Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Quantifying the Heat Mitigation Capacity of Green-Blue Infrastructures in the Metropolis of Tehran

Faeze Shoja [1] | **Salimeh Sadeghi**[2] | **Aliakbar Shamsipour** [3] | **Eduardo Gomes**

1. Postdoctoral in Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Teheran, Iran. **E-mail:** faeze.shoja@yahoo.com
2. Master's Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Teheran, Iran. **E-mail:** salimeh.sadeghi2018@gmail.com
3. Corresponding author, Associate Professor Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Teheran, Iran. **E-mail:** shamsipr@ut.ac.ir
4. Centre of Geographical Studies (CEG), Associate Laboratory TERRA, Institute of Geography and Spatial Planning (IGOT), University of Lisbon, 1600-276 Lisbon, Portugal. **E-mail:** eduardojonas@campus.ul.pt

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2024/03/22
Received in revised
2024/06/06
Accepted
2024/06/11
Published
2024/06/13
Published online
2025/09/23

Keywords:
CC index,
Ecosystem services,
Green covers,
Heat island,
LULC.

ABSTRACT

The aim of this research is to evaluate the heat mitigation index (HMI) in the Tehran metropolitan area using the Urban Cooling Model (UCM) approach in a spatial framework. UCM produces maps of the Heat Mitigation Index. This index estimates the cooling potential of urban green spaces in a given location, taking into account various parameters such as evapotranspiration, tree shading, albedo, rural reference air temperature, urban heat island intensity, air temperature maximum blending, and maximum cooling distance. The assessment of environmental factors influencing the UCM in the study area revealed that the urban heat island effect was least intense in regions 1, 22, and the northern parts of region 4 of Tehran municipality, where there are scattered trees, shrubs, open low-rise buildings, and water bodies. The temperature differences between the city and the suburbs ranged from 0 to 1.3 degrees Celsius. However, the study area's central parts showed the highest intensity of the urban heat island, particularly in regions 21, 13, and 14. These regions have a dense and compact texture and an expansion of impervious surfaces, resulting in the lowest values of the evapotranspiration index (ranging from 0.12 to 0.45) and albedo (ranging from 0.09 to 0.16). Based on these parameters, the study area's HMI index showed that the cooling capacity varies from 0.08 in the central parts of the city to 0.9 in areas affected by green spaces and water bodies. The maximum cooling capacity index is concentrated in areas with dense and scattered tree cover in the region. On average, these areas have been able to neutralise 2.48 degrees Celsius of the urban heat island effect with a cooling capacity of 63%. The methodology employed in this research can be used as a reference for urban designers in integrating urban cooling approaches and heat island mitigation strategies in urban planning and design.

Cite this article: Shoja, Faeze., Sadeghi, Salimeh., Shamsipour, Aliakbar., & Gomes, Eduardo (2025). Evaluating the Capacity of Green-Blue Infrastructures to Mitigate Heat in the Tehran Metropolis. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (78), 1-23. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.19

© The Author(s). Publisher: University of Kharazmi.
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.19

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Rapid urban growth often results in the transformation of open spaces, such as natural ground cover consisting of soil and vegetation, into artificial surfaces made of concrete, asphalt, and other impervious materials. This process inevitably leads to changes in the absorption and reflection of solar radiation and surface energy balance, which can cause significant differences in the urban-rural environment in terms of surface radiance and air temperature. Tehran has experienced a high rate of population growth in recent decades due to its socio-economic and political conditions. As a result, the city has been ranked as one of the fastest-growing cities in Asia in terms of annual population increase (Sharifi & Hosseingholizadeh, 2019). The demographic changes have resulted in an increased demand for urban amenities. This has led to the conversion of natural ground cover to impervious urban surfaces, exacerbating the urban heat island (UHI) effect. Given the crucial role of green-blue infrastructures in regulating ambient temperature and improving the quality of life in megacities, this research aims to evaluate and calculate the heat mitigation index. It provides a scientific framework for assessing the effectiveness of these land cover types in reducing heat and contributing to sustainable urban development in Tehran.

Material and Methods

The aim of this research was to measure and evaluate the heat mitigation capacity (HMI) within Tehran metropolis using the urban cooling model (UCM) in a spatial framework. The inputs of the UCM model include a land use/land cover (LULC) map, reference evapotranspiration, the study area landscape, and a table containing biophysical information. Additionally, several other parameters must be specified, including rural reference air temperature, urban heat island intensity, air temperature maximum blending, and maximum cooling distance. The UCM generates maps of the Heat Mitigation Index (HMI) that estimate the cooling capacity of urban green spaces in all LULC classes present in the study area, considering the cooling effect of urban parks. The UCM model aims to simulate the spatial distribution of UHI based on three key mechanisms: shading created by trees, evapotranspiration of urban vegetation, and surface albedo of the city (Bosch et al., 2021).

Results and Discussion

Land cover is the primary driver of changes in urban microclimate. Studies have consistently shown that the expansion of impervious surfaces is the main cause of UHI formation. Conversely, the development of green infrastructure, such as pervious surfaces, has a cooling effect on surrounding urban areas. The assessment

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

of the impact of environmental factors on UCM in the study area revealed that in regions 1, 22, and the northern parts of region 4 of Tehran municipality, where there is scattered trees, shrubs, open low-rise, and water bodies, the intensity of the urban heat island effect was at its lowest. The temperature difference between the city and the suburbs varied between 0 and 1.3 degrees Celsius. However, the highest intensity of the urban heat island was observed in the central parts of the study area, specifically in regions 21, 13, and 14, where there is a dense and compact texture and an expansion of impervious surfaces. These regions also had the lowest values of the evapotranspiration index (ranging from 0.12 to 0.45) and albedo (ranging from 0.09 to 0.16). Based on these parameters, the spatial distribution of the HMI index in the study area also showed that the cooling capacity ranged from 0.08 in the central parts of the city to 0.9 in areas affected by different green spaces and water bodies. The maximum cooling capacity index was concentrated in areas with dense and scattered tree cover in the region. These areas were able to neutralize an average of 2.48 degrees Celsius of the urban heat island effect, with a cooling capacity of 63%.

Conclusion

Given the increasing heat stress on urban environments due to climate change (Zawadzka et al., 2021), it is crucial to accurately assess the heat mitigation capacity of LULC. This research examines the role of physical and environmental factors that affect urban heat islands, including land cover, building volume, proximity to open spaces, and heat load. The study found that 50.71% of the area was covered by built-up spaces, which are characterized by high surface roughness, poor ventilation, and high environmental heat load. However, these areas do not have significant adjacency to large open spaces. Considering the variations in the parameters affecting UCM, the spatial pattern of the cooling capacity index indicated that the cooling capacity in the study area ranged from 0.08 in the central parts of the city with a dense and compact texture to 0.9 in areas influenced by different green spaces and water bodies. Notably, the maximum cooling capacity index was concentrated in areas with dense and scattered tree cover within the region. These areas, with a cooling capacity of 63% in the study area, were able to neutralize an average of 2.48 degrees Celsius of the urban heat island effect.

References

Sharifi, A., & Hosseingholizadeh, M. (2019). The effect of rapid population growth on urban expansion and destruction of green space in Tehran from 1972 to 2017. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 47* (6), 1063-1071.

Zawadzka, J. E., Harris, J. A., & Corstanje, R. (2021). Assessment of heat mitigation capacity of urban greenspaces with the use of InVEST urban cooling model, verified with day-time land surface temperature data. *Landscape and Urban Planning, 214*, 104163.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Bosch, M., Locatelli, M., Hamel, P., Remme, R. P., Chenal, J., & Joost, S. (2021). A spatially explicit approach to simulate urban heat mitigation with InVEST (v3. 8.0). *Geoscientific Model Development*, *14*(6), 3521-3537.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

کمی‌سازی ظرفیت تعدیل گرما تحت تأثیر چشم‌اندازهای سبز- آبی در کلان‌شهر تهران

فائزه شجاع[۱]، سلیمه صادقی[۲]، علی‌اکبر شمسی‌پور[۳] ✉، Eduardo Gomes [4]

۱. پست دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: faeze.shoja@yahoo.com
۲. کارشناس ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: salimeh.sadeghi2018@gmail.com
۳. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: shamsipr@ut.ac.ir

4 .Centre of Geographical Studies (CEG), Associate Laboratory TERRA, Institute of Geography and Spatial Planning (IGOT), University of Lisbon, 1600-276 Lisbon, Portugal. **E-mail:** eduardojonas@campus.ul.pt

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۱/۰۳
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۳/۱۷
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۳/۲۲
تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۰۳/۲۴
تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
پوشش‌های سبز، جزیره گرمایی، خدمات اکوسیستم، شاخص CC، LULC.

چکیده

پژوهش حاضر با هدف سنجش و ارزیابی ظرفیت تعدیل گرما (HMI) در محدوده کلان‌شهر تهران و با استفاده از رویکرد نوین مدل خنک‌کنندگی شهری (UCM) در یک بستر فضایی انجام شده است. UCM نقشه‌هایی از شاخص تعدیل گرما تولید می‌کند که ظرفیت سرمایش فضاهای سبز شهری را در تمام طبقه‌های کاربری اراضی در یک مکان و با در نظر گرفتن پارامترهای متعدد مانند تبخیر و تعرق، سایه ایجادشده توسط درختان، سپیدایی، دمای هوای حومه شهر، شدت اثر جزیره گرمای شهری، فاصله اختلاط هوا و حداکثر فاصله خنک‌کنندگی تخمین می‌زند. ارزیابی نقش متغیرهای محیطی مؤثر بر UCM در منظر موردمطالعه بیانگر این بود که در مناطق ۱ ، ۲۲ و بخش‌های شمالی منطقه ۴ شهرداری تهران با کاربری درختان تنک، درختچه و بوته‌زار، چیدمان‌های باز و کم ارتفاع و سطوح آبی، شدت اثر جزیره گرمایی به کمترین مقدار خود رسیده و اختلاف دمای بین شهر و حومه در بازه ۰ تا ۱/۳ درجه سلسیوس متغیر است؛ اما بیشینه شدت جزیره گرمای شهری در بخش‌های مرکزی منطقه مطالعاتی (مناطق ۲۱، ۱۳ و ۱۴) با بافت فشرده و متراکم و گسترش سطوح نفوذناپذیر مشاهده می‌گردد که حداقل مقادیر شاخص تبخیر و تعرق (۰/۱۲-۰/۴۵) و سپیدایی (۰/۰۹- ۰/۱۶) نیز در این نواحی متمرکز گردیده است. مبتنی بر این پارامترها توزیع مکانی شاخص HMI در چشم‌انداز موردبررسی نشان داد که ظرفیت خنک‌کنندگی در منطقه موردمطالعه از ۰/۰۸ در نواحی مرکزی شهر تا ۰/۹ در مناطق تحت‌تأثیر فضاهای سبز مختلف و همچنین بدنه‌های آبی متفاوت است. در واقع بیشینه شاخص ظرفیت خنک‌کنندگی در کاربری با پوشش درختان انبوه و پراکنده در منطقه متمرکز گردیده که این نواحی توانسته‌اند با ظرفیت ۶۳ درصدی خنک‌کنندگی، به‌طور متوسط ۲/۴۸ درجه سلسیوس از اثر جزیره گرمایی را خنثی نمایند. روش به‌کاررفته در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مرجعی برای طراحان شهری در ادغام رویکردهای خنک‌سازی شهری و راهبردهای کاهش جزیره گرمایی، در برنامه‌ریزی و طراحی مناطق شهری به کار گرفته شود.

استناد: شجاع، فائزه؛ صادقی، سلیمه؛ شمسی‌پور ، علی‌اکبر؛ و Gomes, Eduardo. (۱۴۰۴). کمی‌سازی ظرفیت تعدیل گرما تحت تأثیر چشم‌اندازهای سبز- آبی در کلان‌شهر تهران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۸)، ۲۳-۱.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.19

© نویسندگان.
ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

مقدمه

پدیده شهرنشینی در سراسر جهان به سرعت در حال شکل‌گیری و گسترش است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰، ۶۰ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری ساکن گردند. این در حالی است که ۴۳ کلان‌شهر به تنهایی، معادل ۸/۸ درصد از جمعیت جهان را در خود جای خواهند داد (وارکز و کاندا[1]، ۲۰۲۳). رشد سریع شهرها معمولاً موجب تبدیل فضاهای باز مانند پوشش طبیعی زمین (متشکل از خاک و پوشش گیاهی) به سطوح مصنوعی می‌شود که از بتن، آسفالت و سایر سطوح غیرقابل نفوذ تشکیل شده است. این فرآیند ناگزیر منجر به تغییراتی در جذب و بازتاب تابش خورشیدی و تعادل انرژی سطحی شده و زمینه تغییرات متضاد در محیط شهری- روستایی ازنظر درخشندگی سطح و دمای هوا فراهم می‌نماید. تفاوت ایجادشده در دمای هوای محیط بین مناطق شهری- روستایی پدیده‌ای به نام جزایر گرمای شهری (UHI[2]) را به وجود می‌آورد (ابولیبده[3]، ۲۰۲۱). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که در برخی شرایط شدت جزایر گرمای شهری بین ۲ تا ۱۵ درجه سلسیوس می‌باشد (افلاکی و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به اثر UHI، یک منطقه شهری امکان دارد به‌طور متوسط ۱-۶ درجه سلسیوس گرم‌تر از مناطق غیرشهری مجاور باشد (دیمودی[4] و همکاران، ۲۰۱۳). ازآنجایی‌که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، ۶۸ درصد از جمعیت ۹/۷ میلیاردی جهان در مناطق شهری ساکن شوند (ابوبکر و الشماری، ۲۰۲۳)، می‌توان انتظار داشت که UHI به یک چالش بزرگ در زندگی شهری آینده تبدیل شود. درحالی‌که مناطق شهری کمتر از ۳ درصد از سطح زمین را اشغال کرده‌اند، ۷۵ درصد از مصرف جهانی انرژی و حدود ۸۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهند (ژونگ[5] و همکاران، ۲۰۲۳).

محرک اصلی تغییرات در خرد اقلیم شهری، پوشش زمین است (هان و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات نشان می‌دهد که گسترش سطوح غیرقابل نفوذ علت اصلی UHI است (جیاناروس[6] و همکاران، ۲۰۱۸)؛ درعین‌حال، بوم‌شناسان شهری معتقدند که سطوح نفوذپذیر مانند پوشش‌های سبز یک اثر خنک‌کننده بر مناطق شهری اطراف اعمال می‌کنند (سیلوا و همکاران، ۲۰۱۸؛ عمران و همکاران، ۲۰۱۹). هرچند مطابق نظر ژوولا-آلویز[7] و همکاران (۲۰۱۶) اثر خنک‌کنندگی زیرساخت‌های سبز به نوع ساختمان، زمان روز و در مورد زیرساخت‌های آبی، به دمای آب بستگی دارد. در واقع کاهش دما و اندازه سطح خنک‌شده در محیط‌های با تراکم ساختمانی بالا بیشترین مقدار است. در همین راستا گریلو[8] و همکاران (۲۰۲۰) با مقایسه دما و رطوبت نسبی بین فضاهای سبز و سطوح غیرقابل نفوذ در فصول مختلف، به این نتیجه رسیدند که فضاهای سبز با مساحت‌های کوچک نیز قادر هستند خرد اقلیم را تنظیم کرده و موجب کاهش ۱-۳ درجه‌ای دما و افزایش ۲-۸ درصدی رطوبت گردند. وانگ و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند غنای گونه‌های درختی و پوشش تاج درختان همیشه سبز با بزرگی دامنه افت دما همبستگی مثبت دارند و قدرت تأثیر آن‌ها در فصل‌های مختلف متفاوت است. نتایج مطالعه سانوسی و جلیل[9] (۲۰۲۱) نیز حاکی از این بود که زیرساخت‌های آبی-سبز در مقایسه با فضاهای باز، با قابلیت کاهش دمای هوا تا ۱/۶ درجه سلسیوس، نقش بسیار مؤثری در ایجاد خرد اقلیم محلی دارند. از این جهت اثرگذاری درختان، به دلیل کاهش قابل‌توجه دمای هوا و جذب تشعشع خورشیدی (به ترتیب ۰/۷۱ درجه سلسیوس و ۲۵۰/۳ وات بر مترمربع) و همچنین رطوبت نسبی بالاتر (۱۲/۱۷ درصد)، نسبت به زیرساخت آبی بیشتر است. مطابق پژوهش بوش[10] و همکاران (۲۰۲۱) الگوی فضایی تاج درخت به‌شدت بر قرار گرفتن انسان در معرض دماهای بالا تأثیر می‌گذارد و افزایش

1. Varquez & Kanda
2. Urban Heat-Island
3. Abulibdeh
4. Dimoudi
5. Zhong
6. Giannaros
7. Žuvela-Aloise
8. Grilo
9. Sanusi & Jalil
10. Bosch

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

اندک در فراوانی تاج درخت با پیکربندی فضایی مناسب می‌تواند تأثیرات عمده‌ای بر سلامت و رفاه انسان داشته باشد. آیکلمن[11] و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان دادند که افزایش ۴/۵ درصدی پوشش تاج درخت منجر به کاهش دما به میزان ۲/۴ درجه فارنهایت در برخی مناطق گردیده است. کومار و همکاران (۲۰۲۴) در یک مطالعه گسترده با بررسی ۵۱ نوع زیرساخت مختلف سبز-آبی طبقه‌بندی شده در ۱۰ بخش، به این نتیجه رسیدند که بیشترین کارایی خنک‌کنندگی هوا مربوط به باغ‌های گیاه‌شناسی (۵ ± ۳/۵ درجه سلسیوس)، تالاب‌ها (۴/۹ ± ۳/۲ درجه سلسیوس)، دیوارهای سبز (۴/۱ ± ۴/۲ درجه سلسیوس)، درختان خیابان (۳/۸ ± ۳/۱ درجه سلسیوس) و بالکن‌های سبز (۳/۸ ± ۲/۷ درجه سلسیوس) است. جمالی و خالدی (۱۴۰۰) با سنجش تغییرات دمای هوا، دمای سطح زمین و تغییرات پوشش گیاهی در سه دهه اخیر (۲۰۱۷-۱۹۸۸)، پایداری محیط‌زیست شهر تهران را در برابر گرمایش جهانی مورد واکاوی قرار دادند. نتایج این پژوهش حاکی از این بود که با توسعه سریع و رشد ساخت‌وسازها در کلان‌شهر تهران، وسعت پوشش گیاهی تا ۶/۸ درصد کاهش یافته که خود موجب افزایش میانگین دمای سطح زمین تا ۲/۶ درجه سلسیوس گردیده است. با توجه به مطالعه احمدی و همکاران (۱۴۰۱) تغییر در افزایش محدوده‌ی ساخته شده‌ی شهر قائن در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۷ باعث افزایش مخاطرات محیطی از جمله از بین رفتن زمین‌های کشاورزی مرغوب و همچنین افزایش روند دمایی و شکل‌گیری جزایر گرمایی در شهر شده است. رضایی قلعه و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی رابطه زیرساخت سبز-آبی و کاهش آسیب‌پذیری سلامت در برابر گرمای شدید به این نتیجه دست یافتند که رابطه معکوس معنی‌داری بین سرانه پوشش‌های سبز در شهر قزوین با تعداد تماس‌های اورژانس در بیماری‌های قلبی- عروقی، سکته مغزی و بیماری‌های تنفسی وجود دارد. فربودی و زمانی (۱۴۰۱) نیز که نقش افزایش سبزینگی و سطوح نفوذپذیر را در کاهش اثر جزایر گرمای شهری در کلان‌شهر تهران ارزیابی کردند، نشان دادند که کاربری درخت، آب، چمن، مصالح نفوذپذیر و بام سبز قابلیت کاهش دما تا ۴ درجه سلسیوس و افزایش رطوبت نسبی به میزان ۱۰ درصد همچنین کاهش غلظت دی‌اکسید کربن و سرعت باد را دارد.

ارزیابی‌های بیوفیزیکی ظرفیت کاهش گرمای پوشش گیاهی را می‌توان از طریق اندازه‌گیری دمای هوا، تجزیه‌وتحلیل تصاویر سنجش‌ازدور دمای سطح زمین یا شبیه‌سازی‌های محیط گرمای شهری انجام داد. این رویکردها نیازمند تخصص علمی عمیق هستند که به‌ندرت در بسیاری از بخش‌های برنامه‌ریزی در دسترس است (نورتون[12] و همکاران، ۲۰۱۵؛ بروانی[13] و همکاران، ۲۰۲۰). مدل خنک‌کنندگی شهری (UCM[14])، نمونه‌ای از یک مدل توسعه‌یافته‌ی جدید است که به ارزیابی ساده ظرفیت کاهش گرمای پوشش گیاهی اختصاص داده شده است. UCM از ابزارهای موجود در مجموعه مدل‌سازی خدمات اکوسیستم به نام InVEST (ارزیابی یکپارچه خدمات اکوسیستم و مبادلات) می‌باشد که پتانسیل پر کردن این شکاف را دارد (شارپ و همکاران، ۲۰۲۰).

شهر تهران با توجه به شرایط اجتماعی- اقتصادی و سیاسی در دهه‌های اخیر نرخ بالایی از افزایش جمعیت را تجربه کرده است که باعث شده این شهر به‌عنوان یکی از شهرهای با بیشترین رشد سالانه جمعیت در آسیا معرفی شود (شریفی و حسین‌قلی‌زاده، ۲۰۱۹). این تغییرات جمعیتی با افزایش تقاضا برای امکانات شهری همراه بوده و منجر به تبدیل گسترده پوشش طبیعی زمین به سطوح غیرقابل نفوذ شهری و تشدید UHI شده است. UHI بر بیوفنولوژی شهری و فرآیندهای اکولوژیکی اثرات منفی متعددی دارد. همچنین منجر به ناهنجاری‌های اقلیمی شهری می‌گردد که مصرف انرژی و آب را افزایش داده و بر گردش جوی نزدیک به لایه‌مرزی هوا تأثیر می‌گذارد. در میان همه تأثیراتی که اثر جزیره گرمایی می‌تواند بر شهرها داشته باشد، اقلیم شهری با خطرات سلامتی و کیفیت زندگی ساکنان ارتباط تنگاتنگی دارد (لی و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به نقش حیاتی زیرساخت‌های سبز-آبی در تنظیم دمای محیط و ارتقای کیفیت زندگی در کلان‌شهرها،

[11]. Eichelmann
[12]. Norton
[13]. Bherwani
[14]. Urban Cooling Model

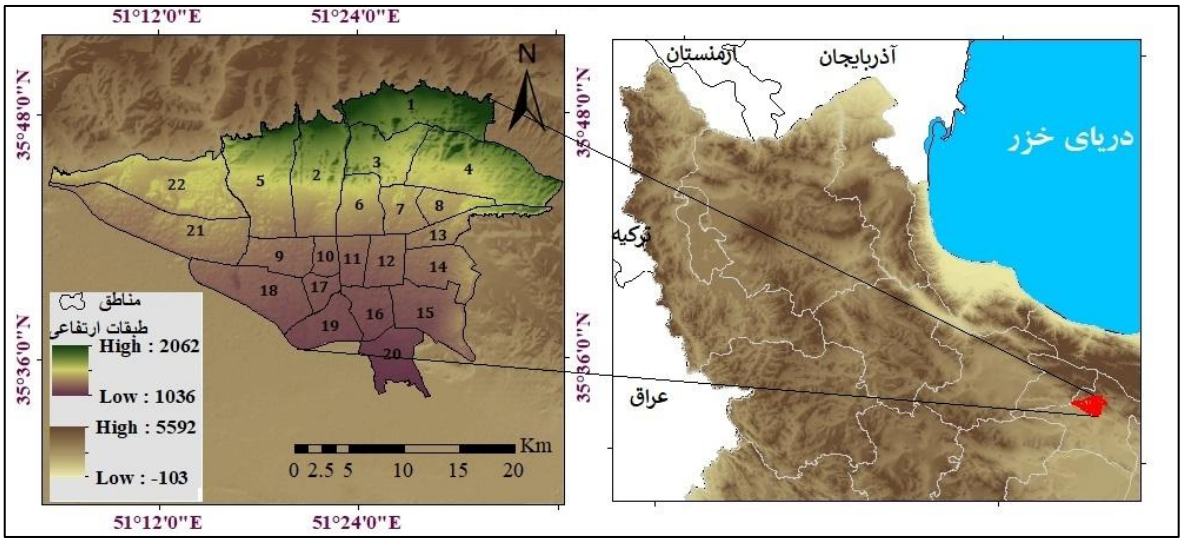
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

هدف پژوهش حاضر ارزیابی و محاسبه شاخص تعدیل گرما همچنین ارائه چارچوبی علمی برای سنجش اثربخشی این نوع کاربری‌ها در کاهش گرما و به‌تبع آن، کمک به توسعه پایدار شهری در کلان‌شهر تهران است.

روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه

کلان‌شهر تهران با مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومترمربع، در محدوده جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی، در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز و حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران، در دشتی نسبتاً هموار واقع شده است شکل (۱). این مسئله تأثیر زیادی در شکل‌گیری اقلیم نیمه‌خشک آن دارد. دامنه ارتفاعی بالا بین ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا، موجب ایجاد دماهای سالانه بسیار متنوعی گردیده که در جولای به ۴۲ درجه سلسیوس می‌رسد. مطالعات اخیر حاکی از آن است که متوسط دمای تهران از ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ روند افزایشی مداوم داشته (شجاع و شمسی‌پور، ۱۴۰۲؛ صادقی و همکاران، ۱۴۰۲) و تغییرات قابل‌توجه نرخ این افزایش نسبت به ایستگاه‌های اطراف نشان‌دهنده‌ی آزاد شدن انرژی گرمایی بیشتر در داخل شهر نسبت به حومه‌ی آن می‌باشد. توسعه شهری شتاب‌یافته و فقدان برنامه‌ریزی مناسب نیز تأثیرات مهمی روی محیط گرمایی شهر بر جای گذاشته است (صادقی‌نیا و همکاران،۱۳۹۲) که این مسئله طی سال‌های اخیر با تغییر کاربری اراضی از سطوح طبیعی به سازه‌های جدید و متراکم و همچنین گسترش شهر تهران در نتیجه مهاجرت قابل‌توجه جمعیت، تشدید گردیده است.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

داده و روش کار

ورودی‌های مدل سرمایش شهری InVEST شامل نقشه کاربری اراضی/پوشش زمین (لایه رستر)، تبخیر و تعرق مرجع (لایه رستر)، منظر موردمطالعه (لایه بردار) و جدولی حاوی اطلاعات زیست فیزیکی است. علاوه بر این، چندین پارامتر دیگر ازجمله دمای هوای مرجع، شدت اثر جزیره گرمای شهری، فاصله اختلاط هوا و حداکثر فاصله خنک‌کنندگی باید مشخص شوند که در ادامه پارامترهای ذکرشده تشریح می‌گردد:

- کاربری اراضی/پوشش زمین (LULC[15]): LULC مهم‌ترین ورودی مدل‌های مختلف InVEST محسوب می‌شود. از آنجایی‌که شکل شهرها تأثیر بسزایی بر اقلیم محلی آن‌ها دارد، استخراج نقشه پوشش اراضی منطقه مطالعاتی مبتنی

[15]. land use/land cover

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

بر ویژگی‌های میکرو اقلیمی زون‌های اقلیم محلی (LCZ[۱۶]) صورت گرفت شکل (۲). LCZ یک استاندارد سنجش داده در طبقه‌بندی اشکال شهری است که به درک تغییرپذیری دمای هوا درون شهر کمک می‌کند و به‌عنوان یک معیار استاندارد برای توصیف مورفولوژی‌های مختلف شهری به کار می‌رود (استوارت و اوک[۱۷]، ۲۰۱۲). مزیت اصلی سیستم LCZ در مقایسه با سایر روش‌های طبقه‌بندی پوشش اراضی، در نظر گرفتن جزئیات مورفولوژی شهری است. استوارت و اوک (۲۰۱۲) زون‌های اقلیم محلی را به ۱۷ نوع طبقه‌بندی می‌کنند که ۱۰ طبقه به انواع نواحی ساخته‌شده و ۷ طبقه به پوشش‌های طبیعی زمین اختصاص دارد.

- تبخیر و تعرق مرجع (ET0): این شاخص مقدار آب تبخیر شده از سطح زمین به هوا را در یک دوره معین اندازه‌گیری می‌کند که عموماً به‌عنوان عمق آب به میلی‌متر در واحد زمانی بیان می‌شود. در مطالعه حاضر، میانگین سالانه تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله پنمن-مونتیث تعریف شده توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) (رابطه ۱) و بر اساس داده‌های اقلیمی سالانه ۴ ایستگاه همدید مهرآباد، چیتگر، شمیرانات و ژئوفیزیک برای یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۰) محاسبه شد و توزیع فضایی آن با استفاده از روش درون‌یابی معکوس وزنی فاصله (IDW) به دست آمد.

رابطه (۱)

$$ET0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

در این رابطه ET0 معرف تبخیر – تعرق مرجع (برحسب میلی‌متر بر روز)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع در روز)، G شار گرمای خاک (مگاژول بر مترمربع در روز)، T میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری (درجه سلسیوس)، U_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، e_s فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a فشار بخار واقعی هوا (کیلوپاسکال)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) و γ ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) می‌باشد.

- جدول زیست فیزیکی: این جدول حاوی داده‌هایی در مورد سایه، ضریب محصول (Kc)، (که برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی استفاده می‌شود) و سپیدایی برای هر یک از LULC های موردمطالعه است. مقادیر سایه، Kc و سپیدایی بین ۰ و ۱ قرار دارند. در عمل، محدوده Kc را می‌توان به ۰-۱/۵ نیز افزایش داد. چنانچه سایه درختان بالای ۲ متر باشد، مقدار ۱ به آن اختصاص داده می‌شود و اگر زیر ۲ متر باشد صفر تعلق می‌گیرد. ضرایب Kc و سپیدایی با توجه به پارامترهای توصیه شده توسط زاوادزکا[۱۸] و همکاران (۲۰۲۱) و بوش و همکاران (۲۰۲۱) تعیین گردید. در مدل UCM فضای سبز با مقادیر ۰ و ۱ مشخص می‌شود که ۰ نشان‌دهنده عدم محاسبه طبقه LULC به‌عنوان فضای سبز و ۱ نشان‌دهنده صلاحیت طبقه به‌عنوان فضای سبز (مساحت >۲ هکتار) با خنک‌کنندگی اضافی است. در این تحقیق، علاوه بر فضای سبز، به سطوح آبی نیز به علت اثر خنک‌کنندگی تبخیر از سطح آب، مقدار ۱ اختصاص داده شد.
- دمای هوای مرجع (T_{ref}): دمای هوای پایه در مناطق روستایی (حومه شهر) برای دوره موردنظر است. فاصله اختلاط هوا (d_{air}) شعاع جستجو (برحسب متر) است که برای در نظر گرفتن اختلاط هوا در مناطق شهری اعمال می‌شود. این پارامتر برای حل دینامیک باد در مناطق کوچک به مدل اضافه شده است. مدل برای این پارامتر محدوده اولیه مقادیری از ۵۰۰ تا ۶۰۰ متر را توصیه می‌کند (شاتز و کوچاریک[۱۹]، ۲۰۱۴؛ لونزدورف[۲۰] و همکاران، ۲۰۲۱). حداکثر فاصله خنک‌کنندگی (d_{cool}) (برحسب متر) فاصله‌ای است که در آن پارک‌های بزرگ شهری یا مناطق سبز

16. Local climate zones
17. Stewart & Oke
18. Zawadzka
19. Schatz & Kucharik
20. Lonsdorf

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

(بیش از ۲ هکتار) اثرات خنک‌کننده ایجاد می‌کنند. این اثرات با دور شدن از فضاهای سبز کاهش می‌یابد. مدل برای این پارامتر تخمینی برابر با ۴۵۰ متر به دلیل عدم وجود مطالعات محلی توصیه می‌کند (هو[۲۱] و همکاران، ۲۰۲۳).

مدل ظرفیت خنک‌کنندگی (CC[۲۲])

UCM نقشه‌هایی از شاخص تعدیل گرما (HMI[۲۳]) تولید می‌کند که ظرفیت سرمایش فضاهای سبز شهری را در تمام طبقه‌های LULC موجود در منطقه موردمطالعه با در نظر گرفتن میزان خنک‌سازی پارک‌های شهری تخمین می‌زند. هدف از مدل UCM شبیه‌سازی توزیع فضایی UHI ها بر اساس سه سازوکار کلیدی، یعنی سایه ایجادشده توسط درختان، تبخیر و تعرق پوشش گیاهی شهری و سپیدایی سطح شهر است (بوش و همکاران، ۲۰۲۱)؛ بنابراین مدل به‌صراحت مکانیزم‌های بیوفیزیکی شکل‌گیری اثر جزیره گرمایی را نشان می‌دهد. از طرف دیگر یک رویکرد مشخص فضایی ارائه می‌کند که پس از کالیبره و اعتبارسنجی برای یک شهر خاص، می‌تواند به‌منظور ارزیابی تأثیرات در سناریوهای مختلف شهری، پیاده‌سازی شود. به‌عبارت‌دیگر، این روش به طراحی راه‌حل‌هایی در مقیاس شهری کمک کرده و به‌عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای بررسی تجارت اکوسیستمی قابل‌استفاده می‌باشد (هو و همکاران، ۲۰۲۳).

ماژول خنک‌کنندگی شهری InVEST دمای هوا را قبل از اختلاط (T_{nomix}، برحسب درجه سلسیوس) برای هر پیکسل به‌عنوان تابعی از دمای هوای مرجع حومه شهر (T_{ref}) که توسط ضریب حرارت محلی اصلاح شده است، محاسبه می‌کند. عامل گرمای محلی به‌صورت حداکثر شدت جزیره گرمای شهری ($UHI_{\max}$) تعدیل‌شده توسط کاهش گرمای محلی (HM) بیان می‌شود، به‌گونه‌ای که برای یک پیکسل معین i براساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$T_{\text{nomix}}(i) = T_{\text{ref}} + (1 - HM(i)) \times UHI_{\max} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در حالی که این دما اختلاط ناشی از تلاطم جوی را در نظر نمی‌گیرد، دمای واقعی هوا، T_{air}، با استفاده از یک الگوریتم میانگین متحرک فضایی با شعاع جستجو r_{mix} از T_{nomix} برآورد می‌شود. این شعاع با توجه به اختلاط جانبی ناشی از تلاطم جوی با زمان تغییر می‌کند.

میزان کاهش گرما نسبت به $UHI_{\max}$، با مقادیری بین ۰ تا ۱، از میزان ظرفیت خنک‌سازی (CC) نوع پوشش زمین در یک پیکسل معین و نزدیکی به پارک‌های بزرگ به دست می‌آید. با پیروی از رویکرد پیشنهادی دیگر محققین (زاردو و همکاران، ۲۰۱۷؛ کوناپو و همکاران، ۲۰۱۸)، ظرفیت خنک‌سازی در طول روز به‌عنوان تابعی از سایه، تبخیر و تعرق و سپیدایی بیان می‌شود:

$$CC(i) = W_S \cdot S(i) + W_A \cdot A(i) + W_E \cdot E(i), \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن $S(i)$، $A(i)$ و $E(i)$ شاخص‌های بدون واحدی هستند که از ۰ تا ۱ متغیر بوده و به ترتیب ویژگی‌های سایه، سپیدایی و تبخیر و تعرق را در پیکسل i مشخص می‌کنند. هر یک از این شاخص‌ها با ضریبی ($W_A, W_S W_E$,) که در سراسر منطقه مطالعه ثابت است، وزن‌دهی می‌شوند. S نمایانگر نسبت سایه برای یک نوع پوشش خاص زمین است، به‌عنوان مثال، ۱ برای زمین کاملاً پوشیده شده توسط تاج پوشش درختان و ۰ برای زمین‌های برهنه اعمال می‌شود. A مقدار سپیدایی است و E براساس تبخیر و تعرق مرجع و ضریب گیاهی (Kc، بدون واحد) برای نوع پوشش زمین محاسبه می‌شود و سپس بر اساس حداکثر مقدار تبخیر و تعرق مرجع در منطقه موردنظر با توجه به رابطه (۴) نرمال می‌گردد:

[21].Hu

[22]. Cooling Capacity

[23]. Heat Mitigation Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

رابطه (۴)
$$E(i) = \frac{K_c(i) \cdot ET_0(i)}{\max(ET_0)}$$

در مورد دمای شبانه، مدل ظرفیت خنک‌سازی را به‌عنوان مکمل تراکم ساختمان محاسبه می‌کند. تراکم ساختمان شاخصی است که نشان‌دهنده تراکم شهری بوده و با ظرفیت ذخیره گرما ارتباط زیادی دارد (ونگ[24] و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهش حاضر ارزیابی شاخص HMI باتوجه به شرایط روز انجام گرفت.

برای در نظر گرفتن اثر پارک‌های بزرگ (<۲ هکتار) در هر دو زمان شب و روز، عامل کاهش گرما HM برابر است با میانگین وزنی فاصله مقادیر CC از مناطق اطراف (CCpark). الگوریتم این میانگین وزنی برای یک پیکسل i به شرح زیر است:

رابطه (۵- الف)
$$GA(i) = \text{area} \cdot \sum_{j \in \text{c}(\text{d}_{\text{cool}})} g(j)$$

رابطه (۵- ب)
$$CC_{\text{park}}(i) = \sum_{j \in (i)} g(j) \cdot CC_j \cdot \exp(-d(i,j)/d_{\text{cool}})$$

رابطه (۵- ج)
$$HM_i = \begin{cases} CC_i \text{ if } CC_i \geq CC_{\text{park}\,i} \vee GA_i < 2ha \\ CC_{\text{park}\,i} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$GA(i)$ به کل مساحت فضای سبز در شعاعی به اندازه d_{cool} (فاصله‌ای که فضای سبز بر آن اثر خنک‌کنندگی دارد) اشاره دارد.

area مساحت پیکسل به هکتار است.

$\text{c}(\text{d}_{\text{cool}})$ مساحت محدوده حریم با شعاع d_{cool} است.

$g(j)$ در صورتی که پیکسل j فضای سبز باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ می‌گیرد.

$CC_{\text{park}}(i)$ ظرفیت خنک‌سازی شامل تأثیر پارک‌ها است.

$d(i,j)$ فاصله بین پیکسل i و j است.

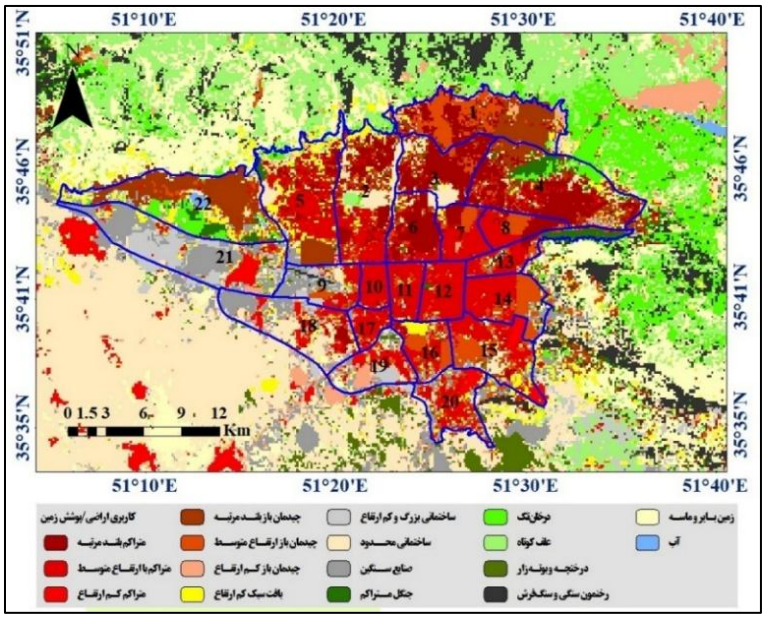
به عبارت ساده، اگر مقدار فضای سبز اطراف یک پیکسل (GA) کمتر از ۲ هکتار باشد، مقدار HM در پیکسل برابر با CC رابطه (۵- ج) است، با فرض اینکه اثر خنک‌کنندگی کمی خارج از پارک به جز از طریق اختلاط هوا به دلیل تلاطم جوی (تعریف شده توسط r_{mix}) وجود داشته باشد. اندازه آستانه ۲ هکتار از منابع علمی به‌دست‌آمده است (هامل[25] و همکاران، ۲۰۲۳). در شکل (۳) فرایند انجام مدل UCM نمایش داده شده است.

[24]. Wong

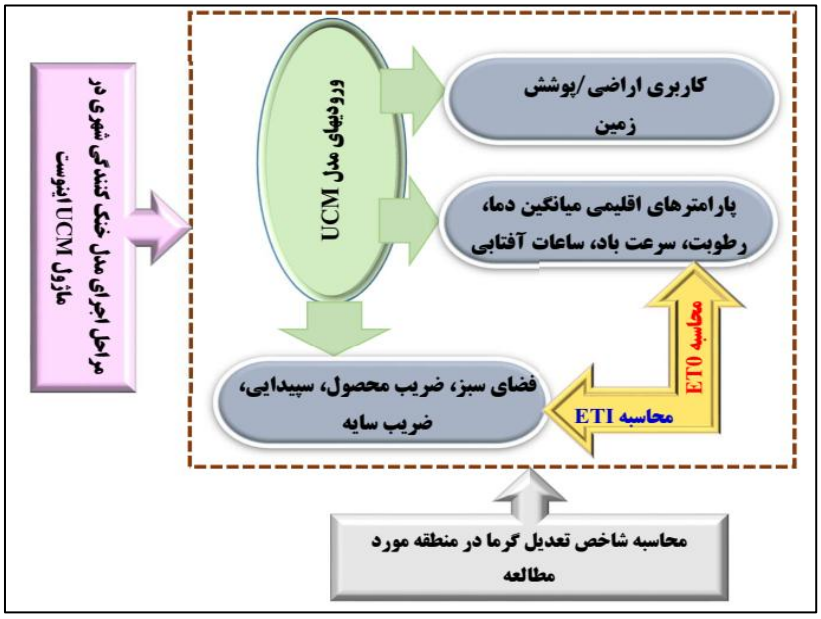
[25]. Hamel

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]



شکل (۲). کاربری اراضی/پوشش زمین (LULC) مبتنی بر زون‌های اقلیم محلی (شمسی‌پور، ۱۴۰۱)



شکل (۳). فلوچارت فرایند انجام پژوهش

نتایج و بحث

تحلیل و ارزیابی نقش عوامل فیزیکی و محیطی مؤثر بر جزیره گرمای شهری

اوک (۲۰۰۶) چهار عامل ساختار شهری (مانند ابعاد ساختمان‌ها و فضاهای بین آن‌ها، عرض و فاصله خیابان‌ها)، پوشش شهری (برای مثال، نسبت سطوح ساخته‌شده، آسفالت شده، با پوشش گیاهی، خاک لخت، آب)، بافت شهری (مصالح ساختمانی و طبیعی) و متابولیسم شهری (برای مثال، گرما، آب و آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی) را به‌عنوان عوامل مهم کنترل‌کننده‌ی خرد اقلیم شهری پیشنهاد می‌کند؛ بنابراین پیش از پرداختن به بحث سرمایش شهری لازم است ویژگی‌های محیط انسان‌ساخت در منطقه مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گیرد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

پوشش سطحی زمین، از موارد مؤثر بر جابه‌جایی هوا و نفوذپذیری هوا در شهرها است. پوشش زمینی، ناهمگونی‌های زمین را از نظر درصد زمین‌های اشغال‌شده توسط ساختمان‌ها و دیگر موارد مؤثر در نفوذپذیری هوا در یک منطقه اندازه‌گیری می‌کند و تأثیر مثبت این مؤلفه بدین معناست که افزایش مقادیر آن سبب کاهش نفوذپذیری و شرایط جابه‌جایی باد در شهر می‌شود. با توجه به شکل (۴، الف)، محدوده موردنظر از لحاظ پوشش زمینی به سه طبقه تقسیم می‌شود: ۱- مناطق ساخته‌شده که ۵۰/۷۱ درصد از چشم‌انداز موردمطالعه را شامل می‌شوند. این مناطق دارای زبری سطحی بالایی هستند و با مشکل عدم تهویه مطلوب هوا و بار گرمای بالای محیطی مشخص می‌شوند ۲- فضاهای سبز و پهنه‌هایی با پوشش طبیعی نسبتاً بالا که به لحاظ زبری سطحی شرایط متوسطی دارند و تراکم آن‌ها در کمربند غربی-شرقی بخش میانی شهر و به‌خصوص منطقه ۲۲ مشهود است. طبقه سوم نشان‌دهنده فضاهای باز، با پوشش طبیعی بالا و زبری سطحی پایین است که با اختصاص ۳۸/۸۷ درصدی منطقه شهری، فضاهای باز توسعه‌نیافته را شامل می‌گردند و در محدوده مناطق ۹، ۱۸ و ۲۲ شهرداری تهران متمرکز شده‌اند.

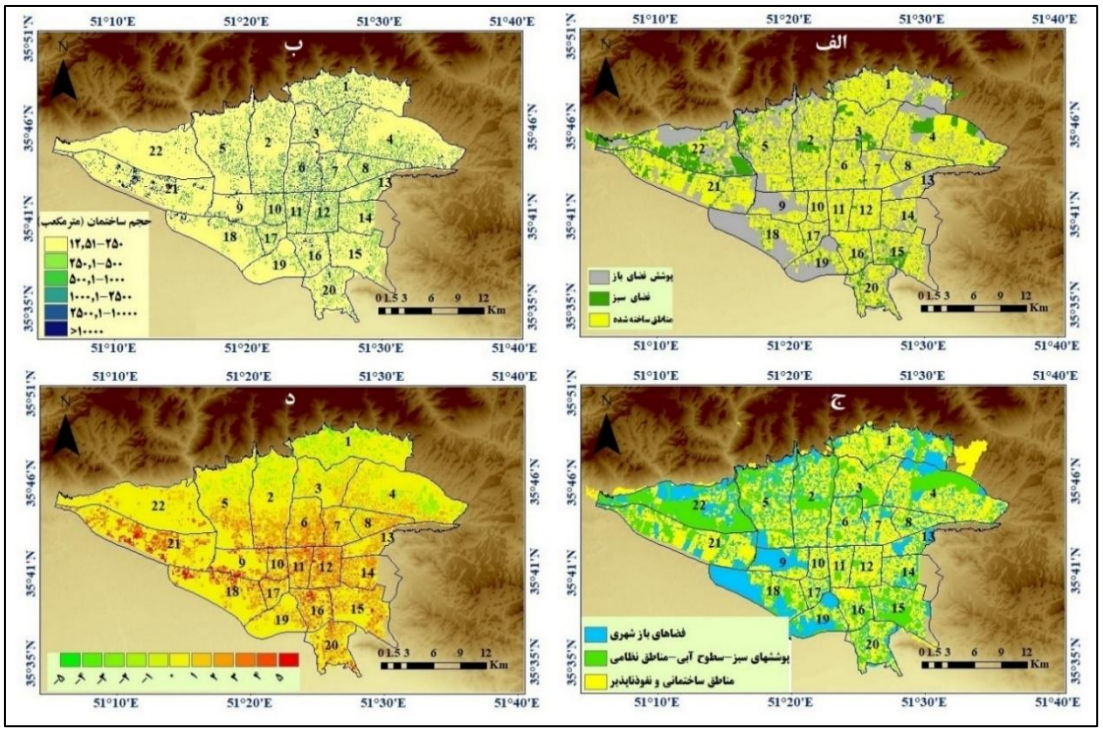
حجم ساختمان، به‌عنوان شاخصی از تراکم ساختمانی، نقشی کلیدی در تشدید پدیده جزیره گرمای شهری ایفا می‌کند. این شاخص، بیانگر تعداد طبقات و سطح اشغال زمین توسط بنای ساخته‌شده است. داده‌های مربوط به حجم ساختمان، در واحد مترمکعب اندازه‌گیری شده و به‌منظور مقایسه، به درصدی از حداکثر حجم ساختمانی در محدوده موردنظر تبدیل می‌شود. افزایش حجم ساختمانی بر میزان بار گرمایی شهر، تأثیر منفی دارد و سبب افزایش بار گرمایی و ایجاد تنش گرمایی و سلب آسایش حرارتی می‌گردد (کورکی‌نژاد، ۱۴۰۰). همان‌طور که در شکل (۴، ب)، ارائه شده است، بیشترین حجم ساختمان در کلان‌شهر تهران متعلق به طبقه کمتر از ۲۵۰ مترمکعب می‌باشد؛ این طبقه که بیانگر کاربری‌های مسکونی، پراکنده و عموماً سبک است، ۸۵/۱۸ درصد از فضای مطالعاتی را پوشش داده و اختلاف قابل‌توجهی با سایر طبقات دارد. پس‌ازآن طبقه ۱۰۰۰-۲۵۰۰ مترمکعب با اختصاص ۲۵/۷۹ کیلومترمربع (۴/۱۸ درصد) از ناحیه شهری در جایگاه بعدی قرارگرفته و درصد حجم ساختمان در سایر طبقات به کمتر از ۳ می‌رسد.

موقعیت و مجاورت ساختمان‌ها، در چشم‌انداز موردمطالعه در شکل (۴، ج)، نشان داده شده است؛ این مؤلفه نقشی اساسی در تعدیل و نفوذ باد در یک منطقه ایفا می‌کند که به‌واسطه ایجاد موانع فیزیکی و تغییرات در الگوی جریان هوا رخ می‌دهد. به‌عنوان نمونه، مجاورت با سطوح آبی، زمین‌های باز و مناطق غیرمسکونی، می‌تواند به تبادل هوای خنک و تعدیل دمای محیط کمک نماید. بدین منظور مناطق نظامی، فضاهای سبز شهری و بستر رودخانه‌ها و دریاچه‌های داخل شهر تهران (به همراه ۵۰ متر حریم اطراف خود) به‌عنوان فضاهای باز در نظر گرفته شد و مجاورت آن‌ها با سایر پهنه‌های شهری که بخش ساختمانی شهر را تشکیل می‌دهند مشخص گردید. به‌طورکلی میزان مساحت مجاورت با فضاهای باز در داخل کلان‌شهر تهران برابر با ۵۰/۹۸ درصد است که سهم فضاهای باز شهری ۲۸/۶۸ و زیرساخت‌های سبز و آبی ۲۲/۳ درصد می‌باشد. ۴۹ درصد دیگر از منطقه نشان‌دهنده محدوده ساختمانی و نفوذناپذیر شهری است که مجاورتی با فضاهای باز بزرگ و قابل‌توجه ندارند شکل (۴، ج).

بار گرمایی به‌عنوان شاخصی بی‌بعد جهت سنجش شدت گرمای ذخیره‌شده یا ساطع‌شده در بخش‌های مختلف مناطق شهری، در پژوهش حاضر استفاده گردیده که به‌طور عمده تحت تأثیر حجم ساختمان‌ها، سطوح ارتفاعی و فضاهای سبز قرار می‌گیرد. با توجه به شکل (۴، د)، مناطقی که با طیف رنگی زرد تا سبز (۰ تا ۵-) مشخص شده‌اند بار گرمای کمتری نسبت به مناطقی دارند که در محدوده طیف نارنجی تا قرمز (۱ تا ۵) واقع گردیده‌اند. به‌این‌ترتیب ۶۳/۲۷ درصد از فضای مطالعاتی در محدوده بار گرمایی صفر قرار می‌گیرند که شرایط نسبتاً معتدلی را تجربه می‌کنند و نواحی با بار گرمایی بین ۳- تا ۵- که وضعیت خنک و دماهای پایین را نشان می‌دهند روی‌هم‌رفته ۰/۴۳ درصد از منطقه را احاطه کرده‌اند. در عوض مناطق با بار گرمای شدید و دماهای بالا با وسعت قابل‌توجه و پوشش ۲۸/۲۷ درصدی، حاکمیت جزیره گرمای شهری را در بخش وسیعی از چشم‌انداز منطقه نشان می‌دهند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]



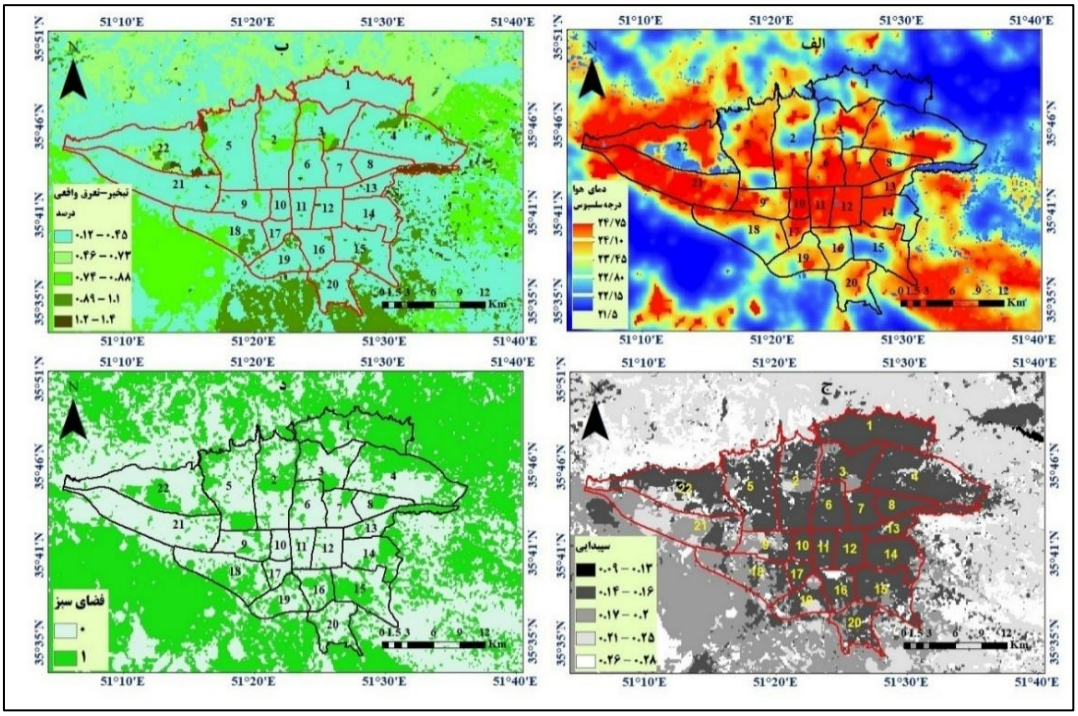
شکل (۴). نقش متغیرهای محیطی انسان‌ساخت در ارتباط با جزیره گرمای شهری، الف: پوشش زمینی، ب: حجم ساختمان، ج: مجاورت با فضاهای باز، د: بار گرمایی

در مدل UCM، دمای هوا در هر پیکسل به‌عنوان تابعی از دمای زمینه مرجع روستایی (T_{ref}) محاسبه می‌شود که خود تحت تأثیر بار گرمایی مبتنی بر حداکثر شدت جزیره گرمای شهری ($UHI_{\max}$) است. درواقع، اختلاف دمای بین مناطق شهری و روستایی (مناطق حومه شهر) به‌عنوان معیار رایج برای اندازه‌گیری شدت UHI در نظر گرفته می‌شود (هان و همکاران، ۲۰۲۳). با توجه به راهنمای کاربر مدل InVEST، در پژوهش حاضر دمای حومه شهر ۲۱/۵ و حداکثر شدت جزیره گرمای شهری ۳/۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل (۵، الف) مشاهده می‌گردد در مناطق ۱ ، ۲۲ و بخش‌های شمالی منطقه ۴ شهرداری تهران که LULC درختان تنک، درختچه و بوته‌زار، چیدمان‌های باز کم ارتفاع و سطوح آبی پوشش‌های غالب این مناطق هستند شدت اثر جزیره گرمایی به کمترین مقدار خود در این مناطق رسیده و اختلاف دمای بین شهر و حومه در بازه ۰ تا ۱/۳ درجه سلسیوس متغیر است. بیشینه شدت جزیره گرمای شهری در بخش‌های مرکزی منطقه مطالعاتی به چشم می‌خورد که در نواری به‌هم‌پیوسته از غرب (منطقه ۲۱) تا شرق (مناطق ۱۳ و ۱۴) گسترده شده و میانگین دما در این نواحی بین ۲۴/۱۰ تا ۲۴/۷۵ درجه سلسیوس می‌باشد. محدوده ذکرشده در نقشه کاربری/پوشش زمین با ساختمان‌های متراکم (کم‌ارتفاع، متوسط)، ساختمان‌های بزرگ و کم‌ارتفاع و همچنین صنایع سنگین مشخص گردیده است. اثر جزیره گرمایی در حومه‌های شمال شرقی (محدوده پوشیده شده از درختان تنک و علفزارهای کوتاه) و جنوب غربی (نواحی ساختمانی محدود) ناپدید شده و در حومه‌های شمال غربی و جنوب شرقی که به ترتیب با کاربری زون کوهستانی، پوشش خاک، زمین‌های بایر و در برخی قسمت‌ها صنایع سنگین مشخص شده از ۱/۹۵ تا ۳/۲۵ درجه سانتی‌گراد متفاوت است.

محرک اصلی تغییرات در خرد اقلیم شهری پوشش زمین است. اکثر مطالعات نشان داده‌اند که گسترش سطوح غیرقابل نفوذ، دلیل اصلی ایجاد UHI بوده و توسعه زیرساخت‌های سبز (سطوح قابل‌نفوذ) اثر خنک‌کنندگی بر مناطق شهری اطراف دارند. در این راستا مهم‌ترین مکانیزم‌هایی که از طریق آن‌ها پوشش گیاهی خدمات خنک‌کنندگی ارائه می‌دهد،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

تبخیر و سایه‌اندازی شناخته شده‌اند (لی و ژو[۲۶]، ۲۰۱۹؛ فام[۲۷] و همکاران، ۲۰۱۹). شاخص تبخیر و تعرق واقعی (ETI) مقدار نرمال شده تبخیر و تعرق بالقوه را نشان می‌دهد که برای هر پیکسل با ضرب ET0 در ضریب گیاهی و تقسیم بر بیشینه مقدار (ET_{max}) برای منطقه موردنظر محاسبه می‌گردد. به دلیل کمبود پوشش گیاهی، مناطق شهری در مقایسه با چشم‌اندازهای طبیعی، تمایل به تبخیر و تعرق کمتری دارند. این رطوبت کمتر در مناطق ساخته‌شده، منجر به افزایش بسیار زیاد دمای سطح زیرساخت‌های شهری خشک و نفوذناپذیر می‌شود که درنهایت به افزایش دمای هوا کمک می‌کند. مطابق شکل (۵، ب)، بیشینه ETI تا ۱/۴ درصد منطبق بر مناطقی است که کمترین مقادیر دما را نشان می‌دهند. این نواحی که با پوشش جنگل‌های متراکم در نقشه کاربری اراضی مشخص شده‌اند روی‌هم‌رفته ۱۷/۲۷ کیلومترمربع معادل یک درصد منطقه مطالعاتی را در بر می‌گیرند. به عقیده رامیار و همکاران (۲۰۱۹) افزایش سطح برگ که منجر به افزایش نرخ تعرق می‌شود، مؤثرترین راهکار برای کاهش دمای هوا است. سدودی[۲۸] و همکاران (۲۰۱۴) نیز به این نتیجه رسیدند که استفاده از درختان با سایبان‌های وسیع در محوطه‌های مسکونی باعث کاهش دما بین ۰/۵ تا ۲/۴ درجه کلوین می‌گردد. این نتایج، اثر خنک‌کنندگی بیشتر درختان سایه‌دار را در مقایسه با کاشت گیاهان سطح پایین یا استفاده از مصالح با ضریب بازتاب بالا (سپیدایی) تائید می‌کند (سدودی و همکاران، ۲۰۱۴). ساختمان‌ها و مصالح سطحی به دلیل جذب تشعشع خورشیدی و دفع گرما از طریق فرآیندهای همرفتی و هدایتی به جو، نقش مهمی در تراز انرژی شهر ایفا می‌کنند. بخش عظیمی از منطقه شهری با مصالحی مانند آسفالت و بتن پوشیده شده است که به دلیل سپیدایی کم (بین ۰/۰۵ تا ۰/۴۵)، سطوح بالایی از تابش خورشید را جذب و گرمای حاصل را در شهرها ذخیره می‌کنند که خود اثر UHI را بدتر می‌کند (لوپز-کابزا[۲۹] و همکاران، ۲۰۲۲). مطابق شکل (۵، ج)، کمترین میزان سپیدایی در محدوده ۰/۰۹ تا ۰/۱۶ در بافت متراکم شهری متمرکز گردیده که به‌تدریج به سمت پیرامون شهر به دلیل حضور پوشش‌های سبز شکل (۵، د) نرخ سپیدایی نیز روند افزایشی پیدا می‌کند.



[26]. Li & Zhou
[27]. Pham
[28]. Sodoudi
[29]. Lopez-Cabeza

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

شکل (۵). تغییرپذیری فضایی متغیرهای مؤثر بر UCM در منظر موردمطالعه، الف: دمای هوا قبل از اختلاط، ب: تبخیر و تعرق واقعی، ج: سپیدایی، د: فضای سبز

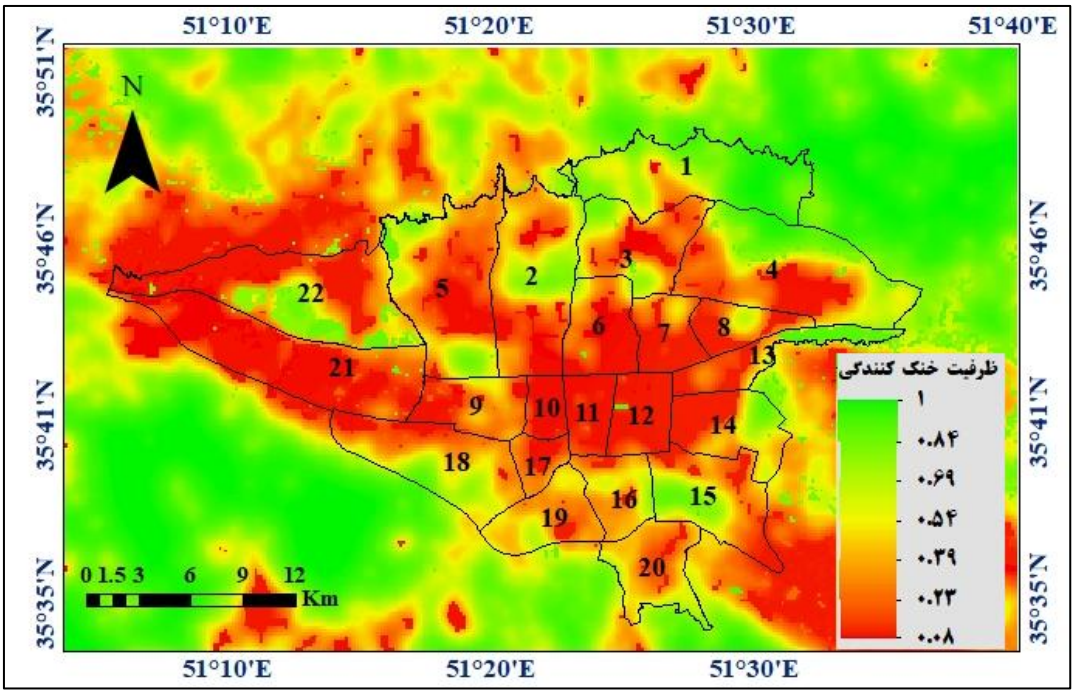
واکاوی و مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی شاخص تعدیل گرما با کاربرد مدل UCM

خروجی اصلی مدل خنک‌کنندگی شهری InVEST یک رستر شاخص تعدیل گرما است که نشان‌دهنده‌ی توانایی یک منطقه برای مقابله با گرمای شدید می‌باشد. شکل ۶ تغییرپذیری توزیع مکانی شاخص تعدیل گرما را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد. تفاوت‌های فضایی در الگوی HMI در منطقه، بیانگر اهمیت تأثیر تعدیل گرما در حومه‌های اطراف نسبت به نواحی شهری است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مقادیر CC در منطقه موردمطالعه از ۰/۰۸ در نواحی مرکزی شهر با بافت فشرده و متراکم (مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۲۱) تا ۰/۹ در مناطق با حضور فضاهای سبز و پوشش‌های گیاهی مختلف و همچنین سطوح آبی متغیر است. مطابق شکل ۶ بیشینه شاخص CC در LULC با پوشش درختان انبوه و پراکنده در منطقه متمرکز گردیده است که این نواحی توانسته‌اند با شکستن شدت تأثیر جزایر گرمایی، به‌طور متوسط تا ۶۳ درصد اثر خنک‌کنندگی در شهر ایجاد نمایند جدول (۱). در جدول (۱) نرخ ظرفیت تعدیل گرما و شدت تأثیر جزیره گرمایی به تفکیک LULC های مختلف نشان داده شده است. مطابق جدول (۱) بخش قابل‌توجهی از چشم‌انداز موردمطالعه به وسعت ۴۸۹/۵۴ کیلومترمربع توسط نواحی ساختمانی محدود (Sparsely Built) احاطه گردیده که براساس طبقه‌بندی زون‌های اقلیم محلی، افزون بر ساخت‌وسازهای انسانی، مناظر سبز متنوعی در این نوع کاربری وجود دارد. به همین دلیل LULC یاد شده با ظرفیت خنک‌سازی ۰/۲، توانایی تعدیل اثر جزیره گرمایی به میزان ۲/۶۸ درجه سلسیوس را داراست. هرچند سطوح آبی منظر مطالعاتی با ظرفیت خنک‌سازی ۰/۸۶ تفاوت آشکاری با پوشش‌های سبز نشان می‌دهند اما باوجود مساحت بسیار ناچیز (۳/۸۶ کیلومترمربع) قادر هستند ۲/۷۲ درجه سلسیوس از اثر جزیره گرمایی را خنثی نمایند که این میزان با تأثیر کاربری درختان پراکنده به وسعت ۱۲۴/۸۵ کیلومترمربع و فضای ۷۴/۳۲ کیلومترمربعی پوشیده شده از بوته‌زارها و درختچه‌ها برابری می‌کند. این مهم بیانگر آن است که مناطق تحت سیطره فضاهای سبز، از درختان انبوه و پراکنده گرفته تا انواع پوشش‌های گیاهی کم‌تراکم و تنک، به دلیل تأثیر سه عامل مهم، سایه، تبخیر و تعرق و سپیدایی اثرات کاهنده گرمای قوی از خود نشان می‌دهند. در مجموع همان‌طور که در شکل ۶ نیز نشان داده شده است، کاربری‌های با پوشش سبز و بدنه‌های آبی در منطقه مطالعاتی به‌طور متوسط ۲/۴۷ درجه سلسیوس (از ۳/۵ درجه اختلاف با حومه) از اثر جزیره گرمایی شهر را خنثی نموده‌اند و کمترین نرخ CC نیز در بین کاربری‌های موردمطالعه متعلق به ساختمان‌های فشرده می‌باشد که اثر خنک‌کنندگی آن‌ها تنها برابر ۹/۸ درصد است.

هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، ممتاز و همکاران (۲۰۲۳) نیز که شاخص ظرفیت خنک‌کنندگی InVEST را در منطقه‌ای کوچک در جاکارتا- اندونزی موردسنجش قرار دادند به این نتیجه رسیدند که مقادیر CC در حوضه موردبررسی از ۰/۲۲ تا ۰/۸۳ متغیر است و غالب بودن پهنه ۰/۳ در بخش قابل‌توجهی از حوضه، حکایت از ظرفیت خنک‌سازی پایین این منطقه دارد. هو و همکاران (۲۰۲۳) نیز با شبیه‌سازی الگوهای کاهش گرمای شهری تحت سناریوهای مختلف پیکربندی فضاهای سبز-آبی در ووهان چین نشان دادند که هر دو فضای سبز و آبی در تعدیل محیط گرمای شهری مؤثر هستند، بااین‌حال، فضاهای سبز در خنک‌سازی کارآمدتر بوده و فضاهای آبی برای تفکیک فضایی جزیره گرمای شهری اهمیت بیشتری دارند. علاوه بر این، سهم فضاهای سبز از کل شاخص تعدیل گرما در شهر ووهان، ۸۲/۸۶ درصد و سهم فضاهای آبی، ۱۷/۱۴ درصد بوده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]



شکل (۶). تغییرات الگوی فضایی شاخص کاهش گرما در منطقه مطالعاتی

جدول (۱). مقادیر شاخص CC و شدت اثر جزیره گرمایی به تفکیک LULC های مختلف

کاربری/پوشش زمین (LULC)		ظرفیت خنک‌کنندگی	شدت اثر جزیره	مساحت-Km2
Bare Rock or Paved	رخنمون سنگی و	۰/۱۳	۱/۶۹	۱۰۲/۷۲
Bare Soil or Sand	زمین بایر و ماسه	۰/۱۳	۱/۵۴	۲۳۸/۲۳
Bush, Scrub	درختچه و بوته‌زار	۰/۲۲	۲/۷۶	۷۴/۳۲
Compact High-rise	متراکم بلندمرتبه	۰/۰۹	۱/۱۴	۹۷/۴۷
Compact Low-rise	متراکم کم ارتفاع	۰/۱۰	۱/۴۸	۶۱/۳۳
Compact midrise	متراکم با ارتفاع متوسط	۰/۱۰	۰/۸۰	۱۲۹/۵۱
Dense Trees	جنگل متراکم	۰/۶۳	۲/۲۴	۳۲/۸۲
Heavy Industrial	صنایع سنگین	۰/۱۱	۱/۱۸	۱۸۲/۲۷
Large Low-rise	ساختمانی بزرگ و کم	۰/۱۱	۱/۰۴	۶۳/۸۰
Lightweight Low-rise	بافت سبک کم ارتفاع	۰/۱۲	۱/۲۷	۹۷/۷۰
Low Plants	علف کوتاه	۰/۱۹	۲/۳۹	۲۳۴/۱۴
Open High-rise	چیدمان باز بلندمرتبه	۰/۱۲	۲/۱۲	۸۵/۹۴
Open Low-rise	چیدمان باز کم ارتفاع	۰/۱۲	۲/۴۱	۹۰/۴۲
Open Midrise	چیدمان باز ارتفاع	۰/۱۰	۱/۷۰	۸۹/۶۰
Scattered Trees	درختان تنک	۰/۶۳	۲/۷۲	۱۲۴/۸۵
Sparsely Built	ساختمانی محدود	۰/۲۰	۲/۶۸	۴۸۹/۵۴
Water	آب	۰/۱۶	۲/۷۲	۳/۸۶

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

نتیجه‌گیری

ارزیابی دقیق ظرفیت تعدیل و کاهش گرما تحت تأثیر پوشش‌های زمین با توجه به افزایش فشارهای گرمایی ناشی از تغییر اقلیم بر محیط‌های شهری، امری ضروری است. بااین‌حال، این ارزیابی اغلب نیازمند مهارت‌های تخصصی در تحلیل داده است که ممکن است در میان جامعه‌ی برنامه‌ریزان چندان در دسترس نباشد. مدل خنک‌کنندگی شهری InVEST باهدف رفع این محدودیت و کاربرد چندین پارامتر ساده قابل‌دسترسی توسعه یافته است. در همین راستا تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و سنجش ظرفیت کاهش گرما توسط کاربری‌های پوشیده شده از فضاهای سبز و سطوح آبی، با استفاده از رویکردی نوین و مبتنی بر بستر فضایی، باهدف ارائه راهکارهایی برای کلان‌شهر تهران انجام شده است؛ بنابراین، نخست نقش عوامل فیزیکی و محیطی مؤثر بر جزیره گرمای شهری شامل پوشش زمینی، حجم ساختمان، مجاورت با فضاهای باز و بار گرمایی مورد واکاوی قرار گرفت. نتایج نشان داد ۵۰/۷۱ درصد از چشم‌انداز موردمطالعه توسط فضاهای ساخته‌شده احاطه‌شده که این مناطق دارای زبری سطحی بالایی هستند و با مشکل عدم تهویه مطلوب هوا و بار گرمای بالای محیطی مشخص می‌شوند از طرف دیگر این نواحی مجاورتی با فضاهای باز بزرگ و قابل‌توجه ندارند. تحلیل الگوی مکانی پارامترهای تأثیرگذار بر UCM نیز بیانگر این بود که پوشش درختان تنک، درختچه و بوته‌زار، چیدمان‌های باز کم ارتفاع و سطوح آبی در مناطق ۱ ، ۲۲ و بخش‌های شمالی منطقه ۴ موجب گردیده اثر جزیره گرمایی به کمترین مقدار خود در این مناطق برسد و اختلاف دمای بین شهر و حومه در بازه ۰ تا ۱/۳ درجه سلسیوس متغیر باشد. از سوی دیگر، بیشینه شدت جزیره گرمای شهری در بخش‌های مرکزی منطقه مطالعاتی به چشم می‌خورد که میانگین دما در این نواحی بین ۲۴/۱۰ تا ۲۴/۷۵ درجه سلسیوس و میزان سپیدایی در محدوده ۰/۰۹ تا ۰/۱۶ قرار دارد. درنهایت تغییرات مکانی شاخص کاهش گرما نشان‌دهنده این بود که میزان ظرفیت خنک‌کنندگی در منطقه موردمطالعه از ۰/۰۸ در نواحی مرکزی شهر با بافت فشرده و متراکم تا ۰/۹ در مناطق تحت تأثیر فضاهای سبز مختلف و همچنین بدنه‌های آبی متفاوت است. درواقع بیشینه شاخص CC در کاربری با پوشش درختان انبوه و پراکنده در منطقه متمرکز گردیده که این نواحی توانسته‌اند با ظرفیت ۶۳ درصدی خنک‌کنندگی در محدوده مطالعاتی، به‌طور متوسط ۲/۴۸ درجه سلسیوس از اثر جزیره گرمایی را خنثی نمایند.

ظرفیت خنک‌کنندگی (CC) به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین خدمات اکوسیستمی قادر است مناسب‌ترین کاربری اراضی را برای منطقه موردبررسی مدل‌سازی و شناسایی کند و همچنین پارامترهای مؤثر برای طراحی شهری را با جهت‌گیری به‌سوی رفاه انسان تعریف نماید (رونچی[30] و همکاران، ۲۰۲۰). این مسئله ازآنجا حائز اهمیت است که مطابق یافته‌های زرگری و همکاران (۲۰۲۴) و روشن و همکاران (۲۰۲۱)، طی سه دهه گذشته، شدت جزیره گرمای شهری در تهران با میانگین دمایی ۲/۰۲ درجه سلسیوس در حال افزایش بوده که با گسترش به سمت غرب و جنوب غربی شهر، نواحی غربی، جنوب غربی، مرکزی و جنوبی تهران را تحت تأثیر قرار داده است. این گسترش با کاهش چشمگیر پوشش گیاهی و افزایش قابل‌توجه کاربری اراضی صنعتی-کارگاهی در مناطق مذکور همراه بوده است؛ بنابراین با در نظر گرفتن ساختار فعلی تهران و مورفولوژی شهری، ایجاد فضاهای سبز بزرگ (مانند پارک‌ها و جنگل‌ها) در مناطق حاکمیت جزیره گرمای شهری، ازنظر عملی امکان‌پذیر نبوده و منابع زیادی را می‌طلبد. در چنین شرایطی، اتخاذ سیاست‌های جدید برای تشویق به استفاده از بام‌های سبز و نماها می‌تواند افزون بر کاهش دما در مناطق شهری، مزایای متعددی مانند کاهش آلودگی و حفظ تنوع زیستی را به همراه داشته باشد (نورتون و همکاران، ۲۰۱۵؛ نجف‌زاده و همکاران، ۲۰۲۱).

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

[30]. Ronchi

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

منابع

احمدی، عبدالمجید، اکبری، ابراهیم، جمال‌آبادی، جواد و آل محمد، مریم. (۱۴۰۱). تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر شکل‌گیری جزایر حرارتی نمونه موردی: شهر قاین. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۲ (۶۴)، ۹۳-۷۹.

جمالی، فریماه سادات و خالدی، شهریار. (۱۴۰۰). نقش تغییرات دما در پایداری محیط‌زیست شهر تهران. پژوهش‌های دانش زمین، ۱۲(۱)، ۲۲۲-۲۳۵.

رضایی قلعه، مریم، حق‌پرست، فرزین و ملکی، آیدا. (۱۴۰۱). بررسی رابطهٔ زیرساخت سبز-آبی و کاهش آسیب‌پذیری سلامت در برابر گرمای شدید متأثر از تغییرات اقلیمی (نمونه موردی: شهر قزوین). *باغ نظر*، ۱۹(۱۰۷)، ۸۴-۶۹.

شجاع، فائزه و شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۴۰۲). پیش‌نمایی تغییرات بارش‌های آتی حوضه‌های آبخیز تأمین‌کننده آب شهر تهران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۶)، ۱۸۰-۱۵۱.

شمسی‌پور، علی‌اکبر، (۱۴۰۱). نگاشت اقلیم شهر و توصیه‌های برنامه‌ریزی (مروری بر تجارب جهانی)، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران.

شمسی‌پور، علی‌اکبر، صادقی، سلیمه، شجاع، فائزه و مقبل، معصومه. (۱۴۰۲). سنجش خدمات اکوسیستمی کلان‌شهر تهران و تحلیل میزان حساسیت آن‌ها به محرک‌های اقلیمی. *مجله شهر پایدار*، انتشار آنلاین.

صادقی نیا علیرضا، علیجانی، بهلول، ضیائیان، پرویز و خالدی شهریار. (۱۳۹۲). کاربرد تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۳ (۳۰)، ۶۷-۹۰.

فربودی، مرضیه و زمانی، زهرا. (۱۴۰۱). کاهش جزایر حرارتی شهری از طریق افزایش سبزینگی و سطوح نفوذپذیر در تهران. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۳ (۲۴)، ۴۵-۳۱.

کورکی‌نژاد، محمدحسن. (۱۴۰۰). نگاشت نقشه‌های آب‌وهوای شهری (UCM) تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر علی‌اکبر شمسی‌پور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

Abubakar, I. R., & Alshammari, M. S. (2023). Urban planning schemes for developing low-carbon cities in the Gulf Cooperation Council region. *Habitat International*, *138*, 102881.

Abulibdeh, A. (2021). Analysis of urban heat island characteristics and mitigation strategies for eight arid and semi-arid gulf region cities. *Environmental Earth Sciences*, *80*, 1-26.

Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., 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.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. In *Irrigation and Drainage*. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001

Bherwani, H., Singh, A., & Kumar, R. (2020). Assessment methods of urban microclimate and its parameters: A critical review to take the research from lab to land. *Urban Climate*, *34*, 100690.

Bosch, M., Locatelli, M., Hamel, P., Remme, R. P., Chenal, J., & Joost, S. (2021). A spatially explicit approach to simulate urban heat mitigation with InVEST (v3. 8.0). *Geoscientific Model Development*, *14*(6), 3521-3537.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

Dimoudi, A., Kantzioura, A., Zoras, S., Pallas, C., & Kosmopoulos, P. (2013). Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. *Energy and Buildings*, *64*, 1-9.

Eichelmann, R., Holloway, W. P., Murer, P., Newell, R., & O'Connell, C. (2022). Identifying Urban Heat Mitigation Strategies for Climate Adaptation Planning in Fairfax County, Virginia. In *AAG 2022 Annual Meeting*.

Giannaros, C., Nenes, A., Giannaros, T. M., Kourtidis, K., & Melas, D. (2018). A comprehensive approach for the simulation of the Urban Heat Island effect with the WRF/SLUCM modeling system: The case of Athens (Greece). *Atmospheric Research*, *201*, 86-101.

Grilo, F., Pinho, P., Aleixo, C., Catita, C., Silva, P., Lopes, N., ... & Branquinho, C. (2020). Using green to cool the grey: Modelling the cooling effect of green spaces with a high spatial resolution. *Science of the Total Environment*, *724*, 138182.

Hamel, P., Bosch, M., Tardieu, L., Lemonsu, A., de Munck, C., Nootenboom, C., ... & Sharp, R. P. (2023). Calibrating and validating the InVEST urban cooling model: Case studies in France and the United States. *EGUsphere*, *2023*, 1-25.

Han, B., Wu, T., Cai, Z., Meng, N., Wang, H., & Ouyang, Z. (2023). Evaluating the benefits of ecosystem-based urban cooling using a dynamic "on-site" method. *Science of The Total Environment*, *880*, 162908.

Hu, Y., Wang, C., & Li, J. (2023). Assessment of Heat Mitigation Services Provided by Blue and Green Spaces: An Application of the InVEST Urban Cooling Model with Scenario Analysis in Wuhan, China. *Land*, *12*(5), 963.

Imran, H. M., Kala, J., Ng, A. W. M., & Muthukumaran, S. (2019). Effectiveness of vegetated patches as Green Infrastructure in mitigating Urban Heat Island effects during a heatwave event in the city of Melbourne. *Weather and Climate Extremes*, *25*, 100217.

Kumar, P., Debele, S. E., Khalili, S., Halios, C. H., Sahani, J., Aghamohammadi, N., ... & Jones, L. (2024). Urban heat mitigation by green and blue infrastructure: Drivers, effectiveness, and future needs. *The Innovation*, *5*(2).

Kunapo, J., Fletcher, T. D., Ladson, A. R., Cunningham, L., & Burns, M. J. (2018). A spatially explicit framework for climate adaptation. *Urban Water Journal*, *15*(2), 159-166.

Li, J., Mao, Y., Ouyang, J., & Zheng, S. (2022). A review of urban microclimate research based on CiteSpace and VOSviewer analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(8), 4741.

Li, X., & Zhou, W. (2019). Optimizing urban greenspace spatial pattern to mitigate urban heat island effects: Extending understanding from local to the city scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, *41*, 255-263.

Lonsdorf, E. V., Nootenboom, C., Janke, B., & Horgan, B. P. (2021). Assessing urban ecosystem services provided by green infrastructure: Golf courses in the Minneapolis-St. Paul metro area. *Landscape and Urban Planning*, *208*, 104022.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

Lopez-Cabeza, V. P., Alzate-Gaviria, S., Diz-Mellado, E., Rivera-Gomez, C., & Galan-Marin, C. (2022). Albedo influence on the microclimate and thermal comfort of courtyards under Mediterranean hot summer climate conditions. *Sustainable Cities and Society*, *81*, 103872.

Mumtaz, L. Z., Atianta, L., & Kustiwan, I. (2023). Cooling capacity assessment in Karet Tengsin Platinum Integrated Area. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1263, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.

Najafzadeh, F., Mohammadzadeh, A., Ghorbanian, A., & Jamali, S. (2021). Spatial and temporal analysis of surface urban heat island and thermal comfort using Landsat satellite images between 1989 and 2019: A case study in Tehran. *Remote Sensing*, *13*(21), 4469.

Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and urban planning*, *134*, 127-138.

Oke, T. R. (2006). Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and applied climatology*, *84*, 179-190.

Pham, J. V., Baniassadi, A., Brown, K. E., Heusinger, J., & Sailor, D. J. (2019). Comparing photovoltaic and reflective shade surfaces in the urban environment: Effects on surface sensible heat flux and pedestrian thermal comfort. *Urban Climate*, *29*, 100500.

Ramyar, R., Ramyar, A., Kialashaki, Y., Bryant, M., & Ramyar, H. (2019). Exploring reconfiguration scenarios of high-density urban neighborhoods on urban temperature–The case of Tehran (Iran). *Urban Forestry & Urban Greening*, *44*, 126398.

Ronchi, S., Salata, S., & Arcidiacono, A. (2020). Which urban design parameters provide climate-proof cities? An application of the Urban Cooling InVEST Model in the city of Milan comparing historical planning morphologies. *Sustainable Cities and Society*, *63*, 102459.

Roshan, G., Sarli, R., & Grab, S. W. (2021). The case of Tehran's urban heat island, Iran: Impacts of urban 'lockdown'associated with the COVID-19 pandemic. *Sustainable Cities and Society*, *75*, 103263.

Sanusi, R., & Jalil, M. (2021, November). Blue-Green infrastructure determines the microclimate mitigation potential targeted for urban cooling. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 918, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.

Schatz, J., & Kucharik, C. J. (2014). Seasonality of the urban heat island effect in Madison, Wisconsin. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *53*(10), 2371-2386.

Sharifi, A., & Hosseingholizadeh, M. (2019). The effect of rapid population growth on urban expansion and destruction of green space in Tehran from 1972 to 2017. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *47*, 1063-1071.

Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., … Wyatt, K. (2020). *InVEST 3.8.7.post12+ug.gbcad34f User's Guide. The Natural Capital*

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

Project.Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Silva, J. S., da Silva, R. M., & Santos, C. A. G. (2018). Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands: A case study of Paço do Lumiar, Brazil. *Building and Environment*, *136*, 279-292.

Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., & Che-Ani, A. I. (2014). Mitigating the urban heat island effect in megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, *2014*, 1-19.

Stewart, I. D., &Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *93*(12), 1879-1900.

Varquez, A. C., & Kanda, M. (2023). Impact of urbanization on exposure to extreme warming in megacities. *Heliyon*, *9*(4).

Wang, X., Dallimer, M., Scott, C. E., Shi, W., & Gao, J. (2021). Tree species richness and diversity predicts the magnitude of urban heat island mitigation effects of greenspaces. *Science of The Total Environment*, *770*, 145211.

Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, *2*(3), 166-181.

World Meteorological Organization (WMO) WMO; Switzerland: 2022. State of the Global Climate 2021. WMO-No. 1290. Geneva 2.

Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., & Van Eupen, M. (2017). Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem services*, *26*, 225-235.

Zargari, M., Mofidi, A., Entezari, A., & Baaghideh, M. (2024). Climatic comparison of surface urban heat island using satellite remote sensing in Tehran and suburbs. *Scientific Reports*, *14*(1), 643.

Zawadzka, J. E., Harris, J. A., & Corstanje, R. (2021). Assessment of heat mitigation capacity of urban greenspaces with the use of InVEST urban cooling model, verified with day-time land surface temperature data. *Landscape and Urban Planning*, *214*, 104163.

Zhong, C., Guo, H., Swan, I., Gao, P., Yao, Q., & Li, H. (2023). Evaluating trends, profits, and risks of global cities in recent urban expansion for advancing sustainable development. *Habitat International*, *138*, 102869.

Žuvela-Aloise, M., Koch, R., Buchholz, S., & Früh, B. (2016). Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna. *Climatic Change*, *135*, 425-438.

References (in Persian)

Farboudi, M., & Zamani, Z. (2022). Mitigating Urban Heat Islands through Increased Greenery and Permeable Surfaces in Tehran. *Environmental Science and Technology*, 3 (24), 31-45. [In Persian]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]

KorkiNejad, M.H. (2022).Urban climate mapping (UCM) of Tehran, Master's thesis, Supervisor: Dr. Ali Akbar Shamsapour, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. [In Persian]

Rezaei Ghaleh, M., Hagh Parast, F., & Maleki, A. (2022). Investigating the Correlation between Blue-Green Infrastructure and Reduction of Heat-Related Health Effect Under Climate Change (Case Study: Qazvin City). *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, *19*(107), 69-84. doi: 10.22034/bagh.2021.273770.4810 [In Persian]

Sadeghi Nia, A., Alijani, B., Ziaian, P., & Khalidi, Sh. (2013). Application of Spatial Autocorrelation Techniques in Analyzing the Urban Heat Island of Tehran. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 13 (30), 67-90. [In Persian]

Shamsipour, A. A. (2022). Urban Climate Mapping and Planning Recommendations (Reviewing on global experiences), University of Tehran Press. [In Persian]

Shamsipour, A., Sadeghi, S., Shoja, F., & Moghbel, M. (2024). Assessment of ecosystem services in the Tehran metropolitan and analysis of their sensitivity to climate drivers. *Sustainable city*. doi: 10.22034/jsc.2024.415781.1737 [In Persian]

Shoja, F., & Shamsipour, A. (2023). Projection of future Precipitation changes in Tehran's water supply watersheds. *Journal of Natural Environmental Hazards*, *12*(36), 151-180. doi: 10.22111/jneh.2022.42622.1908 [In Persian]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.19]