

## Forecasting the changes of temperature extreme indices in the area of Mazandaran Province under CMIP6 scenarios

Reza Norooz-Valashedi<sup>1\*</sup>, Sedigheh Bararkhanpour Ahmadi<sup>2</sup>, Hadigheh Bahrami-Pichaghchi<sup>3</sup> and Sara Mazloom Babanari<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

<sup>2, 3 and 4</sup> PhD Student of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 19 December 2023

Accepted: 08 April 2024

### Extended abstract

#### Introduction

Climate is one of the environmental factors whose changes cause extensive alterations in different parts of the ecosystem and pose a significant threat to sustainable development. Temperature, a main element of climate, can affect the climate structure of any region through sudden, short-term, and long-term changes. In recent decades, the Earth has faced global warming, evidenced by climatic changes worldwide. One important consequence of global warming is the increase in extreme weather phenomena, such as sudden temperature changes, excessive heat, abnormal cold, heavy rains and floods, drought, and dust storms caused by the drying of wetlands. Climate extreme indices not only play an important role in investigating climate events on regional and global scales but also assist in climate modeling and decision-making for various sectors.

#### Materials and methods

In this research, temperature data from the MRI-ESM-2 model under three scenarios—optimistic (SSP1-2.6), average (SSP2-4.5), and pessimistic (SSP5-8.5)—for two periods, the near future (2021-2060) and the distant future (2061-2100), were used. First, historical data for the base period and scenario data for the future period (until 2100) for the studied climate model were obtained from the ESGF database. Then, using the R programming language, the time series of historical data and scenarios were extracted from the model for each desired station, and the statistical downscaling of the data was performed using the bilinear interpolation method at the level of the studied stations. The data were grouped based on the three scenarios in all studied stations, and RCLimDex software was used to extract indices based on minimum and maximum daily temperatures. In this research, 16 extreme temperature indices for the studied area were calculated on annual and monthly scales, and trends and breakpoints in these indices were investigated using the Mann-Kendall trend detection test, Sen's Slope test, and Pettitt mutation detection test.

#### Results and discussion

The results show a decrease in extreme hot events based on the SSP1-2.6 scenario, a decrease in indices related to cold and freezing days, and an increase in extreme warm indices based on the SSP5-8.5 scenario, observed in most areas of the province. Generally, the indices for the number of summer days (with a slope of 40-70%), tropical nights (45-65%), the length of the heat period (30-50%), and the length of the growing season (40-60%) showed significant increases. Conversely, the indices for the number of frost days (-20 to -80), ice days (-10 to -40), and the length of the cold period (-10 to -70) significantly decreased. The results of Pettitt's test indicated change points for increasing and decreasing trends in hot and cold extreme indices, respectively, in the 2040s (near future) and 2080s (far future). Therefore, to control extreme temperatures and their adverse effects on various aspects of human life, especially agriculture and water resources, strategies should be developed and implemented according to the needs of each region.

#### Conclusions

The results indicated more frequent sudden changes in temperature indices under the pessimistic scenario compared to the other two scenarios, affecting broader areas of Mazandaran province. There is a likelihood of sudden increases in hot extreme indices and decreases in cold and freezing days both in the near future

\* Corresponding author: r.norooz@sanru.ac.ir

(2030s, 2040s, and 2050s) and far future (2070s and 2080s). Overall, significant changes in temperature extreme indices were observed during the future statistical periods studied, with Mazandaran province expected to experience higher air temperatures and more frequent extreme heat events. These findings align with regional and global studies. The rise in temperature, particularly during hot months when precipitation decreases naturally, significantly impacts agriculture in this region, which is a major area for rice production in the country. These changes also affect the hydrological cycle downstream of the Haraz basin. Additionally, temperature fluctuations during winter and cold months can influence the timing of snow melting in the basin, thereby affecting peak flood flows downstream. Given these factors and the necessity of such research in understanding human activities, water resource management, food security, and human health, it is crucial to investigate the impacts of extreme climate events driven by temperature in future policy-making. Human societies must adapt and adjust based on these anticipated conditions. Therefore, studying the intensity, frequency, and timing of extreme events and raising awareness about them can effectively address environmental challenges and enable rational planning to mitigate and reduce these events.

**Keywords:** Climate Change, Drainage Basin, Downscaling, Growing Season, Spatio-Temporal

Cite this article: Norooz-Valashedi, R., Bararkhanpour Ahmadi, S., Bahrami-Pichaghchi, H., Mazloom Babanari, S., 2024. Forecasting the changes of temperature extreme indices in the area of Mazandaran Province under CMIP6 scenarios. *Watershed Engineering and Management* 16(2), 279-301.

© 2024, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



## پیش‌نگری تغییرات نمایه‌های حدی دما در پهنه استان مازندران تحت سناریوهای CMIP6

رضا نوروز ولاشدی<sup>۱\*</sup>، صدیقه برارخان پور احمدی<sup>۲</sup>، حدیقه بهرامی پیچاقچی<sup>۳</sup> و سارا مظلوم باب‌اناری<sup>۴</sup>  
<sup>۱</sup> استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
<sup>۲،۳،۴</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

اقلیم، یکی از عوامل محیطی است که تغییر آن موجب تغییرات گسترده‌ای در بخش‌های مختلف بوم سامانه شده و تهدید بزرگی برای توسعه پایدار محسوب می‌شود. دما، یکی از عناصر اصلی اقلیم است که تغییرات ناگهانی، کوتاه‌مدت و درازمدت آن می‌تواند ساختار آب و هوای هر منطقه را تحت تأثیر قرار دهد. در دهه‌های اخیر، کره زمین با پدیده گرمایش جهانی مواجه شده است و مهم‌ترین شاهد بر این ادعا تغییرات اقلیمی صورت گرفته در سرتاسر دنیا است. یکی از پیامدهای مهم گرمایش جهانی، افزایش وقوع پدیده‌های فرین جوی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تغییر ناگهانی دما، گرمای بیش از حد، سرمای غیرعادی، بارش‌های سنگین و سیل‌آسا، خشکسالی و گرد و غبار ناشی از خشک شدن تالاب‌ها اشاره نمود. نمایه‌های حدی اقلیم، نه تنها نقش مهمی در بررسی وقایع اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارند، بلکه به مدل‌سازی اقلیمی و تصمیم‌گیری در بررسی اثرات بخش‌های متنوع نیز کمک می‌نمایند.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌های دمای مدل MRI-ESM-2 تحت سه سناریو خوش‌بینانه SSP1-2-6، حد متوسط SSP2-4-5 و بدبینانه SSP5-8-5 برای دو دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) استفاده شد. بدین منظور، ابتدا داده تاریخی طی دوره پایه و داده‌های سناریو برای دوره‌ی آینده (تا سال ۲۱۰۰) برای مدل اقلیمی مورد مطالعه از پایگاه داده ESGF برای کل جهان دریافت شد. سپس، با زبان برنامه نویسی R، سری زمانی داده‌های تاریخی و سناریو از مدل برای هر ایستگاه مورد نظر استخراج شد. مقیاس‌کاهی آماری داده‌ها با روش درون‌یابی دوخطی Bilinear در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام شد. در ادامه، داده‌ها در دوره آینده و بر اساس سه سناریوی مورد نظر در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه گروه‌بندی شدند، برای استخراج نمایه‌های مبتنی بر کمینه و بیشینه دمای روزانه از نرم‌افزار RCLimDex استفاده شد. در این پژوهش، ۱۶ شاخص حدی دما برای منطقه مورد مطالعه در مقیاس‌های سالانه و ماهانه محاسبه و وجود روند و نقطه شکست در این شاخص‌ها با آزمون‌های آماری تشخیص روند من‌کندال، آزمون شیب خط سن و آزمون تشخیص جهش پتیت بررسی شد.

### نتایج و بحث

نتایج بیانگر کاهش رویدادهای حدی گرم بر اساس سناریو SSP126، کاهش نمایه‌های مربوط به سرما و روزهای یخبندان (سرد) و افزایش نمایه‌های حدی گرم بر اساس سناریو SSP585 بوده که در بیشتر مناطق استان مشاهده شد. به طور کلی،

نمایه‌های تعداد روزهای تابستانی (با شیب ۷۰-۴۰ درصد)، شب‌های حاره‌ای (۶۵-۴۵ درصد)، طول دوره گرم (۵۰-۳۰ درصد) و طول دوره رویش (۶۰-۴۰ درصد) به طور قابل ملاحظه افزایش اما نمایه‌های تعداد روزهای یخبندان (۲۰-)- (۸۰-))، روزهای یخی (۱۰-)- (۴۰-)) و طول دوره سرما (۱۰-)- (۷۰-)) به طور قابل ملاحظه کاهش خواهد یافت. همچنین، نتایج آزمون پتیت، نقطه تغییر افزایشی و کاهش به ترتیب برای نمایه‌های حدی گرم و سرد را در دهه ۲۰۴۰ (آینده نزدیک) و ۲۰۸۰ (آینده دور) نشان داده است. بنابراین، به منظور کنترل دماهای حدی و اثرات سوء آن در بخش‌های مختلف زندگی انسان به ویژه کشاورزی و منابع آب می‌بایست برنامه‌های مدیریتی مناسب در جهت نیاز هر منطقه تدوین و اجرا شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر وجود تغییرات ناگهانی برای نمایه‌های دمایی تحت سناریو بدبینانه بیشتر از دو سناریو دیگر و در نواحی گسترده‌تری از استان مازندران بود. همچنین، احتمال افزایش ناگهانی نمایه‌های حدی گرم و کاهش ناگهانی روزهای مربوط به سرما و یخبندان در دوره زمانی آینده نزدیک در دهه ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ و در دوره زمانی آینده دور در دهه ۲۰۷۰ و ۲۰۸۰ وجود خواهد داشت. به طور کلی، در دوره‌های آماری آینده مورد مطالعه، نمایه‌های حدی دمایی تغییرات قابل توجهی خواهند داشت و استان مازندران با افزایش دمای هوا و رخدادهای حدی درجه حرارت بالا همراه خواهد بود که این نتایج همسو با نتایج مطالعات منطقه‌ای و جهانی است. افزایش دما به ویژه در ماه‌های گرم که همزمان با کاهش نزولات جوی است، با توجه به ماهیت فصل گرم سال، در کشاورزی این منطقه که از مناطق مهم تولید برنج کشور است، نقش قابل توجهی دارد. لذا، چرخه هیدرولوژی پایین دست حوضه هراز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی، تغییرات دمایی در زمستان و ماه‌های سرد نیز می‌تواند زمان آغاز ذوب برف حوضه را تحت تأثیر قرار دهد که این عوامل روی اوج سیلاب در پایین دست حوضه تأثیر به‌سزایی دارد. با توجه به مطالب ذکر شده و ضرورت انجام چنین پژوهش‌هایی در زمینه‌های فعالیت‌های انسانی، مدیریت منابع آب، امنیت غذایی و نیز سلامتی انسان، بررسی تأثیر رویدادهای حدی اقلیمی مبتنی بر دما در سیاست‌گذاری‌های آینده در بخش‌های مختلف ضرورت دارد و جوامع انسانی می‌بایست به ناچار خود را بر اساس این شرایط تنظیم و سازگار نمایند. لذا، بررسی شدت، فراوانی و زمان وقوع رخدادها، حدی و آگاهی احتمالی از آنها می‌تواند در حل مسائل گریبان‌گیر زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی منطقی در جهت کنترل و کاهش این رخدادها مؤثر واقع شود.

### واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، حوزه آبخیز، ریزمقیاس‌نمایی، فصل رشد، مکانی-زمانی

#### مقدمه

کشاورزی، الگوی توسعه گردشگری، دوره آسایش اقلیمی و نیز سلامتی انسان می‌شود. مطالعات مختلفی روند افزایشی دمای هوا در ایران را در طول چندین دهه گذشته نشان داده‌اند؛ Saboohi et al., 2012; Mansouri Daneshvar et al., 2019; Sharafi and Mir Karim, 2020 که اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی را تایید می‌کند و نیز تحت سناریوهای شبیه سازی شده غلظت‌های مختلف انتشار، دمای آینده ایران به افزایش خود ادامه خواهد داد (Zare et al., 2023). یکی از پیامدهای مهم گرمایش جهانی افزایش وقوع پدیده‌های حدی جوی است که از مهمترین آنها می‌توان به تغییر ناگهانی دما، گرمای بیش از حد، سرمای

گرمایش جهانی یک واقعیت غیر قابل انکار است و پاسخ‌های اقلیمی زمانی و منطقه‌ای متفاوتی را شکل داده است. در دهه‌های اخیر، کره‌ی زمین با پدیده‌ی گرمایش جهانی مواجه شده است و مهم‌ترین شاهد بر این ادعا تغییرات اقلیمی صورت گرفته در سرتاسر دنیا است (Adnan et al., 2020; Matthews and Wynes, 2022). به طوری که براساس گزارش هیئت بین دولتی تغییرات آب و هوایی (IPCC)، دمای جهانی از سال ۱۹۵۱ به طور قابل توجهی افزایش یافته است (Cai et al., 2022). افزایش قابل توجه دما موجب اختلال در بخش‌های مختلف از جمله مدیریت منابع آب،

شده پروژه مقایسه متقابل (CMIP<sup>۴</sup>) توسعه پیدا کرده است که منابع اصلی مورد استفاده در گزارش‌های ارزیابی IPCC هستند. در این بین مدل‌های گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) که توسط کارگروه جهانی برنامه تحقیقات اقلیمی و کارگروه مدل‌های جفت‌شده سازمان‌دهی شده‌اند، به چارچوب اساسی برای اجرای شبیه‌سازی اقلیمی تبدیل شده‌اند.

این رویکرد در کنار افزایش درک جامعه بشری از اوضاع اقلیمی گذشته و آینده، نقایص زیادی را در زمینه مدل‌سازی تغییرات اقلیمی برطرف کرده است (Taylor et al., 2012). در میان سناریوهای تغییر اقلیم، سناریوهای پیش‌نگری SSP (Shared Socioeconomic Pathway) تعداد متفاوتی از مناطق اقتصادی و اجتماعی را در بر می‌گیرند و طیف وسیعی از مدل‌های اقلیمی و نسخه‌های مختلف آن در مرحله ششم CMIP مشارکت دارند (Eyring et al., 2016). مطالعات انجام شده نشان داده است که مدل‌های SSP ابزار مفیدی برای شناسایی پیامدهای تغییرات در متغیرهای آب و هوایی هستند (Yang et al., 2019; Warnatzsch et al., 2019). به منظور بررسی الگوی تغییرات در نمایه‌های حدی دمایی برای دوره‌های آینده، در ابتدا می‌بایست چگونگی تغییرات آن در طول زمان در غالب بررسی روند صورت گیرد.

تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است (Xue and Gui, 2015) که برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی پارامترهای مختلف محیطی و جوی در ایران و نقاط مختلف جهان استفاده شده است. به منظور بررسی روند پارامترهای اقلیمی از جمله متغیرهای دمایی از روش‌های پارامتری و ناپارامتری استفاده می‌شود (Kumar et al., 2023). روند تغییرات در سری زمانی داده‌ها معمولاً به دو صورت تدریجی و یا سریع (نقطه‌ای) اتفاق می‌افتد. روند تدریجی بیانگر تغییرات جزئی در کل طول دوره آماری است ولی روند سریع در طول یک سری زمانی بصورت شکست یا افزایش ناگهانی

غیرعادی، بارش‌های سنگین و سیل‌آسا، خشکسالی و گرد و غبار ناشی از خشک شدن تالاب‌ها اشاره نمود (Fan and Xiong, 2015; Seneviratne et al., 2014). نمایه‌های حدی اقلیمی شامل رخداد متغیرهای اقلیمی و آب و هوایی بیشتر (یا کمتر) از یک حد آستانه در منطقه‌ای مشخص است (IPCC, 2013). طی دهه‌های اخیر، در بسیاری از مناطق جهان رخداد‌های حدی مانند رخداد دمای بسیار پایین زمستان در قسمت‌های اعظم نیمکره شمالی شامل اروپا، آسیا و آمریکای شمالی به وقوع پیوسته است (Masoodian, 2022).

در چنین شرایطی، شرایط زندگی پایدار و توسعه اقتصادی در سال‌های آینده، به میزان توانایی ما در مدیریت ریسک‌های مرتبط با رویدادهای حدی بستگی دارد (IPCC, 2013). لذا نمایه‌های حدی اقلیمی نه تنها نقش مهمی در بررسی وقایع اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارند، بلکه به مدلسازی اقلیمی و تصمیم‌گیری در بررسی اثرات بخش‌های متنوع نیز کمک می‌نماید (Mistry, 2019). بدین منظور، برای بررسی و تحلیل مقادیر حدی اقلیمی متغیرهای دمایی می‌توان از مجموعه نمایه‌های حدی که به‌وسیله شبکه پشتیبانی اقلیم اروپا (شامل ۱۶ نمایه حدی دما) معرفی شده است، استفاده نمود؛ این نمایه‌ها در سال ۱۹۹۹ به‌وسیله کمیسیون اقلیم شناسی سازمان جهانی هواشناسی (WCRP<sup>۱</sup>) و برنامه پژوهش‌های اقلیم جهانی (CCL<sup>۲</sup>) وابسته به طرح پیش‌بینی پذیری و تغییرپذیری اقلیم (CLIVAR<sup>۳</sup>) تعیین و معرفی شدند که متشکل از یک تیم کارشناسی در زمینه آشکارسازی و پایش تغییر اقلیم و نمایه‌های آن‌ها (ETCCDMI<sup>۴</sup>) برای بررسی و تعیین نمایه‌های حدی اقلیمی است (Karl et al., 1999). بررسی رویدادهای حدی اقلیمی و چگونگی تغییرات آن در طول زمان، برای توسعه راهبردهای سازگاری آینده مهم است.

به منظور درک چگونگی رفتار رویدادهای حدی دمایی در آب و هوای آینده، استفاده از شبیه‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های آب و هوایی به‌وسیله مدل‌های جفت

<sup>4</sup> Expert Team on Climatic Change Detection Monitoring and Indices  
<sup>5</sup> Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)

<sup>1</sup> Commission for Climatology  
<sup>2</sup> World Climate Research Program  
<sup>3</sup> Climate Variability and Predictability Program

است و افزایش محسوس شاخص‌های مبتنی بر حداکثر دما به ویژه در بخش‌های شمالی حاکم بود. *et al.*, (2022) Ahmadi، در بررسی روند و نقطه‌ی شکست بر سری زمانی داده‌های بارش و دما در استان خوزستان گزارش کردند که دمای سالانه روند افزایشی قابل توجهی را تجربه کرده است.

همچنین نقاط شکست معنی‌دار (سال شکست) شناسایی شد و مشخص شد که تغییرات ناگهانی سری زمانی دمای هوا از آبان ۱۳۷۲ در ایستگاه رامهرمز آغاز شد و تا دی ماه ۱۳۸۸ ادامه یافت. (2023) and Mathema Adhikari، در بررسی روند و نقطه شکست نمایه‌های حدی دما در نپال طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰ نشان دادند که روند افزایشی و تغییر ناگهانی قابل توجهی در دمای حداکثر برای تمامی مناطق وجود داشت و اکثر نمایه‌های دما دارای روند افزایشی در منطقه بوده‌اند.

مطالعات مختلفی در بررسی روند متغیرهای دمایی با استفاده از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم انجام شده است؛ نتایج پژوهش (2019) Tayebian *et al.*، در بررسی تغییرات آینده میانگین دمای هوا براساس زیر مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و A1، افزایش ۰/۷-۰/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد در میانگین دمای ماهانه را نشان داد. *et al.*, (2020) Shagega، در ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب تانزانیا برای دوره‌ی آینده (۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۶۹-۲۰۹۹) نتیجه گرفتند که کمینه و بیشینه دمای هوا افزایش خواهد یافت.

(2021) Lotfrad *et al.*، در بررسی روند تغییرات دمای حوزه آبخیز حبله‌رود در مرکز ایران براساس دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌ی آینده ۲۰۲۵-۲۰۴۸ نتیجه گرفتند که دمای آینده در تمام ماه‌ها افزایش خواهد یافت و بیشترین افزایش کمینه و بیشینه دما در جنوب حوزه آبخیز خواهد بود. نتایج Doulabian *et al.*, (2021) در بررسی تغییرات دمای هوای سطحی در ۶ ایستگاه سینوپتیک در مناطق مختلف ایران با استفاده از خروجی‌های مدل AOGCM برای سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نشان داد که دمای هوای سطحی در همه‌ی ماه‌ها به احتمال زیاد برای هر منطقه افزایش

دیده می‌شود که عمدتاً در اثر اتفاقات و اقدامات خاص در منطقه‌ی مورد نظر است. یکی از روش‌های آماری پرکاربرد در زمینه تشخیص روند تدریجی، آزمون ناپارامتری من-کندال است. این آزمون توسط (1945) Mann ارائه و سپس توسط Kendall (1975) توسعه یافت که بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است (García-Marín *et al.*, 2020).

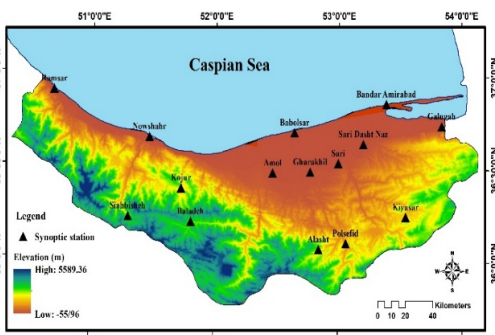
به منظور بررسی تغییرات ناگهانی در سری داده‌ها از روش‌ها و آزمون‌های تشخیص همگنی داده‌ها استفاده می‌گردد. آزمون ناپارامتری پتیت یکی از روش‌های آماری در زمینه بررسی نقطه شکست است که توسط (1979) Pettitt ارائه شد. یکی از مزایای این آزمون، قابلیت تشخیص زمان وقوع تغییرات ناگهانی در سری زمانی داده‌ها است.

مطالعات مختلفی در زمینه بررسی روندهای تدریجی و سریع در سری زمانی متغیرهای دمایی و سایر پارامترهای هواشناسی در مناطق مختلف جهان از جمله کره جنوبی (2021) Jin *et al.*، آفریقا (Gadedjisso-) (2021) Tossou *et al.*، ترکیه (2022) Mersin *et al.*، نیجریه (2020) Akinbile *et al.* و تاجیکستان (2023) Gulahmadov *et al.* انجام شده است. همچنین (2015) Sheikh *et al.*، در ارزیابی شدت‌های اقلیمی در جنوب آسیا نشان دادند که به‌طور کلی انتظار می‌رود که شدت گرما و سردی به ترتیب افزایش و کاهش یابد. (2019) Liu *et al.*، در بررسی روند و نقطه شکست دما و بارندگی در حوضه رودخانه Yarlung Tsangpo از ۲۵ شاخص آب و هوایی مبتنی بر حداقل و حداکثر دما و بارش استفاده کردند؛ نتایج تغییرات قابل توجهی را در شاخص‌های حدی دمایی مرتبط با گرم شدن نشان داد و بیشتر مناطق تغییرات ناگهانی را در دهه ۱۹۹۰ تجربه کرده‌اند.

نتایج (2020) Alashan *et al.*، در بررسی روند حداکثر دمای ماهانه ایستگاه اکسفورد (Axford) در انگلستان، وجود روندهای افزایشی قابل توجهی را برای اغلب ماه‌های سال نشان داده است. در مطالعه‌ای دیگر (2020) Ely *et al.*، در بررسی روند شاخص‌های دمایی (با Relimindex) در برزیل طی سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۱۴ نشان دادند که از بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص تعداد روزهای سرد در تمامی ایستگاه‌ها کاهش یافته

خواهد یافت. Moghim et al., (2023) در بررسی تغییرات دما در دوره‌ی تاریخی اخیر (۲۰۱۶-۱۹۷۶) و آینده‌ی نزدیک (تا سال ۲۰۴۹) با استفاده از داده‌های دو سناریو تغییر اقلیم نشان دادند که بیشترین تغییرات دما عمدتاً در صدک‌های حدی (۱۰درصد و ۹۰ درصد) رخ می‌دهد و توزیع دما تمایل به تغییر در دماهای بالاتر دارد که مقدار تغییر در سناریو RCP8.5 تشدید خواهد شد.

با توجه به مطالب بالا می‌توان بیان کرد که استفاده از شبیه‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های اقلیمی CMIP و شاخص‌های آب و هوایی حدی توصیه‌شده توسط ETCCDI یک ابزار عالی برای بررسی رویدادهای اقلیمی حدی دمایی و تغییرات پیش‌بینی‌شده آن‌ها است؛ از طرفی نواحی شمالی ایران از جمله استان مازندران موضوع بسیاری از مخاطرات طبیعی عمده ناشی از آب و هوا و منشاء آب و هوایی بوده است و در سال‌های اخیر دوره‌هایی از خشکسالی و موج گرما را تجربه کرده است. کشاورزی با افزایش روزافزون دما در خطر است و پیش‌بینی می‌شود این روند در آینده نزدیک و دور ادامه یابد. به دلیل اینکه استان مازندران یکی از قطب‌های کشاورزی در ایران هست، تأثیر منفی افزایش دما بر سیستم‌های کشاورزی غذایی نیز با بارندگی نامنظم و بسیار متغیر در اکثر مناطق این استان ترکیب می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان مازندران و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

Fig. 1. Geographical location of Mazandaran province and the studied meteorological stations

لذا نیاز به افزایش آگاهی در مطالعات مدل‌سازی آب و هوا به منظور پیشرفت دانش در مورد تغییرات آب و هوایی و تأثیرات آن در بخش‌های مختلف استان است. در نتیجه هدف پژوهش حاضر بررسی تغییرات روند و نقطه شکست نمایه‌های مبتنی بر دما با استفاده از مدل‌های گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) تحت سه سناریوی خوشبینانه، حد متوسط و بدبینانه در استان مازندران برای دو دوره‌ی زمانی آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: در پژوهش حاضر، استان مازندران به عنوان منطقه مطالعاتی دارای مساحتی بالغ بر ۲۳۸۴۲ کیلومتر مربع در محدوده ۳۵ درجه و ۴۷

در واقع از مدل‌های گردش عمومی جو به دلیل بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن نسبت به مکان و زمان منطقه مورد مطالعه، نمی‌تواند به صورت مستقیم برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی منطقه و یا نقطه‌ی مورد نظر استفاده گردد و نیاز به ریزمقیاس‌گردانی یا مقیاس‌کاهی خروجی‌های این مدل‌ها است.

مقیاس‌کاهی، روشی برای تولید داده‌های آب و هوایی با وضوح بالا از یک سری مدل‌های گردش عمومی جو با قدرت تفکیک پایین است و براساس اطلاعات به دست آمده از این روش می‌توان شرایط آب و هوایی در مقیاس ایستگاهی و محلی را توضیح داد (Sobhani et al., 2023). در این پژوهش، داده‌های تغییر اقلیم با استفاده از روش درون‌یابی دو خطی در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه استخراج شد. در این روش از چهار پیکسل همسایه‌ی هر پیکسل استفاده شده و میان آن‌ها درون‌یابی برای یافتن پیکسل مورد نظر انجام می‌گردد. در این روش، ابتدا میان هر دو پیکسل مقابل یک درون‌یابی خطی انجام می‌شود، سپس با استفاده از پیکسل‌های همسایه، مقدار پیکسل مورد نظر محاسبه می‌شود. این الگوریتم برای کاهش مقیاس داده‌های شبکه‌ای است (Wang et al., 2012).

**نمایه‌های حدی دما:** در پژوهش حاضر، از نمایه‌های دمایی که به‌وسیله گروه کارشناسی (CCI WMO<sup>۴</sup>)، (JCOMM<sup>۵</sup>) و (CLIVAR<sup>۶</sup>) به‌عنوان نمایه‌های حدی و نمایه‌های تغییرات آب و هوایی تعریف شده است، استفاده شد. بنابراین پس از دریافت خروجی مدل‌ها و ریزمقیاس‌نمایی آن‌ها، داده‌ها در دوره آینده و براساس سه سناریوی مورد نظر در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه گروه بندی شد. برای استخراج نمایه‌های مبتنی بر کمینه و بیشینه دمای روزانه از نرم افزار RclimDex (Zhang and Yang, 2004) استفاده شد. تیم کارشناسی آشکارسازی و نمایش تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI<sup>۷</sup>) مجموع ۲۷ شاخص حدی برای دما و بارش در زبان برنامه‌نویسی R در غالب بسته

بررسی تغییرات متغیرهای دمایی در دوره‌ی آینده بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی استفاده شد.

**مدل‌های تغییر اقلیم:** مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم<sup>۱</sup> (CMIP6)، جدیدترین گزارش انتشار یافته از سری مدل‌های تغییر اقلیم می‌باشند. تعداد لایه‌های عمودی در تمام مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 بهبود یافته که موجب افزایش شبیه‌سازی دقیق‌تر در استراتوسفر می‌شود. سناریوهای جدید اضافه شده CMIP6 از سناریو مسیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSP<sup>۲</sup>) شامل SSP1-1-9، SSP4.3.4، SSP3-7-0، SSP3-7-0 بوده که چهار سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP4-6.0 و SSP5-8.5 نیز به روز شده‌ی سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 موجود در CMIP5 است (Gupta et al., 2020).

مدل مورد استفاده شامل مدل MRI-ESM2-0 از سری مدل‌های SSP است که داده‌های کمینه و بیشینه دما برای این مدل در دسترس بوده است. در این پژوهش از سه سناریو خوش‌بینانه SSP1-2-6، حد متوسط SSP2-4-5 و بدبینانه SSP5-8-5 برای دو دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) و آینده‌ی دور (۲۰۶۱-۲۱۰۰) استفاده شد. بدین منظور، ابتدا داده‌ی تاریخی طی دوره پایه و داده‌های سناریو برای دوره‌ی آینده (تا سال ۲۱۰۰) برای مدل اقلیمی مورد مطالعه از پایگاه داده ESGF<sup>۳</sup> مربوطه برای کل جهان دریافت شد. سپس با در دست داشتن اطلاعات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل طول و عرض جغرافیایی و کدهای موجود در زبان برنامه‌نویسی R، سری زمانی داده‌های تاریخی و سناریو از مدل برای هر ایستگاه مورد نظر استخراج شد. سپس برای هر موقعیت جغرافیایی، اقدام به مقیاس‌کاهی آماری داده‌ها با روش درون‌یابی دوخطی bilinear در سطح ایستگاه‌های مورد نظر شد. مقیاس‌کاهی آماری مدل‌های تغییر اقلیم: یکی از مشکلات استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، است.

<sup>2</sup> Joint Commission for Oceanography and Marine Meteorology

<sup>3</sup> Climate Variability and Predictability Program

<sup>4</sup> Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices

<sup>1</sup> Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

<sup>2</sup> Shared Socio-economic Pathways

<sup>3</sup> Earth System Grid Federation (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/>)

<sup>4</sup> Commission for Climatology



شاخص مربوط به دما است (Sillmann and Roeckner, 2008). در این پژوهش ۱۶ شاخص حدی دما برای منطقه مورد مطالعه در مقیاس‌های سالانه و ماهانه محاسبه و وجود روند و نقطه شکست در این شاخص‌ها مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

Rclimindex و بر اساس الگوریتم‌های بهبودیافته و کاهش خطای عددی طراحی کرده است (Zhang and Yang, 2004) که از بین این ۲۷ شاخص ۱۱ شاخص مربوط به بارش و ۱۶

جدول ۱- تعریف نمایه‌های حدی اقلیمی دما توصیه شده به وسیله گروه کارشناسی CLIVAR/CCI

Table 1. Definition of temperature climatic extreme indices recommended by expert group CLIVAR/CCI

Indice	Indice description	Definition	Scale
FD	The number of frost days	The number of days when the minimum day and night temperature is below zero °C	day
SU25	Number of summer days	The number of days when the maximum day and night temperature is greater than 25°C	day
ID	Ice days	The number of days when the daily maximum temperature is less than zero°C	day
TR20	Tropical nights	The number of days when the minimum day and night temperature is greater than 20°C	day
GSL	The length of the growing season	Length of growing season	day
WSDI	Heat period length indice	The number of days when the maximum temperature is higher than the 90th percentile for at least six consecutive days	day
CSDI	Cold period length indice	The number of days when the temperature is below the 10th percentile for at least six consecutive days	day
TXx	The highest monthly value of the maximum daily temperature	The highest monthly value is the maximum daily temperature	°C
TNn	The lowest monthly value of the minimum daily temperature	The lowest monthly value is the minimum day and night temperature	°C
TNx	The maximum monthly value of the minimum daily temperature	The highest monthly value is the minimum day and night temperature	°C
TXn	The lowest monthly value of the maximum daily temperature	The lowest monthly value is the maximum daily temperature	°C
TN10P	Cold nights	The percentage of days when the minimum temperature is less than 10th percentile	□
TX10P	Cold days	The percentage of days when the maximum temperature is less than 10th percentile	□
TN90P	Hot nights	The percentage of days when the minimum temperature is greater than the 90th percentile	□
TX90P	Hot days	The percentage of days when the maximum temperature is higher than the 90th percentile	□
DTR	The range of day and night temperature changes	The range of day and night temperature changes is the difference between the daily minimum and maximum temperature	□

داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان به جای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه‌ی موردنظر (سری زمانی) استفاده کرد. همچنین به منظور حذف اثرات ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری زمانی، آزمون من-کندال اصلاح شده (Hamed and Rao, 1998) استفاده شده است.

برای این کار ابتدا آزمون ضریب خود همبستگی مرتبه kام (r<sub>k</sub>) بر اساس رابطه زیر انجام می‌شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

آزمون تشخیص روند من‌کندال: این روش یک آزمون آماری ناپارامتری است و مزیت آن این است که نمونه‌ها به توزیع خاصی نیاز ندارند (Hossain et al., 2022). این آزمون ابتدا در سال ۱۹۴۵ توسط Mann ارائه شد و سپس در سال ۱۹۶۶ توسط Kendall توسعه یافت. این آزمون نیاز به توزیع فراوانی نرمال و یا خطی بودن رفتار داده‌ها ندارد و به منظور ارزشیابی روند به کار برده می‌شود (Gumus et al., 2022). در این آزمون فرض صفر (H<sub>0</sub>) و فرض مقابل (H<sub>1</sub>) به ترتیب معادل بدون روند و وجود روند در سری زمانی داده‌های مشاهداتی است. در واقع در این آزمون هر داده با تمامی

نقطه تغییر وجود داشته باشد، سری مورد نظر در آن مکان به دو جزء سری تقسیم می‌شود. در صورت معنی دار شدن نقطه‌ی شکست در سری مورد نظر، نسبت مقادیر میانگین اجزاء سری قبل و بعد از نقطه‌ی تغییر، برای تحلیل بزرگی شکست به کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که آزمون نقطه‌ی شکست معنی‌دار نباشد ( $Pvalue > 0.05$ )، آزمون روند بر روی کل سری اعمال می‌شود.

### نتایج و بحث

**نتایج آزمون من کندال و شیب سن:** بررسی روند نمایه‌های حدی دمایی در ۱۵ ایستگاه همدیدی استان مازندران در دوره‌ی گذشته و نیز بر اساس سه سناریوی تغییر اقلیم خوش‌بینانه SS126، حد متوسط SSP245 و بدبینانه SSP585 و برای دوره‌ی زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱) با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن انجام شد؛ سپس نتایج روند شامل شیب و معنی‌داری برای استان مازندران در محیط GIS پهنه‌بندی شد. نتایج به تفکیک هر سناریو در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج بررسی روند تغییرات نمایه‌های حدی دمایی در دوره‌ی تاریخی یا گذشته (۲۰۲۰-۲۰۰۰) نشان داده است که نمایه تعداد روزهای تابستانی (SU25) و شب‌های حاره‌ای (TR20) در نواحی ساحلی و کوهستانی، نمایه طول دوره گرما (WSDI) در نواحی کوهستانی، نمایه‌های روزهای گرم (tx90p) و شب‌های گرم (tn90p) در نواحی ساحلی و نمایه بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (txx) در نواحی جنوبی استان به صورت معنی‌دار افزایش یافته است در حالی که نمایه تعداد روزهای سرد (tx10p) و شب‌های سرد (tn10p) در نواحی ساحلی، نمایه طول دوره سرما (CSDI) در نواحی کوهستانی و نمایه دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) در نواحی شرقی و غربی استان دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده است. لذا با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد نمایه‌های مربوط به گرما افزایش اما نمایه‌های مربوط به سرما در دوره‌ی گذشته کاهش یافته است. در شکل ۲ تغییرات روند برای سری زمانی دو نمونه از نمایه دما (WSDI) و (DTR) در ایستگاه سیاه‌بیشه برای دوره‌ی تاریخی نشان داده شده است.

که در آن  $k=1,2,\dots,n/4$  است. اگر  $\frac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}$  باشد، آنگاه داده‌ها در سطح ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شود و روند از همان روش من-کندال تشخیص داده می‌شود. اما اگر ضریب خود همبستگی مرتبه  $k$ ام غیر مستقل و معنی دار فرض شود، ابتدا واریانس اصلاح شده  $Var(s)^*$  از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Var(s)^* = Var(s) x \frac{n}{n^*} \quad (2)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (3)$$

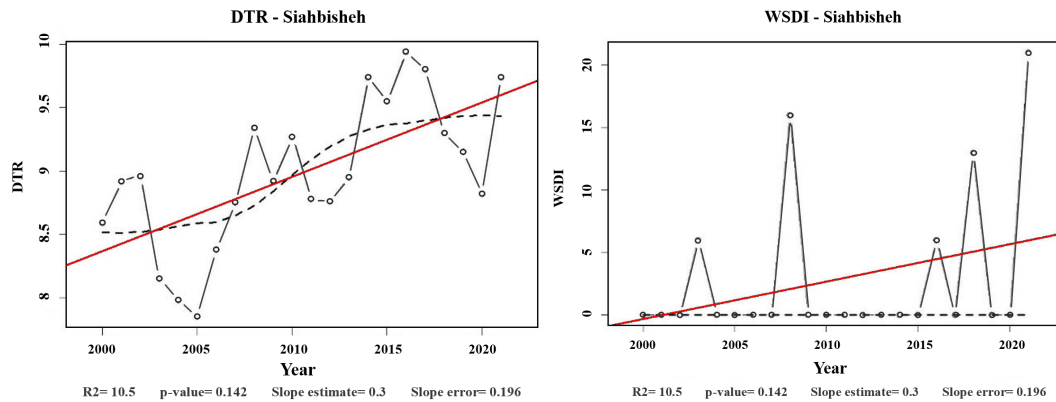
که در آن،  $r_i$  ضرایب همبستگی با تأخیر  $i$  است که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Solaimani and Bararkhanpour, 2022).

**آزمون شیب خط سن:** تخمین گر شیب سن به منظور تخمین شیب خط روند توسط Sen (1968) در یک سری زمانی داده ارائه شد. این روش ناپارامتری با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌کند. با استفاده از روش سن، برای هر جفت داده متوالی، یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده، یک سری زمانی را تشکیل می‌دهند که میانه آن‌ها شیب خط روند را نشان می‌دهد. با یک روند افزایشی، مقدار این شیب میانه، مثبت و با یک روند کاهشی مقدار آن منفی است (Hamidov et al., 2020).

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_l}{j-l} \right) \quad \forall j > l \quad (4)$$

که در آن  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $X_j$  مقدار مشاهده  $j$ ام و  $X_l$  مقدار مشاهده  $l$ ام می‌باشد.  $z$  یک واحد زمانی بعد از  $l$  می‌باشد. با یک روند افزایشی، مقدار  $\beta$  مثبت و با یک روند کاهشی مقدار  $\beta$  منفی است (Hamidov et al., 2020). تجزیه و تحلیل این آزمون به همراه آزمون من کندال در نرم‌افزار XLSTAT اجرا شده است.

**آزمون تشخیص جهش پتیت:** این آزمون ناپارامتری توسط پتیت (Pettitt, 1979) به منظور تعیین نقطه‌ی جهش یا تغییرات ناگهانی در سری زمانی ارائه شده است. براساس این آزمون، در مکانی از سری زمانی که

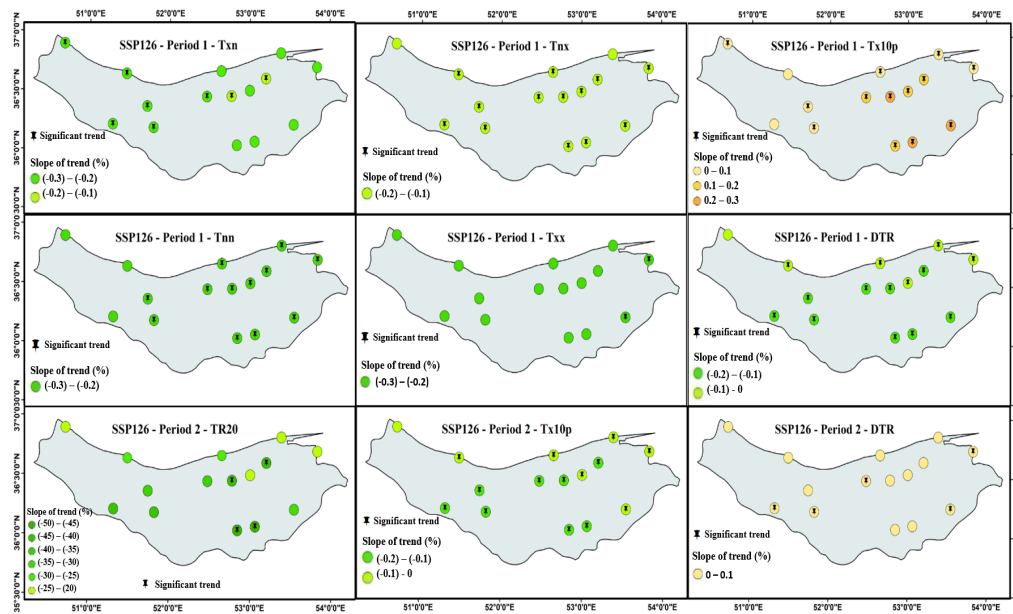


شکل ۲- نتایج بررسی روند تغییرات نمایه‌های حدی دما برای دو نمایه WSDI و DTR در ایستگاه همدیدی سیاه‌بیشه

Fig. 2. The results of the investigation of the changes in the temperature extreme indicators for the WSDI and DTR indicators at the Siyahbisheh synoptic station

نمایه Tx10p در اغلب نواحی استان (با شیب ۰/۱-۰/۳ درصد) به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت. در دوره‌ی آینده دور (۲۰۶۱-۲۱۰۰) تنها نمایه‌های Tx10p، TR20 و DTR دارای روند معنی‌دار در نواحی مختلف استان خواهند بود؛ به طوری که نمایه TR20 در نواحی میانی شرقی (با شیب ۵- درصد) و نمایه Tx10p در اغلب نواحی استان (در نواحی ساحلی و شرقی با شیب ۰/۱- درصد) به صورت معنی‌دار کاهش خواهد یافت در حالی که نمایه DTR در نواحی جنوب غربی و شرقی به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت. با این حال، هیچ روند معنی‌داری برای نمایه‌های دیگر در پهنه استان مشاهده نخواهد شد (شکل ۳).

نتایج بررسی روند تغییرات آینده شاخص‌های دمایی بر مبنای حالت خوش‌بینانه (سناریو SSP126) نشان داده است که در دوره‌ی زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) نمایه‌های حدی Txn، Tnx، Tnn، Txx و DTR دارای شیب تغییرات افزایشی در پهنه استان مطابق شکل ۳ خواهد بود. نمایه Txn دارای روند معنی‌دار کاهشی در نیمه غربی (با شیب روند ۰/۲- درصد) و نواحی شرقی نزدیک به سواحل دریای خزر بوده است. با این حال، نمایه‌های Tnx و DTR دارای کاهش معنی‌دار در اغلب نواحی استان (با شیب ۰/۲- تا ۰/۱- درصد) است. نمایه‌های Tnn و Txx نیز دارای روند کاهشی (با شیب ۰/۳- درصد) است که برای نمایه Tnn در نیمه شرقی و میانه استان اما برای نمایه Txx تنها در دو ایستگاه شرقی گلوگاه و کیاسر مشاهده خواهد شد. با این حال



شکل ۳- پهنه‌بندی شیب‌های روند (آزمون من‌کندال) برای شاخص‌های دارای روند معنی‌دار (در دوره‌های زمانی ۲۰۲۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۱۰۰ در سطح استان مازندران مبتنی بر سناریو SSP126)

۳۰ درصد) در ایستگاه‌های سیاه‌بیشه و پل سفید اما برای نمایه‌های Txx (در نواحی شرقی و ایستگاه کجور) و DTR (در ایستگاه‌های کجور و نوشهر) روند کاهشی معنی‌دار (به ترتیب با شیب  $(-0.2)$  و  $(-0.1)$  درصد) مشاهده خواهد شد.

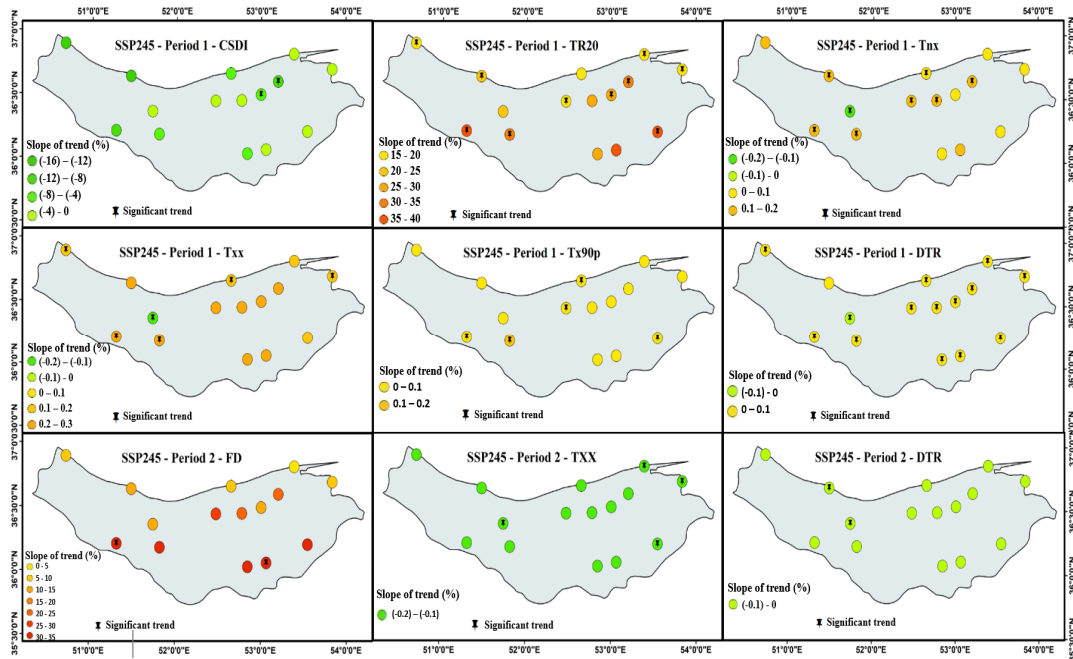
نتایج روند نمایه‌های حدی آینده براساس شرایط بدبینانه (SSP585) و برای دوره‌ی زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) نشان داده است که برای نمایه‌های Txn و TR20، WSDI، SU25، و GSL روند افزایشی اما برای نمایه‌های CSDI، FD، ID، و CSDI روند کاهشی مشاهده خواهد شد. با این حال، تعداد ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار و شدت شیب روند نسبتاً بیشتر از سناریوهای قبلی است (شکل ۵). نمایه SU25 در ایستگاه‌های کجور و سیاه بیشه (نواحی جنوب غربی) با شیب ۷۰ درصد، در ایستگاه‌های نوشهر، رامسر، قراخیل، دشت‌ناز، پل سفید و آلاشت با شیب تقریبی ۶۰ درصد و در مابقی ایستگاه‌ها با شیب ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین برای نمایه‌های WSDI و Txn روند افزایشی معنی‌دار به ترتیب در نواحی میانی استان (با شیب ۱۶ درصد در ایستگاه‌های آمل و بلده و با شیب ۴ درصد در ایستگاه‌های دیگر) و نواحی شرقی (ایستگاه‌های دشت‌ناز،

بر اساس سناریو حد متوسط (SSP245)، نمایه‌های CSDI، TR20، Txn، Txx، Tx90p، و DTR دارای روند معنی‌دار در تعدادی از ایستگاه‌ها (شکل ۴) در دوره‌ی زمانی آینده نزدیک است. نمایه CSDI تنها در ایستگاه‌های دشت‌ناز و ساری دارای روند کاهشی معنی‌دار خواهد بود حال آنکه نمایه TR20 دارای روند افزایشی معنی‌دار با شیب قابل توجه در نواحی ساحلی غرب و شرق (با شیب ۲۰ درصد) و در نواحی کوهستانی جنوب غربی و جنوب شرقی (با شیب ۴۰ درصد) خواهد بود. در حالی که نمایه Txn در نواحی ساحلی شمال استان و نواحی کوهستانی جنوب غربی (با شیب ۰/۲ درصد)، نمایه Txx در نواحی جنوب غربی و ایستگاه‌های گلوگاه، بابلسر و رامسر (با شیب ۰/۲ و ۰/۳ درصد)، نمایه Tx90p در نواحی کوهستانی جنوب غربی و جنوب شرقی و ایستگاه‌های بابلسر و آمل (با شیب ۰/۲-۰/۱ درصد) و نیز نمایه DTR در اغلب نواحی استان مطابق شکل ۴ (با شیب ۰/۱ درصد) به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت. با این حال، یک شیب روند کاهشی معنی‌دار برای نمایه Txn، Txx، و DTR در ایستگاه کجور وجود خواهد داشت. اما برای دوره‌ی آینده دور (۲۰۶۱-۲۱۰۰) در اغلب نمایه‌ها، هیچ روند معنی‌داری مشاهده نشد و تنها نمایه FD دارای روند افزایشی معنی‌دار (با شیب ۳۵-

شیب روند ۶۰ درصد، در نواحی شرقی دارای شیب تقریبی ۱۲۰ درصد و در مابقی ایستگاه‌ها دارای شیب تقریبی ۱۴۰ درصد است درحالی‌که نمایه TR20 دارای شیب ۴۵-۵۵ درصد در ایستگاه‌های رامسر و کیاسر بوده اما در مابقی مناطق، شیب روند ۶۵-۵۵ درصد خواهد داشت.

قراخیل، آمل و کیاسر با شیب ۰/۲ درصد مشاهده خواهد شد.

با این‌حال، نمایه‌های GSL و TR20 نیز دارای روند افزایشی با شیب مثبت، تقریباً در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی خواهد بود که شدت شیب روند برای نمایه در ایستگاه‌های امیرآباد، بابلسر، و بلده دارای



شکل ۴- پهنه‌بندی شیب‌های روند (آزمون من‌کندال) برای شاخص‌های دارای روند معنی‌دار (در دوره‌های زمانی ۲۰۲۱-۲۰۶۰ و ۲۰۱۰-۲۰۶۰)

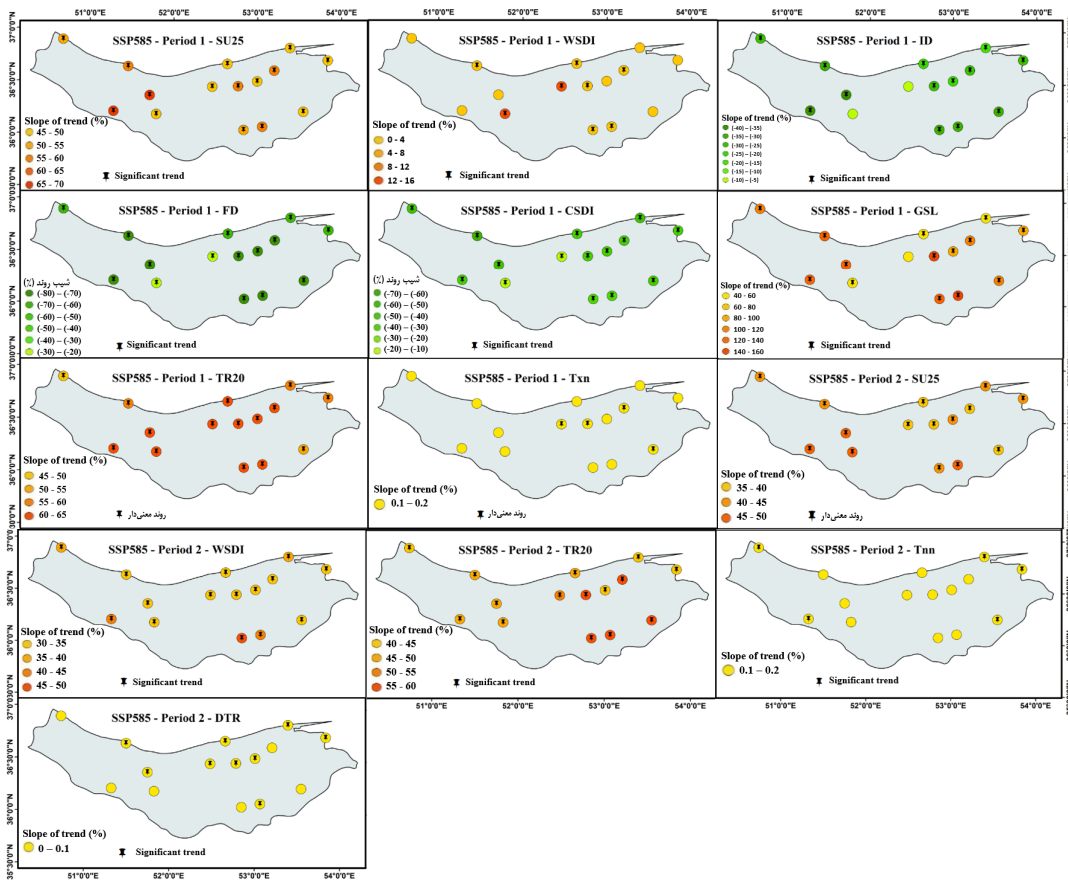
(۲۰۶) در سطح استان مازندران مبتنی بر سناریو SSP245

Fig. 4. Zoning of trend slopes (Mann Kendall test) for indicators with significant trends (in the periods of 2021-2060 and 2061-2100) in Mazandaran province based on SSP245 scenario

از طرفی دیگر، روند کاهشی معنی‌دار نمایه ID در اغلب ایستگاه‌ها به جز آمل و بلده (شیب روند تا ۴۰- درصد)، برای نمایه FD در تمامی مناطق استان (در آمل و بلده با شیب ۲۰- - ۴۰-) درصد و در مابقی نواحی تا ۸۰- درصد) و نمایه CSDI در تمامی مناطق استان (آمل و بلده با شیب ۱۰- - ۲۰-) درصد و مناطق دیگر با شیب ۷۰ درصد) در دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۶۰ مشاهده خواهد شد. در حالی‌که برای دوره‌ی آینده دور، تنها نمایه‌های DTR، Tnn، TR20، WSDI، SU25 دارای روند افزایشی در برخی یا تمامی مناطق استان (شکل ۵) خواهد بود و برای نمایه‌های دیگر، هیچ روند معنی‌داری مشاهده نخواهد شد. نمایه‌های SU25،

در تمامی نواحی استان به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت به طوری‌که شیب روند افزایشی از ساحل به سمت مناطق کوهستانی مطابق شکل ۵ افزایش خواهد یافت و مقدار شیب روند به طور تقریبی بین ۳۵-۶۵ درصد متغیر است. بیشترین شیب افزایشی برای نمایه SU25 در نیمه غربی، برای نمایه WSDI در نواحی کوهستانی جنوب و برای نمایه TR20 در نواحی نیمه شرقی کوهستانی خواهد بود. حال‌آنکه مقادیر شیب روند برای نمایه Tnn و DTR نسبتاً ملایم بوده به طوری‌که نمایه Tnn دارای روند افزایشی تنها در نواحی شرقی (ایستگاه‌های امیرآباد، گلوگاه و کیاسر) و نواحی غربی (ایستگاه‌های رامسر و سیاه‌بیشه) با شیب ۰/۲

درصد و نمایه DTR دارای روند افزایشی اغلب در نواحی ساحلی و نزدیک به سواحل با شیب ۰/۱ درصد خواهد بود.



شکل ۵- پهنه‌بندی شیب‌های روند (آزمون من‌کنندال) برای شاخص‌های دارای روند معنی‌دار (در دوره‌های زمانی ۲۰۲۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۱۰۰)

(۲۰۶۱) در سطح استان مازندران مبتنی بر سناریو SSP585

Fig. 5. Zoning of trend slopes (Mann Kendall test) for indicators with significant trends (in the periods of 2021-2060 and 2061-2100) in Mazandaran province based on SSP585 scenario

سناریوها و دوره‌های مختلف، در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شد.

بر اساس سناریو خوش‌بینانه (SSP126)، تنها دو نمایه SU25 و CSDI دارای نقطه تغییر ناگهانی می‌باشند؛ به طوری که نمایه SU25 دارای تغییر افزایشی در سال ۲۰۴۶ (دوره آینده نزدیک) در ایستگاه‌های قراخیل و ساری، و نمایه CSDI دارای نقطه تغییر کاهشی (دوره آینده دور) در ایستگاه آلاشت در سال ۲۰۹۴ و نقطه تغییر افزایشی در ایستگاه‌های بلده و کجور به ترتیب در سال‌های ۲۰۶۶ و ۲۰۷۳ خواهد بود. حال آنکه بر اساس سناریو حد متوسط (SSP245)، نمایه ID دارای نقطه شکست افزایشی (سال ۲۰۶۷) در

### بررسی نقطه شکست نمایه‌های حدی دمایی:

رخداد تغییرات ناگهانی (نقاط شکست) در سری زمانی نمایه‌های حدی دمایی ماهانه و سالانه در دوره‌ی گذشته (۲۰۰۰-۲۰۲۰) و نیز برای سه سناریو خوش‌بینانه (SSP126)، حالت متوسط (SSP245) و بدبینانه (SSP585)، در دوره‌ی آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) و آینده دور (۲۰۶۱-۲۱۰۰) با استفاده از آزمون ناپارامتری پتیت انجام شد. نتایج برای دوره‌ی تاریخی هیچ نقطه شکست معنی‌داری را برای نمایه‌های حدی مبتنی بر دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان نداده است. اما برای سناریوهای مورد مطالعه، جزئیات آزمون (شامل نوع نقطه تغییر و سال وقوع) برای هر نمایه در

استان، نمایه GSL یک تغییر ناگهانی افزایشی در ایستگاه‌های آمل و پل سفید (سال ۲۰۵۱) و ایستگاه بندر امیرآباد (سال ۲۰۴۲)، نمایه WSDI یک تغییر ناگهانی افزایشی در نواحی مرکزی در شمال و جنوب (۲۰۴۶) و نواحی غربی (۲۰۴۵) و نیز نمایه CSDI یک تغییر ناگهانی کاهش‌ی در نیمه شرقی استان (سال ۲۰۳۳) و نواحی ساحلی و نیمه غربی استان (سال ۲۰۳۲) خواهد داشت.

در حالی که برای دوره‌ی آینده دور (۲۰۶۱-۲۱۰۰)، یک نقطه تغییر افزایشی برای نمایه SU25 در اغلب نواحی استان (سال ۲۰۸۸)، نمایه TR20 در نواحی کوهستانی، نیمه کوهستانی (سال ۲۰۸۳) و نواحی ساحلی (سال ۲۰۸۶)، نمایه WSDI در نواحی غربی (سال ۲۰۸۴-۲۰۸۲) و نواحی مرکزی شرقی (سال‌های ۲۰۸۵ و ۲۰۸۶) مشاهده خواهد شد. اما نمایه CSDI در ایستگاه‌های آمل و دشت ناز در سال ۲۰۸۳ به صورت ناگهانی کاهش خواهد یافت.

ایستگاه بابلسر و نقطه شکست کاهش‌ی (سال ۲۰۷۱) در ایستگاه‌های بندر امیرآباد و ساری و نمایه CSDI دارای نقطه شکست کاهش‌ی (سال ۲۰۳۵) در نواحی مرکزی ساحلی و نیمه کوهستانی برای دوره آینده نزدیک خواهد بود در حالی که برای نمایه‌های سالانه دیگر، هیچ نقطه تغییر معنی‌داری برای این سناریو نشان داده نشده است. با این حال، براساس سناریو بدبینانه (SSP585)، نقاط تغییر بیشتری نسبت به دو سناریو قبل مشاهده شد؛ به طوری که تمامی نمایه‌های سالانه مورد بررسی دارای نقطه شکست معنی‌دار براساس این سناریو خواهد بود. به طور کلی برای دوره‌ی آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱)، نمایه FD یک تغییر ناگهانی کاهش‌ی (سال ۲۰۳۱) و نمایه SU25 یک تغییر ناگهانی افزایشی (۲۰۴۳) در تمام نواحی استان، نمایه ID یک تغییر ناگهانی کاهش‌ی (سال ۲۰۳۱) در کل استان به جز نواحی کوهستانی، نمایه TR20 یک تغییر ناگهانی افزایشی در سال ۲۰۳۶ و ۲۰۳۷ برای نواحی مختلف

جدول ۲- نتایج آزمون پتیت بر روی نمایه‌های حدی دمایی سالانه (دارای نقطه شکست) برای سناریوهای مورد مطالعه

Table 2. Pettitt test results on annual temperature extreme indices (with break point) for the studied scenario

Indice	Scenario	Time series	Number of station-Station Location	Year of occurrence	Breakpoint type
FD	SSP585	2021-2060	15- The whole province	2031	decrease
	SSP126	2021-2060	2- Garakhil and Sari stations	2046	increase
SU25	SSP585	2021-2060	15- The whole province	2043	increase
	SSP585	2061-2100	14- The whole province except Ramsar station	2088	increase
	SSP245	2061-2100	1- Babolsar station	2067	increase
			۲- Bandar Amirabad and Sari stations	2071	decrease
ID	SSP585	2021-2060	12- The entire province except the mountainous areas	2031	decrease
	SSP585	2021-2060	۸- Mountainous and semi-mountainous areas	2036	increase
TR20	SSP585	2021-2060	7- Coastal areas	2037	increase
			8- Mountainous and semi-mountainous areas	2083	increase
	SSP585	2061-2100	7- Coastal areas	2086	increase
GSL	SSP585	2021-2060	2- Amol and Pol-Safid stations	2051	increase
			1- Bandar Amirabad station	2042	increase
WSDI	SSP585	2021-2060	7- Central areas in the north and south	2046	increase
			2- The western areas	2045	increase
	SSP585	2061-2100	6- The western areas	2082-2084	increase
			9- Central and Eastern regions	2085-2086	increase
CSDI	SSP126	2061-2100	1- Alasht station	2094	decrease
			1- Balade station	2066	increase
	SSP245	2021-2060	1- Kojur station	2073	increase
			4- Central coastal and semi-mountainous areas	2035	increase
SSP585	2021-2060	8- The eastern half of the province	2033	decrease	
		7- Coastal and semi-western areas of the province	2032	decrease	
SSP585	2061-2100	2- Amol and Dasht Naz stations	2083	decrease	

DTR (افزایشی در نیمه شرقی استان) در سال‌های ۲۰۸۸، ۲۰۹۰ و ۲۰۹۱ شاهد خواهیم بود. بر مبنای سناریوی حال متوسط (SSP245)، نتایج نشان داده است که در دوره‌ی زمانی آینده نزدیک، یک نقطه تغییر افزایشی برای نمایه‌های Txx (ایستگاه‌های امیرآباد، گلوگاه، کیاسر و رامسر)، Tnn (نواحی کوهستانی و نیمه غربی)، Tnx (نیمه غربی استان) و Tnx (اغلب مناطق) و Tn90p (نواحی غربی استان) در سال‌های ۲۰۴۷، ۲۰۴۸ و ۲۰۵۲ و یک نقطه تغییر کاهشی برای نمایه‌های Tnn (نیمه غربی استان) و Txx (ایستگاه‌های نوشهر و رامسر) در سال ۲۰۲۸ مشاهده خواهد شد. در حالی که برای دوره‌ی زمانی آینده دور، احتمال وقوع یک کاهش ناگهانی برای نمایه‌های Txx (در کل استان)، Tnn (نواحی غربی) و Tnx (کل استان) و Tnx (نواحی شرقی) در سال‌های ۲۰۷۶، ۲۰۷۷ و ۲۰۷۹ وجود خواهد داشت. همچنین یک تغییر ناگهانی کاهشی برای نمایه‌های Tnn (در نواحی شرقی و میانی) و Tnx (نواحی غربی و جنوبی) در سال ۲۰۶۶ و برای نمایه DTR (کل استان) در سال ۲۰۷۱ رخ خواهد داد. در حالی که یک تغییر ناگهانی افزایشی برای نمایه Tn90p (در نواحی کوهستانی شرق و جنوب) در سال ۲۰۸۲ ممکن است به وقوع بپیوندد.

نتایج بررسی نقطه شکست (تغییر) بر روی نمایه‌های حدی ماهانه (جدول‌های ۳ و ۴) نشان داده است که بر اساس حالت خوش‌بینانه (سناریو SSP126)، نمایه‌های TXX، Tnx، Tnx، Tn10p، Tx10p و Tx90p در هر دو دوره‌ی زمانی آینده دور و نزدیک دارای نقطه شکست معنی‌دار خواهند بود. برای دوره‌ی زمانی آینده نزدیک، یک نقطه تغییر ناگهانی برای نمایه‌های Txx (کاهشی در ایستگاه‌های بندر امیرآباد، نوشهر و سیاه‌بیشه)، Tnx (کاهشی در نیمه شرقی استان)، Tx10p (افزایشی در کل استان) و Tx90p (کاهشی در کل استان) در سال‌های ۲۰۳۹ و ۲۰۴۰، نمایه‌های Txx (کاهشی در ایستگاه رامسر) و Tnx (کاهشی در نواحی نیمه غربی و میانی) در سال ۲۰۵۳ و نیز نمایه‌های Tnx (کاهشی در نیمه شرقی استان) و Tn10p (افزایشی در نواحی ساحلی و نیمه کوهستانی) در سال ۲۰۳۴ مشاهده خواهد شد. در حالی که برای دوره‌ی زمانی آینده دور، یک تغییر ناگهانی برای نمایه Txx (افزایشی در نیمه شرقی و نواحی کوهستانی)، Tnx (افزایشی در کل استان)، Tnx (افزایشی در کل استان به جز ایستگاه‌های امیرآباد، گلوگاه و ساری)، Tx90p (افزایشی در نواحی کوهستانی شرق و جنوب)، Tn90p (افزایشی در نواحی شرقی) و Tnn (افزایشی در کل استان) در سال‌های ۲۰۸۲-۲۰۸۴ و برای نمایه Txx (افزایشی در ایستگاه رامسر)، Tn10p و Tx10p (کاهشی در کل استان) و

جدول ۳- نتایج آزمون پتیت بر روی نمایه‌های دمایی ماهانه (دارای نقطه شکست) برای سناریوهای مورد مطالعه در دوره‌ی آینده نزدیک

Table 3. Pettitt test results on monthly temperature indices (with break point) for the studied scenarios shortly period

Indice	Scenario	Number of station-Station Location	Year of occurrence	Breakpoint type
TXx	SSP126	3- Bandar Amirabad, Nowshahr and Siah-Bisheh stations	2040	decrease
		1- Ramsar station	2053	decrease
	SSP245	4- Bandar Amirabad, Galogah, Kiasar and Ramsar stations	2047	increase
	SSP585	15- The whole province	2047	increase
TnN	SSP245	4- Mountain areas	2047	increase
		3- The eastern half of the province	2028	decrease
	SSP585	7- The western coastal half and mountainous half	2052	decrease
		9- The western areas	2056	increase
		6- The eastern half and middle parts of the province	2046	increase
TNx	SSP126	8- The eastern half of the province	2039	decrease
		7- The western and central half (coastal and mountainous)	2053	decrease
	SSP245	5- The mountainous areas of the east and south of the province	2048	increase
		8- Coastal areas and western mountainous areas except Amol and Siah-Bisheh	2047	increase
SSP585	12- Most of the provinces	2047	increase	
	3- Baladeh, Ramsar and Siah-Bisheh stations	2046	increase	



Indice	Scenario	Number of station-Station Location	Year of occurrence	Breakpoint type
TXn	SSP126	8- The eastern half of the province (coastal and mountainous)	2034	decrease
	SSP245	12- Most of the province 2- Nowshahr and Ramsar	2047 2028	increase increase
TN10P	SSP585	15- The whole province	2056	increase
TX10P	SSP126	10- Coastal and semi-mountainous areas	2034	increase
TN90P	SSP126	15- The whole province	2039	increase
TX90P	SSP245	4- The western areas (coastal and mountainous)	2047	increase
DTR	SSP126	15- The whole province	2040	decrease
	SSP585	9- The middle and semi-eastern regions of the province (coastal, semi-mountainous and mountainous) 5- The western areas (coastal and mountainous)	2036 2053	increase Increase

تغییر ناگهانی افزایشی در سال‌های ۲۰۷۴، ۲۰۷۵ و ۲۰۷۲ برای نمایه‌های Txx (در نواحی ساحلی کوهستانی)، نمایه Tnx (کل استان) و نمایه DTR (نواحی غربی)، یک افزایش ناگهانی در سال ۲۰۹۲ برای نمایه‌های Txx (ایستگاه‌های گلوگاه، کیاسر و پل سفید) و DTR (نواحی میانی و نیمه شرقی استان) و در سال‌های ۲۰۸۲، ۲۰۸۳ و ۲۰۸۴ برای نمایه‌های Txx (کل استان)، Tnn (نواحی شرقی، میانی و غربی استان) وجود خواهد داشت. حال آنکه برای نمایه‌های دیگر، هیچ تغییر ناگهانی معنی‌داری مشاهده نشده است.

نتایج بر اساس حالت بدبینانه (SSP585) نیز حاکی از آن است که در آینده‌ی نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۲۱)، نمایه‌های Txx (در کل استان)، Tnn (نیمه شرقی و بخش‌های میانی) و Tnx (در اغلب نواحی استان) در سال‌های ۲۰۴۶ و ۲۰۴۷، نمایه‌های Tnn (نواحی غربی) و Txx (کل استان) در سال ۲۰۵۶ یک تغییر ناگهانی افزایشی را تجربه خواهند نمود. در حالی که ممکن است برای نمایه DTR، یک افزایش ناگهانی در سال ۲۰۳۶ و یک کاهش ناگهانی در سال ۲۰۵۳ رخ دهد. با این حال، در دوره‌ی آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۱)، احتمال وقوع یک

جدول ۴- نتایج آزمون پتیت بر روی نمایه‌های دمایی ماهانه (دارای نقطه شکست) برای سناریوهای مورد مطالعه در دوره‌ی آینده دور

Table 4. The results of the Pettitt test on the monthly temperature indices (with break point) for the studied scenarios in the distant future period

Indice	Scenario	Number of station-Station Location	Year of occurrence	Breakpoint type
TXx	SSP126	10- The eastern half of the province	2082	increase
		4- Mountainous and semi-mountainous regions of the south and southwest	2083	increase
	SSP245	1- Ramsar station	2091	increase
		8- The eastern and southern areas	2076	decrease
		7- Middle and western coastal areas of the province	2077	decrease
TNn	SSP585	12- Coastal and mountainous areas	2074	increase
	SSP126	3- Galogah, Kiasar and Pol-Safid stations	2092	increase
		15- The whole province	2082	increase
	SSP245	11- The eastern and middle regions of the province (coastal and mountainous)	2066	decrease
	TNx	SSP245	4- The western areas	2076
12- The eastern and middle regions of the province (coastal and mountainous)			2083	increase
SSP585		3- The western areas	2084	increase
		15- The whole province	2083	increase
TXn	SSP245	7- The middle and southern regions of the province	2079	decrease
		8- Coastal and eastern areas	2077	decrease
	SSP585	15- The whole province	2075	increase
		12- The whole province except Amirabad, Galogah and Sari stations	2084	increase
TXn	SSP245	10- The western half and southern areas	2066	decrease
	SSP585	5- The eastern areas (coastal and semi-mountainous) 15- The whole province	2076 2082	decrease increase

Indice	Scenario	Number of station-Station Location	Year of occurrence	Breakpoint type
TN10P	SSP126	15- The whole province	2088	decrease
TX10P	SSP126	15- The whole province	2090	decrease
TN90P	SSP126	8- The eastern areas (coastal and mountainous)	2082	increase
TX90P	SSP245	6- The eastern and southern mountainous areas	2082	increase
	SSP126	4- The eastern half of the province	2090	increase
	SSP245	15- The whole province	2071	decrease
DTR		9- The middle and semi-eastern regions of the province (coastal, semi-mountainous and mountainous)	2092	increase
	SSP585	5- The western areas (coastal and mountainous)	2072	increase

کند، ممکن است در آینده نزدیک شاهد افزایش هر چه بیشتر نمایه‌های دمایی گرم و کاهش طول دوره‌های سرد و یخبندان بود. با این حال در دوره‌ی زمانی آینده دور، اگر شرایط خوش‌بینانه حاکم شود، احتمال کاهش نمایه‌های شب‌های حاره‌ای و روزهای سرد و افزایش دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما وجود خواهد داشت که مقدار کاهش در شب‌های حاره‌ای قابل توجه خواهد بود (تا ۵۰- درصد).

در حالی که بر اساس شرایط حد متوسط، نمایه تعداد روزهای یخبندان (FD) افزایش اما بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Txx) و دامنه تغییرات شبانه‌روز (DTR) ممکن است کاهش یابد. اما اگر شرایط بدبینانه حاکم شود، می‌توان شاهد افزایش قابل ملاحظه نمایه‌های تعداد روزهای تابستانی، طول دوره گرم، شب‌های حاره‌ای و افزایش کمتر در در نمایه‌های کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه و دامنه تغییرات شبانه‌روز دما بود. براساس سناریوهای خوش‌بینانه و حد متوسط، بیشتر نواحی شرقی و کوهستانی تحت تأثیر روند نمایه‌های دمایی قرار خواهند گرفت.

در حالی که براساس سناریوی بدبینانه، اغلب مناطق استان تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. بررسی تغییرات ناگهانی نمایه‌های حدی نیز حاکی از آن است که در دوره‌ی آینده نزدیک و سناریو خوش‌بینانه، برای نمایه‌های بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه و کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه احتمال یک کاهش ناگهانی و برای نمایه‌های شب‌های سرد، روزهای سرد و روزهای گرم، احتمال یک افزایش ناگهانی وجود دارد که در نواحی شرقی اغلب در دهه ۲۰۴۰ اما در نواحی غربی در دهه ۲۰۵۰ خواهد بود. با این حال در دوره‌ی زمانی آینده دور، نمایه‌های بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، کمینه ماهانه

به طور کلی می‌توان بیان کرد نمایه‌های دمایی آینده دستخوش تغییر خواهند شد و مقدار این تغییر بسته به شرایط و حالت (سناریو) های مختلف، متفاوت است. در دوره‌ی آینده اول (۲۰۶۰-۲۰۲۱) بر اساس حالت خوش‌بینانه، نمایه‌های کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Txn)، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Tnx)، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Tnn)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Txx) و دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما به صورت معنی‌دار با شیب حدود ۰/۳- درصد کاهش و نمایه روزهای سرد افزایش خواهد یافت.

لذا می‌توان بیان کرد اگر شرایط خوش‌بینانه برای دوره آینده نزدیک برقرار شود، می‌توان شاهد کاهش نمایه‌های دمایی گرم و افزایش تعداد روزهای سرد بود. اما بر اساس حالت متوسط (SSP245)، تغییرات شاخص‌های گرم به سمت افزایشی بودن گرایش خواهد یافت به طوری که نمایه‌های شب‌های حاره‌ای (TR20)، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Txn)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Txx)، روزهای گرم (Tx90p) و دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) به صورت معنی‌دار افزایش اما طول دوره سرما (CSDI) کاهش خواهد یافت. به گونه‌ای که بیشترین شیب‌های روند مربوط به نمایه‌های حاره‌ای (تا ۴۰ درصد) و طول دوره سرما (۱۶- درصد) است.

همچنین بر اساس شرایط بدبینانه (SSP585)، نمایه‌های تعداد روزهای تابستانی (SU25)، طول دوره گرما (WSDI)، طول دوره رویش (GSL)، شب‌های حاره‌ای (TR20) و کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Txn) با شیب قابل توجهی افزایش اما نمایه‌های روزهای یخی (ID)، تعداد روزهای یخبندان (FD) و نمایه طول دوره سرما (CSDI) با شیب قابل توجهی کاهش خواهد یافت. لذا اگر شرایط به صورت شکل حاضر ادامه یابد یا در جهت تولید بیشتر CO<sub>2</sub> و گازهای گلخانه‌ای حرکت

و تبخیر-تعرق شده و از طریق افزایش تقاضای آبیاری، بر منابع آب فشار وارد می‌کند (Bannayan et al., 2020). از طرفی، براساس نتایج مطالعه (Zarenistanak, 2019)، احتمال کاهش بارش آینده تحت سناریوهای حد متوسط و بدبینانه وجود خواهد داشت که مقدار این کاهش تا پایان قرن جاری در تابستان بیشتر خواهد بود. لذا افزایش مولفه‌های دمایی در کنار کاهش بارندگی نقش عمده‌ای در افزایش خشکی در منطقه مرطوب خواهد داشت.

به گونه‌ای که (pour et al., 2020) گزارش کردند که مراتع و اراضی شمال و شمال غرب، بیشتر تحت تاثیر گسترش خشکی بوده که ممکن است پیامدهای شدیدی بر تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی کشور داشته باشد و از آنجا که مساحت عمده از استان تحت کشت غرقابی برنج است، کاهش منابع آب در دسترس خصوصاً در فصول گرم سال و افزایش دوره‌های خشک، مشکلات عدیده‌ای را در بخش کشاورزی به دنبال خواهد داشت. روند افزایش نمایه‌های دمایی گرم و کاهش نمایه‌های سرد احتمالاً مرتبط با محرک‌های اصلی انسان شناختی مانند صنعتی شدن، رشد جمعیت، جنگل‌زدایی، تغییر کاربری اراضی و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای است و در واقع پاسخی به این محرک‌ها است. بنابراین به منظور کاهش گسترش پیامدهای احتمالی تغییر اقلیم، می‌بایست برنامه‌ریزی‌های دقیقی در راستای کاهش خسارت‌های تغییر اقلیم در استان انجام شود.

### نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، پیش‌بینی تغییرات تدریجی (روند) و ناگهانی (نقطه شکست) نمایه‌های حدی دمایی در استان مازندران (۱۵ ایستگاه) براساس سناریوهای SSP (126, 245, 585) تغییر اقلیم برای دوره‌ی زمانی ۲۰۶۰-۲۰۲۱ و ۲۱۰۰-۲۰۶۱ است. بدین منظور، ابتدا داده‌های کمینه و بیشینه دما برای هر یک از سناریوهای مدل MRI-ESM-2 استخراج شد و سپس با استفاده از روش مقیاس‌کاهی داده‌ها با روش درون‌یابی دوخطی Bilinear برای هر یک از ایستگاه‌های هم‌دید مورد مطالعه شد. سپس شاخص‌های حدی دمایی

دمای حداکثر روزانه و شب‌های گرم یک تغییر ناگهانی افزایشی در سال ۲۰۸۴-۲۰۸۲ در اغلب نواحی استان خواهند داشت. در حالی که براساس سناریو حد متوسط و بدبینانه، احتمال وقوع نقطه تغییر کاهشی برای نمایه‌های تعداد روزهای یخبندان، روزهای یخی، نمایه طول دوره سرما، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه و احتمال وقوع نقطه تغییر افزایشی برای نمایه‌های بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه، تعداد روزهای تابستانی، شب‌های حاره‌ای، طول دوره گرما و دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما برای دهه‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ (در آینده نزدیک) و ۲۰۷۰ و ۲۰۸۰ (در آینده دور) در اغلب نواحی استان وجود خواهد داشت. اما برای سناریو بدبینانه نسبت به سناریو حد متوسط، نواحی بیشتری از استان تحت تأثیر تغییرات ناگهانی نمایه‌های حدی دمایی قرار خواهند گرفت.

نتایج مطالعات پیشین در این نواحی و نواحی اطراف از جمله (Mortazavifar et al., 2019) و (Asakereh et al., 2023) و (Gholami et al., 2024) بیانگر افزایش مولفه‌های دمایی در دوره‌ی آینده بوده است. همچنین نتایج (Sobhani et al., 2024) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های دمایی (کمینه و بیشینه) در ایران تحت مدل CanESM2 و دو سناریو SSP245 و SSP585 نشان داد که مؤلفه‌های دمایی تا سال ۲۱۰۰ روند افزایشی تحت هر دو سناریو خواهد داشت. (Asgari et al., 2023) در مطالعه‌ی خود نشان دادند که تحت تأثیر تغییر اقلیم (سناریوهای SSP245 و SSP585) در حوزه آبخیز گرگان‌رود، میزان دما ۱/۲ تا ۴/۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت و تحت تأثیر افزایش شدید دما و تبخیر-تعرق در آینده، میزان وقوع خشکسالی‌ها افزایش خواهد یافت.

در مطالعه‌های دیگر، (Norooz Valashedi and Khoshravesh, 2019) بر اساس سناریوهای مختلف مدل CanESM2 در ایستگاه کیاسر نشان دادند که تحت تأثیر تغییر اقلیم، طول دوره رویش در منطقه افزایش خواهد یافت. افزایش دما موجب افزایش نیاز آبی

(Asakereh et al., 2022)، در کشاورزی این منطقه که از مناطق مهم تولید برنج کشور است، نقش قابل توجهی دارد و چرخه هیدرولوژی پائین دست حوزه هراز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی تغییرات دمایی در زمستان و ماه‌های سرد نیز می‌تواند زمان آغاز ذوب برف حوضه را تحت تأثیر قرار می‌دهد که این عوامل روی دبی اوج سیلاب در پائین دست حوضه تأثیر بسزائی دارد (Norooz Valashedi and Bahrami, 2023).

با توجه به مطالب ذکر شده و ضرورت انجام چنین پژوهش‌هایی در زمینه‌های فعالیت‌های انسانی، مدیریت منابع آب، امنیت غذایی و نیز سلامتی انسان، بررسی تأثیر رویدادهای حدی اقلیمی مبتنی بر دما در سیاست گذاری‌های آینده در بخش‌های مختلف ضرورت دارد و جوامع انسانی می‌بایست به ناچار خود را بر اساس این شرایط تنظیم و سازگار نمایند. لذا بررسی و آگاهی از شدت، فراوانی و زمان وقوع رخداد‌های حدی می‌تواند در حل مسائل گریبان‌گیر زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی منطقی در جهت کنترل و کاهش این رخدادها مؤثر واقع شود. در نهایت می‌توان اذعان داشت، پهنه استان مازندران در آینده با تغییرات قابل توجهی در نمایه‌های حدی دما روبرو خواهد شد که می‌تواند تأثیرات منفی بر منابع آب، کشاورزی، جنگل‌داری و بهداشت عمومی داشته باشد. لذا لازم است که برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری در برابر این تغییرات، برنامه‌ریزی‌های مناسب صورت گیرد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از اداره کل هواشناسی استان مازندران در مساعدت در تهیه داده‌های هواشناسی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به علت حمایت مالی ایشان در انجام این پژوهش بیان می‌دارند.

### تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید همه نویسندگان است.

(۱۶ شاخص) با استفاده از نرم‌افزار Rclimdex به دست آمد. سپس روندهای تدریجی و ناگهانی هر یک از شاخص‌ها بر مبنای سناریوهای آینده در هر ایستگاه با استفاده از آزمون‌های ناپارامتریک من‌کنرال، شیب سن و پتیت بررسی شد. نتایج بیانگر افزایش قابل توجه نمایه‌های حدی گرم مبتنی بر سناریوهای حد متوسط و بدبینانه برای دوره‌های زمانی آینده بود. به طور کلی بیشترین روند افزایشی در سناریو حد متوسط مربوط به نمایه‌های شب‌های حاره‌ای (در آینده نزدیک) و تعداد روزهای یخبندان (آینده دور) مشاهده شد که در نواحی کوهستانی شدیدتر بود و بیشترین روند کاهشی مربوط به نمایه طول دوره سرما (آینده نزدیک) در نواحی شرقی است.

با این حال، براساس شرایط بدبینانه، بیشترین روندهای افزایشی در نمایه‌های تعداد روزهای تابستانی (آینده نزدیک و دور)، طول دوره رویش (آینده نزدیک)، شب‌های حاره‌ای (آینده نزدیک و دور) و نمایه طول دوره گرما (آینده نزدیک و دور) و بیشترین روندهای کاهشی در نمایه‌های روزهای یخی (آینده نزدیک)، تعداد روزهای یخبندان (آینده نزدیک) و طول دوره سرما (آینده نزدیک) وجود داشت. در حالی که بر اساس سناریو خوش‌بینانه، احتمال کاهش نمایه‌های دمایی گرم البته با شیب ملایم و کمتر وجود خواهد داشت. وجود تغییرات ناگهانی برای نمایه‌های دمایی تحت سناریو بدبینانه بیشتر از دو سناریو دیگر و در نواحی گسترده‌تری از استان مازندران قرار داشت. همچنین احتمال افزایش ناگهانی نمایه‌های حدی گرم و کاهش ناگهانی روزهای مربوط سرما و یخبندان در دوره‌ی زمانی آینده نزدیک در دهه ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ و در دوره‌ی زمانی آینده دور در دهه ۲۰۷۰ و ۲۰۸۰ وجود خواهد داشت.

به طور کلی، در طی دوره‌های آماری آینده مورد مطالعه، نمایه‌های حدی دمایی تغییرات قابل توجهی داشتند و استان مازندران با افزایش دمای هوا و رخداد‌های حدی درجه حرارت بالا همراه خواهد بود که این نتایج همسو با نتایج مطالعات منطقه‌ای و جهانی است. افزایش دما به ویژه در ماه‌های گرم که همزمان با کاهش بارش است (Alexander et al., 2006;)

## منابع مورد استفاده

- Adhikari, A.P., Mathema, A.B., 2023. Examining trends in temperature and precipitation mean/extremes over Gandaki Province, Nepal. *J. Water Clim. Change*. 14(7), 2342-2361
- Adnan, S., Ullah, K., Ahmed, R., 2020. Variability in meteorological parameters and their impact on evapotranspiration in a humid zone of Pakistan. *Meteorol. Appl.* 27(1), e1859.
- Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., Mirabbasi, R., Kumar, R., 2022. Spatiotemporal analysis of precipitation and temperature concentration using PCI and TCI: a case study of Khuzestan Province, Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 149(1-2), 743-760.
- Akinbile, C.O., Ogunmola, O.O., Abolude, A.T., Akande, S.O., 2020. Trends and spatial analysis of temperature and rainfall patterns on rice yields in Nigeria. *Atmospheric Science Letters*, 21(3), e944.
- Alashan, S. 2020. Combination of modified Mann-Kendall method and Sen innovative trend analysis. *Eng. Rep.* 2(3), e12131.
- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Vazquez-Aguirre, J.L., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res. Atmos.* 111(D5).
- Asakereh, H., 2020. Decadal variation in precipitation regime in northwest of Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 139, 461-471.
- Asakereh, H., Shahbaee Kotenae, A., Foroumadi, M., 2019. Evaluating changes and forecasting minimum temperature in the west of Mazandaran Province using statistical downscaling model SDSM. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 23(1), 101-119 (in Persian).
- Asgari, E., Norouzi Nazar, M.S., Baaghdeh, M., Entezari, A., 2023. Assessing the impacts of climate change on the future droughts in Gorganroud Watershed under CIMP6 models. *Clim. Change Res.* 4(14), 27-42 (in Persian).
- Bannayan, M., Asadi, S., Nouri, M., Yaghoubi, F., 2020. Time trend analysis of some agroclimatic variables during the last half century over Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 140(3-4), 839-857.
- Cai, W., Ng, B., Wang, G., Santoso, A., Wu, L., Yang, K., 2022. Increased ENSO sea surface temperature variability under four IPCC emission scenarios. *Nat. Clim. Change*. 12(3), 228-231.
- Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A.S., Murphy, C., 2021. Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *J. Water Clim. Change*. 12(1), 166-184.
- Ely, D.F., Fortin, G., 2020. Trend analysis of extreme thermal indices in south Brazil (1971 to 2014). *Theor. Appl. Climatol.* 139, 1045-1056.
- 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. *Geosci. Model Dev.* 9(5), 1937-1958.
- Fan, L., Xiong, Z., 2015. Using quantile regression to detect relationships between large-scale predictors and local precipitation over northern China. *Adv. Atmos. Sci.* 32, 541-552.
- Gadedjisso-Tossou, A., Adjegan, K.I., Kablan, A.K.M., 2021. Rainfall and temperature trend analysis by Mann-Kendall test and significance for rainfed cereal yields in Northern Togo. *Sci.* 3(1), 17.
- García-Marín, A.P., Estévez, J., Morbidelli, R., Saltalippi, C., Ayuso-Muñoz, J.L., Flammini, A., 2020. Assessing inhomogeneities in extreme annual rainfall data series by multifractal approach. *Water* 12(4), 1030.
- Gholami, A., 2024. Analysis of greenhouse gas emission scenarios in the plains part of Haraz Watershed in Mazandaran Province. *J. Environ. Sci. Stud.* 8(4), 7557-7573 (in Persian).
- Gulakhmadov, N., Chen, Y., Gulakhmadov, M., Satti, Z., Naveed, M., Davlyatov, R., Gulakhmadov, A., 2023. Assessment of temperature, precipitation, and snow cover at different altitudes of the Varzob River Basin in Tajikistan. *Appl. Sci.* 13(9), 5583.
- Gumus, V., Avsaroglu, Y., Simsek, O., 2022. Streamflow trends in the Tigris River basin using Mann-Kendall and innovative trend analysis methods. *Earth Syst. Sci. Data.* 131(1), 34.
- Gupta, V., Singh, V., Jain, M.K., 2020. Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *J. Hydrol.* 590, 125422.
- Haghshenasgatabi, R., Motevalli, S., Qobadi Janbaz, G., Razzaghian, H., Momene, B., 2023. Investigating the effect of climate change on water transfer between basins under climate change scenarios and models, Tajn Basin, Mazandaran Province. *J. Clim. Res.* 1402(53), 35-50 (in Persian).
- Hamed, K.H., Rao, A.R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *J. Hydrol.* 204(1-4), 182-196.
- Hamidov, A., Khamidov, M., Ishchanov, J., 2020. Impact of climate change on groundwater management in the northwestern part of Uzbekistan. *Agron.* 10(8), 1173.

- Hossain, A., Rahman, A., Sun, X., 2022. Roadway crash trend analysis with innovative trend analysis and Mann-Kendall Test.
- IPCC., 2013. Climate change 2013 the physical science basis contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed T F Stocker, D Qin, G-K Plattner, M Tignor, S K Allen, JBoschung, A Nauels, Y Xia, V Bex and P M Midgley (Cambridge: Cambridge University Press).
- Jin, D.H., Jang, S.H., Kim, H.K., Lee, Y.S.. 2021. A trend analysis of seasonal average temperatures over 40 years in South Korea using Mann-Kendall test and sen's slope. *Korean J. Appl. Stat.* 34(3), 439-447.
- Karl, T.R., Nicholls, N., Ghazi, A., 1999. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary. *Weather Clim. Extrem.* 3-7.
- Kumar, A., Prasad, V., Baghel, S., 2023. Estimation and evaluation of trend analysis of the Penman-Monteith reference evapotranspiration of Raipur region, Chhattisgarh central India. *Mausam* 74(1), 199-206.
- Lotfirad, M., Adib, A., Salehpoor, J., Ashrafzadeh, A., Kisi, O., 2021. Simulation of the impact of climate change on runoff and drought in an arid and semiarid basin (the Hablehroud, Iran). *Appl. Water Sci.* 11, 1-24.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: J. Econom Soc.* 245-259.
- Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M., Nejadsoleymani, H., 2019. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environ. Syst. Res.* 8(1), 1-10.
- Masoodian, S.A., 2023. A Climatological survey of spring of 2019 flood-causing precipitations in the western parts of Iran. *J. Nat. Environ. Hazards.* 12(37), 101-116.
- Matthews, H.D., Wynes, S., 2022. Current global efforts are insufficient to limit warming to 1.5 C. *Sci*, 376(6600), 1404-1409.
- Mersin, D., Tayfur, G., Vaheddoost, B., Safari, M.J.S., 2022. Historical trends associated with annual temperature and precipitation in Aegean Turkey, where are we heading?. *Sustainability.* 14(20), 13380.
- Mistry, M.N., 2019. A high-resolution global gridded historical dataset of climate extreme indices. *Data* 4(1), 41.
- Moghim, S., Heidariask, B., 2023. A novel method for adjusting cropping patterns to climate change. *J. Arid. Environ.* 214, 104979.
- Mortazavifar, S.M., Mobin, M.H., Mokhtari, M.H., Ekrami, M., Rfiei Sardoi, E., 2019. Evaluation of the impact of climate change on precipitation and temperature variables based on the RCP scenarios: a case study of the east of Mazandaran Province, Iran. *J. Meteorol. Atmos. Sci.* 1(4), 351-364 (in Persian).
- Norooz-Valashedi, R., Bahrami Pichaghchi, H., 2023. Detection of the effect of climate change on the snow areas of the Northern Alborz Watershed by CPA method. *Watershed Manag. Res.* 15(3), 386-403. (in Persian).
- Norooz-Valashedi, R., Khoshravesh, M., 2019. Evaluation of climate change scenarios effect on the chilling requirement for deciduous fruit trees in Kiasar of Sari. *Iran J. Soil Water Res.* 50(5), 1085-1093 (in Persian).
- Pettitt, A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *J. R. Stat. Soc., C: Appl. Stat.* 28(2), 126-135.
- Pour, S.H., Abd Wahab, A.K., Shahid, S., 2020. Spatiotemporal changes in aridity and the shift of drylands in Iran. *Atmos. Res.* 233, 104704.
- Saboochi, R., Soltani, S., Khodaghali, M., 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 109, 529-547.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc.* 63(324), 1379-1389.
- Seneviratne, S.I., Donat, M.G., Mueller, B., Alexander, L.V., 2014. No pause in the increase of hot temperature extremes. *Nat. Clim. Change.* 4(3), 161-163.
- Shagega, F.P., Munishi, S.E., Kongo, V.M., 2020. Assessment of potential impacts of climate change on water resources in Ngerengere catchment, Tanzania. *Phys. Chem. Earth (Pt A B,C).* 116, 102804.
- Sharafi, S., Mir Karim, N., 2020. Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Arab. J. Geosci.* 13, 1-11.
- Sheikh, M.M., Manzoor, N., Ashraf, J., Adnan, M., Collins, D., Hameed, S.L.S.M., Shrestha, M.L., 2015. Trends in extreme daily rainfall and temperature indices over South Asia. *Int. J. Climatol.* 35(7), 1625-1637.
- Sillmann, J., Roeckner, E., 2008. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. *Clim. Change.* 86, 83-104.
- Sobhani, B., Safarianzengir, V., 2024. Obviousization and estimation of climate change in the coming years of Iran. *J. Environ. Sci. Stud.* 8(4), 7243-7263 (in Persian).
- Solaimani, K., Bararkhanpour, S., 2022. Spatiotemporal changes of climatic parameters extreme quantiles and their role on evaporation in N. Iran (Golestan province). *Arab. J. Geosci.* 15(1), 68.
- Tayebiyani, A., Ahmad Mohammad, T., Malakootian, M., Nasiri, A., Heidari, M.R., Yazdanpanah, G., 2019. Potential impact of global warming on river runoff coming to Jor reservoir, Malaysia by integration of LARS-WG with artificial neural networks. *Environ. Health Eng. Manag.* 6(2), 139-149.

- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93(4), 485-498.
- Wang, H.J., Sun, J.Q., Chen, H.P., Zhu, Y.L., Zhang, Y., Jiang, D.B., Yang, S., 2012. Extreme climate in China: facts, simulation and projection. *Meteorol. Z.* 21(3), 279.
- Warnatzsch, E.A., Reay, D.S., 2019. Temperature and precipitation change in Malawi: Evaluation of CORDEX-Africa climate simulations for climate change impact assessments and adaptation planning. *Sci. Total Environ.* 654, 378-392.
- Xue, J., Gui, D., 2015. Linear and nonlinear characteristics of the runoff response to regional climate factors in the Qira River basin, Xinjiang, Northwest China. *PeerJ*, 3, e1104.
- Yang, Y., Bai, L., Wang, B., Wu, J., Fu, S., 2019. Reliability of the global climate models during 1961-1999 in arid and semiarid regions of China. *Sci. Total Environ.* 667, 271-286.
- Zare, M., Bejestan, M.S., Adib, A., Beygipoor, G., 2023. Analysis of Future Precipitation and Temperature Change and Its Implication on Doroodzan Dam, Iran. *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.* 47(2), 1139-1151.
- Zarenistanak, M., 2019. Historical trend analysis and future projections of precipitation from CMIP5 models in the Alborz mountain area, Iran. *Meteorol. Atmos. Phys.* 131(5), 1259-1280.
- Zhang, X., Yang, F., 2004. RCLimDex (1.0) user manual. Climate Research Branch Environment Canada, 22, 13-14.