





Investigating the Effect of the Cooling Ecosystem Service of Urban Green Infrastructure on the Mitigating of Environmental Heat Load and Energy Efficiency in Tabriz Metropolitan

Mahdi Herischian¹ , Hassan Mahmoudzadeh² , Rasoul Ghorbani³

1. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: heris.mahdi1400@yahoo.com

2. (Corresponding Author) Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

3. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: rghorbani@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

25 August 2023

Received in revised form:

26 November 2023

Accepted:

29 December 2023

Available online:

26 January 2024

Keywords:

Urban Heat Islands,
Urban Cooling Ecosystem
Service,
Green Infrastructure,
Urban Cooling Model,
InVEST Software.

ABSTRACT

This research evaluated the effects of green infrastructure cooling ecosystem service on mitigating urban heat islands in Tabriz metropolitan areas. In this way, the mitigation capacity of the heat islands of Tabriz in all three periods of 1984, 2002, and 2022 was evaluated in 5 classes, from the best case to the worst case, using the urban cooling model of the InVEST software. The results showed that Tabriz condition in 1984, i.e., 15.47% in the class of 0.69 to 0.83%; in 2002, 15.63% in the class of 0.66 to 0.90%; and in 2022, 13.93% in the class of 0.69 to 0.83%, was able to mitigate heat islands. In other words, the Tabriz metropolitan did not perform well in mitigating heat islands in all three periods and is in the worst condition. In all three time periods, the mitigation pattern of heat islands in Tabriz has been consistent with the pattern of agricultural land use and green space of all three types of cluster, block, and fragmented patterns. The pattern of mitigation of heat islands in Tabriz in 2022, unlike in 1984 and 2002, was more fragmented and less than cluster and block type, indicating that Tabriz's green infrastructure has gradually become fragmented and smaller. In 1984, 2002, and 2022, Tabriz Metropolitan had 226,640, 562,269, and 1,263,294 megawatt hours of energy savings due to the mitigation of heat islands due to urban green infrastructure.

Cite this article: Herischian, M., Mahmoudzadeh, H., & Ghorbani, R. (2023). Investigating the effect of the cooling ecosystem service of urban green infrastructure on the mitigating of environmental heat load and energy efficiency in the metropolitan of Tabriz. *Geographical Urban Planning Research Quarterly*, 11 (4), 175-203.

<http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2024.363482.1850>



© The Author (s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

During the past decades, with the rapid growth of urbanization, the subsequent increase in land use changes, and the transformation of natural surfaces into impervious and artificial urban surfaces, urban heat islands have become more intense. Urban heat islands harm the environment and the health and welfare of humans and other living beings in cities. Meanwhile, urban ecosystems such as urban green infrastructure such as vegetation, urban green spaces, urban parks, and urban water infrastructure such as rivers and urban water bodies play an increasing role in mitigating urban heat islands. Tabriz is one of the megacities of Iran that has experienced rapid urbanization and growth in recent decades. Urban heat islands, polluted air, and high temperatures threaten urban viability in Tabriz. Therefore, the problem of urban heat island tension has become a serious issue in this metropolitan. Therefore, in this research, the effects of cooling ecosystem services of green infrastructure on the mitigation of urban heat islands in Tabriz have been evaluated.

Methodology

The current research is descriptive-analytical in terms of method and has a developmental-applicative nature. The required information was collected using the library, documentary, electronic sources, surveys, and field observations. This research used the urban cooling model from the InVEST 3.12.0 software package. The urban cooling model calculates the mitigation of urban heat islands based on shading, evaporation transpiration, albedo, and the distance from cooling islands (such as parks). In this model, vegetation cover is used to estimate the mitigation of heat islands. Finally, the model estimates the service value of heat island mitigation using two evaluation methods: energy consumption (potential energy reduction) and labor productivity (light and heavy work). The main inputs of this model include a land use/land cover raster map, a reference evaporation and transpiration

raster map (et0), a biophysical table containing information about each of the land use/land cover map classes, a vector map of city buildings and energy consumption rate table is based on the type of buildings and air temperature. In this research, data related to Landsat satellite images (related to three time periods as 1984, 2002, and 2022), land use/land cover, meteorological data, biophysical table, and a detailed plan map of the 2016 Tabriz municipality have been used. This research analyzes the data using GIS and the urban cooling model of InVEST software.

Results and discussion

The results showed that Tabriz in 1984 in class 0.097 to 0.18 percent, i.e. the worst condition is 54.65 percent, and then in class 0.19 to 0.34 percent, 17.98 percent, and in class 0.69 to 0.83 percent in the best condition, 15.47 percent, in 2002 in class 0.097 to 0.18 percent, that is, in the worst condition, 46.34 percent, after that class 0.19 to 0.31 percent with 18.80 percent and class 0.66 to 0.90 percent means the best condition with 15.63 percent and in 2022 in class 0.098 to 0.18 percent that is in the worst condition 34.90 percent and after that in class 0.36 to 0.50 percent that is, 33.38 percent, and in the class 0.69 to 0.83 percent in the best condition, 13.93 percent dedicated for the greatest mitigation of urban heat islands. In other words, Tabriz has not performed well in mitigating heat islands and is in the worst condition. In all three periods of 1984, 2002, and 2022, the urban heat island mitigation pattern in Tabriz was consistent with agricultural land use and green space (the main cold islands of Tabriz metropolitan) of all three types of cluster, block, and fragmented patterns. However, in 2022, it was more fragmented, less clustered, and blocky.

Conclusion

The results showed that in 1984, in the parts of Tabriz metropolitan where there was agricultural use, green spaces, and low residential density, respectively, the most significant mitigation of heat islands occurred, and in the parts where there were

barren lands, high and medium residential density, the mitigation of heat islands is in the worst situation. In 2002, in the parts of Tabriz where there are agricultural lands and green spaces, we saw the greatest mitigation of heat islands. In the parts with barren lands and high and medium residential density, we saw a reduction of low heat islands. In 2022, respectively, in the areas where there were agricultural lands, green spaces, open spaces, and low residential density, the greatest rate of heat island mitigation, and in the areas where there were barren lands, high and medium residential density, the least mitigation of heat islands has occurred. Also, in 1984, 2002, and 2022, green infrastructure in Tabriz neutralized 82.81, 90 and 82.88% of urban heat islands, respectively. Overall, the results showed that the metropolitan of Tabriz did not perform well in mitigating heat islands in all three time periods of 1984, 2002, and 2022 and is in the worst condition. Considering that Iran is one of the developing countries and Tabriz, as one of the megacities of Iran, has undergone rapid urbanization in recent decades, the green infrastructures in Tabriz are more fragmented, and the fact that the metropolitan of Tabriz in all three periods, the amount of green space use was lower than other uses. Therefore, this metropolitan area performed poorly in mitigating urban heat islands in all three periods.

consultants of this paper.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific



بررسی تأثیر خدمت اکوسیستمی خنک‌کنندگی زیرساخت‌های سبز شهری بر کاهش بار گرمای محیطی و بهره‌وری انرژی در کلان‌شهر تبریز

مهدی هریسچیان^۱، حسن محمودزاده^۲، رسول قربانی^۳

- ۱- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: heris.mahdi1400@yahoo.com
 ۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir
 ۳- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: rghorbani@tabrizu.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>در این پژوهش به ارزیابی تأثیرات خدمت اکوسیستمی خنک‌کنندگی زیرساخت‌های سبز بر کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز پرداخته شده است. بدین‌صورت که ظرفیت کاهش جزایر گرمایی تبریز در هر سه دوره زمانی ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ در ۵ کلاس از بهترین حالت تا بدترین حالت با استفاده از مدل سرمایه‌شهری نرم‌افزار InVEST مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کلان‌شهر تبریز در بهترین حالت در سال ۱۳۶۳ یعنی در کلاس ۰/۶۹ تا ۰/۸۳ درصد ۱۵/۴۷ درصد، در سال ۱۳۸۱ در کلاس ۰/۶۶ تا ۰/۹۰ درصد ۱۵/۶۳ درصد و در سال ۱۴۰۱ در کلاس ۰/۶۹ تا ۰/۸۳ درصد ۱۳/۹۳ درصد توانسته جزایر گرمایی را کاهش دهد. به عبارتی کلان‌شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی در هر سه دوره به‌خوبی عمل‌نکرده و در بدترین شرایط قرار دارد. در هر سه دوره زمانی، الگوی کاهش جزایر گرمایی تبریز منطبق با الگوی کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز از هر سه نوع الگوی خوشه‌ای، بلوکی و تکه‌تکه بوده است. الگوی کاهش جزایر گرمایی تبریز در سال ۱۴۰۱ بر خلاف سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۱ بیشتر از نوع تکه‌تکه و کمتر از نوع خوشه‌ای و بلوکی بوده که این مورد نشان‌دهنده این است که زیرساخت‌های سبز تبریز رفته‌رفته تکه‌تکه و کوچک شده است. کلان‌شهر تبریز در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۲۲۶۶۴۰، ۵۶۲۲۶۹ و ۱۲۶۳۲۹۴ مگاوات ساعت صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاهش جزایر گرمایی به‌واسطه زیرساخت‌های سبز شهری را داشته است.</p>	<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۸</p> <p>تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶</p> <p>واژگان کلیدی: جزایر گرمایی شهری، خدمت اکوسیستمی خنک‌کنندگی، زیرساخت‌های سبز، مدل سرمایه‌شهری، نرم‌افزار InVEST</p>

استناد: هریسچیان، مهدی؛ محمودزاده، حسن و قربانی، رسول. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر خدمت اکوسیستمی خنک‌کنندگی زیرساخت‌های سبز شهری بر کاهش بار گرمای محیطی و بهره‌وری انرژی در کلان‌شهر تبریز. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۱۱ (۴)، ۱۷۵-۲۰۳.
<http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2024.363482.1850>



مقدمه

بر اساس گزارش اخیر سازمان ملل متحد، حدود ۵۰ درصد از جمعیت فعلی جهان، شهرنشین هستند و پیش‌بینی می‌شود که این رقم تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد افزایش یابد (ONU, 2018). این میزان جمعیت به معنای اضافه شدن ۲/۵ میلیارد شهروند در ۳۰ سال آینده به جمعیت شهرنشین دنیا بوده (Mukherjee & Singh, 2020) و همچنین به معنای افزایش جهانی در کاربری اراضی/پوشش اراضی شهری به میزان تقریباً ۱,۵۲۷,۰۰۰ کیلومترمربع است (García & Díaz, 2021:1 به نقل از Schneider et al, 2010). برای ارضاء شهرنشینی سریع، مقدار زیادی از سطوح طبیعی با سطوح غیرقابل نفوذ مصنوعی جایگزین شده است (Deng & Wu, 2013; Fu & Weng, 2016)، بدین ترتیب که با رشد فوق‌العاده جمعیت در مناطق شهری، تقاضا برای جاده‌های شهری، اراضی تجاری، مسکونی، صنعتی و سایر اراضی ساختمانی به ترتیب افزایش می‌یابد (Sharma et al, 2013; Salvati et al, 2018). و تعداد زیادی از مناظر طبیعی، مانند اراضی کشاورزی، اراضی جنگلی و بدنه‌های آبی، به‌طور فزاینده‌ای با سطوح غیرقابل نفوذ (مانند بتن، آسفالت، پلاستیک، فلزات و سایر مواد غیرقابل نفوذ که به تکنوماس (معروف‌اند (Boumans et al, 2014; Inostroza, 2014) مانند جاده‌ها، ساختمان‌ها و پارکینگ‌ها جایگزین شده (Chuai et al, 2016; Reba & Seto, 2020) که در پی آن جریان هوا، سرعت تبخیر و تعرق، گرمای بالقوه را محدود کرده و انرژی حاصل از گرما را ساطع و یا منعکس می‌کند (Boumans et al, 2014; Inostroza, 2014) تغییر در کاربری اراضی/پوشش اراضی منجر به کاهش عملکرد خدمات اکوسیستم شهری می‌شود (Kindu et al, 2016) که به‌طور اجتناب‌ناپذیری مشکلات زیست‌محیطی جدی را به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه ایجاد می‌کند (Das & Das, 2019; Sharma et al, 2020; Kang et al, 2019; Yin et al, 2018). اثرات ترکیبی اراضی شهری همراه با تراکم و فعالیت‌های انسانی میزان گرمای ناشی از مداخلات انسانی را افزایش، سرمایش ناشی از تبخیر را کاهش و تهویه طبیعی و تعادل حرارتی شهری را دچار تغییر می‌کند (Santamouris, 2015). در نتیجه، هسته‌های شهری دماهای بالاتری را در مقایسه با محیط کمتر ساخته‌شده خود تجربه می‌کنند، پدیده‌ای که به‌جزیره گرمایی شهری معروف است (Ibid, 2015, 2020; Voogt & Oke, 2003). پیش‌بینی می‌شود تغییرات کاربری اراضی/پوشش اراضی میانگین گرمایش را در حدود ۰/۲۷ درجه سانتی‌گراد در هر قرن افزایش دهد (Kalnay & Cai, 2003). علاوه بر آن عوامل دیگری نیز بر جزایر گرمایی شهری و میزان آن تأثیر می‌گذارند، از جمله شکل شهری (Liu et al, 2021)، تغییرات اقلیمی (Zhao et al, 2014)، گرمای ناشی از فعالیت‌های انسانی (Wang et al, 2021)، درصد پوشش گیاهی در شهرها، آلودگی هوا، تغییرات فصلی، تراکم جمعیت و وجود توده‌های آبی در محیط‌های شهری (Deilami et al, 2018; Nuruzzaman 2015, Taha, 1997). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که شهرهایی با بیش از یک‌میلیون نفر جمعیت ممکن است دمای متوسط سالانه ۱ تا ۳ کلون آبیستر از مناطق غیرشهری اطراف داشته باشند (Khamchiangta & Dhakal, 2019). جزایر گرمایی شهری مستقیماً بر سلامت انسان و رفاه شهرنشینان تأثیر گذاشته، پیامدهای زیان‌بار زیادی را برای سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی شهری در پی داشته و همچنین به بدتر شدن کیفیت محیطی و کیفیت زندگی می‌انجامد (Rozos et al, 2013; Dwivedi & Mohan, 2018; Macintyre et al, 2018; Yang et al, 2020; Marando et al, 2019: 92; Phelan et al, 2015) کاهش کیفیت آب‌وهوا (Feizizadeh & Blaschke, 2013)، کاهش تنوع زیستی (Ceplov'a et al, 2017)، تغییر در موازنه انرژی (Arnfield, 2003)، اثرات مخرب بر اقلیم منطقه‌ای (Sarrat et al, 2006).

1. Technomass

2. Kelvin

افزایش هزینه‌های انرژی (Santamouris, 2020)، نامساعد شدن شرایط زیستی برای گیاهان و جانوران حساس به نوسانات دمایی، ایجاد ناراحتی، ضعف، اختلالات هوشیاری، گرفتگی عضلات، غش، سکتة ناشی از موج گرما و تشدید بیماری‌های مزمن با سابقه قبلی مانند نارسایی تنفسی، قلبی-عروقی، دیابت، بیماری‌های عصبی و کلیوی (Khare et al, 2021: 2) و در نهایت افزایش مرگومیر برای انسان (Arbuthnott & Hajat, 2017) از دیگر آثار زیان‌بار جزایر گرمایی شهری است. در طول موج گرمای ۲ هفته‌ای در اوت ۲۰۰۳، حدود ۷۰۰۰۰ مرگومیر در اروپا گزارش شد. جزایر گرمایی شهری در سال ۲۰۰۳ در حدود ۵۰ درصد از کل مرگومیرهای ناشی از گرما در وست میدلندز^۱ انگلستان (Heaviside et al, 2016) و در رم ایتالیا، در حدود ۱۶/۹ درصد مرگومیر افراد بالای ۷۵ سال در طول موج گرمایی نقش داشته است (Conti et al, 2005). سازمان بهداشت عمومی تورنتو^۲ تخمین زده است که تورنتو محتمل است سالانه مرگومیر ۱۲۰ نفر را ناشی از امواج گرما تجربه کند (Penney, 2008).

با توجه به راهبردهای کاهش جزایر گرمایی شهری، اقدامات مختلفی از جمله طراحی شهری، پوشش‌های ساختمانی خنک‌کننده، مصالح با آلبدوی بالا، بام‌های سبز، نماهای سبز، رو سازها و سقف‌های خنک‌کننده، درختان سایه‌دار، پوشش گیاهی زمین و گرمای هدررفته مطرح و عملیاتی شده است (Akbari et al, 2012; Aleksandrowicz et al, 2017; Mirzaei & Haghighat, 2010; Ulpiani, 2021; Mohajerani et al, 2017; Santamouris, 2013, 2014). در این میان خدمات اکوسیستم از جمله خدمات مرتبط با اکوسیستم‌هایی همچون زیرساخت‌های سبز شهری از قبیل پارک‌های شهری، جنگل شهری، فضا‌های سبز شهری، پوشش‌های گیاهی و... نقش قابل‌توجهی در کاهش این پدیده دارند که از این طریق مخاطرات سلامتی مرتبط با آن را نیز کاهش می‌دهند (Sebastiani et al, 2021: 2). بسیاری از مطالعات نشان داده است که پوشش گیاهی، دمای تابستان را در شهرهای مدیترانه‌ای از طریق سایه و تبخیر و تعرق کاهش می‌دهد (Norton et al, 2015; Marando et al, 2019). تبریز یکی از کلان‌شهرهای ایران است که در طی دهه‌های اخیر شهرنشینی و رشد سریعی را تجربه کرده است. به‌طوری‌که مشکل تنش جزایر گرمایی شهری در این کلان‌شهر به یک مسئله جدی تبدیل‌شده که همراه با هوای آلوده و درجه حرارت بالا، زیست‌پذیری شهری را در تبریز تهدید می‌کند (آزادی مبارکی و احمدی، ۱۳۹۹: ۲۴۸). الگوی جزیره گرمایی شهری تبریز یک الگوی پیرامونی و از نوع مثلثی شکل بوده، به‌طوری‌که هر چه از مرکز شهر به جهات مختلف آن پیش می‌رویم بر مقدار دمای سطح زمین و کانون‌های جزایر گرمایی شهری افزوده می‌شود (ملکی مرشت و همکاران، ۱۴۰۰: ۶۰). جزیره گرمایی شهری در مرکز کلان‌شهر تبریز به دلیل دمای بالاتر، شدت بیشتری داشته است (ملکی مرشت و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۲۶). جزایر گرمایی شهری موجود در تبریز بیشتر در حوالی فرودگاه تبریز (بزرگ‌ترین جزیره گرمایی در سطح شهر)، مناطق صنعتی جنوب غرب شهر، ایستگاه راه‌آهن، بازار تبریز، مناطق مسکونی پرتراکم مانند ملازینال و مناطق تعمیرگاهی و پایانه‌های شهری تبریز بوده است. بزرگ‌ترین جزیره گرمایی شهری شناسایی‌شده تبریز در منطقه ۶ قرار دارد. پس‌از آن مناطق ۳، ۵، ۷ و ۹ کلان‌شهر تبریز جزایر گرمایی بیشتری دارند (آزادی مبارکی و احمدی، ۱۴۰۰: ۶۰-۵۰). از این‌رو هدف این پژوهش ارزیابی نقش خدمات اکوسیستمی زیرساخت‌های سبز کلان‌شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی شهری است.

در رابطه با جزایر گرمایی شهری و نقش خدمات اکوسیستم شهری در رابطه با کاهش آن، تحقیقات زیادی در عرصه‌های داخلی و خارجی انجام‌شده که در ادامه به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود. در عرصه داخلی پوردیهیمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان "تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش شدت جزایر گرمایی شهری: نمونه موردی

1. West Midlands

2. Toronto

کلان‌شهر تهران" علاوه بر مشخص کردن شیوه گسترش فضایی طبقات دمایی سرد و گرم در محدوده شهر تهران به این نتایج رسیدند که اختلاف دمای سطح زمین بین دسته‌های مختلف کاربری زمین را به میزان ۵/۵ تا ۶ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. کاربری اراضی و پوشش سبز شهری نقش حیاتی بر شرایط اقلیمی شهر تهران ایفا کرده و پوشش گیاهی دارای میزان همبستگی منفی قابل‌توجهی با دمای استخراج‌شده می‌باشد. پژوهش مرتضوی اصل و همکاران (۱۴۰۱) با عنوان "ارزیابی میزان تأثیر ذرات معلق و پوشش گیاهی بر تشکیل جزایر گرمایی و خنک در شهر تهران" نشان داد که بالاترین میزان جزایر گرمایی به ترتیب در محله بوستان ولایت، شهرک شهید باقری و فرودگاه پایین‌ترین میزان جزایر خنک به ترتیب در بهاران، نیاوران و دربند بوده است. ضریب پی‌رسون به‌دست‌آمده از رابطه بین دمای سطح و پوشش گیاهی ۲۱/۲۹- درصد بود که نشان‌دهنده رابطه معکوس بین دما و پوشش گیاهی است، همچنین میزان شاخص پوشش گیاهی در مناطق گرم و سرد بیانگر این موضوع است. در خصوص رابطه دمای سطح زمین و آلودگی هوا، همبستگی بین این دو پارامتر، برابر با ۱۹/۳۱ درصد بود و مقایسه میزان شاخص آلودگی در مناطق دارای جزایر خنک و گرم نشان داد که رابطه معناداری بین کاهش آلاینده‌های هوا و جزایر خنک وجود دارد اما عکس این قضیه چندان صادق نیست. نامجومنش و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی تحت عنوان "مدیریت شهری و بازآفرینی فضاهای سبز و تأثیر آن در تعدیل جزایر گرمایی" به این نتایج رسیدند که طی دوره آماری ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ روند جزایر گرمایی در منطقه افزایش داشته که این افزایش با کمبود فضای سبز در محدوده مورد مطالعه هم‌معنی است و با تکیه بر امتیازهای به‌دست‌آمده از مدل SWOT وضعیت فضای سبز محدوده مطالعاتی در حالت تهاجمی قرار دارد. همچنین پژوهش فربودی و زمانی (۱۴۰۱) با عنوان "کاهش جزایر گرمایی شهری از طریق افزایش سبزیگی و سطوح نفوذپذیر در تهران" نشان داد که شاخص UTCI (شاخص حرارتی اقلیم جهانی) با افزایش زیرساخت‌های سبز شهری و کف‌پوش‌های نفوذپذیر تعدیل می‌گردد. همچنین درخت نسبت به سایر پارامترها بیشترین تأثیر را بر کاهش دما دارد. در عرصه خارجی نیز محققان بسیاری از جمله آرام (و همکاران ۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان "اثر خنک‌کنندگی فضای سبز شهری در شهرها" به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان خنک‌کنندگی و شدت اثر آن مربوط به پارک‌های بزرگ شهری خاصه پارک‌هایی با مساحت بیش از ۱۰ هکتار بوده است. باین‌حال، علاوه بر مساحت، عناصر طبیعی و کیفیت فضاهای سبز شهری و همچنین ویژگی‌های اقلیمی، تأثیر خنک‌کنندگی فضای سبز شهری را بیشتر نشان می‌دهد. پژوهش گائو و همکاران (۲۰۲۲) تحت عنوان "بهبودسازی طراحی پارک برای کاهش جزایر گرمایی شهری: ارزیابی اثر خنک‌کنندگی در پنج شهر ایالات متحده" نشان داد که بیشتر پارک‌ها جزء «نقاط سرد» بودند، اما اثر خنک‌کنندگی آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی در بین شهرهای مختلف متفاوت بود. تجزیه و تحلیل همبستگی نیز نشان داد که میزان خنک‌کنندگی دمای سطح زمین مربوط به پارک‌ها، فاصله و کارایی پارک‌ها در درجه اول تحت تأثیر مساحت پارک قرار دارد. تبخیر و تعرق سطحی تا حدود زیادی بر پتانسیل خنک‌کنندگی پارک در آستین و لس‌آنجلس تأثیرگذار بود. ماراندو و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان "کاهش جزایر گرمایی شهری با استفاده از زیرساخت‌های سبز در مناطق عملکردی شهری اروپا" به این نتیجه رسیدند که زیرساخت‌های سبز، شهرهای اروپایی را به‌طور متوسط ۱/۰۷ درجه سانتی‌گراد و تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد خنک می‌کند، اما برای دستیابی به کاهش ۱ درجه سانتی‌گراد در دمای شهری، پوشش درخت به میزان حداقل ۱۶٪ مورد نیاز است. تنظیم ریز اقلیم خدمات اکوسیستمی بیشتر به میزان پوشش گیاهی داخل شهر و تعرق و

1. Aram
2. Gao
3. Mando

تبخیر تاج پوشش بستگی دارد. ایجاد گسترده زیرساخت‌های سبز شهری به‌ویژه در مناطق خشک و شهرهای با پوشش درختی ناکافی، کلید تضمین شرایط زندگی شهری سالم برای شهروندان است. همچنین پژوهش هو و همکاران (۲۰۲۳) با عنوان "ارزیابی خدمات تأمینی کاهش جزایر گرمایی فضاهای آبی و سبز: کاربرد مدل سرمایش شهری InVEST با استفاده از تحلیل سناریو در ووهان چین" نشان داد که مدل سرمایش شهری نرم‌افزار InVEST مقداری از تغییرات مربوط به پاسخ حرارتی سطح شهر ووهان را مشخص می‌کند و می‌تواند برای مدل‌سازی الگوهای کاهش جزایر گرمایی شهری اعمال شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که در نظر گرفتن اثرات خنک‌کنندگی تبخیر آب می‌تواند دقت شبیه‌سازی را تا حدودی بهبود بخشد. در ووهان، تفاوت‌های منطقه‌ای در الگوهای کاهش جزایر گرمایی وجود داشت و اثر کاهش جزایر گرمایی در حومه شهر به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از شهر بود. علاوه بر این، پارک‌های شهری، دریاچه‌ها و کوه‌ها با توزیع سطحی یا بلوکی مزایای خنک‌کنندگی قابل‌توجهی داشتند. در نهایت، نتایج شبیه‌سازی سناریو نشان داد که فضاهای سبز در کاهش جزایر گرمایی مؤثرتر است، درحالی‌که فضاهای آبی برای تقسیم‌بندی جغرافیایی کاهش جزایر گرمایی شهری کارآمدتر است. نوآوری پژوهش حاضر در این است که در این پژوهش به سنجش تأثیر زیرساخت‌های سبز شهری تبریز در کاهش جزایر گرمایی شهری با استفاده از نرم‌افزار InVEST پرداخته‌شده و همچنین در این پژوهش به رتبه‌بندی کاهش جزایر گرمایی شهری ناشی از زیرساخت‌های سبز و تأثیر آن در میزان ذخیره انرژی در سطح مناطق ده‌گانه کلان‌شهر تبریز پرداخته‌شده است که این مورد باعث می‌شود میزان کاهش جزایر گرمایی شهری و تأثیرات آن به‌صورت هر چه دقیق‌تر و بهتر مشخص شود، امری که در هیچ‌یک از پژوهش‌های داخلی و خارجی بدین‌صورت به آن پرداخته نشده است.

مبانی نظری

نقش خدمت اکوسیستمی خنک‌کنندگی زیرساخت‌های سبز در کاهش جزایر گرمایی شهری

زیرساخت‌های سبز شهری شبکه‌ای از پوشش‌های گیاهی طراحی‌شده و طبیعی است که در شهرها و شهرک‌های مختلف وجود دارد، از جمله پارک‌های عمومی، مناطق تفریحی، پوشش‌های گیاهی باقی‌مانده، باغ‌های مسکونی، درختان خیابانی، باغ‌های اجتماعی، و همچنین فناوری‌های نوآورانه و نوظهور سبزه‌سازی شهری مانند باغ‌های بارانی، بام‌های سبز و دیوارهای سبز (Norton et al, 2013: 9). زیرساخت‌های سبز وسیله‌ای مؤثر و جذاب برای به حداقل رساندن انباشت گرمایی در محیط شهری است، این زیرساخت‌ها فرآیند خنک‌سازی را به‌واسطه پوشش گیاهی به حداکثر رسانده، بر روی سطوح داغ سایه‌اندازی کرده، سرمایش را از طریق فرآیند تبخیر و تعرق افزایش داده و الگوهای باد را اصلاح می‌کنند. زیرساخت‌های سبز از طریق ایجاد سایه (مانند درختان) یا پوشاندن بخشی از سطوح شهری (مانند دیوارهای سبز) دمای سطح را کاهش می‌دهند. این زیرساخت‌ها مزایای زیست‌محیطی و اجتماعی متعدد دیگری را از طریق بهره‌وری انرژی و انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای نسبت به گزینه‌های دیگر مانند تهویه مطبوع ارائه می‌دهند. این مزایا عبارت‌اند از: کاهش مصرف انرژی، ایجاد فضاهای سبز قابل‌دسترس برای ساکنان شهری، بهبود سلامت انسان، جذب و نگهداری آب ناشی از سیلاب‌های طوفانی، افزایش تسهیلات رفاهی شهری و قیمت مسکن، ایجاد تنوع زیستی، کاهش آلودگی صوتی و هوایی (Bolund & Hunhammar, 1999; Dobbs et al, 2011; Tratalos, 2007; Tzoulas et al, 2007). زیرساخت‌های سبز نشان‌دهنده یک استراتژی سازگاری پایدار بوده و مبتنی بر رویکرد اکوسیستمی است (Dowald &

(Osti, 2011). عملکرد اکوسیستمی به برخی فرایندها بستگی دارد که معمولاً به‌عنوان مکانیسم‌هایی تعریف می‌شوند که به‌وسیله آن یک اکوسیستم در طبیعت عمل می‌کند (Ahern, 2007). این فرایندها شامل جریان چرخه انرژی، چرخه مواد مغذی، خودتنظیمی، جانشینی، تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری است. وجود چنین فرایندهایی به زیرساخت‌های سبز شهری امکان می‌دهد تا به‌عنوان یک استراتژی انطباقی پایدار مطرح باشند. زیرساخت‌های سبز از سازگاری و کاهش تغییرات اقلیمی پشتیبانی می‌کنند، این زیرساخت‌ها در زمینه کنترل دما، نقش اقلیمی مضاعفی را از طریق فرایندهای سازگاری و کاهش ایفا می‌کنند (Doswald & Osti, 2011). نقش سازگاری زیرساخت‌های سبز در کاهش دمای هوا و سطح از طریق دو فرآیند اصلی تبخیر و تعرق و ایجاد سایه و نقش کاهش زیرساخت‌های سبز که نشان‌دهنده توانایی آن در کنترل و کاهش علل افزایش دما بوده از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و غلظت آن‌ها در بیوسفر انجام می‌شود. زیرساخت‌های سبز از کاهش جزایر گرمایی شهری به‌طور مستقیم با ذخیره و ترسیب کربن پشتیبانی می‌کند (Demuzere et al, 2014). این زیرساخت‌ها همچنین می‌توانند به‌طور غیرمستقیم از کاهش جزایر گرمایی شهری از طریق چندین خدمت پشتیبانی کنند. اولین مورد با ارائه جایگزین‌های طبیعی برای سوخت‌های فسیلی و موادی مانند سوخت‌های زیستی و بیومواد است. دوم با تشویق حمل‌ونقل در محیط‌های دوستانه مانند محیط‌های پیاده‌محور است. زیرساخت‌های سبز همچنین به کاهش تقاضای انرژی برای حمل‌ونقل‌های عامیانه و تهیه هوا کمک می‌کنند و مشاغل سبز را ارائه می‌دهند که توسعه ظرفیت اقتصادی را با کمترین آسیب زیست‌محیطی تضمین می‌کند (Abdulateef & Al-Alwan, 2022: 2).

پارک‌های شهری از جمله زیرساخت‌های سبز اصلی در شهرها می‌باشند که می‌توانند خدمات اکوسیستمی ارزشمندی مانند خنک‌سازی سطح زمین و جو نزدیک به سطح (Aram et al, 2019; Cruz et al, 2021; Guo et al, 2019; Lin & Lin, 2016)، ترسیب کربن (McPherson et al, 2013)، تصفیه هوا (Hewitt et al, 2020)، نگهداشت آب (Cuthbert et al, 2022)، و زیستگاه‌های حیات‌وحش را به ارمغان بیاورند. برخلاف اثر جزایر گرمایی شهری، الگوهای دمایی خنک ناشی از پارک‌های شهری در برخی از پژوهش‌ها به‌عنوان «جزایر خنک‌کننده پارک» نام‌گذاری شده‌اند (Cao et al, 2010; Qiu & Jia, 2020). گسترش پارک‌ها می‌تواند خنک‌کننده و کاهش‌دهنده اثر جزایر گرمایی شهری عمدتاً از طریق افزایش تبخیر و تعرق و سطوح سبز و متخلخل شهری باشد (Wu & Chen, 2017). با این حال، تقاضای فزاینده برای زمین، تخصیص فضا برای پارک‌ها را در بسیاری از شهرها محدود کرده است (Seto et al, 2012) اثر خنک‌کنندگی پارک که میزان کاهش دمای محلی پارک‌ها را نشان می‌دهد، نه تنها در داخل پارک‌ها وجود دارد، بلکه در محدوده اطراف پارک نیز تا حدودی قابل تشخیص است (Lin et al, 2015; Peng et al, 2021; Vaz Monteiro et al, 2016).

زیرساخت‌های سبز شهری فراتر از فضاهای سبز بوده و فضاهای سبز و آبی شهری را به‌صورت توأمان در برمی‌گیرد که اثرات خنک‌کنندگی قابل‌توجهی داشته و می‌تواند ریز اقلیم‌های محلی را از طریق اثر خنک‌کنندگی خود بهبود ببخشد، از این‌رو به‌عنوان جزایر سرد شهری معروف‌اند (Chen et al, 2022). به‌عنوان مثال، وانگ^۱ و همکاران (۲۰۲۲) از فضاهای سبز شهری برای خنک‌سازی مؤثر شهرها در مقیاس جهانی در جهت کاهش حوزه‌های مختلف اقلیمی و همچنین وانگ و همکاران (۲۰۲۳) از اثر خنک‌کنندگی جنگل شهری برای مبارزه با امواج گرمایی شهری استفاده کرده‌اند. در همین حال، زیرساخت‌های سبز شهری به‌عنوان یک روش امیدوارکننده در نظر گرفته می‌شود، زیرا به

هزینه‌های کمتری نیاز داشته و به حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند (Martins et al, 2016). با این حال با توسعه سریع شهرها و افزایش شهرنشینی، جزایر سرد شهری به تدریج در حال شکسته شدن، کوچک شدن و تکه‌تکه شدن است (Dong et al, 2022)، که بر ظرفیت خنک‌کنندگی جزایر سرد تأثیر منفی می‌گذارد (Qiu et al, 2023: 1). از سوی دیگر، بسیاری از تحقیقات قبلی بر کاهش تأثیرات جزایر گرمایی شهری بر فضاهای سبز و آبی منفک شده، مانند اندازه و شکل فضاهای سبز و آبی متمرکز شده است (Lai et al, 2020). به عنوان مثال، گائو^۱ و همکاران (۲۰۲۲) اثبات کردند که زمین پارک‌ها جزء جزایر سرد اصلی هستند و قدرت خنک‌کنندگی، محدوده خنک‌کنندگی و همچنین راندمان خنک‌کنندگی عمدتاً تحت تأثیر ناحیه مرتبط با جزایر سرد است. ماراندو^۲ و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که زیرساخت‌های سبز می‌توانند به‌طور چشم‌گیری تأثیرات جزایر گرمایی شهری را با اثرات خنک‌کنندگی بسته به عناصر موجود در زیرساخت‌های سبز و همچنین پیکربندی فضایی زیرساخت‌های سبز کاهش دهند. پنگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰) یک ارتباط مثبت بین میزان خنک‌کنندگی بدنه‌های آبی و اندازه لکه پیدا کردند که می‌تواند به عنوان راهنمایی برای برنامه‌ریزی منظر در کاهش تأثیرات جزایر گرمایی شهری باشد. مطالعات نشان داده که جزایر سرد با درجه اتصال خوب می‌تواند اثرات خنک‌کنندگی سازگارتر و بهتری را ارائه دهد. لین^۴ و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر ویژگی‌های مورفولوژیکی - فضایی فضاهای سبز را بر میزان جزایر گرمایی شهری نشان دادند و همچنین بیان کردند که بلوک‌های فضای سبز تکه‌تکه شده بایستی برای افزایش ظرفیت خنک‌کنندگی یکپارچه‌شده یا به هم اتصال پیدا کنند. دیپایتری^۵ (۲۰۲۰) بیان می‌کند که جزایر سرد شهری با اتصال خوب می‌تواند به عنوان یک رویکرد مبتنی بر اکوسیستم برای کمک به سازگاری با استرس گرمایی مورد استفاده قرار گیرد. کیان و لی^۶ (۲۰۲۳) نشان دادند که فضاهای سبز و آبی شهری با فواصل نزدیک و با درجات اتصال خوب در خنک‌سازی مؤثرتر هستند. اکسای^۷ و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که افزایش تعداد مناطق حیاتی که به اتصال جزایر سرد کمک می‌کنند یک استراتژی قوی برای بهبود اقلیم گرم شهری است. در کل، مطالعات بالا نشان می‌دهد که افزایش اتصال جزایر سرد به بهترین صورت انزواء و تکه‌تکه شدن جزایر سرد را کاهش داده، اثر خنک‌کنندگی آن‌ها را تا حد زیادی افزایش داده و میکرو اقلیم شهری را بهبود می‌بخشد (Villanueva-Solis et al, 2013). مناطق با پارک‌های شهری، دریاچه‌ها و کوه‌ها که در یک الگوی سطحی و بلوکی توزیع شده‌اند، در مقایسه با مناطق مسکونی شهری اثرات کاهشی جزایر گرمایی بیشتری را از خود نشان می‌دهند (Hu et al, 2023: 17). دریاچه‌ها و فضاهای سبز که دارای توزیع متمرکز و پیوسته هستند، جزایر سرد اصلی با اثرات کاهش جزایر گرمایی شهری هستند. مناطقی که غیرقابل نفوذ بوده، به شدت شهری شده و به‌طور پیوسته دچار پراکنش باشند، دارای اثرات کاهش جزایر گرمایی شهری ضعیفی هستند. اثرات کاهش جزایر گرمایی شهری در مناطق متراکم صنعتی و دارای توسعه اقتصادی ضعیف است (Ibid: 10).

روش پژوهش

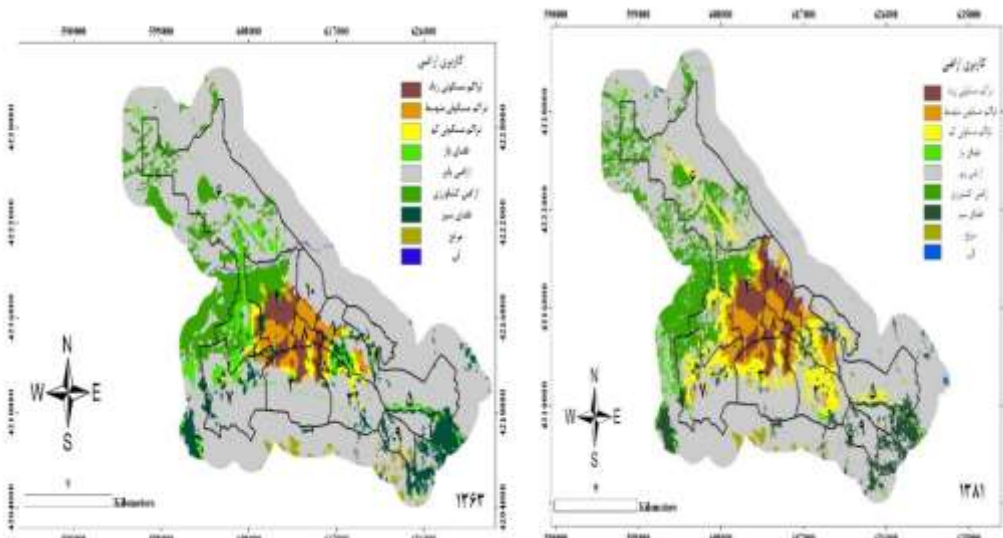
در این پژوهش از مدل سرمایه‌ش شهری از مجموعه بسته‌های نرم‌افزاری InVEST 3.12.0 استفاده شده است. مدل

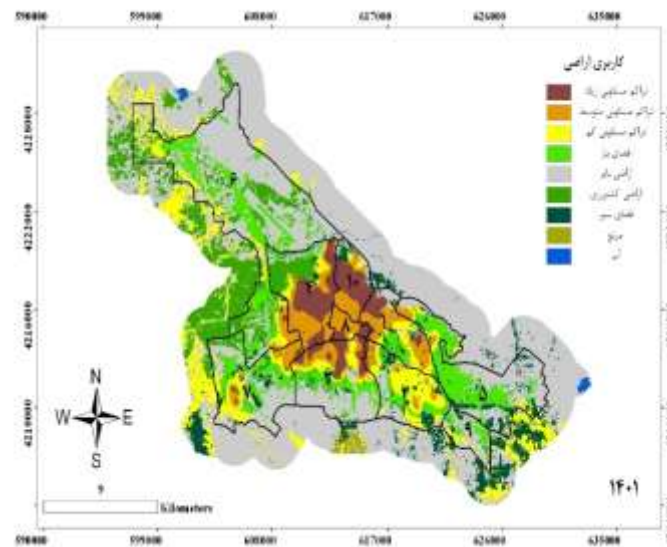
1. Gao
2. Marando
3. Peng
4. Lin
5. Depietri
6. Qian & Li
7. Xie

سرمایش شهری از جمله مدل‌هایی است که کاهش میزان جزایر گرمایی شهری را بر اساس سایه، تبخیر و تعرق، آلبدو و همچنین میزان فاصله از جزایر سرد (مانند پارک‌ها) محاسبه می‌کند. در این شاخص جهت تخمین کاهش جزایر گرمایی از پوشش گیاهی استفاده می‌شود. در نهایت، این مدل ارزش خدمات کاهش جزایر گرمایی را با استفاده از دو روش ارزیابی برآورد می‌کند: کاهش مصرف انرژی (کاهش میزان بالقوه انرژی) و بهره‌وری کار (کار سبک و سنگین). ورودی‌های اصلی این مدل شامل نقشه رستری کاربری اراضی/پوشش اراضی، نقشه رستری تبخیر و تعرق مرجع (et0) و جدول بیوفیزیکال شامل اطلاعات درباره هر یک از کلاس‌های مربوط به نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی است (https: xiaoganghe.github.io). برای تهیه هر یک از داده‌های موردنیاز مدل طبق روش زیر عمل شد:

نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی

برای تهیه نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ برای سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ و لندست ۸ برای سال ۲۰۲۲، نرم‌افزار 5.8، Envi، GIS و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای موردنظر مربوط به فصل تابستان، طول روز و تاریخ‌های ۱۹۸۴/۰۶/۲۴، ۲۰۰۲/۰۶/۲۶ و ۲۰۲۲/۰۶/۱۷ بوده است. نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی در ۹ کلاس شامل تراکم مسکونی زیاد، تراکم مسکونی متوسط، تراکم مسکونی کم، فضای باز، اراضی بایر، اراضی کشاورزی، فضای سبز، مرتع و آب با پیکسل ۳۰ متر تهیه شد. با توجه به این‌که خارج از محدوده مناطق شهرداری تبریز و در اطراف این مناطق زیرساخت‌های سبزی وجود دارد که در کاهش جزایر گرمایی شهری نقش دارند، از این‌رو برای این‌که بتوان به‌صورت کامل نقش زیرساخت‌های سبز را در کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز نشان داد، نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی تبریز در حدود ۲۵۰ هکتار از تمام جهات بیشتر از محدوده مناطق ده‌گانه شهرداری در نظر گرفته شده و ترسیم گردید.





شکل ۱. نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی کلان‌شهر تبریز به ترتیب از چپ به راست برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱

روش حداکثر احتمال

روش حداکثر احتمال شباهت یکی از کاراترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد (Doski et al, 2013). در اکثر تحقیقات و مطالعات این روش به‌عنوان دقیق‌ترین و پرکاربردترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است (ریاحی بختیاری، ۱۳۷۹؛ ساروئی، ۱۳۷۸؛ Richards, & Jia, 1999; Huang et al, 2002) در این روش کاربر باید دقت کند که کلاس‌بندی از توزیع نرمال گوسی پیروی کند و این روش برای کلاس‌های چند طیفی مناسب‌تر است. در این روش با استفاده از عامل شدت احتمال، هر یک از پیکسل‌های تصویر پس از آزمون آماری و محاسبه احتمال تعلق آن‌ها به گروه‌های طیفی نمونه، به گروه مربوطه تعلق می‌گیرد (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳ به نقل از زبیری و مجد، ۱۳۷۸). روش حداکثر احتمال که از سایر روش‌ها برای طبقه‌بندی تصاویر دقیق‌تر هست، میزان کمی واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه را محاسبه کرده و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه‌بندی نشده به یکی از گروه‌ها یا نمونه‌های طیفی نیز استفاده می‌شود. بر این اساس در خروجی‌های این روش مناطق طبقه‌بندی نشده و یا مناطق خالی و گپ (GAP) کمتر دیده می‌شود. چنان‌که این مناطق گپ در روش‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و یا کدهای باینری بیشتر از سایر روش‌ها دیده می‌شوند. در روش حداکثر احتمال برای بررسی نحوه توزیع ارزش‌های طیفی و احتمال آماری، ارتباط یک پیکسل با یکی از گروه‌های نمونه از ماتریس واریانس و بردار میانگین که خود واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی را تعریف می‌کنند، استفاده می‌شود. بر این اساس برای افزایش دقت این روش و بازدهی مناسب آن نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی از جمله ماشین بردار پشتیبان، تعداد مناسب و بیشتر نمونه‌های تعلیمی الزامی می‌باشد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۵).

نقشه تبخیر و تعرق مرجع (ET_0)

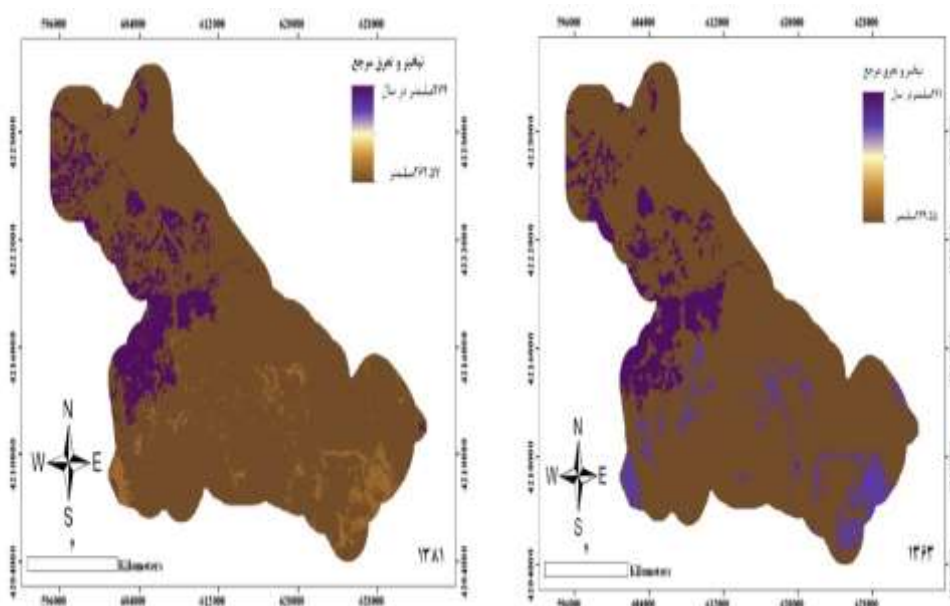
جهت تهیه این نقشه از روش پنمن ماتیت^۱ استاندارد ASCE (معادله استاندارد ارائه‌شده توسط انجمن مهندسین عمران آمریکا) استفاده شد (شکل ۳). در روش پنمن ماتیت ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع (علف) تخمین زده شده و

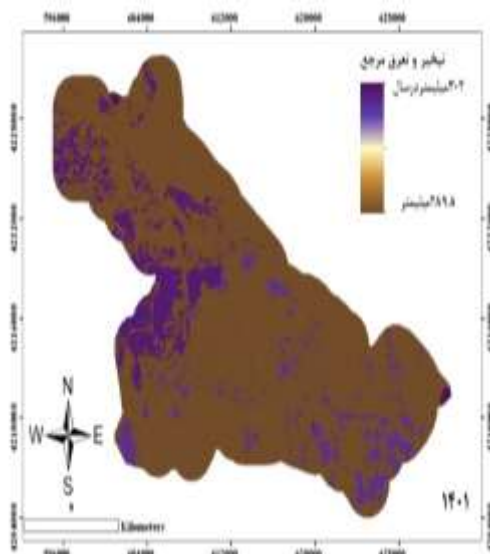
1. Penman Monteith

سپس از روی آن تبخیر و تعرق گیاه موردنظر محاسبه می‌شود (علیزاده، ۱۳۷۷). معادله محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در بازه زمانی ساعتی و روزانه به صورت زیر می‌باشد (Monteith, 1965):

$$\text{رابطه (۱)} \quad (e_s - e_a) 0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (C_a / T + 273.16) U \Delta + \gamma (1 + c_d u_2)$$

که در آن ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز برای دوره روزانه و میلی‌متر بر ساعت برای دوره‌های ساعتی)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع در میانگین درجه حرارت (کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، تابش خالص در سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع بر ساعت)، G چگالی شار حرارتی خاک (مگاژول بر مترمربع بر ساعت)، γ ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، T_{hr} متوسط درجه حرارت ساعتی (درجه سانتی‌گراد)، U_2 سرعت باد روزانه و ساعتی در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، e_s میانگین فشار بخار اشباع هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (کیلو پاسکال)، و e_a میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (کیلو پاسکال)، C_d و C_n به ترتیب ثابت‌های صورت و مخرج بوده و تابع نوع گیاه مرجع و بازه زمانی اندازه‌گیری می‌باشد. تبخیر و تعرق مرجع یا رفرنس تابع ناحیه مدنظر، تابش خورشید، طول و عرض جغرافیایی و... است. میانگین تبخیر و تعرق مرجع برای کلان‌شهر تبریز در سال ۱۳۶۳، ۲۵۰/۹۸۴ میلی‌متر، برای سال ۱۳۸۱، ۲۷۱/۲۲۶ میلی‌متر و برای سال ۱۴۰۱، ۲۹۱/۲۷۷ میلی‌متر در سال بوده است.





شکل ۲. نقشه تبخیر و تعرق مرجع کلان‌شهر تبریز به ترتیب از چپ به راست برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱

جدول بیوفیزیکال

جدول بیوفیزیکال شامل اطلاعاتی درباره هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی/پوشش اراضی شامل موارد زیر است: سایه^۱

مقادیر مرتبط با اثر سایه که بین ۰ و ۱ بوده و مربوط به پوشش درخت می‌باشد (Ronchi et al, 2020: 5) (اثر سایه در مورد درختان بالای ۲ متر مورد محاسبه قرار می‌گیرد).

Kc

ضریب تبخیر و تعرق هر نوع گیاه و خاکی نسبت به تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد و مقادیر آن بین ۰ و ۱ می‌باشد که در این پژوهش این مقدار برای کاربری‌های مختلف از کتابچه راهنمای نرم‌افزار InVest اخذ شده است (Allen et al, 1998).

آلبدو

میزان آلبدو بین ۰ و ۱ است که نشان‌دهنده نسبت تابش نور خورشید است که به‌طور مستقیم توسط هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی/پوشش اراضی منعکس می‌شود (Ronchi et al, 2020: 5). هر چه میزان روشنایی یک سطح بیشتر باشد میزان آلبدوی آن بیشتر است، از این رو برف دارای بیشترین آلبدو یعنی یک و اجسام سیاه از جمله آسفالت دارای کمترین میزان آلبدو یعنی صفر است. داده‌های مرتبط با آلبدو از سایت <https://www.copernicus.eu/en/global-land-surface-albedo> استخراج شده است.

(۱) تأثیر ناشی از فضاهای سبز بزرگ

در این تحقیق داده‌های مرتبط با این مورد از طریق کلاس‌های کاربری اراضی/پوشش اراضی مناطق دارای پوشش گیاهی غیر کشاورزی در اراضی مصنوعی به دست آمد. میزان این اثر نیز بین ۰ و ۱ می‌باشد. به‌عنوان نمونه اگر در شعاع یک کیلومتری همسایگی یک پیکسل فضاهای سبز موجود در آن، در مجموع بیش از ۲ هکتار باشد، شامل این تأثیر می‌باشد.

شدت جزایر حرارتی شهری

شدت جزایر حرارتی شهری عبارت است از اختلاف بین دمای مرجع روستایی و حداکثر دمای مشاهده شده در شهر (Ronchi et al, 2020: 5). این میزان در مورد کلان‌شهر تبریز برای فصل تابستان و طول روز در سال ۱۳۶۳، ۳/۲ درجه سانتی‌گراد، سال ۱۳۸۱، ۴/۲ درجه سانتی‌گراد و سال ۱۴۰۱، ۵/۲ درجه سانتی‌گراد و دمای مرجع روستایی هم به ترتیب برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱، ۲۸/۱، ۲۷/۲، ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد است.

حداکثر فاصله جهت ترکیب (اختلاط) دمای هوا

این مورد عبارت است از شعاع جستجو به کار گرفته شده (برحسب متر) برای محاسبه میانگین مؤثر در اختلاط دمای هوا (Ibid, 2020: 5). در عمل، دمای هوای یک پیکسل با دمای هوای پیکسل همسایه به دلیل وجود باد مخلوط و یکنواخت می‌شود. بدین ترتیب که نرم‌افزار InVest ابتدا دمای تک‌تک پیکسل‌ها را محاسبه کرده، سپس دمای هر پیکسل را با دمای پیکسل‌های همسایه طبق شعاع ورودی به نرم‌افزار، میانگین‌گیری می‌کند. در مورد کلان‌شهر تبریز این شعاع ۵۰۰ متر در نظر گرفته شد.

حداکثر فاصله برای یافتن فضای سبز بزرگ‌مقیاس (۲ هکتار و بیشتر)

این میزان هم در مورد کلان‌شهر تبریز ۴۵۰ متر در نظر گرفته شد.

میانگین درصد رطوبت نسبی

این میزان برای کلان‌شهر تبریز با استفاده از داده‌های هواشناسی به دست آمد. میانگین درصد رطوبت نسبی تبریز برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۵۶، ۴۸ و ۴۷ درصد بوده است.

میزان ذخیره انرژی

(۱) نقشه ساختمان‌ها برای محاسبه میزان ذخیره انرژی

برای نقشه وکتوری ساختمان‌های موجود در کلان‌شهر تبریز از نقشه طرح تفصیلی ۱۳۹۵ شهرداری تبریز استفاده شد.

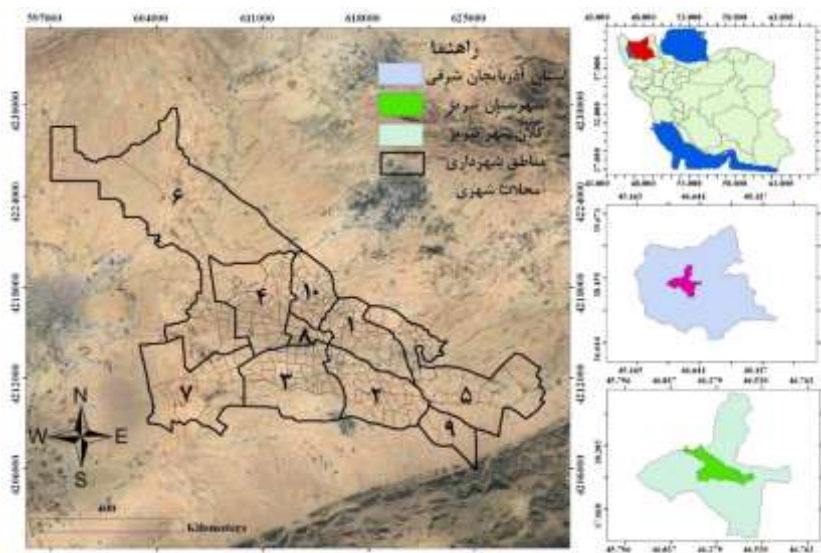
(۲) جدول میزان مصرف انرژی بر اساس نوع ساختمان‌ها و دمای هوا

این جدول بر اساس این‌که به ازاء افزایش هر درجه دمای هوا چقدر مصرف انرژی در کاربری ساختمانی موردنظر افزایش می‌یابد، به دست می‌آید. در این پژوهش ساختمان‌های موجود در کلان‌شهر تبریز در هر سه دوره زمانی ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ از نوع مسکونی در نظر گرفته شد و میزان مصرف انرژی به ازاء افزایش هر درجه دمای هوا هم با مراجعه به سایت اداره اطلاعات انرژی آمریکا (EIA) و کتابچه راهنمای نرم‌افزار InVest، ۱۰ کیلووات ساعت در نظر گرفته شد. در کل میزان ذخیره انرژی بر اساس رابطه تجربی بین مصرف انرژی و دما محاسبه می‌شود (Santamouris et al, 2015).

محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر تبریز در گوشه شمال غربی کشور و در امتداد محور بین‌المللی تهران-بازرگان که ایران را به اروپا متصل می‌سازد قرار گرفته است (شکل ۱). شهر تبریز با وسعتی حدود ۱۱۸۰۰ کیلومتر در ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸

درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. متوسط ارتفاع شهر حدود ۱۳۴۰ متر از سطح دریاهاى آزاد برآورد گردیده است (زینالی عظیم و همکاران، ۱۴۰۰: ۵۰). به لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی و طبیعی، موقعیت استقرار شهر تبریز و هسته اولیه شکل‌گیری شهر حاکی از مناسب‌ترین و مساعدترین عوامل جغرافیایی بوده که به دلیل همین مواهب و مساعدت‌های جغرافیایی در روند تاریخی توسعه فیزیکی به یکی از بزرگ‌ترین شهرهای کشور تبدیل شده است (مهندسين مشاور نقش محیط، ۱۳۹۱: ۱). رودخانه آجی‌چای (تلخه رود) از قسمت شمال و شمال غرب تبریز می‌گذرد و بعد از طی مسافتی قابل‌توجه در دشت تبریز به دریاچه ارومیه می‌ریزد و مهران‌رود نیز از میانه تبریز می‌گذرد (https:// www.tabriz.ir) بر اساس آمار مربوط به آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن (۱۳۹۵) کلان‌شهر تبریز دارای ۱,۵۵۸,۶۹۳ نفر جمعیت و ۴۹۷,۸۹۸ خانوار است که از این تعداد ۷۸۶,۶۶۱ نفر مرد و ۷۷۲,۰۳۲ نفر زن هستند و بعد خانوار آن هم ۳/۱ است (معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز، ۱۴۰۱: ۷۸). بر پایه آخرین تقسیمات اداری، کلان‌شهر تبریز از ۱۰ منطقه شهرداری تشکیل شده است (شکل ۱). بزرگ‌ترین آن از لحاظ وسعت، منطقه ۶ و کوچک‌ترین آن، منطقه ۸ می‌باشد. از لحاظ جمعیتی نیز، منطقه ۴ بیشترین جمعیت و منطقه ۹ کمترین جمعیت را دارد (تابعی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۲۰).



شکل ۳. نقشه محدوده مورد مطالعه

یافته‌ها

کاربری اراضی/پوشش اراضی

نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ تبریز در شکل ۲ قابل‌مشاهده است. مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی/پوشش اراضی مربوط به این دوره‌های زمانی روند تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر تبریز را بدین‌صورت نشان می‌دهد: در سال ۱۳۶۳ کل مساحت تبریز ۲۶۱۷۱/۵۰ هکتار بوده که از این مساحت کاربری مسکونی، فضای باز، اراضی بایر، اراضی کشاورزی، فضای سبز، مرتع و آب به ترتیب (۴۰۰۱/۷۷ هکتار) ۱۵/۲۹ درصد، (۱۶۵۶/۷۹ هکتار) ۶/۳۳ درصد، (۱۶۴۸۰/۳۴ هکتار) ۶۲/۹۷ درصد، (۲۴۶۶/۱۱ هکتار) ۹/۴۲ درصد، (۱۴۷۴/۵۷ هکتار) ۵/۶۳ درصد، (۶۵/۳۱ هکتار) ۰/۲۵ درصد و (۲۶/۵۸ هکتار) ۰/۱۰۱ درصد، در سال ۱۳۸۱ کل مساحت تبریز در حدود

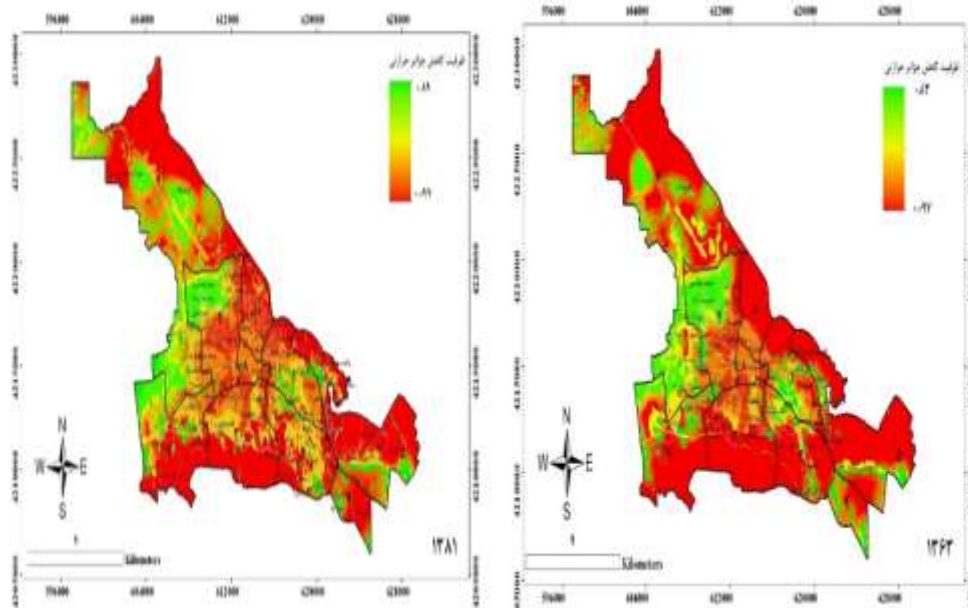
۲۶۱۷۰/۷۵ هکتار بوده که سهم هر یک از کاربری‌های مذکور از این مساحت به ترتیب (۸۳۳۰/۵۲ هکتار) ۳۱/۸۳ درصد، (۱۶۹/۸۷ هکتار) ۰/۶۵ درصد، (۱۳۶۳۶/۱۱ هکتار) ۵۲/۱۰ درصد، (۲۷۶۲/۷۳ هکتار) ۱۰/۵۵ درصد، (۱۲۴۵/۴۱ هکتار) ۴/۷۶ درصد، (۱/۲۶ هکتار) ۰/۰۰۴۸ درصد و (۲۴/۸۳ هکتار) ۰/۰۹۵ درصد و در سال ۱۴۰۱ نیز کل مساحت تبریز ۲۶۱۶۹/۳۹ هکتار بوده که سهم هر یک از کاربری‌های مذکور از این مساحت به ترتیب (۸۱۹۸/۲۲ هکتار) ۳۱/۳۳ درصد، (۵۳۵۲/۸۶ هکتار) ۲۰/۴۵ درصد، (۸۹۷۸/۷۹ هکتار) ۳۴/۳۱ درصد، (۲۱۱۱/۹۸ هکتار) ۸/۰۷ درصد، (۱۵۰۰/۹۰ هکتار) ۵/۷۳ درصد، (۰/۲۵۶ هکتار) ۰/۰۰۰۰۹۸ درصد و (۲۶/۶۰ هکتار) ۰/۱۰۱ درصد بوده است. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که اراضی بایر و کشاورزی در این بازه زمانی ۳۸ ساله روند کاهشی داشته است، کاربری مسکونی از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۱ روند افزایشی (در حدود ۱۶/۵۴ درصد) داشته و از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ نسبتاً ثابت بوده است. فضای سبز نیز از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۱ روند کاهشی (۰/۸۷ درصد) داشته و از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ در حدود ۰/۹۷ درصد افزایش داشته است (شکل ۲). در کل بررسی تغییرات کاربری اراضی مربوط به کلان‌شهر تبریز در بازه زمانی ۳۸ ساله نشان می‌دهد که کاربری‌های مربوط به فضای سبز، کشاورزی و مرتع که نقش فزاینده‌ای در کاهش جزایر گرمایی شهری دارند، کمترین میزان از کل کاربری‌های شهری تبریز را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲).

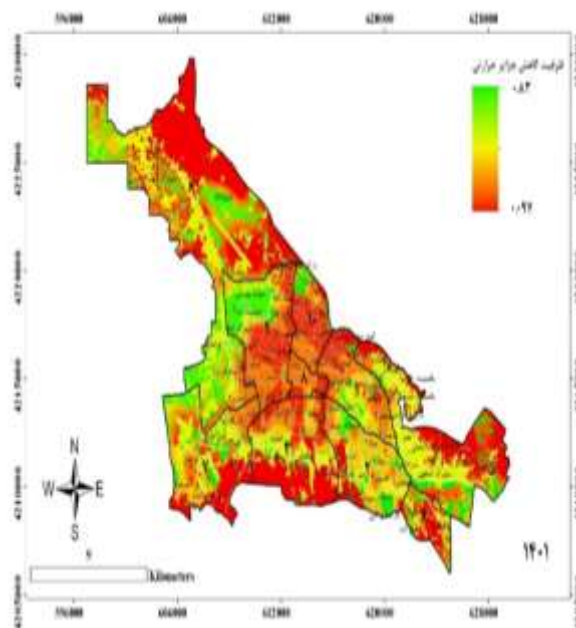
ظرفیت کاهش جزایر گرمایی شهری

ظرفیت کاهش جزایر گرمایی شهر تبریز در ۵ کلاس از بهترین حالت تا بدترین حالت برای هر سه دوره زمانی ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. در محدوده کلان‌شهر تبریز مقدار میانگین شاخص کاهش جزایر گرمایی شهری در سال ۱۳۶۳ از ۰/۰۹۷ تا ۰/۸۳ است که اعداد نزدیک به ۰/۰۹۷ نشان‌دهنده این است که شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی بد عمل نموده و اعداد نزدیک به ۰/۸۳ نیز نشان‌دهنده این است که شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی شهری بهتر عمل نموده است. بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز در سال ۱۳۶۳ در بهترین حالت به ترتیب مربوط به مناطق ۴، ۹، ۱، ۶، ۷ و ۲ با میزان ۳۷/۷۹، ۲۵/۲۶، ۱۹/۹۹، ۱۹، ۱۷/۰۲ و ۱۴/۴۲ درصد بوده و در بدترین حالت هم میزان خنک‌کنندگی کلان‌شهر تبریز در مناطق ۵، ۱۰، ۲، ۶ و ۴ با میزان ۷۵/۸۰، ۷۵/۷۱، ۵۶/۲۲، ۴۶/۶۶ و ۲۴/۳۳ درصد بوده است. کلان‌شهر تبریز در سال ۱۳۶۳ در طول روز در بهترین حالت می‌توانست خودش را ۲/۶۵ درجه خنک کند؛ یعنی به عبارتی دمای کلان‌شهر تبریز در بهترین حالت ۲۸/۶۴ درجه بوده که به دمای مرجع روستایی یعنی ۲۸/۱ درجه نزدیک بوده است که این حالت در همه مناطق ده‌گانه تبریز به جز منطقه ۱۰ وجود داشته است. کلان‌شهر تبریز در بدترین حالت هم می‌توانست ۰/۳۱۰ درجه خودش را خنک کند؛ یعنی به عبارتی دمای تبریز در این وضعیت ۳۰/۹۸ درجه بوده است که این مورد نیز در مناطق ۲، ۴، ۵، ۶ و ۱۰ تبریز وجود داشته است. در کل کلان‌شهر تبریز در سال ۱۳۶۳ در کلاس ۰/۰۹۷ تا ۰/۱۸ درصد یعنی بدترین حالت ۵۴/۶۵ درصد و بعد از آن در کلاس ۰/۱۹ تا ۰/۳۴ درصد، ۱۷/۹ درصد و در کلاس ۰/۶۹ تا ۰/۸۳ درصد یعنی بهترین حالت ۱۵/۴۷ درصد، بیشترین میزان از کاهش جزایر گرمایی شهری را به خود اختصاص داده است (شکل ۴). در محدوده کلان‌شهر تبریز مقدار میانگین شاخص کاهش جزایر گرمایی شهری در سال ۱۳۸۱ از ۰/۰۹۷ تا ۰/۹۰ است که اعداد نزدیک به ۰/۰۹۷ نشان‌دهنده این است که شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی بد عمل نموده و اعداد نزدیک به ۰/۹۰ نیز نشان‌دهنده این است که شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی شهری بهتر عمل نموده است. بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز در سال ۱۳۸۱ در بهترین حالت به ترتیب مربوط به مناطق ۱، ۴، ۶، ۷ و ۹ با میزان ۳۴/۴۰، ۲۷/۱۰، ۲۳/۲۲، ۱۸/۶۸ و ۱۴/۲۷ درصد بوده و در بدترین

حالت هم میزان خنک‌کنندگی کلان‌شهر تبریز در مناطق ۵، ۳، ۹، ۷ و ۲ با میزان ۶۷/۹۷، ۶۲/۸۲، ۵۳/۱۸، ۴۸/۶۱ و ۳۹/۱۲ درصد بوده است. کلان‌شهر تبریز در سال ۱۳۸۱ در طول روز در بهترین حالت می‌توانست خودش را ۳/۷۸ درجه خنک کند؛ یعنی به عبارتی دمای کلان‌شهر تبریز در بهترین حالت ۲۷/۶۲ درجه سانتی‌گراد بوده که به دمای مرجع روستایی یعنی ۲۷/۲ درجه نزدیک بوده است که این حالت تنها در منطقه ۶ تبریز وجود داشته است. بعدازآن منطقه ۷ نیز در بهترین حالت می‌توانست خودش را ۳/۶۵ درجه خنک کند که در این حالت دمای این منطقه معادل ۲۷/۷۴ درجه بوده است. بقیه مناطق کلان‌شهر تبریز شامل مناطق ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹ و ۱۰ در بهترین حالت تنها توانسته‌اند خودشان را ۳/۶ درجه خنک کنند که دمای این مناطق در این حالت حدود ۲۷/۹۱ درجه بوده است. کلان‌شهر تبریز در بدترین حالت هم می‌توانست ۰/۴۰۷ درجه خودش را خنک کند؛ یعنی به عبارتی دمای تبریز در این وضعیت ۳۰/۹۹ درجه بوده که این مورد نیز در مناطق ۲، ۴، ۵، ۶ و ۱۰ تبریز وجود داشته است. در کل کلان‌شهر تبریز در سال ۱۳۸۱ به ترتیب در کلاس ۰/۰۹۷ تا ۰/۱۸ درصد یعنی در بدترین حالت ۴۶/۳۴ درصد، بعدازآن در کلاس ۰/۱۹ تا ۰/۳۱ درصد، با ۱۸/۸۰ درصد، در کلاس ۰/۳۲ تا ۰/۴۴ درصد، ۱۶/۵۱ درصد و در کلاس ۰/۶۶ تا ۰/۹۰ درصد یعنی بهترین حالت با ۱۵/۶۳ درصد بیشترین میزان از کاهش جزایر گرمایی شهری را داشته است (شکل ۵). در محدوده کلان‌شهر تبریز مقدار میانگین شاخص کاهش جزایر گرمایی شهری در سال ۱۴۰۱ از ۰/۰۹۸ تا ۰/۸۳ است که اعداد نزدیک به ۰/۰۹۸ نشان‌دهنده این است که شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی بد عمل نموده و اعداد نزدیک به ۰/۸۳ نیز نشان‌دهنده این است که شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی شهری بهتر عمل نموده است. بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز در سال ۱۴۰۱ در بهترین حالت به ترتیب مربوط به مناطق ۵، ۹، ۲، ۳، ۴ و ۱ با میزان ۴۷/۷۶، ۳۷/۲۷، ۳۳/۱۵، ۲۵/۲۱، ۲۳/۴۷ و ۲۲/۶۵ درصد بوده و در بدترین حالت هم میزان خنک‌کنندگی کلان‌شهر تبریز در مناطق ۱۰، ۶، ۳، ۹، ۴ و ۸ با میزان ۴۸/۳۵، ۳۶/۵۵، ۳۵/۰۷، ۳۱/۱۰۰، ۳۱/۹۹ و ۲۸/۹۲ درصد بوده است. دلیل این‌که در این سال در مناطق ۵، ۹، ۲، ۳، ۴ و ۱ شاهد بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی هستیم این است که در مناطق ۵، ۲، ۱، ۳ و ۹ بیشترین میزان از فضای سبز به ترتیب ۴۲۲/۲۳، ۲۷۲/۸۲، ۱۳۹/۳۸، ۱۱۰/۲۴ و ۷۶/۲۳ هکتار و در منطقه ۴ بیشترین میزان از کاربری‌های مربوط به اراضی کشاورزی و فضای سبز به ترتیب در حدود ۴۹۹/۶۶ و ۷۸/۳۴ هکتار وجود داشته است. کلان‌شهر تبریز در سال ۱۴۰۱ در طول روز در بهترین حالت می‌توانست خودش را ۴/۳۱ درجه خنک کند؛ یعنی به عبارتی دمای کلان‌شهر تبریز در بهترین حالت ۳۰/۰۸ درجه بوده که به دمای مرجع روستایی یعنی ۲۹/۲ درجه نسبتاً نزدیک بوده است. کلان‌شهر تبریز در بدترین حالت هم می‌توانست ۰/۵۰۹ درجه خودش را خنک کند؛ یعنی به عبارتی دمای تبریز در این وضعیت ۳۳/۸۹ درجه بوده است که این حالت به جز منطقه ۸ در همه مناطق تبریز وجود داشته است. در کل کلان‌شهر تبریز در سال ۱۴۰۱ در کلاس ۰/۰۹۸ تا ۰/۱۸ درصد یعنی در بدترین حالت ۳۴/۹۰ درصد و بعدازآن نیز در کلاس ۰/۳۶ تا ۰/۵۰ درصد یعنی در حد متوسط ۳۳/۳۸ درصد، در کلاس ۰/۱۹ تا ۰/۳۵ درصد ۱۶/۹۲ درصد و در کلاس ۰/۶۹ تا ۰/۸۳ درصد یعنی بهترین حالت ۱۳/۹۳ درصد بیشترین میزان از کاهش جزایر گرمایی شهری را به خود اختصاص داده است. با توجه به ۵ کلاس ظرفیت کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز متوجه می‌شویم که در سال ۱۴۰۱ بعد از بدترین حالت که بیشترین میزان از کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز را به خود اختصاص داده است، الگوی کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز برخلاف سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۱ به حد متوسط میل پیدا کرده است. این مورد شاید ناشی از این باشد که فضای سبز در این کلان‌شهر در این سال نسبت به سال ۱۳۸۱ در حدود ۰/۹۷ درصد بیشتر بوده است (فضای سبز در سال ۱۴۰۱ در حدود ۵/۷۳ درصد در مقایسه با میزان ۴/۷۶ درصدی سال ۱۳۸۱ بوده است). در این سال کاهش جزایر گرمایی

کلان‌شهر تبریز در بهترین حالت در مقایسه با سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۱ تنزل پیدا کرده و وضعیتش بدتر شده است (شکل ۵). در هر سه دوره ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ الگوی کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز منطبق با کاربری کشاورزی از نوع الگوی خوشه‌ای و بلوکی و منطبق با کاربری فضای سبز از نوع تکه‌تکه بوده است. در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۱ الگوی بلوکی و خوشه‌ای وضعیت نسبتاً بهتری داشته ولی رفته‌رفته و به‌مرورزمان که زیرساخت‌های سبز تبریز تکه‌تکه و کوچک‌شده است، در سال ۱۴۰۱ شاهد الگوی کاهش جزایر گرمایی شهری تکه‌تکه هستیم که نشان‌دهنده این است که ظرفیت کاهش جزایر گرمایی تبریز در وضعیت بدی قرار دارد. در سال ۱۳۶۳ در قسمت‌هایی از کلان‌شهر تبریز که به ترتیب کاربری کشاورزی، فضاهای سبز و تراکم مسکونی کم وجود داشته، بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری رخ داده و در قسمت‌هایی که به ترتیب اراضی بایر، تراکم مسکونی زیاد و متوسط وجود داشته، کاهش جزایر گرمایی در بدترین وضعیت قرار دارد. در سال ۱۳۸۱ در قسمت‌هایی از کلان‌شهر تبریز که اراضی کشاورزی و فضاهای سبز وجود داشته، بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی و در قسمت‌هایی که اراضی بایر، تراکم مسکونی زیاد و متوسط وجود داشته، کاهش جزایر گرمایی شهری پایینی را شاهد هستیم. در سال ۱۴۰۱ نیز به ترتیب در قسمت‌هایی که اراضی کشاورزی، فضاهای سبز، فضاهای باز و تراکم مسکونی کم وجود داشته، بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی و در قسمت‌هایی که اراضی بایر، تراکم مسکونی زیاد و متوسط وجود داشته، کمترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری اتفاق افتاده است. همچنین در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ زیرساخت‌های سبز در کلان‌شهر تبریز به ترتیب توانسته در حدود ۸۲/۸۱، ۹۰ و ۸۲/۸۸ درصد از جزایر گرمایی شهری را خنثی کند (شکل ۴).



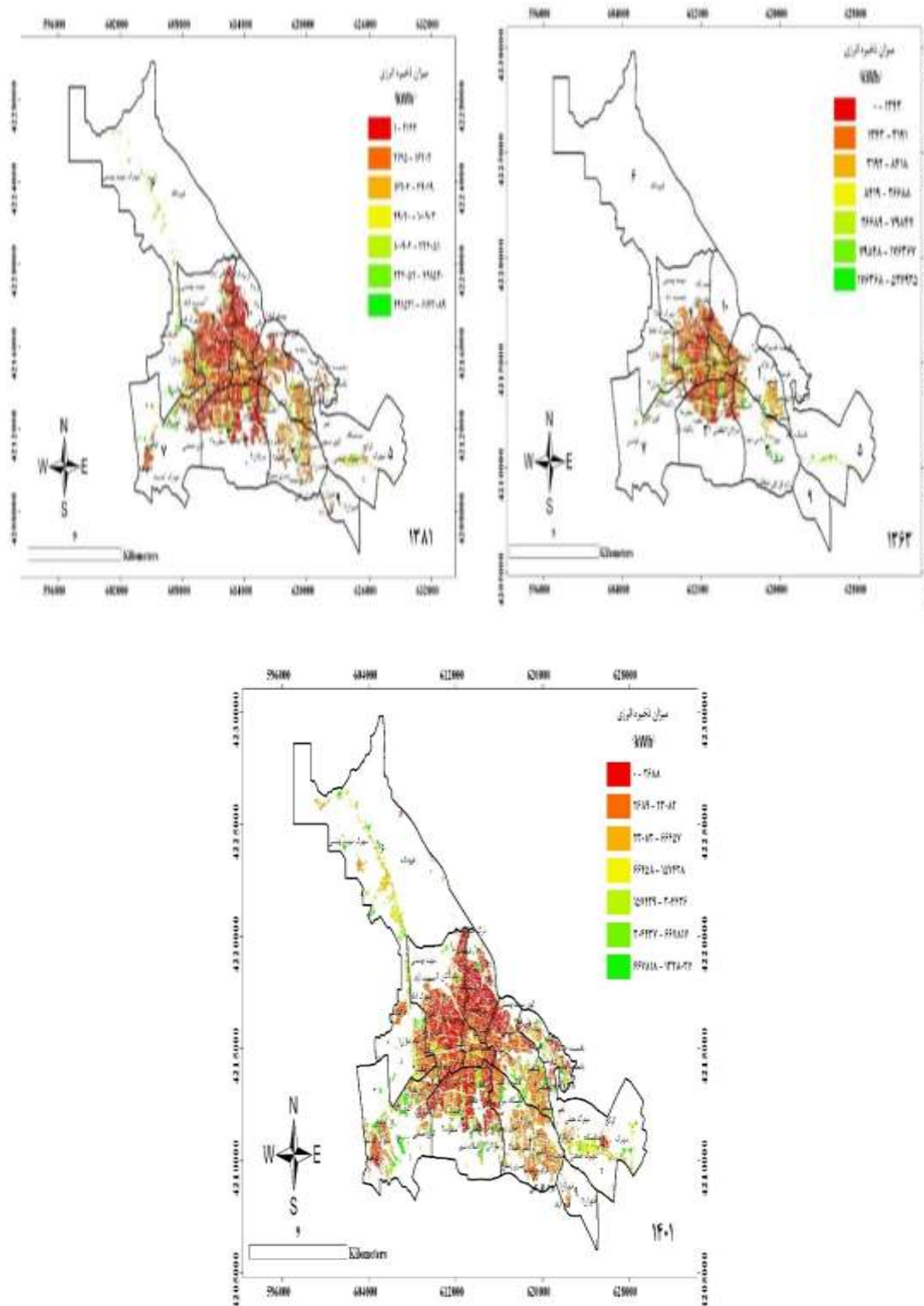


شکل ۴. نقشه ظرفیت کاهش جزایر گرمایی به تفکیک محلات مناطق ده‌گانه کلان‌شهر تبریز به ترتیب از چپ به راست برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱

میزان ذخیره انرژی بر اساس ظرفیت کاهش جزایر گرمایی شهری

کلان‌شهر تبریز در سال ۱۳۶۳، ۲۲۶۶۴۰ مگاوات صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاهش جزایر گرمایی شهری را بر اثر زیرساخت‌های سبز شهری داشته است. در این سال در کلان‌شهر تبریز مناطق ۴، ۳، ۱، ۶، ۸، ۲، ۱۰، ۷، ۵ و ۹ به ترتیب برابر با ۶۹۶۸۸، ۴۱۴۹۳، ۲۶۲۴۱، ۲۵۳۹۶، ۱۹۷۵۲، ۱۹۳۳۷، ۱۰۱۲۳، ۷۳۲۵، ۷۲۷۲ و ۸۷۲۳ مگاوات ساعت بیشترین میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاهش جزایر گرمایی شهری را داشته‌اند (شکل ۵). کلان‌شهر تبریز در سال ۱۳۸۱، ۵۶۲۲۶۹ مگاوات صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاهش جزایر گرمایی شهری را بر اثر زیرساخت‌های سبز شهری داشته است. در این سال در کلان‌شهر تبریز مناطق ۴، ۳، ۶، ۱، ۷، ۲، ۱۰، ۸، ۵ و ۹ به ترتیب برابر با ۹۱۰۳۵، ۸۸۶۲۳، ۷۷۵۰۳، ۶۸۱۸۷، ۵۸۴۱۶، ۲۷۰۹۵، ۲۵۹۳۲، ۱۵۶۷۸ و ۲۵۹۱ مگاوات ساعت بیشترین میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاهش جزایر گرمایی شهری را داشته‌اند (شکل ۵). کلان‌شهر تبریز در سال ۱۴۰۱ بر اثر کاهش جزایر گرمایی شهری ناشی از فضاهای سبز شهری معادل ۱۲۶۳۲۹۴ مگاوات ساعت صرفه‌جویی انرژی داشته است. در این سال در کلان‌شهر تبریز مناطق ۶، ۲، ۷، ۳، ۴، ۱، ۵، ۱۰، ۸ و ۹ به ترتیب ۲۵۱۰۴۶، ۱۷۳۴۲۳، ۱۶۸۲۴۱، ۱۶۳۷۹۳، ۱۵۳۳۱۹، ۱۳۱۰۸۲، ۱۲۱۶۴۷، ۶۲۶۷۰، ۳۱۷۴۱ و ۶۳۲۷ مگاوات ساعت بیشترین میزان ذخیره انرژی را داشته‌اند (شکل ۶). در کل کلان‌شهر تبریز در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۲۲۶۶۴۰، ۵۶۲۲۶۹ و ۱۲۶۳۲۹۴ مگاوات ساعت صرفه‌جویی انرژی و به ترتیب در حدود ۲۲۶۶۴۰، ۵۶۲۲۶۹ و ۱۲۶۳۲۹۴ دلار صرفه‌جویی ناشی از کاهش جزایر گرمایی شهری به‌واسطه زیرساخت‌های سبز شهری را داشته است. به دلیل این‌که میزان ذخیره انرژی برای کاربری مسکونی محاسبه‌شده و کاربری مسکونی کلان‌شهر تبریز به ترتیب برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ در حدود (۴۰۱/۷۷ هکتار) ۱۵/۲۹ درصد، (۸۳۳۰/۵۲ هکتار) ۳۱/۸۳ درصد و (۸۱۹۸/۲۲ هکتار) ۳۱/۳۳ درصد بوده و این‌که مجموع فضای باز، اراضی کشاورزی، فضای سبز و مرتع در سال ۱۴۰۱ که در حدود ۳۴/۲۵ درصد بوده، نسبت به سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۱ که به ترتیب در حدود ۲۱/۶۳ و ۱۵/۹۶ درصد بوده، بیشتر است، از این‌رو در سال‌های ۱۳۸۱ و

۱۴۰۱ نسبت به سال ۱۳۶۳ میزان ذخیره انرژی بیشتر بوده است.



شکل ۵. میزان ذخیره انرژی ناشی از کاهش جزایر گرمایی شهری زیرساخت‌های سبز به تفکیک محلات مناطق ده‌گانه کلان‌شهر تبریز به ترتیب از چپ به راست برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱

بحث

هم سو با نتایج این پژوهش، پژوهشگران دیگری نیز در سطح داخلی و جهانی به بررسی تأثیر زیرساخت‌های سبز در کاهش جزایر گرمایی شهری پرداخته‌اند، و در این پژوهش‌ها نیز همچون این پژوهش بر رابطه کاهش جزایر گرمایی شهری نسبت به کاربری اراضی شهری، بر رتبه‌بندی مناطق و محلات شهری بر اساس کاهش جزایر گرمایی شهری و بر نقش ویژه فضاهای سبز در کاهش جزایر گرمایی شهری تأکید شده است. چنان چه در سطح داخلی از جمله پوردیهیمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش خود اختلاف دمایی سطح زمین را در رابطه با کاربری‌های مختلف زمین مورد بررسی قرار داده که در پژوهش حاضر نیز کاهش جزایر گرمایی در رابطه با انواع کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفته و در این پژوهش نیز همچون پژوهش پوردیهیمی و همکاران بر نقش کاربری‌های دارای پوشش گیاهی و فضای سبز از جمله اراضی کشاورزی در کاهش جزایر گرمایی شهری تأکید شده است. مرتضوی اصل و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود به رتبه‌بندی محلات شهر تهران بر اساس بالاترین میزان جزایر گرمایی پرداخته‌اند که در این پژوهش نیز به رتبه‌بندی مناطق ده‌گانه کلان‌شهر تبریز بر اساس بهترین و بدترین حالت کاهش جزایر گرمایی شهری در سه دوره ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ پرداخته شده است. نامجومنش و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود روند افزایش جزایر گرمایی را در منطقه مورد مطالعه با کمبود فضای سبز مرتبط دانسته که در این پژوهش نیز بر این مورد که به دلیل این که میزان کاربری فضای سبز تبریز در هر سه دوره زمانی نسبت به کاربری‌های دیگر پایین‌تر بوده، فلذا کاهش جزایر گرمایی تبریز در بدترین وضعیت قرار دارد، تأکید شده است. در عرصه خارجی نیز آرام و همکاران (۲۰۱۹) و گائو و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود بیشترین میزان خنک‌کنندگی و شدت اثر آن را مربوط به مساحت پارک خاصه پارک‌های بزرگ شهری مخصوصاً پارک‌هایی با مساحت بیش از ۱۰ هکتار دانسته‌اند که در این پژوهش نیز بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی تبریز در محدوده‌هایی بوده است که پارک‌های بزرگ از قبیل پارک ائل‌گلی، پارک آذربایجان (پارک بزرگ تبریز) و... و یا فضاهای سبز بزرگ‌مقیاس از جمله فضاهای سبز موجود در دانشگاه تبریز و یا فضاهای سبز بزرگ‌مقیاس موجود در دیگر مناطق تبریز در آن‌ها وجود داشته است. همچنین گائو و همکاران (۲۰۲۲) نیز پارک‌ها را جزء نقاط سرد عنوان کرده‌اند که در این پژوهش نیز بر کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز به‌عنوان جزایر سرد اصلی تبریز تأکید شده است. ماراندو و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود بر تأثیر زیرساخت‌های سبز که شهرهای اروپایی را به‌طور متوسط ۱/۰۷ درجه سانتی‌گراد و تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد خنک می‌کند تأکید کرده‌اند که در این پژوهش نیز به این مورد که زیرساخت‌های سبز تبریز در سه دوره زمانی ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ به ترتیب توانسته‌اند در حدود ۸۲/۸۱، ۹۰ و ۸۲/۸۸ درصد از جزایر گرمایی شهری را خنثی کنند، تأکید شده است. به‌طور خاص در مقایسه با پژوهش هو و همکاران (۲۰۲۳) که با پژوهش حاضر دارای مشابهت روش‌شناسی از جمله استفاده از مدل سرمایه‌شناسی نرم‌افزار InVEST است، نیز در پژوهش هو و همکاران به نکات زیر تأکید شده است: مدل سرمایه‌شناسی شهری نرم‌افزار InVEST مقداری از تغییرات مربوط به پاسخ حرارتی سطح شهر ووهان را مشخص می‌کند و می‌تواند برای مدل‌سازی الگوهای کاهش جزایر گرمایی شهری اعمال شود، در ووهان، تفاوت‌های منطقه‌ای در الگوهای کاهش جزایر گرمایی وجود داشت و اثر کاهش جزایر گرمایی در حومه شهر به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از شهر بود، پارک‌های شهری، دریاچه‌ها و کوه‌ها با توزیع سطحی یا بلوکی مزایای خنک‌کنندگی قابل‌توجهی داشتند و فضاهای سبز در کاهش جزایر گرمایی مؤثرتر است، در این پژوهش نیز مدل سرمایه‌شناسی نرم‌افزار InVEST تا حدودی توانست کاهش جزایر گرمایی شهری را نشان دهد و از این‌رو از این مدل برای مدل‌سازی الگوهای کاهش جزایر گرمایی شهری استفاده شد. این پژوهش نیز نشان داد که تفاوت‌های منطقه‌ای در بین مناطق ده‌گانه کلان‌شهر تبریز به لحاظ کاهش جزایر گرمایی شهری وجود داشت، به‌طوری‌که مناطقی که کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز بیشتری داشته‌اند، به‌تبع کاهش جزایر گرمایی بیشتری داشته‌اند. همچنین در این پژوهش نیز نشان داده شد که منطبق با الگوی کاربری اراضی / پوشش اراضی، کلان‌شهر تبریز و مناطق ده‌گانه آن در دوره‌هایی که دارای الگوی توزیع سطحی و بلوکی کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز

بوده‌اند، دارای بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری بوده‌اند و سر آخر در پژوهش حاضر بر نقش ویژه اراضی کشاورزی و فضاهای سبز بر کاهش جزایر گرمایی شهری تأکید شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کلان‌شهر تبریز در سال ۱۳۶۳ در کلاس ۰/۰۹۷ تا ۰/۱۸ درصد یعنی بدترین حالت، ۵۴/۶۵ درصد و بعدازآن در کلاس ۰/۱۹ تا ۰/۳۴ درصد، ۱۷/۹۸ درصد و کلاس ۰/۶۹ تا ۰/۸۳ درصد یعنی در بهترین حالت ۱۵/۴۷ درصد، در سال ۱۳۸۱ در کلاس ۰/۰۹۷ تا ۰/۱۸ درصد یعنی در بدترین حالت، ۴۶/۳۴ درصد، بعدازآن در کلاس ۰/۱۹ تا ۰/۳۱ درصد، ۱۸/۸۰ درصد و کلاس ۰/۶۶ تا ۰/۹۰ درصد یعنی بهترین حالت با ۱۵/۶۳ درصد و در سال ۱۴۰۱ در کلاس ۰/۰۹۸ تا ۰/۱۸ درصد یعنی در بدترین حالت با ۳۴/۹۰ درصد و بعدازآن نیز در کلاس ۰/۳۶ تا ۰/۵۰ درصد یعنی در حد متوسط ۳۳/۳۸ درصد، و کلاس ۰/۶۹ تا ۰/۸۳ درصد یعنی در بهترین حالت ۱۳/۹۳ درصد بیشترین میزان از کاهش جزایر گرمایی شهری را به خود اختصاص داده است. از این رو، کلان‌شهر تبریز در کاهش جزایر گرمایی به خوبی عمل نکرده و در بدترین شرایط قرار دارد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان کاهش جزایر شهری در بین مناطق ده‌گانه کلان‌شهر تبریز مربوط به مناطق و محدوده‌های از آن مناطق بوده است که کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز بیشتری داشته است. چنان‌چه بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز در سال ۱۳۶۳ در بهترین حالت به ترتیب مربوط به مناطق ۴، ۹، ۱، ۶، ۷ و ۲ با میزان ۳۷/۷۹، ۲۵/۲۶، ۱۹/۹۹، ۱۹، ۱۷/۰۲ و ۱۴/۴۲ درصد، در سال ۱۳۸۱ مربوط به مناطق ۱، ۴، ۶، ۷ و ۹ با میزان ۳۴/۴۰، ۲۷/۱۰، ۲۳/۲۲، ۱۸/۶۸ و ۱۴/۲۷ درصد و در سال ۱۴۰۱ مربوط به مناطق ۵، ۹، ۲، ۳، ۴ و ۱ با میزان ۴۷/۷۶، ۳۷/۲۷، ۳۳/۱۵، ۲۵/۲۱، ۲۳/۴۷ و ۲۲/۶۵ درصد بوده است. این پژوهش همچنین نشان داد که کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز در کاهش جزایر گرمایی شهری نقش فزاینده و ویژه‌ای داشته‌اند. چنان‌چه در سال ۱۳۶۳ در محدوده‌هایی از کلان‌شهر تبریز که به ترتیب کاربری کشاورزی، فضاهای سبز و تراکم مسکونی کم وجود داشته، بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری رخ داده و در محدوده‌هایی که به ترتیب اراضی بایر، تراکم مسکونی زیاد و متوسط وجود داشته، کاهش جزایر گرمایی در بدترین وضعیت قرار دارد. در سال ۱۳۸۱ در محدوده‌هایی از کلان‌شهر تبریز که اراضی کشاورزی و فضاهای سبز وجود داشته، بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی و در قسمت‌هایی که اراضی بایر، تراکم مسکونی زیاد و متوسط وجود داشته، کاهش جزایر گرمایی شهری پائینی را شاهد هستیم. در سال ۱۴۰۱ نیز به ترتیب در محدوده‌هایی که اراضی کشاورزی، فضاهای سبز، فضاهای باز و تراکم مسکونی کم وجود داشته، بیشترین میزان کاهش جزایر گرمایی و در محدوده‌هایی که اراضی بایر، تراکم مسکونی زیاد و متوسط وجود داشته، کمترین میزان کاهش جزایر گرمایی شهری اتفاق افتاده است. همچنین در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ زیرساخت‌های سبز در کلان‌شهر تبریز به ترتیب توانسته در حدود ۸۲/۸۱، ۹۰ و ۸۲/۸۸ درصد از جزایر گرمایی شهری را خنثی کند. نتایج همچنین نشان داد که الگوی توزیع سطحی و بلوکی کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز، بیشترین نقش را در کاهش جزایر گرمایی داشته‌اند. با توجه به این که ایران جزء کشورهای در حال توسعه بوده و کلان‌شهر تبریز نیز به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران در طی دهه‌های اخیر شهرنشینی سریعی را تجربه کرده است، زیرساخت‌های سبز موجود در کلان‌شهر تبریز بیشتر از نوع تکه‌تکه بوده و این که در این کلان‌شهر در هر سه دوره میزان کاربری فضای سبز نسبت به کاربری‌های دیگر پائین بوده، از این رو این کلان‌شهر در هر سه دوره در کاهش جزایر گرمایی شهری عملکرد ضعیفی داشته است. در هر سه دوره ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ الگوی کاهش جزایر گرمایی شهری تبریز منطبق با الگوی کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز (جزایر سرد اصلی کلان‌شهر تبریز) از هر سه نوع الگوی

خوشه‌ای، بلوکی و تکه‌تکه بوده، ولی در سال ۱۴۰۱ بیشتر از نوع تکه‌تکه و کمتر از نوع خوشه‌ای و بلوکی بوده است. همچنین کلان‌شهر تبریز در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۲۲۶۶۴۰، ۵۶۲۲۶۹ و ۱۲۶۳۲۹۴ مگاوات ساعت صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاهش جزایر گرمایی شهری بر اثر زیرساخت‌های سبز را داشته است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی به مقایسه تطبیقی میزان کاهش جزایر گرمایی این کلان‌شهر با استفاده از زیرساخت‌های سبز در رابطه با حومه‌های اطراف آن و با استفاده از عوامل دخیل و مرتبط بیشتر و بهتر و نرم‌افزارهای دیگر و بهتر و ظرفیت کاهش جزایر گرمایی کلان‌شهر تبریز در طول شب نیز پرداخته شود.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- آزادی مبارکی، محمد و احمدی، محمود. (۱۳۹۹). بررسی جزایر حرارتی تبریز با رویکرد زیست‌پذیری شهری، نشریه پژوهش‌های دانش زمین، ۱۱ (۴۳)، ۲۴۵-۲۶۲. <https://doi: 10.52547/esrj.11.3.245>
- آزادی مبارکی، محمد و احمدی، محمود. (۱۴۰۰). بررسی جزایر حرارتی شهری کلان‌شهر تبریز با استفاده از داده‌های چند زمانه ماهواره LANDSAT8 مبتنی بر روش تحلیل لکه‌های داغ. فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۱ (۴۳)، ۴۷-۶۳. <https://doi: 10.30495/jzpm.2021.3992>
- احمدپور، امیر؛ سلیمانی، کریم؛ شکری، مریم و قربانی، جمشید. (۱۳۹۳). مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه پوشش گیاهی. مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵ (۳)، ۷۷-۸۹.
- پوردیهیمی، شهرام؛ تحصیل دوست، محمد و عامری، پوریا. (۱۳۹۸). تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش شدت جزایر حرارتی شهر (نمونه موردی: کلان‌شهر تهران). فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۵ (۱۶)، ۹۷-۱۲۲.
- تابعی، نادر؛ بابایی اقدم، فریدون و حکیمی، هادی. (۱۴۰۱). شهر همه‌شمول؛ رویکردی نوین در برنامه‌ریزی شهری مطالعه موردی: شهر تبریز. مجله پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۱۰ (۲)، ۱۱۵-۱۳۲. <https://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2022.335543.1627>
- ریاحی بختیاری، حمیدرضا. (۱۳۷۹). تعیین مناسب‌ترین روش تهیه نقشه‌های پوشش منابع طبیعی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در ناحیه دشت ارژن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران.
- زبیری، محمود و مجد، علیرضا. (۱۳۷۸). آشنایی با فن سنجش‌ازدور و کاربرد آن در منابع طبیعی. چاپ دوم، تهران: انتشارات

دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ.

- زینالی عظیم، علی؛ حاتمی گلزاری، الهام؛ کرمی، اسلام و بابازاده اسکویی، سولماز. (۱۴۰۰). سنجش پایداری محیطی شهر تبریز بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی. *فصلنامه پایداری، توسعه و محیط‌زیست*، ۲ (۳)، ۴۱-۵۹. <https://doi.org/JSDE-2111-1168>
- ساروئی، سعید. (۱۳۷۸). بررسی امکان طبقه‌بندی جنگل به لحاظ تراکم در جنگل‌های زاگرس به کمک داده‌های ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران.
- علیزاده، امین. (۱۳۷۷). *اصول طراحی سیستم‌های آبیاری*. چاپ سوم، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع).
- فربودی، مرضیه و زمانی، زهرا. (۱۴۰۱). کاهش جزایر حرارتی شهری از طریق افزایش سبزی‌نگی و سطوح نفوذپذیر در تهران. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۴ (۲)، ۳۱-۴۵. <https://doi.org/10.30495/jest.2022.58441.5276>
- کاظمی، محمد؛ نوحه‌گر، احمد و میردادی، میرداد. (۱۳۹۶). انتخاب بهترین روش طبقه‌بندی در تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی حوضه آبخیز بهشت گمشده، استان فارس). *فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، ۱ (۱)، ۷۹-۹۷.
- مرتضوی اصل، سید کامیار؛ سعیدی رضوانی، نوید و رضایی، محمود. (۱۴۰۱). ارزیابی میزان تأثیر ذرات معلق و پوشش گیاهی بر تشکیل جزایر گرمایی و خنک در شهر تهران. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۹ (۱)، ۹۷-۱۱۴. <https://doi.org/20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2>
- معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز. (۱۴۰۱). *سالنامه آماری شهر و شهرداری تبریز (سال ۱۳۹۹)*، چاپ اول، تبریز: معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز، اداره کل برنامه‌ریزی و توسعه، گروه آمار و تحلیل اطلاعات.
- ملکی مرشد، رقیه؛ سبحانی، بهروز و مرادی، مسعود. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی کلان‌شهر تبریز. *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰ (۳۸)، ۱۱۱-۱۲۸. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.69683.1040>
- مهندسين مشاور نقش محیط. (۱۳۹۱). *طرح توسعه و عمران (جامع) شهر تبریز*. گزارش محیطی مرحله موجود، وزارت راه و شهرسازی، اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی.
- نامجومنش، جواد؛ کارگر، بهمن و زیویار، پروانه. (۱۴۰۱). مدیریت شهری و بازآفرینی فضاهای سبز و تأثیر آن در تعدیل جزایر گرمایی. *ماهنامه جامعه‌شناسی سیاسی ایران*، ۵ (۱۲)، ۲۳۳۲-۲۳۵۲. <https://doi.org/10.30510/psi.2022.299994.2144>

منابع انگلیسی

References

- Abdulateef, M. F., & Al-Alwan, H. A. (2022). The effectiveness of urban green infrastructure in reducing surface urban heat island. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(1), 101526. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.06.012>
- Ahern, J. (2007). Green Infrastructure for Cities: The Spatial Dimension In Cities of the Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management, edited by V. Novotny and PR Brown. *Novotny, Vladimir*, 265-283.
- Ahmedpour, A., Soleimani, K., Shokri, M., & Ghorbani, J. (2014). Comparison of the effectiveness of three common methods of supervised classification of satellite data in vegetation study. *Journal of Remote Sensing and GIS Application in Natural Resources Sciences*, 5 (3), 77-89. [In Persian].
- Akbari, H., Matthews, H. D., & Seto, D. (2012). The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. *Environmental Research Letters*, 7(2), 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024004>
- Al-doski, J., Mansor, S. B., & Shafri, H. Z. M. (2013). Change detection process and techniques. *Civil and Environmental Research*, 3(10).
- Aleksandrowicz, O., Vuckovic, M., Kiesel, K., & Mahdavi, A. (2017). Current trends in urban heat island mitigation research: Observations based on a comprehensive research repository. *Urban Climate*, 21, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.04.002>

- Alizadeh, A. (1998). *Principles of designing irrigation systems*, Mashhad: Astan Quds Razavi Publishing, Imam Reza University (AS), Third Edition. [In Persian].
- 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*. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Aram, F., García, E. H., Solgi, E., & Mansournia, S. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>
- Arbuthnott, K. G., & Hajat, S. (2017). The health effects of hotter summers and heat waves in the population of the United Kingdom: a review of the evidence. *Environmental health*, 16(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0322-5>
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology: a Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(1), 1-26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Azadi Mubarak, M., & Ahmadi, M. (2020). Investigating the heat islands of Tabriz with the approach of urban livability. *Researches earth sciences*, 11(43), 245-262. <https://doi.org/10.52547/esrj.11.3.245> [In Persian].
- Azadi Mubarak, M., & Ahmadi, M. (2021). Investigation of urban heat islands of Tabriz metropolis using multi-time data of LANDSAT8 satellite based on hot spot analysis method. *Regional Planning*, 11(43), 47-63. <https://doi.org/10.30495/jzpm.2021.3992> [In Persian].
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29 (2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Boumans, R.J., Phillips, D.L., Victory, W., Fontaine, T.D. (2014). Developing a model for effects of climate change on human health and health-environment interactions: heat stress in Austin, Texas. *Urban Clim.* 8, 78-99. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.03.001>
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and urban planning*, 96(4), 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.03.008>
- Čeplová, N., Kalusová, V., & Lososová, Z. (2017). Effects of settlement size, urban heat island and habitat type on urban plant biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, 159, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.11.004>
- Chen, H., Deng, Q., Zhou, Z., Ren, Z., & Shan, X. (2022). Influence of land cover change on spatio-temporal distribution of urban heat island—a case in Wuhan main urban area. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103715. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103715>
- Chuai, X., Huang, X., Wu, C., Li, J., Lu, Q., Qi, X., ... & Lu, J. (2016). Land use and ecosystems services value changes and ecological land management in coastal Jiangsu, China. *Habitat International*, 57, 164-174. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.07.004>
- Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., ... & Perini, L. (2005). Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environmental research*, 98(3), 390-399. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.10.009>
- Cruz, J. A., Blanco, A. C., Garcia, J. J., Santos, J. A., & Moscoso, A. D. (2021). Evaluation of the cooling effect of green and blue spaces on urban microclimate through numerical simulation: A case study of Iloilo River Esplanade, Philippines. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103184. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103184>
- Cuthbert, M. O., Rau, G. C., Ekström, M., O'Carroll, D. M., & Bates, A. J. (2022). Global climate-driven trade-offs between the water retention and cooling benefits of urban greening. *Nature communications*, 13(1), 518. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28160-8>
- Das, M., & Das, A. (2019). Dynamics of Urbanization and its impact on Urban Ecosystem Services (UESs): a study of a medium size town of West Bengal, Eastern India. *J Urban Manag*, 8 (3), 420-434. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.03.002>
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 67, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009>

- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., ... & Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146, 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025>
- Deng, C., & Wu, C. (2013). Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach. *Remote Sensing of Environment*, 131, 262-274. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.020>
- Depietri, Y. (2020). The social-ecological dimension of vulnerability and risk to natural hazards. *Sustainability Science*, 15(2), 587-604. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00710-y>
- Dobbs, C., Escobedo, F. J., & Zipperer, W. C. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and urban planning*, 99 (3-4), 196-206. doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.004
- Dong, Y., Ren, Z., Fu, Y., Hu, N., Guo, Y., Jia, G., & He, X. (2022). Decrease in the residents' accessibility of summer cooling services due to green space loss in Chinese cities. *Environment International*, 158, 107002. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107002>
- Doswald, N., & Osti, M. (2011). *Ecosystem-based approaches to adaptation and mitigation: good practice examples and lessons learned in Europe*, Deutschland/Bundesamt für Naturschutz.
- Dwivedi, A., & Mohan, B. K. (2018). Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10, 56-69. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.01.003>
- Farbudi, M., & Zamani, Z. (2022). Studying the solutions of urban heat island mitigation through greenery and permeable surface in Tehran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 24 (2), 31-45. <https://doi.org/10.30495/jest.2022.58441.5276> [In Persian].
- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). Examining urban heat island relations to land use and air pollution: Multiple endmember spectral mixture analysis for thermal remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3), 1749-1756. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2263425>
- Fu, P., & Weng, Q. (2016). A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 175, 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.040>
- Gao, Z., Zaitchik, B. F., Hou, Y., & Chen, W. (2022). Toward park design optimization to mitigate the urban heat Island: Assessment of the cooling effect in five US cities. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103870. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103870>
- García, D. H., & Díaz, J. A. (2021). Modeling of the Urban Heat Island on local climatic zones of a city using Sentinel 3 images: Urban determining factors. *Urban Climate*, 37, 100840. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100840>
- Guo, S., Yang, G., Pei, T., Ma, T., Song, C., Shu, H., ... & Zhou, C. (2019). Analysis of factors affecting urban park service area in Beijing: Perspectives from multi-source geographic data. *Landscape and Urban Planning*, 181, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.09.016>
- Heaviside, C., Vardoulakis, S., & Cai, X. M. (2016). Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK. *Environmental health*, 15(1), 49-59. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0100-9>
- Hewitt, C. N., Ashworth, K., & MacKenzie, A. R. (2020). Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ). *Ambio*, 49, 62-73. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01164-3>
- <https://xiaoganghe.github.io/InVEST-Cities-in-Nature/docs/Urban-Cooling/about/>
- <https://www.copernicus.eu/en/global-land-surface-albedo>
- <https://www.eia.gov/>
- <https://www.tabriz.ir/?PageID=322>
- 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. <https://doi.org/10.3390/land12050963>
- Huang, C., Davis, L. S., & Townshend, J. R. G. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of remote sensing*, 23(4), 725-

749. <https://doi.org/10.1080/01431160110040323>
- Inostroza, L. (2014). Measuring urban ecosystem functions through ‘Technomass’ - a novel indicator to assess urban metabolism. *Ecol. Indic.* 42, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.035>
- Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423, 528–531. <https://doi.org/10.1038/nature01675>
- Kang, P., Chen, W., Hou, Y., & Li, Y. (2019). *Spatial-temporal risk assessment of urbanization impacts on ecosystem services based on pressure-status—Response framework*. *Scientific Reports*, 9, 16806. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52719-z>
- Kazemi, M., Nohegar, A., & Mirdadi, M. (2017). Comparison of different classification algorithms in Landsat OLI imagery to produce land use maps (Case study: Beheshte Gomshode region). *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 8 (1), 79-97. [In Persian].
- Khamchiangta, D., & Dhakal, S. (2019). Physical and non-physical factors driving urban heat island: Case of Bangkok Metropolitan Administration, Thailand. *Journal of environmental management*, 248, 109285. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109285>
- Khare, V. R., Vajpai, A., & Gupta, D. (2021). A big picture of urban heat island mitigation strategies and recommendation for India. *Urban Climate*, 37, 100845. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100845>
- Kindu, M., Schneider, T., Teketay, D., & Knoke, T. (2016). Changes of ecosystem service values in response to land use/land cover dynamics in Munessa–Shashemene landscape of the Ethiopian highlands. *Science of The Total Environment*, 547, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.127>
- Lai, D., Lian, Z., Liu, W., Guo, C., Liu, W., Liu, K., & Chen, Q. (2020). A comprehensive review of thermal comfort studies in urban open spaces. *Science of the Total Environment*, 742, 140092. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140092>
- Lin, B. S., & Lin, C. T. (2016). Preliminary study of the influence of the spatial arrangement of urban parks on local temperature reduction. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 348-357. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.10.003>
- Lin, J., Qiu, S., Tan, X., & Zhuang, Y. (2023). Measuring the relationship between morphological spatial pattern of green space and urban heat island using machine learning methods. *Building and Environment*, 228, 109910. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109910>
- Lin, W., Yu, T., Chang, X., Wu, W., & Zhang, Y. (2015). Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test. *Landscape and Urban Planning*, 134, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.012>
- Liu, H., Huang, B., Zhan, Q., Gao, S., Li, R., & Fan, Z. (2021). *The influence of urban form on surface urban heat island and its planning implications: Evidence from 1288 urban clusters in China*. *Sustainable Cities and Society*, 71, Article 102987. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102987>
- Macintyre, H. L., Heaviside, C., Taylor, J., Picetti, R., Symonds, P., Cai, X. M., & Vardoulakis, S. (2018). Assessing urban population vulnerability and environmental risks across an urban area during heatwaves—Implications for health protection. *Science of the total environment*, 610, 678-690. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.062>
- Maleki Meresht, R., Sobhani, B., & Moradi, M. (2021). Investigating the effect of heat waves On Thermal Islands In Tabriz metropolis. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(38), 111-128. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.69683.1040> [In Persian].
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., ... & Maes, J. (2022). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Marando, F., Salvatori, E., Sebastiani, A., Fusaro, L., & Manes, F. (2019). Regulating ecosystem services and green infrastructure: Assessment of urban heat island effect mitigation in the municipality of Rome, Italy. *Ecological Modelling*, 392, 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.011>
- Martins, T. A., Adolphe, L., Bonhomme, M., Bonneaud, F., Faraut, S., Ginestet, S., ... & Guyard, W. (2016). Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France. *Sustainable Cities*

- and Society, 26, 9-26. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.003>
- McPherson, E. G., Xiao, Q., & Aguaron, E. (2013). A new approach to quantify and map carbon stored, sequestered and emissions avoided by urban forests. *Landscape and Urban Planning*, 120, 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.08.005>
- Mirzaei, P. A., & Haghghat, F. (2010). Approaches to study urban heat island – Abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10), 2192–2201. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.001>
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Monteith, J. L. (1965). *Evaporation and environment*. In *Symposia of the society for experimental biology* (Vol. 19, pp. 205-234). Cambridge University Press (CUP) Cambridge.
- Mortazavi-Asl, S. K., Saeidirezvani, N., & Rezaei, M. (2022). Evaluation of the effect of particulate matter and vegetation on the formation of heat and cold islands in Tehran. *Journal of spatial environmental hazards*, 9(1), 97-114. <https://doi.org/20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2> [In Persian].
- Mukherjee, F., & Singh, D. (2020). Assessing land use–land cover change and its impact on land surface temperature using LANDSAT data: A comparison of two urban areas in India. *Earth Systems and Environment*, 4(2), 385–407. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00155-9>
- Naghsh-E-Mohit Consulting Engineers. (2012). *Development and Construction (Comprehensive) Plan of Tabriz City, Environmental Report of the Existing Stage*, Ministry of Roads and Urban Development, General Office of Roads and Urban Development of East Azerbaijan Province. [In Persian].
- Namjoumanesh, J., Karegar, B., & Zivyar, P. (2022). Urban management and regeneration of green spaces and its effect on mitigation of heat islands. *Political Sociology of Iran*, 5(12), 2332-2352. <https://doi:10.30510/psi.2022.299994.2144> [In Persian].
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Norton, B., Bosomworth, K., Coutts, A., Williams, N. S., Livesley, S., Trundle, A., ... & McEvoy, D. (2013). *Planning for a cooler future: Green infrastructure to reduce urban heat*, Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research. <https://doi.org/10.13140/2.1.2430.1764>
- Nuruzzaman, M. (2015). Urban heat island: causes, effects and mitigation measures-a review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 67-73. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15>
- ONU, (2018). 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- Peng, J., Dan, Y., Qiao, R., Liu, Y., Dong, J., & Wu, J. (2021). How to quantify the cooling effect of urban parks? Linking maximum and accumulation perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112135. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112135>
- Peng, J., Liu, Q., Xu, Z., Lyu, D., Du, Y., Qiao, R., & Wu, J. (2020). How to effectively mitigate urban heat island effect? A perspective of waterbody patch size threshold. *Landscape and Urban Planning*, 202, 103873. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103873>
- Penney, J. (2008). *Climate change adaptation in the city of Toronto*. <https://policycommons.net/artifacts/1222909/climate-change-adaptation-in-the-city-of-toronto/1775986/>
- Phelan, P. E., Kaloush, K., Miner, M., Golden, J., Phelan, B., Silva III, H., & Taylor, R. A. (2015). Urban heat island: mechanisms, implications, and possible remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 285-307. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155>
- Pourdehimi, S., Tahsildoost, M., & Ameri, P. (2019). Effect of Vegetation Cover on Energy Consumption Optimization due to Reduction of Urban Heat Island intensity: Case of Tehran Metropolitan Area. *journal of energy policy and planning research*, 5(16), 97-122. [In Persian].
- Qian, W., & Li, X. (2023). A cold island connectivity and network perspective to mitigate the

- urban heat island effect. *Sustainable Cities and Society*, 94, 104525. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104525>
- Qiu, J., Li, X., & Qian, W. (2023). Optimizing the spatial pattern of the cold island to mitigate the urban heat island effect. *Ecological Indicators*, 154, 110550. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110550>
- Qiu, K., & Jia, B. (2020). The roles of landscape both inside the park and the surroundings in park cooling effect. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101864. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101864>
- Reba, M., & Seto, K. C. (2020). A systematic review and assessment of algorithms to detect, characterize, and monitor urban land change. *Remote Sensing of Environment*, 242, 111739. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111739>
- Riahi Bakhtiari, H. R. (2000). *Determining the most suitable method for mapping natural resources coverage on a scale of 1/25000 using satellite data in the Arjan plain area*. Master's thesis, natural resources faculty, University of Tehran, Tehran. [In Persian].
- Richards, J. A., & Jia, X. (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102459>
- Rozos, E., Makropoulos, C., & Maksimović, Č. (2013). Rethinking urban areas: an example of an integrated blue-green approach. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(6), 1534-1542. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.140>
- Salvati, L., Zambon, I., Chelli, F. M., & Serra, P. (2018). Do spatial patterns of urbanization and land consumption reflect different socioeconomic contexts in Europe?. *Science of the Total Environment*, 625, 722-730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.341>
- Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224–240. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Santamouris, M. (2015). Regulating the damaged thermostat of the cities—Status, impacts and mitigation challenges. *Energy and Buildings*, 91, 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.027>
- Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, 207, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482>
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings— A review. *Energy and buildings*, 98, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052>
- Saroei, S. (1999). *Investigating the possibility of forest classification in terms of density in Zagros forests using satellite data*. Master thesis, Faculty of natural resources, University of Tehran, Tehran. [In Persian].
- Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V., & Guédalia, D. (2006). Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmospheric environment*, 40(10), 1743-1758. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.037>
- Schneider, A., Friedl, M. A., & Potere, D. (2010). Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: New methods and datasets based on 'urban ecoregions'. *Remote sensing of environment*, 114(8), 1733-1746. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.03.003>
- Sebastiani, A., Marando, F., & Manes, F. (2021). Mismatch of regulating ecosystem services for sustainable urban planning: PM10 removal and urban heat island effect mitigation in the municipality of Rome (Italy). *Urban Forestry & Urban Greening*, 57, 126938. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126938>
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy*

- of Sciences*, 109(40), 16083-16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Sharma, R., Ghosh, A., & Joshi, P. K. (2013). Spatio-temporal footprints of urbanisation in Surat, the Diamond City of India (1990–2009). *Environmental monitoring and assessment*, 185(4), <https://doi.org/3313-3325>. [10.1007/s10661-012-2792-9](https://doi.org/10.1007/s10661-012-2792-9)
- Sharma, S., Nahid, S., Sharma, M., Sannigrahi, S., Anees, M. M., Sharma, R., Shekhar, R., Basu, A. S., Pilla, F., Basu, B., & Joshi, P. K. (2020). A long-term and comprehensive assessment of urbanization-induced impacts on ecosystem services in the capital city of India. *City and Environment Interactions*, 7, Article 100047. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100047>
- Tabeyi, N., Babae Aghdam, F., & Hakimi, H. (2022). Inclusive city; A new approach in urban planning A case study the Tabriz city. *Journal of Geographical Urban Planning Research*, 10 (2), 115-132. <https://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2022.335543.1627> [In Persian].
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 25(2), 99-103. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)
- Tratalos, J., Fuller, R. A., Warren, P. H., Davies, R. G., & Gaston, K. J. (2007). Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and urban planning*, 83(4), 308-317. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.003>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- Ulpiani, G. (2021). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. *The Science of the Total Environment*, 751, 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141727>
- Vaz Monteiro, M., Doick, K. J., Handley, P., & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry and Urban Greening*, 16, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.008>
- Vice President of Planning and Development of Human Capital of Tabriz Municipality. (2022). *Statistical yearbook of Tabriz city and municipality (year 2020)*, Tabriz: Vice President of Planning and Development of Human Capital of Tabriz Municipality, Program and Budget Department, Group of Statistics and Information Analysis, First Edition. [In Persian].
- Villanueva-Solis, J., Ranfla, A., & Quintanilla-Montoya, A. L. (2013). Isla de calor urbana: modelación dinámica y evaluación de medidas de mitigación en ciudades de clima árido extremo. *Información tecnológica*, 24(1), 15-24. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Wang, C., Ren, Z., Chang, X., Wang, G., Hong, X., Dong, Y., ... & Wang, W. (2023). Understanding the cooling capacity and its potential drivers in urban forests at the single tree and cluster scales. *Sustainable Cities and Society*, 93, 104531. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104531>
- Wang, C., Ren, Z., Dong, Y., Zhang, P., Guo, Y., Wang, W., & Bao, G. (2022). Efficient cooling of cities at global scale using urban green space to mitigate urban heat island effects in different climatic regions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127635. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127635>
- Wang, Z., Meng, Q., Allam, M., Hu, D., Zhang, L., & Menenti, M. (2021). *Environmental and anthropogenic drivers of surface urban heat island intensity: A case-study in the Yangtze River Delta, China*. *Ecological Indicators*, 128, Article 107845. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107845>
- Wu, Z., & Chen, L. (2017). Optimizing the spatial arrangement of trees in residential neighborhoods for better cooling effects: Integrating modeling with in-situ measurements. *Landscape and Urban Planning*, 167, 463-472. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.07.015>
- Xie, M., Gao, Y., Cao, Y., Breuste, J., Fu, M., & Tong, D. (2015). Dynamics and temperature regulation function of urban green connectivity. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3), A5014008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000266](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000266)

- Yang, C., Yan, F., & Zhang, S. (2020). Comparison of land surface and air temperatures for quantifying summer and winter urban heat island in a snow climate city. *Journal of environmental management*, 265, 110563. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110563>
- Yin, C., Yuan, M., Lu, Y., Huang, Y., & Liu, Y. (2018). Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model. *Science of The Total Environment*, 634, 696–704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.350>
- Zeynali Azim, A., Hatami Golzari, E., Karami, I., & Babazadeh Oskoui, S. (2021). Measuring the Environmental Sustainability of Tabriz City Based on Environmental Indicators of Smart Urban Growth. *Journal of Sustainability, Development & Environment*, 2 (3), 41-59. [In Persian].
- Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B., & Oleson, K. (2014). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*, 511, 216–219. <https://doi.org/10.1038/nature13462>
- Zubeyri, M., & Majd, A. R. (1999). *Familiarity with remote sensing technology and its application in natural resources*, Second Edition, Tehran: Tehran University Press, Publishing and Printing Institute. [In Persian].