



Hakim Sabzevari University

Arid Regions Geographic Studies

Homepage: jargs.hsu.ac.ir

P- ISSN: 2228-7167

E- ISSN: 2981-1910



Trend Detection and Forecasting of LST in Tabriz City using the Non-parametric Mann-Kendall and NNAR

Mohammad Ali Koushesh Vatan¹ | Akbar Asghari Zamani^{2✉} | Shahrivar Roustaie³

1. Department of urban and regional planning, Faculty of planning and environmental sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. ali.kousheshvatan@tabrizu.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of urban and regional planning, Faculty of planning and environmental sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. azamani@tabrizu.ac.ir

3. Department of urban and regional planning, Faculty of planning and environmental sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. sroustaie@tabrizu.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 16
No: 59
P: 32-48
Received: 2024-07-20
Revised: 2024-08-18
Accepted: 2024-08-24
Published: 2025-05-01

Keywords:

- Land surface temperature
- Time series
- Forecasting
- Neural network
- Mann-Kendall

Cite this Article:

Koushesh Vatan, Mohammad Ali., Asghari Zamani, Akbar & Roustaie, Shahrivar. (2025). Trend Detection and Forecasting of LST in Tabriz City using the Non-parametric Mann-Kendall and NNAR. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 16(59): 32-48. doi: 10.22034/jargs.2024.468661.1123

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



Abstract

Aim: This study aims to analyze and forecast the LST during the summer season in Tabriz by 2030.

Material & Method: The LST data were extracted from the MODIS satellite images for both day and night. These images were processed using the GEE platform and obtained for each summer season from 2002 to 2023 (minimum, average, and maximum). The Mann-Kendall test was used to assess the linear trend in the LST. An autoregressive neural network was employed to forecast the trend by 2030.

Finding: During the daytime, the highest positive departure and the highest negative departure from the overall mean were recorded in 2006 (4.74°C) and 2023 (4.29°C), respectively. During the nighttime, the highest positive and negative departures from the overall mean were observed in 2006 (2.8°C) and 2009 (-2.77°C), respectively. Based on the trend analysis, the trends of the minimum (0.031°C), average (0.037°C), and maximum (0.065°C) LSTs during the daytime are significant. At night, only the trend of the minimum LST (0.034°C) is significant. Additionally, the rate of increase in the maximum daytime LST is higher than the minimum nighttime LST. The forecasting findings indicate that the model performed better during the nighttime than the daytime. Furthermore, the maximum daytime LST and the minimum nighttime LST in the summer of 2030 are expected to deviate by 1.12°C and 1.28°C from the overall mean of the period, respectively.

Conclusion: The trends in the maximum daytime and minimum nighttime LSTs are increasing. Also, the upward trend will continue until 2030. Consequently, the thermal comfort in Tabriz is expected to decrease over time, leading to an increased demand for cooling energy.

Innovation: This study provides insight into the trends of LST, which can be useful for urban planners in adopting mitigative and adaptive strategies to cope with climate change.

Extended Abstract

1. Introduction

Urbanization entails the expansion and development of urban areas, often resulting in the conversion of natural land cover into artificial surfaces such as asphalt and concrete. This transformation significantly impacts the surface and atmospheric conditions of these regions. As urban areas expand, the resulting changes increasingly alter these environments' thermal properties and energy exchange processes. Concurrently, the global urban population is rising at an unprecedented rate. Projections suggest that by 2050, approximately 68% of the world's population will reside in urban areas, with much of this growth concentrated in developing countries. This demographic shift is poised to exacerbate the challenges of urbanization, including escalating energy demands, worsening air pollution, and increased vulnerability to heat waves. One of the critical consequences of these factors is the formation and intensification of Urban Heat Islands. UHI refers to urban areas that experience significantly higher temperatures than their rural and natural counterparts due to increased anthropogenic heat emissions, reduced vegetation cover, and the prevalence of heat-retaining surface materials. The UHI phenomenon has profound implications for public health, energy consumption, and urban sustainability. Among the key parameters for studying UHIs is Land Surface Temperature, which is crucial for understanding the thermal characteristics of urban environments. Analyzing LST trends is essential for evaluating the impacts of urbanization and assessing the effectiveness of UHI mitigation strategies. High-resolution LST data offer critical insights into the spatial and temporal dynamics of UHIs, enabling policymakers and urban planners to implement effective adaptive strategies for managing extreme thermal conditions in urban areas. Furthermore, long-term LST time series analyses are fundamental for understanding climate change and its effects across different spatial and temporal scales.

2. Materials and methods

The LST data were extracted from the MODIS satellite images for both day and night. These images were processed using the GEE platform and obtained for each summer season from 2002 to 2023 (minimum, average, and maximum). The Mann-Kendall test was used to assess the linear trend in the LST. An autoregressive neural network was employed to forecast the trend by 2030.

3. Results and Discussion

The results of the anomaly analysis showed that during the daytime, the highest positive departure and the highest negative departure from the overall mean were recorded in 2006 (4.74°C) and 2023 (4.29°C), respectively. During the nighttime, the highest positive and negative departures from the overall mean were observed in 2006 (2.8°C) and 2009 (-2.77°C), respectively. Based on the trend analysis, the trends of the minimum (0.031°C), average (0.037°C), and maximum (0.065°C) LSTs during the daytime are significant. At night, only the trend of the minimum LST (0.034°C) is significant. Additionally, the rate of increase in the maximum daytime LST is higher than the minimum nighttime LST. The forecasting findings indicate that the model performed better during the nighttime than the daytime. Furthermore, the maximum daytime LST and the minimum nighttime LST in the summer of 2030 are expected to deviate by 1.12°C and 1.28°C from the overall mean of the period, respectively.

The present study's findings are consistent with those of previous research, including the work of Zolfaghari et al. (2023). They observed a significant increase in temperature in the provinces of Qom, Semnan, and Isfahan, as well as a significant decrease in temperature in Yazd. Additionally, our results align with the findings of Halabian (2017) and Choubari and Najafi (2017), who concluded that both maximum and minimum temperatures in Iran have shown an increasing trend. However, our findings diverge from those of Choubari and Najafi (2017) and Ghasemi (2017) regarding the steeper increase in minimum temperatures compared to maximum temperatures, noting that their study focused on the Iranian Plateau. Furthermore, Frempong et al. (2022), in their study in Ghana, found that the overall increase in minimum temperatures is more pronounced than that of maximum temperatures, which contrasts with the present study's findings. In contrast, Rao et al. (2014) reported findings that are consistent with our study, documenting an increase in mean minimum temperatures across India.

4. Conclusion

The projected rise in temperatures will lead to several significant consequences, including a decline in urban quality of life, heightened levels of pollution, and increased demand for cooling energy during the summer months. In this regard, the present study's findings, which analyze land surface temperature trends and project future scenarios, offer valuable insights for urban planners and policymakers. These insights can

aid in developing mitigative and adaptive strategies to effectively address the challenges posed by climate change.

5. Acknowledgement & Funding

We would like to thank the anonymous reviewers for their valuable comments on our paper.

6. Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



روند یابی و پیش بینی دمای سطح زمین شهر تبریز با استفاده از آزمون

ناپارامتریک من - کندال و شبکه عصبی مصنوعی

محمدعلی کوشش وطن^۱، اکبر اصغری زمانی^۲ , شهرپور روستایی^۳

- ۱- گروه برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
ali.kousheshvatan@tabrizu.ac.ir
- ۲- نویسنده مسئول، گروه برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
azamani@tabrizu.ac.ir
- ۳- گروه برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
sroustaie@tabrizu.ac.ir

چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر روند یابی و پیش بینی دمای سطح زمین فصل تابستان تا سال ۲۰۳۰ در شهر تبریز است.

روش و داده: دمای سطح زمین از تصاویر روز و شب ماهواره مادیس استخراج شد. تصاویر مذکور در سامانه گوگل ارث انجین پردازش شده و برای فصل تابستان هر سال (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳) تهیه شد. در نهایت میانگین‌های حداقل، میانگین و حداکثر دمای سطح زمین در نرم افزار ArcGIS استخراج شد. جهت بررسی روند خطی در داده‌های دما نیز از آزمون من - کندال استفاده شد. برای پیش بینی روند تا تابستان سال ۲۰۳۰ نیز از شبکه عصبی مصنوعی خود هم‌پسته بهره گرفته شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج تحلیل آنومالی در بازه روز مشاهده شد که بیشترین انحراف مثبت و بیشترین انحراف منفی از میانگین کل به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۶ ($4/74^{\circ}\text{C}$) و ۲۰۲۳ ($4/29^{\circ}\text{C}$) ثبت شده است. در بازه شبانه نیز بیشترین انحراف مثبت و بیشترین انحراف منفی از میانگین کل به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۶ ($2/8^{\circ}\text{C}$) و ۲۰۰۹ ($-2/77^{\circ}\text{C}$) ثبت شده است. بر پایه نتایج تحلیل سری زمانی حاصل از من - کندال، روند میانگین‌های دمای حداقل ($-0/31$)، متوسط ($-0/37$) و حداکثر ($0/65$) در بازه روز معنی دار شد. در بازه شب نیز تنها روند میانگین دمای سطح زمین حداقل ($0/34$) معنی دار گردید. همچنین، روند افزایش دمای حداکثر روزانه نسبت به دمای حداقل شبانه دارای شیب افزایش بیشتری است. بر اساس یافته‌های پیش بینی حاصل از شبکه عصبی، مشخص گردید که مدل عملکردی بهتری در بازه شب نسبت به روز داشته است. همچنین، حداکثر دمای سطح زمین روزانه و حداقل شبانه فصل تابستان در افق ۲۰۳۰ به ترتیب دارای اختلاف ۱/۱۲ و ۱/۲۸ درجه سانتی گراد از میانگین کلی دوره است.

نتیجه گیری: بر پایه یافته‌ها مشخص گردید که روند دمای حداکثر روز و حداقل شب افزایشی بوده و تا افق ۲۰۳۰ این افزایش پایدار خواهد بود. بدین اساس با روند موجود، انتظار می‌رود تا آسایش حرارتی شهر تبریز در طی زمان کاهش یافته و نیاز به انرژی سرمایشی بیشتر شود.

کاربرد نتایج: پژوهش حاضر به جهت ایجاد درک و دید از روند دمای سطح زمین برای برنامه ریزان و مدیریت شهری در راستای اتخاذ تدابیر و استراتژی‌های سازگاران و کاهش با تغییرات اقلیمی مفید خواهد بود.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره: ۱۶

دوره: ۵۹

صفحه: ۳۲-۴۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱

کلیدواژه‌ها:

- دمای سطح زمین
- سری زمانی
- پیش بینی
- شبکه عصبی
- من - کندال

نحوه ارجاع به این مقاله:

کوشش وطن، محمدعلی، اصغری زمانی، اکبر، روستایی، شهرپور. (۱۴۰۴). روند یابی و پیش بینی دمای سطح زمین شهر تبریز با استفاده از آزمون ناپارامتریک من - کندال و شبکه عصبی مصنوعی. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶(۵۹): ۳۲-۴۸.

doi: 10.22034/jargs.2024.468661.1123

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).



10.22034/jargs.2024.468661.1123

۱- مقدمه

شهری شدن با توسعه و گسترش نواحی شهری و همچنین تبدیل پوشش طبیعی زمین به پوشش‌های مصنوعی همچون آسفالت و نواحی ساخته شده شهری همراه است. این وضعیت، شرایط سطح زمین و اتمسفر آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Seto et al., 2012). با گسترش نواحی شهری، تغییرات فزاینده و رو به رشد آن‌ها باعث تغییر شرایط حرارتی و همچنین وضعیت تبادل انرژی نواحی شهری می‌گردد. در این راستا، جمعیت شهری نیز با شتاب بسیار بالایی در حال افزایش است. بر اساس پیش‌بینی‌های به عمل آمده، انتظار می‌رود که نزدیک به ۶۸ درصد جمعیت جهانی تا سال ۲۰۵۰ در نواحی شهری سکونت خواهند داشت که بخش قابل توجه آن متوجه کشورهای در حال توسعه است (United Nations, 2018). این تغییر جمعیتی چالش‌های مرتبط با شهرنشینی از جمله افزایش تقاضای انرژی، آلودگی هوا و افزایش آسیب‌پذیری در برابر امواج گرمایی را تشدید خواهد کرد (Grimm et al., 2008). نتیجه عوامل ذکر شده شکل‌گیری و همچنین تشدید پدیده‌ای به نام جزایر حرارتی شهری است؛ جایی که مناطق شهری به دلیل عواملی مانند افزایش انتشار گرمای انسانی، کاهش پوشش گیاهی، مواد و مصالح سطحی تغییر یافته، دمای بالاتری را نسبت به محیط روستایی و نواحی طبیعی اطراف خود تجربه می‌کنند (Oke, 1982; Arnfield, 2003). همچنین، این پدیده پیامدهای جدی را بر سلامت عمومی، مصرف انرژی و پایداری شهری دارد (Oke, 1982; Santamouris, 2015). دمای سطح زمین یکی از مهم‌ترین پارامترها جهت مطالعه جزایر حرارتی سطح شهری است؛ بنابراین، تحلیل روند دمای سطح زمین جهت ارزیابی اثرات شهرنشینی و اثربخشی استراتژی‌های کاهش اثر جزایر حرارتی شهری بسیار مهم است (Weng, 2009). داده‌های دقیق دمای سطح زمین یافته‌های اساسی و پایه‌ای را در مورد پویایی مکانی و زمانی جزایر حرارتی شهری ارائه کرده و سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری را قادر می‌سازد تا استراتژی‌های کارآمد انطباقی با شرایط حرارتی بحرانی در نواحی شهری را اتخاذ نمایند (Zhou et al., 2016). علاوه بر این، مطالعه سری زمانی دمای سطح زمین از موارد پایه‌ای ایجاد بینش در راستای تغییرات اقلیمی و تأثیر آن در مقیاس‌های مختلف است (Li et al., 2022).

در مطالعات پیشین روش‌های متعددی جهت اندازه‌گیری دمای سطح زمین از جمله سنجش زمینی و سنجش از دور اتخاذ شده است. روش‌های مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری از پرکاربردترین روش‌ها در این حوزه است. دلیل این امر دسترسی آسان به این نوع از داده‌ها، دقت مکانی بالای آن‌ها و همچنین پیوستگی سطحی داده‌های آن است (Dash et al., 2002). ماهواره‌های متعددی همچون مادیس، لندست و سنتینل داده‌های مختلفی را جهت تحلیل دمای سطح زمین در مقیاس مکانی و زمانی متغیر ارائه می‌کنند که هر کدام قابلیت ویژه‌ای را در مقیاس‌های مختلف مطالعاتی را دارا هستند (Weng et al., 2004; Mallick et al., 2013). در این بین، ماهواره مادیس به جهت پوشش زمانی و همچنین دقت یک‌کیلومتری خود، کاربرد ویژه‌ای در راستای مطالعات حرارتی در مقیاس متوسط را دارا است.

مطالعات متعددی نیز وجود دارد که در راستای موضوع پژوهش حاضر انجام شده‌اند. در مطالعه‌ای جدید به بررسی روند دمای سطح زمین (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶) در ایران مرکزی بر پایه داده‌های ماهواره‌ای مادیس پرداخته شده است. بدین جهت از آزمون‌های من - کندال و همبستگی خطی بهره گرفته شده است. بر اساس نتایج مطالعه مذکور، بیشترین افزایش معنی‌دار درجه حرارت در استان‌های قم، سمنان و اصفهان مشاهده شده و کاهش معنی‌داری نیز در استان‌های یزد وجود داشته است (Zolfaghari, et al., 2023). در پژوهشی دیگر به بررسی روند دمای سطح زمین زمستان در ایران (۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های CORDEX پرداخته شده است. بدین جهت در این پژوهش از آزمون من - کندال استفاده شده است. بر اساس یافته‌های این مطالعه، دمای سطح زمین در ماه ژانویه در کرانه‌های ساحلی خلیج فارس در حوالی مناطق غربی استان هرمزگان و ایلام دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده و روند دمای سطح زمین ایران در ماه فوریه در نواحی شمال غربی، غرب و جنوب غربی کاهش یافته است (Ahmadi, 2023). در پژوهشی از مدل ARIMA جهت پیش‌بینی متوسط دمای سالیانه ایستگاه مستقر در فرودگاه شهر تبریز پرداخته‌اند. بر اساس نتایج این مطالعه، متوسط دمای سالیانه این ایستگاه تا سال ۲۰۳۸ افزایشی خواهد بود (Rahimi & Faraji, 2023). در پژوهشی در فلات ایران، به بررسی روند دمای بیشینه و کمینه دما (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۴) پرداخته شده است. در این پژوهش برای بررسی روند تغییرات دما از آزمون من - کندال بهره گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به طور کلی دمای بیشینه و کمینه فلات ایران دارای روندی افزایشی بوده و روند کاهشی دما نمودی بسیار ناچیز دارد. همچنین روند افزایشی دما در ماه‌های گرم سال از گستره بالایی برخوردار است. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روند افزایش دما نه تنها در ایران، بلکه در تمامی فلات ایران دیده می‌گردد (Halabian, 2017). در تحقیقی دیگر در مناطق مختلف ایران به بررسی روند تغییرات دمای هوا (۱۹۵۱ الی ۲۰۱۳) پرداخته شده است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که دماهای کمینه، بیشینه و میانگین روزانه در

بیشتر مناطق ایران روند افزایشی داشته است. همچنین، روند افزایش دمای کمینه بیشتر از روند افزایش دمای بیشینه است (Alizadeh-Choozari & Najafi, 2017). در مطالعه‌ای دیگر به بررسی روند دمای حداکثر، حداقل و میانگین (۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) در ایران پرداخته شده است. بر اساس نتایج آزمون من - کندال افزایش کلی در روند دمای اکثر نواحی ایران با ضریب ۰/۰۹ الی ۰/۳۸ درجه سانتی‌گراد برای هر دهه وجود دارد. همچنین، روند افزایش دمای حداقل بزرگتر از دمای حداکثر است. علاوه بر این، افزایش قابل توجه دما به ترتیب در فصول تابستان، بهار و پاییز رخ داده و نواحی گرم ایران نسبت به نواحی سرد آن روند سریع‌تری از گرمایش را تجربه کرده‌اند (Ghasemi, 2015). در مطالعه‌ای در ایتالیای مرکزی به بررسی روند دمای سطح زمین (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳) با استفاده از تصاویر مادیس پرداخته شده است. بدین منظور از آزمون من - کندال استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد گرمایش قابل توجهی در سطح منطقه در بازه روز و شب در محدوده مورد مطالعه وجود دارد (Ghaderpour et al., 2024). از دیگر مطالعه‌های خارجی در زمینه تحلیل روند در کشور هند صورت گرفته است که در آن به بررسی روند دمای سطح زمین (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰) پرداخته شده است. بدین منظور در این تحقیق از آزمون من - کندال استفاده شده است. بر اساس نتایج مطالعه مذکور، روند دمای مثبت در طول فصل‌های قبل از موسمی (۰/۱ الی ۰/۳ درجه سانتی‌گراد برای هر دهه) و پس از موسمی (۰/۲ الی ۰/۴ درجه سانتی‌گراد برای هر دهه) در شمال غرب، شمال شرق و شمال مرکزی هند مشاهده شده است (Kumar et al., 2023). در مطالعه‌ای دیگر در غنا به بررسی روند دمای هوا (۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵) با استفاده از آزمون من - کندال در شهرهای آکرا و کوماسی^۱ پرداخته شده است. بر اساس نتایج این مطالعه، افزایش روزهای گرم و افزایش کلی دمای حداقل نسبت به حداکثر دما قابل مشاهده است. همچنین، روند سالانه و فصلی قابل توجهی در دمای حداقل در هر دو شهر وجود دارد (Frimpong et al., 2022). در پژوهشی دیگر در آدیس آبابا^۲ اتیوپی به بررسی روند دمای هوا (۱۹۸۳ تا ۲۰۱۶) با استفاده از آزمون من - کندال پرداخته شده است. بر اساس نتایج ایشان دمای حداقل، متوسط و حداکثر به ترتیب بیشترین روند افزایشی را داشته‌اند (Alemu and Dioha, 2020). در مطالعه‌ای دیگر در هند به بررسی روند افزایش دمای حداقل (۱۹۷۱ تا ۲۰۰۹) با استفاده از روش رگرسیونی پرداخته شده است. نتایج این پژوهش افزایش میانگین دمای حداقل (۰/۲۴ درجه سانتی‌گراد برای هر دهه) در کل هندوستان را نشان می‌دهد (Rao et al, 2014).

در پژوهش‌هایی که به بررسی تحلیل روند پرداخته‌اند، به مقوله حذف نویز داده‌های سری زمانی توجه چندانی نشده است. حذف نویز داده‌ها از این جهت اهمیت دارد که باعث آشکارتر شدن روند داده‌ها می‌شود. بدین منظور، در این پژوهش از روش میانگین متحرک نمایی استفاده شده است. همچنین اکثر پژوهش‌ها نیز یکی از مقوله‌های تحلیل روند و پیش‌بینی را مطالعه کرده‌اند که در مقاله حاضر دو مورد یک جا بررسی شده‌اند. علاوه بر این، پژوهشی که به بررسی روند و پیش‌بینی دمای سطح زمین شهر تبریز پرداخته باشد، تا به حال وجود نداشته؛ لذا مقاله حاضر اولین تلاش در این راستا است.

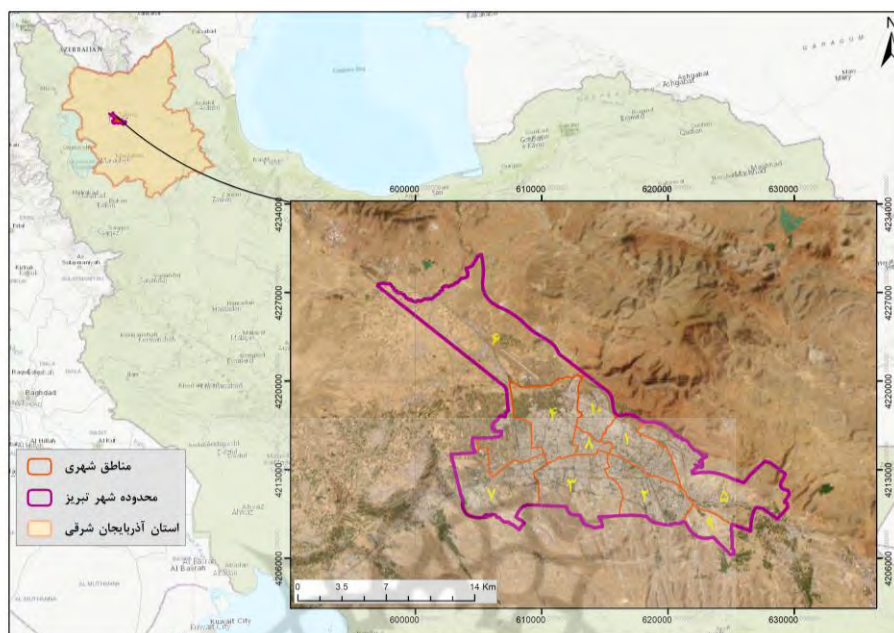
ایران از جمله کشورهایی است که رشد قابل توجه شهرنشینی را تجربه کرده است. در این راستا، ۷۵/۹۴ درصد از جمعیت آن در شهرهای اصلی کشور سکونت دارد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در افق ۲۰۵۰ این میزان از جمعیت به ۸۵/۸۲ درصد خواهد رسید. شهر تبریز هم یکی از شهرهای اصلی کشور در شمال غرب است که در سطح بالایی از شهرنشینی قرار دارد. در دهه ۱۹۲۰، روند شهرنشینی تمرکز بالایی را در شهرهای اصلی نشان داد که شهر تبریز نیز یکی از آن‌ها بود (Karamidehkordi, 2010; Pilehvar, 2021). این شهر به لحاظ اقلیمی در طبقه نیمه‌خشک واقع شده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که این نواحی اقلیمی به جهت تغییرات اقلیم جهانی دارای آسیب‌پذیری قابل توجهی هستند (Huang et al., 2016; Patel & Patel, 2024). علاوه بر این، جمعیت آسیب‌پذیر نیز به طور جهانی در نواحی خشک و نیمه‌خشک سکونت دارند که به فعالیت‌های حساس به اقلیم وابستگی دارند (Singh & Chudasama, 2021). در این راستا، هدف پژوهش حاضر مطالعه سری زمانی و پیش‌بینی دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنش از دوری و تحلیل آماری برای دوره ۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳ فصل تابستان است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر تبریز (شرقی ۱۷° ۴۶، شمالی ۰۵° ۳۸) به عنوان مرکز استان آذربایجان شرقی، یکی از شهرهای مهم کشور در شمال غرب آن است. بر اساس آخرین سرشماری شهر تبریز دارای جمعیتی بالغ بر دو میلیون نفر است. متوسط ارتفاع شهر برابر با ۱۳۵۰ متر

بالتر از آب‌های آزاد بوده که توسط کوه‌های عینالی و سهند به ترتیب از شمال و جنوب محدود شده است (Koushesh Vatan & Asghari Zamani, 2021). این شهر به لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی کوپن در دسته اقلیم سرد نیمه خشک واقع شده است. فصل تابستان آن اغلب گرم و خشک و زمستان آن سرد و همراه با بارش برف است. متوسط دمای هوای شهر تبریز بر اساس دوره آماری ۱۹۷۰ الی ۲۰۲۲ برابر با ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد و انحراف معیار ۱۰/۱ درجه سانتی‌گراد است. شکل ۱ نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر تبریز

۲-۲- روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع پژوهش‌های کاربردی بوده و به لحاظ روش توصیفی - تحلیلی است. جهت استخراج دمای سطح زمین از تصاویر سنجنده‌های ترا^۱ (MOD11A1) و آکوی^۲ (MYD11A1) ماهواره مادیس به‌صورت روزانه استفاده شد. این ماهواره تصاویر دمای سطح زمین را با تفکیک مکانی یک کیلومتری در چهار ساعت از روز ارائه می‌کند. تصاویر استفاده شده شامل دو تصویر برای روز (ساعت‌های ۱۰:۳۰ صبح و ۱۳:۳۰ بعدازظهر) و دو تصویر برای شب (ساعت‌های ۲۲:۳۰ شب و ۱:۳۰ بامداد) است. تصاویر مذکور در سامانه گوگل ارث انجین پردازش شده و به شکل فصلی برای فصل تابستان هر سال (حداقل، میانگین و حداکثر) تهیه گردید. بازه مطالعه پژوهش از ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳ است. همچنین جهت تعیین محدوده شهری برای هر سال مطالعه نیز از داده‌های پوشش زمین مادیس استفاده شد. این داده دارای تفکیک مکانی ۵۰۰ متری بود که در سامانه گوگل ارث انجین با تفکیک مکانی ۱ کیلومتری تهیه شد تا با دقت مکانی تصاویر دمای سطح زمین برابر باشد. در نهایت حداقل، میانگین و حداکثر دمای سطح زمین با استفاده از افزونه Zonal statistics as table در نرم‌افزار ArcGIS استخراج گردید. لازم به ذکر است که قبل از این مرحله، پیکسل‌های مربوط به آب و همچنین اراضی بایر از داده‌های پوشش زمین مادیس حذف شد. جهت بررسی روند خطی در داده‌های دمای سطح زمین نیز از آزمون من - کندال^۳ بهره گرفته شد. قبل از انجام تحلیل روند، نویز موجود در داده‌ها با استفاده از میانگین متحرک^۴ حذف گردید. این تکنیک یکی از روش‌های مورد استفاده در تحلیل سری زمانی است که با حذف نویز داده، روند موجود را برجسته می‌نماید. در این روش به مشاهدات اخیر وزن بیشتری داده می‌شود. همچنین، این تکنیک برای تشخیص روندهای کوتاه مفید و مؤثر است (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). میانگین متحرک نمایی با استفاده از یک ضریب هموارسازی (آلفا) محاسبه می‌شود که درجه کاهش وزن را تعیین می‌کند. رابطه (۱) فرمول محاسبه میانگین متحرک نمایی را نشان می‌دهد:

1. Terra
2. Aqua

3. Mann-Kendall trend test
4. Exponential Moving Average

$$EMA_t = a \cdot Y_t + (1 - a) \cdot EMA_{t-1} \quad (۱)$$

در این رابطه، Y_t نشانگر ارزش مشاهده شده در زمان t ؛ EMA_{t-1} نشانگر میانگین متحرک نمایی در دوره زمانی قبلی و a نشانگر ضریب هموارکننده است (Brown, 1963).

آزمون من - کندال یکی از متداول‌ترین آزمون‌های ناپارامتریک آماری جهت بررسی وجود روند خطی در داده‌های سری زمانی است. روابط ۲ الی ۵ نشان دهنده فرمول‌های محاسبه آزمون من - کندال هستند (Ali et al., 2019; Kendall, 1948; Mann, 1945). در این روابط، x_j و x_k نشانگر داده‌های متوالی و n نشانگر تعداد نمونه‌ها است.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (۲)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1, & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0, & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1, & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۳)$$

جهت محاسبه واریانس S نیز از رابطه (۴) استفاده می‌شود:

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (۴)$$

آماره Z من - کندال نیز با استفاده از رابطه (۵) حاصل می‌شود. در این رابطه، Z نشانگر جهت روند است. ضریب منفی آن بیانگر روند کاهشی و ضریب مثبت آن نیز بیانگر روند افزایشی است.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

جهت محاسبه شیب روند نیز از رابطه (۶) می‌توان بهره گرفت که توسط شن^۱ (۱۹۶۸) ارائه شده است. در این فرمول، β نشانگر ضریب شیب است. ضریب بزرگتر از صفر نشانگر روند افزایشی و ضریب کوچکتر از صفر نشانگر روند کاهشی است.

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right), j > i \quad (۶)$$

مرحله نهایی پژوهش، پیش‌بینی دمای سطح زمین در افق ۲۰۳۰ فصل تابستان با استفاده از روش شبکه عصبی خودهمبسته^۲ است. شبکه عصبی مصنوعی الگوریتمی کارآمد و منعطف جهت تشخیص الگوهای خطی و غیرخطی در داده‌های سری زمانی است (Ahmar et al., 2023; Sako et al., 2022). عملکرد قدرتمند این الگوریتم جهت مدیریت دینامیک‌های پیچیده داده‌های سری زمانی که اغلب تحت تاثیر متغیرهای خارجی متعدد است، باعث کارآمدی آن در زمینه‌های متعدد از جمله علوم محیطی شده است (Zhou et al., 2020; Ahmar et al., 2023). رابطه (۷) فرمول تابع ترکیب خطی شبکه عصبی را نشان می‌دهد (Hyndman & Athanopoulos, 2018):

$$\text{net}_j = \sum_i \omega_{ij} y_{ij} \quad (۷)$$

رابطه (۸) تابع سیگموئید^۱ غیرخطی را نشان می‌دهد که تابع انتقال لایه پنهان بوده و ورودی را به لایه بعدی انتقال می‌دهد (Maleki et al., 2018).

$$s(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (8)$$

در پژوهش حاضر از خطای جذر میانگین مربع^۲ (۹) برای ارزیابی عملکرد شبکه عصبی خودهمبسته استفاده شده است. در رابطه زیر N بیانگر تعداد مشاهدات، $\bar{A}$ و $\bar{P}_i$ به ترتیب بیانگر اعداد مشاهده شده، اعداد پیش‌بینی شده و میانگین اعداد مشاهده شده است (Koushesh Vatan et al., 2021).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - \bar{P}_i)^2} \quad (9)$$

۳- یافته‌ها

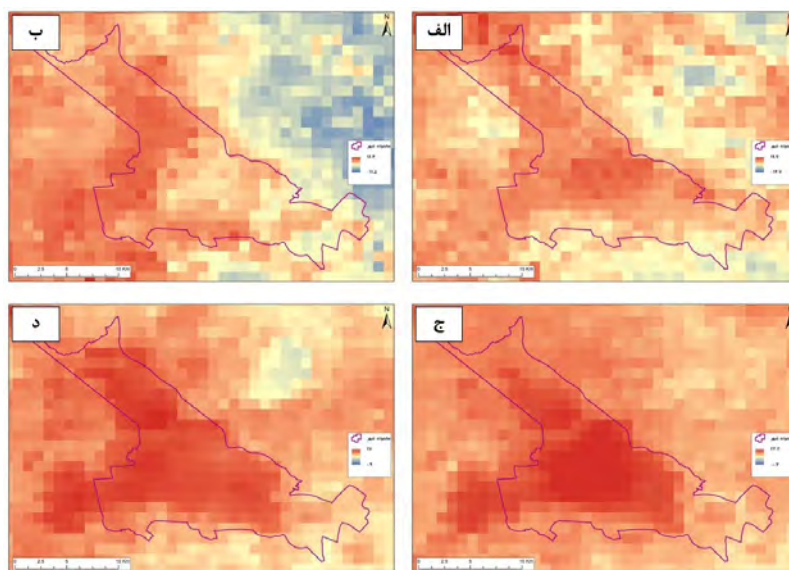
بر اساس تحلیل‌های انجام شده بر داده‌های سری زمانی دمای سطح زمین فصل تابستان سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳ در بازه‌های روز و شب، میانگین حداقل، متوسط و حداکثر استخراج گردید (جدول ۱). همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، میانگین حداقل دمای سطح زمین در بازه روز برابر با ۳۶/۹۲ و انحراف معیار ۲/۶۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین متوسط نیز برابر با ۴۱/۱۶ و انحراف معیار ۲/۴۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین میانگین نیز برابر با ۴۷/۰۱ و انحراف معیار ۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد است. در بازه شب نیز میانگین حداقل برابر با ۱۴/۱۱ و انحراف معیار ۱/۴۵، میانگین میانگین برابر با ۱۸/۸۲ و انحراف معیار ۱/۴۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر برابر با ۲۰/۳۷ و انحراف معیار ۱/۵۳ درجه سانتی‌گراد است.

جدول ۱. آمار توصیفی دمای سطح زمین فصل تابستان (۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳)

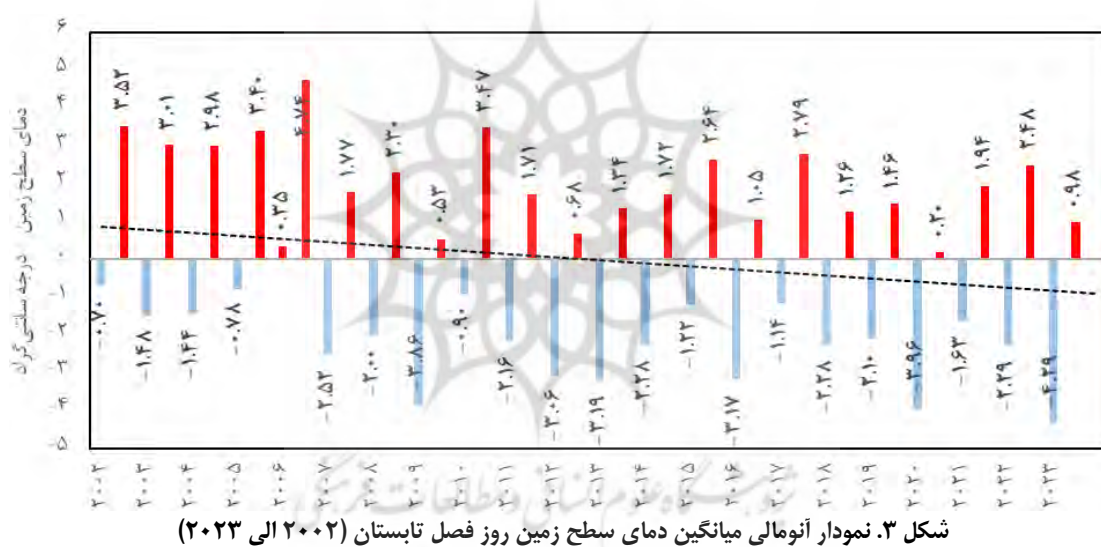
شب		روز		
انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	دمای سطح زمین
۱/۴۵	۱۴/۱۱	۲/۶۱	۳۶/۹۲	حداقل
۱/۴۶	۱۸/۸۲	۲/۴۱	۴۱/۱۶	میانگین
۱/۵۳	۲۰/۳۷	۲/۷۵	۴۷/۰۱	حداکثر

شکل ۲ نمونه‌ای از نقشه‌های میانگین دمای سطح زمین روز و شب (حاصل از سنجنده ترا) ابتدا و انتهای سری زمانی را نشان می‌دهد. از تصاویر شبانه، بالا بودن دمای ناحیه شهری نسبت به اطراف آن کاملاً مشهود است. این همان اثر جزایر حرارتی شهری است.

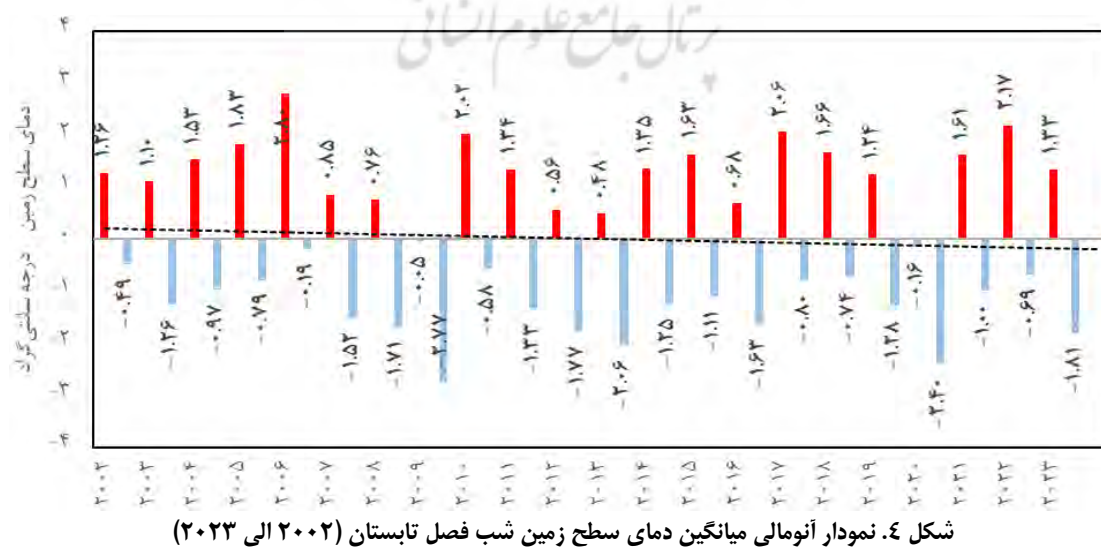
در راستای بررسی روند دمای سطح زمین، در مرحله اول آنومالی داده‌ها بررسی شد. بر اساس نتایج (شکل ۳)، به شکل کلی نیمه اول سری زمانی دمای سطح زمین روز دارای انحراف بیشتری از میانگین کل دوره (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳) است. در این راستا سال ۲۰۰۶ با انحراف ۴/۷۴ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین انحراف از میانگین کلی دوره است. کمترین میانگین مثبت نیز در تابستان سال ۲۰۲۰ (۰/۲ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شده است. همچنین، بیشترین انحراف به سمت منفی نیز در تابستان سال ۲۰۲۳ (۴/۳۹- درجه سانتی‌گراد) مشاهده شده است. کمترین انحراف به سمت منفی نیز متعلق به تابستان سال ۲۰۰۲ (۰/۷ درجه سانتی‌گراد) است. بررسی آنومالی دمای سطح زمین شب فصل تابستان نشان می‌دهد (شکل ۴) که بیشترین انحراف از میانگین کل ۲/۸ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۰۶ است. کمترین انحراف مثبت نیز در تابستان سال ۲۰۱۳ (۰/۴۸ درجه سانتی‌گراد) ثبت شده است. بیشترین انحراف به سمت منفی نیز متعلق به تابستان سال ۲۰۰۹ (۲/۷۷- درجه سانتی‌گراد) است. همچنین کمترین انحراف به سمت منفی نیز در فصل تابستان سال ۲۰۲۰ (۰/۱۶- درجه سانتی‌گراد) ثبت شده است.



شکل ۲. نقشه دمای سطح زمین میانگین فصل تابستان سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۳؛ دمای روز ۲۰۰۲ (الف)، دمای روز ۲۰۲۳ (ب)، دمای شب ۲۰۰۲ (ج) و دمای شب ۲۰۲۳ (د)

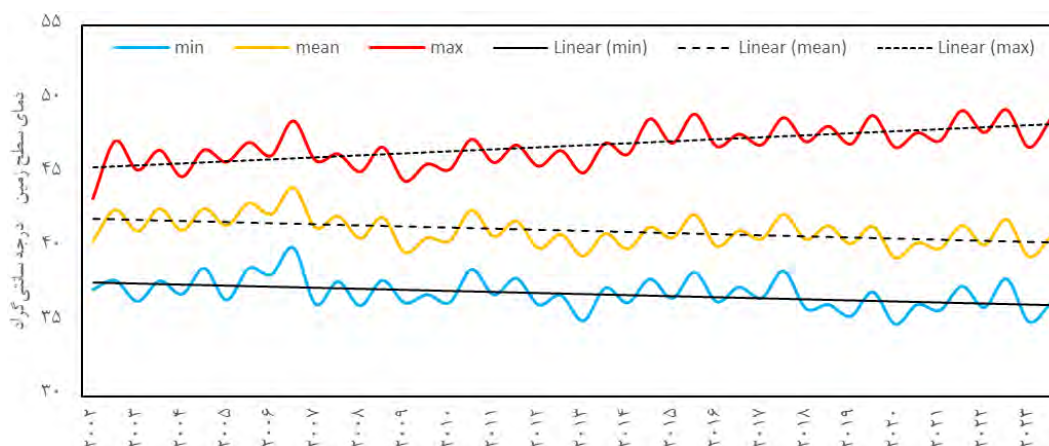


شکل ۳. نمودار انومالی میانگین دمای سطح زمین روز فصل تابستان (۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳)



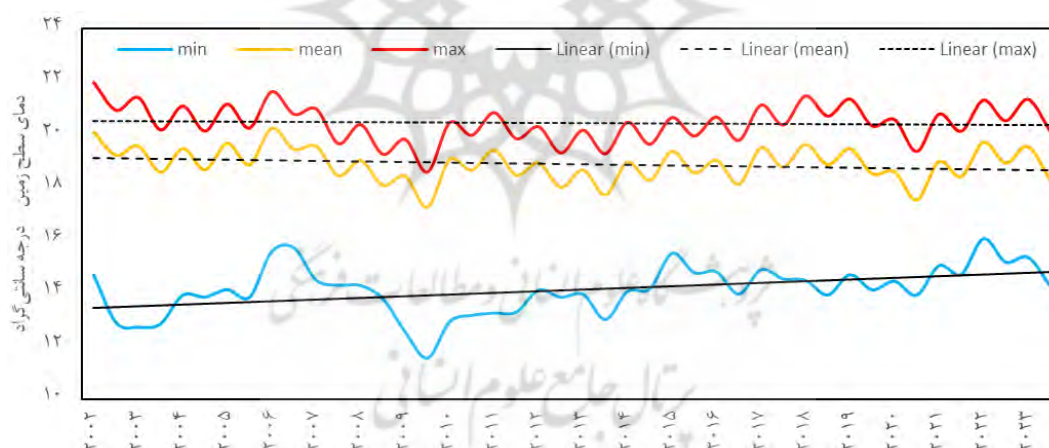
شکل ۴. نمودار انومالی میانگین دمای سطح زمین شب فصل تابستان (۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳)

شکل ۵ نمودار روند دمای سطح زمین روز فصل تابستان (۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳) شهر تبریز را نشان می‌دهد. همان طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، دمای سطح زمین حداقل و حداکثر دارای روند کاهشی خطی هستند. همچنین، دمای سطح زمین حداکثر نیز دارای روند افزایشی واضح است.



شکل ۵. نمودار روند دمای سطح زمین روز تابستان (۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳)

شکل ۶ نمودار روند دمای سطح زمین شب فصل تابستان (۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳) شهر تبریز را نشان می‌دهد. همان طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، دمای سطح زمین میانگین و حداکثر دارای روند مشخص کاهشی و افزایشی قابل توجهی را نشان نمی‌دهند. همچنین، دمای سطح زمین حداقل نیز دارای روند افزایشی قابل توجهی است. جهت بررسی معنی‌داری روندهای موجود باید از آزمون‌های آماری کمک گرفت. بدین جهت، از آزمون آماری من کندال استفاده شده است.



شکل ۶. نمودار روند دمای سطح زمین شب تابستان (۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳)

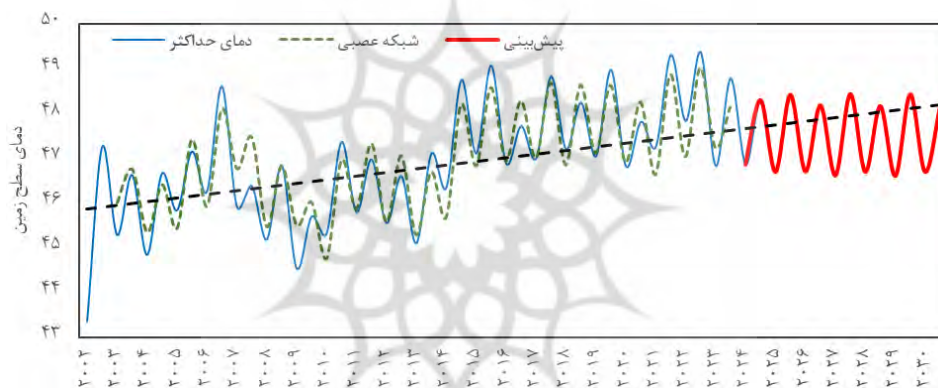
جهت بررسی روند خطی در داده‌های سری زمانی دمای سطح زمین روز و شب از آزمون آماری من - کندال استفاده شد. در این راستا، همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، در بازه روز وجود روند خطی برای دمای سطح زمین حداقل، میانگین و حداکثر معنی‌دار ($\text{sig} \leq 0/007$) شده است. روند دمای سطح زمین حداقل و متوسط به ترتیب با شیب $-0/031$ و $-0/037$ درجه سانتی‌گراد و $0/065$ درجه سانتی‌گراد کاهشی است. همچنین، روند دمای سطح زمین حداکثر نیز با شیب $0/034$ درجه سانتی‌گراد دارای روند افزایشی است. تنها وجود روند خطی در دمای سطح زمین حداقل معنی‌دار ($\text{sig} = 0/001$) شده است. دمای حداقل بازه شب با شیب $0/034$ درجه سانتی‌گراد دارای روند افزایشی است.

جدول ۲. خروجی آزمون روند من - کندال و شیب شن برای دمای سطح زمین فصل تابستان (۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳)

شب			روز			دمای سطح زمین
شیب شن	معنی‌داری	Z	شیب شن	معنی‌داری	Z	
۰/۰۳۴	۰/۰۰۱	۳/۲۲۶	-۰/۰۳۱	۰/۰۰۷	-۲/۶۸۱	حداقل
-۰/۰۱۱	۰/۱۸۵	-۱/۳۲۵	-۰/۰۳۷	۰/۰۰۶	-۲/۷۴۱	متوسط
-۰/۰۰۲	۰/۸۱۱	-۰/۲۵۳	۰/۰۶۵	۰/۰۰۱	۴/۲۳۸	حداکثر

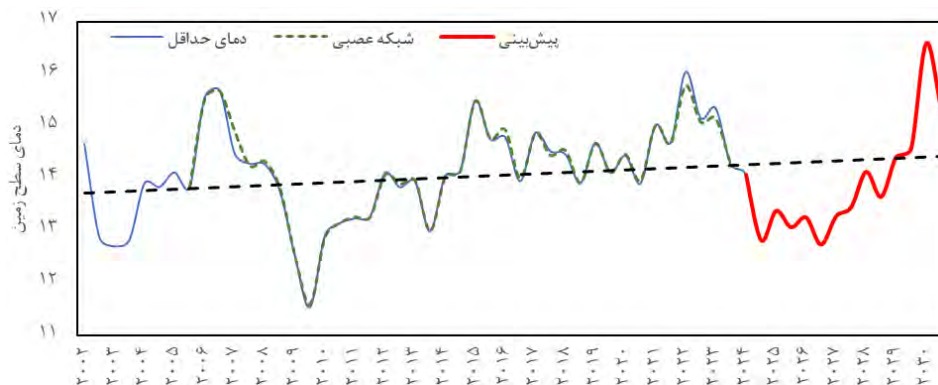
جهت پیش‌بینی دمای سطح زمین فصل تابستان شهر تبریز برای سال ۲۰۳۰ از روش شبکه‌های عصبی استفاده شد. همچنین به جهت صعودی بودن روند دمای حداکثر روزانه و حداقل شبانه و اهمیت آنان در آینده، تنها این مولفه‌های دمایی مورد پیش‌بینی واقع شدند.

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، خط قرمز روند دمای پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی را نشان می‌دهد. خطای این الگوریتم در پیش‌بینی دمای حداکثر روزانه برابر با ۰/۴۷ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، در این روند پیش‌بینی شده از ادامه سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰ نیز روند افزایشی و یا کاهشی خاصی مشاهده نمی‌شود. نقطه حداقلی روند دمای سطح زمین حداکثر روزانه در سال ۲۰۲۹ با ۴۶/۶۱ درجه سانتی‌گراد و نقطه حداکثر آن نیز در سال ۲۰۲۷ با ۴۸/۴۲ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است. در انتهای روند (۲۰۳۰) حداکثر دمای سطح زمین روزانه فصل تابستان به ۴۸/۱۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است که دارای اختلاف ۱/۱۲ درجه سانتی‌گرادی از میانگین کلی سری زمانی است (۲۰۰۲ الی ۲۰۳۰).



شکل ۷. نمودار دمای حداکثر مشاهده شده روزانه، تخمین زده شده توسط شبکه عصبی و پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۳۰

شکل ۸ با خط قرمز روند دمای سطح زمین حداقل در بازه شبانه فصل تابستان از سال ۲۰۲۳ الی ۲۰۳۰ را نشان می‌دهد. خطای پیش‌بینی برای دمای حداقل شبانه برابر با ۰/۰۹ درجه سانتی‌گراد است. روند دما تا سال ۲۰۳۰ همچنان به شکل قابل توجه صعودی است. علاوه بر این، دمای سطح زمین حداقل شبانه فصل تابستان به ۱۵/۳۵ درجه سانتی‌گراد در تابستان سال ۲۰۳۰ رسیده است که دارای اختلاف ۱/۲۸ درجه سانتی‌گرادی از میانگین دوره است. همچنین، نقطه حداقلی روند در سال ۲۰۲۶ با ۱۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد و نقطه اوج روند نیز در سال ۲۰۳۰ با ۱۶/۵۹ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است.



شکل ۸. نمودار دمای حداقل مشاهده شده شبانه، تخمین زده شده توسط شبکه عصبی و پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۳۰

۴- بحث و نتیجه گیری

دمای سطح زمین از مهم‌ترین پارامترهای مرتبط با روابط سطح زمین و اتمسفر است که در حوزه‌های متعددی همچون، اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، سلامت عمومی، محیط‌زیست و مباحث شهری مورد مطالعه واقع شده است. در این راستا، هدف پژوهش حاضر بررسی روند دمای سطح زمین روز و شب فصل تابستان در بازه سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۲۳ و پیش‌بینی آن تا فصل تابستان سال ۲۰۳۰ بود.

بر اساس تحلیل‌های توصیفی مشخص گردید که میانگین حداقل دمای سطح زمین در بازه روز برابر با $36/92$ و انحراف معیار $2/61$ درجه سانتی‌گراد، میانگین متوسط نیز برابر با $41/16$ و انحراف معیار $2/41$ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر نیز برابر با $47/01$ و انحراف معیار $2/75$ درجه سانتی‌گراد است. در بازه شب نیز میانگین حداقل برابر با $14/11$ و انحراف معیار $1/45$ ، میانگین متوسط برابر با $18/82$ و انحراف معیار $1/46$ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر برابر با $20/37$ و انحراف معیار $1/53$ درجه سانتی‌گراد است.

بر اساس نتایج تحلیل آنومالی در بازه روز مشاهده شد که سال ۲۰۰۶ با انحراف $4/74$ درجه سانتی‌گرادی از میانگین کل دوره دارای بیشترین انحراف است. همچنین، بیشترین انحراف به سمت منفی نیز در تابستان سال ۲۰۲۳ ($-4/29$ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شده است. در بازه شبانه نیز بیشترین انحراف از میانگین کل $2/8$ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۰۶ است. بیشترین انحراف به سمت منفی نیز متعلق به تابستان سال ۲۰۰۹ ($-2/77$ درجه سانتی‌گراد) است.

بر اساس تحلیل روند دمای سطح زمین روز و شب، مشاهده شد که دمای سطح زمین حداکثر فصل تابستان در بازه روز با شیب $0/065$ درجه سانتی‌گراد در حال افزایش است. همچنین، دمای سطح زمین حداقل فصل تابستان در بازه شبانه نیز با شیب $0/034$ درجه سانتی‌گراد در حال افزایش است. این وضعیت می‌تواند باعث افزایش نرخ بیماری‌های مرتبط با گرما شده و در بلند مدت بر طول عمر ساکنین شهر تاثیر قابل توجهی داشته باشد (Frimpong et al., 2022). همچنین دمای حداکثر روزانه نسبت به دمای حداقل شبانه با شیب بیشتری در حال افزایش است. در بازه روزانه، هر سه آماره دما روند معنی‌داری داشته‌اند. ولی در بازه شبانه تنها آماره میانگین حداقل دارای روند معنی‌دار است. در بازه روزانه، دمای حداقل و میانگین روند کاهشی داشته و دمای حداکثر روند افزایشی داشته است. روند دمای حداقل نیز در بازه شبانه برعکس دمای حداقل روزانه افزایشی است. مصالحی همچون آسفالت و بتن که در ساختار کاربری‌های مسکونی، تجاری و صنعتی استفاده می‌گردد، باعث افزایش دما در نواحی شهری شده و به همراه عوامل دیگر باعث تفاوت دمای نواحی شهری با نواحی اطراف آن‌ها شده و جزایر حرارتی را شکل می‌دهد (Oke, 2011). این مصالح با خصوصیات خاصی که دارند، گرمای بیشتری را در خود ذخیره کرده و در طول شب آن را آزاد نموده و باعث افزایش دمای محیط می‌شوند (Goward, 1981). افزایش دمای حداکثر و حداقل در آینده باعث افزایش نیاز به انرژی سرمایشی می‌شود که خود این مسئله یکی از عوامل افزایش دما است (Wang et al., 2023). چرا که موتور کولرهای تعبیه شده در بناها، هنگام فعالیت از خود گرمای قابل توجهی را تولید می‌نمایند. همچنین این مسئله با کاهش آسایش حرارتی، سلامتی ساکنین را تهدید کرده و باعث تشدید آلودگی هوا و آب می‌گردد (Vujovic et al., 2021).

یافته‌ها در رابطه با پیش‌بینی دمای سطح زمین نشان داد که خطای الگوریتم شبکه عصبی خود هم‌بسته در بازه شب ($0/09$ درجه سانتی‌گراد) کمتر از بازه روز ($0/47$ درجه سانتی‌گراد) است. همچنین، روند دمای سطح زمین حداکثر روزانه از سال ۲۰۲۳ الی ۲۰۳۰ به صورت خنثی است. در افق ۲۰۳۰ حداکثر دمای سطح زمین روزانه فصل تابستان به $48/15$ درجه سانتی‌گراد رسیده که دارای اختلاف $1/12$ درجه سانتی‌گرادی از میانگین کلی است. همچنین در بازه شب، روند دما از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰ همچنان صعودی است. در افق پیش‌بینی، دمای سطح زمین حداقل شبانه فصل تابستان به $15/35$ درجه سانتی‌گراد در تابستان سال ۲۰۳۰ رسیده است که دارای اختلاف $1/28$ درجه سانتی‌گرادی از میانگین دوره است.

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش‌های پیشین از جمله ذوالفقاری و همکاران هم‌راستا است. ایشان نیز افزایش معنی‌دار دما را در استان‌های قم، سمنان و اصفهان و کاهش معنی‌دار آن را در یزد مشاهده نموده‌اند (Zolfaghari et al., 2023). همچنین، نتایج این پژوهش دارای انطباق با یافته حلیان و چوبری و نجفی نیز هست. ایشان بدین نتیجه رسیده‌اند که دمای حداکثر و حداقل در ایران روندی افزایشی دارد (Halabian, 2017; Alizadeh-Choobari & Najafi, 2017). همچنین نتایج ما دارای عدم هم‌راستایی با نتیجه چوبری و نجفی و قاسمی در زمینه شیب بالای افزایشی دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه است. البته مقیاس

پژوهش ایشان فلات ایران است (Alizadeh-Choobari & Najafi, 2017; Ghasemi, 2015). همچنین، فریم‌پونگ و همکاران در پژوهش خود در غنا نیز بدین نتیجه دست یافته‌اند که افزایش کلی دمای حداقل نسبت به حداکثر دما مشهودتر است که این پژوهش نیز دارای عدم انطباق با یافته مطالعه حاضر است (Frimpong et al., 2022). یافته راو و همکاران نیز دارای هم‌راستایی با نتیجه پژوهش ما است که افزایش میانگین دمای حداقل را در کل هندوستان ثبت کرده‌اند (Rao et al., 2014). همان‌طور که اشاره گردید، افزایش دما در آینده عواقب متعددی را با خود به همراه خواهد داشت. از جمله پیامدهای این مقوله، کاهش کیفیت حیات شهری، افزایش آلودگی‌های متعدد و افزایش تقاضای انرژی سرمایشی در فصل تابستان است. در این راستا، یافته‌های پژوهش حاضر به جهت بررسی روند دمای سطح زمین و ایجاد چشم‌انداز آن در آینده می‌تواند برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری در اتخاذ تصمیمات سازگارانه و کاهشی با تغییرات اقلیمی کاربردی باشد. به جهت انطباق و کاهش شرایط حرارتی مشخص شده در پژوهش حاضر، پیشنهاداتی با توجه به اقلیم شهر تبریز به شرح زیر ارائه می‌شود:

- افزایش تراکم پوشش گیاهی و برنامه‌ریزی کاشت درخت در نواحی مشخص می‌تواند به‌عنوان اولین استراتژی مطرح شود که دارای محبوبیت بالایی در این حوزه است. البته باید بدین مقوله توجه داشت که شهرهای واقع در اقلیم نیمه‌خشک دارای کمبود منابع آبی هستند و باید جهت تعدیل این مسئله از پوشش‌های سبز سازگار با اقلیم و کم‌آبر استفاده کرد. پوشش گیاهی علاوه بر تعدیل هوا، با ایجاد سایه مانع رسیدن خورشید به سطوح تیره شده و ذخیره حرارتی آن‌ها را کاهش می‌دهد.

- دومین استراتژی که دارای سازگاری با اقلیم شهر تبریز است، سایه‌اندازی است. این مقوله در دوره‌های قدیم شهرهای ایران نیز متداول بوده و به عنوان راهکاری جهت فراهم نمودن آسایش استفاده شده است. سایه اندازه حتی به روش موقت خود در فصول گرم می‌تواند با ایجاد مانع در برابر تابش خورشیدی، جذب آن در سطوح نفوذناپذیر شهری را در سطح قابل‌توجهی کاهش دهد.

- استراتژی دیگر که در زمینه جزایر حرارتی بسیار مطرح شده، استفاده از سطوح با آلبدو بالا است. سطوح تیره‌تر باعث ذخیره گرما در طول روز شده و در شب با آزادسازی انرژی حرارتی، باعث کاهش آسایش حرارتی می‌شود؛ بنابراین، با استفاده از سطوح دارای آلبدوی بالا در بام و دیوار بناها و همچنین سطوح پیاده‌روها می‌توان تا حد زیادی شرایط حاد حرارتی را تعدیل نمود.

- استفاده از باد در برنامه‌ریزی شهری مقوله‌ای عمومی و پایه‌ای است. فشردگی بیش از حد و غیراصولی مورفولوژی شهری همانند مانعی بر سر راه الگوهای مختلف بادی عمل می‌کند؛ لذا باید در طرح‌ریزی‌ها به نحوی عمل شود تا از جریان‌های بادی در زمان‌های مختلف بهره گرفته شده و مانعی بر سر راه آن‌ها ایجاد نشود. فشردگی بالای بافت همچنین باعث تأخیر در تخلیه حرارتی می‌شود. برنامه‌ریزی اصولی باد در سطوح شهری علاوه بر خارج کردن آلودگی از بافت شهری باعث تخلیه حرارتی شده و آسایش حرارتی ساکنین را تأمین می‌کند.

۵- سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری آقای محمدعلی کوشش وطن است که در دانشگاه تبریز انجام شده است. نویسندگان همچنین از داوران محترم که با نظرات ارزشمند خود به ارتقای کیفیت این مقاله کمک کرده‌اند، صمیمانه سپاسگزار هستند.

۶- فهرست منابع

- احمدی، محمود. (۱۴۰۱). بررسی دمای سطح زمین و روند آن در ایران طی فصل زمستان مبتنی بر دیتا پروژ CORDEX. پژوهش‌های دانش زمین، ۱۳(۴)، ۴۸-۵۹. doi: 10.48308/esrj.2023.103140
- حلبیان، امیرحسین. (۱۴۰۱). واکاوی روند ورودش‌های دمای بیشینه و کمینه در فلات ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۸(۳۰)، ۶۱-۷۵. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161458.html?lang=fa
- ذوالفقاری، مریم، رایگانی، بهزاد، نظامی بلوچی، باقر، گشتاسب، حمید و جهانی، علی. (۱۴۰۲). واکاوی روند دمای سطح زمین در ایران مرکزی به پایه سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶. مدیریت بیابان، ۱۱(۳)، ۱۷-۳۶. doi: 10.22034/jdmal.2023.2008659.1433
- رحیمی، نفیسه و فرجی، عبدالله. (۱۴۰۲). پیش‌بینی متوسط دمای سالانه شهر تبریز با استفاده از مدل‌های سری زمانی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۴(۵۱)، ۹۹-۱۱۳. doi: 10.22034/jargs.2023.373963.0

- علیزاده چوبری، امید و نجفی، محمد سعید. (۱۳۹۶). روند تغییرات دمای هوا و بارش در مناطق مختلف ایران. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۳(۳)، ۵۸۴-۵۶۹. doi: 10.22059/jesphys.2017.60300
- کوشش وطن، محمدعلی و اصغری زمانی، اکبر. (۱۴۰۰). مطالعه دمای سطح زمین شهر تبریز در رابطه با کاربری اراضی با استفاده از تصویر لندست ۸. *پژوهش‌های جغرافیایی اقتصادی*، ۳(۳)، ۵۸-۴۹. https://jurs.znu.ac.ir/article_244529.html
- کوشش وطن، محمدعلی، اصغری زمانی، اکبر، نعمتی، محمد و پورمحمد، فیروز. (۱۴۰۰). مقایسه عملکرد رگرسیون‌های خطی چندگانه و جنگل تصادفی در جهت ارزیابی قیمت واحدهای مسکونی (موردشناسی: ولیعصر شمالی، شهر تبریز). *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۴۰(۴)، ۸۲-۵۷. doi: 10.22111/gaij.2021.6486

References

- Ahmadi, M. (2023). Investigating the surface temperature of the earth and its trend in Iran during the winter season based on the output of the CORDEX project, *Researches in Earth Sciences*, 13(4), 48-59. doi: 10.48308/esrj.2023.103140 [In Persian]
- Ahmar, A. S., Singh, P. K., Ruliana, R., Pandey, A. K., & Gupta, S. (2023). Comparison of ARIMA, SutteARIMA, and Holt-Winters, and NNAR Models to Predict Food Grain in India, *Forecasting*, 5(1), 138-152. doi.org/10.3390/forecast5010006
- Alemu, Z.A., Dioha, M.O. (2020). Climate change and trend analysis of temperature: the case of Addis Ababa, Ethiopia, *Environmental Systems Research*, 9(27), 120-147. doi.org/10.1186/s40068-020-00190-5
- Ali, R., Kuriqi, A., Abubaker, S., & Kisi, O. (2019). Long-term trends and seasonality detection of the observed flow in Yangtze River using Mann-Kendall and Sen's innovative trend method. *Water (Switzerland)*, 11(9). doi.org/10.3390/w11091855
- Alizadeh-Chooabari, O., & Najafi, M. S. (2017). Trends and changes in air temperature and precipitation over different regions of Iran, *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(3), 569-584. doi: 10.22059/jesphys.2017.60300 [In Persian]
- 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*, 23(1), 1-26. doi.org/10.1002/joc.859
- Brown, R. G. (1963). *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*. Prentice-Hall.
- Dash, P., Gottsche, F.M., Olesen, F.S., & Fischer, H. (2002). Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends, *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2563-2594. doi.org/10.1080/01431160110115041
- Frimpong, B.F., Koranteng, A. & Molkenhuth, F. (2022). Analysis of temperature variability utilising Mann-Kendall and Sen's slope estimator tests in the Accra and Kumasi Metropolises in Ghana, *Environmental Systems Research*, 11(24), doi.org/10.1186/s40068-022-00269-1
- Ghaderpour, E., Mazzanti, P., Bozzano, F., & Scarascia Mugnozza, G. (2024). Trend Analysis of MODIS Land Surface Temperature and Land Cover in Central Italy, *Land*, 13(6), 796. doi.org/10.3390/land13060796
- Ghasemi, Ahmad. (2015). Changes and trends in maximum, minimum and mean temperature series in Iran, *Atmospheric Science Letters*, 16. doi.org/10.1002/asl2.569
- Goward, S. N. (1981). Thermal behavior of urban landscapes and the urban heat island, *Physical Geography*, 2(1), 19-33. doi.org/10.1080/02723646.1981.10642202
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J.M. (2008). Global change and the ecology of cities, *Science*, 319(5864), 756-760. doi.org/10.1126/science.1150195
- Halabian, A. (2017). Trend Analysis of Maximum and Minimum Temperature Variations in Iran Plateau, *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 8(30), 61-75. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161458.html?lang=fa [In Persian]
- Huang, J., Ji, M., Xie, Y., Wang, S., He, Y., & Ran, J. (2016). Global semi-arid climate change over last 60 years. *Climate Dynamics*, 46(3), 1131-1150. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2636-8>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice* (2nd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp3/>
- Karamidehkordi, E. (2010). A country report: Challenges facing Iranian agriculture and natural resource management in the twenty-first century. *Human Ecology*, 38(2), 295-303. doi.org/10.1007/s10745-010-9309-3
- Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods. In Rank correlation methods. Griffin. https://books.google.com/books/about/Rank_Correlation_Methods.html?id=1whKAAAAMAAJ

- Koushesh Vatan, M. A., & Asghari Zamani, A. (2021). Study of land surface temperature concerning land-use in Tabriz city using the Landsat 8 data, *Journal of Economic Geography Researches*, 2(3), 49–58. https://jurs.znu.ac.ir/article_244529.html [In Persian]
- Koushesh Vatan, M. A., Asghari Zamani, A., Nemati, M., & Pourmohammad, F. (2021). A Comparison of Multiple Linear Regression and Random Forest Regression to Evaluate the Price of Residential Units (Case Study: North Valiasr, Tabriz), *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 11(40), 57–82. doi.org/10.22111/gaij.2021.6486 [In Persian]
- Kumar, R., Kuttippurath, J., Gopikrishnan, G.S. et al. (2023). Enhanced surface temperature over India during 1980–2020 and future projections: causal links of the drivers and trends, *Climate and atmospheric science*, 6(164), 57–71. doi.org/10.1038/s41612-023-00494-0
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G.R., Imhoff, M., & Li, X. (2022). The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States, *Nature Communications*, 8, 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.229>
- Maleki, A., Nasser, S., Aminabad, M. S., & Hadi, M. (2018). Comparison of ARIMA and NNAR Models for Forecasting Water Treatment Plant's Influent Characteristics, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(9), 3233–3245. doi.org/10.1007/s12205-018-1195-z
- Mallick, J., Kant, Y., & Bharath, B.D. (2013). Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+, *Journal of Indian Geophysical Union*, 17(3), 233–248. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16407623>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. doi.org/10.2307/1907187
- Norafar, A., Gholami, H., Moradi, N., Rahdari, V., & Rezaei, M. (2023). Investigating the Effects of Land Use Changes on Dust Storms in the Sistan Region Using Markov Chain Forecasting, *Desert Management*, 11(3), 1–16. doi: 10.22034/jdmal.2023.2011010.1437 [In Persian]
- Oke, T. R. (2011). *Urban heat islands*. The Routledge Handbook of urban ecology. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780203839263-22/urban-heat-islands-oke>
- Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. doi.org/10.1002/qj.49710845502
- Patel, R., & Patel, A. (2024). "Evaluating the impact of climate change on drought risk in semi-arid region using GIS technique." *Results in Engineering*, 21, 101957. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101957
- Pilehvar, A. asghar. (2021). Spatial-geographical analysis of urbanization in Iran. *Humanities and Social Sciences Communications*, 8(1). doi.org/10.1057/s41599-021-00741-w
- Rao, B.m Chowdary, P., Sandeep, V.M., Rao, V.U.M., Venkateswarlu, B. (2014). Rising minimum temperature trends over India in recent decades: Implications for agricultural production, *Global and Planetary Change*, 117, 1–8. doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.03.001
- Sako, K., Mpinda, B. N., & Rodrigues, P. C. (2022). Neural Networks for Financial Time Series Forecasting, *Entropy*, 24(5), 657. doi.org/10.3390/e24050657
- Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions, *Science of The Total Environment*, 512(513), 582–598. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. doi.org/10.2307/2285891
- 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. doi.org/10.1073/pnas.1211658109
- Singh, P. K., & Chudasama, H. (2021). Pathways for climate change adaptations in arid and semi-arid regions. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124744. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124744
- United Nations. (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
- Vujovic S, Haddad B, Karaky H, Sebaibi N, Boutouil M. (2021). Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements, *CivilEng*, 2(2), 459–484. doi.org/10.3390/civileng2020026
- Wang J, Zhou W, Zhao W. (2023). Higher UHI Intensity, Higher Urban Temperature? A Synthetical Analysis of Urban Heat Environment in Urban Megaregion, *Remote Sensing*, 15(24), 5696. doi.org/10.3390/rs15245696

- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335-344. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies, *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483. doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005
- Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J.P. (2016). The role of city size and urban form in the surface urban heat island, *Scientific Reports*, 7(1), 4791. doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2
- Zhou, K., Wang, W., Hu, T., & Deng, K. (2020). Time Series Forecasting and Classification Models Based on Recurrent with Attention Mechanism and Generative Adversarial Networks, *Sensors*, 20(24). doi.org/10.3390/s20247211
- Zolfaghari, M., Rayegani, B., Nezami Balouchi, B., Goshtasb, H., & Jahani, A. (2023). Analyzing the Trend of The Temperature Parameters Related to The Central Plateau of Iran Using a Time Series of Satellite Data, *Desert Management*, 11(3), 17-36. doi: 10.22034/jdmal.2023.2008659.1433 [In Persian]

