

Analyzing the effect of climate change on the trend of extreme temperatures along the coast of Mazandaran province based on CMIP6 models

Sedigheh Bararkhanpour Ahmadi¹, Mehdi Nadi^{*2}, Sara Mazloom Babanari³,
Abbas Jedariforoughi⁴

1. Ph.D. Student of Agrometeorology, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: rbararkhan@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mehdi.nadi@gmail.com
3. Ph.D. Student of Agrometeorology, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: saramazloom94@gmail.com
4. Ph.D. Student of Biology, Dept. of Microbiology, South Dakota State University, South Dakota, USA. E-mail: abbasjedari@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 03.12.2023
Revised: 08.25.2023
Accepted: 08.27.2023

Keywords:
CMIP6 models,
Quantile regression,
SSP scenarios,
Temperature,
Trend

ABSTRACT

Background and Objectives: Global warming cause changes in temperature variables and consequently increase in the occurrence of extreme events like floods and droughts, result from extreme weather in most cases; Therefore, it is important to study and investigate the future changes of extreme values of meteorological and hydrological parameters, including temperature, more than the average or median value. Therefore, the purpose of this research is to investigate the effects of climate change on the trend of seasonal changes in extreme temperatures (very high and very low values) in coastal stations of Mazandaran province based on CMIP6 models and quantile regression method.

Materials and Methods: In this research, in order to investigate the trend of extreme values of temperature in Mazandaran province for the future periods, the output of the sixth generation of climate change models (Coupled Model Intercomparison Project phase 6, CMIP6) was used. For this purpose, minimum and maximum temperature of four main synoptic stations of the province, including Babolsar, Qarakhil, Ramsar and Nowshahr, and also the output of the NorESM2-MM climate model from the CMIP6 in near future (2026-2055) and far future (2071-2100) at three optimistic (SSP126), moderate (SSP245) and pessimistic (SSP585) scenarios was used. In order to downscale climate model data at the studied meteorological stations, various methods in the CMhyd downscaling software were used, and the temperature data output for the method that had higher accuracy, was selected for analysis of trend. In the next step, the quantile regression method was used to investigate the seasonal trend of temperature extreme values and the results were analyzed.

Results: The results of downscaling using different methods have shown that the Variance Scaling method has the best performance among the available methods in CMhyd. In general, the results show a positive temperature anomaly (annual temperature increase compared to the base period in SSP126=1.3, SSP245=2.56, SSP585=3.2 °C) in Mazandaran province in all months of the year until the end of the 21st century. The

intensity of the anomalies is higher in the warm months than in the cold ones. Under the optimistic scenario, the extreme values of the temperature variables in the spring and autumn seasons will decrease by a maximum of 1 degree per decade in the distant future. However, the average minimum temperature is increasing in all scenarios (including the optimistic scenario) and the decrease is only predicted for extreme values. Under the average and pessimistic scenarios, there will be an increase in the temperature extreme values in all seasons, so that its intensity will be greater for the pessimistic scenario and in the spring season (0.15 °C per year).

Conclusion: According to the results, it concluded that the significant increase in extreme temperature during the day and night, especially in the warm months of the year, will increase evapotranspiration, and along with the decrease in rainfall in the hot months, it will cause a decrease in water resources in different parts of Mazandaran province and pressure on the groundwater. Therefore, it is very important to formulate and implement appropriate management programs according to the needs of each region, in order to adapt to extreme temperatures and their adverse consequences.

Cite this article: Bararkhanpour Ahmadi, Sedigheh, Nadi, Mehdi, Mazloom Babanari, Sara, Jedariforoughi, Abbas. 2024. Analyzing the effect of climate change on the trend of extreme temperatures along the coast of Mazandaran province based on CMIP6 models. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (4), 1-27.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21185.3635

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تحلیل تأثیر تغییر اقلیم بر روند دماهای حدی در ایستگاه‌های ساحلی استان مازندران بر مبنای مدل‌های CMIP6

صدیقه برارخان‌پور احمدی^۱، مهدی نادی^{۲*}، سارا مظلوم باب‌اناری^۳، عباس جداری فروغی^۴

۱. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: rbararkhan@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mehdi.nadi@gmail.com
۳. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: saramazloom94@gmail.com
۴. دانشجوی دکتری بیولوژی، گروه میکروبیولوژی، دانشگاه ایالتی داکوتای جنوبی، داکوتای جنوبی، آمریکا. رایانامه: abbasjedari@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: گرمایش جهانی موجب تغییر در فراسنج‌های دما و به تبع آن افزایش وقوع رویدادهای فرین از جمله سیل و خشک‌سالی می‌شود که در اغلب موارد، از آب‌وهوای شدید حاصل می‌شوند؛ بنابراین مطالعه و بررسی تغییرات آینده مقادیر حدی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی از جمله دما، بیش‌تر از مقدار میانگین یا میانه، دارای اهمیت می‌باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روند تغییرات فصلی دماهای حدی (مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین) در ایستگاه‌های ساحلی استان مازندران بر مبنای مدل‌های CMIP6 و روش رگرسیون چندک است.
تاریخ دریافت: ۰۱/۱۲/۲۱ تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۶/۰۵	
واژه‌های کلیدی: دما، رگرسیون چندک، روند، سناریوهای SSP، مدل‌های CMIP6	مواد و روش‌ها: در این پژوهش، به منظور بررسی روند مقادیر حدی دما در استان مازندران برای دوره آینده از برونداد سری ششم مدل‌های تغییر اقلیم (Coupled Model Intercomparison Project phase 6, CMIP6) استفاده گردید. برای این منظور از دودسته داده شامل کمینه و بیشینه دمای ۴ ایستگاه سینوپتیک اصلی استان شامل بابلسر، قراخیل، رامسر و نوشهر و نیز برونداد مدل NorESM2-MM از مدل‌های CMIP6 در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) و آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰) و برای سه سناریو خوش‌بینانه (SSP126)، حد متوسط (SSP245) و بدبینانه (SSP585) استفاده گردید. به منظور ریزمقیاس‌سازی داده‌های مدل در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه، از روش‌های مختلف موجود در نرم‌افزار

ریزمقیاس سازی CMhyd استفاده گردید و خروجی داده‌های دما برای روشی که از دقت بالاتری برخوردار بود، برای بررسی روند انتخاب گردید. در گام بعد، برای بررسی روند فصلی مقادیر حدی دما از روش رگرسیون چندک استفاده گردید و نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج ریزمقیاس سازی با استفاده از روش‌های مختلف نشان داده است که روش Variance Scaling بهترین عملکرد را در بین روش‌های موجود در CMhyd دارد. به‌طورکلی نتایج بیانگر بی‌هنجاری مثبت دما (افزایش دمای سالانه نسبت به دوره پایه در سناریوهای SSP126=۱/۳، SSP245=۲/۵۶ و SSP585=۳/۲ درجه سلسیوس) در استان مازندران در تمام ماه‌های سال تا پایان قرن بیست و یکم است. شدت بی‌هنجاری در ماه‌های گرم بیش‌تر از ماه‌های سرد است. تحت سناریو خوش‌بینانه، مقادیر حدی متغیرهای دما در فصل‌های بهار و پاییز در آینده دور، حداکثر تا ۱ درجه در هر دهه کاهش خواهد یافت. با این حال، میانگین کمینه دما در همه سناریوها (از جمله سناریو خوش‌بینانه) افزایشی است و کاهش صرفاً برای مقادیر حدی پیش‌نگری شده است. اما تحت سناریوهای حد متوسط و بدبینانه، افزایش مقادیر حدی دما در تمامی فصل‌ها وجود خواهد داشت که شدت آن برای سناریو بدبینانه و در فصل بهار (۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد در سال) بیش‌تر خواهد بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد افزایش قابل‌ملاحظه دماهای حدی در شبانه‌روز به‌خصوص در ماه‌های گرم سال، باعث افزایش تبخیر و تعرق خواهد شد و در کنار کاهش بارندگی در ماه‌های گرم، باعث کاهش منابع آب در بخش‌های مختلف استان مازندران و فشار به آب‌های زیرزمینی می‌شود. بنابراین، تدوین و اجرای برنامه‌های مدیریتی مناسب در جهت نیاز هر منطقه، به‌منظور سازگاری با دماهای حدی و عواقب سوء آن، اهمیت بسیار دارد.

استناد: براخان‌پور احمدی، صدیقه، نادى، مهدى، مظلوم باب‌انارى، سارا، جدارى فروغى، عباس (۱۴۰۲). تحلیل تأثیر تغییر اقلیم بر روند دماهای حدی در ایستگاه‌های ساحلی استان مازندران بر مبنای مدل‌های CMIP6. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰ (۴)، ۱-۲۷.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21185.3635



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تغییر اقلیم انسان‌ساخت در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش دمای محیط و برهم خوردن تعادل سامانه اقلیمی کره زمین و تغییرات شدید اقلیمی شده است. تغییر اقلیم بر الگوهای اقلیمی و چرخه هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد و می‌تواند فراوانی یا شدت رویدادهای فرین اقلیمی مانند امواج گرما و خشک‌سالی را افزایش دهد (۱). در حال حاضر روند گرم شدن دمای کره زمین بخشی از تغییر اقلیم بیان می‌شود. پدیده تغییر اقلیم به‌طور مستقیم بر عوامل مختلف در ارتباط با زندگی بشر تأثیرگذار است. اولین گام در بررسی این اثرات، مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر فراسنجه‌های اقلیمی است.

دما از پارامترهای مهم اقلیمی است که تأثیرات مهمی بر زندگی انسان‌ها و سایر موجودات زنده دارد. افزایش میانگین دمای کره زمین و تغییرات آن نشانه‌ای از تغییر اقلیم است که در تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم به آن توجه شده است. براساس گزارش هیأت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC^۱)، دمای جهانی از سال ۱۹۵۱ به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است (۲). مطالعات مختلفی روند افزایشی دمای هوا در ایران را در طول چندین دهه گذشته نشان داده‌اند (۳ و ۴) که اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی را تأیید می‌کند و نیز تحت سناریوهای شبیه‌سازی شده غلظت‌های مختلف انتشار، دمای آینده ایران به افزایش خود ادامه خواهد داد (۵). به‌طوری‌که گزارش چهارم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) میانگین افزایش دمای جهان برای سال ۲۰۵۰ را در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد و در پایان قرن حاضر حدود ۴/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد کرده است (۶). با توجه به اهمیت فراسنجه‌های مختلف دمایی در جنبه‌های گوناگون زندگی بشر، بررسی ویژگی‌ها، روند زمانی و

پیش‌نگری آینده این فراسنجه‌ها از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است.

امروزه تخمین‌های تغییر اقلیم در آینده اساساً توسط مدل‌های گردش کلی (AOGCM) انجام می‌شود. این مدل‌ها می‌توانند میانگین‌های بزرگ‌مقیاس اقلیم آینده را به‌خوبی شبیه‌سازی کنند (۷). مجموعه برون‌داد مدل‌های اقلیمی با هماهنگی بین سازمان‌های مختلف برای استانداردسازی طراحی مدل‌های گردش کلی^۲ و توزیع مدل‌های شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار گرفته که به‌تازگی به‌عنوان عنصری اساسی در هدایت مطالعات اقلیمی در سطح جهانی تبدیل شده است (۸). مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم (CMIP6) که توسط کارگروه جهانی برنامه پژوهش‌های اقلیمی و کارگروه مدل‌های جفت شده سازمان‌دهی شده‌اند، به چارچوب اساسی برای اجرای شبیه‌سازی اقلیمی تبدیل شده‌اند. این رویکرد از توسعه مدل‌ها در کنار افزایش درک جامعه بشری از اوضاع اقلیمی گذشته و آینده، نقایص زیادی را در زمینه مدل‌سازی تغییرات اقلیمی برطرف کرده است (۹). در میان سناریوهای تغییر اقلیم، سناریوهای (Shared Soeconomic Pathway) SSP تعداد متفاوتی از مسیرهای ممکن اقتصادی و اجتماعی را در برمی‌گیرند و طیف وسیعی از مدل‌های اقلیمی و نسخه‌های مختلف آن در مرحله ششم CMIP مشارکت دارند (۱۰). پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده است که مدل‌های SSP ابزار ارزشمندی برای شناسایی پیامدهای هیدرولوژیکی تغییرات در متغیرهای آب و هوایی هستند (۱۱ و ۱۲). از بین برون‌دادهای مختلف اقلیمی مدل‌های جفت شده میان مقایسه‌ای فاز ششم (CMIP6) و سناریوهای SSP، مدل اقلیمی NorESM2-MM یکی از مدل‌هایی است که دارای کارایی و عملکرد مناسبی در

2- Atmosphere-Ocean General Circulation Model

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که دمای هوای سطحی در همه ماه‌ها به احتمال زیاد برای هر منطقه افزایش خواهد یافت. درحالی‌که برای بارش، عدم قطعیت‌های زیادی وجود خواهد داشت (۲۵). مقیم و همکاران (۲۰۲۲) به منظور بررسی تغییرات دما و بارش در دوره تاریخی اخیر (۲۰۱۶-۱۹۷۶) و آینده نزدیک (تا سال ۲۰۴۹) از داده‌های دو سناریو تغییر اقلیم استفاده نمودند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییرات دما عمدتاً در صدک‌های حدی (مثلاً ۱۰ درصد و ۹۰ درصد) رخ می‌دهد و نیز از نظر مقدار کمی تغییرات دما در توزیع داده‌های پیش‌نگری (آینده) نسبت به دوره تاریخی، نتایج نشان داده است که توزیع دما تمایل به تغییر در دماهای بالاتر دارد و مقدار تغییر در سناریو RCP8.5 تشدید خواهد شد (۲۶).

بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی مختلف در طول یک دوره زمانی از طریق بررسی روند انجام می‌شود که عموماً به بررسی تغییرات در میانگین سری زمانی داده‌ها تمرکز می‌کند. رویدادهای اقلیمی شدید اغلب از آب‌وهوای حدی حاصل می‌شوند و توجه به میانگین داده‌های اقلیمی از جمله دما ممکن است اطلاعات کافی را برای مدیریت و کنترل رویدادها به همراه نداشته باشد. بنابراین در کنار روش‌های مبتنی بر بررسی میانگین داده‌ها، به منظور بررسی تغییرات در بخش‌های مختلف از دامنه داده‌ها، روش رگرسیون چندک (۲۷) پیشنهاد شد که تعمیمی از رگرسیون میانه است که مقادیر مختلف چندک را تجزیه و تحلیل می‌کند (۲۸). تحلیل رگرسیون چندک این امکان را به پژوهش‌گر می‌دهد تا یک رگرسیون خطی را بر روی کل توزیع سری زمانی داده‌ها به خصوص چندک‌های حدی اعمال کند. به طوری‌که اگر چندک‌های بسیار بالا (بسیار پایین) در نظر گرفته شود، این روش اجازه

جهت بررسی رفتار آینده متغیرهای اقلیمی می‌باشد؛ به گونه‌ای که سونگ و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی عملکرد ۷ مدل از بین مدل‌های CMIP6 برای متغیرهای اقلیمی نشان دادند که مدل NorESM2.MM عملکرد خوبی از نظر اقلیم‌شناسی از خود نشان داده است (۱۳). هم‌چنین مطالعات مختلفی انجام شده است که برای پیش‌نگری متغیرهای دمایی و بارش از مدل اقلیمی NorESM2.MM استفاده نموده‌اند و نشان دادند که این مدل عملکرد قوی را در بازتولید شاخص‌های مشاهده شده در تمام تحلیل‌ها نشان می‌دهد (۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸).

مطالعات مختلفی در بررسی روند حال و آینده متغیرهای دمایی برای بخش‌های مختلف ایران در مقیاس‌های زمانی مختلف انجام شده است (۱۹، ۲۰ و ۲۱). از جمله، شیخ و همکاران (۲۰۱۵) از شاخص‌های مبتنی بر مشاهدات دما و بارش برای ارزیابی حدی‌های اقلیمی در جنوب آسیا استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که به طور کلی انتظار می‌رود که شدت گرما و سردی به ترتیب افزایش و کاهش یابد (۲۲). نتایج مطالعه طیبیان و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تغییرات آینده میانگین دمای هوا بر اساس مدل گردش عمومی HadCM3 طبق سناریوهای انتشار A1B، A2 و A1، افزایش ۰/۷-۰/۳ درجه سانتی‌گراد در میانگین دمای ماهانه را نشان داد (۲۳). شاگگا و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب تانزانیا برای دوره آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۹) نتیجه گرفتند که کمینه و بیشینه دمای هوا افزایش یافته و بارش نیز دارای روند افزایشی اما با مقدار تغییر متفاوت در ماه‌های مختلف بوده است (۲۴). دولابیان و همکاران (۲۰۲۱) برای بررسی تغییرات دمای هوای سطحی و بارش آینده در ۶ ایستگاه سینوپتیک در مناطق مختلف ایران از خروجی‌های مدل AOGCM برای سه سناریوی

ایستگاه‌های گرگان، بابلسر و بندرانزلی) طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۵۹ با استفاده از روش رگرسیون چندک دریافتند که روندهای افزایشی بارش اغلب مربوط به چندک حدی بارش روزانه (چندک ۰/۹۹، بیانگر بارش‌های خیلی شدید) بوده که بیانگر افزایش بارندگی‌های شدید و وقایع سیلابی است و هم‌چنین وقوع بارش‌های حدی و شدید در دهه‌های اخیر در فصل زمستان افزایش بیش‌تری داشته است (۳۷). هائوپت و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود با استفاده از روش رگرسیون چندک نشان دادند که دماهای بسیار بالا در انگلستان به‌طور غیرمعمول افزایش یافته است (۳۸). کوسلی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی تغییرات فصلی و سالانه حجم رواناب سطحی تخلیه شده توسط رودخانه قره‌سو به خلیج گرگان در بین سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۷۱ با استفاده از رگرسیون چندک نشان دادند که بزرگی تغییرات چندک‌های بالا قوی‌تر از چندک‌های پایین‌تر بود که نشان‌دهنده اهمیت بررسی تغییرات چندک‌های مختلف به‌جای صرفاً میانگین داده‌ها است (۳۹). هم‌چنین نتایج پژوهش برارخان‌پور احمدی و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه روند فصلی مقادیر مختلف بارش و نیز بررسی رابطه پارامترهای اقلیمی (کمینه و بیشینه رطوبت نسبی، کمینه و بیشینه دما و بیشینه سرعت باد) بر روی مقادیر مختلف بارش در اقلیم‌های مختلف ایران (۵ ایستگاه با اقلیم‌های مختلف) نشان داد که تغییرات معنی‌دار بارش بیش‌تر مربوط به مقادیر حدی بارش (مقادیر بارش‌های بسیار بالا و بسیار پایین روزانه) بوده و نیز بارش‌های ایستگاه‌های نزدیک سواحل شمالی و جنوبی به مقدار بیش‌تری تحت‌تأثیر پارامترهای اقلیمی بوده است (۴۰).

با توجه به مطالب فوق و اهمیت دماهای حدی بالا و پایین در مدیریت منابع آب و محصولات کشاورزی، بررسی تغییرات آینده دما بر مبنای سری

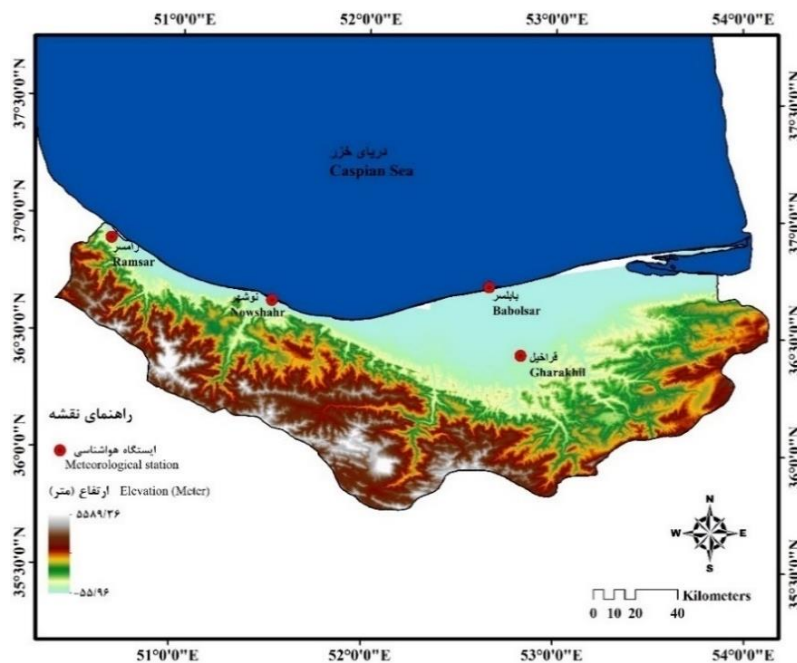
می‌دهد تا دنباله‌های بالایی (پایینی) تابع توزیع احتمال داده‌ها که بیانگر مقادیر بالا (پایین) از داده‌های سری زمانی می‌باشند، موردبررسی قرار گیرد و شیب‌های روند را در هر چندک دلخواه برآورد کند (۲۹). مطالعات مختلفی براساس روش رگرسیون چندک برای بررسی روند متغیرهای مختلف از جمله بارندگی (۳۰ و ۳۱)، دما و رطوبت نسبی (۳۲ و ۳۳) انجام شده است. هم‌چنین، مهدوی و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی عوامل مؤثر بر تفاوت انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش حمل‌ونقل برای استان‌های ایران با استفاده از روش رگرسیون چندک نتیجه گرفتند که شهرنشینی، شدت انرژی و تولید دارای اثر مثبت و معنی‌دار بر انتشار دی‌اکسیدکربن اما جمعیت اثر منفی و معنادار بر آن دارد. هم‌چنین با حرکت به سمت چندک‌های بالای انتشار دی‌اکسیدکربن، اثر شدت انرژی و تولید افزایش اما اثر شهرنشینی کاهش می‌یابد (۳۴). مک‌کینان و پوییک (۲۰۲۰) در تجزیه‌وتحلیل روند دمای نقطه شبنم در طول روزهای گرم بر روی ۲۴۱۶ ایستگاه هواشناسی در سراسر جهان با استفاده از روش رگرسیون چندک دریافتند که به‌طورکلی نقطه شبنم در هر دو روز گرم و خشک، و گرم و مرطوب در مناطق گرمسیری و عرض‌های جغرافیایی بالا در حال افزایش است اما در مناطق نیمه گرمسیری به‌ویژه در روزهای گرم و خشک در حال کاهش است (۳۵). فتحیان و همکاران (۲۰۲۱) به ارتباط غیرمستقیم بین سطح آب دریاچه ارومیه و دو نوسان جنوبی (SOI) و نوسان اقیانوس اطلس شمالی (NAO) با استفاده از روش رگرسیون چندک در دوره زمانی ۲۰۱۶-۱۹۶۶ پرداختند. نتایج نشان داد که الگوهای نوسانات جوی بزرگ‌مقیاس، طیفی از اثرات کاهش و افزایشی بر سطح آب دریاچه در چندک‌های مختلف دارند (۳۶). سلیمانی و برارخان‌پور احمدی (۲۰۲۲) در بررسی روند بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر

مساحتی بالغ بر ۲۳۸۴۲ کیلومتر مربع در شمال کشور ایران و در محدوده ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این منطقه در شمال ایران و در ساحل دریای خزر واقع شده و در بین رشته‌کوه‌های البرز در شمال و کوه‌های تالش در غرب قرار گرفته است. بیش‌ترین ارتفاع این محدوده ۵۶۷۰ متر و کمینه ارتفاع آن ۲۱- متر از سطح دریاهای آزاد است. استان مازندران به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی آن و فاصله کم بین مناطق کوهستانی و دریا، همراه با بارش‌های سالانه نسبتاً قابل توجه (۷۱۰ میلی‌متر در سال) و دمای معتدل (۱۷ درجه سلسیوس) در طول سال است. با حرکت از مناطق غربی به سمت مناطق شرقی استان، از مقدار بارش کاسته شده و بر میزان دمای هوا افزوده می‌شود (۴۱).

جدید داده‌های تغییر اقلیم (CMIP6) جهت اعمال روش‌های مدیریتی مناسب برای سازگاری با تغییر اقلیم و پیامدهای آن ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از این پژوهش، پیش‌نگری متغیرهای دمایی شامل کمینه و بیشینه دما در ایستگاه‌های ساحلی استان مازندران در دو دوره زمانی ۲۰۵۵-۲۰۲۶ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ براساس داده‌های سری زمانی کمینه و بیشینه دمای روزانه در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) برای ایستگاه‌های موردبررسی و جدیدترین سناریوهای تدوین شده هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم شامل سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 برای دوره‌های زمانی آینده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی در این پژوهش، ایستگاه‌های نزدیک به نواحی ساحلی دریای خزر در استان مازندران می‌باشد (شکل ۱). استان مازندران با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی.

Figure 1. Geographical location of the study area and the investigated meteorological stations.

RCP4.5, RCP6.0 و RCP8.5 موجود در CMIP5 است (۴۲). برون داد مدل‌های اقلیمی CMIP6 شامل داده‌های تاریخی^۳ و سناریو، از پایگاه داده‌های ESGF^۴ قابل دریافت می‌باشد. در این پژوهش، ابتدا برون داد مدل اقلیمی NorESM2.MM از پایگاه داده استخراج و سپس اطلاعات منطقه مورد نظر استخراج گردید. مدل‌های مورد استفاده از سری مدل‌های SSP می‌باشد که داده‌های کمینه و بیشینه دمای آن‌ها در دسترس بوده و نیز در این پژوهش از سه سناریو خوش‌بینانه SSP1-2-6، حد متوسط SSP2-4-5 و بدبینانه SSP5-8-5 برای دو دوره آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) استفاده گردید. بدین منظور، ابتدا داده تاریخی طی دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) و داده‌های سناریو برای دوره آینده (تا سال ۲۱۰۰) برای مدل اقلیمی مورد مطالعه از پایگاه داده 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 گردید. پس از استخراج داده‌ها برای هر موقعیت جغرافیایی، اقدام به مقیاس‌کاهی آماری داده‌ها در سطح ایستگاه مورد نظر شد.

مقیاس‌کاهی آماری مدل‌های تغییر اقلیم: یکی از مشکلات بزرگ استفاده از مدل گردش کلی، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن نسبت به مکان و زمان منطقه مورد مطالعه است. در واقع از مدل گردش کلی نمی‌توان به صورت مستقیم برای پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی منطقه و یا نقطه مورد نظر استفاده کرد و نیاز به ریزمقیاس‌گردانی خروجی‌های این مدل‌ها می‌باشد. در تعریفی دیگر، ریزمقیاس‌گردانی یا

داده‌های مورد استفاده: در این پژوهش از داده‌های روزانه کمینه و بیشینه دمای ایستگاه‌های همدید استان مازندران طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵ برای درستی‌سنجی مدل‌های منتخب حاصل از سناریوهای گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) استفاده گردید. از آن‌جاکه دوره تاریخی CMIP6 تا پایان سال ۲۰۱۴ است و به جهت بررسی بی‌هنجاری آینده متغیرهای دمایی، دوره مشاهداتی نیز یک دوره ۳۰ ساله در نظر گرفته شد تا بهتر بتوان تغییرات بی‌هنجاری دهه‌های مختلف را بررسی کرد، بنابراین تنها ۴ ایستگاه مورد مطالعه در پژوهش دارای داده‌های با دوره زمانی کافی (حداقل ۳۰ سال) به منظور مقیاس‌کاهی داده‌های آینده با درجه پایین‌تری از عدم قطعیت بوده است. به‌طورکلی، ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل ۴ ایستگاه هم‌مدیدی اصلی استان شامل رامسر، نوشهر، بابلسر و قراخیل می‌باشد که دارای داده‌های بلندمدت تاریخی بوده که از پراکندگی مناسب برخوردار می‌باشند.

مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار: مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم^۱ (CMIP6)، جدیدترین گزارش انتشار یافته می‌باشند که به یک چارچوب اساسی برای اجرای شبیه‌سازی اقلیمی تبدیل شده‌اند. تعداد لایه‌های عمودی در تمام مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 بهبود یافته که یکی از این مزایای افزایش، شبیه‌سازی دقیق‌تر در استراتوسفر است و همچنین تعداد سناریوهای آینده، بررسی شده و گسترش قابل‌توجهی یافته است. سناریوهای جدید اضافه شده CMIP6 از سناریو مسیره‌های مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSP^۲)، شامل SSP1-1.9، SSP4-3.4، SSP3-7.0 بوده که چهار سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP4-6.0 و SSP5-8.5 نیز به روز شده سناریوهای RCP2.6.

3- Historical

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

1- Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

2- Shared Socio-economic Pathways

رویکرد حداقل مربعات در روش رگرسیون خطی معمولی است (۲۷). تفاوت اصلی بین رگرسیون چندک و روش حداقل مربعات در این است که روش حداقل مربعات، تخمین‌های مبتنی بر مدل را برای میانگین داده‌ها اما رگرسیون چندک، تخمین‌هایی را بر روی یک چندک مشخص تولید می‌کند (۴۵). فرآیند مدل‌سازی برای رگرسیون چندک شبیه به سایر روش‌های رگرسیونی است و شامل متغیر(های) مستقل و یک متغیر پاسخ به عنوان خروجی و نتیجه موردنظر می‌باشد. مدل رگرسیون چندک به شکل رابطه ۱ است (۲۷ و ۴۶):

$$Y(\theta|x) = \beta_0(\theta) + \beta_1(\theta)x + \varepsilon \quad (1)$$

که در آن، $\beta_0(\theta)$ عرض از مبدأ و $\beta_1(\theta)$ ضریب شیب است و هر دو بسته به مقدار θ امین چندک مورد بررسی، تغییر می‌کنند. ε خطا با انتظار صفر و محدوده مقادیر θ از صفر تا یک است. رگرسیون چندک θ ام، توسط حداقل کردن رابطه ۲ انجام می‌شود:

(۲)

$$\text{minimize} \left\{ \sum_{\{i|y_i < y_{\theta}(x_i)\}} (1 - \theta) |y_i - y_{\theta}(x_i)| + \sum_{\{i|y_i > y_{\theta}(x_i)\}} \theta |y_i - y_{\theta}(x_i)| \right\}$$

که $\{y_{\theta}(x_i) = \beta_0(\theta) + \beta_1(\theta)x_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ است. با توجه به رابطه ۲ برای برآورد رگرسیون چندک از حداقل نمودن مجموع قدرمطلق باقی‌مانده‌ها استفاده می‌شود که روش حداقل قدرمطلق باقی‌مانده‌ها نامیده می‌شود که با توجه به آن، مقدار مطلق تفاوت بین یک مشاهده y_i از چندک θ ام متناظر $y_{\theta}(x_i)$ وزن $(1 - \theta)$ می‌گیرد اگر مشاهدات زیر خط چندک باشد و وزن θ می‌گیرد اگر مشاهدات بالای خط چندک باشد (۳۷). برای یک مجموعه از مشاهدات

مقیاس‌کاهی، راهی برای تولید داده‌های اقلیمی با وضوح بالا از یک سری مدل‌های گردش عمومی با قدرت تفکیک پایین می‌باشد و براساس اطلاعات به‌دست آمده از این روش می‌توان به توضیح شرایط اقلیمی در مقیاس ایستگاهی و محلی پرداخت (۴۳). نرم‌افزار CMHyd برای مقیاس‌کاهی داده‌های دما و بارش حاصل از خروجی مدل‌های تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد که به دلیل برخورداری از هشت روش گوناگون مقیاس‌کاهی و اجرای سریع روش‌های منتخب می‌تواند به عنوان مدلی کارا برای مقیاس‌کاهی برون‌داد مدل‌های سری CMIP6 استفاده گردد. ورودی این نرم‌افزار داری سه نوع داده می‌باشد که عبارتند از: داده‌های دیدبانی، داده‌های دوره گذشته مدل اقلیمی (هستوریکال) و داده‌های سناریوی (آینده) مدل‌های اقلیمی. بارش مشاهده شده از هر نوع داده (دیدبانی، هستوریکال و سناریو) به عنوان فایل‌های ASCII یا متنی جداگانه در یک فهرست ذخیره می‌شوند. فایل‌ها حاوی تاریخ شروع داده‌های سری زمانی و به دنبال آن مقادیر سری زمانی روزانه از پارامتر خاص در نظر گرفته می‌شوند. همچنین یک فایل مکان، که شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و نام هر یک از فایل‌های داده موجود در فهرست است، باید به نرم‌افزار معرفی گردد.

روش رگرسیون چندک: چندک‌ها مقادیری با فواصل مساوی هستند که از تابع توزیع تجمعی یک متغیر تصادفی انتخاب می‌شوند. برای یک متغیر تصادفی مثبت X ، چندک τ به صورت زیر تعریف می‌شود (۴۴).

$$Q_{\tau}(\tau) = \inf \{t: \Pr(X \leq t) \geq \tau\}, \tau \in (0, 1)$$

روش رگرسیون چندک یک روش آماری رگرسیونی است که در ابتدا توسط کوئنکر و باست (۱۹۷۸) پیشنهاد شد و یک جایگزین مناسب برای

متغیر کمینه و بیشینه دما و نیز ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام گردید (جدول‌های ۱ و ۲، شکل ۲). نتایج نشان داد که از میان روش‌های مختلف مقیاس‌کاهی، خروجی روش‌های DM و VS دارای همبستگی بالاتری با داده‌های ایستگاهی دوره پایه بوده که از این میان، روش VS بالاترین همبستگی و نزدیک بودن ضرایب معادله رگرسیونی به خط $Y=X$ را برای متغیرهای کمینه و بیشینه دما نشان داده است. همچنین مقادیر همبستگی برای داده‌های کمینه دما در اغلب موارد بیش‌تر از بیشینه دما بوده است. از طرفی، رسم نمودار جعبه‌ای برای داده‌های مقیاس‌کاهی شده برای کمینه و بیشینه دما در ایستگاه‌های مختلف با استفاده از روش‌های مختلف مقیاس‌کاهی که یک نمونه آن در شکل ۳ آمده است، نیز ارتباط داده‌های مقیاس‌کاهی شده مرتبط با روش VS با داده‌های پایه بهتر نشان می‌دهد.

برآورد ضرایب β_θ به $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$ شکل رابطه ۳ است:

$$\hat{\beta}_\theta = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^n \theta_\theta (y_i - x_i^T \beta) \quad (3)$$

که تابع $\theta_\theta(\cdot)$ به شکل رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$\theta_\theta(u) = \begin{cases} u(\theta - 1) & \text{if } u < 0 \\ u\theta & \text{if } u \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

محاسبات مربوط به رگرسیون چندک با استفاده از بسته کوانترگ^۱ (۴۷) انجام شد. برای اطلاع یافتن از جزئیات بیش‌تر در مورد روش رگرسیون چندک، به کوئنکر و دی‌اوری (۱۹۷۸) مراجعه گردد (۴۸).

نتایج و بحث

مقیاس‌کاهی متغیرهای دما: تحلیل رگرسیونی بین داده‌های دوره تاریخی مقیاس‌کاهی شده مدل NorESM2.MM و داده‌های ایستگاهی برای هر دو

جدول ۱- ارزیابی روش‌های مقیاس‌کاهی برای داده‌های کمینه دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Evaluation of downscaling methods for minimum temperature data in the studied stations.

R ²	معادله Equation	روش مقیاس‌کاهی Downscaling Method	ایستگاه Station	R ²	معادله Equation	روش مقیاس‌کاهی Downscaling Method	ایستگاه Station
0.78	0.8866x+1.6001	DM		0.79	0.8918x+1.4516	DM	
0.76	0.8909x+1.5391	LS	بابلسر Babolsar	0.76	0.8965x+1.3893	LS	رامسر Ramsar
0.78	0.881x+1.6795	VS		0.79	0.889x+1.4895	VS	
0.77	0.88x+1.5097	DM		0.79	0.8875x+1.4641	DM	
0.76	0.8825x+1.4781	LS	قراخیل Gharakhil	0.75	0.8927x+1.3958	LS	نوشهر Nowshahr
0.77	0.8746x+1.05766	VS		0.79	0.883x+1.522	VS	

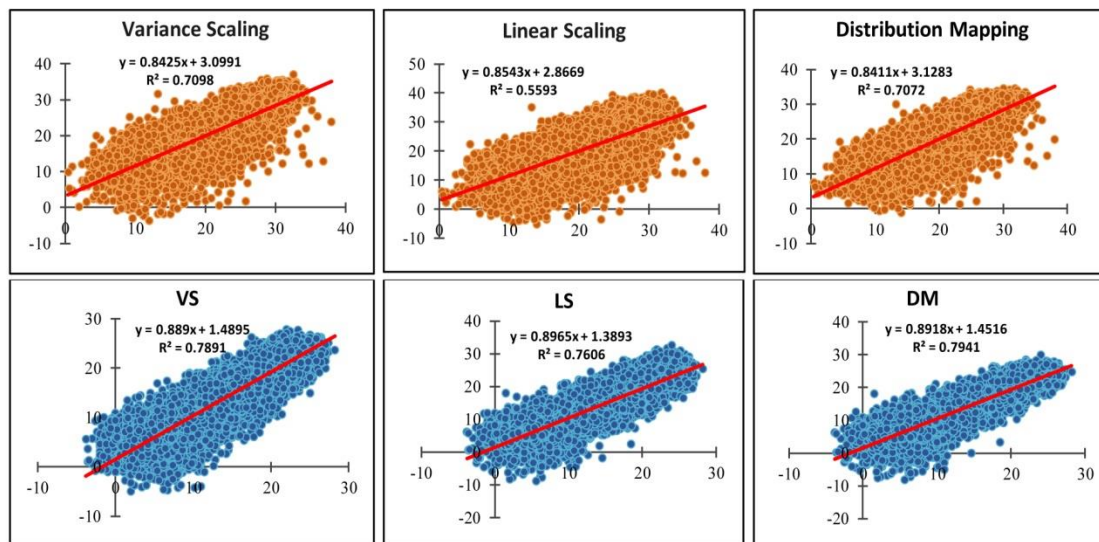
DM: Distribution Mapping, LS: Linear Scaling, VS: VarianceScaling

جدول ۲- ارزیابی روش‌های مقیاس‌کاهی برای داده‌های پیشینه دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 2. Evaluation of downscaling methods for maximum temperature data in the studied stations.

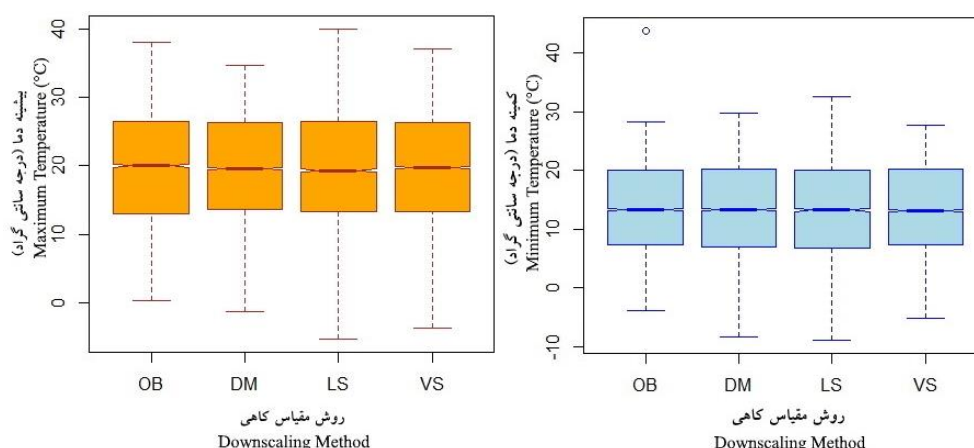
R ²	معادله Equation	روش مقیاس‌کاهی Downscaling Method	ایستگاه Station	R ²	معادله Equation	روش مقیاس‌کاهی Downscaling Method	ایستگاه Station
0.72	0.8477x+3.239	DM	بابلسر Babolsar	0.7	0.8411x+3.1283	DM	رامسر Ramsar
0.57	0.8576x+3.029	LS		0.56	0.8543x+2.8669	LS	
0.72	0.8517x+3.1548	VS		0.71	0.8425x+3.0991	VS	
0.6	0.7762x+4.8625	DM	قراخیل Gharakhil	0.7	0.8404x+3.1768	DM	نوشهر Nowshahr
0.52	0.7834x+4.7076	LS		0.54	0.8533x+2.9198	LS	
0.61	0.7806x+4.7686	VS		0.71	0.8441x+3.1027	VS	

DM: Distribution Mapping, LS: Linear Scaling, VS: Variance Scaling



شکل ۲- تحلیل رگرسیونی بین داده‌های کمینه (دایره‌های آبی) و بیشینه (دایره‌های قهوه‌ای) دما در دوره پایه و داده‌های سناریو مقیاس‌کاهی شده برای ایستگاه رامسر.

Figure 2. Regression analysis between minimum (blue circles) and maximum (brown circles) temperature data in the base period and downscaled scenario data for Ramsar station.



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای داده‌های کمینه (آبی) و بیشینه (نارنجی) دما در دوره پایه و داده‌های سناریو مقیاس‌کاهی شده برای ایستگاه رامسر.

Figure 3. Box plot of minimum (blue) and maximum (orange) temperature data in the base period and downscaled scenario data for Ramsar station.

(OB: Observation, DM: Distribution Mapping, LS: Linear Scaling, VS: Variance Scaling)

سناتی‌گراد افزایش خواهد یافت که مقدار افزایش دما در ایستگاه رامسر بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین حداکثر افزایش برای کمینه و بیشینه دما در ایستگاه رامسر (به ترتیب $3/6$ و $4/6$ درجه سانتی‌گراد) وجود دارد. حاصل تفریق میانگین دمای دوره پایه از میانگین دما در سناریو بدبینانه (SSP585) از دوره آینده بیش‌تر از سناریوهای دیگر می‌باشد. با این‌حال حداقل افزایش برای کمینه و بیشینه دما مربوط به سناریو خوش‌بینانه (SSP126) در دوره آینده نزدیک بوده که حداقل افزایش برای کمینه دما در ایستگاه نوشهر (۱ درجه سانتی‌گراد) و برای بیشینه دما در ایستگاه‌های نوشهر و قراخیل ($1/3$ درجه سانتی‌گراد) بوده است.

تحلیل رژیم دمایی کمینه و بیشینه: بررسی میانگین سالانه متغیرهای کمینه و بیشینه دما در دوره‌های آینده نزدیک و آینده دور (جدول ۳) نشان داده است که برای تمامی سناریوهای مورد مطالعه، میانگین سالانه کمینه و بیشینه دما در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت و نیز افزایش دما از دوره آینده نزدیک به سمت دوره آینده دور ادامه خواهد داشت. با این‌حال، همان‌طور که انتظار می‌رود، افزایش دما در سناریو خوش‌بینانه کم‌تر از سناریو بدبینانه می‌باشد. بنابراین در بهترین حالت (سناریو خوش‌بینانه)، تا سال ۲۱۰۰، میانگین سالانه کمینه و بیشینه دما به ترتیب به اندازه $1/4-1/3$ درجه سانتی‌گراد و در بدترین حالت، به ترتیب به اندازه $3/6-3/5$ و $4/6-4/2$ درجه

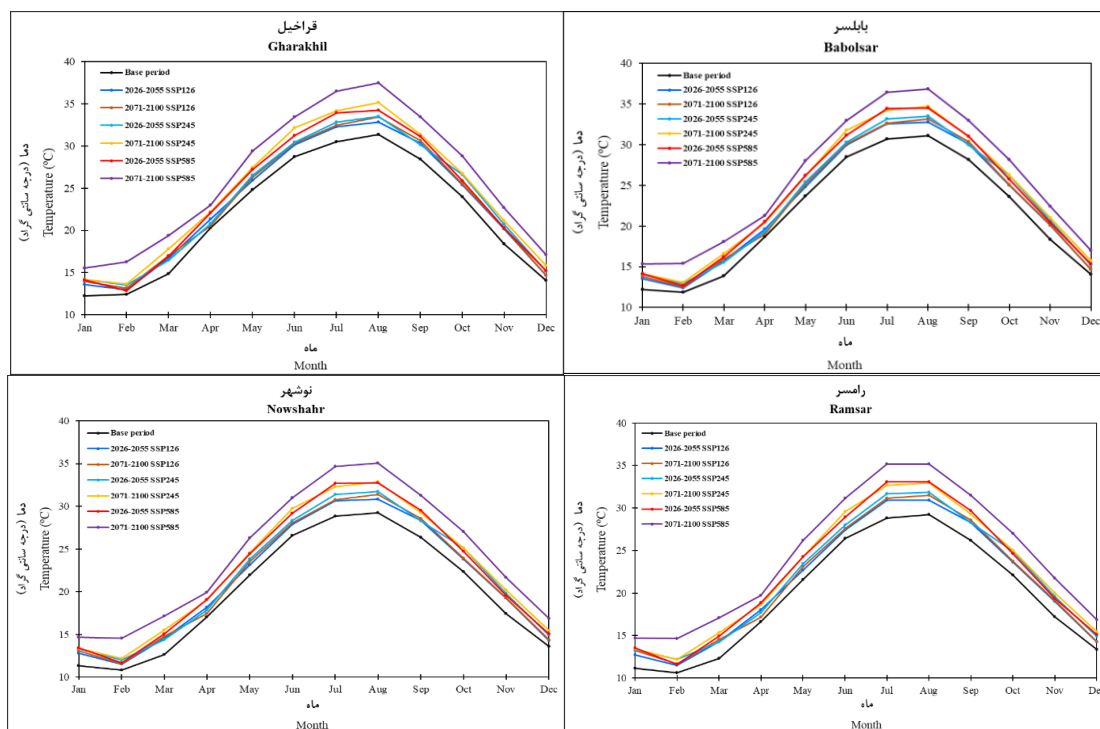
جدول ۳- میانگین سالانه کمینه و بیشینه دما در دوره پایه و آینده برای سناریوهای مختلف.

Table 3. Average annual minimum and maximum temperature in the base and future period for different scenarios.

حداکثر افزایش	حداقل افزایش	دوره آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰)			دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵)			دوره پایه Base Period	ایستگاه-متغیر Variable-Station
		Far Future Period (2071-2100)			Near Future Period (2026-2055)				
		SSP585	SSP245	SSP126	SSP585	SSP245	SSP126		
+3.6	+1.1	17	15.6	14.7	15.6	15	14.5	13.4	رامسر - کمینه دما Tmin-Ramsar
+4.6	+1.5	24.2	22.4	21.3	22.3	21.7	21.1	19.6	رامسر - بیشینه دما Tmax-Ramsar
+3.5	+1	16.5	15	14.3	15.2	14.6	14	13	نوشهر - کمینه دما Tmin-Nowshahr
+4.2	+1.3	24.2	22.5	21.4	22.3	21.7	21.3	20	نوشهر - بیشینه دما Tmax-Nowshahr
+3.5	+1.2	17.5	16.1	15.4	16.3	15.6	15.2	14	بابلسر - کمینه دما Tmin-Babolsar
+4.2	+1.4	25.4	23.8	22.7	23.5	23	22.6	21.2	بابلسر - بیشینه دما Tmax-Babolsar
+3.5	+1.2	16	14.6	13.8	14.7	14.1	13.7	12.5	قراخیل - کمینه دما Tmin-Gharakhil
+4.3	+1.3	26	24.3	23.2	23.8	23.4	23	21.7	قراخیل - بیشینه دما Tmax-Gharakhil

آوریل در دوره آینده نزدیک نسبت به دوره پایه افزایش اما به سمت دوره آینده دور، شروع به کاهش خواهد کرد. این روند برای کمینه دما نیز صادق است. به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، کمینه و بیشینه دما در دوره آینده در اغلب ماه‌های سال افزایش خواهد یافت که این افزایش دما در ماه‌های گرم بیش‌تر از ماه‌های سرد خواهد بود. افزایش قابل توجه روند دما در دوره آینده برای بخش‌های مختلف ایران در مطالعات زرین و همکاران (۲۰۲۱)، یوستا و همکاران (۲۰۲۲) و نیازکار و همکاران (۲۰۲۳) نیز تأیید شده است (۱۹، ۴۹ و ۲۰).

نمودار تغییرات ماهانه بیشینه دما در ایستگاه‌های مختلف و نیز برای سناریوها و دوره‌های مختلف (شکل ۴) نیز نشان داده است که در تمامی ماه‌های سال، افزایش دما برای دوره‌های آینده رخ خواهد داد که مقدار افزایش برای ماه‌های مختلف سال، متفاوت می‌باشد. اختلاف دما برای سناریوهای آینده به‌خصوص سناریو بدبینانه در دوره گرم سال (ماه‌های جولای و آگوست) از دمای دوره پایه، بیش‌تر از ماه‌های دیگر بوده و نیز کم‌ترین اختلاف دما در ماه آوریل مشاهده می‌شود. هم‌چنین در ماه آوریل، مقدار دما برای سناریو خوش‌بینانه در دوره آینده دور کم‌تر از آینده نزدیک می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد که براساس سناریو حالت خوش‌بینانه، میانگین دمای ماه



شکل ۴- نمودار تغییرات ماهانه بیشینه دما برای دوره پایه و سناریوهای مختلف تغییر اقلیم.

Figure 4. Chart of monthly maximum temperature changes for the base period and different scenarios of climate change.

دما تحت سناریو خوش‌بینانه در تمامی ایستگاه‌ها و مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین بیشینه دما تحت سناریو بدبینانه در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش خواهد یافت. اما برای دوره آینده دور، مقادیر بسیار بالای کمینه دما و مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین بیشینه دما تحت سناریو خوش‌بینانه در تمامی ایستگاه‌ها به صورت معنی‌دار کاهش خواهد یافت. اگر چه این نتیجه با نتایج اغلب پژوهش‌ها مطابقت ندارد، با این حال کاهش مقادیر فوق ممکن است ناشی از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در انتهای قرن حاضر طبق سناریوی خوش‌بینانه باشد. در حالی که بر اساس سناریوی بدبینانه، مقادیر پایین بیشینه دما در ایستگاه‌های نوشهر، بابلسر و قراخیل به صورت معنی‌دار و با شیب قابل توجه افزایش می‌یابد.

تحلیل روند دماهای حدی تحت سناریوهای آینده: به منظور بررسی روند مقادیر حدی متغیرهای دما (کمینه و بیشینه) برای سناریوهای مختلف از روش رگرسیون چندک استفاده گردید. برای این هدف، از دو چندک $0/02$ برای بررسی روند مقادیر بسیار پایین دما و $0/98$ برای بررسی روند مقادیر بسیار بالای دما تحت سناریوها و دوره‌های زمانی مختلف استفاده گردید و نتایج به تفکیک هر فصل در جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ ارائه گردید.

نتایج بررسی روند در فصل بهار نشان داده است که برای دوره آینده نزدیک، مقادیر بالای کمینه دما تحت سناریو خوش‌بینانه (SSP126) در ایستگاه‌های رامسر و نوشهر و مقادیر پایین کمینه دما تحت سناریو بدبینانه (SSP585)، در ایستگاه‌های نوشهر، بابلسر و قراخیل به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت. با این حال برای پارامتر بیشینه دما، مقادیر بالای بیشینه

جدول ۴- مقادیر شیب (درجه سانتی‌گراد در سال) و معنی‌داری روند در دو چندک حدی پایین و بالای دما (۰/۹۸ و ۰/۰۲) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل بهار.

Table 4. Slope values (°C/year) and the significance of the trend in the extreme lower and upper quantiles of temperature (0.02 and 0.98) for the studied stations in the spring season.

قراخیل Gharakhil		بابلسر Babolsar		نوشهر Nowshahr		رامسر Ramsar		سناریو/ چندک Quantile/ Scenario	دوره Period	متغیر Variable
0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02			
0.037	0.014	0.04	0.01	0.038	-0.01	0.061	0.007	SSP126	آینده نزدیک	کمینه دما Tmin
-0.016	0.002	-0.015	0.002	-0.01	0.003	0.011	-0.02	SSP245	Near Future (2026-2055)	
0.018	0.045	0.017	0.04	0.017	0.04	0.024	0.04	SSP585		
-0.057	-0.032	-0.058	-0.03	-0.05	-0.02	-0.06	-0.04	SSP126	آینده دور	بیشینه دما Tmax
-0.01	-0.017	-0.014	-0.01	-0.011	-0.03	-0.01	-0.022	SSP245	Far Future (2071-2100)	
0.017	0.034	0.017	0.01	0.011	0.04	0.004	0.03	SSP585		
0.072	-0.01	0.054	-0.004	0.05	-0.005	0.087	-0.01	SSP126	آینده نزدیک	
0.037	0.03	0.021	0.033	-0.009	0.019	-0.004	-0.004	SSP245	Near Future (2026-2055)	
0.043	0.067	0.036	0.05	0.036	0.05	0.05	0.052	SSP585		
-0.1	-0.1	-0.096	-0.073	-0.07	-0.06	-0.07	-0.05	SSP126	آینده دور	
-0.006	-0.04	-0.033	-0.031	-0.0004	-0.045	-0.014	-0.04	SSP245	Far Future (2071-2100)	
0.044	0.15	0.032	0.12	0.002	0.12	0.038	0.03	SSP585		

مقادیر شیب در فرمت برجسته: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

بابلسر و مقادیر پایین دما در ایستگاه قراخیل انتظار می‌رود. با این حال تحت سناریو بدبینانه، کمینه و بیشینه دما برای دوره آینده دور در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی معنی‌دار با شیب مثبت خواهد بود. اما در دوره آینده نزدیک، تغییرات روند دما در ایستگاه‌های مختلف به صورت پراکنده می‌باشد، به طوری که مقادیر بالای کمینه دما در ایستگاه رامسر و قراخیل و مقادیر پایین آن در ایستگاه بابلسر، مقادیر بالا و پایین بیشینه دما در ایستگاه‌های بابلسر و قراخیل و مقادیر پایین آن در ایستگاه رامسر به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت.

نتایج بررسی رگرسیون چندک در فصل تابستان نیز نشان داده است که تحت سناریو خوش‌بینانه، مقادیر بالای کمینه دما برای تمامی ایستگاه‌ها در دوره آینده نزدیک، مقادیر بالا و پایین دما در ایستگاه بابلسر و مقادیر بالای دما در ایستگاه قراخیل در دوره آینده دور افزایش خواهد یافت. بنابراین می‌توان بیان کرد که حتی در شرایط سناریو خوش‌بینانه نیز انتظار افزایش دما را در دوره‌های آتی خواهیم داشت. مقادیر بالا و پایین کمینه و بیشینه دما براساس سناریو حد متوسط نیز در دوره آینده نزدیک در اغلب ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. در حالی که برای دوره آینده دور، تنها افزایش مقادیر بالای دما در ایستگاه‌های نوشهر و

جدول ۵- مقادیر شیب (درجه سانتی گراد در سال) و معنی داری روند در دو چندک حدی پایین و بالای دما (۰/۹۸ و ۰/۰۲) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل تابستان.

Table 5. Slope values (°C/year) and the significance of the trend in the extreme lower and upper quantiles of temperature (0.02 and 0.98) for the studied stations in the summer season.

قراخیل Gharakhil		بابلسر Babolsar		نوشهر Nowshahr		رامسر Ramsar		سناریو/ چندک Quantile/ Scenario	دوره Period	متغیر Variable
0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02			
0.02	0.031	0.017	0.022	0.013	0.006	0.014	0.013	SSP126	آینده نزدیک	کمینه دما Tmin
0.026	0.057	0.026	0.056	0.027	0.053	0.026	0.088	SSP245	Near Future (2026-2055)	
0.022	0.039	0.017	0.04	0.004	0.028	0.025	0.036	SSP585		
0.017	-0.009	0.035	0.073	-0.0033	0.012	0.006	0.016	SSP126	آینده دور	بیشینه دما Tmax
-0.002	0.02	-0.0005	0.02	-0.0047	0.032	-0.0009	0.033	SSP245	Far Future (2071-2100)	
0.043	0.043	0.043	0.044	0.04	0.059	0.037	0.056	SSP585		
0.033	-0.006	0.019	-0.005	0.011	-0.015	0.013	0.002	SSP126	آینده نزدیک	بیشینه دما Tmax
0.084	0.1	0.06	0.077	0.064	0.064	0.044	0.093	SSP245	Near Future (2026-2055)	
0.04	0.037	0.036	0.05	0.038	0.033	0.024	0.093	SSP585		
0.032	-0.025	0.062	0.049	0.016	0.012	0.0075	0.029	SSP126	آینده دور	بیشینه دما Tmax
-0.004	-0.042	-0.048	-0.02	-0.021	-0.025	-0.015	-0.03	SSP245	Far Future (2071-2100)	
0.092	0.09	0.077	0.075	0.062	0.075	0.056	0.075	SSP585		

مقادیر شیب در فرمت برجسته: معنی دار در سطح ۰/۰۵

افزایش خواهد یافت. حال آن‌که تحت این سناریو، چندک پایینی بیشینه دما در ایستگاه قراخیل کاهش خواهد یافت. با این حال نتایج براساس سناریو بدبینانه نشان داده است که مقادیر پایین کمینه دما در تمامی ایستگاه‌ها در دوره آینده نزدیک به صورت معنی دار کاهش در حالی که مقادیر کمینه دما برای دوره آینده دور افزایش خواهد یافت. اما در دوره آینده نزدیک، تنها یک روند کاهشی معنی دار برای مقادیر بالای بیشینه دما در ایستگاه رامسر وجود خواهد داشت. در حالی که برای دوره آینده دور، تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه یک روند افزایشی معنی دار را برای مقادیر بیشینه دما تجربه خواهند کرد.

نتایج بررسی روند در فصل پاییز بیانگر آن است که تحت سناریو خوش بینانه، کمینه دما در دوره آینده نزدیک در تمامی ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت. هم‌چنین احتمال رخداد روندهای معنی دار افزایشی برای مقادیر بالا و پایین بیشینه دما در ایستگاه رامسر، مقادیر پایین آن در ایستگاه نوشهر و مقادیر بالای آن در ایستگاه‌های بابلسر و قراخیل برای دوره آینده نزدیک و روند کاهشی معنی دار برای مقادیر پایین بیشینه دما در ایستگاه‌های رامسر، بابلسر و قراخیل برای دوره آینده دور وجود دارد. براساس سناریو حد متوسط، مقادیر بالای کمینه دما در ایستگاه‌های رامسر و نوشهر و مقادیر بالای بیشینه دما در تمامی ایستگاه‌ها برای دوره آینده نزدیک به صورت معنی دار

جدول ۶- مقادیر شیب (درجه سانتی‌گراد در سال) و معنی‌داری روند در دو چندک حدی پایین و بالای دما (۰/۹۸ و ۰/۰۲) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز.

Table 6. Slope values (°C/year) and the significance of the trend in the extreme lower and upper quantiles of temperature (0.02 and 0.98) for the studied stations in the autumn season.

قراخیل Gharakhil		بابلسر Babolsar		نوشهر Nowshahr		رامسر Ramsar		سناریو/ چندک	دوره Period	متغیر Variable
0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	Quantile/ Scenario		
0.036	0.08	0.035	0.073	0.035	0.08	0.036	0.093	SSP126	آینده نزدیک	کمینه دما Tmin
0.026	0.038	0.024	0.034	0.029	0.019	0.028	0.055	SSP245	Near Future	
-0.011	-0.065	-0.011	-0.059	-0.016	-0.063	-0.0007	-0.064	SSP585	(2026-2055)	
0.007	-0.018	0.007	-0.016	0.019	-0.02	0.008	-0.037	SSP126	آینده دور	بیشینه دما Tmax
-0.0019	0.02	-0.016	0.017	-0.01	0.029	0.0009	0.046	SSP245	Far Future	
0.075	0.063	0.072	0.056	0.06	0.06	0.06	0.046	SSP585	(2071-2100)	
0.072	0.057	0.062	0.049	0.043	0.045	0.057	0.068	SSP126	آینده نزدیک	بیشینه دما Tmax
0.1	0.02	0.1	0.018	0.1	0.009	0.077	0.02	SSP245	Near Future	
0.026	-0.022	-0.032	-0.02	-0.032	-0.035	-0.04	-0.016	SSP585	(2026-2055)	
0.02	-0.084	0.016	-0.083	0.02	-0.05	0.02	-0.08	SSP126	آینده دور	بیشینه دما Tmax
-0.004	-0.042	0.014	-0.002	0.022	-0.006	0.0064	-0.0075	SSP245	Near Future	
0.13	0.078	0.1	0.068	0.011	0.076	0.12	0.072	SSP585	(2071-2100)	

مقادیر شیب در فرمت برجسته: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

بدینانه، روندهای معنی‌دار در تمامی موارد به صورت افزایشی بوده به گونه‌ای که مقادیر بالای کمینه دما در ایستگاه‌های رامسر، نوشهر و بابلسر برای دوره آینده دور به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت. حال آن‌که مقادیر پایین بیشینه دما در دوره آینده نزدیک تنها در دو ایستگاه بابلسر و قراخیل افزایش می‌یابد. با این حال، برای دوره آینده دور، احتمال وجود روند افزایشی برای مقادیر بالایی و پایینی بیشینه دما در ایستگاه‌های نوشهر و بابلسر، مقادیر بالای بیشینه دما در ایستگاه رامسر و مقادیر پایین آن در ایستگاه قراخیل وجود خواهد داشت.

برای فصل زمستان، نتایج نشان داده است که تحت سناریو خوش‌بینانه، هیچ روند معنی‌داری برای مقادیر مختلف متغیرهای دمایی در دوره آینده وجود نخواهد داشت. با این حال، براساس سناریو حد متوسط، مقادیر بالای کمینه دما در ایستگاه‌های رامسر، نوشهر و قراخیل و مقادیر بالای بیشینه دما در ایستگاه‌های نوشهر، بابلسر و قراخیل برای دوره آینده نزدیک افزایش معنی‌دار خواهند داشت. در حالی که برای دوره آینده دور، تنها مقادیر بیشینه دما در ایستگاه نوشهر و مقادیر پایین بیشینه دما در ایستگاه‌های بابلسر و قراخیل به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت. همچنین براساس سناریو

جدول ۷- مقادیر شیب (درجه سانتی گراد در سال) و معنی داری روند در دو چندک حدی پایین و بالای دما (۰/۹۸ و ۰/۰۲) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل زمستان.

Table 7. Slope values (°C/year) and the significance of the trend in the extreme lower and upper quantiles of temperature (0.02 and 0.98) for the studied stations in the winter season.

قراخیل Gharakhil		بابلسر Babolsar		نوشهر Nowshahr		رامسر Ramsar		سناریو/ چندک	دوره	متغیر
0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	Quantile/ Scenario	Period	Variable
0.01	0.003	0.009	0.004	0.006	0.002	0.014	0.008	SSP126	آینده نزدیک	کمینه دما Tmin
0.04	-0.002	0.034	-0.0035	0.039	-0.027	0.033	-0.01	SSP245	Near Future (2026-2055)	
0.022	0.006	-0.017	0.007	0.011	0.014	0.02	0.012	SSP585		
-0.017	-0.018	0.003	-0.026	0.003	-0.026	0.001	-0.01	SSP126	آینده دور	بیشینه دما Tmax
-0.001	0.011	0.001	0.014	-0.007	0.004	-0.01	-0.002	SSP245	Far Future (2071-2100)	
0.023	0.006	0.073	0.007	0.064	0.01	0.054	0.02	SSP585		
-0.022	0.04	-0.008	0.03	0.007	0.03	-0.004	0.033	SSP126	آینده نزدیک	بیشینه دما Tmax
0.059	-0.004	0.076	-0.003	0.06	0.013	0.046	0.049	SSP245	Near Future (2026-2055)	
-0.007	0.092	-0.003	0.07	0.03	0.042	0.028	0.045	SSP585		
-0.01	-0.018	0.013	-0.023	0.013	-0.023	0.011	0.003	SSP126	آینده دور	بیشینه دما Tmax
0.048	0.092	0.04	0.068	0.048	0.035	-0.01	0.034	SSP245	Far Future (2071-2100)	
-0.007	0.092	0.1	0.037	0.08	0.05	0.11	0.055	SSP585		

مقادیر شیب در فرمت برجسته: معنی دار در سطح ۰/۰۵

بنابراین براساس سناریو خوش‌بینانه می‌توان بیان کرد که در آینده نزدیک، دماهای بالای صبح‌دم فصل بهار در ایستگاه‌های رامسر و نوشهر افزایش (به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۳۸ درجه سانتی‌گراد در سال) اما در دوره آینده دور، در تمامی ایستگاه‌ها کاهش (به ترتیب به اندازه ۰/۰۶، ۰/۰۵، ۰/۰۵۸ و ۰/۰۵۷ درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت. هم‌چنین دماهای بالای بعد از ظهر (ظهرهای گرم) فصل بهار در آینده نزدیک در تمامی ایستگاه‌ها افزایش (به ترتیب به اندازه ۰/۰۸۷، ۰/۰۵، ۰/۰۵۴ و ۰/۰۷۲ درجه سانتی‌گراد در سال) اما در آینده دور، دماهای اوقات ظهر (بعد از ظهرهای گرم و خنک) در تمامی ایستگاه‌ها کاهش (بیش‌ترین مقدار کاهش در بابلسر و قراخیل به ترتیب به اندازه ۰/۰۹۶ و ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت.

به‌طورکلی نتایج نشان داده است که براساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در دوره‌های آینده، احتمال وجود روند تغییرات در الگوهای مختلف دمایی وجود خواهد داشت. براساس تحلیل روند چندک‌های حدی دما با استفاده از روش رگرسیون چندک می‌توان بیان کرد که روند افزایشی (کاهش) در چندک ۰/۰۲ از کمینه دما بیانگر افزایش (کاهش) دمای دم صبح‌های سرد و خنک و روند افزایشی (کاهش) در چندک ۰/۹۸ از کمینه دما بیانگر افزایش (کاهش) دمای صبح‌های گرم می‌باشد. در مقابل، روند افزایشی (کاهش) در چندک ۰/۰۲ از بیشینه دما بیانگر افزایش (کاهش) دما در بعد از ظهرهای خنک و روند افزایشی (کاهش) در چندک ۰/۹۸ از بیشینه دما بیانگر تمایل بعد از ظهرهای گرم به سمت گرم‌تر (سردتر یا خنک‌تر) شدن می‌باشد.

برای دوره آینده دور در ایستگاه نوشهر کاهش (۰/۰۴۵) درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت. در فصل تابستان، دماهای پایین و بالای صبح‌دم (صبح‌های گرم و سرد) در تمامی ایستگاه‌ها در دوره آینده نزدیک افزایش (بیش‌ترین مقدار افزایش در قراخیل با ۰/۰۳) درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت. درحالی‌که در دوره آینده دور هیچ تغییر معنی‌داری نخواهد کرد. هم‌چنین مقادیر دما در ساعات بعد از ظهر (ظهرهای گرم و خنک) در دوره آینده نزدیک برای تمامی ایستگاه‌ها افزایش (بیش‌ترین افزایش در قراخیل با ۰/۱) درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت. در حالی‌که در دوره آینده دور، مقادیر دما در ایستگاه‌های نوشهر و بابلسر دارای روند کاهشی (به ترتیب ۰/۰۲۱ و ۰/۰۴۲) درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد بود. با این حال برای فصل پاییز، مقادیر بالای دمای صبح‌دم (صبح‌های گرم‌تر) در ایستگاه‌های رامسر و نوشهر (به ترتیب به اندازه ۰/۰۲۸ و ۰/۰۲۹) درجه سانتی‌گراد در سال) افزایش خواهد یافت. در حالی‌که برای دوره آینده دور هیچ روند افزایشی معنی‌داری وجود نخواهد داشت. اما دماهای بالای اوقات ظهر (ظهرهای گرم) در دوره آینده نزدیک در تمامی ایستگاه‌ها (بیش‌ترین در نوشهر، بابلسر و قراخیل با ۰/۱) درجه سانتی‌گراد در سال) افزایش می‌یابد در حالی‌که برای دوره آینده دور، تنها یک روند کاهشی (۰/۰۴۲) درجه سانتی‌گراد در سال) برای مقادیر دماهای پایین بعد از ظهر (ظهرهای سرد) رخ خواهد داد. در فصل زمستان نیز دماهای بالای بعد از ظهر در ایستگاه‌های رامسر، نوشهر و قراخیل تنها در دوره آینده نزدیک افزایش (تقریباً ۰/۰۴-۰/۰۳) درجه سانتی‌گراد در سال) خواهند یافت اما بعد از ظهرهای گرم در دوره آینده نزدیک و ظهرهای خنک و سرد در دوره آینده دور در ایستگاه‌های نوشهر، بابلسر و قراخیل گرم‌تر خواهند شد که شدت افزایش

در واقع می‌توان بیان کرد با حرکت به سمت سناریو خوش‌بینانه، اگرچه در آینده نزدیک ممکن است روند افزایشی دما ادامه یابد (دما از شرایط حال بیش‌تر شود)، اما با ادامه الگوی زندگی براساس این سناریو، در آینده دور می‌توان شاهد روند کاهشی دما نسبت به دمای آینده نزدیک بود. در فصل تابستان، دماهای بالای صبح‌دم در دوره آینده نزدیک در ایستگاه‌های رامسر، نوشهر، بابلسر و قراخیل (به ترتیب به اندازه ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۳، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۲) درجه سانتی‌گراد در سال) اما برای آینده دور، تنها در ایستگاه‌های بابلسر و قراخیل افزایش (به ترتیب به اندازه ۰/۰۳۵ و ۰/۰۱۷) درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت. اما دماهای بالای بعد از ظهر تنها در ایستگاه بابلسر و در دوره آینده دور افزایش (۰/۰۶۲) درجه سانتی‌گراد در سال) می‌یابد. در فصل پاییز، دماهای بالا و پایین صبح‌دم در تمامی ایستگاه‌ها در دوره آینده نزدیک افزایش (بیش‌ترین در ایستگاه رامسر به اندازه ۰/۰۹۳) درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت در حالی‌که در دوره آینده دور، هیچ روند معنی‌داری برای دمای ساعات ابتدایی صبح دیده نمی‌شود. هم‌چنین دماهای بالای بعد از ظهر در ایستگاه‌های رامسر، بابلسر و قراخیل (به ترتیب به اندازه ۰/۰۵۷، ۰/۰۶۲ و ۰/۰۷۲) درجه سانتی‌گراد در سال) و دماهای پایین بعد از ظهر در ایستگاه‌های رامسر و نوشهر (به ترتیب به اندازه ۰/۰۶۸ و ۰/۰۴۵) درجه سانتی‌گراد در سال) در دوره آینده نزدیک افزایش خواهد یافت. حال آن‌که برای فصل زمستان، هیچ روند معنی‌داری در دوره آینده تحت این سناریو رخ نخواهد داد.

براساس سناریو حد متوسط، دماهای ساعات ابتدایی صبح در فصل بهار، تغییرات روند معنی‌داری در آینده نخواهد نمود اما دماهای پایین بعد از ظهر (ظهرهای خنک) در ایستگاه بابلسر برای دوره آینده نزدیک افزایش (۰/۰۳۳) درجه سانتی‌گراد در سال) اما

خواهد یافت. هم‌چنین دمای بعد از ظهرهای گرم‌تر در آینده نزدیک تنها در ایستگاه رامسر (۰/۰۴ درجه سانتی‌گراد در سال) تمایل به کاهش یافتن در حالی که در دوره آینده دور در تمامی ایستگاه‌ها به سمت زیاد شدن (بیش‌ترین در قراخیل به اندازه ۰/۱۳ درجه سانتی‌گراد در سال) تمایل خواهد داشت. اما در فصل زمستان تحت این سناریو، هیچ روند معنی‌داری در دماهای صبح‌دم برای دوره آینده نزدیک رخ نخواهد داد. اما در دوره آینده دور، یک روند افزایشی برای مقادیر بالای دما در ایستگاه‌های رامسر، نوشهر و بابلسر (بیش‌ترین در قراخیل به اندازه ۰/۰۷۳ درجه سانتی‌گراد در سال) وجود خواهد داشت. هم‌چنین برای دماهای بعد از ظهر نیز در آینده نزدیک، یک روند افزایشی تنها در ایستگاه‌های بابلسر و قراخیل وجود خواهد داشت و بعد از ظهرهای گرم یا نسبتاً خنک به سمت گرم‌تر شدن گرایش خواهند داشت. در حالی که برای دوره آینده دور، مقادیر دما در تمامی ایستگاه‌ها افزایش (بیش‌ترین در رامسر و بابلسر به اندازه ۰/۱۱-۰/۱ درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت.

اگرچه مطالعات انجام‌شده براساس بررسی متغیرهای دمایی حدی استان مازندران تحت سناریوهای آینده کمی محدود می‌باشد و بیش‌تر مطالعات اغلب تغییرات آینده میانگین متغیرهای دمایی پرداخته‌اند، بااین‌حال نتایج این پژوهش مبنی بر افزایش دمای آینده بر اساس سناریوهای مختلف با گزارش افزایش دما در پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران (۱۹)، افزایش دمای حدی در دوره‌های زمانی آینده و تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در مشهد (۵۰)، افزایش میانگین دما بر اساس سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 در تمام بخش‌های کشور (۵۱)، افزایش دمای متوسط تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریو SSP585 در استان گیلان (۵۲)، افزایش دما

در دوره آینده دور (۰/۰۹۲ درجه سانتی‌گراد در سال) بیش‌تر خواهد بود.

هم‌چنین بر مبنای سناریو حالت بدبینانه، مقادیر پایین دمای ساعات ابتدایی صبح (صبح‌های نسبتاً سرد و خنک) فصل بهار تنها در دوره آینده نزدیک در ایستگاه‌های نوشهر، بابلسر و قراخیل (به ترتیب به اندازه ۰/۰۴، ۰/۰۴ و ۰/۰۴۵ درجه سانتی‌گراد در سال) افزایش خواهد یافت. اما مقادیر دمای بعد از ظهر (بیشینه) در دوره آینده نزدیک در تمامی ایستگاه‌ها (بیش‌ترین در رامسر به اندازه ۰/۰۵-۰/۰۵۲ درجه سانتی‌گراد در سال) و در دوره آینده دور، تنها مقادیر پایین دمای بعد از ظهر (بعد از ظهرهای خنک) در ایستگاه‌های نوشهر، بابلسر و قراخیل افزایش (به ترتیب به اندازه ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد در سال) خواهد یافت. در حالی که برای فصل تابستان و در دوره آینده نزدیک، دمای بعد از ظهرهای گرم در ایستگاه‌های رامسر و قراخیل (به اندازه ۰/۰۲۵ و ۰/۰۲۲ درجه سانتی‌گراد در سال) و دمای بعد از ظهرهای خنک و سرد در ایستگاه بابلسر (۰/۰۴ درجه سانتی‌گراد در سال) اما در دوره آینده نزدیک در تمامی ایستگاه‌ها افزایش (بیش‌ترین در نوشهر به اندازه ۰/۰۵۹ درجه سانتی‌گراد در سال) می‌یابد. با این‌حال، دمای بعد از ظهر در دوره آینده نزدیک در ایستگاه‌های رامسر، بابلسر و قراخیل (بیش‌ترین در رامسر با ۰/۰۹۳ درجه سانتی‌گراد در سال) و در دوره آینده دور در تمامی ایستگاه‌ها (بیش‌ترین در قراخیل به اندازه ۰/۰۹۲ درجه سانتی‌گراد در سال) رو به افزایش خواهد بود. بااین‌حال در فصل پاییز، دمای صبح‌دم‌های سرد در تمامی ایستگاه‌ها و در آینده نزدیک کاهش (بیش‌ترین در قراخیل به اندازه ۰/۰۶۵ درجه سانتی‌گراد در سال) در حالی که در آینده دور افزایش (بیش‌ترین در قراخیل به اندازه ۰/۰۷۵ درجه سانتی‌گراد در سال)

بزرگ‌مقیاس هواشناسی، مطالعات انجام شده نشان داده است که تغییر کاربری اراضی می‌تواند عاملی مهم در تغییرات افزایشی دما در ایران باشد (۱۹). هم‌چنین با توجه به نزدیکی ایران به پاکستان و قرارگیری دریای خزر در شمال ایران، شاخص الگوی پیوند از دور دریای شمال- خزر نیز می‌تواند به عنوان یک عامل منطقه‌ای، نقش مهمی در تغییرات دمای ایران به‌خصوص در نواحی شمالی داشته باشد. از آن‌جاکه تغییرات متغیرهای دمایی به تغییرات الگوهای پیوند از دور هم‌چون نوسانات اطلس شمالی و سایر الگوهای مؤثر در اقلیم در ایران مرتبط است، باید بیش‌تر درباره تأثیر این نوسانات بر اقلیم بررسی گردد تا بتوان براساس آن، بی‌هنجاری دما، روند و سازوکارهای مرتبط با آن را فرمول‌بندی کرد. بنابراین نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی برای گسترش پیامدهای احتمالی تغییر اقلیم در منطقه با هدف ایجاد برنامه‌هایی برای کاهش خسارت‌های مرتبط با تغییر اقلیم در طول قرن حاضر مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر به‌منظور بررسی روند و ناهنجاری‌های آتی مقادیر حدی دمای روزانه شامل کمینه و بیشینه دما در چهار ایستگاه سینوپتیک استان مازندران شامل ایستگاه‌های رامسر، نوشهر، بابلسر و قراخیل از روش رگرسیون چندک استفاده گردید. بنابراین از داده‌های کمینه و بیشینه دمای روزانه از برونداد مدل‌های فاز ششم تغییر اقلیم برای سه سناریو خوش‌بینانه SSP126، حد متوسط SSP245 و بدبینانه SSP585 برای دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۲۶) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) برای بررسی روند مورد استفاده گردید. نتایج موردبررسی و مقایسه قرار گرفت که مهم‌ترین نتایج به شرح زیر است:

تحت سناریوهای مختلف در تبریز (۵۳) همخوانی دارد. هم‌چنین کاهش کمینه و بیشینه دما تحت سناریوهای خوش‌بینانه نیز در مطالعات نیازکار و همکاران (۲۰۲۲) و اسدالله و همکاران (۲۰۲۲) بیان گردید (۲۰ و ۲۱). با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان بیان کرد که روند گرمایش در بخش‌های مختلف استان شتاب می‌گیرد که این امر اثرات نامطلوب تغییر اقلیم را در قرن بیست و یکم تسریع می‌کند. این رخداد می‌تواند موجب اختلال در محیط زیست و کشاورزی، مشکلات اجتماعی و خسارات اقتصادی گردد. از طرفی افزایش بی‌هنجاری دما در سراسر استان می‌تواند تهدیدی عمده برای منابع آب استان نیز باشد (۱۹) و از آن‌جا که مساحت عمده از استان تحت کشت غرقابی برنج می‌باشد، کاهش منابع آب در دسترس به‌خصوص در فصول گرم سال مشکلات عدیده‌ای را در بخش کشاورزی به دنبال خواهد داشت. هم‌چنین استفاده از پارامترهای کمینه و بیشینه دما، اطلاعات بیش‌تری در خصوص نحوه تغییرات آینده روند دما در شبانه روز می‌دهد و براساس آن می‌توان بیان کرد که کمینه و بیشینه دما که دماهای حساس‌تر و تأثیرپذیرتری نسبت به دمای میانگین هستند، در شبانه‌روز چه تغییراتی خواهند نمود.

روند افزایش متغیرهای دمایی چه در دوره حاضر و چه در دوره‌های آینده 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 می‌باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که هنوز شواهد کافی مبنی بر این‌که CO₂ عامل اصلی مؤثر در افزایش دمای جهان و ایران است، وجود ندارد (۵۴ و ۵۵). در حالی‌که در کنار رخداد پدیده گرمایش جهانی و تغییرات آن در الگوهای

افزایش دما، کاهش بیشتر در منابع آب را به دنبال خواهد داشت. بنابراین باید به جهت مدیریت و کنترل دماهای حدی و عواقب سوء آن، برنامه‌های مدیریتی مناسب را در جهت نیاز هر منطقه تدوین و اجرا نمود. - با توجه به وقوع دماهای حدی کمینه در فصل زمستان و دماهای حدی بیشینه در فصل تابستان، تحلیل چندک‌های ۲ و ۹۸ درصد در این دو فصل نشان داد که در آینده دور در حالت بدبینانه به‌طور قطع دمای بیشینه تابستان افزایش شدیدی پیدا می‌کند که البته شیب افزایش دما در مناطق شرقی استان شدیدتر از مناطق غربی خواهد بود و تا ۹ درجه در ۱۰۰ سال هم خواهد رسید. به‌علاوه تقریباً در همه ایستگاه‌های موردبررسی شیب افزایشی چندک ۹۸ درصد فصل تابستان بیش‌تر از چندک ۲ درصد خواهد بود که نشانگر آن است که در آینده دور دماهای بی‌سابقه بسیار گرمی در فصل تابستان ثبت خواهد شد. در مورد فصل زمستان نیز رشد چندک ۹۸ درصد دمای کمینه در آینده دور از چندک ۲ درصد بیش‌تر خواهد بود که نشان‌دهنده آن است که خبری از وقوع صبح‌های بسیار سرد زمستانه نبوده و شیب افزایش دمای کمینه در ایستگاه‌های ساحلی شرقی بیش‌تر از غرب استان است.

تقدیر و تشکر

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.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش از اداره کل هواشناسی استان مازندران اخذ شده است.

- میانگین کمینه و بیشینه دمای سالانه و ماهانه بیش‌تر از میانگین دما در دوره پایه خواهد بود. میانگین دمای ماهانه در ماه‌های گرم سال افزایش بیش‌تری خواهد یافت. بنابراین در کنار افزایش دما و کاهش بارندگی در ماه‌های گرم سال، این افزایش دما مشکلات عمده‌ای را در زمینه تأمین منابع آب لازم برای بخش‌های مختلف به همراه خواهد داشت.

- با حرکت به سمت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اگرچه در آینده نزدیک هم‌چنان روند افزایشی دما برای مقادیر حدی کمینه و بیشینه دما در فصل‌های سال وجود خواهد داشت، اما در آینده دور می‌توان شاهد روند کاهش متغیرهای دمایی در فصل‌های بهار و پاییز (حتی به‌اندازه ۱ درجه در هر دهه) بود و نیز تحت این سناریو، در هیچ‌یک از دوره‌های آینده، روند معنی‌داری برای متغیرهای دمایی در فصل زمستان وجود نخواهد داشت. باین‌حال، علی‌رغم چنین نتیجه‌ای، میانگین‌های دماهای حداقل در همه سناریوها (از جمله خوش‌بینانه) افزایشی است و کاهش صرفاً برای مقادیر حدی پیش‌نگری شده است. بنابراین با تکیه سناریوی خوش‌بینانه، می‌توان شرایط بهتری را از نظر تغییرات دمایی در آینده انتظار داشت. علی‌رغم این‌که دمای فصل تابستان در تعدادی از ایستگاه‌ها به افزایش خود ادامه خواهد داد که این امر خود یک زنگ خطر جدی می‌باشد.

- افزایش دمای صبح‌دم و بعدازظهرهای گرم‌تر به‌خصوص در فصول گرم سال باعث افزایش تبخیر و کاهش منابع آب در بخش‌های مختلف استان مازندران و فشار به آب‌های زیرزمینی خواهد شد. از طرفی با افزایش دما میزان تبخیر-تعرق (نیاز آبی گیاهان) نیز افزایش یافته و کاهش بالقوه منابع آب به‌خصوص در مناطق با منابع آب محدودتر را به همراه خواهد داشت. بنابراین علاوه بر احتمال وجود عوامل دیگر از جمله سوء مدیریت که موجب کم‌آبی در منطقه خواهد شد، افزایش میزان تبخیر-تعرق به دلیل

تعارض منافع

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

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله
 نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی مقاله، نظارت بر روند تحقیق
 نویسنده سوم: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، مشارکت در آنالیزها
 نویسنده چهارم: مشارکت در طرح و روش تحقیق، بازبینی مقاله

اصول اخلاقی

اصول اخلاقی در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت شده است و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان است.

حمایت مالی

این پژوهش از محل طرح تحقیقاتی شماره ۱۸-۱۴۰۱-۰۲ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Philip, S. Y., Kew, S. F., Hauser, M., Guillod, B. P., Teuling, A. J., Whan, K., Uhe, P., & Oldenborgh, G. J. (2018). Western US high June 2015 temperatures and their relation to global warming and soil moisture. *Climate Dynamics*, 50, 2587-2601.
- Cai, W., Ng, B., Wang, G., Santoso, A., Wu, L., & Yang, K. (2022). Increased ENSO Sea surface temperature variability under four IPCC emission scenarios. *Nature Climate Change*, 12 (3), 228-231.
- Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8 (1), 1-10.
- Sharafi, S., & Mir Karim, N. (2020). Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-11.
- Zare, M., Bejestan, M. S., Adib, A., & Beygipoor, G. (2022). Analysis of Future Precipitation and Temperature Change and Its Implication on Doroodzan Dam, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 47 (2), 1139-1151.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007*. Cambridge University Press, New York.
- Sun, S. K., Wang, Y. B., Liu, J., Cai, H. J., Wu, P. T., Xu, L. J., & Geng, Q. L. (2016). Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *Journal of Hydrology*, 532, 140-148.
- Roshani, A., & Hamidi, M. (2022). Forecasting the effects of climate change scenarios on temperature & precipitation based on CMIP6 models (Case study: Sari station). *Water and Irrigation Management*, 11 (4), 781-795. [In Persian]
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485-498.
- 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.
- 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. *Science of the Total Environment*, 667, 271-286.
12. 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. *Science of the Total Environment*, 654, 378-392.
 13. Song, S., Zhang, X., & Yan, X. (2022). Evaluation of the Performance of CMIP6 Model Simulations for the Asian-Pacific Region: *Perspectives from Multiple Dimensions*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1271963/v1>.
 14. Ayugi, B., Zhihong, J., Zhu, H., Ngoma, H., Babaousmail, H., Rizwan, K., & Dike, V. (2021). Comparison of CMIP6 and CMIP5 models in simulating mean and extreme precipitation over East Africa. *International Journal of Climatology*, 41 (15), 6474-6496.
 15. Agyekum, J., Annor, T., Quansah, E., Lamptey, B., Amekudzi, L. K., & Nyarko, B. K. (2022). Extreme temperature indices over the Volta Basin: *CMIP6 model evaluation*. *Climate Dynamics*, 1-26.
 16. Soltani, F., Javadi, S., Roozbahani, A., Massah Bavani, A. R., Golmohammadi, G., Berndtsson, R., ... & Maghsoudi, R. (2023). Assessing Climate Change Impact on Water Balance Components Using Integrated Groundwater-Surface Water Models (Case Study: Shazand Plain, Iran). *Water*, 15 (4), 813.
 17. Feyissa, T. A., Demissie, T. A., Saathoff, F., & Gebissa, A. (2023). Evaluation of General Circulation Models CMIP6 Performance and Future Climate Change over the Omo River Basin, Ethiopia. *Sustainability*, 15 (8), 6507.
 18. Rezayi Zaman, M., Massah Bavani, A. R., & Javadi, S. (2023). Evaluation of the effects of SSP scenarios of Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) on water resources and agricultural crop in Hashtgerd region with the approach of applying an adaptation strategy. *Journal of Environmental Science and Technology*, 24 (12), 93-107. doi: 10.30495/jest.2023.65251.5606.
 19. Zarrin, A., Dadashi-Rodbari, A., & Salehabadi, N. (2021). Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iranian Journal of Geophysics*, 15 (1), 35-54. doi: 10.30499/ijg.2020.249997.1292.
 20. Niazkar, M., Goodarzi, M. R., Fatehifar, A., & Abedi, M. J. (2023). Machine learning-based downscaling: application of multi-gene genetic programming for downscaling daily temperature at Dogonbadan, Iran, under CMIP6 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 151 (1), 153-168.
 21. Asadollah, S. B. H. S., Sharafati, A., & Shahid, S. (2022). Application of ensemble machine learning model in downscaling and projecting climate variables over different climate regions in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.
 22. Sheikh, M. M., Manzoor, N., Ashraf, J., Adnan, M., Collins, D., Hameed, S., Manton, M. J., Ahmed, A. U., Baidya, S. K., Borgaonkar, H. P., Islam, N., Jayasinghearachchi, D., Kothawale, D. R., Premalal, K. H. M. S., Revadekar, J. V., & Shrestha, M. L. (2015). Trends in extreme daily rainfall and temperature indices over South Asia. *International Journal of Climatology*, 35, 1625-1637.
 23. Tayebiyani, A., Mohammad, T. A., Malakotian, M., Nasiri, A., Heidari, M. A., & Yazdanpanah, Gh. (2019). Potential impact of global warming on river runoff coming to Jor reservoir, Malaysia by integration of LARSWG with artificial neural network. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 6 (2), 130-149.
 24. Shagega, F. P., Munishi, S. E., & Kongo, V. M. (2020). Assessment of potential impacts of climate change on water resources in Ngerengere catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 116, 10284.
 25. 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. *Journal of Water and Climate Change*, 12 (1), 166-184.
26. Moghim, S., Teuling, A. J., & Uijlenhoet, R. (2022). A probabilistic climate change assessment for Europe. *International Journal of Climatology*, 13 (42), 6699-6715.
27. Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46, 33-50.
28. Mondiana, Y. Q., Zairina, A., & Sari, R. K. (2021). Quantile regression modeling to predict extreme precipitation. *Journal of Physics: Conference Series*. 1918 (4), 042031.
29. Zhang, S., Gan, T. Y., & Bush, A. B. (2020). Variability of arctic sea ice based on quantile regression and the teleconnection with large-scale climate patterns. *Journal of Climate*, 33 (10), 4009-4025.
30. Vantas, K., Sidiropoulos, E., & Loukas, A. (2020). Estimating current and future rainfall erosivity in Greece using regional climate models and spatial quantile regression forests. *Water*, 12 (3), 687.
31. Haupt, H., & Fritsch, M. (2022). Quantile trend regression and its application to central England temperature. *Mathematics*, 10 (3), 413.
32. Han, B., Wang, Y., Zhang, R., Yang, W., Ma, Z., Geng, W., & Bai, Z. (2019). Comparative statistical models for estimating potential roles of relative humidity and temperature on the concentrations of secondary inorganic aerosol: Statistical insights on air pollution episodes at Beijing during January 2013. *Atmospheric Environment*, 212, 11-21.
33. Solaimani, K., & Bararkhanpour, S. (2022). Spatiotemporal changes of climatic parameters extreme quantiles and their role on evaporation in N. Iran (Golestan province). *Arabian Journal of Geosciences*, 15 (68), 1-16.
34. Mahdavi, S., Almasi, M., & Soheili, Q. (2019). Investigating the Differences in CO₂ Emission in the Transport Sector Across Iranian Provinces: Evidence from a Quantile Regression Model. *QEER*, 15 (62), 131-154.
35. McKinnon, K. A., & Poppick, A. (2020). Estimating changes in the observed relationship between humidity and temperature using noncrossing quantile smoothing splines. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 25, 292-314.
36. Fathian, F., Amini, M., & Vaheddoost, B. (2021). A quantile-based realization of the indirect-link between large-scale atmospheric oscillation and lake water level. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (24), 1-14.
37. Solaimani, K., & Bararkhanpour, S. (2022). Spatiotemporal changes of climatic parameters extreme quantiles and their role on evaporation in N. Iran (Golestan province). *Arabian Journal of Geosciences*, 15 (68), 1-16.
38. Haupt, H., & Fritsch, M. (2022). Quantile trend regression and its application to central England temperature. *Mathematics*, 10 (3), 413.
39. Kousali, M., Salarijazi, M., & Ghorbani, K. (2022). Estimation of non-stationary behavior in annual and seasonal surface freshwater volume discharged into the Gorgan Bay, Iran. *Natural Resources Research*, 31 (2), 835-847.
40. Bararkhanpour Ahmadi, S., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Khoshravesh, M. (2023). Investigating the Effect of Meteorological Parameters on Heavy Rainfall Events in Different Climates of Iran using Quantile Regression. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 12 (3), 33-49. doi: 10.30495/wsrcj.2022.68792.11317.
41. Nadi, M., & Dastigerdi, M. (2022). Preparation of the climate map of Mazandaran province with extended de Martonne method. 2nd National Conference on Environmental Changes Using Remote Sensing and GIS Technology, February 23, Sari, Iran.
42. 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. *Journal of Hydrology*, 590 (1), 125422.
43. Sobhani, B., Eslahi, M., & Babeian, I. (2017). Comparison of statistical downscaling in climate change models to simulate climate elements in Northwest Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 49 (2), 301-325. [In Persian]
44. Jia, Y., & Jeong, J. H. (2022). Deep learning for quantile regression under right censoring: *DeepQuantreg. Computational Statistics & Data Analysis*, 165, 107323.
45. Staffa, S. J., Kohane, D. S., & Zurakowski, D. (2019). Quantile regression and its applications: a primer for anesthesiologists. *Anesthesia & Analgesia*, 128 (4), 820-830 .
46. Koenker, R. (2005). Quantile regression. first ed, New York, Cambridge University Press, 1-25.
47. Koenker, R. (2018). Quantreg: Quantile regression and related methods, version 5.54. R package.
48. Koenker, R., & D'Orey, V. (1978). Algorithm AS 229: Computing regression quantiles. *Journal of the Royal Statistical Society*, 36, 383-393.
49. Usta, D. F. B., Teymouri, M., & Chatterjee, U. (2022). Assessment of temperature changes over Iran during the twenty-first century using CMIP6 models under SSP1-26, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 scenarios. *Arabian Journal of Geosciences*, 15 (5), 416.
50. Chamanehfar, S., Mousavi Baygi, M., babaeian, I., & Modaresi, F. (2022). Future projection for extreme indices of precipitation and temperature over the period 2026-2100 based on the output of CMIP6 models (Case study: Mashhad). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 16 (5), 963-976.
51. Ansari, S., Dehban, H., Zareian, M., & Farokhnia, A. (2022). Investigation of temperature and precipitation changes in the Iran's basins in the next 20 years based on the output of CMIP6 model. *Iranian Water Researches Journal*, 16 (1), 11-24. doi: 10.22034/iwrj. 2022. 11204.
52. Goodarzi, M. R., Abedi, M. J., & Pour, M. H. (2022). Climate change and trend analysis of precipitation and temperature: A case study of Gilan, Iran. *In Current Directions in Water Scarcity Research*, 7, 561-587.
53. Ghazi, B., & Jeihouni, E. (2022). Projection of temperature and precipitation under climate change in Tabriz, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15 (7), 621.
54. Kousari, M. R., Ahani, H., & Hendizadeh, R. (2013). Temporal and spatial trend detection of maximum air temperature in Iran during 1960-2005: *Global and Planetary Change*, 111, 97-110.
55. Florides, G. A., & Christodoulides, P. (2009). Global warming and carbon dioxide through sciences: *Environment international*, 35, 390-401.

