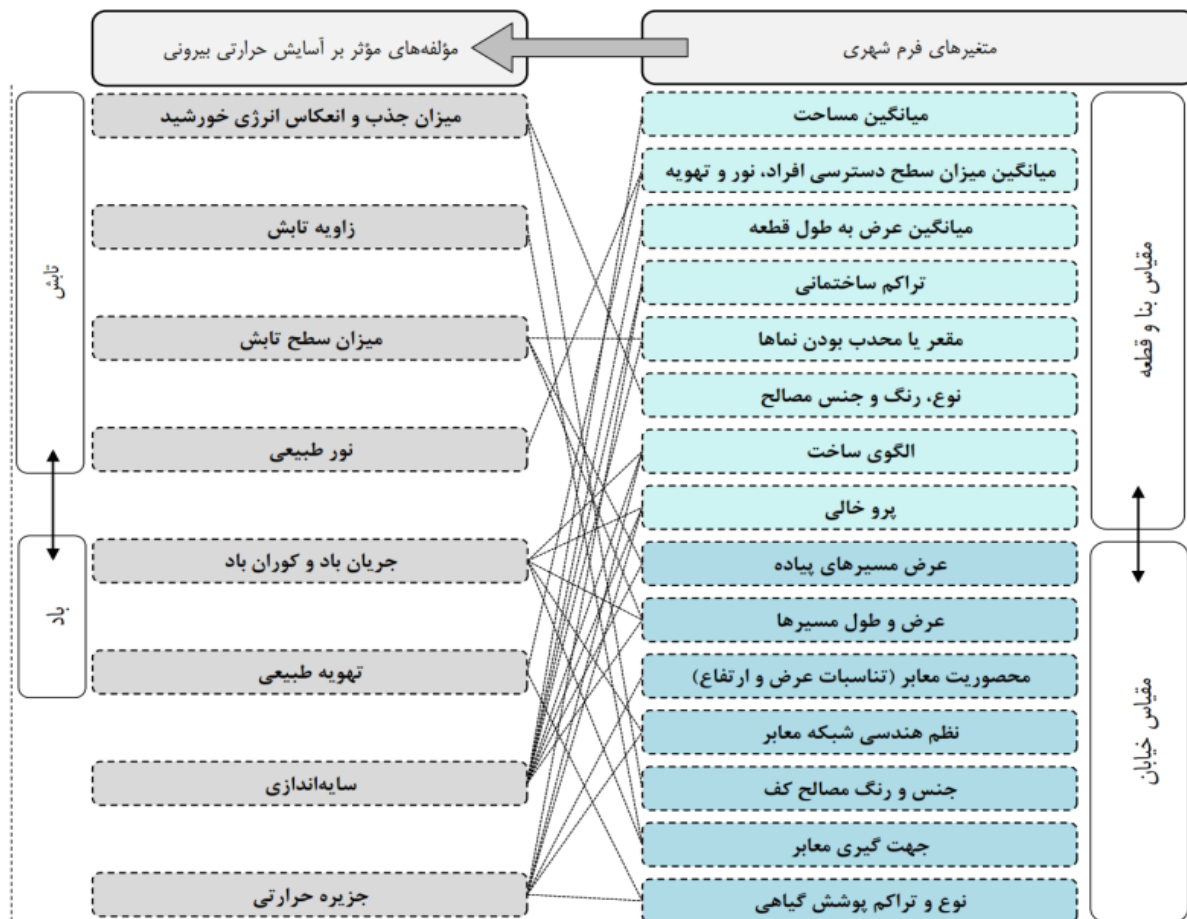
در بخش عملی اشکال مختلف بلوک‌های ساختمانی در دستیابی به آسایش حرارتی در فضای باز مورد بررسی قرار گرفت. سناریوها به شش گروه طبقه‌بندی شدند: A) نه مکعب مجزا، B) چهار بلوک L شکل درون‌گرا، C) فرم U شکل، D) سه نوار افقی/عمودی، E) حیاط مرکزی، و F) L شکل، با تعریف الگوهای متفاوت در هر سناریو، پلان مدل پایه وارد نرم‌افزار می‌شود و گزینه‌های مختلف متناسب با تغییر سنج‌های مربوط به فرم به‌منظور پیدا کردن بهینه‌ترین فرم دست‌کاری می‌شوند و داده‌های اقلیمی مرتبط وارد شده سپس خروجی‌های هریک از

1. Predicted Mean Vote
2. Predicted Percentage of Dissatisfied

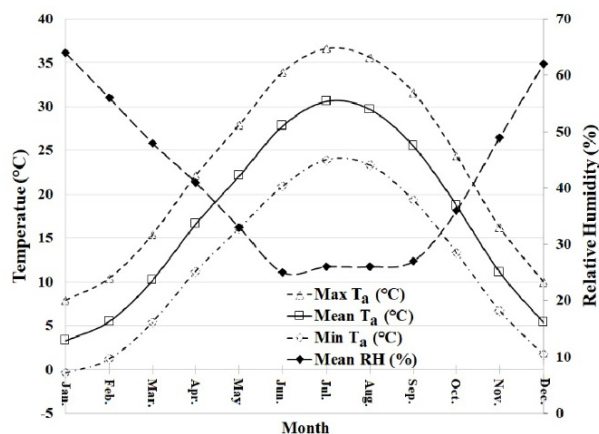


بین متغیرهای هواشناسی شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده یافتند. ضریب تعیین گزارش‌شده (R2) بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده برای بین ۰/۷۳۸ و ۰/۹۷۶ بود درحالی‌که مقادیر (Root Mean Square Error (RMSE نشان‌دهنده میانگین خطای بین ۰/۲۶ و ۰/۶۲۶ (جدول شماره ۵) بود که نشان‌دهنده ENVI-met است. ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی محیط حرارتی در فضای باز با دقت قابل قبول است.

1. Standard Effective Temperature



نمودار ۳. متغیرهای فرم شهری مؤثر بر آسایش حرارتی بیرونی



نمودار ۴. میانگین، حداکثر، حداقل دما و رطوبت نسبی ماهانه در شهر تهران [۶۳]

۴-۳. متریال‌ها

در مدل‌سازی‌های سناریوهای تعریف شده از چند متریال در بخش‌های مختلف استفاده شده است که در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار موجود است. متریال‌های تمام سناریوهای تعریف شده یکسان است.

در ادامه لیست متریال‌ها به همراه مشخصات ارائه می‌گردد:

۳-۳. موقعیت اقلیمی شبیه‌سازی

این پژوهش در شهر تهران، (۳۵/۶۲ درجه شمالی، ۵۱/۴۲ درجه شرقی، ۱۹۰/۸ متر ارتفاع)، با آب‌وهوای گرم و نیمه‌خشک، طبقه‌بندی شده بین نواحی شمالی و جنوبی در سیستم طبقه‌بندی کوپن-گیگر انجام شده است. همان‌طور که در (نمودار ۴) نشان داده شده است، جولای گرم‌ترین ماه است (میانگین $T_a = 30.6$ درجه سانتی‌گراد)، درحالی‌که ژانویه سردترین ماه است (میانگین $T_a = 3.3$ درجه سانتی‌گراد) و حداکثر T_a بیش از حداکثر ۳۶/۶ درجه سانتی‌گراد در جولای است. حداقل دمای هوا در ژانویه از ۴/۰- درجه سانتی‌گراد فراتر می‌رود. میانگین رطوبت نسبی بالاترین میزان در ژانویه (۶۴٪) و کمترین آن در ژوئن (۲۵٪) است.

سه عامل رشته‌کوه البرز، بادهای مرطوب غربی و وسعت استان در اقلیم تهران نقش مؤثری دارد. درواقع، رشته‌کوه البرز آب‌وهوای تهران را معتدل کرده است. در شمال تهران، آب‌وهوا معتدل و کوهستانی و در نقاط کم ارتفاع نیمه‌خشک است. اقلیم استان تهران در نواحی کویری و جنوب گرم و خشک، در نواحی پای کوهی سرد و نیمه‌مرطوب و در نواحی مرتفع سرد همراه با زمستان‌های طولانی است.

جدول ٦. مشخصات مصالح سطح آسفالت (Asphalt-١٠٠st)

جدول ۷. مشخصات مصالح دیوار و سقف

Calc. Transmission: 0.0000

10.00 cm 10.00 cm 10.00 cm

[0000C2] [0000C2] [0000C2]

Concrete: lightweight Concrete: lightweight Concrete: lightweight

30.00 cm

جدول شماره ۸. مشخصات مصالح دیوار سبز

The diagram illustrates the experimental setup. On the left, a single plant is shown in a pot. The pot is labeled '0100FU' and 'Greening'. The pot is 30cm wide and 5cm high. The plant is labeled 'Plant' and 'Wall / Substrate'. The pot is filled with 'Sandy Loam' substrate. The pot is labeled '0100FU' and 'Greening'. The pot is 30cm wide and 5cm high. The plant is labeled 'Plant' and 'Wall / Substrate'. The pot is filled with 'Sandy Loam' substrate.

On the right, a three-plant pot is shown. The pot is 15cm wide and 5cm high. The pot is divided into three sections, each labeled '0000SL' and 'Sandy Loam'. The pot is labeled 'Plant' and 'Wall / Roof'. The pot is filled with 'Sandy Loam' substrate.

۳-۴. مترال شیشه

جدول ۹. مشخصات مترال شیشه

Database-ID	[0000G2]
Name	Plexi-Glass
Default Thickness (m)	0.02
Absorption	0.05
Transmission	0.9
Reflection	0.05
Emissivity	0.9
Specific heat (J/kg.K)	1500
Thermal Conductivity (W/m.K)	0.19
Density (kg/m ³)	1180

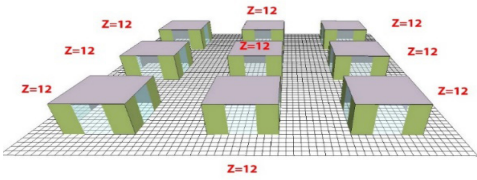
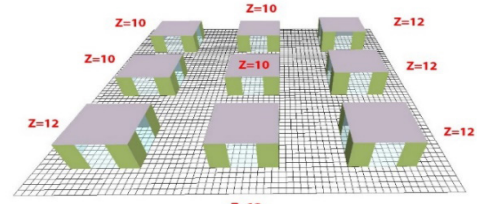
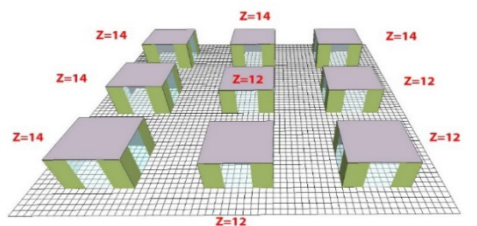
۳-۵. شرایط و تنظیمات عمومی شبیه سازی و آزمون

موقعیت و مختصات مدل ها مطابق طرح ارائه شده در جدول شماره ۱۰ است.

جدول ۱۰. تنظیمات مدل سازی محیطی در زیر برنامه spaces

موقعیت	تهران
عرض جغرافیایی	۳۵/۶۲
طول جغرافیایی	۵۱/۴۲
عرض جغرافیایی رفرنس	۴۵ درجه
ابعاد مدل	شبکه X ۶۰
	شبکه Y ۶۰
	شبکه Z ۶۰
هندسه مدل	شبکه X ۲
	شبکه Y ۲
	شبکه Z ۲
سایز سلول ها (شبکه ها) (m)	
عدد nesting grids	۰
پایین ترین سلول در ارتفاع به ۵ زیر سلول تقسیم شده است.	

جدول ۱۱. الگوهای سناریوهای مورد بررسی

سناریو	نما سه بعدی الگوها	تعریف
A-۱		نه مکعب جدا شده با ارتفاع ۱۲ متر
A-۲		۹ مکعب جدا شده، درحالی که مکعب های جنوبی و شرقی ۱۲ متر ارتفاع داشتند و بقیه ۱۰ متر ارتفاع دارند.
A-۳		۹ مکعب جدا شده، درحالی که مکعب های شمالی و غربی ۱۴ متر ارتفاع و بقیه ۱۲ متر ارتفاع دارند.

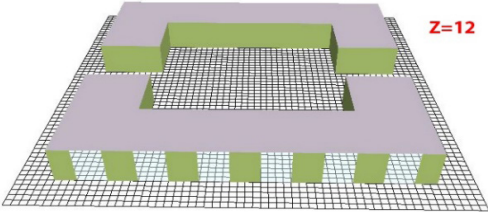
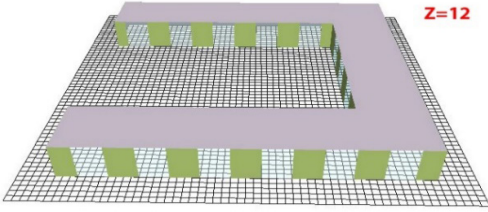
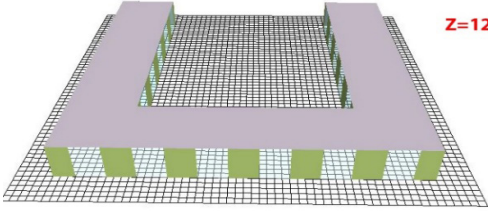
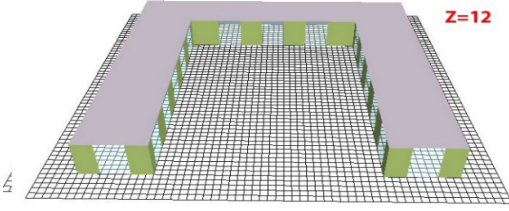
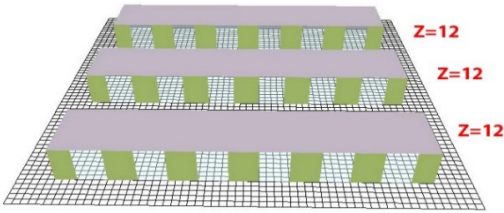
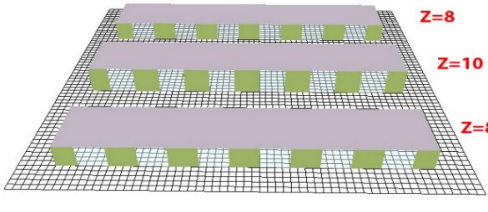
نه مکعب منقسم (A)

ادامه جدول ۱۱. الگوهای سناریوهای موردبررسی

سناریو	نما سه بعدی الگوها	تعریف
B-۱		چهار بلوک L شکل درون گرا با ۱۲ متر ارتفاع
B-۲		چهار بلوک L شکل درون گرا، درحالی که بلوک های شمالی ۱۶ متر ارتفاع و بلوک های جنوبی ۱۲ متر ارتفاع دارند.
B-۳		چهار بلوک L شکل درون گرا، درحالی که بلوک های شرقی ۱۶ متر ارتفاع و بلوک های غربی ۱۲ متر ارتفاع دارند.
B-۴		چهار بلوک L شکل درون گرا، درحالی که بلوک های شمال غربی و جنوب شرقی ۱۶ متر ارتفاع و بقیه ۱۲ متر ارتفاع دارند.
B-۵		چهار بلوک L شکل درون گرا، درحالی که بلوک های شمال شرقی و جنوب غربی ۱۶ متر ارتفاع و بقیه ۱۲ متر ارتفاع دارند.
B-۶		چهار بلوک L شکل درون گرا، درحالی که بلوک های جنوبی ۱۶ متر ارتفاع و بلوک های شمالی ۱۲ متر ارتفاع دارند.

چهار بلوک L شکل درون گرا (B)

ادامه جدول ۱۱. الگوهای سناریوهای موردبررسی

سناریو	نما سه بعدی الگوها	تعریف
C-۱		دو فرم U شکل با ارتفاع ۱۲ متر
C-۲		فرم U شکل به سمت غرب با ارتفاع ۱۲ متر
C-۳		فرم U شکل به سمت شمال با ارتفاع ۱۲ متر
C-۴		فرم U شکل به سمت جنوب با ارتفاع ۱۲ متر
D-۱		سه نوار جهت شرق به غرب با ارتفاع ۱۲ متر
D-۲		سه نوار جهت شرق به غرب، درحالی که نوار شمالی و جنوبی ۸ متر ارتفاع و نوار میانی ۱۰ متر ارتفاع دارند.

فرم U شکل (C)

سه نوار افقی/عمودی (D)

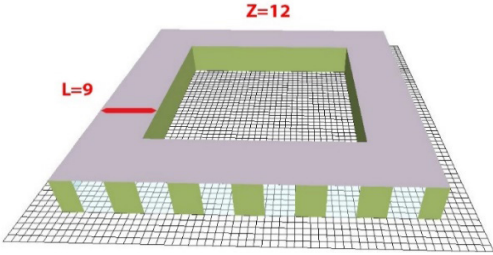
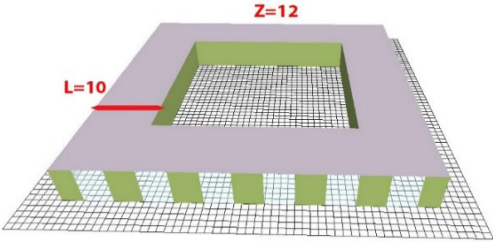
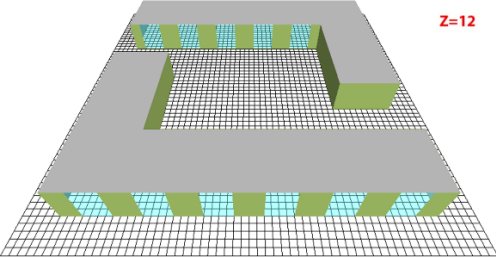
ادامه جدول ۱۱. الگوهای سناریوهای مورد بررسی

سناریو	نما سه بعدی الگوها	تعریف
D-۳		سه نوار جهت شرق به غرب، درحالی که نوارهای شمالی و جنوبی ۱۴ متر ارتفاع و نوار میانی ۱۶ متر ارتفاع دارند.
D-۴		سه نوار جهت شمال به جنوب با ارتفاع ۱۲ متر
D-۵		سه نوار جهت شمال به جنوب، درحالی که نوارهای شرقی و غربی ۸ متر ارتفاع و نوار میانی ۱۰ متر ارتفاع دارند.
D-۶		سه نوار جهت شمال به جنوب، درحالی که نوارهای شرقی و غربی ۱۴ متر ارتفاع و نوار میانی ۱۶ متر ارتفاع دارند.
E-۱		حیات مرکزی به عرض ۱۱ متر و ارتفاع ۱۲ متر

(D) سه نوار افقی/عمودی

(E) حیاط مرکزی

ادامه جدول ۱۱. الگوهای سناریوهای مورد بررسی

سناریو	نما سه بعدی الگوها	تعریف
E-۲		حیاط مرکزی به عرض ۹ متر و ارتفاع ۱۲ متر
E-۲		حیاط مرکزی به عرض ۱۰ متر و ارتفاع ۱۲ متر
F		دو فرم L شکل با ارتفاع ۱۲ متر

۳-۵-۱. سناریوهای شبیه سازی

سناریوهای شبیه سازی بر اساس فرم ساختمان‌ها به پنج گروه اصلی تقسیم شدند. هر گروه شامل چندین زیرمجموعه است. متغیرهای مستقل شامل فرم، ارتفاع، جهت ساختمان‌ها و درصد دیوارهای خارجی پوشیده شده توسط هر ماده (دیوار بتنی، لعاب و دیوار سبز) است. در مقابل، متغیرهای وابسته شامل شاخص‌های زیست‌هواشناسی (PET، PMV، PPD و SET) هستند. انواع متریکال در همه سناریوها مشابه است.

۳-۵-۲. تنظیمات اجرایی شبیه سازی

در ادامه اطلاعات در جدول شماره ۱۲ آورده شده است.

۴. تحلیل یافته‌ها

با توجه به عملکرد بهتر سناریوی A-3 در ارائه آسایش حرارتی در فضای باز نسبت به سایر مدل‌های شبیه سازی شده، دمای هوا به همراه شاخص‌های PET، PPD و SET* در این سناریو به شرح زیر تحلیل می‌شوند.

۴-۱. تجزیه و تحلیل دمای هوا

دمای هوا بدون شک مهم‌ترین متغیر هواشناسی در مطالعات آسایش حرارتی است. با این حال، برخی از مطالعات نشان می‌دهد که تجزیه و تحلیل دمای هوا به تنهایی برای ارزیابی آسایش حرارتی به‌ویژه در محیط‌های بیرونی کافی نیست و سایر متغیرهای محیطی مانند میانگین دمای تابشی نیز باید در ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در نظر گرفته شوند [۶۳].

با این حال، برخی از محدوده‌های دمای هوا در مطالعات قبلی به عنوان منطقه آسایش حرارتی پیشنهاد شده است. به عنوان مثال، بر اساس نمودار زیست اقلیم اولگیای^۱، دمای هوا بین ۲۱/۵ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد را می‌توان به عنوان شرایط آسایش تابستانی در عرض‌های جغرافیایی بین ۲۵ درجه و ۴۰ درجه شمالی در نظر گرفت [۶۴]. در یک مطالعه جدیدتر، شارمین و همکارانش دمای هوا را بین ۳۰ تا ۳۳ درجه سانتی‌گراد (در سایه)، به عنوان شرایط گرمایی مناسب تابستان در داکا، بنگلادش (عرض جغرافیایی ۲۳/۷۷ درجه شمالی) گزارش کردند [۱۳].

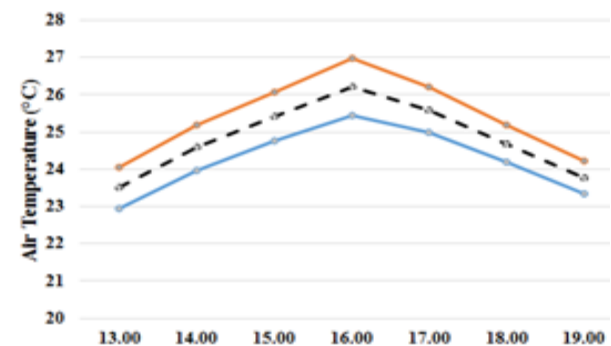
1. Olgyay

هنگ‌کنگ در چین (عرض جغرافیایی ۲۲/۳ درجه شمالی)، دمای هوا بین ۱۵/۴ درجه سانتی‌گراد تا ۲۹/۹ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان محدوده آسایش حرارتی پیشنهاد شده است [۶۵]. درحالی‌که محدوده دمای هوا بین ۲۰/۷ درجه سانتی‌گراد تا ۲۹/۱ درجه سانتی‌گراد است. به‌عنوان محدوده دمای هوای راحت در آتن، یونان، (عرض جغرافیایی ۳۷/۹۸ درجه شمالی) گزارش شد [۶۶]. با توجه به شباهت‌های اقلیمی تهران با آتن (هر دو شهر در عرض جغرافیایی یکسان ۳۵-۳۷ درجه شمالی قرار دارند و در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن به‌عنوان Csa طبقه‌بندی می‌شوند)، محدوده آسایش حرارتی آتن (۲۰/۷-۲۹/۱ درجه سانتی‌گراد) را نیز می‌توان به‌عنوان یک آسایش در نظر گرفت. منطقه در تهران این محدوده دما نیز با محدوده آسایش مشخص شده در نمودار زیست‌اقلیمی Olgyay مطابقت دارد.

شاخص‌های حرارتی برای مناطق مختلف، حق‌شناس و همکارانش در سال ۲۰۲۱ مقیاس اصلاح‌شده PET را برای تهران ارائه کردند [۶۸]، که ممکن است مبنای مناسب‌تری برای تحلیل آسایش حرارتی در این شهر ارائه دهد. جدول ۱۳. بالین‌حال، برای اطمینان کامل از صحت نتایج، دامنه‌های PET هم با مقیاس تنش حرارتی بین‌المللی (اصلی) و هم با مقیاس اصلاح‌شده برای تهران مقایسه شد. نتایج در نمودار شماره ۶ نشان داده شده است.

شماره ۱۳. مقایسه مقیاس اصلی [۶۷] PET با مقیاس اصلاح‌شده PET برای تهران [۶۸]

دسته‌بندی تنش حرارتی	مقیاس اصلی PET (بین‌المللی)	مقیاس اصلاح‌شده PET برای تهران
خیلی سرد	4 >	1.9 >
سرد	8-4	4.9-1.9
سرد	13-8	8.7-4.9
کمی خنک	18-13	14.5-8.7
خنثی	23-18	26-14.5
کمی گرم	29-23	31.9-26
گرم	35-29	35.6-31.9
داغ	41-35	38.6-35.6
خیلی گرم	41 <	38.6 <



نمودار ۵ حداکثر، حداقل و میانگین دمای هوا سناریوی A-3 بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن

نتایج شبیه‌سازی سناریوی A-3 بین ساعت ۱۳:۰۰ و ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن (نمودار شماره ۵) نشان می‌دهد که ظاهراً، حداکثر و حداقل دمای هوا در طول این دوره در محدوده آسایش (۲۰/۷ تا ۲۹/۱ درجه سانتی‌گراد) بود. بالین‌حال، باید توجه داشت که این محدوده دما فقط در شرایط «سایه کامل» راحت است. بنابراین، از آنجایی که بسیاری از قسمت‌های محوطه در این مدت در معرض تابش مستقیم نور خورشید بودند، ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در این ساعات با بررسی دمای هوا به‌تنهایی غیرممکن است. تجزیه و تحلیل شاخص‌های حرارتی ضروری است.

۴-۲- تجزیه و تحلیل PET

اگرچه محدوده‌های PET در سناریوی A-3 در شکل شماره ۵ ارائه شده است، آسایش حرارتی در فضای باز در طول روز بدون مقایسه نتایج با مقیاس‌های آسایش حرارتی قابل تجزیه و تحلیل نیست. مقیاس اولیه PET توسط ماتزاراکیس و مایر هم‌زمان با توسعه این شاخص در سال ۱۹۹۶ پیشنهاد شد [۶۷] و از آن زمان در بسیاری از مقالات و مطالعات بین‌المللی مورد استفاده قرار گرفته است. اگرچه با توجه به لزوم استفاده از مقیاس‌های کالیبره شده

مقایسه حداقل، حداکثر، میانگین PET سناریوی A-3 با دسته‌بندی تنش حرارتی اصلی (نمودار شماره ۶-سمت چپ) نشان می‌دهد که به‌جز ساعات‌های ۱۵:۰۰ و ۱۶:۰۰، حداقل مقادیر PET در طول بقیه در محدوده خنثی بوده است. از ساعات بعدازظهر ۲۱ ژوئن. به‌عبارت‌دیگر، به‌جز ساعت ۱۵:۰۰ تا ۱۸:۰۰، حداقل یک مکان در داخل سایت یافت می‌شود که در بقیه روز در شرایط حرارتی خنثی است. بالین‌حال، اکثر بخش‌های منطقه در ساعات بعدازظهر در رده‌های «گرم» (ساعت ۱۳:۰۰ و ۱۷:۰۰) یا «بسیار گرم» (در ساعات‌های ۱۴:۰۰، ۱۵:۰۰ و ۱۶:۰۰) قرار داشتند. ۲۱ ژوئن که به‌عنوان شرایط ناخوشایند حرارتی محسوب می‌شوند. حداکثر مقدار PET در رده «بسیار گرم» بین ساعت ۱۴:۰۰ تا ۱۶:۰۰ بود که ناخوشایند است.

نمودار شماره ۶- سمت راست مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر PET سناریوی A-3 را با طبقه‌بندی تنش حرارتی اصلاح‌شده برای تهران مقایسه می‌کند. طبق این نمودار حداقل مقادیر PET در تمام ساعات بعدازظهر ۲۱ ژوئن در محدوده خنثی بود. این بدان معناست که شخصی که فرصت حرکت در اطراف و تغییر مکان خود را دارد، می‌تواند حداقل یک مکان در سایت پیدا کند. که آسایش حرارتی را در تمام ساعات بعدازظهر ۲۱ ژوئن

جدول ۱۲. تنظیمات شبیه سازی

تاریخ		06.21.2020	
تنظیمات زمانی	ساعت شروع	۱۳:۰۰	
	ساعت اتمام	۱۷:۰۰	
	طول مدت شبیه سازی (ساعت)	۶	
	سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (m/s)	۵/۵	
شرایط اقليمی درونی	جهت باد	۲۷۰ درجه	
	طول زبری در سایت اندازه گیری	۰/۰۱	
	دما (برحسب سانتی گراد)	حداقل: ۲۵/۳	حداکثر: ۳۷/۳
	رطوبت (برحسب سانتی گراد)	حداقل: ۹	حداکثر: ۲۳
شرایط مرزی boundary condition	نوع		(Simple forcing(standard
	دما (c)	حداقل	۲۵/۳
	حداکثر	در ساعت	۱۶:۰۰
	رطوبت نسبی (%)	حداقل	۹
	حداکثر	در ساعت	۱۶:۰۰
	حداکثر	در ساعت	۶:۰۰

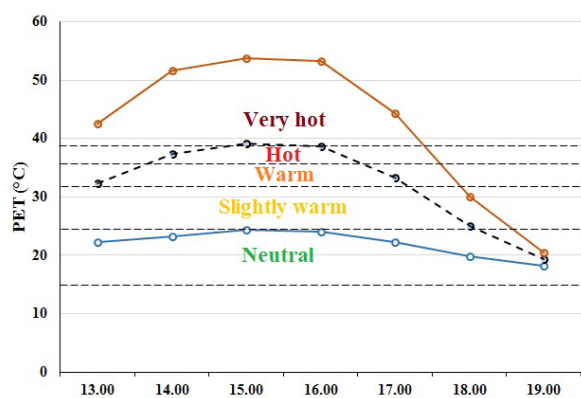
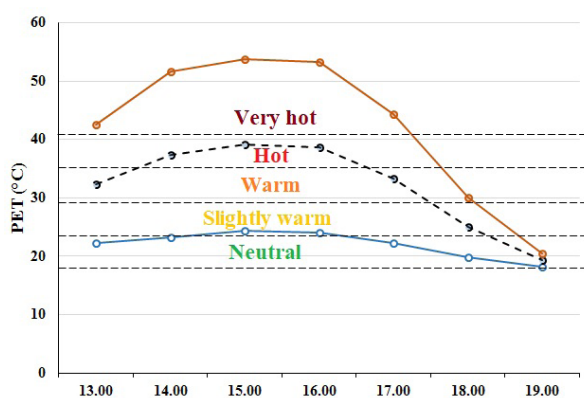
بخش آلودگی (pollutant)

ریز تنظیمات سفارشی شده

*سایر ریز تنظیمات به صورت پیش فرض برنامه

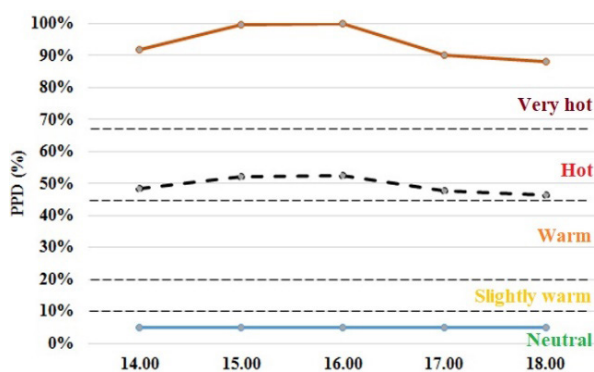
تنظیمات آلودگی Pollutants

حالت کاربری	چند آلاینده
فرایند شیمیایی	فقط رسوب
نوع آلاینده	Pm
قطر آلاینده (m) μ	۲/۵
تراکم ذره (g/cm ³)	۱



نمودار ۶. حداکثر، حداقل و میانگین PET سناریوی A-۳ بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن در مقایسه با تنش حرارتی بین المللی (سمت چپ) و مقیاس اصلاح شده برای تهران (راست)

قابل توجهی از منطقه سایت بالاتر از ۹۰٪ است. این افزایش بیش از حد در نارضایتی حرارتی را می‌توان به ماهیت اغراق آمیز شاخص PPD نسبت داد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، شاخص PPD بر اساس مقدار PMV محاسبه می‌شود. با این حال، در مطالعات قبلی نشان داده شد که استفاده از PMV برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز منجر به نتایج اغراق آمیز می‌شود. به‌طوری‌که PMV آرای احساسات واقعی را با فاکتورهای ۱/۶ تا ۱/۸ بیش از حد برآورد می‌کند [۶۳]. حداقل، حداکثر و میانگین مقادیر PPD از سناریوی A-3 بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن در مقایسه با طبقه‌بندی تنش حرارتی در فضای باز در نمودار شماره ۷ مشخص شده است. نتایج با نتایج به‌دست‌آمده در قبلی مطابقت دارد. بخش‌های این نمودار نشان می‌دهد که حداقل PPD در تمام ساعات بعدازظهر ۲۱ ژوئن در شرایط راحت بوده است، که نشان می‌دهد حداقل یک نقطه با شرایط آسایش خنثی را می‌توان در منطقه سایت در تمام این ساعات یافت. شخصی که با تغییر مکان خود فرصت سازگاری با محیط را دارد، می‌تواند در تمام ساعات بعدازظهر این روز حداقل یک نقطه با شرایط خنثی پیدا کند. درعین حال، شرایط «گرم» بیشترین فراوانی را در مناطق سایت داشت، درحالی‌که حداکثر مقادیر PPD در رده «بسیار گرم» در ساعات شبیه‌سازی شده بود. مقادیر شدید PPD در این ساعات را می‌توان به ماهیت اغراق آمیز شاخص PPD در ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز که توسط هادیان پور و همکاران ذکر شد [۶۳] نسبت داد، اما نتایج PPD با نتایج به‌دست‌آمده ناسازگار بود. با تجزیه و تحلیل دمای هوا و PET در بخش‌های قبل که نشان‌دهنده شرایط حرارتی ناراحت‌کننده در اکثر نقاط سایت است. این نتایج نشان می‌دهد که توجه به فرم و موقعیت ساختمان‌ها نمی‌تواند تضمین‌کننده آسایش حرارتی در فضای باز باشد و در نظر گرفتن سایر پارامترها (مانند ایجاد سایه، استفاده از فضای سبز، درصد بازتاب نور و ...) نیز برای دستیابی به آسایش حرارتی ضروری است.



نمودار ۷. حداکثر، حداقل و میانگین مقادیر PPD سناریوی A-3 بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن در مقایسه با دسته‌بندی تنش حرارتی

فراهم می‌کند. دقیقاً مشابه تجزیه و تحلیل انجام‌شده با استفاده از مقیاس بین‌المللی، «گرم» (۱۳:۰۰ و ۱۷:۰۰) و «بسیار گرم» (۱۴:۰۰، ۱۵:۰۰، و ساعت ۱۶:۰۰) دسته‌ها بیشترین فراوانی را در سایت داشتند. حداکثر مقدار PET نیز در رده «بسیار گرم» از ساعت ۱۴:۰۰ تا ۱۶:۰۰ بود. با این حال، پس از غروب خورشید، حداکثر مقدار PET در ساعت ۱۸:۰۰ وارد دسته «کمی گرم» می‌شود و در ساعت ۱۹:۰۰ وارد منطقه خنثی می‌شود.

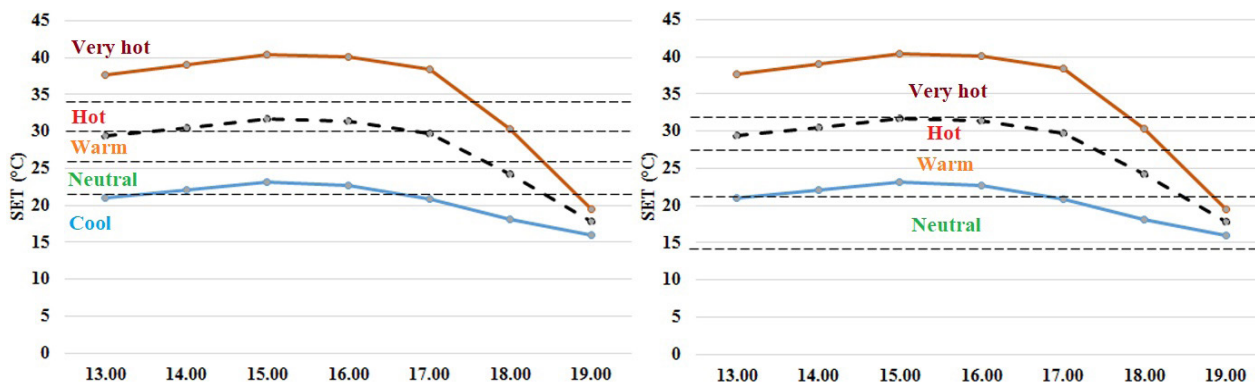
۴-۳. تجزیه و تحلیل PPD

مقیاس‌های ارزیابی متفاوتی برای طبقه‌بندی درصد نارضایتی حرارتی پیشنهاد شد. یکی از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌ها که مبنای تعریف آسایش حرارتی نیز می‌باشد، به آسایش حرارتی به شرایطی اشاره می‌کند که در آن حداقل ۸۰ درصد افراد از محیط حرارتی رضایت دارند ($PPD \leq 20\%$). استاندارد ISO 7730 سه دسته $PPD \leq 6\%$ ، $PPD \leq 10\%$ و $PPD \leq 15\%$ را به‌عنوان محدودیت‌های PPD قابل قبول در دسته‌های مختلف داخلی ساختمان در نظر می‌گیرد [۷۱]. با این حال، طبقه‌بندی PPD در خارج از ساختمان متفاوت است. بر اساس دو مطالعه اخیر [۶۸] [۶۹]، دمای خنثی در فضاهای بیرونی به‌عنوان شرایط حرارتی تعریف می‌شود که در آن رضایت حرارتی بیشتر از ۹۰٪ (یا نارضایتی حرارتی کمتر از ۱۰٪ است). به‌طور مشابه، دسته «کمی گرم» با رضایت حرارتی ۸۰٪ - ۹۰٪ (نارضایتی حرارتی ۱۰٪ - ۲۰٪) تعریف می‌شود، دسته «گرم» زمانی رخ می‌دهد که رضایت حرارتی بین ۵۶/۷٪ و ۸۰٪ باشد (نارضایتی حرارتی بین ۲۰٪ - ۴۳/۳٪)، در رده «گرم» رضایت حرارتی ۳۳/۳٪ - ۵۶/۷٪ (نارضایتی حرارتی ۴۳/۳٪ - ۶۶/۷٪ است). در نهایت، رضایت حرارتی کمتر از ۳۳/۳٪ (نارضایتی حرارتی بیش از ۶۶/۷٪) دسته «بسیار گرم» را تعریف می‌کند. این مقادیر در جدول شماره ۱۴ خلاصه‌شده است.

جدول ۱۴. طبقه‌بندی تنش حرارتی بر اساس درصد رضایت حرارتی معادل PPD آن‌ها [۶۸]

مقدار PPD	درصد رضایت حرارتی	دسته‌بندی تنش حرارتی
10%	90% >	خنثی
20% - 10%	90% - 80%	کمی گرم
43.3% - 20%	80% - 56.7%	گرم
- 43.3%	56.7 - 33.3%	داغ
66.7%	> 33.3%	خیلی گرم

با توجه به نمودار شماره ۶ می‌توان دریافت که در ساعت ۱۵:۰۰ و ۱۶:۰۰ روز ۲۱ ژوئن، نارضایتی حرارتی در بخش‌های



نمودار ۸. حداکثر، حداقل و میانگین SET* سناریوی A-3 بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن در مقایسه با تنش حرارتی بین‌المللی (سمت چپ) و مقیاس اصلاح‌شده برای تهران (راست)

۴-۴. تجزیه و تحلیل SET*

بعد از ظهر یکی از گرم‌ترین روزهای سال در تهران انجام شده است، این موضوع درست به نظر نمی‌رسد. بر این اساس، این با نتایج به دست آمده توسط حق‌شناس و همکاران [۶۸] مطابقت دارد. آن‌ها مقیاس اصلی SET* را برای ارزیابی شرایط حرارتی فضای باز در تهران نامناسب یافتند و نیاز به استفاده از مقیاس اصلاح‌شده SET* را برای تحلیل آسایش در فضای باز در این شهر تشدید کرد.

مقیاس ارزیابی اولیه SET* [۷۰] در مقایسه با مقیاس اصلاح‌شده آن برای تهران پیشنهاد شده توسط حق‌شناس و همکاران [۶۸] در جدول شماره ۱۵ ارائه شده است. لازم به ذکر است که اساس طبقه‌بندی تنش حرارتی در این دو طبقه بندی مقیاس ۷ نقطه‌ای ASHRAE بود. این دو مقیاس در شکل ۱۳ با مقادیر SET* سناریوی A-3 مقایسه شدند.

جدول ۱۵. مقیاس ارزیابی اصلی [۷۰] در مقابل مقیاس اصلاح‌شده SET* برای تهران [۶۸]

دسته بندی تنش حرارتی	* مقیاس اصلی SET	* مقیاس اصلاح‌شده SET برای تهران
خیلی سرد	14.5 >	5.7 >
سرد	17.5-14.5	10-5.7
سرد	22.2-17.5	14.3-10
خنثی	25.6-22.2	22.8-14.3
گرم	30.0-25.6	27.3-22.8
داغ	34.5-30.0	32.8-27.3
خیلی گرم	34.5 <	32.8 <

نمودار شماره ۸-سمت چپ مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر SET* سناریوی A-3 را از ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن با مقیاس اصلاح‌شده SET* تهران مقایسه می‌کند. مطابق نمودار شماره ۸-راست، حداقل مقادیر SET* در ساعت ۱۳:۰۰، ۱۷:۰۰، ۱۸:۰۰ و ۱۹:۰۰ در محدوده خنثی قرار داشت که نشان می‌دهد به جز ۱۴:۰۰، ۱۵:۰۰ و ساعت ۱۶:۰۰، در ساعات بعد از ظهر دیگر ۲۱ ژوئن، حداقل یک نقطه با دمای خنثی را می‌توان در منطقه سایت یافت. اگر طراحی سایت به کاربران اجازه دهد تا با محیط سازگار شوند، کاربر مفروض می‌تواند با تغییر مکان خود حداقل یک نقطه با دمای خنثی پیدا کند. این نتیجه از نتیجه تجزیه و تحلیل PET، PPD و دمای هوا در قسمت‌های قبلی پیروی می‌کند.

نمودار شماره ۸-راست همچنین نشان می‌دهد که حداکثر مقادیر SET* در محدوده «بسیار گرم» از ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ بوده است، در حالی که بیشتر مناطق سایت در این ساعات در محدوده «گرم» قرار دارند. تنها در ساعات پایانی بعد از ظهر (پس از غروب خورشید) که حداکثر SET* در منطقه خنثی بود.

این نتایج با نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل شاخص‌های PET و PPD در دو بخش قبل است و ناکافی بودن توجه صرف به گونه‌شناسی ساختمان را در دستیابی به آسایش حرارتی در فضای باز نشان می‌دهد.

مقایسه مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین SET* در سناریوی A-3 از ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن، با دسته‌های تنش حرارتی اولیه SET* (نمودار شماره ۸) نشان می‌دهد که حداقل SET* مقادیر در ۱۳:۰۰، ۱۷:۰۰، ۱۸:۰۰ و ۱۹:۰۰ حتی حداکثر مقادیر SET* در ساعت ۱۹:۰۰، زیر محدوده خنثی اصلی SET* (۲۲/۲ درجه سانتی‌گراد) هستند و در رده تنش حرارتی «خنک» قرار داشتند. اما با توجه به اینکه شبیه‌سازی‌ها در ساعات

۴-۵. تحلیل مؤلفه‌های فرمی در شاخص‌های آسایش حرارتی

با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی، نقش مؤلفه‌های فرمی را در تغییر شرایط آسایش بدین صورت است:

در گروه A نه مکعب جداشده در کنار هم چیده شده است که ابعاد عرض و طول مکعب‌ها در هر سه سناریو یکسان هست؛ و تنها مؤلفه ارتفاع تغییر کرده است در سناریو اول ارتفاع هر ۹ بلوک ثابت و ۱۲ است در سناریو دو ارتفاع چهار بلوک در بخش شمال غربی کاهش و ۱۰ است. در سناریو سه نیز ارتفاع پنج بلوک در جبهه شمالی و غربی افزایش یافته و عدد ۱۴ است. مطابق تنظیمات شبیه‌سازی و موقعیت تهران در نیم‌کره شمالی، در ساعات بعدازظهر خورشید در جبهه جنوب غربی تا غرب و در زمان انقلاب تابستانی از شمال غربی در ساعات پایانی روز و زمان غروب نیز تابش دارد بنابراین انتظار می‌رود در سناریو دوم گروه A با کاهش ارتفاع در جبهه شمالی و غربی سایه‌اندازی کاهش یابد و در سناریو سه با افزایش ارتفاع‌ها سایه‌اندازی هنگام غروب در محوطه افزایش یابد اما با توجه به نتایج شرایط آسایش در هر دو سناریو دوم و سوم به نسبت سناریو اول بهتر است و در همه شاخص‌ها سناریو دو و سه نتایج کمتر و مطلوب‌تری را نشان می‌دهد. بنابراین به نظر می‌رسد ارتفاع در یک سناریو تأثیر عکس و در دیگری تأثیر مستقیم داشته است سایر مؤلفه‌های فرم را در این سناریو به علت چیدمان یکسان و ثابت بودن عرض و طول نمی‌توان مورد بررسی قرار داد. البته این موضوع حائز اهمیت است که نقش سایه‌اندازی و جریان هوا در ایجاد شرایط آسایش حرارتی پررنگ است و به‌صورت کلی سناریوهای دو و سه گروه A نسبت به سایر گروه‌ها در شرایط بهتری قرار دارند.

گروه B شامل چهار بلوک L شکل درون‌گراست. در گروه B شش سناریو وجود دارد که در هر شش سناریو عرض و طول و نوع چیدمان ثابت است و تنها ارتفاع تغییر کرده است. در سناریو اول ارتفاع هر چهار بلوک ۱۲ است و در پنج سناریو دیگر ارتفاع‌ها بلوک‌ها دوبره‌دو ۱۲ و ۱۶ است. در سناریو دوم ارتفاع بلوک‌ها شمالی بیشتر، در سناریو سوم ارتفاع بلوک‌های غربی و در سناریو شش ارتفاع سناریوهای جنوبی بیشتر است. در این سه سناریو با افزایش ارتفاع و جابجایی دو بلوک با ارتفاع بیشتر در سه جبهه در معرض تابش سایه‌اندازی جابجا شده است و در سناریو چهار و پنج دو بلوک روبروی یکدیگر ارتفاع یکسان دارند در سناریو چهار دو بلوک شمال غربی و جنوب شرقی و در سناریو پنج دو بلوک شمال شرقی و جنوب غربی ارتفاع ۱۶ دارند. با توجه به نتایج شبیه‌سازی در هر ۶ سناریو نتایج شاخص‌های مختلف آسایش حرارتی تقریباً یکسان و اختلاف اندکی با یکدیگر دارند یکی از دلایل آن نوع چیدمان یکسان بلوک‌ها است که سبب شده بخشی از محوطه در

بین بلوک‌ها همیشه در معرض آفتاب باشد. باین‌وجود در سناریو دوم درحالی‌که دو بلوک جنوبی ارتفاع ۱۲ و دو بلوک شمالی ارتفاع ۱۶ دارند مقادیر شاخص‌های آسایش مقداری کمتر است. این در حالی است که در گروه A باوجود تفاوت اندک سناریو دو و سه، سناریو سوم شرایط بهتری از نظر آسایش حرارتی دارد و در این سناریو نیز ارتفاع بلوک‌های ناحیه شمالی افزایش داشت.

اما در هر دو گروه به توجه به چیدمان یکسان و عرض و طول ثابت و با تغییر مؤلفه ارتفاع نسبت مشخصی بین تغییر ارتفاع و شرایط آسایش نمی‌توان رسید و همچنان می‌توان بیان کرد که گروه A وضعیت مطلوب‌تر است و دلیل آن پراکندگی و نوع چیدمان بلوک‌ها در محوطه است.

همچنین با بررسی این دو گروه به نظر می‌آید که در چیدمان‌هایی که ارتفاع در جبهه شمالی بیشتر است شرایط آسایش بهتری فراهم شده است.

در گروه C فرم‌های U شکل به صورت‌های مختلف و در جهت‌های متفاوت در محوطه قرارگرفته‌اند و طول، عرض و ارتفاع یکسانی دارند. شاخص‌های مختلف در بین سناریوهای این گروه نیز اختلاف کمی دارند باین‌وجود سناریو اول از شرایط مطلوب‌تری برخوردار است. در این سناریو دو بلوک U در روبروی یکدیگر قرارگرفته‌اند درحالی‌که در سایر سناریوها تنها یک بلوک U شکل در جهات مختلف قرارگرفته است. بنابراین در سناریو اول بخش بیشتری از محوطه در سایه قرار دارد. بنابراین شاخص‌های آسایش حرارتی عدد کمتری را برای این سناریو نسبت به سایر سناریوها نشان می‌دهد. همچنین با توجه به نتایج مطلوب‌تر ارتفاع بیشتر جبهه شمالی در سناریوهای دو گروه A و B انتظار می‌رفت در سناریو چهارم گروه C نیز نسبت به دو سناریو دو و سه این گروه شرایط بهتر می‌بود در صورتی‌که شرایط به این صورت نبود و جبهه شمالی با ارتفاع بیشتر همواره شرایط بهتری را فراهم نمی‌کند.

با مقایسه این سه گروه آنچه حاصل می‌شود این است که تغییر ارتفاع و تغییر جهت در یک الگو فرمی و چیدمان تأثیر بسزایی در شرایط آسایش نداشته است بلکه آنچه اهمیت دارد تأثیر فرم هر گروه در فاصله چیدمان در یک محوطه است.

در گروه D چیدمان سه نوار بلوک با دو جهت مختلف و ارتفاع‌های متفاوت انجام شده است. در سناریو یک تا سه جهت نوارها شرقی غربی و در سناریو چهار تا شش چیدمان به‌صورت شمالی جنوبی است. در دو سناریو اول هرکدام از جهت‌های چیدمان یعنی سناریو اول و چهارم ارتفاع هر سه نوار ۱۲ و در سناریو بعدی ارتفاع نوارها کاهش یافته به صورتی‌که نوار میانی ارتفاع بیشتر و ۱۰ در دو نوار دو طرف ارتفاع ۸ دارند و در سناریوهای سه و

شش ارتفاع افزایش یافته است و نوار میانی ۱۶ و دو نوار دو طرف ارتفاع ۱۴ است.

به صورت کلی شرایط آسایش در چیدمان شرقی غربی بهتر است اما در سناریو شش و با چیدمان شمالی جنوبی نیز شرایط آسایش نزدیک به سناریو اول و سوم این گروه است. در هر دو حالت چیدمان با کاهش ارتفاع در سناریوهای دو و پنج شاخص های آسایش حرارتی افزایش یافته بنابراین ارتفاع کمتر در این گروه سبب عدم مطلوبیت شرایط آسایش شده است این در حالی است که مطلوب ترین شرایط در هر دو جهت چیدمان بلوک هایی با ارتفاع بیشتر هستند. در این گروه با توجه به نوع چیدمان بخش های زیادی از محوطه در سایه قرار دارد که با افزایش ارتفاع و جهت تابش به بهتر شدن شرایط کمک کرده است.

بنابراین همچنان با توجه به تحلیل گروه های A, B, C, D از بین مؤلفه های ارتفاع، جهت و نوع چیدمان در افزایش آسایش حرارتی بیشترین تأثیر را نوع چیدمان بلوک ها دارد و عوامل ارتفاع و جهت به ترتیب نقش دارند. که افزایش ارتفاع در نوع چیدمانی که بخشی از محوطه در سایه قرار نگرفته است کمک می کند و زمانی که بخش زیادی از محوطه با توجه به چیدمان در سایه قرار دارد ارتفاع تأثیر محسوسی در بهتر شدن شرایط آسایش نخواهد داشت و حتی سبب کاهش جریان باد خواهد شد.

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

این مطالعه تأثیر انواع مختلف ساختمان بر دستیابی به آسایش حرارتی در فضای باز را بررسی کرد. ۲۲ سناریو در شش گروه مطالعه شامل (A) ۹ مکعب جداگانه، (B) چهار بلوک L شکل درون گرا، (C) U شکل، (D) سه نوار افقی/عمودی، (E) حیاط مرکزی و (F) L شکل طبقه بندی شدند. این سناریوها با استفاده از نرم افزار ENVI-met شبیه سازی شدند. نتایج نشان داد که «نه مکعب جدا شده» (سناریوهای گروه «A») و به ویژه سناریوی A-3 (نه مکعب جدا شده، در حالی که مکعب های شمالی و غربی ۱۴ متر ارتفاع داشتند و سایر مکعب ها ۱۲ متر ارتفاع داشتند) حرارت بهتری را در فضای باز ارائه می کنند. عملکرد بهتر سناریوی A-3 در ارائه آسایش حرارتی در فضای باز را می توان به توزیع بلوک های ساختمانی در این سناریو نسبت داد که از ایجاد فضاهای باز بدون سایه بزرگ در داخل سایت جلوگیری کرد. سایه ای که توسط بلوک های ساختمانی ایجاد می شود از افزایش بیش از حد دما در ساعات بعد از ظهر تابستان جلوگیری می کند. لازم به ذکر است که با توجه به نتایج این مطالعه نباید از سایر سناریوها غافل شد.

با توجه تحلیل های صورت گرفته عامل نوع چیدمان در محوطه به علت مساحت سایه اندازی مهم ترین عامل تأثیرگذار و بعد از آن عوامل ارتفاع و عرض در فرم بلوک ها سبب تغییر شرایط

آسایش حرارتی می شوند به این صورت که با افزایش ارتفاع و عرض در چیدمانی که مساحت سایه اندازی کم است، شرایط آسایش حرارتی بهتر می شود. اما در شرایطی که با توجه به نوع چیدمان، مساحت سایه اندازی در محوطه مطلوب است تأثیر افزایش مؤلفه های عرض و ارتفاع در ایجاد شرایط آسایش حرارتی باید مجدداً مورد بررسی قرار بگیرد.

مقایسه شاخص های حرارتی سناریوی A-3 با مقیاس های آسایش حرارتی اصلی و اصلاح شده نشان داد که حداقل مقادیر شاخص های حرارتی تقریباً در تمام ساعات بعد از ظهر ۲۱ ژوئن در محدوده خنثی بوده و نشان می دهد که در تمام این ساعات، حداقل یک نقطه با شرایط آسایش خنثی را می توان در منطقه سایت یافت. فرض کنید طراحی سایت فرصت های تطبیقی را برای کاربران فراهم می کند. در آن صورت، کاربران پیاده ای که می توانند مکان خود را در سایت تغییر دهند، می توانند حداقل یک نقطه با دمای خنثی را در ساعات بعد از ظهر ۲۱ ژوئن بیابند. با این حال، نتایج همچنین شرایط حرارتی نامناسب در اکثر مناطق سایت را در ساعات بعد از ظهر ۲۱ ژوئن نشان داد. از این سناریو از آنجایی که سناریوی A-3 بهترین شرایط حرارتی را در میان مطالعات موردی شبیه سازی شده ارائه می کند، می توان چنین استنتاج کرد که شرایط حرارتی در سناریوهای دیگر رضایت بخش نبود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که تغییر نوع شناسی ساختمان برای تأمین آسایش حرارتی فضای باز شهر تهران کافی نیست و به کارگیری راهکارهای دیگری مانند درخت/پوشش گیاهی، آلیودوی مصالح خارجی (درصد بازتاب نور از سطح مصالح خارجی)، استفاده از مصالح نفوذپذیر آب برای جاده ها و ... می باشد. برای ایجاد شرایط حرارتی مناسب در فضاهای بیرونی تهران ضروری است.

References

1. Zulfiquari, Parisa, and Azam Sadat, Razavizadeh (1401). Presenting biophilic architectural strategies compatible with the climate using the analysis of climatology factors; Case study: Qom city. Scientific Journal of Architecture Boutique, (7)2, 115-134.
2. Qabadian, Vahid, Faiz Mahdavi, Mohammad (1384). Climate design, theoretical principles and implementation of energy use in buildings. Tehran: Tehran University Press.
3. Watson, Donald, Lees, Kenneth (2008). Climate design, theoretical and practical principles of energy use in buildings. Translated by Vahid Qabadian and Mohammad Faiz Mahdavi, 11th edition, Tehran: Tehran University Press.
4. Jodet, Mohammad Reza (2010). Sustainable

- Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation
15. Ali-Toudert F, Mayer H. (2006) Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Build Environ*;41:94-108.
 16. Yezioro A, Capeluto IG, Shaviv E. (2006). Design guidelines for appropriate insolation of urban squares. *Renew Energy*;31:1011-23.
 17. Berkovic S, Yezioro A, Bitan A. (2012) Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Sol Energy*;86:1173-86
 18. Ali-Toudert F, Mayer, H. (2006). Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theor. Appl. Climatol.* (in press).
 19. Johansson E. (2006) Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: a study in Fez, Morocco. *Build Environ*;41:1326-38
 20. Bourbia, F, Boucheriba, F (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). *Renewable Energy*, Volume 35, Issue 2, February 2010, Pages 343-347.
 21. Errell, E, et al (2012). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*, Routledge.
 22. Taleghani, Mohammad, Kleerekoper, Laura & Martin Tenpierik & Andy van den Dobbelsteen (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, Volume 83, January 2015, Pages 65-78.
 23. Bosselmann, T, Menke, P (1994). Intrinsic temperature compensation of magnetooptic AC current transformers with glas ring sensor head. *OFS (10) Conf, Proc, SPIE*, vol. 2360, pp. 20-23.
 24. Dalman, Masoud, Salleh, Elias (2011) Microclimate and Thermal Comfort of Urban Forms and Canyons in Traditional and Modern Residential Fabrics in Bandar Abbas, Iran. *Modern Applied Science*, Vol. 5, No. 2, 43-56.
 25. Krüger, E.L, Minella, F.O, Rasia, F (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, Volume 46, Issue 3, March 2011, Pages 621-634
 26. Noori Kakon, Anisha, Mishima, Nobuo (2012). An Evaluation of Increasing Building Height in Respect of Thermal Climate in a High Density City Architecture. *Iranian Architecture Quarterly*, No. 5, 5-18.
 5. Bahraini, Seyyed Hossein (2012). *Urban design process*. Second edition, Tehran: Tehran University Press.
 6. Shakibaei, Siamak and Sanaz, Saidi Mofard (1400). The impact of urban microclimates on environmental comfort in public open spaces. Case study: Shahada Square, Mashhad. *Scientific Journal of Urban Studies*, (40)10, 59-72.
 7. Ratti, Carlo, Raydan, Dana & Steemers, Koen (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 35, 49-5.
 8. Targhi, M. Z., & Van Dessel, S. (2015). Potential Contribution of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA. *Procedia Engineering*, 118, 1153-1161. Doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.457
 9. Middel, Ariane, Häb, Kathrin, Anthony J. Brazel & Chris A. Martin & Subhrajit Guhathakurta (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, Volume 122, February 2014, Pages 16-28.
 10. Horison, E., & Amirtham, L. (2016). Role of Built Environment on Factors Affecting Outdoor Thermal Comfort-A Case of T. Nagar, Chennai, India. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(5).
 11. Naini's truth, Gholamreza, Fayaz, Rima, Beghar, Behrouz (2016). Achieving thermal comfort in public spaces using the step-by-step simulation method, case study: a neighborhood unit in Imam Khomeini Lar. *Publication: Letter of Architecture and Urban Planning*, Volume: 11, Number: 21, Pages: 77-100.
 12. Andreou, E (2013). Thermal comfort in outdoor spaces and urban and urban canyon microclimate. *Renewable energy*, 55, 182-188
 13. Sharmin, Tania, Steemers, Koen & Matzarakis, Andreas (2015). Analysis of microclimatic diversity and outdoor thermal comfort perceptions in the tropical megacity Dhaka, Bangladesh. *Building and Environment*, Volume 94, Part 2, December 2015, Pages 734-750
 14. Taleghani, Mohammad, Tenpierik, Martin, Dobbelsteen, Andy van den, Sailor, David J. (2014).

- Hashem (2010). Investigating and feasibility of the effect of the form and density of residential blocks on the city's energy consumption, a case study of the new city of Hashtgerd. *Utopia Architecture and Urbanism*, 4(6), 107-116.
36. Ali Akbari, Hojjat (2012), Morphological analysis of urban fabric with the energy efficiency approach of a case study: Yazd city, Master's thesis, Isfahan University of Arts, Faculty of Architecture and Urban Planning.
 37. Menshizadeh, Rahmatullah; Hosseini, Ibrahim; stove, oven; Shabani, Hamida (2012). Thermal comfort and the effect of the height of buildings on the microclimate of urban spaces, a case study of Shahr-dari Street in Tehran (between Tajrish Square and Quds Square). *Amish Environment*, No. 20, 109-126.
 38. Hajipour, Khalil and Narjes Forozan (2013), Investigating the effect of city form on the amount of functional energy consumption in the residential sector; case example: Shiraz city, *Fine Art Journal*, Volume 19, Number 4, 17-26
 39. Madanipour, a. (ed.). (2013). *Whose public space?: international case studies in urban design and development*. Routledge.
 40. Li, j., & liu, n. (2020). The perception, optimization strategies and prospects of outdoor thermal comfort in china: a review. *Building and environment*, 170, 106614.
 41. Kamel, e., sheikh, s., & huang, x. (2020). Data-driven predictive models for residential building energy use based on the segregation of heating and cooling days. *Energy*, 206, 118045.
 42. Alghamdi, s., tang, w., kanjanabootra, s., & alterman, d. (2022). Effect of architectural building design parameters on thermal comfort and energy consumption in higher education buildings. *Buildings*, 12(3), 329.
 43. Kumar, p., & sharma, a. (2020). Study on importance, procedure, and scope of outdoor thermal comfort—a review. *Sustainable cities and society*, 61, 102297.
 44. Esfrizi, Maryam, Gandhamkar, Amir (2019). The role of sustainable energy in urban design and construction (case study: Khomeini Shahr). *Journal of Geographical Sciences (Applied Geography)*, Volume 16, Number 33, Spring and Summer 2019, Pages 75-84.
 45. Lau, k. K. L., tan, z., morakinyo, t. E., & ren, c. (2021). in South Asia Using Numerical Modeling. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 406-401:(2)8
 27. Yang, Jun, Li, Shihua, Su a, Jinya, Yu b, Xinghuo (2013). Continuous nonsingular terminal sliding mode control for systems with mismatched disturbances. *Automatica*, Volume 49, Issue 7, July 2013, Pages 2287-2291.
 28. Elnabawi, Mohamed H, Neveen Hamza & Steven Dudek (2014). Numerical modelling evaluation for the microclimate of an outdoor urban form in Cairo, Egypt. *HBRC (Housing and Building National Research Center) Journal*, VOLUME 11, Issue 2, 246-251.
 29. Sanaieian, Haniyeh, Tenpierik, Martin & Kees van der Linden & Fatemeh Mehdizadeh (2014). Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 560-38:551.
 30. Zabeti Targhia, Milad, Van Dessel, Steven (2015). Potential contribution of urban developments to outdoor thermal comfort conditions: The influence of urban geometry and form in Worcester, Massachusetts, USA. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, Procedia Engineering* 118 (2015) 1153 – 1161.
 31. Xuan, Yingli, Yang, Guang & Qiong Li & Akashi Mochida (2016). Outdoor thermal environment for different urban forms under summer conditions. *Building Simulation*, 9(3).
 32. Behzadfar, Mustafa, Menaam, Alireza (2009). The effect of sky view coefficient on the thermal comfort of urban open space users, a survey of selected parks in Tehran. *Uranshahr*, No. 3 (5), 23-34
 33. Rezazadeh, Razieh, Aghajan Biglo, Emad (2009). Proposed pattern for stacking in row residential plots, comparative study of two stacking patterns in residential blocks with thermal comfort criteria. *Journal of Architecture and Urbanism*, 4(7), 165-184.
 34. Mahmoudi, Amir Masoud, Seyedeh Nada, Qazizadeh and Menam, Alireza (1389). The effect of design on the thermal comfort of the open space of residential communities (case study: phase three of Akbatan residential complex). *Journal of Fine Arts*, 2(42), 59-70.
 35. Rafiyan, Mojtabi, Fatah Jalali, Arman, Dadashpour,

55. Ketterer, Christine, Matzarakis, Andreas (2015). Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany. *International Journal of Biometeorology*, volume 59, pages 1299-1309.
56. Wang, Yupeng, Akbari, Hashem (2015). The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*, Volume 27, Pages 122-128.
57. Jänicke, Britta, Meier, Fred, Hoelscher, Marie-Therese, and Dieter Scherer (2015). Evaluating the Effects of Façade Greening on Human Bioclimate in a Complex Urban Environment. *Advances in Urban Biometeorology*, Volume 2015.
58. Lee, J., Kim, J., & Choi, J. Y. (2018). The adoption of virtual reality devices: The technology acceptance model integrating enjoyment, social interaction, and strength of the social ties. *Telematics and Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.12.006>
59. Salata, F., et al. (2015). How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study. *Energy and Buildings*, 99, 32-49. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.04.010
60. Nasrollahi, Nazanin, Hatami, Zhila, Taleghani, Mohammad (2017). Development of outdoor thermal comfort model for tourists in urban historical areas; A case study in Isfahan. *Building and Environment*, Volume 125, Pages 356-372.
61. Cortes, Aiza, Jesfel Rejuso, Arnold, Justine Ace Santos, Blanco, Ariel (2022). Evaluating mitigation strategies for urban heat island in Mandaue City using ENVI-met. *Journal of Urban Management*, Volume 11, Issue 1, Pages 97-106.
62. Faragallah, Riham Nady, Ragheb, Riham A. (2022). Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 13, Issue 3, 101609.
63. Hadianpour, Mohammad, Mahdaveinejad, Mohammadjavad, Bemanian, Mohammadreza, Haghshenas, Mohammad, Kordjamshidi, Maria (2018). Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran. *Building and Environment*, Volume 150, Pages 164-180.
64. Olgyay, Victor (1963). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press, Princeton. Open Outdoor thermal comfort in urban environment: assessments and applications in urban planning and design. Springer.
46. Shang, c. (2022). Simulating the impact of urban morphology on energy demand in blocks-a case study of dwellings in nanjing.
47. Yang, j., yang, y., sun, d., jin, c., & xiao, x. (2021). Influence of urban morphological characteristics on thermal environment. *Sustainable cities and society*, 72, 10304
48. Farrokhi, Maryam; Yazidi, Mohammad Saeed; Karimi, consultant, Mehrdad (2017). Analysis of energy efficiency in hot and dry climate urban tissue models, case example: Isfahan city. *Two Quarterly Journals of Iranian Architecture*, No. 13, 127-147.
49. Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, Amirhosein, Ghaffarianhoseini, Ali, Omrany, H., Wang, Z.H., Akbari, H.,)2017(. Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities* 62, 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
50. Simon, Helge, Lindén, Jenny, Hoffmann, David, Braun, Peter, Bruse, Michael, Esper, Jan (2018). Modeling transpiration and leaf temperature of urban trees – A case study evaluating the microclimate model ENVI-met against measurement data. *Landscape and Urban Planning*, Volume 174, Pages 33-40.
51. Yang, F., et al. (2013). Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. *Building and Environment*, 70, 122-137.
52. Hedquist, Brent C, Brazel, Anthony J (2014). Seasonal variability of temperatures and outdoor human comfort in Phoenix, Arizona, U.S.A. *Building and Environment*, 72:377-388
53. Ghaffarianhoseini, Amirhosein, Berardi, Umberto, Ghaffarianhoseini, Ali (2015). Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*, Volume 87, Pages 154-168.
54. Acero, Juan A, Herranz-Pascual, Karmele (2015). A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. *Building and Environment*, Volume 93, Part 2, Pages 245-257.

74. strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy*, Volume 103, Pages 108-124.
75. Azizibabani, M.; Bemanian, M.R.; Yeganeh, M. Investigation of the effects of applying social sustainability components on residential satisfaction. *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 2021, 29, 49–61.
76. Ahmadi S, Yeganeh M, Motie MB, Gilandoust A. The role of neighborhood morphology in enhancing thermal comfort and resident's satisfaction. *Energy Reports.* 2022;8:9046-9056. doi:10.1016/j.egy.2022.07.042
77. Zare Z, Yeganeh M, Dehghan N. Environmental and social sustainability automated evaluation of plazas based on 3D visibility measurements. *Energy Reports.* 2022;8:6280-6300. doi:10.1016/j.egy.2022.04.064
78. Mansour Y. Educating Designing an Architectural Model Based on Natural Principles and Criteria. *International Conference New Perspectives in Science Education*; 2015.
79. Shahbazi M, Yeganeh M, Bamanian MR. Meta-analysis of environmental vitality factors in open spaces. *Motaleate Shahri.* 2020;9(34):61-76.
80. Kandelan SN, Yeganeh M, Peyman S, et al. Environmental study on greenery planning scenarios to improve the air quality in urban canyons. *Sustainable Cities and Society.* 2022;83:103993. doi:10.1016/j.scs.2022.103993
81. Baradaran Motie M, Yeganeh M, Bemanian M. Assessment of greenery in urban canyons to enhance thermal comfort & air quality in an integrated seasonal model. *Applied Geography.* 2023;151:102861. doi:10.1016/j.apgeog.2022.102861
82. Ashtari B, Yeganeh M, Bemanian M, Vojdani Fakhr B. A Conceptual Review of the Potential of Cool Roofs as an Effective Passive Solar Technique: Elaboration of Benefits and Drawbacks. *Front Energy Res.* 2021;9. doi:10.3389/fenrg.2021.738182
83. N. Ariannia, N. Naseri, M. Yeganeh, Cognitive-emotional feasibility of the effect of visual quality of building form on promoting the sense of place attachment (Case study: Cultural iconic buildings of Iran's contemporary architecture), *Frontiers of Architectural Research.* (2023). <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.10.002>.
- Journal of Energy Efficiency, Vol.8, No.3.
65. Cheung, Pui Kwan a, Jim, C.Y (2018). Subjective outdoor thermal comfort and urban green space usage in humid-subtropical Hong Kong. *Energy and Buildings*, Volume 173, Pages 150-162.
66. Tseliou, Areti, Tsiros, Ioannis X., Lykoudis, Spyros, Nikolopoulou, Marialena (2015). An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions. *Building and Environment*, Volume 45, Issue 5, Pages 1346-1352.
67. Matzarakis, Andreas, Mayer, H., Iziomon, M.G. (1996). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, volume 43, pages76–84.
68. Haghshenas, Mohammad, Hadianpour, Mohammad, Matzarakis, Andreas & Mohammadjavad Mahdavinejad & Mojtaba Ansari (2021). Improving the suitability of selected thermal indices for predicting outdoor thermal sensation in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 74(5):103205.
69. Mi, Jiayi, Hong, Bo, Zhang, Ting & Boze Huang & Jiaqi Niu (2020). Outdoor thermal benchmarks and their application to climate-responsive designs of residential open spaces in a cold region of China. *Building and Environment*, Volume 169, 106592
70. Johansson, Erik, Thorsson, Sofia, Emmanuel, Rohinton, Krüger, Eduardo (2018). Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. *Urban Climate*, Volume 10, Part 2, Pages 346-366.
71. ISO. 2005. ISO Standard 7730-2005, Ergonomics of the tHermal Environment. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, ISO: Geneva.
72. Nasrollahi, Nazanin, Hatami, Mojtaba & Seyedeh Razieyeh Khastar & Mohammad Taleghani (2017). Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design in a hot and dry climate. *Sustainable Cities and Society*, Volume 35, Pages 449-467.
73. Lee, K.M. (2004). Presence, explicated. *Communication Theory*, 14, 27-50. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2004.tb00302.x>