https://sppl.ui.ac.ir/?lang=en
Spatial Planning
E-ISSN: 2476-3357
Document Type: Research Paper
Vol. 15, Issue 2, No.57, 2025, pp. 35- 70
Received: 16/08/2024 Accepted: 23/04/2025

Evaluating the Effects of Mitigating Urban Heat Islands of Green Infrastructure on Increasing the Productivity of Light and Heavy Work (Case Study: Tabriz Metropolitan)

Mahdi Herischian
Ph.D. student of Geography and Urban Planning, Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran
heris.mahdi1400@yahoo.com

Hassan Mahmoudzadeh *
Ph.D. of Geography and Urban Planning, Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran
hassan.mahmoudzadeh@gmail.com

Rasoul Ghorbani
Ph.D. of Geography and Urban Planning, Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran
ghorbani.rasoul@gmail.com

Abstract
Urban heat islands have significant adverse effects on the environment, human health and well-being, and productivity of both light and heavy industries. Reduced productivity and labor capacity can lead to numerous negative economic consequences worldwide. Meanwhile, urban green infrastructure increasingly plays a vital role in mitigating urban heat islands, thereby enhancing citizens' quality of life, improving health and thermal comfort, and boosting labor productivity. This research examined the role of urban green infrastructure in the metropolitan area of Tabriz in alleviating the effects of urban heat islands and increasing productivity in both light and heavy work sectors. Data from Landsat satellite images from 1984, 2002, and 2022, along with land use/land cover information, meteorological data, and biophysical tables, were utilized for this study. The analysis employed Geographic Information System (GIS) and the urban cooling model of InVEST software. The results indicated that in 1984, Lost productivity for heavy work in Tabriz was distributed as follows: 14.15% in the 0% class, 3.53% in the 25% class, 58.25% in the 50% class, and 24.06% in the 75% class. By 2002, the figures

*Corresponding Author

Herischian, M. , Mahmoudzadeh, H. and Ghorbani, R. (2025). Evaluating the Effects of Mitigating Urban Heat Islands of Green Infrastructure on Increasing the Productivity of Light and Heavy Works, Case Study: Tabriz Metropolitan. *Spatial Planning*, 15 (2), 35 - 70 .

2476-3357 © The Author(s). Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

10.22108/sppl.2025.142015.1797

shifted to 1.89% in the 0% class, 66.61% in the 25% class, and 31.49% in the 50% class. In 2022, lost productivity in heavy work productivity was reported as 0.24% in the 25% class, 51.29% in the 50% class, and 48.46% in the 75% class. Furthermore, in 1984, Tabriz experienced lost productivity for light work of 76.10% in the 0% class and 23.89% in the 75% class. By 2002, no districts in Tabriz reported lost productivity in light work. However, in 2022, lost productivity was recorded at 51.54%, 20.72%, 22.68%, and 5.05% for the 0%, 25%, 50%, and 75% classes, respectively.

Keywords*:* Urban Heat Islands, Green Infrastructure, Productivity of Light and Heavy Work, Tabriz Metropolitan.

Introduction

Urban heat stress increasingly contributes to reduced productivity in both light and heavy industries, leading to significant economic losses. In contrast, urban green infrastructure plays a crucial role in enhancing citizens' quality of life, well-being, health, and thermal comfort, while also boosting productivity across various sectors. Tabriz, one of Iran's megacities, has undergone rapid urbanization and growth in recent decades. The challenges posed by urban heat islands, air pollution, and elevated temperatures threaten the city's viability. Consequently, the issue of urban heat island effects has become a pressing concern for this metropolitan area. This research explored the mitigating role of urban green infrastructure in Tabriz and its impact on enhancing productivity in light and heavy work sectors.

Materials & Methods

This research employed a descriptive-analytical methodology with a developmental-applicative focus. Data were collected through a combination of library resources, documentary evidence, electronic sources, surveys, and field observations. The study utilized the urban cooling model from the InVEST 3.12.0 software package, which calculated the mitigation of urban heat islands by considering factors, such as shading, evapotranspiration, albedo, and proximity to cooling islands like parks. In this model, vegetation cover served as a key parameter for estimating heat island mitigation. Ultimately, the model assessed the service value of heat island mitigation using two evaluation methods: energy consumption (potential energy reduction) and labor productivity (light and heavy work). The ecosystem service value of mitigating heat islands in the green infrastructure of Tabriz was calculated based on lost productivity in light and heavy work sectors. The primary inputs for the model included a land use/land cover raster map, a reference evapotranspiration (ET0) raster map, a biophysical table containing details about each land use/land cover class, a vector map of city buildings, and an energy consumption rate table categorized by building type and air temperature. Data from Landsat satellite images for the years 1984, 2002, and 2022, along with land use/land cover information, meteorological data, a biophysical table, and a detailed plan from the 2016 Tabriz municipality, were utilized. The analysis was conducted using GIS and the urban cooling model of InVEST. Landsat 5 satellite images were used for 1984 and 2002, while those of Landsat 8 were used for 2022. The land use/land cover map of the metropolitan area of Tabriz was prepared using ENVI 5.8 software and the Maximum Likelihood Classification (MLC) technique, resulting in a map categorized into 9 classes: high residential density, medium residential density, low residential density, open space, barren land, agricultural land, garden land, and pasture with a pixel resolution of 30 m. To prepare the reference evapotranspiration (ET0) map, the standard ASCE Penman-Monteith method—provided by the American Society of Civil Engineers—was employed. The biophysical table included essential information about each land use/land cover class, such as:

- ***Shadow Effect:*** Ranging from 0 to 1, this value relates to tree cover, specifically for trees exceeding 2 meters in height.
- ***Kc (Evaporation and Transpiration Coefficient):*** This coefficient reflects the relative evaporation and transpiration of each plant and soil type compared to the reference value, with values also ranging from 0 to 1. These values were sourced from the InVEST software manual for various land uses in this research.
- ***Albedo:*** This value, which ranges from 0 to 1, indicates the proportion of sunlight that each land use/land cover class reflects directly.

Data regarding the impact of large green spaces on non-agricultural vegetation in artificial lands were also collected, with this effect quantified between 0 and 1. In terms of urban heat island intensity for the metropolitan area of Tabriz, the recorded temperature differences during the summer season were as follows: 3.2°C in 1984, 4.2°C in 2002, and 5.2°C in 2022. The reference temperatures for the village in those years were 28.1°C, 27.2°C, and 29.2°C, respectively. The maximum distance for air temperature mixing in Tabriz was set at 500 m, while the maximum distance to locate a large-scale green space (2 hectares or more) was established at 450 m.

Research Findings

The results revealed that in 1984, the metropolitan area of Tabriz had the productivity levels of 14.15%, 3.53%, 58.25%, and 24.06% across the 0%, 25%, 50%, and 75% classes, respectively. In 2002, these levels changed to 1.89% for the 0% class, 66.61% for the 25% class, and 31.49% for the 50% class. By 2022, productivity in the 25%, 50%, and 75% classes was recorded at 0.24%, 51.29%, and 48.46%, respectively. Regarding lost productivity in light work, Tabriz experienced losses of 76.10% in the 0% class and 23.89% in the 75% class in 1984. However, in 2002, all districts of Tabriz reported a 0% loss in productivity for light work as their Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) was below 31.5°C. In 2022, the losses in productivity for light work were 51.54%, 20.72%, 22.68%, and 5.05% in the 0%, 25%, 50%, and 75% classes, respectively.

Discussion of Results & Conclusion

The results indicated that agricultural land and green spaces played a crucial role in reducing Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), mitigating urban heat islands and consequently minimizing productivity losses in both light and heavy labor across the metropolitan area of Tabriz. In 1984, regions of Tabriz with agricultural use, green spaces, and low residential density exhibited the lowest WBGT levels, resulting in minimal productivity losses for both light and heavy work. Conversely, areas characterized by barren land and higher residential density experienced elevated WBGT levels, leading to greater productivity losses. By 2002, regions with increased agricultural land and green spaces continued to show the lowest WBGT levels, while areas with barren land and higher residential density recorded the highest WBGT and subsequent productivity losses. In 2022, the pattern remained consistent: areas rich in agricultural land, green spaces, open areas, and low residential density exhibited the lowest WBGT and the most effective mitigation of urban heat islands, resulting in the least productivity loss for light and heavy work. In contrast, regions dominated by barren land and higher residential density faced the highest WBGT levels, the least effective urban heat island mitigation, and the greatest productivity losses.

برنامه‌ریزی فضایی
سال پانزدهم، شماره دوم، (پیاپی ۵۷)، ۱۴۰۴، ص ۷۰- ۳۵
تاریخ وصول: ۱۴۰۳/۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیرات کاهش جزایر حرارتی شهری زیرساخت‌های سبز بر افزایش بهره‌وری کارهای سبک و سنگین: مطالعهٔ موردی: کلانشهر تبریز*

مهدی هریسچیان، دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
heris.mahdi1400@yahoo.com
حسن محمودزاده *، استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
hassan.mahmoudzadeh@gmail.com
رسول قربانی، استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
ghorbani.rasoul@gmail.com

چکیده

جزایر حرارتی شهری آثار زیانباری بر محیط زیست، سلامت و رفاه انسانی و بهره‌وری کارهای سبک و سنگین دارد. کاهش بهره‌وری و ظرفیت نیروی کار نیز آثار منفی اقتصادی زیادی به دنبال دارد. در این بین، زیرساخت‌های سبز شهری بر کاهش جزایر حرارتی شهری و به‌تبع آن بر افزایش کیفیت زندگی شهروندان، افزایش میزان سلامت، آسایش حرارتی شهروندان و افزایش میزان بهره‌وری کار تأثیر فزآینده‌ای دارد؛ از این رو محققان در پژوهش حاضر به نقش کاهشی جزایر حرارتی شهری زیرساخت‌های سبز کلانشهر تبریز در افزایش بهره‌وری کارهای سبک و سنگین پرداخته‌اند. در این پژوهش از داده‌های مرتبط با تصاویر ماهواره‌ای لندست (مربوط به سه دورهٔ زمانی ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱)، کاربری اراضی/ پوشش اراضی، داده‌های هواشناسی و جدول بیوفیزیکال استفاده شده است. همچنین در این پژوهش داده‌ها با استفاده از GIS و مدل سرمایش شهری نرم‌افزار InVEST تجزیه‌وتحلیل شده است. نتایج نشان داد که کلانشهر تبریز در سال ۱۳۶۳ در کلاس‌های ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۱۴/۱۵، ۳/۵۳، ۵۸/۲۵ و ۲۴/۰۶ درصد، در سال ۱۳۸۱ در کلاس‌های ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد به‌ترتیب ۱/۸۹، ۶۶/۶۱ و ۳۱/۴۹ درصد و در سال ۱۴۰۱ در کلاس‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به ترتیب ۰/۲۴، ۵۱/۲۹ و ۴۸/۴۶ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سنگین ازدست داده است. همچنین، کلانشهر تبریز در سال ۱۳۶۳ در بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک در کلاس‌های ۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۷۶/۱۰ و ۲۳/۸۹ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سبک از دست داده و در سال ۱۳۸۱ تنها کلاس صفر درصد داشته است. به عبارت دیگر، تبریز در این سال در کارهای سبک هیچ‌گونه بهره‌وری را از دست نداده است. کلانشهر تبریز در سال ۱۴۰۱ نیز در کلاس‌های ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۲۰/۷۲، ۵۱/۵۴، ۲۲/۶۸ و ۵/۰۵ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سبک از دست داده است.

واژه‌های کلیدی: جزایر حرارتی شهری، زیرساخت‌های سبز، بهره‌وری کار سبک و سنگین، کلانشهر تبریز

*نویسنده مسؤول

هریسچیان، مهدی، محمودزاده، حسن و قربانی، رسول . (۱۴۰۴). ارزیابی تاثیرات کاهش جزایر حرارتی شهری زیرساخت های سبز بر افزایش بهره وری کارهای سبک و سنگین، مطالعه موردی: کلان شهر تبریز، *برنامه ریزی فضایی*، ۱۵ (۲)، ۷۰- ۳۵ .

*این مقاله از رسالهٔ دکتری مهدی هریسچیان دانشجوی دکتری جغرافیا و برنام‌ریزی شهری دانشگاه تبریز با عنوان «ارزیابی گسترش خدمات اکوسیستم شهری با استفاده از راه‌حل‌های طبیعت‌محور در مناطق کلانشهری: مطالعهٔ موردی: کلانشهر تبریز» استخراج شده است.

2476-3357 © The Author(s). Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

10.22108/sppl.2025.142015.1797

مقدمه

شهرنشینی سریع منجر به تغییرات چشمگیری در محیط فیزیکی سطح زمین شده است (Luan et al., 2020; Yu et al., 2021). این تغییرات نیز منجر به این شده که مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی اطراف دماهای بیشتری داشته باشد که آن هم اثر جزیرهٔ حرارتی شهری (Urban Heat Island) را ایجاد می‌کند (Manoli et al., 2019; Oke, 1982; Yang et al., 2021). نکتهٔ حائز اهمیت این است که تأثیر منفی جزیرهٔ حرارتی شهری با توسعهٔ شهرنشینی تشدید خواهد شد (Kuang et al., 2017; Wang & Akbari, 2016). پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی شدید ناشی از ترکیب عواملی مانند افزایش تراکم شهری، افزایش دمای هوا در تابستان و تشدید فعالیت‌های انسانی است که منجر به تولید گرمای مازاد و کاهش میزان خنک‌کنندگی ناشی از آلبدو و تعرق، افزایش دمای روز درطول تابستان و به‌ویژه شب‌های گرم‌تر می‌شود (Yenneti et al., 2020). جزیرهٔ حرارتی نگرانی‌های زیادی را برای جامعه ایجاد می‌کند؛ زیرا تأثیرهای منفی فزآینده‌ای را بر سلامت انسان، اقتصاد و اکوسیستم‌های طبیعی برجای می‌گذارد (Perkins-Wang et al., 2023; Kirkpatrick & Lewis, 2020; Vogel et al., 2020). امواج حرارتی بین سال‌های 1998 تا 2017 عامل مرگ بیش از ۱٦٦۰۰۰ نفر در جهان شد و تلفات بالای ۷۰۰۰۰ نفری، خشکسالی و ورشکستگی اقتصادی از نتایج بعدی آن بود که منجر به خسارت اقتصادی ١٦ میلیارد یورویی درطول موج گرمایی اوت 2003 در اروپا شد (WHO, 2023). بین سال‌های 1979 و 2020 میزان ساعت‌های با چالش گرمایی سالانه در آمریکای جنوبی افزایش چشمگیری پیدا کرد (Miranda et al., 2024). میزان این افزایش بسته به کلاس کوپن-گایگر (Köppen-Geiger) متفاوت بوده و از ۱/١٦+ ساعت در سال تا ۸/۲۵+ ساعت در سال متغیر بود. بیشترین میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرما (٦۲۸٦۲ نفر) در اروپا به گرم‌ترین تابستان در سال 2022 اروپا مربوط می‌شود که به نوعی رکورد گرم‌ترین تابستان را هم زد و به‌دنبال آن بر نظارت هرچه بیشتر بر فرآیندهای گرمایی، برنامه‌های پیشگیرانه و استراتژی‌های سازگاری بلندمدت تأکید شد (Ballester et al., 2023).

یکی از پیامدهای بسیار مهم گرمایش مداوم زمین که ناشی از دمای زیاد و رطوبت نسبی است، تهدید زندگی و فعالیت‌های مرتبط با انسان تحت شرایط آب‌وهوایی است که فراتر از ظرفیت و آستانهٔ آسایش حرارتی انسان است (Dunne et al., 2013; Fischer & Knutti, 2013). قرارگرفتن درمعرض چنین تنش گرمایی بهره‌وری نیروی کار را تا حدود زیادی کاهش می‌دهد (از دست دادن زمان کار مولد). همچنین، ممکن است در شرایط بدتر صدمات و آسیب‌های ناشی از کار را افزایش دهد (Diffenbaugh et al., 2007; Dukes-dobos, 1981; Dunne et al., 2013; Pal & Eltahir, 2016). هرگونه تغییر در ظرفیت نیروی کار به‌عنوان یکی از متغیرهای مهم موفقیت اقتصادی تأثیر مستقیمی بر تولید ملی، درآمدهای فردی و هدف‌های توسعهٔ پایدار دارد (Matsumoto, 2019; Zhao et al., 2016). در تعداد زیادی از مطالعات کاهش بهره‌وری نیروی کار و اثرهای منفی اقتصادی آن تأیید شده است (Kjellstrom et al., 2009; Lee et al., 2018; Li et al., 2016). محققان در برخی از مطالعات تأثیرهایی را که گرمایش ناشی از جزایر حرارتی بر بهره‌وری، سلامت و رفاه کارگران می‌گذارد با بهره‌وری، فشار حرارتی و عرضهٔ نیروی کار ترکیب کردند و نشان دادند که میزان تأثیرها زیاد بوده و روبه افزایش است. براساس برخی برآوردها تعداد کارگران آسیب‌دیده در

جهان در اثر گرمایش از کل جمعیت مکزیک بیشتر است؛ برای مثال، برآوردهای جهانی نشان می‌دهد که کاهش میزان بهره‌وری ناشی از افزایش ١/٥ درجه‌ای گرمایش به‌صورت سالانه تا سال 2030 معادل ٨٠ تا ١٣٦ میلیون شغل تمام‌وقت خواهد بود (Kjellstrom et al., 2019; Romanello et al., 2022). برآورد اثر اقتصادی جهانی سالانه نشان می‌دهد که این اثر معادل تولید ناخالص داخلی (GDP) (Gross Domestic Product) مجارستان است (Parsons et al., 2022). بیشترین میزان خسارت ناشی از بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سنگین صرف‌نظر از انتخاب سنجه‌های حرارتی مرطوب یا فرضیه‌های مربوط به پاسخ کارگرانی که درمعرض گرمایش مرطوب قرار می‌گیرند، به مجاورت با خط استوا مربوط است (Kong & Huber, 2022; Ibid). در حال حاضر، هزینهٔ بالقوهٔ از دست رفتهٔ بهره‌وری نیروی کار ناشی از گرمایش برای کارگران در فضای باز چند صد میلیارد تا بیش از ٢ تریلیون دلار در سال برآورد شده است (Parsons et al., 2022). بیشترین تأثیر جزایر حرارتی شهری مربوط به کارهای سنگین (کارهای بدنی یا در فضای باز) است تا کارهای سبک (کارمندی، پشت میزنشینی و...). برای همین با افزایش میزان جزایر حرارتی شهری بیشترین میزان بهره‌وری از دست رفته درمورد کارهای سنگین اتفاق می‌افتد و در مرحلهٔ بعد کارهای سبک به میزان به‌نسبت کمتری نسبت به کارهای سنگین تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. براساس نظر بانک جهانی می‌توان کارهای خدماتی را جزء کارهای سبک و کارهای مربوط به بخش کشاورزی و صنعتی را جزء کارهای سنگین درنظر گرفت و یا اینکه می‌توان این تقسیم‌بندی را براساس میزان کالری مصرفی افراد نیز محاسبه کرد. بر این اساس، کار سبک کاری است که فرد در هر ساعت ٢٠٠ ژول سوخت‌وساز داشته باشد و کار سنگین کاری است که فرد در هر ساعت ٤٠٠ ژول و بیشتر انرژی بسوزاند. همچنین، طبق روشی دیگر می‌توان براساس میزان زمان استراحت لازم یک فرد کارهای سبک و سنگین را از یکدیگر مشخص و تفکیک کرد.

همان‌طور که هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم نیز تأیید کرده است، زیرساخت‌های سبز و آبی شهری در کاهش دمای هوا و به‌ویژه جزایر حرارتی شهری مؤثر هستند (IPCC, 2021). زیرساخت سبز- آبی- خاکستری (GBGI) (Green-Blue-Grey Infrastructure) که شامل پوشش گیاهی (سبز = درختان، چمن، پرچین، و غیره) مبتنی بر آب (آبی = استخر، برکه، دریاچه، رودخانه و غیره) و سازه‌های مهندسی (خاکستری = دیوارهای سبز، نماهای سبز و سقف‌ها) است، به‌طور گسترده‌ای برای کاهش تأثیرهای گرمای بیش از حد شهری و کاهش مصرف انرژی پیشنهاد شده است (Zonato et al., 2021). آنها پتانسیل ایفای نقش حیاتی را در بهبود کیفیت زندگی ساکنان شهری، افزایش تنوع زیستی، کاهش اثرهای تغییرات اقلیمی و ارتقا پایداری کلی دارند (Bader et al., 2023). زیرساخت سبز- آبی- خاکستری به‌ویژه جزء سبز آن می‌تواند گرمای شهری را تنظیم و محیط‌های شهری راحت‌تر و خنک‌تری را با مکانیسم‌های مختلفی مانند تبخیر (Wu et al., 2021; Le Phuc et al., 2022)، تعرّق، سایه‌اندازی (Cai et al., 20212022; Morabito et al.,) و عایق حرارتی ایجاد کند (Kostadinović et al., 2022; Fini et al., 2017).

زیرساخت‌های آبی که شامل بدنه‌های آبی مانند برکه‌ها، کانال‌ها، رودخانه‌ها، نهرها، دریاچه‌ها و تالاب‌هاست، گرما را جذب و با تبخیر محیط اطراف را خنک می‌کند. اشکال مختلف زیرساخت سبز در خنک نگه‌داشتن محیط‌های شهری مؤثر هستند؛ برای مثال، Tan et al. (2023) از یک رویکرد مدل‌سازی منطقه‌ای برای منطقهٔ شهری شیکاگو استفاده

کردند و به این نتیجه رسیدند که بام‌های سبز دمای نزدیک به سطح را تا ۱۴ درصد در مقایسه با سقف‌های با پنل خورشیدی کاهش می‌دهند. به همین ترتیب، Blanco et al. (2019) پی بردند که دیوارهای سبز رنگ به میزان ۷/۷ درجه سانتی‌گراد دمای سطح کمتری را نسبت به دیوار بتنی فاقد پوشش درطول تابستان در Valenzano (Bari) ایتالیا داشتند. Coutts et al. (2016) تأکید دارند که درختان خیابانی می‌توانند دمای هوا را درطول روز در فصل تابستان تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد خنک کنند؛ با این حال اذعان می‌کنند که اثر خنک‌کنندگی درختان درطول رخدادهای گرمایی شدید بین خیابان‌های با درخت و بدون درخت چندان معنادار نیست. همچنین، آنها نشان دادند که درختان خیابانی به میزان چشمگیری دمای سطح را در شهرهای سراسر اروپا کاهش می‌دهند (Schwaab et al., 2021). مطالعات نشان داده است که میزان زیاد پوشش تاج درخت، فضای سبز، بام‌ها و دیوارهای سبز و فضای باز باعث کاهش گرمای شهری با سرمایش، تبخیر و تعرّق می‌شود (Sanusi et al., 2016; Qi et al., 2021). استفادۀ ترکیبی از اقدام‌های چندگانۀ کاهش بار گرمایی برای کاهش زیاد دمای هوا پیشنهاد شده است (Santamouris et al., 2020; Haddad et al., 2020). Haddad et al. (2020) در طی پژوهشی مزایای ناشی از اقدام‌های کاهش بار گرمای شهری را در ارتباط با افزایش سلامت انسان، کاهش مصرف انرژی و پیک تقاضای برق نشان دادند. آنها بیان کردند که بهترین سناریوهای کاهشی سناریوهایی بودند که ترکیبی از مواد خنک‌ساز، سایه‌اندازی و فضای سبز را به‌صورت توأمان به کار می‌گرفتند تا دمای محیط را حداکثر تا ۲/۷ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با مناطق بدون مداخله‌های زیرساخت های سبز- آبی- خاکستری کاهش دهند. Sadeghi et al. (2022) تأثیر استراتژی‌های مبتنی بر زیرساخت‌های سبز شهری (پوشش درختان، بام‌های سبز و مناطق سبز) را بر شاخص اقلیمی گرمایش جهانی (Universal Thermal Climate Index) با ۳ سناریو در ۱۰ ایستگاه هواشناسی در سیدنی استرالیا تجزیه‌وتحلیل کردند. در شاخص اقلیمی گرمایش جهانی تأثیر گرمایش شهری با توجه به متغیرهای هواشناسی (دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و تشعشع) بر آسایش و سلامت انسان اندازه‌گیری و سپس چالش‌های ناشی از گرما در آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. سناریوسازی Sadeghi et al. (2022) نشان داد که کاشت ۲ میلیون درخت آبدار درحوضۀ سیدنی می‌تواند میانگین روزانه شاخص اقلیمی گرمایی جهانی شهری را ۰/۲ تا ۱/۷ درجه سانتی‌گراد درطول موج گرما کاهش دهد. علاوه بر این، ارزیابی تأثیرهای سلامتی، کاهش احتمالی مرگ‌ومیر ناشی از گرما را تا میزان ۱۱/۷ درصد درطول روز در سراسر سیدنی نشان داد. این مورد، علاوه‌بر مزایای متعدّد سلامتی و رفاهی است که خدمات اکوسیستمی زیست محیطی زیرساخت های سبز- آبی- خاکستری ارائه می‌کنند.

درکل، زیرساخت‌های سبز شهری نقش فزآینده‌ای در افزایش کیفیت زندگی شهروندان، افزایش میزان رفاه، سلامتی شهروندان و بهره‌وری نیروی کار در کارهای سبک و سنگین و درنتیجه، افزایش بهره‌وری اقتصادی دارند. تبریز یکی از کلانشهرهای ایران است که در طی دهه های اخیر شهرنشینی و رشد سریعی را داشته است. مشکل چالش جزایر حرارتی شهری در این کلانشهر به یک مسئلۀ جدّی تبدیل شده است. متوسط دما در این کلانشهر همانند سایر مناطق کشور به‌طور مداوم درحال افزایش است. جزایر حرارتی شهری همراه با هوای آلوده و درجه‌حرارت زیاد زیست‌پذیری شهری را در تبریز تهدید می‌کند (آزادی مبارکی و احمدی، ۱۳۹۹، ص. ۲۴۸). الگوی جزیرۀ حرارتی شهری تبریز براساس روش خودهمبستگی فضایی لکه‌های داغ (HotSpots) یک الگوی پیرامونی و از

نوع مثلثی شکل بوده است؛ به‌طوری که هرچه از مرکز شهر به جهت‌های مختلف آن پیش برویم، بر مقدار دمای سطح زمین و کانون‌های جزایر حرارتی شهری افزوده می‌شود (آزادی مبارکی و احمدی، ۱۴۰۰، ص. ۶۰). در کلانشهر تبریز با وقوع موج گرمایی درطول روز حومهٔ شهر به‌دلیل داشتن آسمانی صاف و بدون آلودگی با حداقل پوشش گیاهی و نبود منابع آب سطحی و داشتن زمین‌های لخت با ظرفیت گرمایی پایین نسبت به مرکز شهر سریع‌تر تحت‌تأثیر امواج گرمایی قرار می‌گیرد؛ درنتیجه با گرم‌ترشدن رویهٔ زمین در اطراف شهر نسبت به مرکز آن جزیرهٔ سرمایی در مرکز شهر تشکیل می‌یابد و حومهٔ شهر در شب‌هنگام نیز به‌دلیل ظرفیت گرمایی پایین گرمای جذب‌شده درطول روز را سریع‌تر از دست می‌دهد؛ بنابراین نسبت به مرکز شهر سردتر و درنتیجه، در مرکز شهر به‌دلیل دمای زیاد جزیرهٔ حرارتی تشکیل می‌شود (ملکی مرشت و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۱۲۶–۱۲۵). از این رو، هدف این پژوهش ارزیابی نقش خدمت اکوسیستمی کاهش جزایر حرارتی زیرساخت‌های سبز کلانشهر تبریز در افزایش بهره‌وری نیروی کار با کارهای سبک و سنگین است.

پیشینهٔ پژوهش

درزمینهٔ موضوع پژوهش مطالعات متعدّدی درسطح داخلی و خارجی انجام شده است که در جدول ۱ به تعدادی از آنها اشاره شده است. تفاوتی که این پژوهش با پژوهش‌های انجام‌شدهٔ داخلی و خارجی دارد در این است که در هیچ‌یک از این پژوهش‌ها نقش خدمت اکوسیستمی کاهش جزایر حرارتی زیرساخت‌های سبز شهری در افزایش بهره‌وری نیروی کار با کارهای سبک و سنگین و نیز با استفاده از نرم‌افزار InVEST انجام نشده است.

جدول ۱: پیشینهٔ پژوهش

Table 1: Background of the research

نویسندگان (سال)	موضوع	نتایج
امین زاده و قشلاق پور (۱۳۹۹)	«تأثیر الگوهای فضایی ساختار سبز شهری بر تغییر دمای جزایر حرارتی: مورد مطالعه: شهر تهران»	نتایج نشان داد که مناطق با پوشش درختی در هر دو حالت تراکم زیاد/ کم تأثیر کاهنده‌ای بر دما دارند. میانگین اندازهٔ لکه‌های سبز متراکم درختی همراه با گیاهان با ارتفاع کم عامل مهمی در کاهش دماست. در مقابل آن سطح مناطق سبز و میزان تراکم حاشیه‌ای فضاهای سبز شامل علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده با کف‌پوش خاک تأثیر فزآینده‌ای بر دمای سطح زمین دارند.
رمضانی و نقیبی (۱۳۹۹)	«واکاوی تغییرات شاخص پوشش گیاهی در شکل گیری جزایر حرارتی شهری: مطالعهٔ موردی: شهر ارومیه»	نتایج نشان داد که درطول ۲۸ سال (1989–2017) دمای شهر ارومیه افزایش پیدا کرده است. همچنین، مشخص شد که افزایش دمای نواحی داخل شهر ارومیه بیشتر ناشی از بین رفتن پوشش گیاهی و به زیرساخت و ساز رفتن اراضی سبز و فضاهای داخل محدودهٔ شهری است که پوشش تُنُک آنها ازبین رفته است.
انجم الشعاع و همکاران (۱۴۰۰)	«بررسی رابطهٔ جزایر حرارتی با محدوده‌های فضای سبز و آشکارسازی تغییرات آن: مطالعهٔ موردی: شهر کرمان»	نتایج نشان داد که بین مساحت پارک و مقدار دمای آن ارتباط وجود دارد و کمترین دماهای محاسبه‌شده به ازا فضاهای سبز مربوط به پارک‌های با بیشترین وسعت است. تحلیل آزمون هم‌بستگی نیز نشان داد که در تمام فصل‌های سال دمای سطح زمین با شاخص تراکم پوشش گیاهی رابطهٔ معکوس دارد.

نویسندگان (سال)	موضوع	نتایج
فربودی و زمانی (۱۴۰۱)	«کاهش جزایر حرارتی شهری از طریق افزایش سبزینگی و سطوح نفوذپذیر در تهران»	نتایج نشان داد که شاخص UTCI با افزایش زیرساخت‌های سبز شهری و کف‌پوش‌های نفوذپذیر تعدیل می‌شود. همچنین، درخت نسبت به سایر پارامترها بیشترین تأثیر کاهش دما را ایجاد می‌کند.
Zhu et al. (2021)	«حفظ بهره‌وری نیروی کار تحت چالش‌های گرمایی شدید: برنامه ریزی قوی برای انطباق با تغییرات اقلیمی تحت شرایط عدم قطعیت»	افزایش میزان WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature) (میزان دمای هوا با در نظر گرفتن میزان رطوبت نسبی هوا) منجر به کاهش زیاد بهره‌وری کار در چین به‌جزء فلات تبت تحت هر دو سناریوی انتشار RCP (Representative Concentration Pathways) (RCP2.6 و RCP8.5) تا پایان قرن بیست و یک خواهد شد. مناطق کمتر توسعه‌یافته به هزینهٔ حداقلی سیستم ازطریق افزایش بهره‌وری نیروی کار با استفاده از اضافه‌کاری به‌دلیل هزینهٔ پایین آن تمایل دارد که این مورد می تواند منجر به آسیب‌های کاری ناشی از گرما در مناطق کمتر توسعه‌یافته شود. از آنجایی که مناطق کمتر توسعه‌یافتهٔ چین مناطق مستعد گرما نیست، تغییرات اقلیمی تهدید بسیار خطرناک تری برای این مناطق خواهد بود و به‌دلیل اینکه ساکنان آن کمتر با چالش‌های گرمایی سازگاری دارند، باعث آسیب هرچه بیشتر به این مناطق خواهد شد.
Liu et al. (2024)	«بررسی تأثیرات فضایی - زمانی الگوهای فضای سبز شهری بر محدودهٔ مرکزی دارای جزایر حرارتی شهری»	در مناطق مرکزی شهری که توسعهٔ زیرساخت های سبز در آن امکان پذیر نیست یا در هسته‌هایی با میزان زیاد زیرساخت‌های سبز شهری، طراحی زیرساخت‌های سبز با اشکال و خوشه‌های پیچیده تأثیرهای خنک‌کنندگی بهتری می‌تواند داشته باشد؛ بنابراین نتایج نشان می‌دهد که تأثیر چشم‌اندازهایی با زیرساخت‌های سبز بر محیط حرارتی شهری درمقیاس محدودهٔ مرکزی بسیار پیچیده است.
Masuda et al. (2024)	«تأثیرات گرمایش بر رفاه کارگران در فضاهای باز در مناطق استوایی و راهکارهای انطباقی»	نتایج نشان داد که با افزایش ۱ درجه سانتی‌گرادی گرمایش حدود ۸۰۰ میلیون نفر از ساکنان مناطق استوایی در محدوده های سکونتی شان باید انجام کارهای سنگین را به حدود بیش از نیمی از ساعت‌های سال محدود کنند.
Zhang et al. (2024)	«ارزیابی نقش زیرساخت‌های سبز شهری در کاهش اثر جزایر حرارتی شهری تابستانی در کلانشهر شانگهای (Shanghai) چین»	مدل‌های FSWR (Forward Stepwise Regression) (رگرسیون گام‌به‌گام رو به‌جلو) r2 بالایی را نشان دادند (به‌طور متوسط ۰/۸۱۶)؛ اما در عین حال، بدترین عملکرد را در تفسیر نتایج داشتند. مدل‌های PLSR (Partial Least Squares Regressions) (رگرسیون حداقل مربعات جزئی) بالاترین r2 (متوسط ۰/۸۲۰) و بهترین عملکرد را در تفسیر نتایج داشتند. مدل های RFR که کمترین r2 را نشان دادند (به طور میانگین ۰/۷۰۸)، عملکرد متوسطی را در تفسیر نتایج داشتند.

منبع: نگارندگان

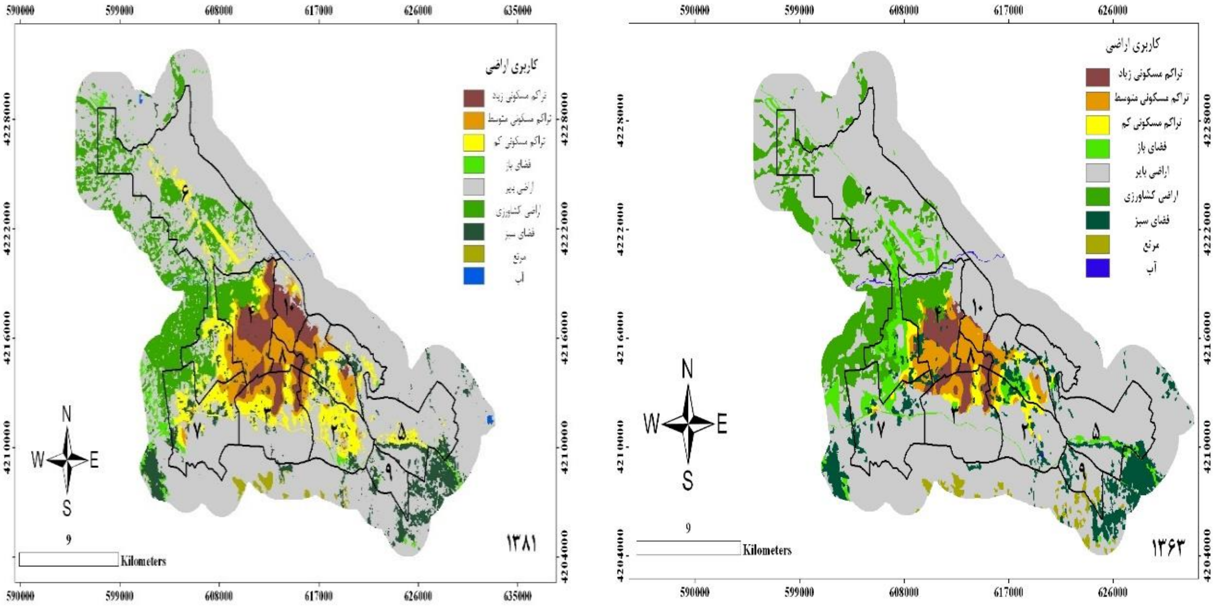
روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش از مدل سرمایش شهری مجموعه‌بسته‌های نرم‌افزاری InVEST 3.12.0 استفاده شده است. مدل سرمایش شهری ازجمله مدل‌هایی است که کاهش میزان جزایر حرارتی شهری را براساس سایه، تبخیر و تعرّق، آلبدو و میزان فاصله از جزایر سرد (پارک‌ها) محاسبه می‌کند. در این شاخص برای تخمین کاهش جزایر گرمایی از پوشش‌گیاهی استفاده می‌شود. در نهایت، این مدل ارزش خدمات کاهش جزایر حرارتی را با استفاده از دو روش ارزیابی برآورد می‌کند: کاهش مصرف انرژی (کاهش میزان بالقوه انرژی) و بهره‌وری از دست رفتهٔ کار (کارهای سبک و سنگین) که در این پژوهش ارزش خدمت اکوسیستمی کاهش جزایر حرارتی زیرساخت های سبز تبریز با بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک و سنگین محاسبه شد. ورودی‌های اصلی این مدل شامل نقشهٔ رستری کاربری اراضی/پوشش اراضی،

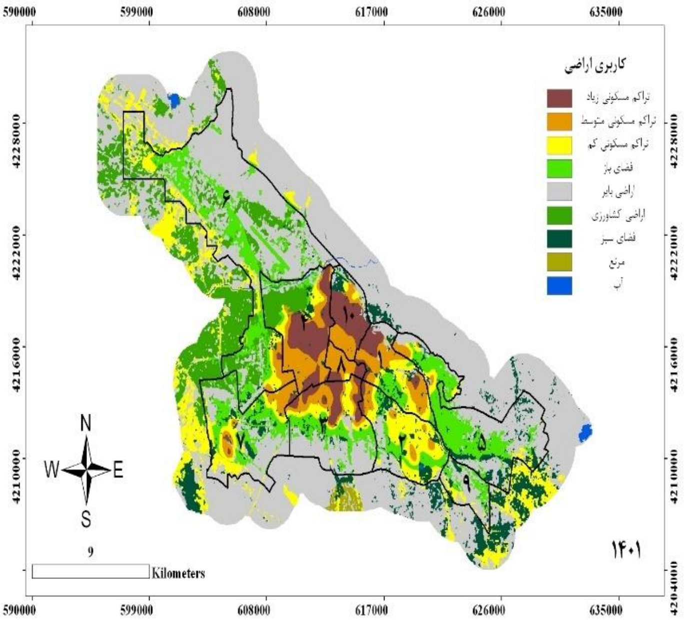
نقشهٔ رستری تبخیر و تعرّق مرجع (et0) و جدول بیوفیزیکی شامل اطلاعات دربارهٔ هریک از کلاس‌های مربوط به نقشهٔ کاربری اراضی/پوشش اراضی است.[1] برای تهیهٔ هریک از داده‌های لازم مدل طبق روش زیر عمل شد.

نقشهٔ کاربری اراضی/پوشش اراضی

برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی/پوشش اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ برای سال‌های 1984 و 2002 و لندست۸ برای سال 2022، نرم‌افزار Envi 5.8، GIS و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) (Maximum Likelihood Classification) استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای مدنظر مربوط به فصل تابستان، طول روز و تاریخ‌های 1984/6/24، 2002/6/26 و 2022/6/17 بوده است. نقشهٔ 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 (شکل ۱). با توجه به اینکه خارج از محدودهٔ مناطق شهرداری تبریز و در اطراف این مناطق زیرساخت‌های سبزی وجود دارد که در کاهش جزایر حرارتی شهری نقش دارند، برای اینکه بتوان به‌صورت کامل نقش زیرساخت‌های سبز را در کاهش جزایر حرارتی شهری تبریز نشان داد، نقشهٔ کاربری اراضی/پوشش اراضی تبریز در حدود ۲۵۰ هکتار از تمام جهت‌ها (بیشتر از محدودهٔ مناطق دهگانهٔ شهرداری) درنظر گرفته و ترسیم شده است.



[1] https: xiaoganghe.github.io



شکل ۱: نقشهٔ کاربری اراضی/پوشش اراضی کلانشهر تبریز به‌ترتیب از چپ به راست برای سال‌های ۱۳٦۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱(منبع: نگارندگان)

Figure 1: Land use/land cover map of Tabriz Metropolitan from left to right for the years 1984, 2002, and 2022

روش حداکثر احتمال

روش حداکثر احتمال شباهت یکی از کارآمدترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر است (Al-doski et al., 2013). در بیشتر مطالعات این روش به‌عنوان دقیق‌ترین و پرکاربردترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است (ریاحی بختیاری، ۱۳۷۹؛ ساروئی، ۱۳۷۸؛Huang et al., 2002; Richards & Jia, 1999). کاربر در این روش باید دقت کند که کلاس‌بندی از توزیع نرمال گوسی پیروی کند. این روش برای کلاس‌های چندطیفی مناسب‌تر است. در این روش با استفاده از عامل شدت احتمال هریک از پیکسل‌های تصویر پس از آزمون آماری و محاسبهٔ احتمال تعلق آنها به گروه‌های طیفی نمونه تعلق می‌گیرد (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳ به نقل از زبیری و مجد، ۱۳۷۸). روش حداکثر احتمال که از سایر روش‌ها برای طبقه‌بندی تصاویر دقیق‌تر است، میزان کمّی واریانس و همبستگی ارزش های طیفی باندهای مختلف را برای مناطق نمونه محاسبه می‌کند. از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه‌بندی‌نشده به یکی از گروه‌ها یا نمونه‌های طیفی نیز استفاده می‌شود. بر این اساس، در خروجی‌های این روش مناطق طبقه‌بندی‌نشده و یا مناطق خالی و گپ (GAP) کمتر دیده می‌شود. در روش حداکثر احتمال برای بررسی نحوهٔ 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 می‌کند، استفاده می‌شود. بر این اساس، برای افزایش دقت این روش و بازدهی مناسب آن نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی ازجمله ماشین بردار پشتیبان تعداد مناسب و بیشتر نمونه‌های تعلیمی الزامی است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹٦، ص. ۹۵).

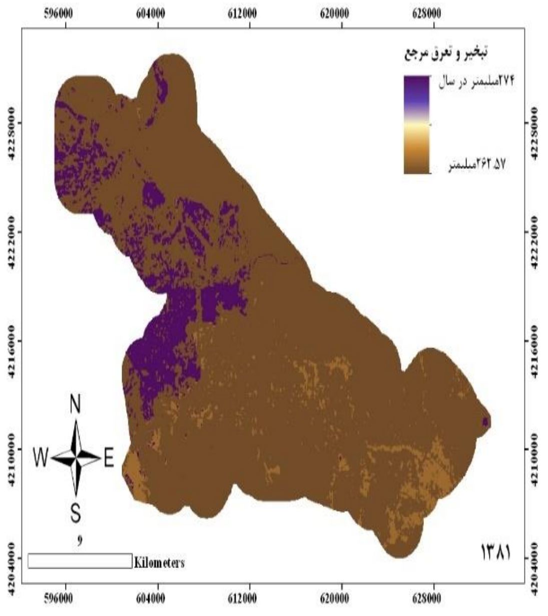
نقشهٔ تبخیر و تعرّق مرجع (ET_0)

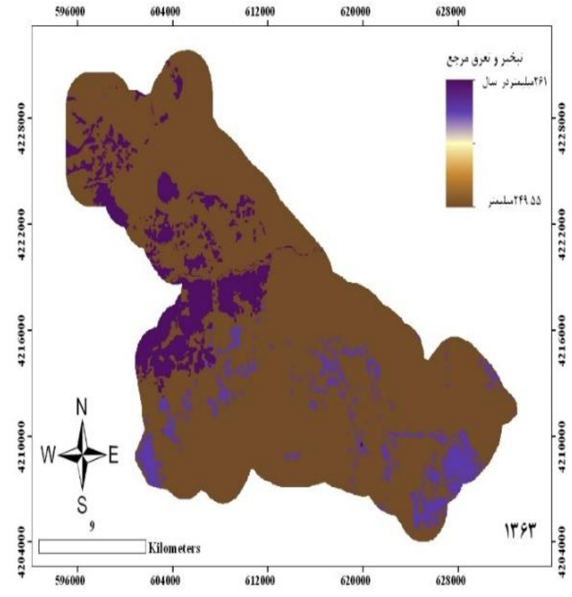
برای تهیهٔ این نقشه از روش پنمن مانتیث (Penman Monteith) استاندارد ASCE (معادلهٔ استاندارد ارائه‌شدهٔ انجمن مهندسین عمران آمریکا) استفاده شد (شکل۲). در روش پنمن مانتیث ابتدا تبخیر و تعرّق گیاه مرجع (علف) تخمین زده و سپس از روی آن تبخیر و تعرّق گیاه مدنظر محاسبه می‌شود (علیزاده، ۱۳۷۷). معادلهٔ محاسبهٔ تبخیر و تعرّق مرجع در بازهٔ زمانی ساعتی و روزانه به‌صورت زیر است (Monteith, 1965)

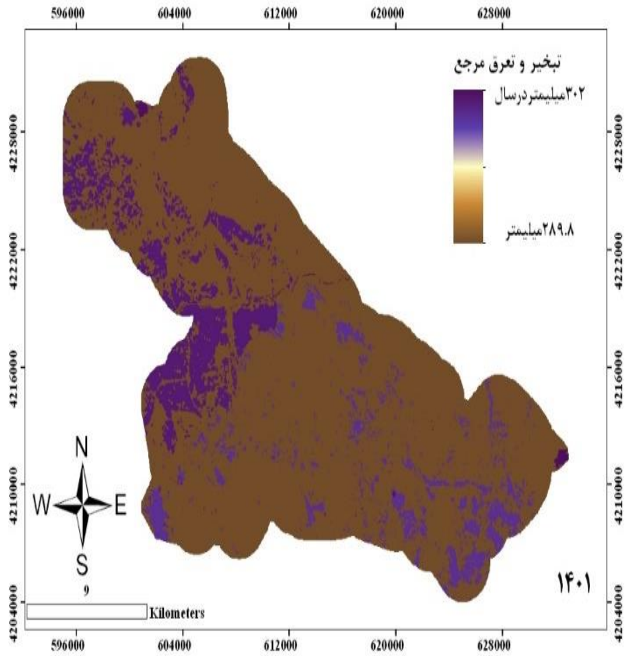
رابطهٔ (۱):

$$0.408\Delta\ (R_n - G) + y(C_a / T + 273.16)U_۲(e_s - e_a)\ \Delta + y(1 + c_d u_2)$$

که در آن ET_0:تبخیر– تعرّق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز برای دورهٔ روزانه و میلی‌متر بر ساعت برای دوره‌های ساعتی)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع در میانگین درجه حرارت (کیلو پاسکال بر درجهٔ سانتی‌گراد)، R_n: تابش خالص درسطح گیاه (مگاژول بر متر مربع بر ساعت)، G: چگالی شار حرارتی خاک (مگاژول بر متر مربع بر ساعت)، γ: ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجهٔ سانتی‌گراد)، T_{hr}: متوسط درجه‌حرارت ساعتی (درجهٔ 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)، e_a: میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع۱/۵ تا ۲ متری (کیلوپاسکال)، C_n و C_d: به‌ترتیب ثابت‌های صورت و مخرج، تابع نوع گیاه مرجع و بازهٔ زمانی اندازه‌گیری است. تبخیر و تعرّق مرجع یا رفرنس تابع ناحیهٔ مدنظر تابش خورشید، طول و عرض جغرافیایی و... است. میانگین تبخیر و تعرّق مرجع برای کلانشهر تبریز در سال۱۳۶۳، ۲۵۰/۹۸٤میلی متر، برای سال ۱۳۸۱، ۲۷۱/۲۲٦میلی متر و برای سال ۱٤۰۱، ۲۹۱/۲۷۷میلی متر در سال بوده است.







شکل۲: نقشهٔ تبخیر و تعرّق مرجع کلانشهر تبریز به‌ترتیب از چپ به راست برای سال‌های ۱۳٦۳، ۱۳۸۱ و ۱٤۰۱(منبع: نگارندگان)

Figure 2: Evaporation and transpiration map of Tabriz Metropolitan from left to right for the years 1984, 2002 and 2022 respectively

جدول بیوفیزیکی

جدول بیوفیزیکی شامل اطلاعاتی دربارهٔ هریک از کلاس‌های کاربری اراضی/پوشش اراضی است؛ مانند

۱- سایه (Shade)

مقدارهای مرتبط با اثر سایه که بین ۰ و ۱ بوده مربوط به پوشش درخت است (Ronchi et al., 2020, P. 5). (اثر سایه دربارهٔ درختان بالای ۲ متر مورد محاسبه قرار می‌گیرد).

۲- Kc

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

۳- آلبدو

میزان آلبدو بین ۰ و ۱ است که نشان‌دهندهٔ میزان تابش نورخورشید است که به‌طور مستقیم در هریک از کلاس‌های کاربری اراضی/پوشش اراضی منعکس می‌شود (Ronchi et al., 2020, P. 5). هرچه میزان روشنایی یک سطح بیشتر باشد، میزان آلبدوی آن بیشتر است؛ از این رو برف با بیشترین آلبدو، یعنی یک و اجسام سیاه ازجمله آسفالت با کمترین میزان آلبدو، یعنی صفر است. داده‌های مرتبط با آلبدو از سایت https://www.copernicus.eu/en/global-land-surface-albedo استخراج شده است.

٤- تأثیر ناشی از فضاهای سبز بزرگ

در این پژوهش داده‌های مرتبط با این مورد ازطریق کلاس‌های کاربری اراضی/پوشش اراضی مناطق با پوشش‌گیاهی غیرکشاورزی در اراضی مصنوعی به دست آمد. میزان این اثر نیز بین ۰ و ۱ است؛ برای نمونه، اگر در شعاع یک کیلومتریِ همسایگی یک پیکسل فضاهای سبز موجود در آن درمجموع، بیش از ۲ هکتار باشد، شامل این تأثیر است.

شدت جزایر حرارتی شهری

شدت جزایر حرارتی شهری عبارت است از اختلاف بین دمای مرجع روستایی و حداکثر دمای مشاهده‌شده در شهر (Ronchi et al., 2020, P. 5). این میزان دربارۀ کلانشهر تبریز برای فصل تابستان و طول روز در سال ۱۳۶۳، ۳/۲ درجه سانتی‌گراد، سال۱۳۸۱، ۴/۲ درجه سانتی‌گراد و سال ۱۴۰۱، ۵/۲ درجه سانتی‌گراد و دمای مرجع روستایی هم در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱و ۱۴۰۱ به‌ترتیب ۲۸/۱، ۲۷/۲، ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد است.

حداکثر فاصله برای ترکیب (اختلاط) دمای هوا

این مورد عبارت است از شعاع جست‌وجو به کار گرفته شده (برحسب متر) برای محاسبۀ میانگین مؤثر در اختلاط دمای هوا (Ronchi et al., 2020, P. 5). در عمل، دمای هوای یک پیکسل با دمای هوای پیکسل همسایه به‌دلیل وجود باد، مخلوط و یکنواخت می‌شود. بدین ترتیب که نرم‌افزار InVest ابتدا دمای تک‌تک پیکسل‌ها را محاسبه و سپس دمای هر پیکسل را با دمای پیکسل‌های همسایه طبق شعاع ورودی به نرم‌افزار میانگین‌گیری می‌کند. دربارۀ کلانشهر تبریز این شعاع ۵۰۰ متر درنظر گرفته شد.

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

این میزان هم دربارۀ کلانشهر تبریز ۴۵۰ متر درنظر 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 به‌ترتیب برابر با ۵۶، ۴۸ و ۴۷ درصد بوده است.

میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک و سنگین

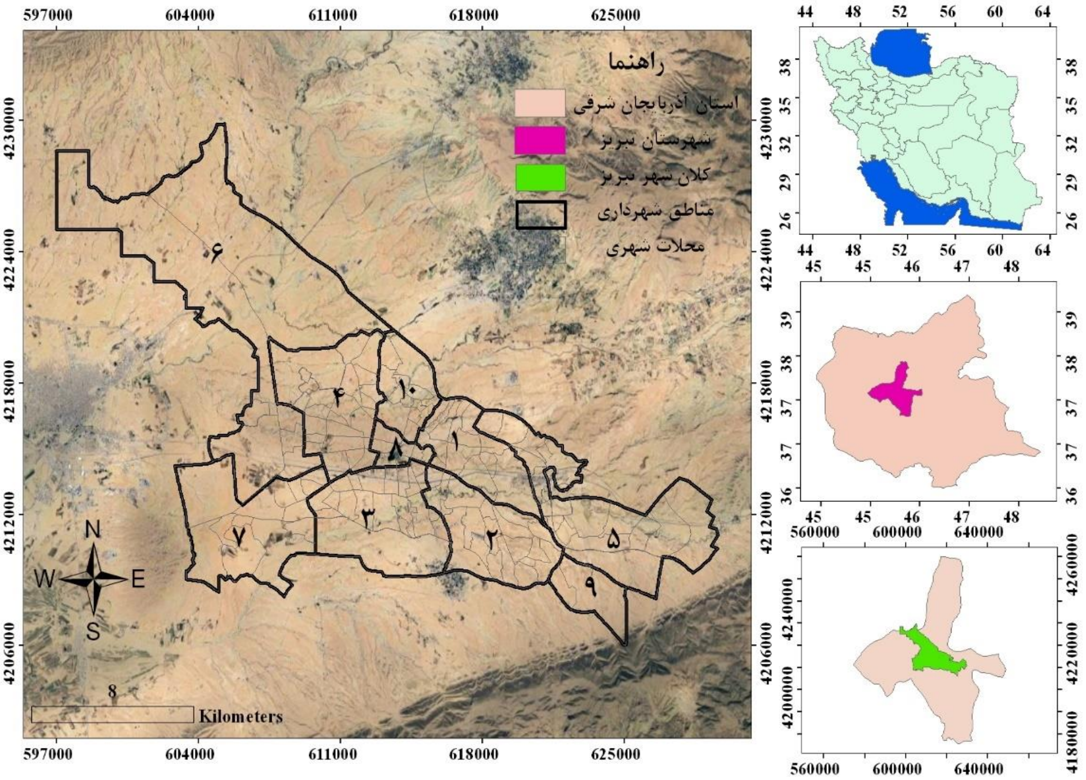
برای محاسبۀ میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سنگین از نرم‌افزار InVEST ازWBGT (میزان دمای محاسبه‌شدۀ نرم‌افزار InVEST با در نظر گرفتن میزان رطوبت نسبی هوا) استفاده می‌شود که این میزان برای کارهای سبک و سنگین با نرم‌افزار به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود. از WBGT به‌طور گسترده‌ای برای کمّی‌سازی اثرهای

جزایر حرارتی بر بهره‌وری کار استفاده می‌شود (https: xiaoganghe.github.io). نرم‌افزار InVEST میزان کاهش بهره‌وری را در هر پیکسل درصورت وقوع برای مشاغل سبک و سنگین محاسبه می‌کند. در این پژوهش میزان رطوبت نسبی هوا برای کلانشهر تبریز برای هر سه دوره ۱۳٦۳، ۱۳۸۱ و ۱٤۰۱ با استفاده از داده‌های هواشناسی به دست آمد. میزان رطوبت نسبی برای کلانشهر تبریز در سال ۱۳٦۳، ۵٦ درصد، سال ۱۳۸۱، ٤۸ درصد و برای سال ۱٤۰۱، ٤۷ درصد بوده است.

منطقهٔ مطالعه‌شده

کلانشهر تبریز در گوشهٔ شمال غربی کشور و در امتداد محور بین‌المللی تهران - بازرگان که ایران را به اروپا متصل می‌کند، قرار گرفته است (شکل۳). شهر تبریز با وسعتی حدود ۱۱۸۰۰ کیلومتر در ٤٦ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. متوسط ارتفاع شهر حدود ۱۳٤۰ متر از سطح دریاهای آزاد برآورد شده است (زینالی عظیم و همکاران، ۱٤۰۰، ص. ۵۰). به‌لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی و طبیعی موقعیت استقرار شهر تبریز و هستهٔ اولیهٔ شکل‌گیری شهر حاکی از مناسب‌ترین و مساعدترین عوامل جغرافیایی بوده که به‌دلیل همین مواهب و مساعدت‌های جغرافیایی در روند تاریخی توسعهٔ فیزیکی به یکی از بزرگ‌ترین شهرهای کشور تبدیل شده است (مهندسین مشاور نقش محیط، ۱۳۹۱، ص. ۱). رودخانهٔ آجی چای (تلخه‌رود) از قسمت شمال و شمال غرب تبریز می‌گذرد و بعد از طی مسافتی زیاد در دشت تبریز به دریاچهٔ ارومیه می‌ریزد و مهران‌رود نیز از میانهٔ تبریز می‌گذرد.[1] براساس آمار مربوط به آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن (۱۳۹۵) کلانشهر تبریز نیز ۱,۵۵۸,٦۹۳ نفر جمعیت و ٤۹۷,۸۹۸ خانوار دارد که از این تعداد ۷۸٦,٦٦۱ نفر مرد و ۷۷۲,۰۳۲ نفر زن هستند و بُعد خانوار آن هم ۳/۱ است (معاونت برنامه‌ریزی و توسعهٔ سرمایهٔ انسانی شهرداری تبریز، ۱٤۰۱، ص. ۷۸). برپایهٔ آخرین تقسیمات اداری کلانشهر تبریز از ۱۰ منطقهٔ شهرداری تشکیل شده است (شکل۳). بزرگ‌ترین آن ازلحاظ وسعت منطقهٔ ٦ و کوچک‌ترین آن منطقهٔ ۸ است. منطقهٔ ٤ ازلحاظ جمعیتی نیز بیشترین جمعیت و منطقهٔ ۹ کمترین جمعیت را دارد (تابعی و همکاران، ۱٤۰۱، ص. ۱۲۰).

[1] https:// www.tabriz.ir



شکل۳: نقشهٔ منطقهٔ مطالعه‌شده (منبع: نگارندگان)

Figure 3: Map of the study area

یافته‌های پژوهش و تجزیه‌وتحلیل

کاربری اراضی/پوشش اراضی

نقشهٔ کاربری اراضی/پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ در شکل۱ آمده است. مقایسهٔ نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به این دوره‌های زمانی روند تغییرات کاربری اراضی کلانشهر تبریز را بدین صورت نشان می‌دهد: در سال ۱۳۶۳ کاربری مسکونی، فضای باز، اراضی بایر، اراضی کشاورزی، فضای سبز، مرتع و آب به‌ترتیب با ۷/۹۴، ۴/۰۶، ۷۰/۵۱، ۱۰/۱۳، ٦/۲۵، ۰/۹۸ و ۰/۱۲ درصد، در سال ۱۳۸۱ به‌ترتیب با ۱٦/٥٤، ۱/۲٦، ٦٤/۸۰، ۱۱/۳٦، ٥/۳۸، ۰/٥۰ و ۰/۱٤ درصد و در سال ۱۴۰۱ به‌ترتیب با ۲۱/۹٤، ۱۰/۸۸، ٥۰/۱۱، ۱۰/۱۳، ٦/۲۳، ۰/۳۸ و ۰/۳۱ درصد از کل کاربری‌های کلانشهر تبریز را به خود اختصاص داده است. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳٦۳ تا ۱٤۰۱نشان می‌دهد که اراضی بایر و کشاورزی در این بازهٔ زمانی ۳۸ ساله روند کاهشی داشته است. کاربری مسکونی از سال ۱۳٦۳ تا ۱۳۸۱ در حدود ۱٦/٥٤ درصد و از سال ۱۳۸۱ تا ۱٤۰۱در حدود ٥/٤ درصد افزایش است. فضای سبز نیز از سال ۱۳٦۳ تا ۱۳۸۱ روند کاهشی (در حدود ۰/۸۷ درصد) و از سال ۱۳۸۱ تا ۱٤۰۱ در حدود ۰/۹۷ درصد افزایش داشته است. درکل، بررسی تغییرات کاربری اراضی مربوط به کلانشهر تبریز در بازهٔ زمانی ۳۸ ساله نشان می‌دهد که کاربری‌های مربوط به فضای سبز، کشاورزی و مرتع که نقش فزآینده‌ای در کاهش جزایر حرارتی شهری دارند، کمترین میزان از کل کاربری‌های شهری تبریز را به خود اختصاص داده‌اند (جدول‌های۲، ۳ و ٤). همچنین، در جدول‌های ۲، ۳ و ٤ داده‌های مربوط به کاربری اراضی/ پوشش اراضی به تفکیک مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز آمده است.

جدول۲: داده‌های مربوط به کاربری اراضی/پوشش اراضی سال ۱۳۶۳ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز به هکتار

Table 2: Data related to land use/land cover in 1984 in ten Districts of Tabriz Metropolitan by hectare

مناطق	کاربری اراضی/پوشش اراضی									
	تراکم مسکونی زیاد (کد۱)	تراکم مسکونی متوسط (کد۲)	تراکم مسکونی کم (کد۳)	فضای باز (کد۴)	اراضی بایر (کد۵)	اراضی کشاورزی (کد۶)	فضای سبز (کد۷)	مرتع (کد۸)	آب (کد۹)	مجموع (به هکتار)
۱	۵۶/۸۹	۲۹۹/۱۵	۱۵۸/۲۹	۹۶/۱۸	۷۷۳/۹۰	–	۲۲۵/۱۰	–	–	۱۶۰۹/۵۲
۲	۵۱/۵۶	۹۵/۵۵	۲۱۹/۰۷	۸۷/۰۸	۱۴۳۵/۲۸	–	۲۱۱/۲۵	–	۴/۵۱	۲۱۰۴/۳۱
۳	۳۸۱/۸۱	۲۹۰/۳۴	۱۶۷/۲۲	۴۶/۱۹	۱۷۷۷/۱۳	–	۴۶/۳۵	–	–	۲۷۰۹/۰۶
۴	۵۹۲/۱۶	۴۹۰/۱۲	۵۰/۷۹	۴۶/۳۲	۴۰۸/۰۵	۸۱۱/۶۷	۱۱۳/۹۱	–	۱۷/۲۲	۲۵۳۰/۲۵
۵	-	۴/۶۸	۲۵/۴۲	۱۳۹/۲۹	۸۶/۸۸	–	۲۹۸/۵۸	–	–	۳۵۶۹/۴۷
۶	۱۰/۶۸	۱۵۸/۵۲	۱۵۶/۴۹	۱۰۰۷/۰۴	۵۵۰۴/۱۷	۱۴۷۴/۶۸	۱۱۸/۵۹	–	۴/۸۰	۸۴۳۴/۹۸
۷	۱۵/۶۸	۹۱/۱۴	۴۰/۹۱	۲۲۶/۰۲	۲۰۷۲/۸۳	۱۷۹/۴۱	۳۲۱/۷۲	–	–	۲۹۴۷/۷۲
۸	۱۰۹/۶۴	۲۵۵/۴۵	۱۴/۴۰	–	–	–	۶/۱۰	–	–	۳۸۵/۵۹
۹	–	–	–	۶/۹۸	۵۸۰/۹۰	–	۱۳۳/۲۱	۶۵/۳۱	–	۷۸۶/۴۲
۱۰	۳۲/۷۰	۲۳۱/۶۵	–	–	۸۲۴/۱۸	–	–	–	–	۱۰۸۸/۵۴
کل مناطق	۱۲۵۱/۵۰	۱۹۱۷/۴۱	۸۳۲/۸۶	۱۶۵۶/۷۹	۱۶۴۸۰/۳۴	۲۴۶۶/۱۲	۱۴۷۴/۵۸	۶۵/۳۱	۲۶/۵۸	۲۶۱۷۱/۵۰

منبع: نگارندگان

جدول۳: داده‌های مربوط به کاربری اراضی/پوشش اراضی سال ۱۳۸۱ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز به هکتار

Table 3: Data related to land use/land cover in 2002 in ten districts of Tabriz metropolitan by hectare

مناطق	کاربری اراضی/پوشش اراضی									
	تراکم مسکونی زیاد (کد۱)	تراکم مسکونی متوسط (کد۲)	تراکم مسکونی کم (کد۳)	فضای باز (کد۴)	اراضی بایر (کد۵)	اراضی کشاورزی (کد۶)	فضای سبز (کد۷)	مرتع (کد۸)	آب (کد۹)	مجموع (به هکتار)
۱	۲۲۴/۹۷	۴۵۱/۵۶	۳۷۶/۳۵	–	۳۷۹/۷۱	–	۱۷۶/۸۱	–	–	۱۶۰۹/۴۱
۲	۵۴/۴۶	۱۴۲/۸۹	۷۲۸/۵۷	۵۳/۶۲	۹۵۷/۹۲	–	۱۶۲/۴۶	۰/۴۸	۳/۶۰	۲۱۰۴/۰۲
۳	۳۹۶/۱۰	۳۵۰/۳۶	۵۷۳/۵۰	–	۱۳۰۵/۵۷	–	۸۳/۱۸	۰/۳۰	–	۲۷۰۹/۰۲
۴	۷۸۵/۰۲	۶۴۵/۷۰	۲۴۶/۳۳	–	۱۷۴/۹۹	۶۱۶/۶۶	۴۶/۲۹	–	۱۵/۶۴	۲۵۳۰/۶۳
۵	–	۱۸/۳۸	۲۸۲/۷۱	۲۱/۱۵	۲۸۹۶/۱۰	–	۳۵۰/۵۷	۰/۱۵	–	۳۵۶۹/۰۷
۶	۱۵/۸۹	۱۸۹/۱۶	۹۲۴/۸۵	۵۱/۰۵	۵۳۲۱/۶۰	۱۸۲۹/۹۱	۹۶/۰۲	–	۵/۵۳	۸۴۳۴/۰۴
۷	۲۳/۸۱	۲۲۴/۵۲	۵۱۵/۱۷	۳۸/۸۴	۱۶۱۵/۶۴	۳۱۵/۸۱	۲۱۳/۷۹	۰/۳۲	–	۲۹۴۷/۹۳
۸	۱۱۰/۰۰۵	۲۵۸/۲۴	۱۴/۴۰	–	–	–	۳/۰۶	–	–	۳۸۵/۷۱
۹	–	–	۴/۵۲	۵/۱۷	۶۷۰/۳۰	–	۱۰۶/۵۹	–	–	۷۸۶/۵۹
۱۰	۴۶۰/۳۰	۲۷۴/۵۳	۳۵/۴۸	–	۳۱۲/۰۴	–	۶/۳۲	–	–	۱۰۸۸/۶۸
کل مناطق	۲۰۷۰/۷۲	۲۵۵۵/۷۳	۳۷۰۴/۰۸	۱۶۹/۸۷	۱۳۶۳۶/۱۱	۲۷۶۲/۷۳	۱۲۴۵/۴۱۳	۱/۲۶	۲۴/۸۲	۲۶۱۷۰/۷۵

منبع: نگارندگان

جدول٤: داده‌های مربوط به کاربری اراضی/پوشش اراضی سال ۱٤۰۱ مناطق دهگانۀ کلانشهر تبریز به هکتار

Table 4: Data related to land use/land cover in 2022 in ten districts of Tabriz metropolitan by hectare

مناطق	کاربری اراضی/پوشش اراضی									
	تراکم مسکونی زیاد (کد۱)	تراکم مسکونی متوسط (کد۲)	تراکم مسکونی کم (کد۳)	فضای باز (کد٤)	اراضی بایر (کد٥)	اراضی کشاورزی (کد٦)	فضای سبز (کد۷)	مرتع (کد۸)	آب (کد۹)	مجموع (به هکتار)
۱	۲۵۲/۱۷	۵۱۱/٤٤	۳۱٤/۷۱	۲۲٤/۸۵	۱٦٦/۸۱	–	۱۳۹/۳۸	–	–	۱٦۰۹/۳۷
۲	٥٤/۱۹	۱۹۲/۸۷	۸۷٤/۱۲	٤۱٤/٤٦	۲۸٦/۱۰	۳/۲۵۷	۲۷۲/۸۲	–	٦/۳۱	۲۱۰٤/۱۵
۳	٤۰٤/٥٤	۳٦۱/۷۷	۳۰۹/٤۸	٥۷۰/۱۷	۹٥۰/۸۲	۲/۱٦۰	۱۱۰/۲٤	۰/۰۲۵	–	۲۷۰۹/۲۱
٤	۷۹۷/۲۱	٦۷۱/٤٦	۱٦۳/٦۹	۱٦۳/۱۰	۱٤۱/۲۱	٤۹۹/٦٦	۷۸/۳٤	–	۱٥/۲٥	۲٥۳۰/۸۳
٥	–	۹٤/۹٦	۲۲۲/۳۰	۱۲۸۰/٤۸	۱٥٤۸/٦٤	۰/۰٥۱	٤۲۲/۲۳	–	–	۳٥٦۸/٦۸
٦	۱٥/٤٦	۱۹۱/۰٤	٦٥۲/۷۹	۱۷۲٤/۸۸	٤۳٤٥/۷۱	۱٤۳۰/۳۹	٦۸/٦٥	–	۰/۰٥۰	۸٤۳٤/۰۰۰٤
۷	۳٤/۸۳	۲۸٦/۰۸	٤۷۳/۱۷	۷٥۰/۱۳	۱۰۰۹/۳۸	۱۷٦/۲٥	۲۱۷/۷۸	–	–	۲۹٤۷/٦٤
۸	۱۱۱/٥٤	۲٥۹/۳۱	۱٤/٤۰	–	–	–	۰/٤۲	–	–	۳۸٥/٦۸
۹	–	–	۸٤/٦۰	۲۱٦/۱۷	٤۰۹/۰۱	–	۷٦/۲۳	–	–	۷۸٦/۰۳
۱۰	٥۰۲/۱۰	۳۰۲/۱٤	٤٤/٥٥	٥/۳٦	۱۱۹/٥۳	–	۱۱٤/۷٤	–	–	۱۰۸۸/٤۳
کل مناطق	۲۱۷۱/۸۹	۲۸۷۱/۷۰	۳۱٥٤/٦۱	٥۳٥۲/۸٦	۸۹۷۸/۷۹	۲۱۱۱/۹۸	۱٥۰۰/۹۰	۰/۰۲۵	۲٦/٦۰	۲٦۱٦۹/۳۹

منبع: نگارندگان

میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک و سنگین

در محاسبۀ بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سنگین اگر WBGT (Distribution of Wet Bulb Globe Temperature) (میزان دمای محاسبه‌شدۀ نرم‌افزار InVest با در نظر گرفتن میزان رطوبت نسبی هوا) کمتر از ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد باشد، میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سنگین برابر با صفر خواهد بود؛ یعنی هیچ بهره‌وری از دست نخواهد رفت. اگر WBGT بین ۲۷/۵ تا ۲۹/۵ درجه باشد، ۲۵ درصد، اگر WBGT بین ۲۹/۵ تا ۳۱/۵ درجه باشد، ۵۰ درصد و اگر بیشتر از ۳۱/۵ درجه باشد، ۷۵ درصد از بهره‌وری در کارهای سنگین از دست خواهد رفت.

جدول ۵: میزان WBGT (میزان دمای محاسبه‌شده براساس رطوبت نسبی هوا) برای کارهای سنگین سال ۱۳۶۳ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز

Table 5: WBGT (temperature calculated based on relative humidity) for heavy work in the ten districts of Tabriz metropolitan in 1984

مناطق	کلاس ۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۲۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها در بین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۵۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۷۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)
۱	–	–	–	–	۲۹/۵ تا ۳۱/۵ درجه	۶/۱۵ درصد	-	-
۲	–	–	–	–	۲۹/۵ تا ۳۱/۵ درجه	۸/۰۴ درصد	-	-
۳	–	–	–	–	۲۹/۵ تا ۳۱/۵ درجه	۱۰/۳۴ درصد	-	-
۴	–	–	۲۹ تا ۲۹/۵ درجه	۱/۹۰ درصد	از ۳۰ تا ۳۱ درجه	۷/۷۷ درصد	-	-
۵	۲۷ تا ۲۷/۵ درجه	۴/۵۵ درصد	–	–	–	–	از ۳۱/۵ تا ۳۲ درجه	۶/۹۶ درصد
۶	۲۷ تا ۲۷/۵ درجه	۹/۵۷ درصد	۲۸ تا ۲۹/۵ درجه	۱/۳۳ درصد	–	–	از ۳۱/۵ تا ۳۲ درجه	۱۷/۰۷ درصد
۷	–	–	–	–	از ۳۰ تا ۳۱/۵ درجه	۱۱/۰۳ درصد	-	-
۸	–	–	–	–	–	–	-	-
۹	–	–	–	–	–	–	-	-
۱۰	۲۷ تا ۲۷/۵ درجه	۷/۶۴ درصد	–	–	–	–	-	-

منبع: نگارندگان

در سال ۱۳۶۳ دربین مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز در کلاس صفر درصد مناطق ۶، ۱۰ و ۵ به‌ترتیب با ۹/۵۷، ۷/۶۴ و ۴/۵۵ درصد، در کلاس ۲۵ درصد مناطق ۴ و ۶ به‌ترتیب با ۱/۹۰ و ۱/۳۳ درصد، در کلاس ۵۰ درصد مناطق ۷، ۳، ۲، ۴ و ۱ به‌ترتیب با ۱۱/۰۳، ۱۰/۳۴، ۸/۰۴، ۷/۷۷ و ۶/۱۵ درصد و در کلاس ۷۵ درصد مناطق ۶ و ۵ به‌ترتیب با ۱۷/۰۷ و ۶/۹۶ درصد بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کارهای سنگین در کلاس‌های ذکرشده از دست داده است. در سال ۱۳۶۳ دربین مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز در کلاس صفر درصد در منطقهٔ ۶ فرودگاه با ۱۲/۹۰ درصد، در منطقهٔ ۱۰ محله‌های دوه چی و ششگلان به‌ترتیب با ۱۶/۳۶ و ۵/۵۲ درصد، در منطقهٔ ۵ محله‌های باغمیشه قدیم، دانشگاه آزاد، بارنج و کوشن و ولیعصر به‌ترتیب با ۰/۴۰، ۰/۳۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۴ درصد، در کلاس ۲۵ درصد در منطقهٔ ۴ پارک آذربایجان، جمشیدآباد، دامپزشکی و عمو زین الدین به‌ترتیب با ۱۶/۰۰۹، ۱/۵۳، ۰/۵۳ و ۰/۴۸ درصد، در منطقهٔ ۶ محله‌های خطیب، شهرک امام و شام غازان به‌ترتیب با ۲/۳۴، ۱/۴۵ و ۱/۲۷ درصد، در کلاس ۵۰ درصد در منطقهٔ ۷ محله‌های کوی لاله، لواسان، بهاران، رسالت و رازی به‌ترتیب با ۷/۳۶، ۳/۳۱، ۲/۶۵، ۲/۵۲ و ۲/۱۳ درصد، در منطقهٔ ۳ محله‌های امامیه، لیل‌آباد و طالقانی به‌ترتیب با ۵/۲۸، ۴/۹۹ و ۳/۳۹ درصد، در منطقهٔ ۲ دانشگاه تبریز و شاه گلی به‌ترتیب با ۹/۴۳ و ۵/۵۹ درصد، در منطقهٔ ۴ پارک آذربایجان، پایانهٔ مسافربری غرب، وزیرآباد و کوچه باغ

به‌ترتیب با ۱۰/٥۸، ٥/٦۸، ٥/٤۱ و ٥/۳٤ درصد، در منطقهٔ ۱ محله‌های ولیعصر، گلکار، بیلان کوه و پل سنگی به‌ترتیب با ۲۸/٤٥، ۱۳/۲٥، ۹/۸۰ و ٦/۷٦ درصد، در کلاس ۷٥ درصد در منطقهٔ ٦ محلهٔ دامپزشکی با ۳٤/۲٥ درصد، در منطقه ٥ محله‌های بارنج و کوشن، فرشته، دانشگاه آزاد و ولیعصر به‌ترتیب با ۲/۱۰، ۰/۹۸، ۰/٤٤ و ۰/۱۰ درصد بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کلاس‌های ذکرشده از دست داده است. درکل، کلانشهر تبریز در سال ۱۳٦۳ در کلاس ۰، ۲٥، ٥۰ و ۷٥ درصد به‌ترتیب ۱٤/۱٥، ۳/٥۳، ٥۸/۲٥ و ۲٤/۰٦ درصد از بهره‌وری خود در کارهای سنگین را از دست داده است. در سال ۱۳٦۳ در کلانشهر تبریز همهٔ کلاس‌های بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سنگین وجود داشته است (شکل ٤ و جدول ٥).

جدول ٦: میزان WBGT (میزان دمای محاسبه‌شده براساس رطوبت نسبی هوا) برای کارهای سنگین سال ۱۳۸۱ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز

Table 6: WBGT (temperature calculated based on relative humidity) for heavy work in the ten districts of Tabriz metropolitan in 2002

مناطق	کلاس ۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۲٥ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ٥۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۷٥ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس ها دربین مناطق دهگانه (درصد)
۱	–	–	–	–	–	–	–	–
۲	–	–	از ۲۸/٥ تا ۲۹/٥ درجه	٦/٦٤	–	–	–	–
۳	–	–	از ۲۸/٥ تا ۲۹/٥ درجه	٦/۰٥	از ۲۹/٥ تا ۳۰ درجه	٤/۲۹	–	–
٤	از ۲۷ تا ۲۷/٥ درجه	۰/۱٦	از ۲۷/٥ تا ۲۹/٥ درجه	۸/۷۷	–	–	–	–
٥	–	–	از ۲۸ تا ۲۹ درجه	٦/۰۸	از ۲۹ تا ۳۰ درجه	۷/٥٤	–	–
٦	از ۲۷ تا ۲۷/٥ درجه	۰/۹۷	از ۲۷/٥ تا ۲۹/٥ درجه	۲۳/٤۰	از ۲۹ تا ۳۰ درجه	۷/۸۳	–	–
۷	از ۲۷ تا ۲۷/٥ درجه	۰/۷٥	از ۲۷/٥ تا ۲۹/٥ درجه	٦/۸٤	از ۲۹/٥ تا ۳۰ درجه	۳/٦۷	–	–
۸	–	–	–	–	–	–	–	–
۹	–	–	–	–	–	–	–	–
۱۰	–	–	–	–	–	–	–	–

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۳

در سال ۱۳۸۱ در کلانشهر تبریز دربین مناطق دهگانه در کلاس صفر درصد، مناطق ٦، ۷ و ٤ به‌ترتیب با ۰/۹۷، ۰/۷٥ و ۰/۱٦ درصد، در کلاس ۲٥ درصد، مناطق ٦، ٤، ۷، ۲، ٥ و ۳ به‌ترتیب با ۲۳/٤۰، ۸/۷۷، ٦/۸٤، ٦/٦٤، ٦/۰۸ و ٦/۰٥ درصد و در کلاس ٥۰ درصد، مناطق ٦، ٥، ۳ و ۷ به‌ترتیب با ۷/۸۳، ۷/٥٤، ٤/۲۹ و ۳/٦۷ درصد بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کارهای سنگین در کلاس‌های ذکرشده از دست داده است. در سال ۱۳۸۱ در مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز در کلاس صفر درصد در منطقهٔ ٦ محله‌های شهرک شهید بهشتی، قراملک و ۳ به‌ترتیب با ۰/٥۳، ۰/٤۲ و ۰/۰۳ درصد، در منطقهٔ ۷ محلهٔ ۳ با ٦/٦۹ درصد، در منطقهٔ ٤ پارک آذربایجان و محلهٔ شهیدبهشتی به‌ترتیب با ۱/٦۳ و ۰/۰۲ درصد، در کلاس ۲٥ درصد در منطقهٔ ٦ محلهٔ شهرک شهیدبهشتی، فرودگاه و محلهٔ خطیب با ۳۰/٦۷،

۲۷/۶۸ و ۲/۳۴ درصد، در منطقهٔ ٤ پارک آذربایجان، محله‌های رضوان‌شهر، پایانهٔ مسافربری غرب، وزیرآباد و کوچه باغ به‌ترتیب با ۲٤/۹۵، ٦/۳۸، ۵/٦۸، ۵/٤۱ و ۵/۳۱ درصد، در منطقهٔ ۷ محله‌های ۳، آخماقیه، کوی لاله و بهاران به‌ترتیب با ۱۷/۷۰، ۹/۸٦، ۷/۳٦ و ٤/۰۷ درصد، در منطقهٔ ۲ دانشگاه تبریز، زعفرانیه، شاه گلی، ولیعصر جنوبی، گلشهر و پرواز به‌ترتیب با ۹/٤۳، ٦/۱۷، ۵/۵۹، ۵/٤۷، ۵/٤۳، ۵/۲۸ درصد، در منطقهٔ ۵ محله‌های ۲، شهرک صنعتی و شهرک به‌ترتیب با ۱٦/۱٤، ۵/۰۱ و ٤/۵۲ درصد، در منطقهٔ ۳ محله‌های طالقانی، ۲، امامیه، لیل‌آباد و مارالان به‌ترتیب با ٦/٦۹، ٦/۱٦، ۵/۲۸، ٤/۹۹ و ٤/۳۲ درصد، در کلاس ۵۰ درصد در منطقهٔ ٦ فرودگاه و شهرک شهیدبهشتی به‌ترتیب با ۱۹/٤۸ و ٤/۸۰ درصد، در منطقهٔ ۵ محله‌های باغمیشه جدید، شهرک و نمایشگاه به‌ترتیب با ٦/۱٦، ۵/۳۱ و ٦/۰۵ درصد، در منطقهٔ ۳ محله‌های ۲، مارالان و کوی دانشگاه به‌ترتیب با ۳۷/۲٦، ۱/٤٦ و ۱/٤۵ درصد، در منطقهٔ ۷ در محله‌های شهرک اندیشه، آخماقیه و کوی صنعتی به‌ترتیب با ۱۰/٤۲، ٤/۱۷ و ۲/٤۰ درصد بیشترین میزان بهره‌وری خود را در کارهای سنگین در کلاس‌های ذکرشده از دست داده است. درکل، در سال ۱۳۸۱ کلانشهر تبریز در کلاس‌های ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد به‌ترتیب ۱/۸۹، ٦٦/٦۱ و ۳۱/٤۹ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سنگین از دست داده است. کلانشهر تبریز در این سال کلاس ۷۵ درصد نداشته است؛ یعنی به‌عبارتی، کلانشهر تبریز در هیچ‌یک از مناطق و محله‌های خود بهره‌وری خود در کارهای سنگین را در کلاس ۷۵ درصد از دست نداده است (شکل ٤ و جدول ٦).

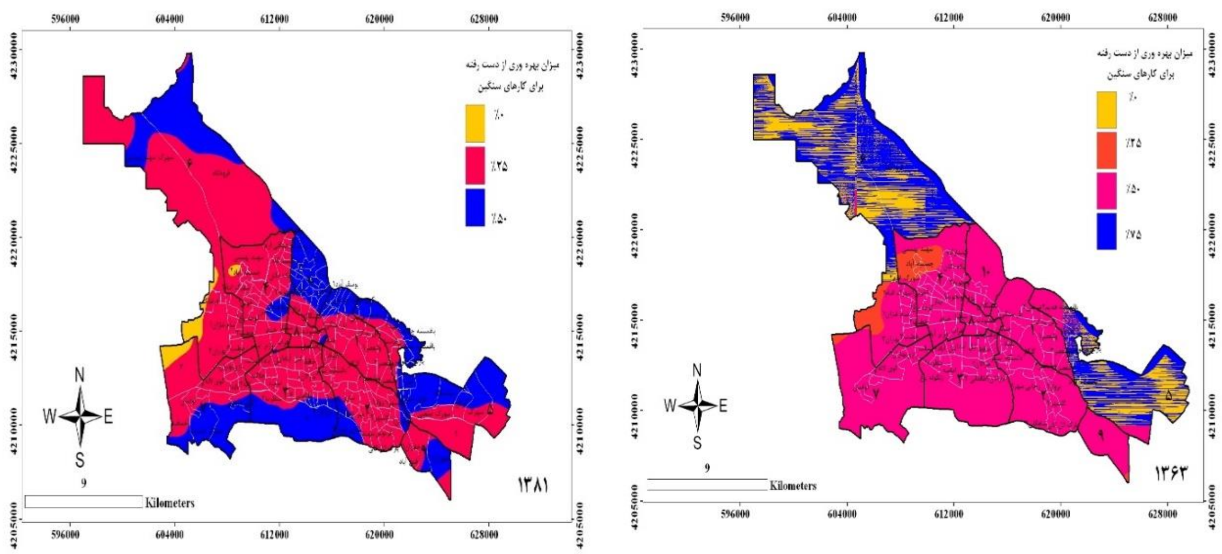
جدول ۷: میزان WBGT (میزان دمای محاسبه‌شده براساس رطوبت نسبی هوا) برای کارهای سنگین سال ۱٤۰۱ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز

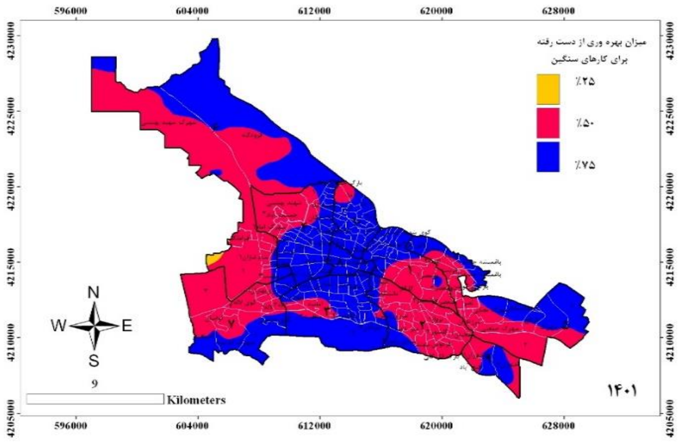
Table 7: WBGT (temperature calculated based on relative humidity) for heavy work in the ten districts of Tabriz metropolitan in 2022

مناطق	کلاس ۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۲۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۵۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۷۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)
۱	-	-	-	-	-	-	-	-
۲	-	-	-	-	از ۳۰/۵ تا ۳۱/۵ درجه	٦/۵۰	-	-
۳	-	-	-	-	-	-	از ۳۲ درجه به بالاتر	۸/۹۵
٤	-	-	-	-	-	-	از ۳۱/۵ تا ۳۲/۵ درجه	۵/۵۰
۵	-	-	-	-	از ۳۰/۵ تا ۳۱/۵ درجه	۷/۳٤	از ۳۱/۵ تا ۳۲/۵ درجه	٦/۲۹
٦	-	-	از ۲۹ تا ۲۹/۵ درجه	۰/۲٤	از ۳۱ تا ۳۱/۵ درجه	۱۹/۱۰	از ۳۲ درجه به بالاتر	۱۲/۸٦
۷	-	-	-	-	از ۳۰/۵ تا ۳۱/۵ درجه	۷/۳	-	-
۸	-	-	-	-	-	-	-	-
۹	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۳

در سال ۱۴۰۱ دربین مناطق دهگانۀ کلانشهر تبریز در کلاس ۲۵ درصد منطقۀ ۶ با ۰/۲۴ درصد، در کلاس ۵۰ درصد منطقۀ ۶ با ۱۹/۱۰ درصد، منطقۀ ۵ با ۷/۳۴ درصد، منطقۀ ۷ با ۷/۳ درصد و منطقۀ ۲ با ۶/۵۰ درصد و در کلاس ۷۵ درصد منطقۀ ۶ با ۱۲/۸۶ درصد، منطقۀ ۳ با ۸/۹۵ درصد، منطقۀ ۵ با ۶/۲۹ درصد و منطقۀ ۴ با ۵/۵۰ درصد بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کارهای سنگین از دست داده است. در سال ۱۴۰۱ در کلاس ۲۵ درصد در منطقۀ ۶ محله‌های ۱، قراملک و شهرک شهیدبهشتی به‌ترتیب با ۰/۷۱، ۰/۰۴۲ و ۰/۰۰۶ درصد، در کلاس ۵۰ درصد در منطقۀ ۶ محله‌های شهرک شهیدبهشتی، فرودگاه و ۱ به‌ترتیب با ۳۱/۲۸، ۱۳/۶۲ و ۹/۳۷ درصد، در منطقۀ ۵ محله‌های ۲، شهرک صنعتی، ۱ و شهرک مصلی به‌ترتیب با ۱۶/۰۷، ۵/۷۳، ۴/۳۱ و ۴/۰۰۹ درصد، در منطقۀ ۷ محله‌های ۳، کوی لاله، اخماقیه و بهاران به‌ترتیب با ۲۴/۳۹، ۷/۳۶، ۶/۵۸ و ۴/۰۷ درصد و در منطقۀ ۲ دانشگاه تبریز، محله‌های یاغچیان و زعفرانیه با ۹/۴۳، ۶/۷۶ و ۶/۶۳ درصد، در کلاس ۷۵ درصد در منطقۀ ۶ فرودگاه و محله‌های شهرک شهیدبهشتی و خطیب به‌ترتیب با ۳۳/۵۵، ۴/۶۹ و ۱/۳۳ درصد، در منطقۀ ۳ محله‌های ۲، مارالان، طالقانی، لیل‌آباد و ۱ به‌ترتیب با ۴۰/۹۵، ۵/۷۷، ۵/۷۲، ۴/۹۹ و ۴/۲۳ درصد، در منطقۀ ۵ محله‌های ۱، شهرک، نمایشگاه، باغمیشۀ جدید و شهرک مصلی به‌ترتیب با ۱۲/۹۹، ۸/۲۹، ۴/۸۹، ۴/۷۰ و ۴/۶۲ درصد و در منطقۀ ۴ محله‌های رضوانشهر، وزیرآباد، کوچه‌باغ، چوست دوزان و ویجویه به‌ترتیب با ۵/۸۸، ۵/۴۱، ۵/۳۴، ۴/۳ و ۴/۳۸ درصد بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کلاس‌های ذکرشده از دست داده است. درکل، در سال ۱۴۰۱ کلانشهر تبریز در حدود ۵۱/۲۶۸ درصد بهره‌وری خود را در کلاس ۷۵ درصد، در حدود ۴۸/۴۲ درصد بهره‌وری خود را در کلاس ۵۰ درصد و در حدود ۰/۲۴ درصد بهره‌وری خود را در کلاس ۲۵ درصد در کارهای سنگین ازدست داده است. در این سال کلانشهر تبریز کلاس صفر درصد نداشته است؛ یعنی هیچ منطقه‌ای وجود نداشته که بهره‌وری خود را در کارهای سنگین ازدست نداده باشد. درکل، کلانشهر تبریز در سال ۱۴۰۱ در کلاس‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۰/۲۴، ۵۱/۲۹ و ۴۸/۴۶ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سنگین ازدست داده است (شکل ۴ و جدول ۷).





شکل ٤: میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سنگین به تفکیک محله‌های مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز به‌ترتیب از چپ به راست برای سال‌های ۱۳٦۳، ۱۳۸۱ و ۱٤۰۱ (منبع: نگارندگان)

Figure 4: The amount of productivity lost for heavy work by the separately of the 10 districts neighborhoods of Tabriz metropolitan, from left to right, respectively, for the years 1984, 2002, and 2022

در محاسبهٔ بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک اگر WBGT کمتر از ۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد باشد، میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک برابر با صفر خواهد بود؛ یعنی هیچ بهره‌وری ازدست نخواهد رفت. اگر WBGT بین ۳۱/۵ تا ۳۲ درجه باشد ۲۵ درصد، اگر WBGT بین ۳۲ تا ۳۲/۵ درجه باشد ۵۰ درصد و اگر بیشتر از ۳۲/۵ درجه باشد، ۷۵ درصد از بهره‌وری در کارهای سبک ازدست خواهد رفت.

جدول ۸: میزان WBGT (میزان دمای محاسبه‌شده براساس رطوبت نسبی هوا) برای کارهای سبک سال ۱۳٦۳ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز

Table 8: WBGT (temperature calculated based on relative humidity) for light work in the ten districts of Tabriz metropolitan in 1984

مناطق	کلاس ۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۲۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۵۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۷۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس ها دربین مناطق دهگانه (درصد)
۱	کمتر از ۳۱/۵ درجه	٦/۱۵	-	-	-	-	-	-
۲	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۸/۰٤	-	-	-	-	-	-
۳	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۱۰/۳٤	-	-	-	-	-	-
٤	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۹/٦٦	-	-	-	-	-	-
۵	کمتر از ۳۱/۵ درجه	٦/۷۷	-	-	-	-	از ۳۲/۵ درجه به بالاتر	۱٦/۹۹
٦	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۱۵/۲۲	-	-	-	-	از ۳۲/۵ درجه به بالاتر	٦/۸۵
۷	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۱۱/۲٦	-	-	-	-	-	-
۸	-	-	-	-	-	-	-	-
۹	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۳

کلاس‌های مربوط به بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبکِ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز در سال ۱۳۶۳ بدین ترتیب بوده است که در کلاس صفر درصد مناطق ۶، ۷، ۳، ۴، ۲، ۵ و ۱ به‌ترتیب با ۱۵/۲۲، ۱۱/۲۶، ۱۰/۳۴، ۹/۶۶، ۸/۰۴، ۶/۷۷ و ۶/۱۵ درصد و در کلاس ۷۵ درصد مناطق ۵ و ۶ به‌ترتیب با ۱۶/۹۹ و ۶/۸۵ درصد بهره‌وری خود را از دست داده است. به دلیل اینکه در این سال WBGT تمامی مناطق کلانشهر تبریز به‌جزء مناطق ۵ و ۶ کمتر از ۳۱/۵ درجه بوده است، در مناطق ذکرشده هیچ بهره‌وری در کارهای سبک از دست نرفته و در مناطق ۵ و ۶ به‌دلیل اینکه WBGT بیش از ۳۲/۵ درجه بوده است، بهره‌وری از دست رفته تنها در کلاس ۷۵ درصد وجود داشته است. در کلاس ۷۵ درصد هم فرودگاه با ۳۴/۲۷ درصد و در منطقهٔ ۵ محله‌های بارنج و کوشن، فرشته، دانشگاه آزاد و محلهٔ ولیعصر با ۰/۰۰۷۵، ۰/۰۰۳۴، ۰/۰۰۱۵ و ۰/۰۰۰۳۶ درصد بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کارهای سبک از دست داده است. درکل، کلانشهر تبریز در سال ۱۳۶۳ در بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک در کلاس‌های صفر و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۷۶/۱۰ و ۲۳/۸۹ درصد بهره‌وری خود را از دست داده است. در این سال کلانشهر تبریز کلاس‌های ۲۵ و ۵۰ درصد نداشته است (شکل ۵ و جدول ۸).

جدول ۹: میزان WBGT (میزان دمای محاسبه‌شده براساس رطوبت نسبی هوا) برای کارهای سبک سال ۱۳۸۱ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز

Table 9: WBGT (temperature calculated based on relative humidity) for light work in the ten districts of Tabriz metropolitan in 2002

مناطق	کلاس ۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۲۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۵۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۷۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)
۱	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۶/۱۵	–	–	–	–	–	–
۲	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۸/۰۴	–	–	–	–	–	–
۳	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۱۰/۳۴	–	–	–	–	–	–
۴	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۹/۶۶	–	–	–	–	–	–
۵	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۱۳/۶۲	–	–	–	–	–	–
۶	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۳۲/۲۱	–	–	–	–	–	–
۷	کمتر از ۳۱/۵ درجه	۱۱/۲۷	–	–	–	–	–	–
۸	–	–	–	–	–	–	–	–
۹	–	–	–	–	–	–	–	–
۱۰	–	–	–	–	–	–	–	–

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

کلاس‌های مربوط به بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک در مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز در سال ۱۳۸۱ بدین ترتیب است که همهٔ مناطق تنها کلاس صفر درصد داشته است. به‌عبارتی، هیچ‌یک از مناطق کلانشهر تبریز به‌دلیل اینکه WBGT آنها کمتر از ۳۱/۵ درجه سانتی گراد بوده، هیچ بهره‌وری را در کارهای سبک از دست نداده

است. در کلاس صفر درصد بیشترین میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک مربوط به مناطق ۶، ۵، ۷، ۳، ۴، ۲ و ۱ به‌ترتیب با ۳۲/۲۱، ۱۳/۶۲، ۱۱/۲۷، ۱۰/۳۴، ۹/۶۶، ۸/۰۴ و ۶/۱۵ درصد بوده است. در منطقهٔ ۶ فرودگاه و محله‌های شهرک شهید بهشتی و ۱ به‌ترتیب با ۴۷/۱۶، ۳۶/۰۰۴، ۱۰/۰۸ درصد، در منطقهٔ ۵ محله‌های ۱، ۲، شهرک، شهرک مصلی و باغمیشهٔ جدید به‌ترتیب با ۱۷/۳۹، ۱۶/۱۵، ۱۰/۵۷، ۸/۶۷ و ۷/۲۹ درصد، در منطقهٔ ۷ محله‌های ۳، ۱، آخماقیه، شهرک اندیشه و کوی لاله به‌ترتیب با ۲۴/۳۸، ۱۸/۶۳، ۱۴/۰۳، ۱۲/۴۸، ۷/۳۶ درصد، در منطقهٔ ۳ محله‌های ۲، طالقانی، مارالان و امامیه به‌ترتیب با ۴۳/۴۰، ۶/۷۷، ۵/۷۸ و ۵/۲۹ درصد، در منطقهٔ ۴ پارک آذربایجان، محلهٔ رضوانشهر، پایانهٔ مسافربری غرب، محله‌های وزیرآباد و کوچه‌باغ به‌ترتیب با ۲۶/۵۸، ۶/۴۱، ۵/۶۸، ۵/۴۱ و ۵/۳۴ درصد، در منطقهٔ ۲ محلهٔ ساری زمی، دانشگاه تبریز، محله‌های زعفرانیه و باغچیان به‌ترتیب با ۱۵/۹۲، ۹/۴۳، ۶/۷۷ و ۶/۷۶ درصد و در منطقهٔ ۱ محله‌های ولیعصر، گلکار، بیلان کوه، سیلاب قوشخانه، پل سنگی، کوی شهید بهشتی و باغمیشهٔ قدیم به‌ترتیب با ۲۸/۴۴، ۱۳/۲۵، ۹/۸۰، ۶/۹۷، ۶/۷۶، ۶/۴۳ و ۵/۷۵ درصد بیشترین میزان را در کلاس صفر درصد داشته است (شکل ۵ و جدول ۹).

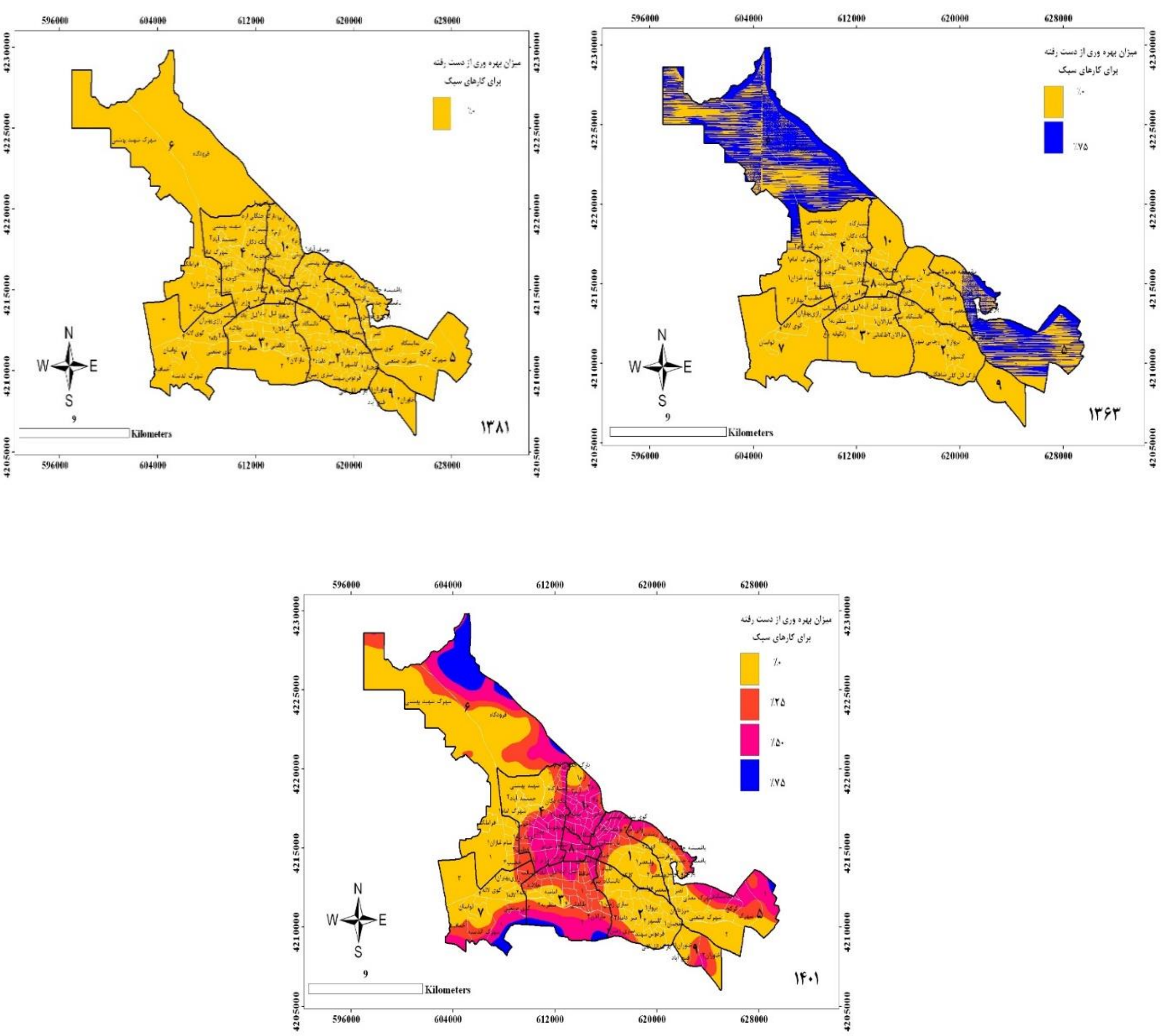
جدول ۱۰: میزان WBGT (میزان دمای محاسبه‌شده براساس رطوبت نسبی هوا) برای کارهای سبک سال ۱۴۰۱ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز

Table 10: WBGT (temperature calculated based on relative humidity) for light work in the ten districts of Tabriz metropolitan in 2022

مناطق	کلاس ۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۲۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۵۰ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)	کلاس ۷۵ درصد	سهم هر منطقه از هریک از کلاس‌ها دربین مناطق دهگانه (درصد)
۱	-	-	-	-	-	-	-	-
۲	از ۳۰/۵ تا ۳۱/۵ درجه	۶/۵۰	-	-	-	-	-	-
۳	-	-	از ۳۱/۵ تا ۳۲ درجه	۴/۷۱	از ۳۲ تا ۳۲/۵ درجه	۳/۵۹	از ۳۲/۵ تا ۳۳ درجه	۰/۶۳
۴	-	-	-	-	-	-	-	-
۵	از ۳۰ تا ۳۱/۵ درجه	۷/۳۳	از ۳۱/۵ تا ۳۲ درجه	۳/۰۸	از ۳۲ تا ۳۲/۵ درجه	۳/۰۹	از ۳۲/۵ تا ۳۳ درجه	۰/۱۱
۶	از ۲۹ تا ۳۱/۵ درجه	۱۹/۳۴	از ۳۱/۵ تا ۳۲ درجه	۵/۰۳	از ۳۲ تا ۳۲/۵ درجه	۴/۱۲	از ۳۲/۵ تا ۳۳ درجه	۳/۷۱
۷	از ۲۹/۵ تا ۳۱/۵ درجه	۷/۱۷	-	-	-	-	از ۳۲/۵ تا ۳۳ درجه	۰/۵۶
۸	-	-	-	-	-	-	-	-
۹	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۰	-	-	-	-	-	۳/۰۱	-	-

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

کلاس‌های مربوط به بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبکِ مناطق دهگانهٔ کلانشهر تبریز در سال ١٤٠١ بدین ترتیب بوده است که در کلاس صفر درصد مناطق ٦، ٥، ٧ و ٢ به‌ترتیب برابر با ١٩/٣٤، ٧/٣٣، ٧/١٧، در کلاس ٦/٥٠ درصد در کلاس ٢٥ درصد مناطق ٦، ٣ و ٥ به‌ترتیب برابر با ٥/٠٣، ٤/٧١ و ٣/٠٨ درصد، در کلاس ٥٠ درصد مناطق ٦، ٣، ٥ و ١٠ به‌ترتیب با ٤/١٢، ٣/٥٩، ٣/٠٩ و ٣/٠١ درصد و در کلاس ٧٥ درصد مناطق ٦، ٣، ٧ و ٥ به‌ترتیب با ٣/٧١، ٠/٦٣، ٠/٥٦ و ٠/١١ درصد بهره‌وری خود را در کارهای سبک از دست داده است. در کلاس صفر درصد در منطقهٔ ٦ محله‌های شهرک شهیدبهشتی، فرودگاه و ١ به‌ترتیب با ٣١/٢٩، ١٣/٦٢ و ١٠/٠٨ درصد، در منطقهٔ ٥ محله‌های ٢، شهرک صنعتی، ١ و شهرک مصلی به‌ترتیب با ١٦/١٥، ٥/٧٥، ٤/٣٩ و ٤/٠٣ درصد، در منطقهٔ ٧ محله‌های ٣، کوی لاله، شهرک اندیشه، آخماقیه و بهاران به‌ترتیب با ٢٤/٣٩، ٧/٣٦، ٦/٨٢، ٦/٥٨ و ٤/٠٧ درصد، در منطقهٔ ٢ دانشگاه تبریز، یاغچیان، زعفرانیه، شاه گلی، ولیعصر جنوبی، گلشهر و پرواز به‌ترتیب با ٧/٨٤، ٥/٦١، ٥/٥٢، ٤/٦٥، ٤/٥٤، ٤/٥٢ و ٤/٣٩ درصد، در کلاس ٢٥ درصد در منطقهٔ ٦ فرودگاه، محله‌های شهرک شهیدبهشتی و خطیب به‌ترتیب با ٩/٣٦، ٤/٦٠ و ١/٣٣ درصد در منطقهٔ ٣ محله‌های ٢، مارالان، طالقانی و ١ به‌ترتیب با ١٢/٦٩، ٥/٦٧، ٥/٦٤ و ٤/٢٣ درصد، در منطقهٔ ٥ محله‌های شهرک، ١، باغمیشهٔ جدید، شهرک مصلی و رشدیه به‌ترتیب با ٤/٧٥، ٣/٨٤، ٣/٢٩، ٢/٤٥، ٢/٢٣ درصد، در کلاس ٥٠ درصد در منطقهٔ ٦ فرودگاه، شهرک شهیدبهشتی و ١ به‌ترتیب با ١٢/٦٨، ٠/١٠٠ و ٠/٠٠٠١ درصد، در منطقهٔ ٣ محله‌های ٢، لیل‌آباد و چرنداب به‌ترتیب با ٢٢/١٨، ٣/٩٧ و ٢/٥٠ درصد، در منطقهٔ ٥ محله‌های ١، شهرک، نمایشگاه و شهرک مصلی به‌ترتیب با ٨/٤٤٨، ٣/٥٨٤، ٣/٢٣١ و ٢/١٨٤ درصد، در منطقهٔ ١٠ محله‌های دوه چی، ارم، ٤٢ متری، خلیل‌آباد و ششگلان به‌ترتیب با ١٦/٤، ١٤/٠٧، ٨/٥٥، ٦/٣١ و ٥/٥١، در کلاس ٧٥ درصد در منطقهٔ ٦ فرودگاه ١١/٥١ درصد، در منطقهٔ ٣ محله ٢ ٦/٠٦٧ درصد، در منطقهٔ ٧ محله‌های ١ و آخماقیه به‌ترتیب با ٤/٩٤ و ٠/٠٠٣ درصد و در منطقهٔ ٥ محله‌های ١ و باغمیشهٔ جدید به‌ترتیب با ٠/٧٧ و ٠/٠٤٣ درصد بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کلاس های ذکرشده در کارهای سبک از دست داده است. در کلاس ٧٥ درصد هم در منطقهٔ ٦ فرودگاه با ٣٤/٢٧ درصد و در منطقهٔ ٥ محله‌های بارنج و کوشن، فرشته، دانشگاه آزاد و محلهٔ ولیعصر با ٠/٠٠٧٥، ٠/٠٠٣٤، ٠/٠٠١٥ و ٠/٠٠٠٣٦ درصد بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کارهای سبک از دست داده است. درکل، کلانشهر تبریز در سال ١٤٠١ در کلاس‌های ٠، ٢٥، ٥٠ و ٧٥ درصد به‌ترتیب ٥١/٥٤، ٢٠/٧٢، ٢٢/٦٨ و ٥/٠٥ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سبک از دست داده است (شکل ٥ و جدول ١٠).



شکل ۵: میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک به تفکیک محله‌های مناطق دهگانۀ کلانشهر تبریز به‌ترتیب از چپ به راست برای سال های ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ (منبع: نگارندگان)

Figure 5: The amount of productivity lost for light work by the separately of the 10 Districts Neighborhoods of Tabriz Metropolitan, from left to right, respectively, for the years 1984, 2002, and 2022

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کلانشهر تبریز در سال ۱۳۶۳ در کلاس‌های ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۱۴/۱۵، ۳/۵۳، ۵۸/۲۵ و ۲۴/۰۶ درصد، در سال ۱۳۸۱ در کلاس‌های ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد به‌ترتیب ۱/۸۹، ۶۶/۶۱ و ۳۱/۴۹ درصد و در سال ۱۴۰۱ در کلاس‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۰/۲۴، ۵۱/۲۹ و ۴۸/۴۶ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سنگین از دست داده است. کلانشهر تبریز در سال ۱۳۶۳ در بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک در کلاس‌های ۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۷۶/۱۰ و ۲۳/۸۹ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سبک از دست داده و در سال ۱۳۸۱ همۀ مناطق تنها کلاس صفر درصد را داشته است. به‌عبارتی، هیچ‌یک از مناطق کلانشهر تبریز به‌دلیل اینکه WBGT آنها کمتر از ۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد بوده، هیچ بهره‌وری را در کارهای سبک از دست نداده است. کلانشهر تبریز در

سال ۱۴۰۱ در کلاس‌های ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۵۱/۵۴، ۲۰/۷۲، ۲۲/۶۸ و ۵/۰۵ درصد از بهره‌وری خود را در کارهای سبک از دست داده است. همچنین، این پژوهش نشان داد که کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز در کاهش میزان WBGT، کاهش جزایر حرارتی شهری و به‌تبع آن کاهش میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک و سنگین کلانشهر تبریز نقش فزآینده و ویژه‌ای داشته است. چنانچه در هر سه دورۀ زمانی ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ در قسمت‌هایی از کلانشهر تبریز که به‌ترتیب کاربری اراضی کشاورزی، فضاهای سبز، فضاهای باز و تراکم مسکونی پایین وجود داشته، WBGT در پایین‌ترین میزان خود بوده، کمترین میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک‌وسنگین رخ داده و در قسمت‌هایی که به‌ترتیب اراضی بایر، تراکم مسکونی زیاد و متوسط وجود داشته، WBGT در بالاترین حد خود بوده، بیشترین میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک‌وسنگین اتفاق افتاده است. بررسی‌ها درحوزۀ پژوهش‌های انجام‌شدۀ داخلی و خارجی نشان داد که در عرصۀ داخلی هیچ پژوهشی دربارۀ بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک و سنگین در اثر کاهش جزایر حرارتی ناشی از زیرساخت‌های سبز شهری انجام نشده است و در ارتباط با پژوهش‌های خارجی نیز پژوهش حاضر با پژوهش‌های Masuda et al. (2024) و Zhu et al. (2021) شباهت‌هایی دارد؛ ازجمله اینکه Masuda et al. (2024) نیز در پژوهش خود اذعان کرده‌اند که افزایش یک درجه‌ای دما بهره‌وری کارهای سنگین را کاهش می‌دهد. Zhu et al. (2024) نیز اذعان کرده‌اند که افزایش میزان WBGT منجر به کاهش زیاد بهره‌وری کار در چین شده است. در این پژوهش نیز در هر سه دورۀ زمانی ۱۳۶۳، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ مشخص شد که مناطقی از کلانشهر تبریز که WBGT آنها با زیرساخت‌های سبز پایین بوده است، میزان کمتری از بهره‌وری خود را در کارهای سبک و سنگین از دست داده و مناطقی که WBGT آنها زیاد بوده، بیشترین میزان از بهره‌وری خود را در کارهای سبک و سنگین از دست داده است. کاربرد پژوهش حاضر در این است که برنامه‌ریزان و مدیران شهری با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توانند در مناطقی از کلانشهر تبریز که در اثر جزایر حرارتی شهری با کاهش بهره‌وری کارهای سبک و سنگین روبه‌رو هستند با افزایش و توسعۀ زیرساخت‌های سبز شهری در آنها بهره‌وری مذکور و به تبع آن بهره‌وری اقتصادی ناشی از آن را افزایش دهند و موجبات رشد و توسعۀ پایدار هرچه بهتر و بیشتر کلانشهر تبریز را در سال‌های پیش رو و آتی فراهم کنند. همچنین، با افزایش زیرساخت‌های سبز و درپی آن کاهش جزایر حرارتی شهری موجبات آسایش حرارتی و رفاهی شهروندان را بیش از پیش فراهم کنند. تفاوتی که این پژوهش با پژوهش‌های داخلی و خارجی انجام‌شده دارد در این است که در هیچ‌یک از این پژوهش‌ها به ارزیابی بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک و سنگین با زیرساخت‌های سبز شهری با استفاده از نرم‌افزار InVEST پرداخته نشده است. همچنین، در پژوهش حاضر به نقش کاربری اراضی/پوشش اراضی در کاهش یا افزایش میزان WBGT و به میزان بهره‌وری از دست رفته برای کارهای سبک و سنگین به تفکیک مناطق دهگانه و محله‌های مناطق دهگانۀ کلانشهر تبریز پرداخته شده است موردی که در هیچ یک از پژوهش‌های انجام شده داخلی و خارجی بدان پرداخته نشده است.

منابع

آزادی مبارکی، محمد، و احمدی، محمود (۱۳۹۹). بررسی جزایر حرارتی تبریز با رویکرد زیست‌پذیری شهری. *پژوهش‌های دانش زمین*، *۱۱*(۳)، ۲۴۵–۲۶۲. https://doi.org/10.52547/esrj.11.3.245

آزادی مبارکی، محمد، و احمدی، محمود (۱٤۰۰). بررسی جزایر حرارتی شهری کلانشهر تبریز با استفاده از داده‌های چندزمانهٔ ماهوارهٔ LANDSAT8 مبتنی بر روش تحلیل لکه‌های داغ. *فصلنامهٔ علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، *۱۱*(٤۳)، ٦۳-٤۷. https://doi.org/10.30495/jzpm.2021.3992

احمدپور، امیر، سلیمانی، کریم، شکری، مریم، و قربانی، جمشید (۱۳۹۳). مقایسهٔ میزان کارآیی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت‌شدهٔ داده‌های ماهواره‌ای در مطالعهٔ پوشش گیاهی. *سنجش از دور و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، *۵*(۳)، ۷۷-۸۹. https://civilica.com/doc/1166233/

امین‌زاده گوهرریزی، بهناز، و قشلاق‌پور، سهیل (۱۳۹۹). تأثیر الگوهای فضایی ساختار سبز شهری بر تغییر دمای جزایر حرارتی (مورد مطالعه: شهر تهران). *محیط شناسی*، *٤٦*(۲)، ۲۳۹-۲٥٤.
https://doi.org/10.22059/JES.2021.308065.1008059

انجم الشعاع، فرحناز، مروتی، مریم، تازه، مهدی، و بهادری امجز، فاطمه (۱٤۰۰). بررسی رابطهٔ جزایر حرارتی با محدوده های فضای سبز و آشکارسازی تغییرات آن (مطالعهٔ موردی: شهر کرمان). *جغرافیا و پایداری محیط*، *۱۱*(٤)، ۱۰٦-۸۳. https://doi.org/10.22126/ges.2022.6836.2439

تابعی، نادر، بابایی اقدم، فریدون، و حکیمی، هادی (۱٤۰۱). شهر همه‌شمول: رویکردی نوین در برنامه‌ریزی شهری (مطالعهٔ موردی: شهر تبریز). *مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، *۱۰*(۲)، ۱۱٥-۱۳۲.
https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2022.335543.1627

رمضانی، صادق، و نقیبی، فریدون (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات شاخص پوشش گیاهی در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری (مطالعهٔ موردی: شهر ارومیه). *فصلنامهٔ پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، *۱۱*(٤۲)، ۱۹٥-۲۰٦.
https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3944.html

ریاحی بختیاری، حمیدرضا (۱۳۷۹). *تعیین مناسب ترین روش تهیهٔ نقشه‌های پوشش منابع طبیعی در مقیاس ۱:۲٥۰۰۰۰ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در ناحیهٔ دشت ارژن* [پایان‌نامهٔ منتشرنشده به صورت الکترونیکی کارشناسی ارشد]. دانشگاه تهران.

زبیری، محمود، و مجد، علیرضا (۱۳۷۸). *آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد آن در منابع طبیعی*. انتشارات دانشگاه تهران.

زینالی عظیم، علی، حاتمی گلزاری، الهام، کرمی، اسلام، و بابازاده اسکوئی، سولماز (۱٤۰۰). سنجش پایداری محیطی شهر تبریز براساس شاخص‌های زیست‌محیطی. *پایداری، توسعه و محیط زیست*، *۲*(۳)، ٤۱-٥۹.
https://civilica.com/doc/1405129/

ساروئی، سعید (۱۳۷۸). *بررسی امکان طبقه‌بندی جنگل به لحاظ تراکم در جنگل‌های زاگرس به کمک داده‌های ماهواره‌ای* [پایان‌نامهٔ منتشرنشده به صورت الکترونیکی کارشناسی ارشد]. دانشگاه تهران.

علیزاده، امین (۱۳۷۷). *اصول طراحی سیستم‌های آبیاری*. انتشارات آستان قدس رضوی.

فربودی، مرضیه، و زمانی، زهرا (۱٤۰۱). کاهش جزایر حرارتی شهری ازطریق افزایش سبزینگی و سطوح نفوذپذیر در تهران. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، *۲٤*(۲)، ۳۱-٤٥.
https://doi.org/10.30495/jest.2022.58441.5276

کاظمی، محمد، نوحه‌گر، احمد، و میردادی، میرداد (۱۳۹٦). انتخاب بهترین روش طبقه‌بندی در تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجندهٔ OLI ماهوارهٔ لندست ۸ (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز بهشت گمشده، استان فارس). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، *۸*(۱)، ۷۹–۹۷.
https://journals.iau.ir/article_533198.html?lang=en

معاونت برنامه‌ریزی و توسعهٔ سرمایهٔ انسانی شهرداری تبریز (۱٤۰۱). *سالنامهٔ آماری شهر و شهرداری تبریز (سال ۱۳۹۹)*.

ملکی مرشت، رقیه، سبحانی، بهروز، و مرادی، مسعود (۱٤۰۰). بررسی تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی کلانشهر تبریز. *فصلنامهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی*، *۱۰*(۲)، ۱۱۱–۱۲۸.
https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.69683.1040

مهندسین مشاور نقش محیط (۱۳۹۱). *طرح توسعه و عمران (جامع) شهر تبریز*.

References

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. https://civilica.com/doc/1166233/ [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. https://www.avwatermaster.org/filingdocs/195/70653/172618e_5xAGWAx8.pdf

Al-doski, J., Mansor, S. B., & Shafri, H. Z. M. (2013). Change detection process and techniques. *Civil And Environmental Research*, *3*(10), 35-47. https://B2n.ir/up9792

Alizadeh, A. (1998). *Principles of designing irrigation systems*. Astan Quds Razavi publishing. [In Persian].

Aminzadeh Goharrizi, B., & Gheshlaghpour, S. (2020). The effects of spatial patterns of urban green structure on the thermal changes of urban heat Islands: The case study of Tehran. *Journal of Environmental Studies*, *46*(2), 239-254. https://doi.org/10.22059/JES.2021.308065.1008059 [In Persian].

Anjomshoa, F., Morovati, M., Tazeh, M., & Bahadori Amjaz, F. (2022). Investigating the relationship between thermal Islands and green space areas and detecting its changes (Case study: Kerman city). *Journal of Geography and Environmental Sustianability*, *11*(41), 83-106. https://doi.org/10.22126/ges.2022.6836.2439 [In Persian].

Azadi Mubaraky, M., & Ahmadi, M. (2020). Investigating the heat islands of Tabriz with the approach of urban livability. *Researches Earth Sciences*, *11*(3), 245-262. https://doi.org/10.52547/esrj.11.3.245 [In Persian]

Azadi Mubaraky, 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].

Bader, E., Rogers, C., Faulkner, M., & Gough, M. (2023). The benefits of blue-green infrastructure. In *ICE Manual of Blue-Green Infrastructure* (pp. 23-40). ICE Publishing.

Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R. F., Pegenaute, F., Herrmann, F. R., Robine, J. M., & Achebak, H. (2023). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, *29*(7), 1857-1866. https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z

Blanco, I., Schettini, E., & Vox, G. (2019). Predictive model of surface temperature difference between green façades and uncovered wall in Mediterranean climatic area. *Applied Thermal Engineering*, *163*, 114406. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114406

Cai, Y., Li, C., Ye, L., Xiao, L., Gao, X., Mo, L., & Zhou, G. (2022). Effect of the roadside tree canopy structure and the surrounding on the daytime urban air temperature in summer. *Agricultural and Forest Meteorology*, *316*, 108850. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108850

Coutts, A. M., White, E. C., Tapper, N. J., Beringer, J., & Livesley, S. J. (2016). Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. *Theoretical and Applied Climatology*, *124*(1-2), 55-68. https://doi.org/10.1007/s00704-015-1409-y

Diffenbaugh, N. S., Pal, J. S., Giorgi, F., & Gao, X. (2007). Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters*, *34*(11). https://doi.org/10.1029/2007GL030000

Dukes-Dobos, F. N. (1981). Hazards of heat exposure: a review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, *7*(2), 73-83. https://doi.org/10.5271/sjweh.2560

Dunne, J. P., Stouffer, R. J., & John, J. G. (2013). Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. *Nature Climate Change*, *3*(6), 563-566. http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1827

Deputy for planning and human capital development of Tabriz Municipality. (2022). *Statistical yearbook of Tabriz city and municipality (2010).* [In Persian].

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].

Fini, A., Frangi, P., Mori, J., Donzelli, D., & Ferrini, F. (2017). Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable porous and impermeable pavements. *Environmental Research*, *156*, 443-454. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.032

Fischer, E. M., & Knutti, R. (2013). Robust projections of combined humidity and temperature extremes. *Nature Climate Change*, *3*(2), 126-130. https://doi.org/10.1038/nclimate1682

Haddad, S., Paolini, R., Ulpiani, G., Synnefa, A., Hatvani-Kovacs, G., Garshasbi, S., & Santamouris, M. (2020). Holistic approach to assess co-benefits of local climate mitigation in a hot humid region of Australia. *Scientific Reports*, *10*(1), 14216. https://doi.org/10.1038/s41598-020-71148-x

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

IPCC. (2021). *International panel on climate change: The Physical science basis – the working group i contribution to the sixth assessment report addresses the most up-to-date physical understanding of the climate system and climate change, bringing together the latest advances in climate science*. https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/

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. https://journals.iau.ir/article_533198.html?lang=en [In Persian].

Kjellstrom, T., Kovats, R. S., Lloyd, S. J., Holt, T., & Tol, R. S. (2009). The direct impact of climate change on regional labor productivity. *Archives of Environmental & Occupational Health*, *64*(4), 217-227. https://doi.org/10.1080/19338240903352776

Kjellstrom, T., Maître, N., Saget, C., Otto, M., & Karimova, T. (2019). *Working on a warmer planet: The effect of heat stress on productivity and decent work*. International labour organization (ILO).

Kong, Q., & Huber, M. (2022). Explicit calculations of wet-bulb globe temperature compared with approximations and why it matters for labor productivity. *Earth's Future*, *10*(3), e2021EF002334. https://doi.org/10.1029/2021EF002334

Kostadinović, D., Jovanović, M., Bakić, V., Stepanić, N., & Todorović, M. (2022). Experimental investigation of summer thermal performance of the green roof system with mineral wool substrate. *Building and Environment*, *217*(8-9), 109061. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109061

Kuang, W., Yang, T., Liu, A., Zhang, C., Lu, D., & Chi, W. (2017). An EcoCity model for regulating urban land cover structure and thermal environment: Taking Beijing as an example. *Science China Earth Sciences*, *60*(6), 1098-1109. https://doi.org/10.1007/s11430-016-9032-9

Lee, S. W., Lee, K., & Lim, B. (2018). Effects of climate change-related heat stress on labor productivity in South Korea. *International Journal of Biometeorology*, *62*(12), 2119-2129. https://doi.org/10.1007/s00484-018-1611-6

Le Phuc, C. L., Nguyen, H. S., Dao Dinh, C., Tran, N. B., Pham, Q. B., & Nguyen, X. C. (2022). Cooling island effect of urban lakes in hot waves under foehn and climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, *149*(1), 817-830. https://doi.org/10.1007/s00704-022-04085-6

Li, X., Chow, K. H., Zhu, Y., & Lin, Y. (2016). Evaluating the impacts of high-temperature outdoor working environments on construction labor productivity in China: A case study of rebar workers. *Building and Environment*, *95*(1), 42-52. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.09.005

Liu, J., Wu, J., Yang, Y., Zhang, B., & Yin, L. (2024). Exploring the spatiotemporal impacts of urban green space patterns on the core area of urban heat island. *Ecological Indicators*, *166*(2), 112254. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112254

Luan, X., Yu, Z., Zhang, Y., Wei, S., Miao, X., Huang, Z. Y., & Xu, C. (2020). Remote sensing and social sensing data reveal scale-dependent and system-specific strengths of urban heat island determinants. *Remote Sensing*, *12*(3), 391. https://doi.org/10.3390/rs12030391

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].

Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T. W., Meili, N., & Bou-Zeid, E. (2019). Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*, *573*(7772), 55-60. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1512-9

Masuda, Y. J., Parsons, L. A., Spector, J. T., Battisti, D. S., Castro, B., Erbaugh, J. T., & Zeppetello, L. R. V. (2024). Impacts of warming on outdoor worker well-being in the tropics and adaptation options. *One Earth*, *7*(3), 382-400. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.02.001

Matsumoto, K. I. (2019). Climate change impacts on socioeconomic activities through labor productivity changes considering interactions between socioeconomic and climate systems. *Journal of Cleaner Production*, *216*, 528-541. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.127

Monteith, J. L. (1965). Evaporation and environment. In *Symposia of the society for experimental biology* (pp. 205-234). Cambridge University Press (CUP) Cambridge. https://repository.rothamsted.ac.uk/item/8v5v7/

Morabito, M., Crisci, A., Guerri, G., Messeri, A., Congedo, L., & Munafò, M. (2021). Surface urban heat islands in Italian metropolitan cities: Tree cover and impervious surface influences. *Science of the Total Environment*, *751*(6), 142334. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142334

Miranda, V. F., Dos Santos, D. M., Peres, L. F., Salvador, C., Nieto, R., Müller, G. V., & Libonati, R. (2024). Heat stress in South America over the last four decades: A bioclimatic analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, *155*(2), 911-928. https://doi.org/10.1007/s00704-023-04668-x

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].

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *108*(455), 1-24. http://dx.doi.org/10.1002/qj.49710845502

Pal, J. S., & Eltahir, E. A. (2016). Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability. *Nature Climate Change*, *6*(2), 197-200. https://doi.org/10.1038/nclimate2833

Parsons, L. A., Masuda, Y. J., Kroeger, T., Shindell, D., Wolff, N. H., & Spector, J. T. (2022). Global labor loss due to humid heat exposure underestimated for outdoor workers. *Environmental Research Letters*, *17*(1), 014050. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3dae

Perkins-Kirkpatrick, S. E., & Lewis, S. C. (2020). Increasing trends in regional heatwaves. *Nature Communications*, *11*(1), 3357. https://www.nature.com/articles/s41467-020-16970-7

Qi, J., Ding, L., & Lim, S. (2021). Toward cool cities and communities: A sensitivity analysis method to identify the key planning and design variables for urban heat mitigation techniques. *Sustainable Cities and Society*, *75*, 103377. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103377

Ramezani, S., & Naghibi, F. (2020). Investigation of the vegetation index changes in the formation of the urban heat islands (Case study: Urmia city). *Journal of Research and Urban Planning*, *11*(42), 195-206. https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3944.html [In Persian].

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* [Unpublished Master's Thesis in electronic format, University of 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

Romanello, M., Di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., & Costello, A. (2022). The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Health at the mercy of fossil fuels. *The Lancet*, *400*(10363), 1619-1654. https://cris.tuni.fi/ws/portalfiles/portal/104334751/Lancet_Countdown_2022.pdf

Sadeghi, M., Chaston, T., Hanigan, I., De Dear, R., Santamouris, M., Jalaludin, B., & Morgan, G. G. (2022). The health benefits of greening strategies to cool urban environments–A heat health impact method. *Building and Environment*, *207*(9), 108546. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108546

Santamouris, M., Paolini, R., Haddad, S., Synnefa, A., Garshasbi, S., Hatvani-Kovacs, G., & Tombrou, M. (2020). Heat mitigation technologies can improve sustainability in cities an holistic experimental and numerical impact assessment of urban overheating and related heat mitigation strategies on energy consumption, indoor comfort vulnerability and heat-related mortality and morbidity in cities. *Energy and Buildings*, *217*, 110002. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110002

Sanusi, R., Johnstone, D., May, P., & Livesley, S. J. (2016). Street orientation and side of the street greatly influence the microclimatic benefits street trees can provide in summer. *Journal of Environmental Quality*, *45*(1), 167-174. https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0039

Sarooei, S. (1999). *Investigating the possibility of forest classification in terms of density in Zagros forests using satellite data* [Unpublished Master's Thesis in electronic format, University of Tehran]. [In Persian].

Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications*, *12*(1), 6763. https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w

Tabeyi, N., Babaee 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].

Tan, H., Kotamarthi, R., Wang, J., Qian, Y., & Chakraborty, T. C. (2023). Impact of different roofing mitigation strategies on near-surface temperature and energy consumption over the Chicago metropolitan area during a heatwave event. *Science of the Total Environment*, *860*(2), 160508. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160508

Vogel, M. M., Zscheischler, J., Fischer, E. M., & Seneviratne, S. I. (2020). Development of future heatwaves for different hazard thresholds. *Journal Of Geophysical Research: Atmospheres*, *125*(9), e2019JD032070. https://doi.org/10.1029/2019JD032070

Yang, J., Ren, J., Sun, D., Xiao, X., Xia, J. C., Jin, C., & Li, X. (2021). Understanding land surface temperature impact factors based on local climate zones. *Sustainable Cities and Society*, *69*, 102818. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102818

Yenneti, K., Ding, L., Prasad, D., Ulpiani, G., Paolini, R., Haddad, S., & Santamouris, M. (2020). Urban overheating and cooling potential in Australia: An evidence-based review. *Climate*, *8*(11), 126. https://doi.org/10.3390/cli8110126

Yu, Z., Zhang, J., & Yang, G. (2021). How to build a heat network to alleviate surface heat island effect? *Sustainable Cities and Society*, *74*(3), 103135. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103135

Wang, Y., & Akbari, H. (2016). Analysis of urban heat island phenomenon and mitigation solutions evaluation for Montreal. *Sustainable Cities and Society*, *26*, 438-446. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.015

Wang, F., Harindintwali, J. D., Wei, K., Shan, Y., Mi, Z., Costello, M. J., & Tiedje, J. M. (2023). Climate change: Strategies for mitigation and adaptation. *The Innovation Geoscience*, *1*(1), 100015-61. https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2023.100015

Word Heath Organisation. (2023). *Heatwaves*. https://www.who.int/health-topics/heatwaves#tab=tab_1.

Wu, S., Yang, H., Luo, P., Luo, C., Li, H., Liu, M., & Cheng, Y. (2021). The effects of the cooling efficiency of urban wetlands in an inland megacity: A case study of Chengdu southwest China. *Building and Environment*, *204*(1), 108128. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108128

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. https://civilica.com/doc/1405129/ [In Persian].

Zhang, H., Kang, M. Y., Guan, Z. R., Zhou, R., Zhao, A. L., Wu, W. J., & Yang, H. R. (2024). Assessing the role of urban green infrastructure in mitigating summertime urban heat island (UHI) effect in Metropolitan Shanghai China. *Sustainable Cities and Society*, *112*(1), 1-13. 105605. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105605

Zhao, Y., Sultan, B., Vautard, R., Braconnot, P., Wang, H. J., & Ducharne, A. (2016). Potential escalation of heat-related working costs with climate and socioeconomic changes in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(17), 4640-4645. https://doi.org/10.1073/pnas.1521828113

Zhu, J., Wang, S., Wang, D., Zeng, X., Cai, Y., & Zhang, B. (2021). Upholding labor productivity with intensified heat stress: Robust planning for adaptation to climate change under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, *322*(1), 129083. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129083

Zonato, A., Martilli, A., Gutierrez, E., Chen, F., He, C., Barlage, M., & Giovannini, L. (2021). Exploring the effects of rooftop mitigation strategies on urban temperatures and energy consumption. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *126*(21), e2021JD035002. https://doi.org/10.1029/2021JD035002

Zubeyri, M., & Majd, A. R. (1999). *Familiarity with remote sensing technology and its application in natural resources*. Tehran University Press. [In Persian].