



## **Modeling the relationship between building density, green spaces, and thermal comfort in dense urban areas of Tehran (case study: District 10, Tehran)**

**Pedram Alibeiki<sup>1</sup>, Shadi Azizi<sup>2\*</sup>, Hamidreza Mousavi<sup>3</sup>**

1- Department of Architecture, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: [Ped.alibeiki.arc@iauctb.ac.ir](mailto:Ped.alibeiki.arc@iauctb.ac.ir)

2- Department of Architecture, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(Corresponding Author) E-mail: [Sha.azizi@iauctb.ac.ir](mailto:Sha.azizi@iauctb.ac.ir)

3- Department of Architecture, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: [Ham.mousavi@iauctb.ac.ir](mailto:Ham.mousavi@iauctb.ac.ir)

<b>Article Info</b>	<b>Extended Abstract</b>
<b>Article type:</b> Research Article	<b>Introduction</b> Urbanization and industrialization have intensified urban density, triggering adverse environmental phenomena such as the Urban Heat Island (UHI) effect, particularly in megacities like Tehran. This study examines the interplay between building density, green space provision, and outdoor thermal comfort in Tehran's District 10, a high-density area characterized by minimal green space per capita. The research aims to model how strategic adjustments in urban form and vegetation can mitigate UHI effects and improve microclimatic conditions in hot, arid climates.
<b>Article history:</b> Received: 18 October 2024 Received in revised form: 8 January 2025 Acceptance: 9 January 2025 Published online: 21 September 2025	<b>Literature Review</b> The Urban Heat Island phenomenon arises from extensive use of low-albedo materials, reduced evapotranspiration, and anthropogenic heat. Green infrastructure mitigates UHI through shading, evapotranspiration, and airflow enhancement. Thermal comfort in outdoor environments is commonly assessed using indices like the Physiological Equivalent Temperature (PET), which integrates climatic and physiological variables. Prior studies underscore the efficacy of strategic greening and optimized urban geometry in enhancing thermal comfort, especially in dense, climatically stressed settings.
<b>Key words:</b> Urban Heat Island, Urban density, Green Space, Thermal Comfort.	<b>Methodology</b> A quantitative, multi-phase approach was employed. First, the urban density index was calculated for the study area. Second, a two-week field campaign measured air temperature and relative humidity using HOBO data loggers for model validation. Third, parametric simulations were conducted using ENVI-met software (v5). Two scenarios were modeled: the existing high-density fabric (Scenario 1) and a modified scenario with reduced longitudinal building density and increased park-based green space (Scenario 2). Simulations were run for a typical summer day, with outputs analyzed at pedestrian level (1.5 m). Thermal comfort was evaluated using PET under standardized metabolic and clothing conditions. Model validation utilized R-squared

and RMSE statistical tests.

### Findings

The study area exhibited an urban density of 72% and a critically low green space per capita of 2.6 m<sup>2</sup>. Field data recorded temperatures of 17–20°C and relative humidity of 48–59%. ENVI-met simulations, validated with field measurements (RMSE = 0.82), revealed that Scenario 1 resulted in peak PET values up to 51.08°C, indicating "hot" to "very hot" thermal stress. In contrast, Scenario 2 demonstrated a reduction in air temperature by 3–4°C due to increased vegetation. The intervention enhanced evapotranspiration and shading, significantly lowering PET values and improving thermal comfort categories. Non-enclosed street layouts showed better ventilation and lower heat retention compared to enclosed spaces.

### Conclusion and Recommendations

The study confirms that strategically reducing longitudinal building density while integrating interconnected green spaces can significantly improve microclimatic conditions, reduce UHI intensity, and enhance outdoor thermal comfort. Key mechanisms include increased shading, plant evapotranspiration, and improved air ventilation. Urban geometry, alongside vegetation, is a critical factor in hot, arid climates. It is recommended that urban redesign in dense districts prioritize vertical density over horizontal sprawl, incorporate connected green corridors, and utilize high-albedo materials. Future research should investigate the synergistic effects of specific building morphologies, green space typologies, and seasonal variations in similar climatic contexts to inform more nuanced urban design guidelines.

---

**Cite this article:** Alibeiki, P., Azizi, Sh., & Mousavi, H. (2025). Modeling the relationship between building density, green spaces, and thermal comfort in dense urban areas of Tehran (case study: District 10, Tehran). *Green Management*, 5(2), 1-23.



© The Author(s).

Online ISSN: 2821-0050

**Publisher:** Islamic Azad University, Aliabad Katoul Branch.

<https://sanad.iau.ir/journal/jgm>

---

**مدلسازی رابطه بین تراکم ساختمانی، فضاهای سبز و آسایش حرارتی در مناطق متراکم شهر تهران (نمونه موردی: منطقه ده تهران)<sup>۱</sup>**پدرام علی بیکی<sup>۱</sup>، شادی عزیز<sup>۲</sup>، حمیدرضا موسوی<sup>۳</sup>

- ۱- گروه معماری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [Ped.alibeiki.arc@iauctb.ac.ir](mailto:Ped.alibeiki.arc@iauctb.ac.ir)
- ۲- گروه معماری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) رایانامه: [Sha.azizi@iauctb.ac.ir](mailto:Sha.azizi@iauctb.ac.ir)
- ۳- گروه معماری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [Ham.mousavi@iauctb.ac.ir](mailto:Ham.mousavi@iauctb.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	رشد شهرنشینی و صنعتی شدن در سال‌های اخیر موجب افزایش تراکم شهری و نیز پدید آمدن اثرات نامطلوب محیطی تحت تأثیر جزایر حرارتی در شهرهایی همچون کلان‌شهر تهران گردیده است. پژوهش حاضر به دنبال رابطه بین تراکم ساختمانی، فضای سبز و آسایش حرارتی در منطقه ده شهرداری تهران به‌عنوان یکی از مناطق پرتراکم شهری از طریق مدل‌سازی پارامترهای موردنظر است. در این پژوهش، با محاسبه شاخص تراکم شهری و نیز برداشت میدانی به مدت دو هفته همچنین تعریف سناریو کاهش تراکم و افزایش سبزی‌نگی از طریق شبیه‌سازی نرم‌افزار انویمت به بررسی تأثیرات موضوع پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر الگوی توسعه شهری و کاهش تراکم در راستای طولی در ترکیب با فضای سبز و احداث پارک می‌توان به بهبود شرایط خرده اقلیمی، کاهش مصرف انرژی و دمای هوا به میزان ۳-۴ درجه سانتی‌گراد از طریق افزایش سایه‌اندازی، تبخیر و تعرق گیاهان و تهویه مناسب به‌وسیله فضاهای ارتباطی بهبود بخشید. یافته‌های این پژوهش تأکید می‌کند که هندسه مناسب شهری و توجه به مسئله تراکم در کنار افزایش فضای سبز، از عوامل کلیدی در بهبود آسایش حرارتی شهروندان در مناطق پرتراکم با اقلیم گرم و خشک هستند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۷	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰	
کلمات کلیدی: جزیره حرارتی، تراکم شهری، فضای سبز، آسایش حرارتی.	

**استناد:** علی بیکی، پدرام؛ عزیز، شادی و موسوی؛ حمیدرضا (۱۴۰۴). مدل‌سازی رابطه بین تراکم ساختمانی، فضاهای سبز و آسایش حرارتی در مناطق متراکم شهر تهران (نمونه موردی: منطقه ده تهران). مدیریت سبز، ۵(۲)، ۲۳-۱.



© نویسندگان.

<https://sanad.iau.ir/journal/jgm>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی آباد کتول.

شاپا الکترونیکی: ۲۸۲۱-۰۰۵۰

<sup>۱</sup> این مقاله مستخرج از رساله دکتری پدرام علی بیکی با موضوع "بهبود شرایط آسایش حرارتی بافت متراکم شهر تهران به کمک طراحی بام سبز" به راهنمایی دکتر شادی عزیز و مشاوره دکتر حمیدرضا موسوی، گروه معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی می‌باشد.

## مقدمه

بر اساس گزارش سازمان ملل بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها سکونت دارند و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ این مقدار به ۶۰ درصد افزایش یابد، باینکه شهرها تنها ۳ درصد از سطح زمین را اشغال کرده‌اند اما حجم عمده مصرف انرژی مربوط به شهرهاست (مانسو و همکاران، ۲۰۲۱). رشد و گسترش شهرنشینی و کاهش قیمت زمین‌های کشاورزی نسبت به سایر کاربری‌ها باعث به حاشیه راندن زمین‌های کشاورزی و همچنین استفاده از کاربری‌های دیگر زمین به جای این گونه از اراضی است (تی راسل، ۲۰۱۰؛ کینانه و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش تراکم شهرها در دهه‌های اخیر سبب ایجاد فشار بر زیرساخت‌های موجود و همچنین تأثیرات مخرب بر شرایط محیطی و اجتماعی شده است و به دنبال این موضوع، افزایش دما تقاضا برای استفاده از وسایل سرمایشی به جهت بهبود شرایط آسایشی را به دنبال دارد و در نتیجه سبب افزایش مصرف انرژی می‌گردد (اکبری، ۲۰۰۹). مشاهدات نشان می‌دهد به ازای کاهش هر یک درجه دمای هوا برای تأمین سرمایش به میزان ۱۴٫۵ درصد شاهد افزایش مصرف انرژی هستیم (بیگام و همکاران، ۲۰۲۱). بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در اروپا ۱ درجه افزایش دما باعث افزایش ۱/۶۶ درصدی افزایش مصرف برق در کشورهای با اقلیم گرم و نیز افزایش ۰/۵۴۲ درصدی افزایش تقاضا در کشورهای با اقلیم معتدل شده است (تیان و همکاران، ۲۰۲۱). طبق مطالعات صورت گرفته توسط رن و همکاران (پی و همکاران، ۲۰۲۲) در کشور چین رشد سریع شهرنشینی سبب تغییرات آب و هوایی همچون گرم شدن کره زمین می‌شود و ساکنان شهرها به تدریج در معرض افزایش دماهای بالا قرار می‌گیرند که طبق پژوهش صورت گرفته این موضوع سبب کاهش سطح آسایش حرارتی می‌شود. چابمن نیز در پژوهش خود به بررسی ارتباط تغییرات اقلیمی و جزایر حرارتی پرداخته است طی این بررسی مطالعات نشان داد رشد شهرنشینی باعث افزایش دمای محلی می‌شود که مانند آمریکای شمالی به میزان ۵ درجه سانتی‌گراد است (چابمن و همکاران، ۲۰۱۷). پدیده جزیره حرارتی اصطلاحاً نواحی از شهر است که نسبت به سایر نقاط شاهد دمای بیشتری هستیم (چابمن و همکاران، ۲۰۱۷). طبق مطالعات صورت گرفته توسط خاره و همکاران مزایای کاهش جزایر حرارتی برای ساختمان‌ها و شهرها (خاره و همکاران، ۲۰۲۱) شامل: کاهش هزینه قبوض انرژی برای ساختمان‌های دارای سیستم تهویه مطبوع و خنک‌تر شدن ساختمان‌های بدون تهویه در فصول گرم، کاهش بار حرارتی در سقف و افزایش طول عمر آن، کاهش بار

- 
- 1-Manso et al
  - 2-Trussel
  - 3-Kinane et al
  - 4-Akbari
  - 5-Begum et al
  - 6-Tian et al
  - 7-Pei et al
  - 8-Chapman et al
  - 9-Khare et al

سرمایشی به دلیل کاهش تقاضای انرژی، کاهش اثرات نامطلوب جزایر حرارتی بر سلامت جامعه، بهبود کیفیت آب و هوا و سطح آسایش حرارتی، کمک به بهبود شرایط اجتماعی و زیست محیطی است. عوامل کاهنده اثرات جزیره حرارتی به طور کلی به سه بخش تقسیم می شود؛ شامل: استراتژی های مناسب بام ساختمان؛ مانند: سطوح با ضریب انعکاس بالا و بام سبز، استراتژی های مناسب غیر از بام ساختمان؛ مانند: سایه اندازی، استفاده از منابع آبی و سنگفرش با مصالح بازتاب دهنده و نیز پوشش مناسب برای پارکینگ ها (میگل و همکاران، ۲۰۲۱). محققان به دلیل افزایش مصرف انرژی و رشد جمعیت به دنبال روش هایی برای کاهش اثرات نامطلوب جزایر حرارتی و بهبود شرایط زیست محیطی هستند و تاکنون حدود ۲۰۰ شهر در جهان مورد بررسی و ارزیابی در مقیاس یک ساختمان تا یک محله و بیشتر مورد توجه قرار گرفته است به عنوان مثال روسو و همکاران (روسو و همکاران، ۲۰۱۶) در زمینه بررسی پیاده روهای سرد<sup>۳</sup> و سبز به جهت بهبود شرایط آسایش حرارتی بیرونی شهروندان تحقیق کرده اند، بخشی از تحقیقات پژوهشگران به بررسی تأثیرات خرده اقلیم از طریق برداشت های میدانی و شبیه سازی دینامیک سیالات<sup>۴</sup> و به دنبال آن ارزیابی شرایط آسایش حرارتی است (پرز و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی روش های مختلف کاهنده اثرات جزیره حرارتی نشان داد استفاده از فضای سبز به دلیل کاهش بیشتر دما، افزایش ضریب آلبدو و نیز تأثیرات اجتماعی بر شهروندان مناسب تر از روش های دیگر است (سانتاموریس، ۲۰۱۴؛ مانسو و همکاران، ۲۰۲۱). فضای سبز در شهرها موجب تلطیف هوا، تعادل حرارتی، بهبود وضعیت خرده اقلیم و بهبود اکوسیستم شهری می گردد. مطالعات پژوهشگران حاکی از این موضوع است که استفاده از رویکردهای مختلف به جهت افزایش سرانه فضای سبز باعث بهبود و رشد سلامت شهروندان می گردد (بویونگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ تان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). بیشتر مطالعات صورت گرفته نشان می دهد فضاهای سبز پتانسیل زیادی در ذخیره سازی انرژی سرمایشی در نواحی شهری دارند به عنوان مثال در شهر هنگ کنگ اگر حدود ۳۰ درصد پوشش فضای سبز داشته باشیم حداقل ۱۹۰۰ کیلووات ساعت در روزهای تابستان قابلیت ذخیره انرژی داریم. یانگ و همکاران اثر سرمایشی فضای سبز در شهر پکن توانایی ذخیره سازی ۶۰ درصد انرژی را دارد و همچنین رابطه قوی ساخت و ساز شهری دارد (افلاکی و همکاران، ۲۰۱۷؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۸). پوشش گیاهی در محیط های شهری باعث بهبود شرایط آسایش حرارتی،

1-Miguel et al

2-Rosso et al

3-Cool Pavements

4-Computational Fluid Dynamics (CFD)

5-Perez et al

6-Santamoris

7-Manso et al

8-Buyung et al

9-Tan et al

10-Aflaki et al

11-Yang et al

افزایش سایه‌اندازی و کاهش تبخیر و تعرق می‌شود و محیط را خنک می‌کند (ژیابو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸؛ تونگ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷؛ ژانگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸). بیشتر مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد فضاهای سبز پتانسیل زیادی در ذخیره‌سازی انرژی سرمایشی در نواحی شهری دارند به‌عنوان مثال در شهر هنگ‌کنگ اگر حدود ۳۰ درصد پوشش فضای سبز داشته باشیم حداقل ۱۹۰۰ کیلووات ساعت در روزهای تابستان قابلیت ذخیره انرژی داریم. ژانگ و همکاران اثر سرمایشی فضای سبز در شهر پکن توانایی ذخیره‌سازی ۶۰ درصد انرژی را دارد و همچنین رابطه قوی ساخت‌وساز شهری دارد (افلاکی و همکاران، ۲۰۱۷؛ ژیاو و همکاران، ۲۰۱۸). پوشش گیاهی در محیط‌های شهری باعث بهبود شرایط آسایش حرارتی، افزایش سایه‌اندازی و کاهش تبخیر و تعرق می‌شود و محیط را خنک می‌کند، در محیط‌های پرتراکم گیاهی نیز نسبت به تک‌درختان تأثیر بیشتری داشته‌اند (افلاکی و همکاران، ۲۰۱۷؛ ژیاو و همکاران، ۲۰۱۸). شهر تهران به‌عنوان پایتخت کشور ایران از جمله شهرهای بزرگ و پرجمعیت است که در اقلیم گرم و خشک واقع شده است که به دلیل رشد و گسترش شهرنشینی و کاهش فضای سبز، توجه توأمان به مسئله بهبود شرایط آسایش حرارتی محیطی و کاهش مصرف انرژی در مناطق متراکم شهری در ترکیب با فضاهای سبز از جمله جنبه‌های مهم این پژوهش است. هدف پژوهش حاضر به مدل‌سازی رابطه بین تراکم ساختمانی، فضاهای سبز و آسایش حرارتی از طریق شبیه‌سازی وضع موجود و مقایسه با سناریوی موردنظر در منطقه ده شهر تهران می‌پردازد.

### ادبیات نظری و پیشینه تحقیق

**پدیده جزیره حرارتی:** افزایش سریع ساخت‌وساز و رشد جمعیت سبب کاهش سبزی‌نگی، فضاهای باز و افزایش مصرف انرژی و دما را به دنبال دارد و استفاده از مصالحی همچون آسفالت و بتن در ساختمان‌ها و معابر شهری باعث تغییر میزان آلودگی، جذب و انتشار میزان تشعشع نور خورشید در شهر می‌شود. این پدیده که خود را به‌صورت مناطق حرارتی با دمای بیشتر نسبت به دمای معمول هوا در سطح شهر نشان داده را جزایر حرارتی می‌گویند، در این پدیده ساختمان‌ها در طول روز تابش خورشید را جذب کرده و در شب به‌آرامی منتشر می‌کنند. بنابراین تغییراتی که در کاربری‌های زمین صورت گرفته (مانند تبدیل زمین‌های کشاورزی به مناطق مورد سکونت) باعث تغییر در اقلیم شده و تغییر کیفیت آب‌وهوا برای شهروندان را به دنبال داشته است در نتیجه تغییر در الگوی مصرف انرژی را نیز دارد. این موضوع اگر به مدت طولانی وجود داشته باشد برای اقلیم سنین بالا، کودکان و نوجوانان آسیب‌های جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد (کوماری و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۲۱). هانت و اتکینز تأکید به توجه و شناخت روزافزون پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی در مراکز شهری یا شهرها را دارند زیرا

1-Xiao et al  
2-Tong et al  
3-Zhang et al  
4-Kumari et al

تجزیه و تحلیل در سطح مقیاس شهری باعث تصمیم‌گیری و مدیریت مناسب در سازگاری و کاهش اثرات و پدیده‌ها می‌گردد (هانت و واتکیز، ۲۰۱۱). تحقیقات نشان می‌دهد تا سال ۲۰۵۰ میلادی بیش از ۶۵ درصد از مردم در شهرها سکونت دارد، همچنین پژوهش‌های صورت گرفته در کشورهای توسعه‌یافته نشان می‌دهد ۴۰ درصد تقاضای مصرف انرژی بالا رفته است (پیلیاتایل و همکاران، ۲۰۲۰).

**فضای سبز و کاهش جزیره حرارتی:** استفاده از زمین به منظور احداث ساختمان‌ها و جاده‌ها باعث شکل‌گیری جزایر حرارتی در شهرها به دلیل کاهش سطح تبخیر و تعرق، انباشت حرارت، انتقال دما و کاهش جریان هوا می‌گردد. موضوع سبزی‌نگی شهری یا افزایش فضای سبز در شهرها موجب تلطیف هوا، تعادل حرارتی، بهبود وضعیت خرد اقلیم و بهبود اکوسیستم شهری می‌گردد. مطالعات زیادی حاکی از این موضوع است که استفاده از رویکردهای مختلف به جهت افزایش سرانه فضای سبز باعث بهبود و رشد سلامت شهروندان می‌گردد (تان و همکاران، ۲۰۱۶؛ بولر و همکاران، ۲۰۱۰). پارک‌ها، فضاهای سبز و غیره باعث ایجاد فضای مطلوب از نظر کاهش دمای محیطی، کاهش آلودگی هوا، بهبود سطح آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی در تابستان می‌گردد (رامش و همکاران، ۲۰۱۸؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۷). این گونه فضاهای تأثیر مطلوبی بر کاهش جزایر حرارتی داشته است. یافته‌های تان و همکاران نشان می‌دهد پارک‌های کوچک با درختان زیاد به طور معناداری باعث کاهش دمای هوا و ایجاد جزایر سرمایشی شهری می‌گردند (تان و همکاران، ۲۰۱۶). یان بیان می‌کند اثر سرمایشی پارک‌ها تا محدود ۱/۴ کیلومتری اطراف آن را در برمی‌گیرد (یان و همکاران، ۲۰۱۸)، چانگ و همکاران پارک‌های بزرگ‌تر، جزایر سرمایشی بزرگ‌تری ایجاد می‌کنند (چانگ و لی، ۲۰۱۴). بیشتر مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد فضاهای سبز پتانسیل زیادی در ذخیره‌سازی انرژی سرمایشی در نواحی شهری دارند به عنوان مثال در شهر هنگ‌کنگ اگر حدود ۳۰ درصد پوشش فضای سبز داشته باشیم حداقل ۱۹۰۰ کیلووات ساعت در روزهای تابستان قابلیت ذخیره انرژی داریم. ژانگ و همکاران اثر سرمایشی فضای سبز در شهر پکن توانایی ذخیره‌سازی ۶۰ درصد انرژی را دارد و همچنین رابطه قوی ساخت‌وساز شهری دارد. ژیاو طبق پژوهش‌های خود در حوزه روش‌های کاهنده اثرات جزایر حرارتی از طریق فضاهای سبز به این نکته اشاره کرد که فضاهای سبز کوچک نسبت به فضاهای بزرگ‌تر نه تنها باعث کاهش اثرات زیان‌بار نمی‌شوند بلکه گرما را نیز در خود حفظ می‌کنند (ژیاو و همکاران، ۲۰۱۸؛ افلاکی و همکاران، ۲۰۱۷). پوشش گیاهی در محیط‌های شهری باعث بهبود

- 1-Hunt & Watkiss
- 2-Pigliautile et al
- 3-Tan et al
- 4-Bowler et al
- 5-Ramesh et al
- 6-Liu et al
- 7-Xu et al
- 8-Yan et al
- 9-Chang & Li
- 10-Xiao et al

شرایط آسایش حرارتی، افزایش سایه‌اندازی و کاهش تبخیر و تعرق می‌شود و محیط را خنک می‌کند، در محیط‌های پرتراکم گیاهی نسبت به تک‌درختان تأثیر بیشتری داشته‌اند (بنی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸؛ تونگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۷؛ ژیاو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۸).

**آسایش حرارتی:** آسایش حرارتی پتانسیل زیادی در صرفه‌جویی مصرف انرژی دارد، در حال حاضر بیشتر استانداردهای آسایش حرارتی بر مبنای مدل فنجر است، مانند اشری<sup>۵</sup> (دیر و براگر<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲) و ایزو<sup>۷</sup> (۷۷۳۰ ایزو<sup>۸</sup>، ۲۰۰۵) است. مدل کلاسیک فنجر که از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ میلادی توسعه یافت بر پایه شش عامل است، که شامل؛ دمای هوا، دمای تشعشعی، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، میزان پوشش و میزان فعالیت است (لیان و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۲۱). فنجر نه تنها عوامل فیزیکی را انتخاب کرد بلکه عوامل فیزیولوژیکی انسان را دخیل دانست و باعث شد مطالعات آسایش حرارتی از حالت کیفی به کمی تغییر یافت و اولین مدل آسایش حرارتی بر اساس مدل تعادل حرارتی بدن انسان شاخص میانگین آرای افراد<sup>۱۰</sup> است. بر اساس تعریف استاندارد اشری آسایش حرارتی وضعیت روانی افراد است که در محیط احساس رضایت داشته باشند (اشری<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۲).

**مدل‌های آسایش حرارتی:** چندین شاخص برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی برای مناطقی که دارای دمای بالا هستند و کیفیت آب‌وهوای نامطلوبی را برای شهروندان به وجود آوردند مورد استفاده قرار می‌گیرند از جمله؛ شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی<sup>۱۲</sup>، شاخص رطوبت دما<sup>۱۳</sup>، شاخص دمای مرطوب<sup>۱۴</sup>، شاخص شدت جزایر حرارتی شهری<sup>۱۵</sup>، شاخص واریانس حرارتی شهری<sup>۱۶</sup> و غیره است (شارما و همکاران<sup>۱۷</sup>، ۲۰۲۱). ژندریتسکی و همکاران در سال ۱۹۸۱ از مدل آسایش حرارتی بدن انسان برای آسایش حرارتی بیرونی نیز مورد استفاده قرارداد که بر مبنای مدل پیش‌بینی آرا با این تفاوت که به جای تابش با طول کوتاه از تابش طول موج بلند استفاده کرد که نام این مدل کلیما میشل<sup>۱۸</sup> است (نوبلر و جندریتسکی<sup>۱۹</sup>، ۱۹۸۱). براون و گیلسپای (براون و گیلسپای<sup>۲۰</sup>، ۱۹۸۶) برای محیط خارجی مدل کامفا<sup>۲۱</sup> را معرفی نمودند، در نیمه

- 1-Aflaki et al
- 2-Beni et al
- 3-Tong et al
- 4-De dear & Brager
- 5-ISO
- 6-Lian et al
- 7-Predicted Mean Vote (PMV)
- 8-ASHRAE
- 9-Physiological Equivalent Temperature (PET)
- 10-Temperature Humidity Index (THI)
- 11-Wet-bulb Globe temperature (WBGT)
- 12-Urban Heat Island Intensity Index (UHIER)
- 13-Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI)
- 14-Sharma et al
- 15-Klima-Michel-Model
- 16-Nubler & Jendritzky
- 17-Brown & Gillespie
- 18-COMFA

سال ۱۹۹۰ هوب (هوب<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹) بر اساس مدل تعادل انرژی مونیخ مدل ممی<sup>۲</sup> را معرفی نمود. همین دوران مفهوم شاخص دمای فیزیولوژیکی نیز مطرح گردید اما به درستی آسایش حرارتی خارجی را پیش‌بینی نمی‌کرد. بسیاری از پژوهشگران شاخص‌های دیگری برای شرایط آسایش خارجی مطرح کرده‌اند، شاخص دمای مؤثر اصلاح‌شده<sup>۳</sup> که به میانگین دمای تابشی (تابش خورشیدی+شاخص فیزیولوژیکی) و ارتباط بدن انسان با محیط پیرامون از طریق پاسخ‌های روانی در نظر می‌گیرد (هوریکوشی و امورا<sup>۴</sup>، ۱۹۹۱). شاخص استاندارد دمای مؤثر اصلاح‌شده که تفاوت دمایی بین داخل و خارج از ساختمان را نشان می‌دهد و به شاخص دمای مؤثر، دمای تابشی امواج مادون قرمز نیز اضافه گردید. شاخص جهانی آب‌وهوای حرارتی<sup>۵</sup> دمای هوا هم‌دمای که باعث پاسخ‌های فیزیولوژیکی پویا می‌شود، این شاخص بر اساس علم معاصر است و مبنای زیست‌هواشناسی انسانی است (پیکاپ و ددیر<sup>۶</sup>، ۲۰۰۰). دسته‌ای از پژوهش‌های صورت گرفته بر مبنای نظریات هوب انجام گرفته و در شرایطی که میزان فعالیت‌های انسانی کم بوده است و در شرایط محیط خارجی با فعالیت‌ها پاسخ‌های نادرست دست پیدا می‌کرد. محققان بعد از سال ۲۰۱۲ جهت بهبود شاخص‌های آسایش حرارتی بیشتر تمرکز خود را بر ویژگی‌های بومی هر منطقه در اقلیم‌های مختلف قرار دادند. ژاکوب و همکاران (ژاکوب و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۴) اطلاعات اقلیمی را با ویژگی‌های محیطی به جهت بهبود شرایط اقلیمی اقیانوسی ترکیب کردند. گلاسی (گلاسی و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۶) شاخص جهانی دمای آب‌وهوا را در اقلیم مدیترانه‌ای بهبود بخشید. پیرلموتر و همکاران (پیرلموتر و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴) تحقیقاتی را در زمینه بهبود شرایط آسایش حرارتی خارجی در اقلیم خشک انجام داد.

**شاخص دمای معادل فیزیولوژیک<sup>۱۰</sup>:** این مدل بر اساس مدل سال ۱۹۹۰ تعادل انرژی مونیخ<sup>۱۱</sup> که از ترکیب دو مدل دو گره گیج<sup>۱۲</sup> و تعادل حرارتی بدن انسان<sup>۱۳</sup> ایجاد شده است و دمای هوا به‌عنوان تنها عامل رابطه بین دمای داخلی بدن و دمای پوست تحت شرایط پیچیده بیرونی و بدون در نظر گرفتن سرعت باد و رطوبت محاسبه می‌شود (هوب<sup>۱۴</sup>، ۱۹۹۹؛ لیباند و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۲۰؛ ژاو و همکاران<sup>۱۶</sup>، ۲۰۲۱). برای تعیین میزان و محدوده شرایط آسایش حرارتی محدوده‌ای از مقادیر تعیین می‌شود که در (جدول ۱) نشان داده شده است.

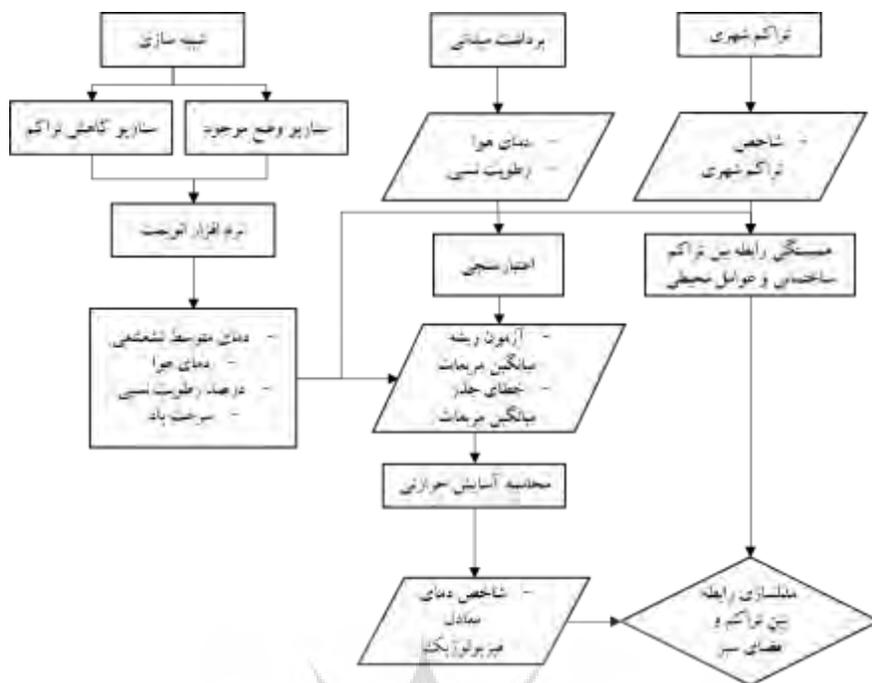
- 
- 1-Hoppe
  - 2-MEMI
  - 3-New Effective Temperature\* (ET\*)
  - 4-Horikoshi & Umemura
  - 5-Universal Thermal Climate Index (UTCI)
  - 6-Pickup & De dear
  - 7-Jacobs et al
  - 8-Golasi et al
  - 9-Pearlmutter et al
  - 10-PET indice
  - 11-Munich Energy Balance Model (MEMI)
  - 12-Gagge's two-node model
  - 13-Human Energy Balance Equation
  - 14-Hoppe
  - 15-Libanda et al
  - 16-Zhao et al

جدول ۱: دسته‌بندی شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (لیاندا و همکاران، ۲۰۲۰)

دسته‌بندی شاخص	ادراکات حرارتی	تنش فیزیولوژیکی
کمتر از ۴ درجه	خیلی سرد	تنش شدید سرما
۴-۸	سرد	تنش قوی سرما
۸-۱۳	خنک	تنش متوسط سرما
۱۳-۱۸	کمی خنک	تنش کم سرما
۱۸-۲۳	متعادل	بدون تنش حرارتی
۲۳-۲۹	کمی گرم	تنش کم گرما
۲۹-۳۵	گرم	تنش متوسط گرما
۳۵-۴۱	داغ	تنش قوی گرما
بیشتر از ۴۱	خیلی داغ	تنش شدید گرما

### روش شناسی

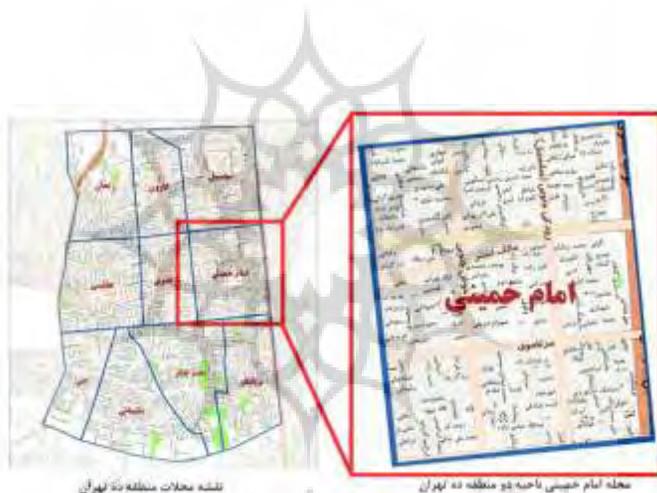
روش تحقیق پژوهش از نوع کمی است و در سه بخش کل تقسیم می‌شود این سه بخش شامل محاسبه و اندازه‌گیری تراکم شهری بر اساس شاخص تراکم شهری، برداشت میدانی عوامل اقلیمی به جهت اعتبارسنجی و نیز مقایسه با داده‌های شبیه‌سازی شده و نیز در بخش سوم شبیه‌سازی سناریوهای تعریف شده از طریق نرم‌افزار انویمت می‌باشد ولی به‌صورت کامل تر و جزئیات روند پژوهش شامل موارد ذیل است که در هر بخش توضیحات کامل تری ارائه گردیده است که در (شکل ۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: فلوچارت روش تحقیق

**محدوده مورد مطالعه:** شهر تهران قطب اقتصادی، سیاسی، تفریحی و مرکزی ایران است و بیشترین مهاجرین داخلی را به خود جذب می کند به همین علت جمعیت شهر از ۶ میلیون نفر در سال ۱۳۶۵ به بیش از ۸/۵ میلیون نفر در سال ۱۳۹۶ رسیده است (زنگنه و همکاران، ۲۰۲۰). به همین خاطر شاهد رشد شهرنشینی و گسترش شهری قابل توجهی شده است که منجر به مسائل زیست محیطی متعددی مانند آلودگی هوا، ترافیک سنگین و تقاضای بالای مصرف انرژی و همچنین تبدیل گسترش پوشش های طبیعی زمین و فضای سبز به ساختمان و سطوح دیگر که منجر به افزایش دمای شهر و تشکیل جزایر حرارتی با شدت بالا شده است (شهبازی و همکاران، ۲۰۱۰؛ شامحمدی و همکاران، ۲۰۲۰). در برخی از مناطق تهران به دلیل عدم توجه به سرانه پارک و فضاهای سبز، تراکم جمعیت و مسائل اقتصادی کیفیت زیست محیطی از بین رفته و شرایط آسایش و امنیت روانی ساکنین برهم خورده است. عمده ترین مشکلات زیست محیطی شهر تهران می توان به مواردی همچون؛ خشکی هوا، وجود گردوغبار و سروصدا، کمبود تهویه طبیعی و آلودگی هوا اشاره داشت، تخریب با توجه به این موضوعات شهر تهران نیاز به فضاهای سبز به عنوان ریه های تنفسی نیاز دارد اما در این شهر تنها ۱۰ درصد از کل مساحت شهر را فضای سبز تشکیل می دهد (زیاری و همکاران، ۱۳۹۱). طبق شاخص های اعلام شده از سوی سازمان ملل متحد سرانه فضای سبز برای هر نفر ۲۰ تا ۲۵ مترمربع است ولی در شهر تهران سرانه فضای سبز ۱۶/۴۳ است که نسبت به شاخص کمتر است و البته در تمام نقاط شهر تهران به دلیل تراکم های مختلف بخصوص در مناطق فرسوده مرکزی شهر این عدد به ۲/۶۴ نیز می رسد در بین مناطق ۲۲ گانه شهر تهران مناطقی مانند ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۸، ۷ و ۱۷ به دلیل بافت فشرده

و متراکم، کمبود فضای سبز و هزینه بالای تملک عرصه‌ها توسعه سرانه فضای سبز با مشکل مواجه است. در این بین منطقه ۱۰ از کمترین میزان و منطقه ۲۲ بیشترین سرانه فضای سبز را در بین مناطق تهران دارد (یزدانی، ۱۴۰۰). منطقه ده شهرداری تهران با ۸۱۷ هکتار مساحت کوچک‌ترین منطقه شهرداری تهران است که در جنوب غرب واقع شده است، از شمال به خیابان آزادی، در جنوب به خیابان قزوین، در شرق به خیابان شهیدان و در شرق به بزرگراه نواب در ارتباط است. از مهم‌ترین خیابان‌های این منطقه خیابان‌های جیحون، خوش، قصر اللدشت، کارون و رودکی است. منطقه ده با تراکم ناخالص جمعیتی حدود ۴۰۰ نفر در هر هکتار از پرتراکم‌ترین مناطق شهری تهران به حساب می‌آید، تراکم جمعیتی آن چهار برابر حد استاندارد و دو برابر میانگین تراکم شهر تهران است. این منطقه شامل سه ناحیه و ده محله است. شاخص سرانه فضای سبز شهر تهران در منطقه ده ۲/۶ مترمربع است. گذشته‌های دور این منطقه دارای نهر و باغ بوده است و نسبت سرانه فضای سبز نسبت به استاندارد و سایر مناطق تهران کمتر است (یزدانی، ۱۴۰۰) (شکل ۲) موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه را در شهر تهران نشان می‌دهد.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه ده در شهر تهران

**معرفی ابزار اندازه‌گیری:** ابزار مورد نظر جمع‌آوری داده در بخش اول شامل اطلاعات آب و هوایی اقلیمی چندین ساله شهر تهران از ایستگاه آب‌وهواشناسی است که در این پژوهش از اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی مهرآباد به دلیل نزدیکی به منطقه ده تهران انتخاب شده است و بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ برداشت شده مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور اعتبارسنجی<sup>۱</sup> نتایج حاصل از شبیه‌سازی<sup>۲</sup> نرم‌افزار انویمت<sup>۳</sup> به برداشت اطلاعات اقلیمی شامل دمای هوا<sup>۴</sup> و درصد رطوبت نسبی هوا<sup>۵</sup> نیازمند برداشت میدانی<sup>۶</sup> به مدت دو

1-Validation  
2-Simulation  
3-ENVI\_MET  
4-Air Temperature  
5-Relative Humidity  
6-Field Measurement

هفته کامل با استفاده از دیتالاگر<sup>۱</sup> های مربوطه است، دیتالاگرهای مورد استفاده در این پژوهش شامل: دستگاه دماسنج و رطوبت سنج هوبو می باشد که در (جدول ۲) آورده شده است.

جدول ۲: تجهیزات مورد استفاده در برداشت میدانی

ردیف	نام دستگاه	تعداد	عملکرد	دقت اندازه گیری
۱	هوبو ۱۴	۱	دمای تشعشعی و دمای هوا	بازه یک درجه سانتی گراد
۲	هوبو ۳	۱	رطوبت نسبی	بازه ۰/۲۱ تا ۵۰ درجه سانتی گراد

**برداشت میدانی:** محدوده مورد مطالعه در فصل بهار برداشت صورت گرفته است، سپس بعد از اندازه گیری داده های مورد نظر از طریق آزمون های آماری مربوطه ریشه میانگین مربعات<sup>۲</sup> و خطای جذر میانگین مربعات<sup>۳</sup> میزان اعتبار داده های حاصل از شبیه سازی سنجیده می گردد.

**اعتبارسنجی:** به منظور سنجش دقت و کیفیت ابزار مورد نظر اندازه گیری از جمله دیتالاگر و نتایج خروجی از نرم افزارهای تحلیل اقلیمی نیازمند پایایی و اعتبار سنجی و مقایسه نتایج با یکدیگر است که ضرورت انجام پژوهش حال حاضر است و در اکثر مقالات مشابه (جان و چاو<sup>۴</sup>، ۲۰۲۱؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۱؛ شارمین و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷؛ سوکا و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۸) استفاده از آزمون های ضریب تعیین یا ریشه میانگین مربعات و خطای جذر میانگین مربعات به دفعات از این شیوه استفاده شده است.

**شاخص تراکم شهری:** موضوع تراکم در سطح شهر در ابعاد مختلفی به لحاظ جمعیتی، ساختمانی و غیره مورد بررسی قرار گرفته است و در این مقاله تراکم ساختمان های شهر تهران در این محدوده ۶۰ درصد بوده است و بر اساس تعریف کراپ نسبت به محاسبه و سنجش شاخص تراکم شهری بر اساس دو پارامتر مساحت منطقه ساخته شده و مساحت کل منطقه مورد مطالعه اندازه گیری می شود، طبق معادله مساحت محدوده ساخته شده نسبت به مساحت کل به دست می آید که به صورت درصد بیان می گردد (کراپ و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۲۰).

**سناریوهای شبیه سازی:** سناریو در نظر گرفته شده برای شبیه سازی در این مقاله به دو صورت انجام گرفته است در سناریو اول وضع موجود ساختمان های محدوده مورد مطالعه شبیه سازی شده که به لحاظ ارتفاعی اکثر ساختمان ها ۵ طبقه بوده و طبق تراکم ساختمانی ۶۰ درصد

1-Data Logger  
2-R squared  
3-RMSE  
4-Chan & Chau  
5-Sharmin et al  
6-Tsoka et al  
7-Kropp et al

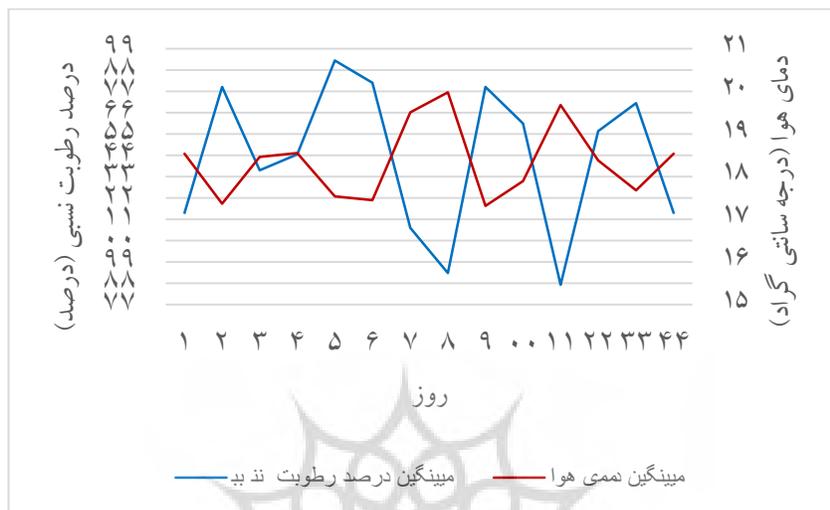
ساخته شده است و به لحاظ تراکم شهری در حدود ۸۰ درصد است و در سناریو دوم از میزان تراکم شهری به لحاظ ساخت و ساز ساختمان های موجود کاسته شده و فضای خالی بین ساختمان ها به پارک تبدیل شده است. مدل سازی سناریوهای مختلف شبیه سازی در نرم افزار انویمت باید هر چه دقیق تر و با جزئیات کامل تری صورت پذیرد تا بیانگر واقعیت باشد به عنوان نمونه باید در استفاده از گیاهان به ویژگی های هر گیاه در مدل توجه نمود تا بیشترین تأثیر را در خرده اقلیم متوجه شد (لیو و همکاران، ۲۰۲۱). در بحث شبیه سازی جهت تکمیل تجزیه و تحلیل صورت گرفته با نرم افزار انویمت باید از ابزارهای دیگری نیز به منظور تکمیل این موضوع استفاده کرد به عنوان نمونه ارائه رویکرد مختلف طرح کاشت جهت دستیابی به اهداف مختلف را ذکر کرد، همچنین توجه به تغییرات زمانی، فرآیند رشد و تغییرات فصلی فضای سبز در یک دوره طولانی و توجه به محدودیت های محیطی نیز ارزش توجه دارد (لیو و همکاران، ۲۰۲۱).

**محاسبه آسایش حرارتی:** شرایط آسایش حرارتی شهروندان در دو سناریو موردنظر در سه بازه زمانی صبح (۱۰ صبح)، ظهر (۳ بعد از ظهر) و شب (۱۲ شب) از طریق شاخص دمای فیزیولوژیک محاسبه و اندازه گیری شده است این سنجش برای کاربرانی عادی با میزان پوشش ۰/۹ و میزان فعالیت ۱ و سرعت باد ۱/۳۴ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است و محاسبه موردنظر در نرم افزار انویمت انجام گرفته است.

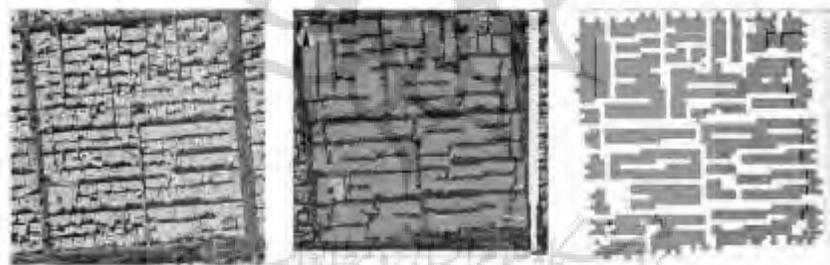
#### یافته ها

پژوهش صورت گرفته محله موردنظر در ناحیه دو منطقه ده شهرداری تهران نشان می دهد، شاخص تراکم شهری که وابسته به مجموع مساحت منطقه موردنظر ۸۱۳۳۱۰۲ مترمربع و مجموع مساحت فضای سبز ۸۴۲۴۲۵ است و سرانه فضای سبز به ترتیب برای نواحی یک تا سه، ۳/۳، ۱/۹ و ۲/۴۸ مترمربع به ازای هر نفر است که کمترین میزان سرانه فضای سبز برای ناحیه ۲ است و طبق شاخص تراکم شهری میزان تراکم منطقه ۷۲٪ است که بر اساس آمار شهرداری تهران این منطقه جزو مناطق پرتراکم با کمترین سرانه فضای سبز نسبت به حد استاندارد است. نتایج برداشت میدانی نیز نشان می دهد در طول دو هفته برداشت میانگین دمای هوا ۱۷-۲۰ درجه سانتی گراد و درصد رطوبت نسبی نیز در محدوده ۴۸-۵۹ درصد است که در (شکل ۳) آورده شده است. شبیه سازی منطقه مورد مطالعه از طریق نرم افزار انویمت نسخه ۵ است، در ابتدا سناریوهای خود را مشخص کرده و برای هر سناریو رویکرد خاصی برای مدل سازی در نظر گرفته شده است، به همین منظور روز ۱۲ مرداد ۱۴۰۲ به عنوان مبنای شبیه سازی در فصل تابستان به عنوان روز گرم انتخاب شده است، سناریوهای پیشنهادی در بخش روش تحقیق اشاره شده و در ادامه به توضیح و بحث در مورد نتایج هر کدام پرداخته می شود، برای شبیه سازی وضع موجود و سناریوهای موردنظر از اطلاعات آب و هوایی ایستگاه مهرآباد به دلیل نزدیکی به منطقه ۱۰ شهرداری تهران انتخاب شده است و

در بازه ۱۴ ساله از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ مورد استفاده قرار گرفته است. زمان شبیه‌سازی یک روز کامل از ساعت ۶ صبح به مدت ۲۴ ساعت است. محدوده مورد مطالعه که مشابه نواحی ساخته شده اطراف خود است در ابعاد ۳۰۰ در ۳۰۰ بوده است که به دلیل محدودیت نرم‌افزار انویمت ابعاد مورد نظر را در نرم‌افزار به ۵۰ در ۵۰ در ۲۰ تبدیل شده است (شکل ۴).



شکل ۳: نمودار اندازه‌گیری برداشت میدانی دما و رطوبت نسبی



شکل ۴: مدل‌سازی وضع موجود در نرم‌افزار انویمت

بر اساس اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی مهرآباد در تاریخ ۱۲ مرداد میزان دمای پتانسیل هوا بین ۳۸ الی ۶۰ درجه سانتی گراد است که اوج دما در حدود ساعت ۱۵-۱۶ بعد از ظهر به بیشترین میزان خود می‌رسد و شاهد کاهش دما در صبح و آخر شب ساعت ۱۲ شب است و این عدد به ۳۸ درجه سانتی گراد می‌رسد. سرعت باد نیز بین ۲ الی ۶ متر بر ثانیه گزارش شده است. در ساعت ۱۲ شب شدت تابش طول موج بلند به بیشترین میزان خود می‌رسد و کمترین در ساعات ابتدایی صبح است و بیشترین میزان شدت تابش نیز در حوالی ساعت ۱۲ ظهر است. بنابراین نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های صورت گرفته را در سه بازه زمانی صبح، ظهر و شب در ساعات ۱۰ صبح، ۱۵ بعد از ظهر و ۱۲ شب مورد بررسی قرار گرفته است همچنین چون موضوع اصلی پژوهش در مورد شرایط آسایش حرارتی افراد در خیابان و محله

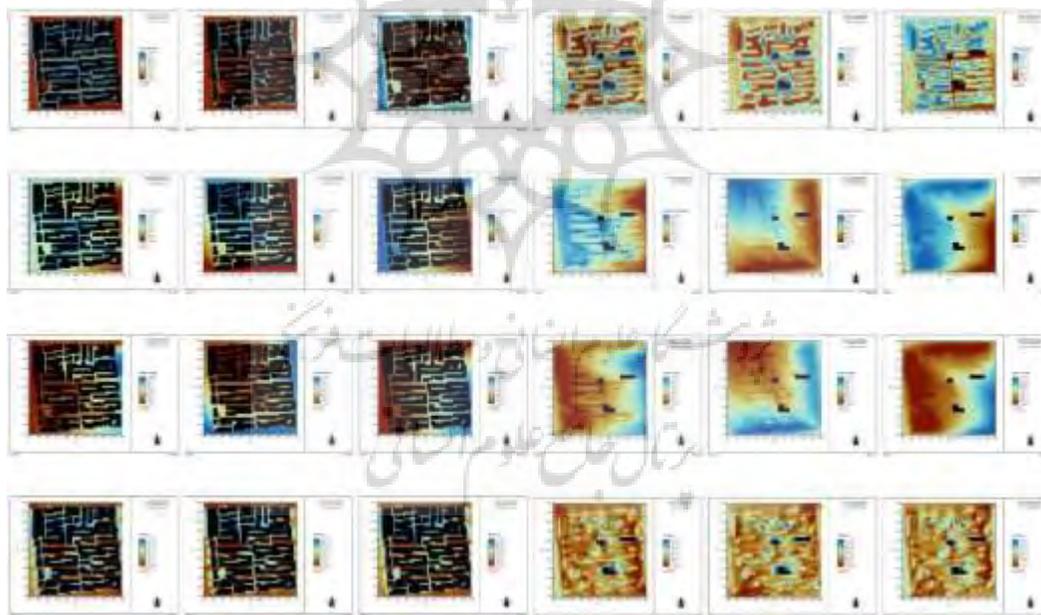
مذکور است ارتفاع در نظر گرفته شده برای خروجی موردنظر طبق پژوهش‌های قبلی ۱/۵۰ است. اعتبارسنجی و پایایی داده‌های حاصل از شبیه‌سازی نرم‌افزار انویمت از طریق دو آزمون ریشه میانگین مربعات و خطای جذر میانگین مربعات بر اساس داده‌های اقلیمی برداشت شده و نتایج پیش‌بینی شده صورت گرفته است و در نتیجه نشان می‌دهد ریشه میانگین مربعات ۰/۸۲ و خطای جذر میانگین مربعات ۲/۱۷ است که نشان از اعتبار و پایایی مناسبی برخوردار است و اطلاعات مستخرج از نرم‌افزار انویمت در ارتباط با داده‌های برداشت شده قابل اتکاست. مشخصات مدل‌سازی در نرم‌افزار انویمت نسخه ۵ شامل: محدوده مورد مطالعه، اقلیم، مدت شبیه‌سازی و سایر موارد دیگر را در جدول زیر نشان می‌دهد (جدول ۳).

جدول ۳. مشخصات مدل ساخته شده در نرم‌افزار انویمت نسخه ۵

ردیف	مشخصات	ویژگی
۱	محدوده مورد مطالعه	منطقه ده شهرداری تهران
۲	اقلیم	گرم و خشک
۳	مدت شبیه‌سازی	۲۴ ساعت
۴	زمان شروع	ساعت ۶ صبح
۵	دقت مدل‌سازی	۶۵۶۵۳ متر
۶	ابعاد محدوده مورد مطالعه	۳۰۰×۳۰۰×۶۰ متر
۷	اطلاعات اقلیمی	ایستگاه هواشناسی مهرآباد

نتایج حاصل از شبیه‌سازی وضع موجود نشان می‌دهد که دمای متوسط تشعشعی در بازه ۵۳/۶ - ۳۸/۲ درجه که این میزان در نزدیکی درختان و ساختمان‌ها به دلیل سایه‌اندازی کمتر بوده و در سایر مناطق بخصوص در زمین‌های بدون کاربری بیشتر بوده است در صبح و عصر این میزان به بالاترین حد خود رسیده و در شب شاهد کاهش بیشتر دما هستیم در مناطقی که بیشترین جذب را داشتند صورت پذیرفته است. بازه دمای هوا در این روز بین ۵۳/۵ - ۳۲ درجه سانتی‌گراد و در کوچه‌هایی که بن بست نیستند یا با فضای باز در ارتباط هستند دمای کمتری ثبت شده است، ساعت ۳ بعد از ظهر شاهد اوج دما به خصوص در نواحی شرقی و جنوبی ناحیه مورد مطالعه به دلیل جهت تابش خورشید است و در شب دمای هوا نسبت به روز دارای اختلاف در حدود ۴ درجه سانتی‌گراد است. درصد رطوبت نسبی هوا در وضعیت موجود در بازه ۴۰/۴۶ - ۵/۵۷ درصد است و که در ساعت اوج دمایی به حداقل رسیده و در صبح و شب این میزان افزایش یافته است و شاهد رطوبت مطلوبی در این محدوده نیز هستیم، بیشترین میزان رطوبت هوا در بخش‌های شمالی و غربی منطقه به ثبت رسیده و برعکس میزان دمای هوا منطقه موردنظر است. سرعت متوسط باد بین ۲/۵۷ - ۱/۵۶ متر بر ثانیه ثبت شده است طبق مشاهدات صورت گرفته در

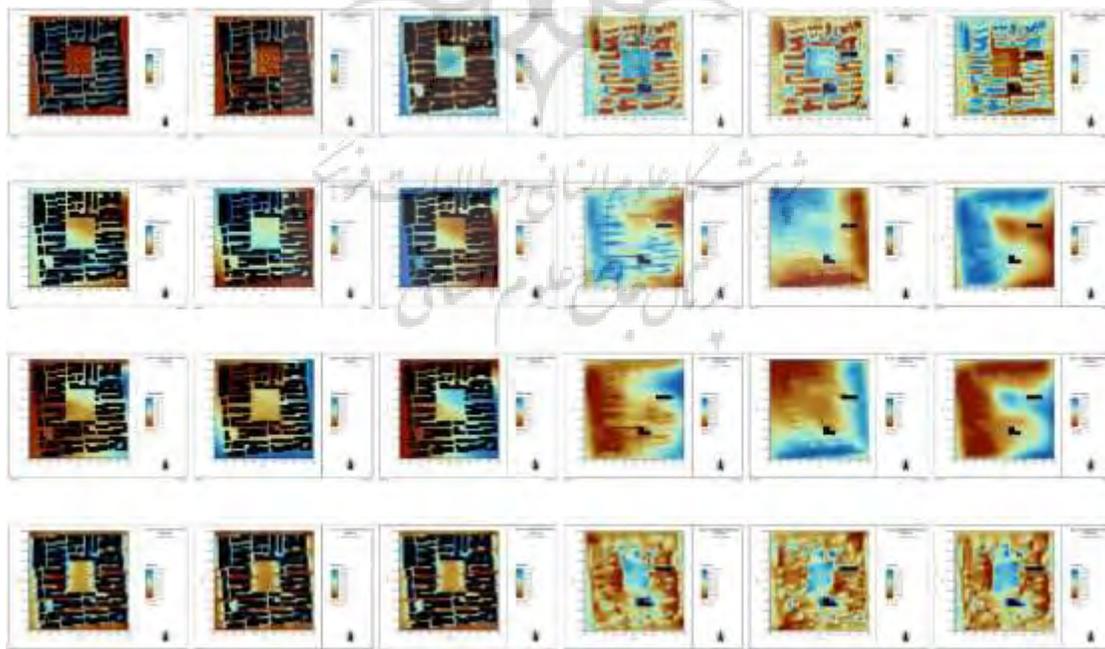
کوچه‌هایی که از دو سو باز بوده و با سایر نواحی در ارتباط هستند سرعت باد به بیشترین میزان خود رسیده است، سرعت باد در طول روز نسبت به شب بیشتر از دو متر بر ثانیه بوده و نیز در نواحی شمالی محدوده مورد مطالعه این میزان کاهش یافته است. علاوه بر این موضوع نتایج حاصل از دمای سطوح بام در ارتفاع ۱/۵ متری بالاتر نیز مورد بررسی قرار گرفت تا شرایط آب و هوایی در این نقطه را سنجیده شود دمای متوسط تشعشعی در ساعت ۱۰ صبح در بازه ۳۸-۵۸ درجه سانتی‌گراد، دمای هوا در این ساعت ۳۵-۳۸ درجه سانتی‌گراد، درصد رطوبت نسبی ۲۷-۴۶ درصد و سرعت باد ۱/۵-۵/۸ متر بر ثانیه است، بیشترین دمای متوسط تشعشعی در سطوح بام است. در ساعت ۳ بعد از ظهر دمای متوسط تشعشعی در بام به بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، دمای هوا نیز مشابه دمای متوسط تشعشعی، درصد رطوبت به کمترین میزان خود و در حدود ۵ درصد است و همچنین سرعت باد در این ساعت نیز مشابه صبح است. در شب دمای متوسط تشعشعی در حدود ۲۰ تا ۲۳ درجه و نسبت به موقعیت صبح و عصر کاهش بیشتری داشته و کمترین میزان این دما نیز در سطح بام نسبت به خیابان مشاهده می‌شود. دمای هوا در محدوده ۳۳ درجه و درصد رطوبت نسبی در حدود ۲۲ تا ۲۵ درصد، سرعت باد نیز در این منطقه بسیار کاهش یافت و در حدود ۳ متر بر ثانیه است (شکل ۵).



شکل ۵: شبیه‌سازی سناریو شماره یک در ارتفاع سطح بام و سطح شهروندان

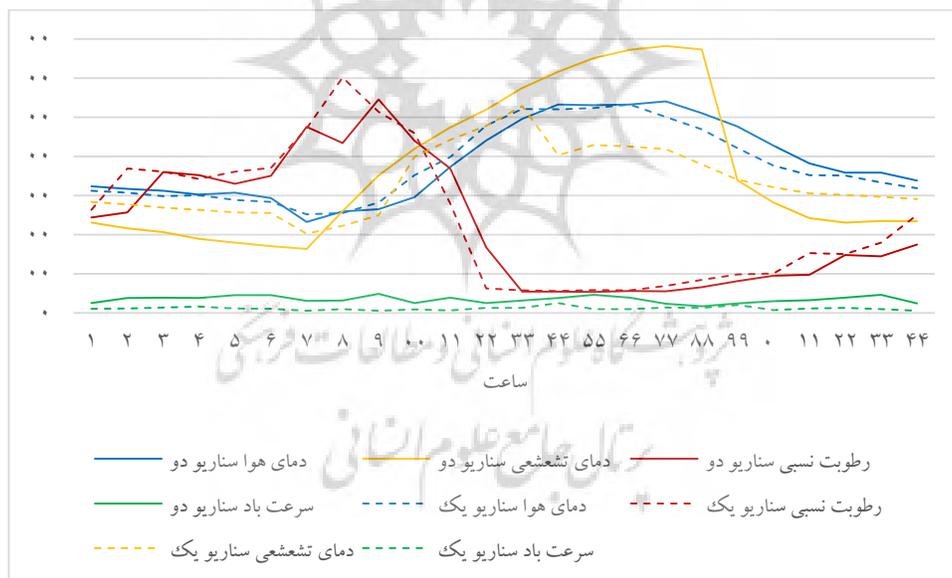
سناریو دوم از تراکم ساختمان‌ها به لحاظ ساخت و ساز کاسته شده و فضای خالی به پارک تبدیل گشته تا از این منظر شرایط خرد اقلیمی منطقه مورد مطالعه قرار گیرد. سطح پارک مورد نظر پوشیده از چمن و درختان استفاده شده است. دمای متوسط تشعشعی در ارتفاع سطح عابر پیاده در ساعت ۱۰ صبح در محدوده ۲۴-۴۶ درجه سانتی‌گراد، در ساعت ۳ بعد از ظهر در محدوده ۳۶-۶۲ درجه سانتی‌گراد و در

ساعت ۱۲ شب در محدوده ۲۸-۲۱ درجه سانتی گراد است و در ارتفاع ۱۶/۵۰ متر بالاتر از سطح زمین در ساعت ۱۰ صبح محدوده ۵۵-۳۹ درجه سانتی گراد، در ساعت ۳ بعدازظهر در محدوده ۷۳-۶۰ درجه سانتی گراد و در ساعت ۱۲ شب در محدوده ۲۳-۱۹ درجه سانتی گراد است. دمای هوا به ترتیب برای عابرین پیاده در ساعت ۱۰ صبح محدوده ۳۷-۳۵ درجه سانتی گراد، در ساعت ۳ بعدازظهر در محدوده ۵۳-۵۱ درجه سانتی گراد و در ساعت ۱۲ شب در محدوده ۳۲-۳۱ درجه سانتی گراد است و در سطح بام در ساعت ۱۰ صبح محدوده ۳۸-۳۷ درجه سانتی گراد، در ساعت ۳ بعدازظهر در محدوده ۵۲ درجه سانتی گراد و در ساعت ۱۲ شب در محدوده ۳۳-۳۱ درجه سانتی گراد است. درصد رطوبت نسبی در سطح زمین در ساعت ۱۰ صبح محدوده ۴۰-۳۴ درصد، در ساعت ۳ بعدازظهر در محدوده ۵-۶ درصد و در ساعت ۱۲ شب در محدوده ۲۵-۲۳ درصد است و در ارتفاع موردنظر در ساعت ۱۰ صبح محدوده ۳۵-۲۶ درصد، در ساعت ۳ بعدازظهر در محدوده ۵ درصد و در ساعت ۱۲ شب در محدوده ۲۵-۲۳ درصد است و در نهایت سرعت باد در محدوده سطح زمین در ساعت ۱۰ صبح محدوده ۵ متر بر ثانیه، در ساعت ۳ بعدازظهر در محدوده ۳ متر بر ثانیه و در ساعت ۱۲ شب در محدوده ۳-۱ متر بر ثانیه است و در ارتفاع مذکور در ساعت ۱۰ صبح محدوده ۵-۳ متر بر ثانیه، در ساعت ۳ بعدازظهر در محدوده ۵-۱/۷ متر بر ثانیه و در ساعت ۱۲ شب در محدوده ۳-۱ متر بر ثانیه است، که علت کاهش محسوس دما را در افزایش سطح پوشش گیاهی، افزایش تبخیر و تعرق و کاهش سطوح با ضریب آلبدوی بالا دانست (شکل ۶)، نتایج شبیه سازی دو سناریو در (شکل ۷) به صورت نمودار آورده شده است.



شکل ۶: شبیه سازی سناریو شماره دو در ارتفاع سطح بام و سطح شهروندان

شرایط آسایش حرارتی در وضعیت موجود طبق شاخص دمای تعادل سطح عابرین پیاده در ساعت ۱۰ صبح،  $43/68$  درجه سانتی گراد است، در ساعت ۱۵ بعدازظهر  $51/08$  درجه و در ساعت ۱۲ شب  $29/72$  درجه سانتی گراد است که نشان‌دهنده این موضوع است که محدوده مورد مطالعه شرایط گرم تا خیلی داغ است. در ارتفاع  $1/5$  متری از سطح بام طبق شاخص دمای تعادل در ساعت ۱۰ صبح به محدوده  $46$  درجه سانتی گراد، در ساعت ۳ بعدازظهر دمای سطح بام به  $55$  درجه می‌رسد و در ساعت ۱۲ شب شاخص دمای آسایش به محدوده  $29/6$  درجه سانتی گراد می‌رسد. در سناریو کاهش تراکم نیز از طریق افزایش فضای سبز و درختان بیشتر به بافت موجود شاخص دمای تعادل در سطح عابرین پیاده برای ساعت ۱۰ صبح  $40$  درجه سانتی گراد، در سطح بام  $42$  سانتی گراد در حالی که نسبت به بام ساختمان شاهد کاهش دما به میزان  $3$  درجه هستیم، شاخص دمای تعادل در سطح عابرین پیاده برای ساعت ۳ بعدازظهر درجه  $54$  سانتی گراد، در سطح بام نیز به همین میزان است. شاخص دمای تعادل در سطح عابرین پیاده برای ساعت ۱۲ شب  $30$  درجه سانتی گراد، در سطح بام  $31$  درجه سانتی گراد است، نتایج تحلیل نشان می‌دهد در روز گیاهان گرمای بیشتری را نسبت به ساختمان‌ها جذب کرده و ظرفیت حرارتی بالاتری دارند و در شب بیشتر دما را از دست داده‌اند.



شکل ۷: نتایج شبیه سازی نرم افزار انویمت در خصوص دو سناریو اول و دوم

## بحث و نتیجه گیری

بررسی و محاسبه شاخص تراکم شهری در منطقه ده شهرداری تهران نشان داد میزان تراکم به میزان  $72$  درصد است و این منطقه جزو یکی از مناطق شهر با میزان تراکم بالا است و رشد جمعیت و ساخت و ساز در این محدوده سبب کاهش فضاهای سبز در این ناحیه شده است، با

توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته از وضع موجود در نرم‌افزار انویمت در یک روز گرم سال شاهد افزایش دمای هوا و شدت دمای متوسط تشعشعی از سطوح ساختمانی است همچنین افزایش ساخت‌وساز و استفاده از مصالح ساختمانی و مصالحی همچون آسفالت خیابان‌ها در بافت شهری باعث پدید آمدن جزایر حرارتی و تغییر خرده اقلیم منطقه می‌شود. به‌عنوان راه‌حلی برای کاهش اثرات نامطلوب محیطی و بهبود شرایط آسایش حرارتی عابرین پیاده در محلات موردنظر سناریوی جایگزین وضع موجود گردید که هم باعث کاهش تراکم ساختمانی به لحاظ عرضی شود و نیز باعث افزایش فضاهاى باز و استفاده بیشتر از فضای سبز و ایجاد پارک در محله مذکور گردد، با مطالعه نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد درختان و گیاهان با افزایش تبخیر و تعرق و نیز افزایش سایه‌اندازی در روز و ساعات اوج تابش آفتاب و نیز به دلیل ظرفیت بالای حرارتی خود باعث جذب تشعشعات نامطلوب گردیده و دمای هوا را به میزان حدود ۴-۳ درجه سانتی‌گراد در طول شبانه‌روز کاهش داده است که این خود باعث افزایش کیفیت آب‌وهوای منطقه و نیز بهبود شرایط آسایش حرارتی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان می‌گردد. نکته‌ای دیگری که باید خاطر نشان کرد در کوچه‌هایی که بن‌بست نیستند نسبت به فضاهاى محصور از لحاظ دمایی و شرایط آسایش حرارتی به دلیل کوران و تهویه مطلوب هوا از شرایط بهتری برخوردار است همچنین علاوه بر این موضوع زمین‌های بایر و بدون سبزی‌نگی و بایر نسبت به محیط ساخته‌شده وضعیت حرارتی نامطلوبی را دارند در نتیجه می‌توان این‌گونه استنباط کرد که در محلاتی با تراکم بالا مشابه منطقه ده شهرداری تهران تجمیع بلوک‌های ساختمانی در بافت‌های فرسوده و تجمیع در بلوک‌های جدید با تعداد طبقات بیشتر و نیز کاهش تراکم در راستای طولی و افزایش تراکم در ارتفاع در ترکیب با فضای سبز باعث بهبود شرایط آسایش حرارتی، افزایش تبخیر و تعرق و به دنبال آن بهبود میزان رطوبت، افزایش سایه‌اندازی و کاهش مصرف انرژی می‌گردند و پدیده جزایر حرارتی در خرده اقلیم منطقه نیز کاسته می‌گردد (افلاکی و همکاران، ۲۰۱۷؛ ژباو و همکاران، ۲۰۱۸). رشد جمعیت و مهاجرت از مناطق روستایی به شهرها به دلیل وجود امکانات اقتصادی و رفاهی باعث افزایش ساختمان‌سازی و گسترش شهرسازی در شهرهایی همچون تهران گردید، این موضوع در سال‌های اخیر با رشد بی‌سابقه همراه بوده و زمین‌های کشاورزی و بایر به دلیل ارزانی تبدیل به کاربری‌های دیگر شده‌اند. فشارهای وارد آمده از این موضوع به زیرساخت‌های شهری باعث پدیدار شدن اثرات نامطلوب بر کیفیت هوای شهر و سطح شرایط آسایش حرارتی شهروندان گذاشته است و خود را به‌صورت پدیده جزیره حرارتی نشان می‌دهد که در پی آن شاهد افزایش مصرف انرژی هستیم اما مسئله‌ای که وجود دارد چگونگی تغییر بافت مناطق ساخته‌شده پرتراکم و افزایش سرانه فضای سبز است. مقاله حاضر به مدلسازی رابطه بین تراکم، فضای سبز و آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک شهر تهران از طریق مطالعه و بررسی منطقه

ده شهرداری به‌عنوان یکی از مناطق متراکم در این شهر می‌پردازد. شبیه‌سازی و تعریف سناریوی جایگزین طراحی از طریق کاهش تراکم طولی و افزایش سبزی‌نگی نشان داد با توجه به محدودیت‌های بافت موجود و نبود زمین‌های بایر کافی می‌توان به بهبود شرایط از طریق تغییر تراکم شهری از لحاظ رشد افقی به عمودی و ترکیب با فضای سبز به بهبود شرایط خرده اقلیم منطقه به میزان ۳-۴ درجه سانتی‌گراد و کاهش مصرف انرژی کمک کرد همچنین نتایج نشان داد هندسه مناسب شهری و توجه به مسئله تراکم در مناطق پرجمعیت با اقلیم گرم و خشک از جمله عوامل مهم در کنار مسئله سبزی‌نگی می‌باشند. پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده بهتر است در توجه به فرم ساختمانی و هندسه شهری در ترکیب با فضای سبز در اقلیم گرم و خشک پرداخت.

## منابع

- زیاری، ک. ا.، بیکی، ل. و، و پرنون، ز. (۱۳۹۱). تحلیلی بر بحران زیست محیطی و توزیع مکانی فضای سبز شهر تهران. مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، ۱۴.
- Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Omrany, H., Wang, Z.-H., & Akbari, H. (۱۱۱۷). Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, ۲۲, ۵۵۵-۱۱۱. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
- Akbari, H. (۲۰۰۹). Cooling our communities. A guidebook on tree planting and light-colored surfacing. doi:۰۰۳۲۲۲۹/۱۰۲۲۱۷۲
- Amani-Beni, M., Zhang, B., & Xu, J. (۲۰۱۸). Impact of urban park's tree, grass and waterbody on microclimate in hot summer days: A case study of Olympic Park in Beijing, China. *urban forestry & urban greening*, ۲۲, ۶۱. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.016>
- Begum, M. S., Bala, S. K., Islam, A., & Roy, D. (۱۱۱۱). Environmental and Social Dynamics of Urban Rooftop Agriculture (URTA) and Their Impacts on Microclimate Change. *Sustainability*, ۳۳(۶۶), ۹۰۵۳. doi:<https://doi.org/10.3390/su12169053>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (۲۰۱۰). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, ۷۷(۳), ۱۵۵-۲۷۷. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Brown, R., & Gillespie, T. (۱۹۸۶). Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model. *International Journal of Biometeorology*, ۰۰, ۲۲-۳۳. doi:<https://doi.org/10.1107/BF02192058>
- Chan, S. Y., & Chau, C. K. (۲۰۲۱). On the study of the effects of microclimate and park and surrounding building configuration on thermal comfort in urban parks. *Sustainable Cities and Society*, ۴۴, ۱۰۲۵۱۲. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102512>
- Chang, C.-R., & Li, M.-H. (۲۰۱۴). Effects of urban parks on the local urban thermal environment. *urban forestry & urban greening*, ۳۳(۴), ۱۱۱-۲۲۲. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.08.001>
- Chapman, S., Watson, J. E., Salazar, A., Thatcher, M., & McAlpine, C. A. (۲۰۱۷). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology*, ۲۲, ۱۹۳۵-۱۰۲۱. doi:[https://doi.org/10.1107/s1570-8888\(22\)-00000](https://doi.org/10.1107/s1570-8888(22)-00000)
- De Dear, R. J., & Brager, G. S. (۲۰۰۲). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard ۵۵. *Energy and Buildings*, ۴۴(۶), ۱۱۱-۵۴۹. doi:[https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00000](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00000)
- Golasi, I., Salata, F., de Lieto Vollaro, E., Coppi, M., & de Lieto Vollaro, A. (۲۰۲۲). Thermal perception in the mediterranean area: Comparing the mediterranean outdoor comfort index (moci) to other outdoor thermal comfort indices. *Energies*, (۷), ۰۰۰. doi:<https://doi.org/10.3390/en9070000>
- Höppe, P. (۱۹۹۹a). The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, ۳۳, ۵۵-۱۱. doi:<https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- Höppe, P. (۱۹۹۹b). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, ۳۳, ۵۵-۱۱. doi:<https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- Hunt, A., & Watkiss, P. (۲۰۱۱). Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature. *Climatic change*, ۴۴۴(۱), ۹۹-۳۳. doi:<https://doi.org/10.1107/s169975000010084>
- ISO. (۲۰۰۵). 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. In: ISO.
- Jacobs, S. J., Pezza, A. B., Barras, V., & Bye, J. (۲۰۱۴). A new 'bio-comfort' perspective for Melbourne based on heat stress, air pollution and pollen. *International Journal of Biometeorology*, ۵۸, ۲۷۵-۳۳۳. doi:<https://doi.org/10.1107/s169975000010084>
- Jendritzky, G., & Nübler, W. (۱۱۱۱). Model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Arch. Meteorol., Geophys. Bioklimatol., Ser. B;(Austria)*, ۹۹(.). doi:<https://doi.org/10.1107/BF0220308>
- Khare, V. R., Vajpai, A., & Gupta, D. (۲۰۲۰). A big picture of urban heat island mitigation strategies and recommendation for India. *Urban Climate*, ۷۷, ۱۰۰۸۴۵. doi:<https://doi.org/10.1107/j.uclim.2021.100845>

- Kotharkar, R., Ramesh, A., & Bagade, A. (۲۰۱۸). Urban heat island studies in South Asia: A critical review. *Urban Climate*, ۴۴, ۱۰۶-۱۰۱۱. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.006>
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (۲۰۱۹). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, ۶۶۱, ۵۳-۷۷۷. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Li, Y., Schubert, S., Kropp, J. P., & Rybski, D. (۲۰۲۰). On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. *Nature communications*, ۱۱(۱), ۲۶۴۷. doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-020-18467-7>
- Libanda, E., Nkolola, N. B., & Chilekana, N. (۲۰۲۰). Human thermal comfort and urban climate of Zambia's economic and political hub: a RayMan model study. *Modeling Earth Systems and Environment*, ۶, ۱۶۸-6666. doi:<https://doi.org/501128/5448081-078-000>
- Liu, Z., Cheng, W., Jim, C. Y., Morakinyo, T. E., Shi, Y., & Ng, E. (۲۰۱۸). Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures: A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V3. *Building and Environment*, ... , ۱۰۷۹۹. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.079>
- Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O. (۲۰۲۱). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and sustainable energy reviews*, ۱۱۰۱۱۱, ۱۰۵۰۰. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111111>
- Miguel, M., Hien, W. N., Marcel, I., Chung, H. D. J., Yueer, H., Zhonqi, Y., ... Son, N. N. (۲۰۲۰). A physically-based model of interactions between a building and its outdoor conditions at the urban microscale. *Energy and Buildings*, 444, ۱۱۰۷۸۸. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110788>
- Nadizadeh Shorabeh, S., Hamzeh, S., Zanganeh Shahrahi, S., Firozjaei, M. K., & Jokar Arsanjani, J. (۲۰۲۰). Modelling the intensity of surface urban heat island and predicting the emerging patterns: Landsat multi-temporal images and Tehran as case study. *International Journal of Remote Sensing*, ۱۱(۹۹), ۲۴۲۶-۲۴۴۰. doi:<https://doi.org/10.1080/0143116120201709841101108>
- Owusu, V., Bakang, J.-E. A., Abaidoo, R. C., & Kinane, M. L. (۲۰۱۲). Perception on untreated wastewater irrigation for vegetable production in Ghana. *Environment, development and sustainability*, ۱۴(۱), ۱۰۰-۱۳۰. doi:<https://doi.org/10.1007/s12220-011-9671-x>
- Pearlmuter, D., Jiao, D., & Garb, Y. (۲۰۱۹). The relationship between bioclimatic thermal stress and subjective thermal sensation in pedestrian spaces. *International Journal of Biometeorology*, ۵۵, ۲۱۲۷-۲۱۳۱. doi:<https://doi.org/10.1007/s00492-018-888-89248-x>
- Pei, X., Wu, J., Xue, J., Zhao, J., Liu, C., & Tian, Y. (۲۰۲۰). Assessment of cities' adaptation to climate change and its relationship with urbanization in China. *Sustainability*, ۱۲(۱۲), ۲۱۸۴. doi:<https://doi.org/10.3390/su12042184>
- Pickup, J., & de Dear, R. (۲۰۱۹). *An outdoor thermal comfort index (OUT\_SET\*)-part I-the model and its assumptions*. Paper presented at the Biometeorology and urban climatology at the turn of the millenium. Selected papers from the Conference ICB-ICUC.
- Pigliautile, I., Chàfer, M., Pisello, A. L., Pérez, G., & Cabeza, L. F. (۲۰۱۴). Inter-building assessment of urban heat island mitigation strategies: Field tests and numerical modelling in a simplified-geometry experimental set-up. *Renewable Energy*, 29, ۳۳۳۳-7189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.042>
- Rosso, F., Pisello, A. L., Cotana, F., & Ferrero, M. (۲۰۱۶). On the thermal and visual pedestrians' perception about cool natural stones for urban paving: A field survey in summer conditions. *Building and Environment*, ۷۷۷, 333-344. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.07.076>
- Santamouris, M. (۲۰۱۴). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*, ۱۱۲, 9۳-8۸۲. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.08.003>
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A., Abdullah, N., Tahir, M., Maulud, K., & Mohd-Nor, M. (۲۰۱۱). The link between urbanization and climatic factors: A concept on formation of urban heat island. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 3(۱), 88-92. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/11447000\\_The\\_Link\\_between\\_Urbanization\\_and\\_Climatic\\_Factors\\_A\\_Concept\\_on\\_Formation\\_of\\_Urban\\_Heat\\_Island](https://www.researchgate.net/publication/11447000_The_Link_between_Urbanization_and_Climatic_Factors_A_Concept_on_Formation_of_Urban_Heat_Island)
- Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M., & Bhattacharya, P. (۲۰۱۳). Assessing urban heat islands and thermal comfort in Noida City using geospatial technology. *Urban Climate*, ۲, 3۰۹۷-۳۰۹۸. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.12.001>
- Sharmin, T., Steemers, K., & Matzarakis, A. (۲۰۱۷). Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment. *Sustainable Cities and Society*, 77, ۸۸۸-۹۰۸. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.016>
- Standard, A. (۲۰۱۲). Thermal environmental conditions for human occupancy. In *ANSI/ASHRAE*, 44(Vol. 55).
- Tan, Z., Lau, K. K.-L., & Ng, E. (۲۰۱۶). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, ۱۲۴, ۴۴۴-۴۵۵. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.031>
- Tian, L., Li, Y., Lu, J. & Wang, J. (۱۹۹۹). Review on urban heat island in China: Methods, its impact on buildings energy demand and mitigation strategies. *Sustainability*, ۳۳(۷), ۲۲۲. doi:<https://doi.org/10.3390/su13072222>
- Tong, S., Wong, N. H., Tan, C. L., Jusuf, S. K., Ignatius, M., & Tan, E. (۲۰۱۷). Impact of urban morphology on microclimate and thermal comfort in northern China. *Solar energy*, ۱۵۰, ۳۳۳-۳۴۲. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.027>
- Torbati, S., Hoshiyarpour, A., Shahbazi, H., & Hosseini, V. (۲۰۲۰). Air pollution trends in Tehran and their anthropogenic drivers. *Atmospheric Pollution Research*, ۱۱(۳), ۲۲۲-۲۹۹. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.11.010>
- Trussell, B. (۲۰۰۰). *The Bid Rent Gradient Theory In Eugene, Oregon*.
- Tsoka, S., Tsikaloudaki, A. & Theodosiou, T. (۲۰۱۸). Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society*, 33, 76-90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>

- Umemura, S & ,Horikoshi, T. (۱۱۱). *Effect of thermal condition upon the human body in urban cavity spaces*. Paper presented at the Technical Papers of Annual Meeting the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan.
- Xiao, X. D., Dong, L., Yan ,H., Yang, N., & Xiong, Y. (۲۰۱۸). The influence of the spatial characteristics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park. *Sustainable Cities and Society*, ۰۰, ۴۳۹-۸۸۸. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.002>
- Xu ,X., Sun, S., Liu, W., García, E. H., He, L., Cai, Q., . . . Zhu, J. (۲۰۱۷). The cooling and energy saving effect of landscape design parameters of urban park in summer: A case of Beijing, China. *Energy and Buildings*, ۱۴۹, ۱۰۰-۱۱. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.052>
- Yan, H., Wu, F., & Dong, L. (۲۰۱۸). Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. *Science of the Total Environment*, ۲۲۲, ۱۱۱-۲۲۲. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.337>
- Zhao, Q., Lian, Z & ,Lai, D. (۱۱۱). Thermal comfort models and their developments: A review. *Energy and Built Environment*, ۲(۱), ۳۳-۱۱. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.05.007>

