



Analysis of the temperature climate pattern of Tabriz city under climate change conditions

Faezeh Mazloumi Maraghi¹ , Manuchehr Farajzadeh,² , Yousef Ghavidel Rahimi,³

1. Student Phd of Tarbiat Modares University. Email: faezeh_mazloumi@modares.ac.ir

2. Physical Geography department of Tarbiat Modares University. Email: farajzam@modares.ac.ir

3. Physical Geography department of Tarbiat Modares University: ghavidel@modares.ac.ir

Article Info

Article type

Research Article

Article history:

Received

27 December 2025

Received in revised form

27 February 2026

Accepted

30 April 2026

Available online

1 June 2026

Keywords:

Climate change

Development,

Temperature trend,

Mean temperature,

Mann-Kendall,

Sen's slope.

ABSTRACT

Objective: This study was conducted with the aim of identifying the distribution pattern and trends of mean, minimum, and maximum temperatures at the Tabriz synoptic station during the period 1975–2024, as well as estimating future changes based on new scenarios. The findings are intended to serve as a scientific basis for policymakers and planners in developing effective adaptation strategies. Additionally, this research seeks to address the gap in localized climate projections for the Tabriz region by employing state-of-the-art CMIP6 models and multiple emission scenarios, thereby providing a more comprehensive understanding of potential future climate conditions and their implications for various socio-economic sectors.

Method: Trends were evaluated using the non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope estimator. For future projections, CMIP6 models were employed with a baseline period of 1995–2014 and four 20-year time intervals (2020–2039, 2040–2059, 2060–2079, 2080–2099) under scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, and SSP5-8.5. The multi-model ensemble mean approach was utilized to reduce uncertainties, and uncertainty ranges (P10-P90) were calculated to provide a comprehensive understanding of future variability. Additionally, monthly and seasonal-scale analyses were conducted to identify the most sensitive periods and to better understand the temporal distribution of warming trends, which is crucial for sector-specific adaptation planning.

Results: The results indicated that during the observational period, the annual mean temperature increased from 12.4 to 14.1 °C. The trend in maximum temperature was significant and increasing, with a Sen's slope of 0.058 °C per year. Minimum temperature also showed a significant upward trend, with a slope of 0.034 °C per year. In the future projections, all months and scenarios indicated rising temperatures; under moderate scenarios, the increase was mainly between 1–2 °C, while under SSP5-8.5, maximum temperature was projected to rise by 6–8 °C. The most pronounced warming was observed during summer months, with uncertainty ranges widening over time, particularly under high-emission scenarios.

Conclusions: The findings revealed that short-term analyses are less reliable due to climatic fluctuations; therefore, long-term investigations combined with multi-model approaches can provide more robust results. The significant warming trends underscore the urgency of implementing adaptive measures in water resources, agriculture, energy, and public health sectors. The projected increase in summer temperatures highlights the need for enhanced cooling infrastructure and heatwave preparedness plans. Overall, proactive planning based on robust scientific projections is essential for mitigating the adverse impacts of climate change in the Tabriz region..

Cite this article: Mazloumi Maraghi, F., Farajzadeh, M., Ghavidel Rahimi, Y. (2026). Analysis of the temperature climate pattern of Tabriz city under climate change conditions 1(1), 48-71. <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.4.1>



© © Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: : Lorestan University.



DOI: <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.4.1>

1. Introduction

Climate change, particularly temperature variations, has become one of the most significant global challenges, with far-reaching environmental, economic, and social consequences. Iran, due to its geographical location in low latitudes, is among the countries most vulnerable to these changes (Farajzadeh, 2019; Ashteh, 2014). Studies indicate that the most severe heat waves in Iran occur in autumn and winter, leading to increased evaporation, altered precipitation regimes, and accelerated snowmelt (Baharvandi et al., 2020). Most local research has focused on CMIP5 projections using single models or limited model ensembles without explicitly addressing inter-model uncertainty (Zarin & Dadashi Rudbari, 2021;

Zanouzi Alamdari et al., 2024; Shahbazi Kia et al., 2022). However, this study employs a multi-model ensemble approach using CMIP6 outputs and four SSP scenarios to explicitly report uncertainty ranges and provide practical strategies for local decision-makers. The present study, which integrates controlled station data for historical temperature analysis with CMIP6 projections, represents a novel contribution to understanding both past and future temperature behavior in the Tabriz region. Accordingly, this research aims to identify temperature trends and project future changes in mean, minimum, and maximum temperatures at Tabriz synoptic station using CMIP6 model outputs.

2. Methodology

This study was conducted at Tabriz synoptic station (38°12'N, 46°23'E, 1361 m elevation) in northwestern Iran. The research consisted of two parts: trend analysis of minimum, mean, and maximum temperatures over 50 years (1975-2024) using the non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope estimator; and future temperature projection using CMIP6 multi-model ensemble means for four future periods (2020-2039, 2040-2059, 2060-2079,

2080-2099) under four SSP scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5). Historical data were obtained from the Iran Meteorological Organization, and after quality control, missing values were corrected using averaging methods. Model outputs from 32 CMIP6 models were used, with the base period of 1995-2014. Uncertainty ranges (P10-P90) were calculated to assess inter-model variability.

3. Results

Mann-Kendall test results revealed significant increasing trends for all temperature variables during 1975-2024 ($p < 0.001$). Mean temperature increased by 0.044°C/year (Sen's slope), minimum temperature by 0.034°C/year, and maximum temperature by 0.058°C/year. Under SSP5-8.5, annual mean temperature is projected to rise from 11.58°C (2020-2039) to 16.04°C (2080-2099), representing a 6.4°C increase relative to the base period (9.65°C).

Minimum temperature under SSP5-8.5 shows an increase from 4.01°C (base) to 9.99°C by century's end. Maximum temperature under SSP5-8.5 is projected to reach 22.00°C by 2080-2099, a 6.7°C increase from the base period (15.29°C). The highest warming is projected for summer months (July-August), exceeding 7-8°C under SSP5-8.5, with uncertainty ranges widening over time, particularly under high-emission scenarios.

4. Discussion

The findings demonstrate that Tabriz has experienced significant warming over the past 50 years, with the most pronounced increases occurring in maximum temperatures. This warming trend is consistent with global patterns and previous regional studies (Farajzadeh & Feizi, 2012; Almaszraei et al., 2021). The projected temperature increases under all SSP scenarios indicate that warming will continue regardless of emission pathways, though the magnitude varies considerably. Under SSP1-2.6, warming is limited to approximately 2°C, while under SSP5-8.5, warming could exceed 6°C by 2100. The widening uncertainty ranges (P10-P90) in later periods reflect increasing divergence among climate models, particularly under high-emission scenarios, highlighting the importance of considering multiple models and scenarios for robust planning. The seasonal analysis reveals that summer warming will be most severe, with potentially critical implications for energy demand, public health, water resources, and agriculture.

Author Contributions

In the preparation and writing of this article, all authors have contributed equally. All stages

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

5. Conclusion

This study confirms a significant and accelerating warming trend at Tabriz synoptic station over the past five decades, with projections indicating continued temperature increases through 2100 under all scenarios. The magnitude of future warming is highly dependent on emission pathways, with SSP5-8.5 projecting increases of over 6°C in mean annual temperature, compared to approximately 2°C under SSP1-2.6. These changes will have profound implications for energy consumption (particularly cooling demand), public health (heat-related illnesses), water resource management (increased evaporation and altered precipitation patterns), and agricultural practices (changes in growing seasons). The findings underscore the urgent need for long-term adaptation strategies and informed decision-making at local and regional levels. The multi-model ensemble approach with explicit uncertainty quantification provides a robust scientific basis for developing climate-resilient policies in the Tabriz region.

of the research, from study design and data collection to analysis of results and final writing of the article, are the result of collaboration and collective agreement of all authors.

Acknowledgements

We are very grateful to everyone who assisted us in conducting this research.

Funding

This research was conducted with the support of the [Institutional Name]. The authors would like to express their sincere gratitude and appreciation to these institutions for their valuable support.



تحلیل الگوی آب و هوایی دمای شهر تبریز تحت شرایط تغییر اقلیم

فائره مظلومی مراغی^۱، منوچهر فرج زاده اصل^۲، یوسف قویدل رحیمی^۳

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه تربیت مدرس. رایانامه: faezeh_mazloui@modares.ac.ir

۲. گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تربیت مدرس. رایانامه: farazjam@modares.ac.ir

۳. گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تربیت مدرس. رایانامه: ghavidel@modares.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱

کلیدواژه‌ها:

تغییر اقلیم،

روند دما،

دمای میانگین،

من-کندال،

شیب سن.

هدف: این پژوهش با هدف شناسایی الگوی توزیع و روند دمای میانگین، حداقل و حداکثر در ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره ۱۹۷۵-۲۰۲۴ و همچنین برآورد تغییرات آینده بر اساس سناریوهای جدید انجام شد. یافته‌ها به عنوان مبنایی علمی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در تدوین راهبردهای سازگاری مؤثر در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، این تحقیق به دنبال پر کردن شکاف موجود در پیش‌بینی‌های اقلیمی بومی‌شده برای منطقه تبریز با به‌کارگیری مدل‌های پیشرفته CMIP6 و سناریوهای متعدد انتشار است و بدین ترتیب درک جامع‌تری از شرایط بالقوه اقلیمی آینده و پیامدهای آن برای بخش‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی ارائه می‌دهد. همچنین این پژوهش با ارائه تحلیل‌های فصلی و ماهانه، امکان شناسایی دوره‌های حساس و آسیب‌پذیرتر را فراهم می‌آورد تا برنامه‌ریزان بتوانند بر اساس اولویت‌های زمانی، اقدامات سازگاری را به‌طور دقیق‌تر و کارآمدتر طراحی و اجرا نمایند.

روش: برای این منظور، روندها با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و برآوردگر شیب سن ارزیابی شدند. برای پیش‌بینی‌های آینده، از مدل‌های CMIP6 با دوره پایه ۱۹۹۵-۲۰۱۴ و چهار بازه زمانی ۲۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۵۹، ۲۰۶۰-۲۰۷۹، ۲۰۸۰-۲۰۹۹) تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 استفاده شد. از رویکرد میانگین همادی چندمدلی برای کاهش عدم قطعیت‌های ناشی از عملکرد متفاوت مدل‌ها بهره گرفته شد و بازه‌های عدم قطعیت (P10-P90) محاسبه گردید تا درک جامع‌تری از تغییرات بالقوه در پیش‌بینی‌های آینده ارائه شود. همچنین تحلیل‌های فصلی و ماهانه برای شناسایی دوره‌های آسیب‌پذیرتر و درک بهتر توزیع زمانی روندهای گرمایشی انجام شد که این امر به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا اقدامات سازگاری را بر اساس اولویت‌های زمانی و فصلی طراحی نمایند.

نتایج: نتایج نشان داد که در دوره مشاهداتی، میانگین دمای سالانه از ۱۲/۴ به ۱۴/۱ درجه سلسیوس افزایش یافته است. روند دمای حداکثر معنادار و افزایشی بود و شیب سن آن ۰/۵۸ درجه سلسیوس در سال محاسبه شد. دمای حداقل نیز روند افزایشی معناداری با شیب ۰/۳۴ درجه سلسیوس در سال نشان داد. در پیش‌بینی‌های آینده، تمام ماه‌ها و سناریوها حاکی از افزایش دما بودند؛ تحت سناریوهای میانی، افزایش عمدتاً بین ۱ تا ۲ درجه سلسیوس بود، در حالی که تحت سناریوی SSP5-8.5، دمای حداکثر تا ۶ تا ۸ درجه سلسیوس افزایش پیش‌بینی شد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که تحلیل‌های کوتاه‌مدت به دلیل نوسانات اقلیمی از قابلیت اطمینان کمتری برخوردار هستند؛ بنابراین، بررسی‌های بلندمدت همراه با رویکردهای چندمدلی می‌توانند نتایج مستحکم‌تر و قابل اطمینان‌تری ارائه دهند.

استناد: مظلومی مراغی، ف، فرج‌زاده، م، قویدل رحیمی، ی. (۱۴۰۵). تحلیل الگوی اقلیم دمای شهر تبریز در شرایط تغییر اقلیم. نشریه تحقیقات محیط زیستی و توسعه پایدار، ۱(۱)، ۴۸-۷۱. <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.2.1>



<https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.2.1>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه لرستان.

۱. مقدمه

N., Rashid, I. U., Kamil, S., Abid, M. A., ... & Sylla, M. B, 2021). مبتنی بر مدل‌های CMIP6 نشان می‌دهد که تا پایان قرن، آمریکای جنوبی با افزایش چشمگیر دما و تغییرات مکانی بارش (کاهش در آمازون و آند جنوبی و افزایش در جنوب شرق قاره) روبه‌رو خواهد بود. در پژوهش (Salazar, Á., Thatcher, M., Goubanova, K., Bernal, P., Gutiérrez, J., & Squeo, F, 2024) بر اساس مدل‌های CMIP6، تا پایان قرن دمای سطح زمین در شیلی تا حدود ۶ درجه در شمال و ۵ درجه در مرکز افزایش می‌یابد و بارش در مرکز شیلی و پاتاگونیای شمالی کاهش قابل توجهی خواهد داشت. بر اساس پژوهش (Seker, M., Gumus, V, 2022) تحت مدل‌های CMIP6، دمای میانگین منطقه مدیترانه تا پایان قرن بین ۱ تا ۳/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و بیشترین گرمایش در ارتفاعات بلند دیده خواهد شد. همچنین نتایج نشان داد نتایج نشان داد که میانگین چندمدلی نسبت به مدل‌های منفرد، بازنمایی بهتری از دما و بارش تاریخی ارائه می‌دهد. مطالعات (Zarin, A., & Dadashi Rudbari, A.A, 2021) با بهره‌گیری از روش همدادی چندمدلی (MME) و مدل‌های CMIP6 نشان می‌دهد که میانگین دمای سالانه ایران در آینده تحت سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب حدود ۱۳/۱ و ۱۲/۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. زنوزی علمداری و همکاران (Zanouzi Alamdari, N., Sobhani, B., Aslani, M., & Mohammadi, M, 2024) با استفاده از مدل‌های CMIP6 و دو مدل بهینه BCC-CSM2-MR و MIROC6 در استان آذربایجان شرقی، با روش تصحیح اریبی و پیش‌بینی همدادی تغییرات بارش و دمای کمینه و بیشینه را برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۱۱ بررسی کرد؛ نتایج نشان داد که دمای سالانه بیشینه در ایستگاه‌های منتخب بین ۱ تا ۵/۲ درجه و دمای کمینه بین ۱/۴ تا ۶ درجه افزایش خواهد یافت. طبق پیش‌بینی انجام شده توسط شهبازی کیا و همکاران (Shahbazi Kia, S., Ghorbani Tashkaki, S., Yarahmadi, J., Ostavari, Y., & Mirzaei, S, 2024)، آنها با استفاده از مدل CanESM2 و روش ریز مقیاس‌سازی آماری SDSM در

میانگین عناصر آب‌وهوایی، به‌ویژه دما، در سال‌های اخیر دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است که از آن به‌عنوان تغییرات آب‌وهوایی یاد می‌شود (Farajzadeh Asl, M., & Ghasemifar, E, 2019). نتایج بررسی‌ها بیانگر این مورد است که دمای سطح زمین در سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۱ نسبت به سال‌های ۱۹۰۰-۱۸۵۰، ۱/۱ درجه سلسیوس افزایشی پیدا کرده است (IPCC, 2021). اهمیت این موضوع به دلیل تأثیرات گسترده زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی آن است؛ چراکه بسیاری از فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی و صنعت وابسته به ثبات اقلیمی هستند. در این میان، سناریوی گرمایش جهانی به یکی از مهم‌ترین مباحث در سطوح محلی، منطقه‌ای و بین‌المللی تبدیل شده است (Farajzadeh Asl, M., & Feizi, V, 2021). باتوجه به موقعیت جغرافیایی ایران در عرض‌های پایین، کشور ما نیز نه‌تنها از تبعات این تغییرات در امان نمانده، بلکه از جمله کشورهایی است که بیشترین آسیب‌ها را از این پدیده متحمل خواهد شد (Ashofteh, P.S, 2014). همچنین شدیدترین امواج گرمایی در ایران در فصل پاییز و زمستان بروز می‌کند و این امر به طور طبیعی منجر به افزایش تبخیر، تغییر در رژیم بارش و ذوب سریع منابع برفی می‌شود، از این‌رو، مطالعه دقیق امواج گرما و بررسی عوامل مؤثر بر وقوع آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Baharvandi, N., Majard, F., & Masoum Pour, J, 2020).

تحولات اقلیمی اخیر که ناشی از پدیده تغییر اقلیم هستند، باعث نوسانات قابل توجهی در پارامترهای اقلیمی به‌ویژه دما در دهه‌های اخیر شده و اهمیت آن توجه گسترده‌ای را از سوی پژوهشگران داخلی و خارجی به خود جلب کرده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش (You, Q., Cai, Z., Wu, F., Jiang, Z., Pepin, N., & Shen, S. S, 2021) اشاره کرد؛ طبق یافته آنها بر اساس مدل‌های CMIP6، میانگین دمای سطحی چین تا پایان قرن ۲۱۰۰ در سناریوهای مختلف بین ۱/۰۸ تا ۵/۶۲ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد و بیشترین گرمایش در شمال غرب چین و فلات تبت رخ خواهد داد. پیش‌بینی (Almazroui, M., Ashfaq, M., Islam, M.)

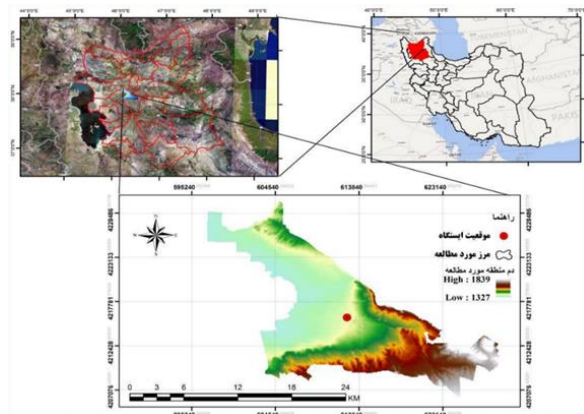
۲۰۵۰، میانگین دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 افزایش معنادار خواهد داشت. اغلب پژوهش‌های محلی که ذکر شد بر پیش‌نگری دمای کشور با استفاده از برون‌داد پروژه مرحله پنجم (CMIP5) مدل‌های جفت شده اقلیمی با استفاده از مدل‌های منفرد متمرکز شده‌اند یا از مدل‌های محدود استفاده کرده‌اند یا عدم قطعیت بین مدل‌ها را بررسی نکرده‌اند؛ اما پژوهش حاضر با میانگین چندمدلی CMIP6 و مقایسه چهار سناریوی SSP، تلاش کرده است عدم قطعیت را به طور صریح گزارش کند و راهبردهای کاربردی‌تر برای تصمیم‌گیران محلی فراهم آورد.

مقاله حاضر که به طور یکپارچه از داده‌های ایستگاهی کنترل شده برای تحلیل تاریخی دما و خروجی‌های CMIP6 بهره می‌برد، در مطالعات مرتبط با تبریز کمتر دیده شده و بنابراین سهمی قابل توجه در شناخت گذشته و آینده رفتار دما در این منطقه فراهم می‌آورد. در این راستا هدف اصلی این پژوهش، شناسایی تغییرات و روند زمانی در ایستگاه سینوپتیک تبریز و پیش‌بینی دمای میانگین، حداقل و حداکثر دوره‌های آتی بر اساس برون‌داد مدل‌های CMIP6 می‌باشد.

حوضه آبخیز لیقوان و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 پیش‌بینی تغییرات دما و بارش را برای دوره ۲۰۲۰-۲۱۰۰ انجام دادند؛ نتایج نشان داد که دما افزایش یافته و حداقل دما در ژانویه تا ۱۴/۳۵ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. طبق بررسی عالی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰)، با استفاده از مدل HADGEM-2 از مجموعه CMIP5 و روش ریز مقیاس‌سازی آماری LARS-WG در شاخص حوزه آبریز سیمره و تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تغییرات دما و بارش را پیش‌بینی کرد؛ نتایج نشان داد که دمای حداقل ۵/۱ و دمای حداکثر ۱۷/۲ افزایش خواهد. رحیمی و فرجی (Rahimi, N., & Faraji, A, 2023)، با استفاده از مدل سری زمانی ARIMA(0,1,1) برای داده‌های دمای ایستگاه سینوپتیک تبریز از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ پیش‌بینی دمای سالانه را انجام داد و نشان داد که دمای متوسط سالانه در ۱۸ سال آینده روند افزایشی خواهد داشت. مریانجی و همکاران (Maryanji, S., Tolabi-Nejad, M., & Zarrin, Z, 2025)، از مدل HadGEM2-ES از مجموعه CMIP5 و روش ریز مقیاس‌سازی آماری LARS در منطقه همدان استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که تا سال

۲. مواد و روش‌ها

ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز در شمال غرب ایران واقع شده و مختصات جغرافیایی آن ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی می‌باشد. این ایستگاه در ارتفاع ۱۳۶۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است. اقلیم این ایستگاه به عنوان اقلیم سرد و خشک شناخته می‌شود. در شکل ۱، موقعیت محدوده مورد مطالعه در سطح استان و کشور نمایش داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک تبریز

جدول ۱- مشخصات ایستگاه سینوپتیک تبریز

نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر	دوره آماری	تعداد داده‌ها
سینوپتیک	۴۶/۲۳	۳۸/۱۲	۱۳۶۱	۱۹۷۵-۲۰۲۴	۱۸۵۶۸

روش مطالعه

این پژوهش در دو بخش زیر انجام گرفته است:

بخش نخست، تحلیل روند تغییرات دمای حداقل، میانگین و حداکثر طی ۵۰ سال از ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۴ در ایستگاه مورد مطالعه است. برای بررسی و تحلیل روند، دسترسی به سری‌های زمانی بلندمدت داده‌های اقلیمی ضروری است؛ زیرا از طریق این داده‌ها می‌توان الگوهای تغییرات آب‌وهوایی را به صورت دقیق شناسایی کرده و رفتار زمانی متغیرهای اقلیمی را به درستی نمایان کرد (شجاع و شمسی‌پور، ۱۴۰۲). بدین منظور داده‌های مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. پس از کنترل کیفی داده‌ها، مقادیر پرت و گم شده با روش میانگین گیری تصحیح شدند.

برای تحلیل روند، از آزمون ناپارامتری من-کندال (Mann-Kendall) و شیب سن برای بررسی سرعت تغییرات دما در طول زمان استفاده شد. دلیل به کارگیری آزمون من-کندال، توانایی بالای آن در تحلیل روند داده‌های رابطه ۱

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

۱: تعداد جملات، x_j : تابع، X_k : داده، k : سری داده، sgn به شرح زیر معرفی می‌شود.

رابطه ۲

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

بنابراین تمامی مقادیر به دست آمده از تابع علامت (sgn)، صفر، ۱ یا -۱ است.

استخراج آماره آزمون Z به کمک یکی از روابط ۳، ۴ و ۵ صورت گرفته است:

رابطه ۳

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

سری زمانی است. این آزمون به هیچ گونه توزیع آماری خاصی وابسته نیست و می‌تواند روند متغیرهای هیدرولوژیکی و هواشناسی را حتی در حضور داده‌های ناقص بررسی کند. علاوه بر این، حساسیت اندک آن نسبت به مقادیر حدی و استقلال از فرض نرمال بودن داده‌ها، از مهم‌ترین مزایای استفاده از این روش به شمار می‌رود (تورگی و ارکن، ۲۰۰۵). همچنین به منظور سنجش نرخ تغییرات، از روش تخمین شیب سن بهره گرفته شد که مقدار تغییر سالانه متغیر مورد بررسی را نشان می‌دهد.

روش گرافیکی آزمون من - کندال

فرض صفر این آزمون بیانگر تصادفی بودن داده‌ها و عدم وجود روند در سری زمانی است، درحالی که پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) به معنای وجود روند در داده‌ها خواهد بود.

مراحل محاسبه آماره این آزمون عبارت‌اند از:

الف: محاسبه اختلاف بین هر یک از مقادیر سری داده‌ها

و اعمال تابع sgn برای به دست آوردن پارامتر S

رابطه ۴

$$Z = \sum_{K=1}^{N-1} \sum_{j=K+1}^N \text{sgn}(x_j - x_K)$$

$$|Z| \leq \frac{za}{2} \quad \text{رابطه ۵}$$

S : پارامتر محاسبه شده در رابطه (۱) می‌باشد.

اگر مقدار آماره Z مثبت باشد، نشان‌دهنده یک روند صعودی است، و اگر منفی باشد، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. در این تحلیل، قدرمطلق Z محاسبه شده و بررسی می‌شود که آیا شرط زیر برقرار است یا خیر. اگر این شرط برقرار باشد، فرض صفر تأیید می‌شود، به این معنی که هیچ روند مشخصی وجود ندارد و داده‌ها تصادفی هستند. در غیر این صورت،

2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 استفاده گردید. این سناریوها به ترتیب بیانگر شرایط خوش‌بینانه تا بدبینانه از منظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند و به‌عنوان جایگزینی برای سناریوهای RCP در گزارش ششم IPCC معرفی شده‌اند.

مدل‌های CMIP6

این مدل‌ها نقش مهمی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دارد و موجب بهبود درک سامانه اقلیم و شناسایی مخاطرات اجتماعی آن در آینده می‌شود (جدول ۲). فعالیت‌های مرتبط با فاز ششم پروژه مدل‌سازی متقابل جفت شده (CMIP6) از سال ۲۰۱۳ با تمرکز بر سناریوها و با مشارکت اندیشمندان حوزه آب و هوا آغاز گردید. این پروژه تحت هدایت کمیته علمی و با همکاری گروه تحقیقات جهانی آب و هوا (WCRP) و چند کشور از جمله کانادا شکل گرفت (O'Neill et al., 2016). در فاز ششم، مدل CMIP6 بر پروژه متقابل مدل سناریو (ScenarioMIP) تمرکز دارد. این مدل، پیش‌نمایی‌های علمی خود را بر اساس مجموعه‌ای از سناریوهای جدید انتشار و کاربری اراضی انجام می‌دهد که به‌وسیله مدل‌های IAMs و بر مبنای مسیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSP) آینده طراحی شده‌اند. این مسیرها شامل عناصری همچون جمعیت، رشد اقتصادی، شهرنشینی، سطح تحصیلات و سایر متغیرهای اجتماعی بوده و با سناریوهای غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCPs) مرتبط هستند (Eyring et al., 2016). ساختار جدید CMIP6 دو ویژگی مهم را در طراحی سناریوها فراهم می‌کند: نخست، استاندارد سازی تمامی فرصت‌های اجتماعی-اقتصادی در هر سناریو، و

فرض یک پذیرفته می‌شود که به وجود یک روند دلالت دارد.

در واقع a همان سطح معنی‌داری است که برای آزمون انتخاب می‌شود. Z_a بیانگر مقدار آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری a است که باتوجه به دو دامنه بودن آزمون، از $a/2$ استفاده می‌شود. معمولاً این آزمون در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ صورت می‌گیرد.

برای سطح معنی‌داری ۹۵٪، مقدار a برابر با ۰/۰۵ و برای سطح معنی‌داری ۹۹٪ برابر با ۰/۰۱ است. به‌این ترتیب:

در سطح اطمینان ۹۵٪، مقدار $Z = 1/96$ در نظر گرفته می‌شود.

در سطح اطمینان ۹۹٪، مقدار $Z = 2/58$ لحاظ می‌شود (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۰).

در بخش دوم پژوهش، برای پیش‌بینی تغییرات دما در ایستگاه سینوپتیک تبریز، از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) مربوط به فاز ششم پروژه مقایسه بین‌مدلی (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 – CMIP6) استفاده شد. داده‌های CMIP6 شامل خروجی مدل‌های اقلیمی متعددی است که با هدف کاهش عدم قطعیت ناشی از عملکرد متفاوت مدل‌ها، از میانگین چندمدلی (Multi-Model Ensemble)

(Mean) آن‌ها بهره گرفته شد. دوره پایه تحقیق سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ و دوره‌های آینده در چهار بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۵۹، ۲۰۶۰-۲۰۷۹، ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در نظر گرفته شد. جهت بررسی تغییرات اقلیمی آتی، از چهار سناریوی مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک (Shared Socioeconomic Pathways – SSP) شامل SSP1-SSP5 استفاده شد.

دوم، فراهم سازی امکان بررسی دقیق تر مسیرهای مختلفی که از طریق آن ها می توان به نتایج اقلیمی آینده دست یافت. همچنین، به روزرسانی مدل های اقلیمی و استفاده از سناریوهای مبتنی بر SSP (Nourani et al., 2021; Jato-Espino et al., 2019).

بر اساس داده های جدید، موجب شده است پیش بینی های اقلیمی پروژه CMIP6 نسبت به نسخه های پیشین مانند CMIP5 متفاوت و دقیق تر باشد (Nourani et al., 2021; Jato-Espino et al., 2019).

جدول ۲: مشخصات مدل CMIP6 مورد استفاده در تحقیق (WCRP-CMIP6, 2023)

کشور توسعه دهنده	مرکز تحقیقاتی توسعه دهنده	درجه (نوع مدل)	مدل
آلمان	Alfred Wegener Institute (AWI)	AOGCM	AWI-CM-1-1-MR
چین	Beijing Climate Center (BCC)	AOGCM	BCC-CSM2-MR
چین	Chinese Academy of Meteorological Sciences (CAMS)	AOGCM	CAMS-CSM1-0
کانادا	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma)	ESM	CanESM5
چین	Chinese Academy of Sciences (CAS)	ESM	CAS-ESM2-0
ایالات متحده آمریکا	NCAR (National Center for Atmospheric Research)	ESM	CESM2
ایالات متحده آمریکا	NCAR (National Center for Atmospheric Research)	ESM	CESM2-WACCM
چین	Tsinghua University (THU)	ESM	CIesm
ایتالیا	Fondazione CMCC	AOGCM	CMCC-CM2-SR5
ایتالیا	Fondazione CMCC	ESM	CMCC-ESM2
ایالات متحده آمریکا	E3SM-Project	ESM	E3SM-1-1
ایالات متحده آمریکا	E3SM-Project	ESM	E3SM-1-1-ECA
(چندین کشور اروپایی)	EC-Earth Consortium	ESM	EC-Earth3
(چندین کشور اروپایی)	EC-Earth Consortium	ESM	EC-Earth3-AerChem
(چندین کشور اروپایی)	EC-Earth Consortium	ESM	EC-Earth3-CC
(چندین کشور اروپایی)	EC-Earth Consortium	ESM	EC-Earth3-Veg
(چندین کشور اروپایی)	EC-Earth Consortium	ESM	EC-Earth3-Veg-LR
چین	CAS (Institute of Atmospheric Physics)	ESM	FGOALS-f3-L
چین	CAS (Institute of Atmospheric Physics)	ESM	FGOALS-g3
چین	First Institute of Oceanography (MNR)	ESM	FIO-ESM-2-0
ایالات متحده آمریکا	NOAA/GFDL (Laboratory)	AOGCM	GFDL-CM4
ایالات متحده آمریکا	NOAA/GFDL (Laboratory)	ESM	GFDL-ESM4
روسیه	Institute for Numerical Mathematics (INM)	AOGCM	INM-CM4-8
روسیه	Institute for Numerical Mathematics (INM)	AOGCM	INM-CM5-0
فرانسه	Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)	AOGCM	IPSL-CM5A2-INCA
فرانسه	Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)	ESM	IPSL-CM6A-LR

KACE-1-0-G	AOGCM	NIMS-KMA	کره جنوبی
MIROC6	AOGCM	Meteorological Research Institute (MRI)	ژاپن
MPI-ESM1-2-HR	ESM	MPI-M (Max Planck Institute for Meteorology)	آلمان
MPI-ESM1-2-LR	ESM	MPI-M (Max Planck Institute for Meteorology)	آلمان
MRI-ESM2-0	ESM	Meteorological Research Institute (MRI)	ژاپن
NESM3	ESM	NUIST Earth System Model	چین
NorESM2-LM	ESM	NorESM Climate Modeling Consortium	نروژ
NorESM2-MM	ESM	NorESM Climate Modeling Consortium	نروژ
TaiESM1	ESM	Research Center for Environmental Changes (AS-RCEC)	تایوان

پایه تحلیل‌های جامع از تأثیرات اقلیمی، میزان آسیب‌پذیری، و سیاست‌های سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم توصیف می‌شوند (O'Neill et al, 2016). این مجموعه سناریوها، امکان بررسی ساختاری تغییرات اقلیمی در بازه زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۱۰۰ میلادی را فراهم می‌سازد و نشان می‌دهد که با اجرای سیاست‌های سازگار، می‌توان افزایش میانگین دمای جهانی تا سال ۲۱۰۰ را به حدود ۱٫۵ درجه سانتی‌گراد محدود کرد؛ احتمالی که بر اساس برآوردها حدود ۶۶ درصد است (Rogelj et al., 2018).

۴. نتایج و بحث

رشد تغییرات دمای میانگین ایستگاه تبریز

برای ارزیابی دقیق‌تر تغییرات روند دمای میانگین در منطقه مورد مطالعه، از آزمون من کندال جهت تشخیص معناداری روند و از شیب سن برای برآورد شدت آن در بازه‌های زمانی متفاوت استفاده شده است. نتایج آزمون من کندال و شیب سن در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج آزمون، مقدار Kendall's tau (ضریب کندال) برابر ۰/۵۲۰ است که بیانگر روند افزایشی و مقدار S برابر ۶۱۰/۰۰۰ می‌باشد که مثبت بودن آن موید جهت افزایشی روند است. مقدار P-value کمتر از ۰/۰۰۰۱ به دست آمده که به روشنی نشان می‌دهد این روند با اطمینان ۹۹ درصد از نظر آماری معنادار است. ضمن اینکه شیب سن برابر با ۰/۰۴۴ درجه سلسیوس در سال می‌باشد. به صورت کلی در بلندمدت ۵۰ ساله، روند دمای میانگین افزایشی و معنادار بوده است.

بازه عدم قطعیت (P10-P90)

دما عموماً روندی روشن و پیوسته از گرم شدن را نشان می‌دهد. در این میان، شاخص‌های P10 و P90 نقش مهمی ایفا می‌کنند؛ زیرا میزان توافق یا عدم توافق مدل‌های مختلف را درباره تغییرات پیش‌بینی شده برای یک منطقه مشخص نشان می‌دهند. کوچک‌تر بودن فاصله میان مقادیر P10 و P90 بیانگر همگرایی بیشتر میان مدل‌ها و در نتیجه اطمینان بالاتر در برآوردها است. افزون بر این، با گذشت زمان، پراکندگی میان خروجی مدل‌ها افزایش می‌یابد که حاکی از رشد عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها در افق‌های زمانی دورتر است. این افزایش پراکندگی، حاصل ترکیبی از تفاوت‌های ساختاری و فیزیکی بین مدل‌ها و همچنین تغییرپذیری طبیعی اقلیم در مقیاس‌های بین سالانه است (World Bank, 2024).

سناریوهای انتشار SSP

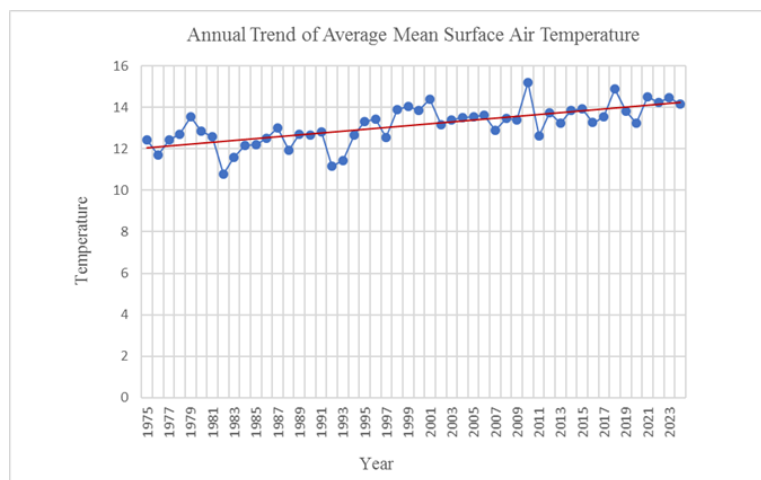
سناریوهای مسیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSP) مجموعه‌ای جدید از سناریوهای انتشار غیر اقلیمی هستند که از مدل‌های جفت شده فاز ششم تغییر اقلیم (CMIP6) و در چارچوب گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (AR6) توسعه یافته‌اند. هدف اصلی این سناریوها، ارائه پیش‌نگری‌هایی از مسیرهای مختلف توسعه اجتماعی-اقتصادی در آینده است. این سناریوها بیانگر تغییرات جایگزین احتمالی در ابعاد گوناگون اجتماعی، از جمله عوامل جمعیتی، اقتصادی، فناورانه، ساختارهای حکمرانی و شرایط محیطی هستند که بر

جدول ۳: نتایج آزمون من - کندال برای بررسی روند دمای میانگین سالانه در بازه زمانی ۱۹۷۵-۲۰۲۴

روند	Sen's slope	alpha	p-value	Var(S)	S	Kendall's tau	بازه زمانی
افزایشی و معنادار	۰/۰۴۴	۰/۰۵	<۰/۰۰۰۱	۱۳۴۵۴/۶۶۷	۶۱۰/۰۰۰	۰/۵۲۰	(۱۹۷۵-۲۰۲۴)

دما از حدود ۱۲ درجه در سال‌های ابتدایی دوره به حدود ۱۴ درجه و بالاتر در دهه‌های اخیر رسیده است. چنین روندی به‌روشنی تغییرات اقلیمی در منطقه تبریز را نشان می‌دهد.

در شکل ۲، نمودار کلی از روند تغییرات دمای میانگین در بازه ۵۰ ساله از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۴ ارائه شده است. در نمودار ترسیم شده یک‌روند افزایشی مشخص دیده می‌شود و مقدار



شکل ۲: روند سالانه تغییرات دمای میانگین هوا در بازه زمانی ۵۰ ساله (۱۹۷۵-۲۰۲۴)

بودن روند را نشان می‌دهد. همچنین مقدار P-value کمتر از ۰/۰۰۰۱ است که کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ بوده و معنادار بودن این روند را در سطح ۹۹ درصد تأیید می‌کند. ضمن اینکه مقدار شیب سن ۰/۰۳۴ به‌دست‌آمده که گویای افزایش تدریجی سالانه در دمای حداقل می‌باشد. در این دوره بلندمدت روند کاملاً افزایشی و معنادار بوده است.

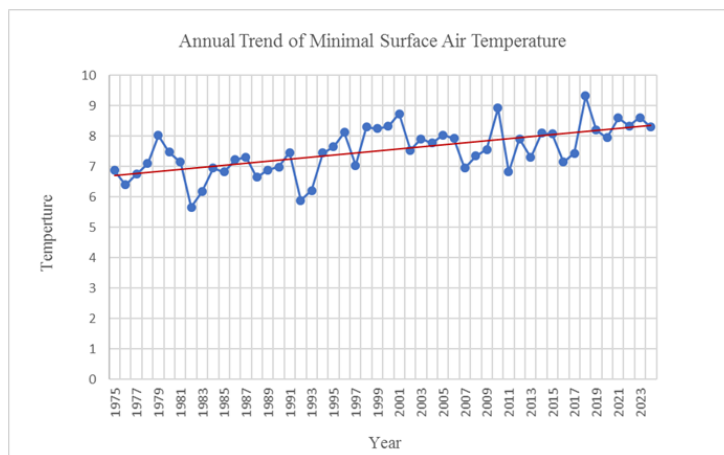
روند تغییرات دمای حداقل

نتایج آزمون من کندال و شیب سن برای تشخیص تغییرات روند دمای حداقل در جدول ۴ ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده در بازه زمانی ۵۰ ساله، مقدار Kendall's tau برابر ۰/۴۴۷ و مقدار S برابر ۵۲۵/۰۰۰ و بوده که افزایشی

جدول ۴: نتایج آزمون من - کندال برای بررسی روند دمای حداقل سالانه در بازه زمانی ۱۹۷۵-۲۰۲۴

روند	Sen's slope	alpha	p-value	Var(S)	S	Kendall's tau	بازه زمانی
افزایشی و معنادار	۰/۰۳۴	۰/۰۵	<۰/۰۰۰۱	۱۳۴۵۳/۶۶۷	۵۲۵/۰۰۰	۰/۴۴۷	(۱۹۷۵-۲۰۲۴)

در شکل ۳ که شامل کل دوره مورد مطالعه است، روند تغییرات دمای حداقل به وضوح افزایشی است. مقدار میانگین دمای حداقل از حدود ۶/۵ تا ۷ درجه سلسیوس به حدود ۸/۵ تا ۹ درجه سانتی گراد در دهه های پایانی رسیده است و خط روند رسم شده نیز دارای شیب مثبت است که این افزایش را تأیید می کند.



شکل ۳: روند سالانه تغییرات دمای حداقل هوا در بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۴

و مقدار S برابر ۶۷۸/۰۰۰ به دست آمده است. مقدار P-value کوچکتر از ۰/۰۰۰۱ و شیب سن برابر ۰/۰۵۸ درجه سلسیوس در سال بوده که حاکی از روند افزایشی و معنادار طی پنج دهه گذشته در ایستگاه سینوپتیک تبریز می باشد.

روند تغییرات دمای حداکثر

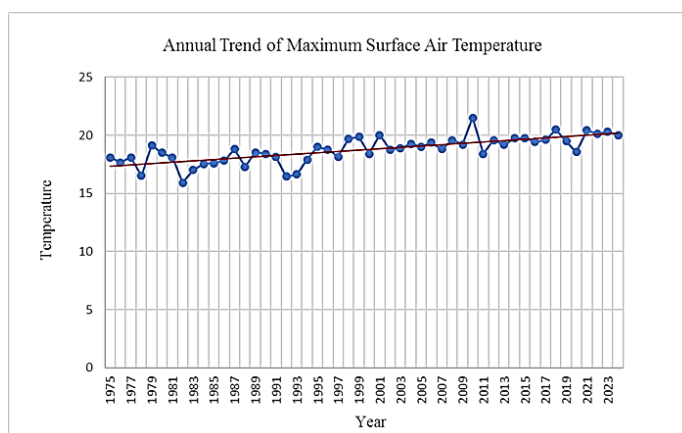
به منظور ارزیابی روند تغییرات دمای حداکثر در ایستگاه سینوپتیک تبریز، نتایج آزمون من کندال و شیب سن در جدول ۵ ارائه شده است. تحلیل آماری این جدول بیانگر آن است که در کل دوره ۵۰ ساله مورد بررسی، ضریب کندال معادل ۰/۵۷۸

جدول ۵: نتایج آزمون من - کندال برای بررسی روند دمای حداکثر سالانه در بازه های زمانی ۱۹۷۵-۲۰۲۴

روند	Sen's slope	alpha	p-value	Var(S)	S	Kendall's tau	بازه زمانی
افزایشی و معنادار	۰/۰۵۸	۰/۰۵	<۰/۰۰۰۱	۱۳۴۵۴/۶۶۷	۶۷۸/۰۰۰	۰/۵۷۸	(۱۹۷۵-۲۰۲۴)

و میانگین دمای حداکثر از حدود ۱۷/۵ درجه به بیش از ۱۹/۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است.

شکل ۴، نمودار کلی روند سالانه دمای حداکثر را در بازه ۵۰ سال نشان می دهد. طبق نمودار، روند مثبت و صعودی است



شکل ۴: روند سالانه تغییرات دمای حداکثر هوا در بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۴

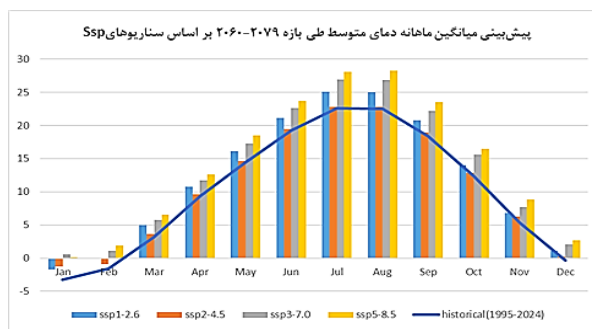
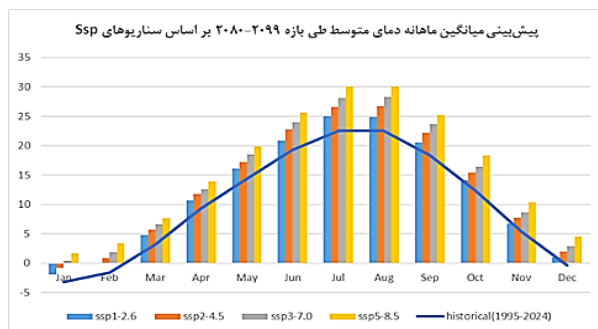
پیش‌نگری تغییرات دمای میانگین در دهه‌های آتی

در جدول ۶ مقادیر پیش‌نمایی‌شده میانگین ماهانه دمای متوسط ایستگاه سینوپتیک تبریز بر حسب درجه سانتی‌گراد برای چهار دوره آینده با استفاده از دوره پایه نشان داده شده است. همچنین نمودارهای مربوطه جهت مقایسه در شکل ۵ آورده شده است. طبق جدول ۶ و شکل ۵، تغییرات دما نه تنها در سطح سالانه، بلکه در سطح ماهانه نیز روند افزایشی دارد. این تغییرات در همه سناریوها مشاهده می‌شود؛ اما شدت آن بسته به دوره زمانی و سناریو متفاوت می‌باشد. این افزایش در سناریو SSP1-2.6 در بیشتر ماه‌ها تا اواسط قرن، در حدود ۰.۵ تا ۱.۵ برآورد شده است. درحالی‌که در سناریو SSP5-8.5 این افزایش می‌تواند تا پایان قرن به ۷ درجه سانتی‌گراد در ماه‌های گرم برسد. بیشترین افزایش دما در فصل زمستان تحت سناریوهای شدید SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به وقوع می‌پیوندد، به‌طوری‌که دمای میانگین در ماه ژانویه و فوریه تا پایان قرن حدود ۴ تا ۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دوره پایه پیش‌بینی می‌شود. این افزایش در سناریوهای ملایم‌تر به

حدود ۱ تا ۲ درجه می‌رسد. در فصل بهار نیز افزایش دما مشهود است، ولی نسبت به زمستان شدت کمتری دارد؛ میانگین افزایش در این فصل برای SSP1-2.6 حدود ۱ تا ۲ درجه و برای SSP5-8.5 بیش از ۵ درجه تا پایان قرن برآورد می‌شود. بیشترین افزایش دما در کل بازه ۸۰ ساله، مربوط به فصل تابستان است. در سناریو SSP5-8.5، افزایش دمای ماه‌های ژوئیه و اوت به بیش از ۷ درجه سانتی‌گراد تا سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی شده است. حتی در سناریوهای انتشار کم نیز تابستان آینده گرم‌تر از گذشته خواهد بود و شاهد افزایش ۲ تا ۳ درجه در این سناریو خواهیم بود. تغییرات پاییز مشابه بهار بوده و الگوی افزایشی ملایمی دارد؛ در سناریوی SSP2-4.5 حدود ۱.۵ تا ۲ درجه و در SSP5-8.5 تا بیش از ۳.۵ درجه افزایش در این فصل برآورد شده است. پس به‌طور کلی اختلاف بین سناریوها در نیمه دوم قرن بیشتر می‌شود؛ به‌ویژه بین SSP1-2.6 و SSP5-8.5 که اختلاف میانگین می‌تواند تا حدود ۵ درجه سلسیوس در ماه‌های گرم برسد.

جدول ۶: تغییرات ماهانه دمای میانگین ایستگاه تبریز طی دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) بر اساس سناریوهای SSP

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
Ssp1-2.6	دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴)	-۳,۲۴	-۱,۵۸	۳,۱۳	۹,۳۱	۱۴,۳۸	۱۹,۲۷	۲۲,۵۷	۲۲,۵۲	۱۸,۳۷	۱۲,۳۱	۵,۴	-۰,۳۴
	۲۰۳۹-۲۰۲۰	-۲,۴۵	-۰,۶	۴,۰۱	۱۰,۳	۱۵,۵۸	۲۰,۴۷	۲۴,۰۸	۲۴,۴	۱۹,۵۸	۱۳,۵۱	۶,۴۳	۰,۴۷
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	-۱,۷۷	-۰,۲۳	۴,۵۱	۱۰,۵۳	۱۶	۲۰,۸۹	۲۴,۷۳	۲۴,۷۴	۲۰,۵۲	۱۳,۹	۶,۷۸	۰,۸۵
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	-۱,۷۲	-۰,۱۳	۴,۵۹	۱۰,۷۷	۱۶,۱۲	۲۱,۱۶	۲۵,۰۷	۲۵,۰۴	۲۰,۸۳	۱۴	۶,۷۸	۱,۰۹
Ssp2-4.5	۲۰۹۹-۲۰۸۰	-۱,۹۴	-۰,۰۱	۴,۸۳	۱۰,۶۸	۱۶,۱	۲۰,۸۵	۲۴,۹۹	۲۴,۸۷	۲۰,۵۳	۱۴,۰۶	۶,۷۷	۰,۹۳
	۲۰۳۹-۲۰۲۰	-۲,۵۶	-۰,۵۵	۴,۰۲	۹,۹۸	۱۵,۶۸	۲۰,۳۷	۲۴,۲۳	۲۴,۰۶	۱۹,۸۱	۱۳,۶	۶,۲۹	۰,۵۴
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	-۱,۸	-۰,۱۳	۴,۸۷	۱۰,۹۸	۱۶,۱۴	۲۱,۲۶	۲۵,۲۵	۲۵,۲۲	۲۰,۸۴	۱۴,۳۸	۶,۹۱	۱,۱۴
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	-۱,۲۵	-۰,۹۶	۳,۶۶	۹,۶۶	۱۴,۶۵	۱۹,۵۱	۲۲,۸۳	۲۲,۸۴	۱۸,۹۴	۱۲,۸۸	۶,۲۵	۰,۲۵
Ssp3-7.0	۲۰۹۹-۲۰۸۰	-۰,۸۸	۰,۸۶	۵,۷۳	۱۱,۷۴	۱۷,۲۶	۲۲,۷۵	۲۶,۶۱	۲۶,۷۱	۲۲,۱۷	۱۵,۴۴	۷,۷۸	۲,۰۲
	۲۰۳۹-۲۰۲۰	-۲,۴۱	-۰,۹۱	۳,۹۴	۱۰,۰۷	۱۵,۴۴	۲۰,۴۷	۲۴,۱۶	۲۴,۰۹	۱۹,۷۷	۱۳,۳۲	۶,۰۲	۰,۳۷
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	-۱,۴۱	۰,۲۵	۴,۶۵	۱۰,۸۱	۱۶,۲۶	۲۱,۴۳	۲۵,۳۷	۲۵,۵	۲۱,۰۱	۱۴,۱۸	۷,۰۶	۰,۹۴
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	-۰,۵۶	۱,۱۴	۵,۷۳	۱۱,۷۷	۱۷,۲۶	۲۲,۶۷	۲۶,۹۵	۲۶,۹	۲۲,۲۲	۱۵,۵۸	۷,۷۱	۲,۱۱
Ssp5-8.5	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۰,۴۱	۱,۹۲	۶,۶۳	۱۲,۶۳	۱۸,۵۵	۲۳,۹۶	۲۸,۰۸	۲۸,۳۳	۲۳,۶۷	۱۶,۴۳	۸,۶۲	۲,۹۳
	۲۰۳۹-۲۰۲۰	-۲,۲۳	-۰,۵۶	۴,۲۶	۱۰,۳۳	۱۵,۶	۲۰,۶۸	۲۴,۴۷	۲۴,۵۷	۲۰,۲۲	۱۳,۷۷	۶,۴	۰,۸
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	-۱,۲۵	۰,۵۵	۵,۱۶	۱۱,۴۸	۱۶,۸۳	۲۱,۹۷	۲۵,۹۸	۲۶,۱	۲۱,۷۶	۱۴,۸۵	۷,۷۷	۱,۷۱
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۰,۱۵	۱,۹۳	۶,۵۴	۱۲,۶۳	۱۸,۴۸	۲۳,۶۵	۲۸,۰۸	۲۸,۲۴	۲۳,۴۹	۱۶,۴۹	۸,۸۵	۲,۷۱
Ssp5-8.5	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۱,۶۸	۳,۳۷	۷,۶۷	۱۳,۹۲	۱۹,۸۹	۲۵,۶۳	۳۰,۰۳	۳۰,۰۳	۲۵,۱۹	۱۸,۳۵	۱۰,۳۷	۴,۵



شکل ۵: نمودار تغییرات ماهانه دمای میانگین ایستگاه تبریز در دوره‌های مختلف آتی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه بر اساس

سناریوهای SSP

یعنی افزایشی در حدود ۴,۷۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه برآورد شده است؛ همچنین بازه عدم قطعیت در پایان قرن با مقادیر ۱۳,۹۳ تا ۱۴,۹۳ می باشد که گسترده تر از سناریوی قبلی است. در سناریو SSP5-8.5، شدیدترین تغییرات مشاهده می شود. در این سناریو، میانگین دمای سالانه از ۱۱,۵۸ درجه در دوره اول به ۱۶,۰۴ درجه سلسیوس در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ افزایش می یابد. این مقدار نشان دهنده افزایش حدود ۴,۴۶ درجه نسبت به دوره پایه است. دامنه تغییرات صدک دهم و صدک نودم نیز از ۱۵,۲۹ درجه تا ۱۶,۸۵ درجه متغیر است که حاکی از عدم قطعیت بالا، ولی روند افزایشی قطعی می باشد؛ بنابراین، به طور کلی در سناریوی SSP1-2.6 افزایش حدود ۲ درجه و در سناریوی SSP5-8.5 افزایش تا بیش از ۶ درجه سلسیوس ادامه می یابد. نمودار ۶ روند تغییرات پیش بینی شده دمای میانگین در جدول ۷ را به صورت گرافیکی نمایش می دهد و به درک بهتر نتایج فوق کمک می کند

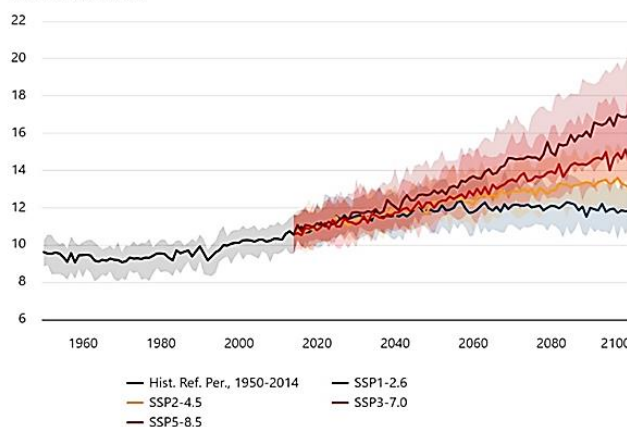
در جدول ۷، نتایج حاصل از مدل همدادی نسب به دوره پایه (۱۹۵۰-۲۰۱۴) نشان می دهد که میانگین دمای سالانه در ایستگاه تبریز طی دوره پایه برابر با ۹,۶۵ درجه سانتی گراد بوده است. در سناریو SSP1-2.6، دما به ۱۱,۴۰ درجه در دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰ می رسد که نشان دهنده افزایشی حدود ۱,۷۵ درجه ای است. در دوره های بعدی این روند کمی ادامه پیدا کرده و در ۲۰۶۰-۲۰۷۹ به ۱۲,۰۳ درجه می رسد. با این حال، در دوره پایانی، کاهش جزئی مشاهده می شود؛ یعنی دما به ۱۱,۹۷ درجه می رسد. در سناریو SSP2-4.5 دمای سالانه از ۱۱,۳۶ درجه در دوره اول به ۱۳,۲۷ درجه سانتی گراد در دوره آخر افزایش می یابد. همچنین بازه تغییرات صدک دهم و صدک نودم در ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بین ۱۳,۰۸ و ۱۳,۴۴ است؛ یعنی اختلافی در حدود ۰,۳۶ درجه بین بالاترین و پایین ترین مقدار در طی بازه ۲۰ ساله وجود دارد که بیانگر پایداری و همگرایی نسبی مدل ها می باشد. در سناریو SSP3-7.0 افزایش دما بسیار چشمگیرتر می باشد به طوری که میانگین دما از ۱۱,۲۷ درجه در دوره اول به ۱۴,۴۰ درجه در دوره پایانی رسیده است؛

جدول ۷: تغییرات پیش بینی شده سالانه دمای میانگین و بازه تغییرات (P10-P90) در ایستگاه تبریز تحت سناریوهای مختلف SSP در مقایسه با دوره پایه (۱۹۵۰-۲۰۱۴)

سناریو	دوره	سالانه	صدک دهم (P10)	صدک نودم (P90)
Ssp1-2.6	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۱۱,۴۰	۱۱,۰۱	۱۱,۵۹
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۱۱,۸۷	۱۱,۶۰	۱۲,۱۴
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۱۲,۰۳	۱۱,۸۴	۱۲,۱۸
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۱۱,۹۷	۱۱,۷۷	۱۲,۲۱
Ssp2-4.5	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۱۱,۳۶	۱۱,۰۲	۱۱,۶۵
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۱۲,۱۳	۱۱,۷۰	۱۲,۴۴
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۱۲,۷۶	۱۲,۵۵	۱۳
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۱۳,۲۷	۱۳,۰۸	۱۳,۴۴
Ssp3-7.0	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۱۱,۲۷	۱۰,۹۶	۱۱,۶۰
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۱۲,۲۴	۱۱,۷۸	۱۲,۶۱
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۱۳,۳۳	۱۲,۷۲	۱۳,۷۱
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۱۴,۴۰	۱۳,۹۳	۱۴,۹۳

۱۱,۹۴	۱۱,۱۱	۱۱,۵۸	۲۰۳۹-۲۰۲۰	Ssp5-8.5
۱۳,۳۹	۱۲,۳۵	۱۲,۷۸	۲۰۵۹-۲۰۴۰	
۱۴,۷۶	۱۳,۶۸	۱۴,۳۵	۲۰۷۹-۲۰۶۰	
۱۶,۸۵	۱۵,۳۹	۱۶,۰۴	۲۰۹۹-۲۰۸۰	
۱۰,۲۸	۹,۱۷	۹,۶۵	۲۰۱۴-۱۹۵۰	دوره پایه

Projected Average Mean Surface Air Temperature
East Azarbayejan, Islamic Republic of Iran; (Ref. Period: 1995-2014), Multi-Model Ensemble



شکل ۶: مقایسه روند تغییرات پیش‌بینی شده سالانه دمای میانگین ایستگاه تبریز در سناریوهای مختلف SSP نسبت به دوره پایه (۱۹۵۰-۲۰۱۴)

پیش‌نگری تغییرات دمای حداقل در دهه‌های آتی

بر اساس خروجی مدل همدادی در قالب چهار سناریوی انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 و در مقایسه با دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴)، تغییرات ماهانه دمای حداقل ایستگاه تبریز طی چهار دوره آینده (۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۴۰-۲۰۵۹ و ۲۰۶۰-۲۰۷۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) بررسی شد و نتایج آن در جدول ۸ و نمودار ۷ قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد که همانند دمای میانگین، روندی افزایشی در تمامی سناریوها و دوره‌ها وجود دارد. در سناریوی خوش‌بینانه SSP1-2.6 افزایش‌ها عمدتاً در محدوده یک تا دو درجه سلسیوس باقی می‌ماند و نوسان‌های چندانی در طول قرن دیده نمی‌شود. در مقابل، سناریوی شدید SSP5-8.5 بیشترین گرمایش را نشان می‌دهد؛ به‌طوری که در پایان قرن دمای حداقل در برخی ماه‌های تابستان و پاییز تا بیش از هفت درجه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. سناریوهای

میان SSP2-4.5 و SSP3-7.0 نیز تغییراتی بینابینی را ثبت کرده‌اند و مقادیر افزایشی آنها در نیمه دوم قرن به حدود سه تا پنج درجه می‌رسد. در دوره پایه، دماهای حداقل زمستانی بسیار پایین بوده است (ژانویه: ۷,۶-، فوریه: ۶,۱-، دسامبر: ۴,۷-). در SSP5-8.5 دوره پایانی (۲۰۸۰-۲۰۹۹)، این مقادیر به ۲,۷-، ۱,۵- و ۰,۳- می‌رسند. یعنی افزایش حدود ۴ تا ۵ درجه نسبت به دوره پایه برآورد شده است. همچنین بیشترین گرمایش زمستانی در ژانویه و فوریه مشاهده می‌شود. در دوره پایه فصل بهار، مارس ۱,۹- بوده؛ ولی در پایان قرن در سناریو SSP5-8.5 به ۲,۳ می‌رسد؛ یعنی گرمایش بیش از ۴ درجه سلسیوس خواهد بود. آوریل و می نیز روند افزایشی دارند؛ در SSP5-8.5 تا ۸,۲ و ۱۳,۶ درجه که نسبت به پایه حدود ۴,۵ تا ۵,۲ درجه گرم‌تر هستند. روند تغییرات در تابستان صعودی است و شدت آن متناسب با سناریوی انتشار افزایش می‌یابد. کمترین تغییر مربوط به SSP1-2.6 حدود ۲

محسوس‌تر از سناریو قبلی و در حدود ۳,۵ تا ۴ درجه، در سناریو SSP3-7.0 افزایش نسبت به دوره پایه ۵ تا ۶ درجه و شدیدترین گرمایش پاییزی در کل سناریوها متعلق به سناریو SSP5-8.5 که مقادیر آن نسبت به دوره پایه در حدود ۶,۵ تا ۷,۵ درجه برآورد شده است.

درجه و بیشترین تغییر در SSP5-8.5 تا حدود ۷,۵ درجه است. بیشترین گرمایش تابستانی در ماه‌های جولای و آگوست رخ می‌دهد. میانگین دمای حداقل در دوره پایه در پاییز برابر با ۱۱,۵ درجه در سپتامبر، ۶,۴ درجه در اکتبر و ۰,۵ درجه در نوامبر بوده است. در سناریو SSP1-2.6 افزایش نسبت به پایه حدود ۲ تا ۱,۵ درجه، در سناریو SSP2-4.5 روند افزایش

جدول ۸: تغییرات ماهانه دمای حداقل ایستگاه تبریز طی دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) بر اساس سناریوهای SSP

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴)													
Ssp1-2.6	۲۰۳۹-۲۰۲۰	-۶,۷	-۵,۱	-۱	۴,۷	۹,۵	۱۳,۸	۱۷,۱	۱۷,۲	۱۲,۹	۷,۵	۱,۵	-۳,۸
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	-۶,۱	-۴,۸	-۰,۷	۴,۹	۹,۹	۱۴,۲	۱۷,۷	۱۷,۶	۱۳,۴	۷,۹	۱,۸	-۳,۵
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	-۵,۹	-۴,۶	-۰,۶	۵,۱	۱۰	۱۴,۴	۱۷,۹	۱۷,۸	۱۳,۸	۸	۱,۸	-۳,۴
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	-۶,۲	-۴,۶	-۰,۳	۵,۱	۱۰	۱۴,۱	۱۷,۹	۱۷,۶	۱۳,۵	۸	۱,۷	-۳,۴
Ssp2-4.5	۲۰۳۹-۲۰۲۰	-۶,۸	-۵	-۱	۴,۴	۹,۶	۱۳,۷	۱۷,۲	۱۶,۹	۱۲,۹	۷,۶	۱,۳	-۳,۸
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	-۶,۲	-۴,۶	۰,۳	۵,۳	۱۰,۲	۱۴,۵	۱۸,۲	۱۸	۱۳,۸	۸,۴	۱,۹	-۳,۲
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	-۵,۶	-۳,۷	۰	۵,۶	۱۰,۵	۱۵,۴	۱۸,۷	۱۸,۹	۱۴,۷	۹,۱	۲,۵	-۲,۸
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	-۵,۳	-۳,۹	۰,۴	۶	۱۱,۱	۱۵,۹	۱۹,۵	۱۹,۴	۱۵,۱	۹,۲	۲,۷	-۲,۴
Ssp3-7.0	۲۰۳۹-۲۰۲۰	-۶,۶	-۵,۵	-۱,۲	۴,۵	۹,۴	۱۳,۸	۱۷,۲	۱۷,۱	۱۲,۹	۷,۴	۱,۱	-۴
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	-۵,۷	-۴,۳	-۰,۵	۵,۱	۱۰,۳	۱۴,۷	۱۸,۴	۱۸,۳	۱۴	۸,۳	۲,۱	-۳,۴
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	-۵	-۳,۵	۰,۵	۶	۱۱,۲	۱۵,۸	۱۹,۶	۱۹,۷	۱۵,۲	۹,۵	۲,۸	-۲,۳
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	-۴	-۲,۸	۱,۳	۶,۸	۱۲,۲	۱۷,۱	۲۱	۲۱,۱	۱۶,۵	۱۰,۲	۳,۷	-۱,۵
Ssp5-8.5	۲۰۳۹-۲۰۲۰	-۶,۶	-۵,۱	-۰,۸	۴,۷	۹,۶	۱۴	۱۷,۵	۱۷,۴	۱۳,۳	۷,۸	۱,۵	-۳,۶
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	-۵,۵	-۴	۰	۵,۸	۱۰,۷	۱۵,۳	۱۸,۹	۱۸,۹	۱۴,۸	۸,۹	۲,۶	-۲,۷
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	-۴,۳	-۲,۷	۱	۶,۹	۱۲,۲	۱۶,۹	۲۰,۸	۲۰,۹	۱۶,۴	۱۰,۴	۳,۶	-۱,۹
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	-۲,۷	-۱,۵	۲,۳	۸,۲	۱۳,۶	۱۸,۶	۲۲,۷	۲۳	۱۸,۲	۱۲,۳	۵,۲	-۰,۳



شکل ۷: نمودار تغییرات ماهانه دمای حداقل ایستگاه تبریز در دوره‌های مختلف آتی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای SSP

به ۷,۴۲ درجه در پایان قرن می‌رسد؛ یعنی افزایشی حدود ۳,۴ درجه نسبت به پایه پیش‌بینی شده است. بازه عدم قطعیت در دوره پایانی بین ۷,۲۴ تا ۷,۶۱ است که نشان‌دهنده قطعیت بالا در پیش‌بینی روند افزایشی در این سناریو است. در سناریو SSP3-7.0، افزایش دما شدیدتر است. میانگین دما از ۵,۵۸ درجه سلسیوس در دوره اول به ۸,۵۲ درجه سلسیوس در پایان قرن می‌رسد که نسبت به پایه، افزایشی حدود ۴,۵ درجه به حساب می‌آید. بازه عدم قطعیت در دوره پایانی بین ۸,۱۵ تا ۸,۹۸ می‌باشد که گسترده‌تر از سناریوی قبلی است. مشابه دمای میانگین، در سناریو SSP5.8.5، بیشترین افزایش دما دیده می‌شود. میانگین دما از ۵,۸۴ درجه در دوره اول به ۹,۹۹ درجه سلسیوس در دوره پایانی می‌رسد که حدود ۶ درجه

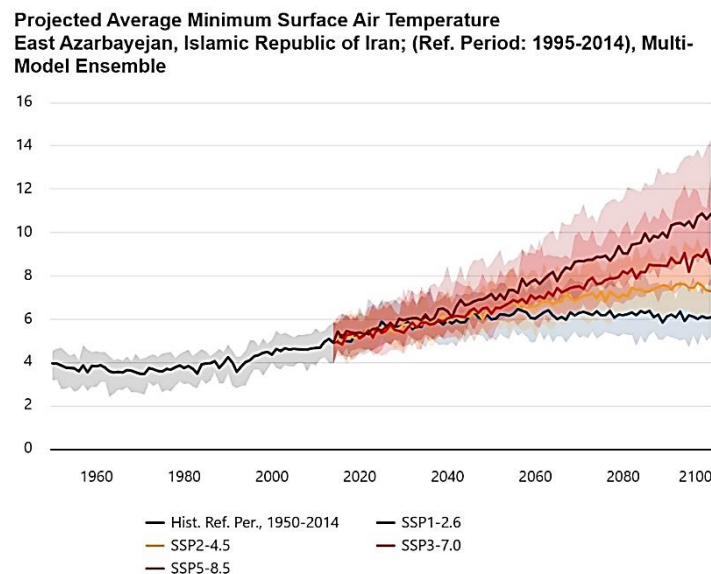
مطابق نتایج جدول ۹، در دوره پایه میانگین دمای حداقل برابر با ۴,۰۱ درجه سانتی‌گراد بوده است که مقایسه این مقدار با دماهای پیش‌بینی شده در سناریوهای مختلف نشان‌دهنده افزایش دما در دهه‌های آتی است. در سناریو SSP1-2.6 مقدار دما در دوره اول ۵,۶۶ بوده که در دوره پایانی به ۶,۱۶ درجه سانتی‌گراد رسیده و افزایشی حدود ۲ درجه نسبت به دوره پایه داشته است. ضمن اینکه بازه تغییرات دهک دهم و دهک صدم در دوره پایانی، بین ۶ تا ۶,۳۵ درجه می‌باشد که نشان‌دهنده پایداری بالا و همگرایی میان مدل‌ها است. به‌طور کلی در این سناریو افزایش محدود و ملایم دیده می‌شود. در سناریوی SSP2-4.5، روند افزایش دما آشکارتر است. مقدار میانگین از ۵,۶۵ درجه سلسیوس در نخستین دوره

از سناریوهای قبلی است به طوری که هرچه سناریو انتشار بالاتر، میزان گرمایش و عدم قطعیت افزایش می یابد. به منظور روشن تر شدن نتایج جدول ۹، نمودار ۸ ترسیم شده که تغییرات برآورد شده سالانه دمای حداقل را در سناریوهای مختلف به صورت تصویری نشان می دهد.

بیشتر از دوره پایه است. بازه تغییرات صدک دهم و نودم در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نیز بین ۹,۴۰ تا ۱۰,۶۳ قرار دارد که بیانگر افزایش شدید در شرایط انتشار حداکثری است؛ بنابراین به طور کلی افزایش دما در سناریو SSP1-2.6 در حدود ۲ درجه تا ۶ درجه در سناریو SSP5-8.5 متغیر است و بازه عدم قطعیت در سناریوهای SSP3-0.7 و SSP5-8.5 گسترده تر

جدول ۹: تغییرات پیش نمایی شده سالانه دمای حداقل و بازه تغییرات (P10-P90) در ایستگاه تبریز تحت سناریوهای مختلف SSP در مقایسه با دوره پایه (۱۹۵۰-۲۰۱۴)

سناریو	دوره	سالانه	صدک دهم (P10)	صدک نودم (P90)
Ssp1-2.6	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۵,۶۶	۵,۴۱	۵,۸۸
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۶,۱۱	۵,۸۵	۶,۳۵
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۶,۲۰	۶,۰۲	۶,۳۶
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۶,۱۶	۶	۶,۳۵
Ssp2-4.5	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۵,۶۵	۵,۴	۵,۹۴
	دوره	سالانه	صدک دهم (P10)	صدک نودم (P90)
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۶,۳۶	۵,۹۸	۶,۶۷
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۶,۹۵	۶,۷۰	۷,۲۱
Ssp3-7.0	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۷,۴۲	۷,۲۴	۷,۶۱
	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۵,۵۸	۵,۲۴	۵,۸۶
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۶,۴۸	۶,۰۹	۶,۸۸
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۷,۴۸	۷,۰۵	۷,۸۸
Ssp5-8.5	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۸,۵۲	۸,۱۵	۸,۹۸
	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۵,۸۴	۵,۳۹	۶,۲۳
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۷,۰۰	۶,۵۴	۷,۵۶
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۸,۴۶	۷,۸۲	۸,۹۳
دوره پایه	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۹,۹۹	۹,۴	۱۰,۶۳
	۲۰۱۴-۱۹۵۰	۴,۰۱	۳,۵۵	۴,۶۴



شکل ۸: مقایسه روند تغییرات پیش‌بینی شده سالانه دمای حداقل ایستگاه تبریز در سناریوهای مختلف SSP نسبت به دوره پایه (۱۹۵۰-۲۰۱۴)

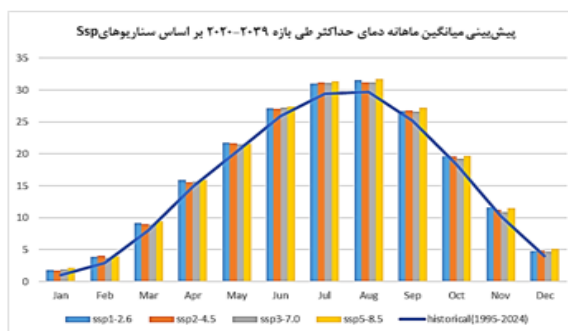
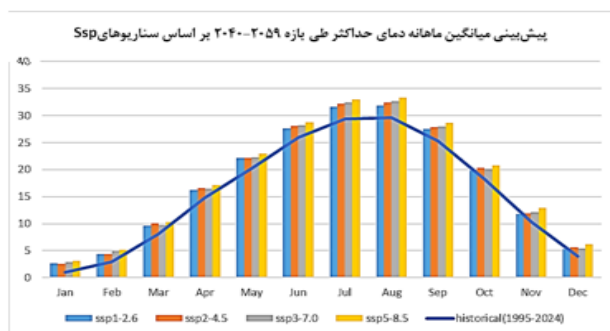
۸.۵ افزایش تا بیش از ۵ درجه تا پایان قرن مشاهده می‌شود. افزایش دمای بهاره می‌تواند اثرات مستقیم بر رشد گیاهان زراعی و باغی و همچنین تغییر زمان آغاز فصل زراعی داشته باشد. بیشترین تغییرات دمای حداکثر مربوط به تابستان است. در سناریوی SSP5-8.5، افزایش دمای ماه‌های ژوئیه و اوت تا پایان قرن به بیش از ۸ درجه سلسیوس می‌رسد. حتی در سناریوهای میانه مانند SSP2-4.5 نیز افزایش تابستانه بین ۳ تا ۴ درجه خواهد بود. افزایش دمای حداکثر در فصل پاییز در حدود ۲ درجه در سناریو SSP1-2.6 و تا حدود ۶.۷ درجه سلسیوس در سناریو SSP5-8.5 برآورد می‌شود. در SSP5-8.5، بیشترین میزان گرمایش ثبت شده است، به‌طوری که در تابستان افزایش بیش از ۸ درجه سلسیوس و در زمستان بیش از ۵ درجه پیش‌بینی می‌شود. به‌طور کلی تابستان بیشترین حساسیت را به گرمایش دارد و بیشترین تغییرات در ماه‌های ژوئیه و اوت رخ خواهد داد و کمترین تغییرات مربوط به زمستان خواهد بود.

پیش‌نمایی تغییرات دمای حداکثر در دهه‌های آتی

تغییرات ماهانه دمای حداکثر ایستگاه تبریز طی چهار دوره آینده از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۹ و با مقایسه با دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) در قالب چهار سناریوی انتشار (SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP5-8.5)، در جدول ۱۰ و در شکل ۹ نمودار مربوطه نشان داده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که مشابه با روند دمای میانگین و حداقل، دمای حداکثر نیز در تمام سناریوها و ماه‌ها افزایش خواهد یافت، اما شدت گرمایش در دمای حداکثر چشمگیرتر است. این افزایش در سناریوی SSP1-2.6 به طور متوسط بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد تا اواسط قرن است، در حالی که در سناریوی SSP5-8.5 افزایش دمای حداکثر در تابستان می‌تواند تا پایان قرن به بیش از ۶ تا ۸ درجه سانتی‌گراد برسد. به طور متوسط تحت سناریو SSP5-8.5 دمای ژانویه و فوریه تا پایان قرن ۵ تا ۵.۷ درجه بالاتر از دوره پایه خواهد بود. در فصل بهار افزایش دمای حداکثر محسوس است. تحت سناریو SSP1-2.6، این افزایش حدود ۱.۵ تا ۲ درجه است، اما تحت سناریو SSP5-8.5

جدول ۱۰: تغییرات ماهانه دمای حداکثر ایستگاه تبریز طی دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) بر اساس سناریوهای SSP

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
	دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴)	۱,۰۵	۲,۹۲	۸,۰۸	۱۴,۸۳	۲۰,۳۲	۲۵,۹۶	۲۹,۴۴	۲۹,۵۶	۲۵,۲۳	۱۸,۲۴	۱۰,۳۲	۴,۰۲
Ssp1-2.6	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۱,۸۲	۳,۸۵	۹,۱۴	۱۵,۹	۲۱,۷۱	۲۷,۱۴	۳۱,۰۲	۳۱,۵۵	۲۶,۷۱	۱۹,۵۶	۱۱,۶	۴,۷۷
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۲,۶۱	۴,۴۱	۹,۶۱	۱۶,۲۳	۲۲,۱۵	۲۷,۶۵	۳۱,۶۶	۳۱,۸۷	۲۷,۴۵	۱۹,۸۸	۱۱,۷۳	۵,۲۲
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۲,۶۱	۴,۴۳	۹,۷۷	۱۶,۳۹	۲۲,۲۸	۲۷,۸۶	۳۲,۱۴	۳۲,۲۲	۲۷,۷۴	۲۰,۰۴	۱۱,۸۷	۵,۶۵
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۲,۴۴	۴,۵۷	۹,۸۴	۱۶,۳۴	۲۲,۱۶	۲۷,۶۳	۳۲	۳۲,۰۴	۲۷,۵۲	۲۰,۰۱	۱۱,۸	۵,۳۱
Ssp2-4.5	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۱,۷۱	۴,۰۲	۹	۱۵,۵۸	۲۱,۶۶	۲۷	۳۱,۱۴	۳۱,۱۸	۲۶,۷۳	۱۹,۵۶	۱۱,۲۱	۴,۸۸
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۲,۵	۴,۳۷	۱۰,۰۲	۱۶,۵۸	۲۲,۱۹	۲۸,۰۶	۳۲,۱۷	۳۲,۴۱	۲۷,۸۹	۲۰,۳۶	۱۱,۹۱	۵,۵۹
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۳,۱۷	۵,۴۳	۱۰,۳۳	۱۶,۹۳	۲۲,۶۹	۲۸,۹۸	۳۲,۹۸	۳۳,۱۵	۲۸,۵۸	۲۰,۹۸	۱۲,۶۹	۶,۰۲
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۳,۶۸	۵,۷	۱۰,۹۷	۱۷,۴۶	۲۳,۳۶	۲۹,۵۶	۳۳,۶۷	۳۳,۹۴	۲۹,۱۹	۲۱,۵۳	۱۲,۹۳	۶,۶۱
Ssp3-7.0	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۱,۹	۳,۶۵	۸,۹۳	۱۵,۶۷	۲۱,۴۶	۲۷,۱۸	۳۱,۰۹	۳۱,۱۴	۲۶,۵۶	۱۹,۲۵	۱۰,۹۱	۴,۷۱
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۲,۸۸	۴,۹۴	۹,۷۵	۱۶,۴۷	۲۲,۲۸	۲۸,۱۸	۳۲,۴۲	۳۲,۶۳	۲۸	۲۰,۱۱	۱۲,۰۹	۵,۴
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۳,۹	۵,۹۶	۱۱,۱	۱۷,۶۱	۲۳,۳۸	۲۹,۵	۳۳,۵۶	۳۴,۱۶	۲۹,۱۳	۲۱,۶۱	۱۲,۷۶	۶,۴۸
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۴,۷۶	۶,۷۹	۱۱,۸۴	۱۸,۴۸	۲۴,۷۹	۳۰,۶۹	۳۵,۰۶	۳۵,۵۵	۳۰,۶	۲۲,۴۶	۱۳,۷۲	۷,۶۳
Ssp5-8.5	۲۰۳۹-۲۰۲۰	۲,۱۶	۳,۹۲	۹,۴۷	۱۵,۸۷	۲۱,۵۴	۲۷,۴۱	۳۱,۳۹	۳۱,۷	۲۷,۲۱	۱۹,۷۱	۱۱,۴۹	۵,۱۴
	۲۰۵۹-۲۰۴۰	۳,۱۲	۵,۱۲	۱۰,۳	۱۷,۰۸	۲۲,۹۶	۲۸,۷۲	۳۳	۳۳,۳۴	۲۸,۶۷	۲۰,۷۸	۱۲,۸۷	۶,۱۳
	۲۰۷۹-۲۰۶۰	۴,۴۴	۶,۵۷	۱۱,۸۹	۱۸,۳۹	۲۴,۷۲	۳۰,۴۸	۳۵,۳۲	۳۵,۵۳	۳۰,۵۲	۲۲,۶۴	۱۳,۸۹	۷,۳
	۲۰۹۹-۲۰۸۰	۶,۱۲	۸,۶۱	۱۳,۱۹	۱۹,۸۲	۲۶,۱۶	۳۲,۵۹	۳۷,۲۴	۳۷,۶۹	۳۲,۲	۲۴,۲۶	۱۵,۶۶	۹,۲۵





شکل ۹: نمودار تغییرات ماهانه دمای حداکثر ایستگاه تبریز

در دوره‌های مختلف آتی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای SSP

بازه عدم قطعیت در پایان این دوره بین ۱۹,۷۶ تا ۲۰,۷۴ است که گسترده‌تر از سناریوی میانه می‌باشد. بیشترین تغییرات مربوط به سناریو SSP5-8.5 است. میانگین دما از ۱۷,۲۹ درجه سلسیوس در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ به ۲۲ درجه سلسیوس در پایان قرن می‌رسد؛ یعنی حدود ۶,۷ درجه سانتی‌گراد بیشتر از پایه پیش‌بینی شده است. بازه تغییرات دهک دهم و نودم در دوره آخر بین ۲۱,۰۶ تا ۲۲,۸۷ درجه سلسیوس می‌باشد که نشان‌دهنده دامنه بالای عدم قطعیت و در عین حال افزایش قطعی و شدید دما است؛ بنابراین در همه سناریوها روند صعودی نسبت به دوره پایه حتمی است و به‌طور کلی افزایش دما نسبت به دوره پایه در سناریو SSP1-2.6، در حدود ۲,۵ درجه و در SSP5-8.5 در حدود ۶,۷ درجه متغیر است.

نمودار ۱۰، مربوط به داده‌ها و تحلیل‌های جدول ۱۱ بوده و همان روندها را در قالب بصری ارائه می‌نماید.

در جدول ۱۱ نتایج تغییرات پیش‌بینی شده سالانه دمای حداکثر آورده شده است. مطابق نتایج جدول، مقدار میانگین دما در دوره پایه برابر با ۱۵,۲۹ درجه می‌باشد. مقایسه این مقدار با پیش‌بینی‌های انجام شده در سناریوهای SSP، بیانگر روند صعودی در همه سناریوها تا سال ۲۹۰۰ می‌باشد. در سناریو SSP1-2.6، میانگین دما از ۱۷,۱۴ در ۲۰۲۰-۲۰۳۹ به ۱۷,۸۳ درجه سانتی‌گراد در ۲۰۶۰-۲۰۷۹ می‌رسد. در دوره پایانی مقدار دما، ۱۷,۷۶ درجه پیش‌بینی می‌شود. بازه تغییرات صدک دهم و نودم در انتهای قرن بین ۱۷,۵۱ تا ۱۸,۰۵ قرار دارد که بیانگر همگرایی مدل‌ها و قطعیت بالا در این مسیر است. در سناریو SSP2-4.5 مقدار میانگین از ۱۷,۰۶ درجه سلسیوس در نخستین دوره به ۱۹,۱۰ درجه سانتی‌گراد در پایان قرن می‌رسد؛ یعنی افزایشی حدود ۳,۸ درجه نسبت به دوره پایه برآورد شده است. در سناریو SSP3-0.7، افزایش دما شدت بیشتری می‌گیرد. میانگین از ۱۶,۹۹ درجه در دوره نخست به ۲۰,۳۱ درجه در پایان قرن می‌رسد. این مقدار حدود ۵ درجه سلسیوس بیشتر از دوره پایه است.

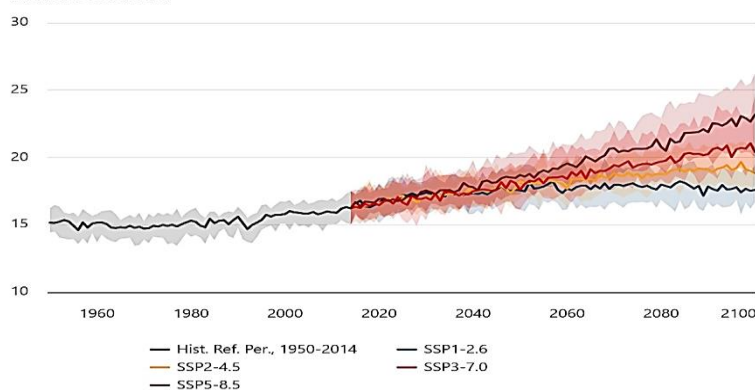
جدول ۱۱: تغییرات پیش‌نهایی شده سالانه دمای حداکثر و بازه تغییرات (P10-P90) در ایستگاه تبریز تحت سناریوهای مختلف SSP

مقایسه با دوره پایه (۱۹۵۰-۲۰۱۴)

سناریو	دوره	سالانه	صدک دهم (P10)	صدک نودم (P90)
	۲۰۲۰-۲۰۳۹	۱۷,۱۴	۱۶,۸۰	۱۷,۳۳
	۲۰۴۰-۲۰۵۹	۱۷,۶۳	۱۷,۳۵	۱۸,۰۴

۱۸	۱۷,۶۴	۱۷,۸۳	۲۰۷۹-۲۰۶۰	Ssp1-2.6
۱۸,۰۵	۱۷,۵۱	۱۷,۷۶	۲۰۹۹-۲۰۸۰	
۱۷,۳۲	۱۶,۶۹	۱۷,۰۶	۲۰۳۹-۲۰۲۰	Ssp2-4.5
۱۸,۲۴	۱۷,۴۱	۱۷,۸۷	۲۰۵۹-۲۰۴۰	
۱۸,۸۱	۱۸,۳۱	۱۸,۵۴	۲۰۷۹-۲۰۶۰	
۱۹,۲۶	۱۸,۹۱	۱۹,۱۰	۲۰۹۹-۲۰۸۰	
۱۷,۳۷	۱۶,۵۷	۱۶,۹۹	۲۰۳۹-۲۰۲۰	Ssp3-7.0
۱۸,۵۲	۱۷,۵۵	۱۸,۰۲	۲۰۵۹-۲۰۴۰	
۱۹,۵۳	۱۸,۶۳	۱۹,۱۶	۲۰۷۹-۲۰۶۰	
۲۰,۷۴	۱۹,۷۶	۲۰,۳۱	۲۰۹۹-۲۰۸۰	
۱۷,۶۰	۱۶,۸۳	۱۷,۲۹	۲۰۳۹-۲۰۲۰	Ssp5-8.5
۱۹,۱۵	۱۸,۰۸	۱۸,۵۶	۲۰۵۹-۲۰۴۰	
۲۰,۷۰	۱۹,۵۳	۲۰,۲۵	۲۰۷۹-۲۰۶۰	
۲۲,۸۷	۲۱,۰۶	۲۲,۰۰	۲۰۹۹-۲۰۸۰	
۱۵,۷۷	۱۴,۷۸	۱۵,۲۹	۲۰۱۴-۱۹۵۰	دوره پایه

Projected Average Maximum Surface Air Temperature
East Azarbayejan, Islamic Republic of Iran; (Ref. Period: 1995-2014), Multi-Model Ensemble



شکل ۱۰: مقایسه روند تغییرات پیش‌بینی شده سالانه دمای حداکثر ایستگاه تبریز در سناریوهای مختلف SSP نسبت به دوره پایه (۱۹۵۰-۲۰۱۴)

۵. نتیجه‌گیری

روندی که نه‌تنها در مقیاس میانگین سالانه بلکه در حداقل‌ها و حداکثرها نیز قابل‌مشاهده بوده است، افزایش تدریجی میانگین‌ها در کنار کاهش شدت سرما و تعدیل کمینه‌های بسیار سرد، دلالت بر گرم‌تر شدن کلی اقلیم منطقه دارد. نتایج نشان داد که الگوی تغییرات دمایی تبریز طی نیم‌قرن اخیر افزایشی بوده و در آینده نیز، تحت همه سناریوها، روند صعودی خود را ادامه خواهد داد. شدت این تغییرات در فصول

این پژوهش با هدف تحلیل تغییرات دمایی در ایستگاه سینوپتیک تبریز طی نیم‌قرن گذشته و پیش‌بینی روندهای آینده بر پایه خروجی مدل‌های اقلیمی نسل ششم (CMIP6) و سناریوهای مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک (SSP) انجام شد. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که تبریز در نیم‌قرن اخیر تجربه روندی معنادار از افزایش دما داشته است؛

گرم و در مقادیر حداکثر بارزتر است و این بدان معناست که اقلیم تبریز در حال گذار به شرایطی گرم تر و پرنوسان تر است. افزایش دما در تبریز پیامدهای متعددی در بخش های مختلف زندگی شهری و منطقه ای به همراه دارد. در حوزه ی انرژی، گرمایش به ویژه در فصل تابستان موجب افزایش نیاز به سرمایش و در نتیجه رشد چشمگیر مصرف برق می شود که می تواند فشار مضاعفی بر شبکه تأمین انرژی وارد کند. در بُعد سلامت عمومی، تداوم روند گرمایش و تشدید امواج گرما زمینه ساز افزایش بیماری های مرتبط با گرما و حتی بالارفتن نرخ مرگ و میر خواهد بود. مدیریت منابع آب نیز از این تغییرات

متأثر می شود، چرا که افزایش دما تبخیر را تشدید کرده و می تواند رژیم بارش و فرایند ذوب برف را دگرگون سازد. در بخش کشاورزی نیز تغییر در حداقل های دما می تواند زمان بندی کاشت و برداشت، جوانه زنی و الگوی محصول دهی را تحت تأثیر قرار دهد و چالش های تازه ای برای امنیت غذایی منطقه ایجاد کند که در واقع در واقع، نتایج این پژوهش می تواند مبنای علمی مناسبی برای تصمیم گیری های محلی و منطقه ای باشد و ضرورت برنامه ریزی بلندمدت در این حوزه ها را آشکار می کند.

6. References

- Almazroui, M., Ashfaq, M., Islam, M. N., Rashid, I. U., Kamil, S., Abid, M. A., ... & Sylla, M. B. (2021). Assessment of CMIP6 performance and projected temperature and precipitation changes over South America. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 155-183. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00233-6>
- Ashteh, P.S. (2014). *Climate Change and Water: Tools and Approaches*. Tehran: Javedan Kherad Publications, First Edition, p. 224.
- Baharvandi, N., Majard, F., & Masoum Pour, J. (2020). Identification of heat waves and analysis of their temporal-spatial variations in Iran. *Applied Research in Geographical Sciences*, 20(59), 39-58. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3146-en.html>
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., & Taylor, K.E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Farajzadeh Asl, M., & Feizi, V. (2012). Detection of temporal-spatial changes in temperature and precipitation elements in Iran. *Space Planning and Preparation (Modares Humanities)*, 16(4), 49-66.
- Farajzadeh Asl, M., & Ghasemifar, E. (2019). *Fundamentals of Climate Change (Climate and Its Consequences)*. Tehran: Entekhab Publishing. Shahbazi Kia, S., Ghorbani Tashkaki, S., Yarahmadi, J., Ostavari, Y., & Mirzaei, S. (2022). Projection of precipitation and temperature changes at Tabriz synoptic station during the period 2020-2100. *Climatology Research*, 1401(52), 125-142.
- Shoja, F., & Shamsipour, A.A. (2023). Projection of future precipitation changes in watersheds supplying water to Tehran city. *Natural Environmental Hazards*, 12(36), 151-160.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshid-Doust, A.M., & Alinejad, T. (2021). Investigation of temperature and precipitation changes in the Seymareh Basin using CMIP5 climate models. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 31(8), 17-32. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3107-en.html>
- Jato-Espino, D., Sillanpää, N., Charlesworth, S.M., & Rodriguez-Hernandez, J. (2019). A simulation-optimization methodology to model urban catchments under non-stationary extreme rainfall events. *Environmental Modelling & Software*, 122, 103960. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.022>
- Kendall, M.G. (1970). *Rank Correlation Methods* (2nd ed.). New York: Hafner.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Maryanji, S., Tolabi-Nejad, M., & Zarrin, Z. (2025). Modeling and forecasting of temperature trends in Hamadan County. *Applied Research in Geographical Sciences*, 77(25), 155-173. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-4212-en.html>
- Rahimi, N., & Faraji, A. (2023). Forecasting the average annual temperature of Tabriz city using time series models. *Arid Regions Geographical Studies*, 14(51), 99-113. <https://doi.org/10.22034/jargs.2023.373963.0>
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K.V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., ... & Tavoni, M. (2018). Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5°C. *Nature Climate Change*, 8, 325-332. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0091-3>

Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9), 2011-2026. <https://doi.org/10.1002/hyp.5993>

Salazar, Á., Thatcher, M., Goubanova, K., Bernal, P., Gutiérrez, J., & Squeo, F. (2024). CMIP6 precipitation and temperature projections for Chile. *Climate Dynamics*, 62(3), 2475-2498. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-07016-z>

Seker, M., & Gumus, V. (2022). Projection of temperature and precipitation in the Mediterranean region through multi-model ensemble from CMIP6. *Atmospheric Research*, 280, 106440. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106440>

180.

<https://doi.org/10.22111/jneh.2022.42622.1908>
World Bank. (2024). Climate Change Knowledge Portal.

<https://climateknowledgeportal.worldbank.org>

Nourani, V., Rouzegari, N., Molajou, A., & Baghanam, A.H. (2020). An integrated simulation-optimization framework to optimize the reservoir operation adapted to climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 587, 125018.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125018>

O'Neill, B.C., Tebaldi, C., Vuuren, D.P.V., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Meehl, G.A. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>