



Investigating the effects of climate change on reference evapotranspiration based on the SSP scenarios

Seydeh Roghaye Karimi¹ | Aliheidar Nasrolahi² | Moein Iranshahi³

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran.

E-mail: karimi.r415@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, Khorramabad, Iran. E-mail: aliheidar200@gmail.com

3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran.

E-mail: Moeinir73@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 3, 2023

Revised: Nov. 22, 2023

Accepted: Dec. 5, 2023

Published online: Jan. 21, 2024

Keywords:

Khorramabad Station,
Climate Change,
Reference Evapotranspiration,
Sixth Report,
Hargreaves.

ABSTRACT

Climate change is a phenomenon that affects many natural processes, including the hydrological cycle. Evapotranspiration is also an important part of the hydrological cycle, which is crucial in water resource management and agricultural planning. Since the estimation of evapotranspiration is always associated with uncertainties, this study examines the effects of climate change on the evapotranspiration process at the Crumbed station in Preston province. The study uses the SAP1-2.6, SAP2-4.5, SAP3-7.0, and SAP5-8.5 scenarios according to the Sixth Assessment Report (AR6) in three future time periods: near future (2023-2048), mid future (2049-2074), and far future (2075-2100). The reference evapotranspiration for the base period and future periods is calculated using the Hargreaves method. The results show that the maximum temperature at the Crumbed station will increase by an average of 0.26 to 6.3 degrees Celsius by the year 2100, compared to the base period (1988-2014). The minimum temperature will also increase by an average of 0.32 to 4.9 degrees Celsius during the same period. Additionally, the average evaporation-transpiration in all periods will increase compared to the base period. The average evaporation-transpiration in the near future will range from 4.69 to 4.82, in the mid-term future from 4.7 to 4.94, and in the far future, from 4.72 to 5.04

Cite this article: Karimi, S. R., Nasrolahi, A. H., & Iranshahi, M. (2024). Investigating The Effects of Climate Change on Reference Evaporation and Transpiration Based on The Scenarios of The Sixth Climate Change Report, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (11), 1759-1777. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358697.669493>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358697.669493>



بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع بر اساس سناریوهای گزارش ششم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: ایستگاه خرم‌آباد)

سیده رقیه کریمی^۱ | علی حیدر نصرالهی^۲ | معین ایرانشاهی^۳

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: karimi.r415@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: alheidar200@gmail.com

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: Moeinir73@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	تغییر اقلیم پدیده‌ای تأثیرگذار بر بسیاری از فرایندهای طبیعی از جمله چرخه‌ی هیدرولوژی است. تبخیر-تعرق نیز یکی از بخش‌های مهم در چرخه‌ی هیدرولوژی محسوب می‌شود که در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کشاورزی اهمیت بسزایی دارد. با توجه به اینکه برآورد تبخیر-تعرق همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است لذا در این پژوهش اثرات تغییر اقلیمی بر روند تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه خرم‌آباد واقع در استان لرستان، با استفاده از سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0، SSP5-8.5 طبق گزارش ششم (AR6)، در سه دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴) و دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور میزان تبخیر-تعرق مرجع برای دوره پایه و دوره‌های آتی با استفاده از روش هارگریوز محاسبه گردید. روش هارگریوز سامانی روش ساده‌ای است که به وسیله فائو در شرایطی که استفاده از روش پنمن مونتیث فائو امکان‌پذیر نیست توصیه شده است. در این روش، برآورد تبخیر تعرق مرجع براساس میانگین، حداقل و حداکثر دمای هوا و تابش فرازمینی می‌باشد که اطلاعات مورد نیاز آن در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی وجود دارد. نتایج حاصل نشان داد که به‌طور متوسط دمای حداکثر در ایستگاه خرم‌آباد تا سال ۲۱۰۰ میلادی بین ۰/۲۶ تا ۶/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و دمای حداقل نیز بین ۰/۳۲ تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به دوره پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۴) خواهد داشت. همچنین مقدار متوسط تبخیر-تعرق مرجع در تمامی دوره‌ها نسبت به دوره پایه مشاهداتی افزایش می‌یابد. مقدار تبخیر-تعرق مرجع در آینده نزدیک بین ۴/۶۹ تا ۴/۸۲، آینده میانی بین ۴/۷ تا ۴/۹۴ و آینده دور بین ۴/۷۲ تا ۵/۰۴ (میلی‌متر در روز) متغیر خواهد بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱۳	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۴	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۱	
واژه‌های کلیدی: ایستگاه خرم‌آباد، تغییر اقلیم، تبخیر - تعرق مرجع، گزارش ششم، هارگریوز.	

استناد: رجائی؛ کریمی، سیده رقیه؛ نصرالهی، علی حیدر؛ و ایرانشاهی، معین (۱۴۰۲). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع بر اساس سناریوهای گزارش ششم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: ایستگاه خرم‌آباد)، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱۱)، ۱۷۷۷-۱۷۵۹.



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358697.669493>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358697.669493>

مقدمه

از دهه ۱۹۰۰ میلادی، میانگین جهانی غلظت گازهای گلخانه‌ای به سرعت افزایش یافته است که منجر به تغییر در ویژگی‌های متغیرهای اقلیمی و وقوع بیشتر رویدادهای حادی می‌شود (Almazroui et al., 2020). با توجه به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و روند گرمایش جهانی، پیش‌بینی می‌شود که تغییر اقلیمی بر منابع آب و ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز تأثیر بگذارد (Kim et al., 2021). هیدرولوژی حوضه تحت تأثیر افزایش دما و تغییر توزیع بارش قرار می‌گیرد و در نتیجه مقدار و در دسترس بودن آب تغییر می‌کند (Aryal et al., 2019). حوادث شدید اقلیمی و تغییرات آن‌ها به طور کلی می‌تواند تأثیرات شدیدی بر جامعه و اکوسیستم‌ها بگذارد و هر ساله خسارات اقتصادی زیادی را به بار آورد. در همین راستا هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) در جدیدترین گزارش خود (AR6) به افزایش ریسک خطرات طبیعی همچون خشکسالی و سیلاب که ممکن است در نتیجه تغییر اقلیم ایجاد شود، اشاره کرده و هشدار داده است. بنابراین پیش‌بینی‌های با دقت زیاد از تغییرات آینده به ویژه تغییرات در رفتار هیدرولوژیکی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی منابع آب ضروری است تا اطلاعات دقیقی را در راستای سازگاری ارائه دهد.

جهت کسب آگاهی در مورد اثرات تغییر اقلیم بطور معمول از مدل‌های اقلیمی (GCM) استفاده می‌شود. مدل‌های GCM بهترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر روی پارامترهای چرخه هیدرولوژیکی می‌باشند. این مدل‌ها سه بعدی بوده و قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره درازمدت در مقیاس جهانی یا قاره‌ای و با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف مدل‌سازی و تولید نمایند (Chen et al., 2019). مدل‌های جفت شده فاز ششم (CMIP6) نسخه‌های به روز شده و پیشرفته‌تر مدل‌های گردش عمومی (GCM) در راستای گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (AR6) می‌باشند که به همراه مجموعه جدیدی از سناریوهای تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای، در راستای مسیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSP) در بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ میلادی منتشر گردیده‌اند. با توجه به تحقیق (O'Neill, 2017)، SSPها شرایط آبی را بر اساس پنج رویکرد بنیادین توسعه پایدار (SSP1)، توسعه مبتنی بر سیاست‌های بینابین (SSP2)، گسترش رقابت منطقه‌ای (SSP3)، نابرابری (SSP4) و توسعه کاربرد سوخت‌های فسیلی (SSP5) توصیف می‌کنند. SSPها نسبت به سناریوهای RCP گزارش پنجم (AR5) به روزتر بوده و در واقع تلفیقی از سناریوهای اقتصادی-اجتماعی با در نظر گرفتن میزان واداشت انرژی تابشی خورشیدی یا همان RCPها در سطح‌های ۲/۶، ۴/۵، ۰/۶ و ۸/۵ وات بر مترمربع (W/m²) می‌باشند (عیزاده جبه‌دار و همکاران، ۱۴۰۱). سناریوهای SSP در ترکیب با مدل‌های جفت شده‌ی فاز ششم (CMIP6)، عمل پیش‌نگری را تا سال ۲۱۰۰ میلادی به عنوان اهداف بلند مدت اقلیمی به انجام می‌رسانند. منظور از میزان واداشت انرژی تابشی خورشیدی در واقع همان اختلاف بین انرژی ورودی و خروجی از جو کره‌ی زمین است. لازم به ذکر است که در شرایط فعلی، SSPها عمدتاً شامل هفت سناریوی SSP1-1.9، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP4-3.4، SSP4-6.0، SSP5-8.5 می‌باشد.

از آنجایی که مساله آب مهمترین دغدغه مدیران و برنامه‌ریزان در آینده است، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر چرخه آب از جمله مواردی است که مدیران مسئولین در زمینه منابع آب برای ساماندهی و یافتن راه‌های مقابله با این بحران باید در نظر بگیرند. تبخیر - تعرق به عنوان یک پارامتر مهم در چرخه هیدرولوژیکی محسوب می‌شود که خود تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی متعددی نظیر ساعات آفتابی، درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت و غیره قرار دارد. لذا، بررسی چرخه آب، بدون در نظر گرفتن تبخیر - تعرق به عنوان رکن اصلی تعیین کننده نیاز آبی گیاهان، امکان پذیر نیست (Goyal., 2004). اهمیت موارد گفته شده زمانی قابل درک است که به بررسی آمار مصرف آب در کشور پرداخته شود. براساس آمار منتشر شده از سوی وزارت نیرو، بخش کشاورزی با مصرف حدود ۹۰ درصد از کل آب مصرفی، بزرگترین مصرف کننده آب در ایران محسوب می‌شود. بر این اساس، می‌توان گفت که هرگونه برنامه‌ریزی منابع آبی در آینده بدون در نظر گرفتن تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر - تعرق و نیاز آبی گیاهان، ناقص و کم اعتبار خواهد بود (فاضلی خیاوی و همکاران، ۱۳۹۹). تبخیر - تعرق بعد از بارش، بزرگترین جزء برای حفظ تعادل چرخه‌ی هیدرولوژیکی شمرده می‌شود و برآورد دقیق آن، میزان آب مورد نیاز گیاه را مشخص می‌کند که یکی از عوامل کلیدی برای برنامه‌ریزی درست و بهبود راندمان آب مصرفی در هر منطقه می‌باشد (Granger., 1999). افزایش میزان تبخیر نیز از یک سو حجم آب ذخیره‌سازی شده را خصوصاً در فصول گرم سال کاهش می‌دهد؛ و از سوی دیگر، با کاهش رطوبت خاک، احتمال وقوع خشکسالی‌های متناوب را افزایش خواهد داد. همچنین تبخیر - تعرق نقش قابل ملاحظه‌ای در اقلیم جهانی از طریق چرخه هیدرولوژی ایفا کرده و تخمین آن کاربردهای مهمی در پیش‌بینی رواناب، پیش‌بینی عملکرد محصول و طراحی کاربری اراضی، طراحی کانال‌های آبیاری و تقسیم آب داشته است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۷). از این رو با توجه به نقش اساسی و مهمی که تبخیر - تعرق گیاه مرجع در تعیین تبخیر - تعرق و نیاز آبی گیاهان و نیز کاربرد آن در پژوهش‌های مربوط به بیلان آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری و



زهکشی، مدل‌های شبیه‌سازی محصول و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب دارد ضروری است اثرپذیری آن از وقوع تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گیرد. طی سال‌های اخیر، محققان برای کمی‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر مولفه‌های آب و هوایی، مطالعات زیادی در مناطق مختلف جهان انجام داده‌اند که به مرور آن‌ها پرداخته می‌شود. Dinpashoh (۲۰۰۶)، مقدار تبخیر - تعرق در ایران را با استفاده از سه روش هارگریوز سامانی، لینیاکر و تورنت وایت اصلاح شده مورد مطالعه قرار داد و برای غرب و شمال غرب کشور روش هارگریوز سامانی را پیشنهاد کرد. Guo et al (۲۰۱۴)، به تأثیرات تغییر اقلیم بر اکوهیدرولوژی حوضه رودخانه جیوشو در کشور چین با استفاده از مدل HadCM3 و ریزمقیاس گردانی SDSM در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ طبق دو سناریوی B2 و A2 پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که دما حداقل و حداکثر روزانه و تبخیر - تعرق پیش‌بینی شده در ۹۰ سال آینده دارای روند افزایشی است. هادی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع در پنج ایستگاه با اقلیم خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب و خیلی مرطوب پرداختند و نشان دادند که ایستگاه‌ها در دوره آتی با افزایش ۱۲ درصدی تبخیر-تعرق در فصل زمستان و کاهش ۳۵ درصدی تبخیر-تعرق در تابستان روبرو خواهند شد. همچنین در تمام ایستگاه‌ها بیشترین تغییرات تبخیر-تعرق در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و سناریوی A2 رخ خواهد داد. Rahman et al (۲۰۱۸)، به پیش‌بینی روند تبخیر - تعرق مرجع تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از ریزمقیاس نمایی مجموعه داده‌های CMIP5 بوسیله SDSM در بنگلادش پرداختند و نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین مقدار تبخیر - تعرق مرجع طبق سناریوی RCP8.5 و در دوره (۲۰۶۱-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه و سایر سناریوها رخ خواهد داد. حیدری و خوشخو (۱۳۹۸) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه در چند ایستگاه منتخب غرب ایران پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد، بیشترین نرخ افزایش تبخیر-تعرق مرجع دوره‌های آتی در مقیاسه با دوره پایه در تمامی مقیاس‌های فصلی و سالانه و در کل منطقه طبق سناریوی RCP8.5 و در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ رخ خواهد داد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۷)، میزان تبخیر-تعرق را در حوضه‌ی آبخیز دریاچه‌ی ارومیه به صورت ماهانه و فصلی با استفاده از روش هارگریوز سامانی و همچنین پرستلی تیلور برای دوره‌های مختلف، تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از گزارش پنجم بررسی کردند که براساس این گزارش دمای حداقل در سطح حوضه بین ۰/۲ تا ۳/۴ و دمای حداکثر بین ۰/۹ تا ۲/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد در دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهد یافت و همچنین میزان تبخیر-تعرق محاسبه شده در تمامی ماه‌ها و تمامی فصول در دوره‌ی آتی تحت تأثیردما، افزایش خواهد یافت. تاثیر تغییر اقلیم بر روی آب در دسترس در شرایط تغییرات همزمان متوسط و فصلی پارامترهای بارش و تبخیر با کمک خروجی مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم (AR5) نشان داد که در اکثر رژیم‌های آب و هوایی روی کره زمین روند تغییرات بارش و تبخیر بصورت افزایشی می‌باشد (Konapala et al, 2020).

باب‌الحکمی و همکاران (۱۳۹۹)، ادر پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع در استان مازندران پرداختند. داده‌های هواشناسی دوره آینده (۲۰۰۶-۲۰۸۰) با استفاده از مدل CanESM2 و طبق سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 برآورد شد و با استفاده از پارامترهای آب و هوایی، تبخیر و تعرق مرجع برای دوره‌های آینده محاسبه گردید. بررسی تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که درصد تغییرات تبخیر و تعرق در ماه‌های مختلف بین ۱۶/۱- تا ۲۵/۷ درصد متغیر است که بیشترین و کمترین درصد تغییرات تبخیر و تعرق مرجع، به ترتیب در ماه‌های اکتبر و مارس است.

میرحسینی و همکاران (۱۴۰۰)، با استفاده از روش هارگریوز- سامانی تأثیر احتمالی تغییرات آب‌وهوایی در دوره‌های آینده بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل را با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو GCM ارزیابی کردند و میزان افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل طبق تأثیر سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آینده نزدیک به ترتیب ۶/۳۱، ۷/۰۵ و ۷/۱۰ درصد، در دوره‌ی آینده میانی ۹/۶۹، ۹/۸۴ و ۱۱/۸۲ درصد و در دوره آینده دور، ۸/۱۷، ۱۳/۷۹ و ۱۸/۱۵ درصد گزارش شد. ارفع و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق در مناطق جنوب و جنوب شرق ایران طبق گزارش چهارم پرداختند که نتایج تحقیق نشان دهنده روند افزایشی دما و در پی آن افزایش تبخیر-تعرق در دوره‌ی آتی بوده به طوری که تغییرات نسبی تبخیر-تعرق تا سال ۲۰۹۹ در ایستگاه‌های مختلف بین ۱۰/۷ تا ۲۳/۲ میلی‌متر در روز افزایش خواهد داشت.

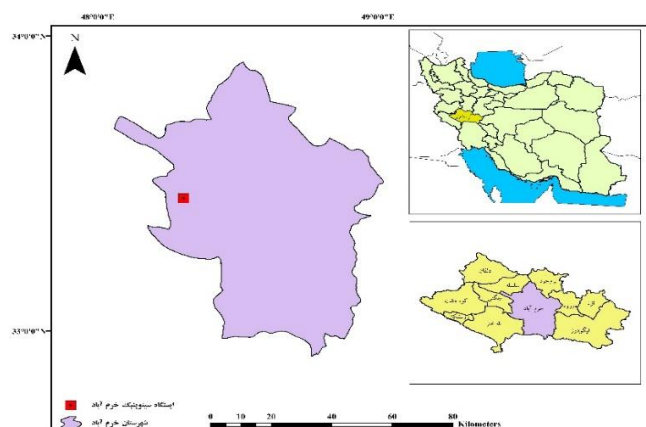
مرور منابع مختلف نشان می‌دهد که تغییر اقلیم به عنوان یکی از چالش‌های بزرگ زیست محیطی قرن حاضر باعث افزایش دما در بسیاری از نقاط کره زمین و در پی آن افزایش تبخیر و تعرق گیاهان در دوره‌های آتی می‌شود. از آنجایی که در بسیاری از مناطق ایران به خصوص استان‌های غربی کشاورزی نقش پررنگی در اشتغال و اقتصاد مردم ایفا می‌کند، تغییرت اقلیم به وجود آمده با تأثیر مستقیم بر کشاورزی منطقه در آینده، اختلالاتی را در موجودیت آب و نیاز آبی محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند از این رو هدف اصلی این پژوهش دستیابی به نحوه تغییرات آب و هوایی و تأثیر آن بر تبخیر و تعرق مرجع برای دوره‌های آتی در ایستگاه خرم آباد می‌باشد. علاوه بر این در

اکثر پژوهش‌های انجام شده از مدل‌های گزارش چهارم (AR4) یا پنجم (AR5) تغییر اقلیم استفاده شده است، اما در پژوهش حاضر از خروجی جدیدترین مدل‌های در دسترس گزارش ششم (AR6) برای بررسی تغییر اقلیمی منطقه استفاده می‌شود.

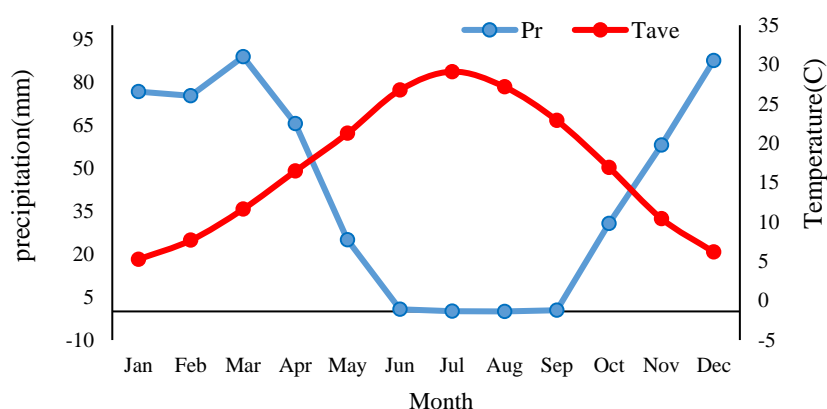
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت خرم‌آباد با وسعتی حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع در میان دره‌ی زاگرس قرار دارد که در مرکز استان لرستان واقع گردیده است. میانگین مجموع بارش سالیانه این منطقه حدود ۵۰۹ میلی‌متر است. آمار و اطلاعات هواشناسی مورد نیاز برای بررسی تغییر اقلیم و محاسبه تبخیر/تعرق گیاه مرجع در این پژوهش، از ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد با موقعیت طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه و ارتفاع ۱۱۴۸ متر از سطح دریا، تهیه شد (شکل ۱). متوسط دما و بارندگی ماهانه در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۴۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۷۰) در نمودار آمبروترمیک تهیه شده و در شکل ۲ قابل مشاهده است. مطابق نمودار بیشترین بارش در ماه مارس (اسفند)، کمترین بارش در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر (خرداد تا شهریور)، بیشترین دما در ماه‌های جولای (تیر) و کمترین دما نیز در ماه ژانویه (دی) در طول دوره آماری (۲۰۱۴-۱۹۷۰) به وقوع پیوسته است.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۲. منحنی آمبروترمیک ایستگاه خرم‌آباد

ریزمقیاس‌نمایی

متداول‌ترین روش ریزمقیاس‌نمایی استفاده از توابع انتقال است که یک روش رگرسیونی می‌باشد و بر روابط کمی مستقیم بین متغیرهای دربرگیرنده اطلاعات اقلیمی بزرگ مقیاس (پیش‌بینی‌کننده) و متغیرهای اقلیمی مشاهداتی (پیش‌بینی‌شونده) از طریق روابط رگرسیونی تکیه دارد. تاکنون رگرسیون خطی و غیرخطی شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور بررسی پیوند بین پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده و روابط حاکم بر آنها بکار گرفته شده است (احمدی‌باصری و همکاران، ۱۳۹۴). از این میان ANN مبنی بر روش ریزمقیاس‌نمایی به دلیل توانایی بالا در فراهم نمودن روابط غیرخطی بین پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده کاربردی گسترده یافته است. ریزمقیاس‌نمایی

آماري مبتني بر مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) از روش‌هایی است که می‌توان به منظور ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های GCM جفت شده‌ی فاز ششم (CMIP6) استفاده نمود. یکی از نکات مثبت مدل ANN نسبت به مدل SDSM، پذیرفتن داده‌های ورودی و انجام امر پیش‌بینی در هر مقیاس زمانی است در حالی که مدل SDSM فقط به صورت روزانه امر ریزمقیاس نمایی را به انجام می‌رساند. در طی تمامی مراحل ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی‌های دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش مربوط به مناسب‌ترین مدل GCM در ایستگاه خرم‌آباد، پیش‌نگری مقادیر این متغیرها در دوره‌های آتی (۲۰۲۳-۲۰۴۸، ۲۰۲۴-۲۰۴۹ و ۲۰۲۵-۲۰۷۵) از ساختار آموزش داده شده شبکه عصبی پیشرو (FFNN) استفاده شد. با توجه به تحقیقات و پژوهش‌های صورت گرفته، ساختار FFNN با الگوریتم پس انتشار خطا (BP) می‌تواند منجر به نتایج قابل اعتمادی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی و مدل‌سازی سری‌های زمانی گردد. همچنین با هدف دستیابی به بهترین کارایی مدل شبکه عصبی ANN، از الگوریتم پس انتشار لونیبرگ - مارکووارت (LM) برای آموزش مدل به دلیل میزان همگرایی بالاتر استفاده گردید (Haykin., 1996; Ghorbani et al., 2018). علاوه بر این تابع تانژانت سیگموئید نیز به جهت نگاشت اطلاعات از لایه ورودی به لایه پنهان و به عنوان هسته غیرخطی شبکه‌های عصبی استفاده شد. روند آموزش شبکه ANN با حداکثر تکرار ۱۰۰ بار زمانی متوقف می‌گردد که حداقل میزان خطا در ارزیابی داده‌های مرحله آزمون بدست آید. موضوع قابل توجه و مهم در بحث آموزش مدل ANN، تعیین ساختار مناسب این مدل از جمله تعداد نرون‌ها در لایه پنهان و همچنین تعداد تکرار آموزش است به گونه‌ای که جهت دستیابی به بهترین ساختار بایستی روش آزمون و خطا را انجام داد. تعداد نرون‌های لایه پنهان نیز از تعداد نرون‌های کم آغاز شده و تا حداکثر عدد ۳۰ نرون محاسبات به جهت یافتن بهترین مدل پیش رفت.

انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های غالب مدل MRI-ESM2

به منظور تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه در شرایط تغییر اقلیم، از خروجی مدل گردش عمومی AOGCM طبق چهار سناریوی انتشار مهم گزارش ششم شامل؛ SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0، SSP5-8.5 و SSP8.5 استفاده گردید. با استفاده از آزمون‌های آماری و بررسی دوره مشاهداتی (۱۹۷۰-۲۰۱۴) مدل‌های گردش عمومی، مدل MRI-ESM2 از موسسه تحقیقات هواشناسی ژاپن با توجه به قدرت تفکیک جوی آن (1.1×1.1) همپوشانی بالایی را نسبت به ایستگاه‌های سینوپتیک خرم‌آباد به نمایش گذاشت و به عنوان مدل برتر انتخاب گردید. بعد از تعیین مناسب‌ترین مدل GCM، انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده با خصوصیات مناسب از میان بسیاری از متغیرهای اقلیمی موجود در مدل GCM، به عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل ریزمقیاس نمایی شناخته می‌شود. به این ترتیب، مدل درختی M5 برای انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های غالب از میان تمامی پیش‌بینی‌کننده‌ها (۱۴۰ متغیر) استفاده گردید. جدول ۱ پیش‌بینی‌کننده‌های غالب به دست آمده توسط روش استخراج ویژگی مدل M5 با نرم‌افزار WEKA را نشان می‌دهد.

جدول ۱. پیش‌بینی‌کننده‌های غالب پارامتر بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل

Model	The most dominant predictors		
	Tmin	Tmax	precipitation
MRI-ESM2	hfss, hurs(Relative humidity), huss, rlus, rsds, tas, sfcWind, prc, tasmax, hfls	hurs, rlds, rsuses, rlus, cl, prw, prc, ts, tas, tasmin	Clivi, hurs, rldscs, psl, rlut, sfcWin, clw, cl, prc, tasmax, tas, prw

مطابق جدول ۱، با کاربرد الگوریتم M5 پیش‌بینی‌کننده‌های چهار نقطه شبکه مدل GCM که در گره‌های بالایی درخت قرار داشتند، به عنوان غالب‌ترین متغیرهای ورودی مدل عصبی ریزمقیاس نمایی آماری دو متغیر بارش و دما انتخاب شدند. در جدول ۲، پیش‌بینی‌کننده‌های تحقیق حاضر به اختصار تشریح شده‌اند.

شاخص‌های ارزیابی

در این پژوهش ارزیابی عملکرد و قدرت پیش‌بینی مدل توسط آماره‌های همبستگی (PCC) و میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد سنجش قرار گرفت. این آماره‌ها به ترتیب بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند.

$$PCC = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{رابطه ۱}$$

رابطه ۲)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

که در این روابط، x_i و y_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و مدل شده، \bar{x} و \bar{y} به ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و مدل شده، n تعداد داده‌های مورد ارزیابی می‌باشد.

جدول ۲. پیش‌بینی‌کننده‌های مورد استفاده در این پژوهش

متغیر	توصیف	توصیف
hurs	Relative humidity	رطوبت نسبی
huss	Specific humidity	رطوبت خاص
rlus	Surface upwelling longwave flux in air	شار سطحی موج بلند برگشتی در هوا
rlsds	Surface downwelling longwave flux in air assuming clear sky	شار سطحی موج بلند ورودی در هوا با فرض آسمان صاف
rlds	Surface downwelling longwave flux in air	شار سطحی موج کوتاه ورودی در هوا
rsds	Downwelling shortwave flux	شار موج کوتاه دریافتی
tas	Air temperature	دمای هوا
sfwind	Wind speed	سرعت باد
prc	Convective precipitation	بارش همرفتی
tasmax	Maximum air temperature	دمای هوای حداکثر
tasmin	Minimum air temperature	دمای هوای حداقل
hfls	Surface upward latent heat flux	شار حرارتی نهفته سطحی برگشتی
hfss	Surface upward sensible heat flux	شار حرارتی سطح بالای برگشتی
rsusc	Surface Upwelling Clear-Sky Shortwave Radiation	تابش موج کوتاه برگشتی در شرایط آسمان صاف
cl	Percentage Cloud Cover	درصد پوشش ابر
prw	Atmosphere water vapor content	بخار آب اتمسفر
ts	Sea surface temperature	دمای سطح دریا
clivi	Atmosphere mass content of cloud ice	محتوای جرمی فضای یخی ابر
psl	Sea level pressure	فشار سطحی دریا
clw	Mass Fraction of Cloud Liquid Water	درصد جرم آب مایع ابر

تبخیر تعرق مرجع

در روش غیرمستقیم معادلات مربوطه دامنه ای از انواع روش‌ها، شامل معادلات دما- مینا و تابش- مینا و معادلات ترکیبی را در بر می‌گیرد. در این تحقیق برای محاسبه تبخیر تعرق مرجع در دوره پایه و طبق تاثیر سناریوهای تغییر اقلیم به دلیل کم بودن و در دسترس بودن داده‌ها در کلیه نقاط در سطح دشت خرم آباد و نواحی اطراف از روش هارگریوز سامانی^۱ (Hargreaves and Samani., 1982) استفاده شد. مطابق رابطه ۳، از اطلاعات دمای حداکثر، دمای حداقل و دمای متوسط بصورت ماهانه استفاده گردید و دوره آماری (۱۹۷۰-۲۰۱۴) به عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد.

$$ET0 = 0.0023(T_{ave} + 17.8) \times \sqrt{(T_{max} - T_{min})} \times Ra \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن $ET0$ تبخیر و تعرق مرجع بر حسب میلی‌متر در روز، T_{ave} میانگین دمای هوا (C°)، T_{max} حداکثر دمای هوا ماهانه (C°)، T_{min} حداقل دمای هوا ماهانه (C°)، Ra تابش خورشیدی است. مقدار Ra از جدول ۳ برای ماه‌ها و عرض‌های جغرافیایی مختلف قابل استخراج است. Ra بر حسب کالری بر سانتی‌متر بر روز است و اگر بخواهیم آن را بر حسب میلی‌متر در روز به دست بیاوریم باید ارقام را بر ۵/۸ تقسیم کنیم که در این صورت $ET0$ نیز بر حسب میلی‌متر در روز محاسبه می‌شود.

جدول ۳. مقادیر تابش خورشیدی (Ra) بر حسب میلی‌متر در روز برای منطقه مورد مطالعه (علیزاده، ۱۳۹۱)

ماه	تابش خورشیدی	ماه	تابش خورشیدی
January	۸/۵	July	۱۶/۲
February	۱۰/۵	August	۱۵/۳
March	۱۲/۷	September	۱۳/۵
April	۱۴/۸	October	۱۱/۳
May	۱۶	November	۹/۱
June	۱۶/۵	December	۷/۹

نتایج و بحث

ریزمقیاس‌نمایی آماری متغیرهای دما و بارش مبتنی بر مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

پس از انتخاب موثرترین پیش‌بینی‌کننده‌ها، دو مدل شبکه عصبی پیش‌خور (FFNN) به صورت جداگانه و به منظور ریزمقیاس‌نمایی مقادیر متوسط ماهانه ۴۴ ساله پارامترهای دما و بارش (۲۰۱۴-۱۹۷۰) در مقیاس ایستگاه مشاهداتی (ایستگاه خرم‌آباد) استفاده گردید. شایان ذکر است، ۷۵ درصد داده‌ها (۱۹۷۰-۲۰۰۰) برای امر آموزش و ۲۵ درصد داده‌ها (۲۰۰۱-۲۰۱۴) به منظور آزمون نتایج مدل ANN تقسیم‌بندی شدند، تقسیم‌بندی داده‌ها به دو بخش آموزش و آزمون در بسیاری از مطالعات مربوط به مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی از جمله فرآیند بارش - رواناب تحت شرایط استفاده از مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی (AI) به انجام رسیده است.

نتایج مدل ANN نشان داد که عملکرد بالای مدل ریزمقیاس‌نمایی شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور تحت شرایط تعداد تکرار ۱۰۰ مرتبه ثبت گردیده است. مقادیر شاخص‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون (PCC) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) موجود در جدول ۴ نشان می‌دهد که مدل ANN با کاربرد موثرترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده تعیین شده توسط مدل پیش‌پردازشی M5 تخمین‌های قابل قبولی را برای دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۴) ارائه داده است. لازم به ذکر است که مطابق جدول ۴، مدل ANN عملکرد بهتری را برای متغیر دما در مقایسه با بارش نشان داده است. سری‌های زمانی دما برخلاف سری‌های زمانی بارش، روندی قابل پیش‌بینی‌تر^۱، نرم‌تر^۲ و تناوبی دارند؛ لذا می‌توان آن‌ها را به راحتی و به صورت دقیق تخمین زد (علیزاده جبه‌دار و همکاران، ۱۴۰۱ و Dibikey Ali et al., 2018). واریانس نسبتاً کم سری زمانی بارش نسبت به دما، تاکید بر تصادفی‌تر بودن وقایع بارش دارد (شرافتی و خزایی، ۱۳۹۶ و Nourani et al., 2020)؛ از سویی دیگر، تعیین ویژگی‌های تغییرپذیری رژیم بارش در فرایند ریزمقیاس‌نمایی امری دشوار است، عملکرد مدل ANN طی دوره پایه در تحقیق حاضر و در بحث ریزمقیاس‌نمایی آماری متغیر بارش و دما، با نتایج تحقیق (Nourani et al., 2020) در تطابق است.

جدول ۴. ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۴) طی فرآیند ریزمقیاس‌نمایی، ایستگاه خرم‌آباد

Model	Station	Tmin		Tmax		Precipitation	
		RMSE(C°)	PCC	RMSE(C°)	PCC	RMSE(mm)	PCC
MRI-ESM2	Khoramabad	۱/۹	۰/۹۶	۲/۰۲	۰/۹۸	۳۳	۰/۷۴

بررسی تغییرات دما در دوره‌های آبی

مطابق شکل الف ۳، بررسی تغییرات ماهانه دما طی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸) در ایستگاه خرم‌آباد نشان می‌دهد دمای حداکثر و دمای حداقل در تمام ماه‌ها، نسبت به دوره پایه افزایش دارد. پیش‌نگری می‌شود بیشترین تغییرات افزایشی دمای حداکثر ماهانه نسبت به دوره پایه در ماه نوامبر (آبان) به میزان ۵/۰۵ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP5-8.5 بوده است، کمترین روند افزایشی تغییرات دمای حداکثر نیز در دوره آینده میانی نسبت به دوره پایه در این ایستگاه به ترتیب در ماه جولای (تیر) به میزان ۰/۲۶ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP5-8.5 می‌باشد. همچنین طبق شکل الف ۴، در آینده نزدیک، بیشترین تغییرات افزایشی دمای حداقل متوسط ماهانه ایستگاه خرم‌آباد نسبت به دوره پایه در ماه سپتامبر (شهریور) به میزان ۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP5-8.5 و کمترین تغییرات افزایشی دمای حداقل ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در ماه جولای (تیر) به میزان ۰/۳۹ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP1-2.6 رخ

خواهد داد.

مطابق شکل ب ۳، پیش‌نگری می‌شود تغییرات دمای حداکثر ماهانه در آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴) ایستگاه خرم‌آباد به صورتی است که بیشترین تغییرات افزایشی دمای حداکثر ماهانه نسبت به دوره پایه در ماه نوامبر (آبان) به میزان ۶ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP5-8.5 بوده است، کمترین روند افزایشی تغییرات دمای حداکثر نیز در دوره آینده میانی نسبت به دوره پایه در این ایستگاه به ترتیب در ماه جولای (تیر) به میزان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP1-2.6 می‌باشد. همچنین طبق شکل ب ۴، در آینده میانی، بیشترین تغییرات افزایشی دمای حداقل ماهانه ایستگاه خرم‌آباد نسبت به دوره پایه در ماه سپتامبر (شهریور) به میزان ۳/۹۸ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP5-8.5 و کمترین تغییرات افزایشی دمای حداقل ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در ماه جولای (تیر) به میزان ۰/۵۹ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP1-2.6 رخ خواهد داد.

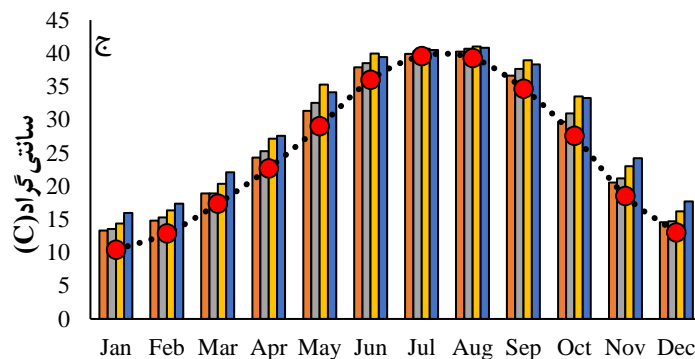
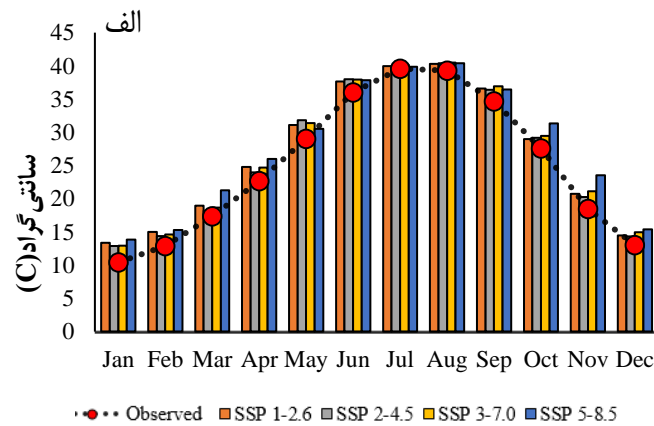
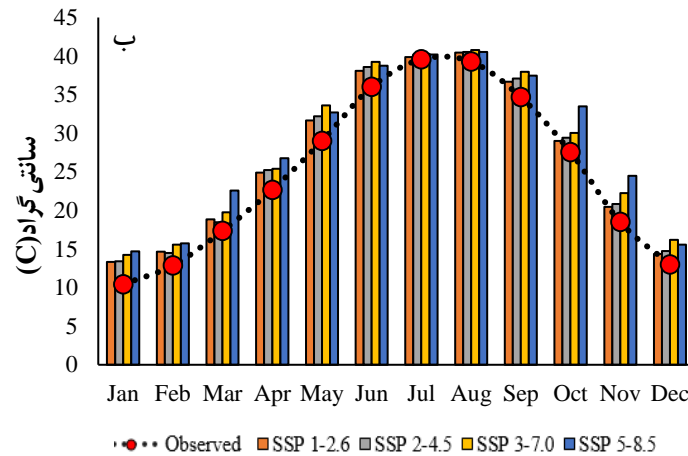
مطابق شکل ج ۳، پیش‌نگری می‌شود بررسی تغییرات متوسط ماهانه دما طی دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۵) ایستگاه خرم‌آباد، بیشترین تغییرات افزایشی دمای حداکثر ماهانه نسبت به دوره پایه در ماه می (اردیبهشت) به میزان ۶/۳ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP3-7.0 بوده است، کمترین روند افزایشی تغییرات دمای حداکثر نیز در دوره آینده دور نسبت به دوره پایه در این ایستگاه به ترتیب در ماه جولای (تیر) به میزان ۰/۳۳ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP1-2.6 می‌باشد. همچنین طبق شکل ج ۴، در آینده دور، بیشترین تغییرات افزایشی دمای حداقل ماهانه ایستگاه خرم‌آباد نسبت به دوره پایه در ماه اکتبر (مهر) به میزان ۴/۸۶ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP5-8.5 و کمترین تغییرات افزایشی دمای حداقل ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در ماه ژوئن (خرداد) به میزان ۰/۳۲ درجه سانتی‌گراد طبق سناریوی SSP1-2.6 رخ خواهد داد.

شکل ۳ و شکل ۴ نتایج حاصل از پیش‌نگری تغییرات متوسط دما حداکثر و حداقل را طبق مدل MRI-ESM2 و سناریوهای SSP را نسبت به متوسط ۲۶ ساله‌ی مشاهدات (۱۹۸۸-۲۰۱۴) به نمایش می‌گذارد. با اینکه تغییرات دما در مقیاس ماهانه و در طول زمان دارای نوساناتی است، با این حال، متوسط دمای سالانه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه کاملاً افزایشی خواهد بود (متوسط دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی در دوره پایه ایستگاه خرم‌آباد به ترتیب ۲۶/۱۷ و ۸/۵۵ می‌باشد). در آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸) متوسط دمای حداکثر بین ۱/۶ تا ۲/۶ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای حداقل ۱/۱ تا ۱/۳ بین درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. تغییرات سالانه میانگین دمای حداکثر و حداقل در آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴) نسبت به دوره مشاهداتی طبق سناریوهای گزارش ششم به ترتیب بین ۱/۸ تا ۳/۶ درجه سانتی‌گراد و بین ۱/۵ تا ۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. تغییرات سالانه میانگین دمای حداکثر و حداقل در آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی طبق سناریوهای گزارش ششم به ترتیب بین ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای حداقل بین ۱ تا ۲/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. نتایج موضوع افزایش دما تحت تاثیر تغییر اقلیم با پژوهش فاضلی و همکاران (۱۳۹۹)، مهرآذر و همکاران (۱۳۹۷)، گودرزی و همکاران (۱۳۹۷)، اخوان و همکاران (۱۳۹۴) و Sabziparvar and Tabari (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

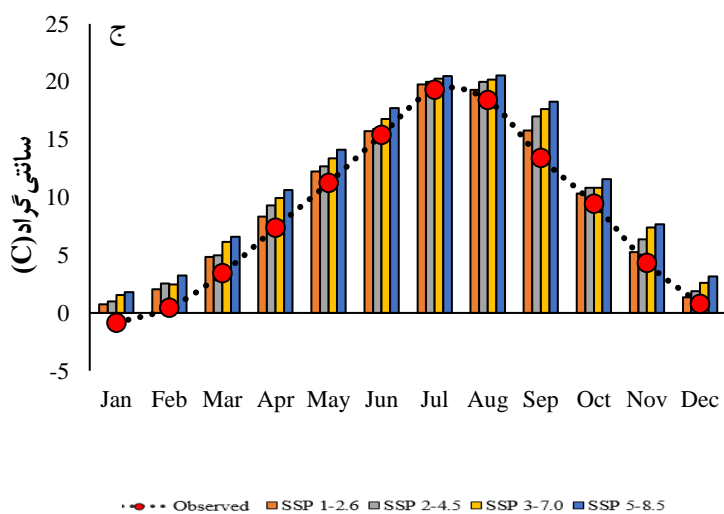
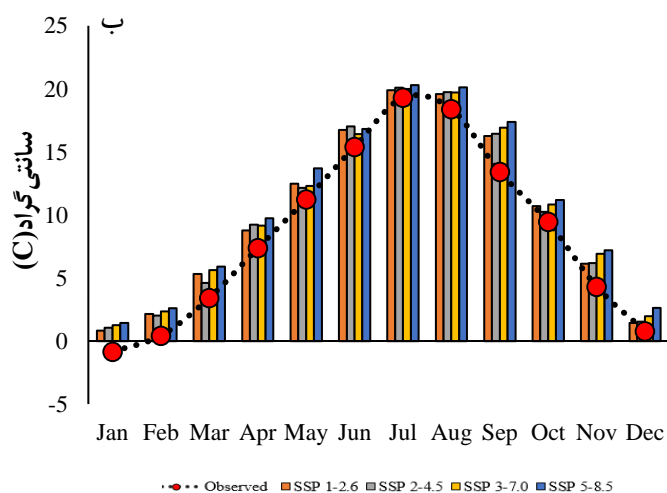
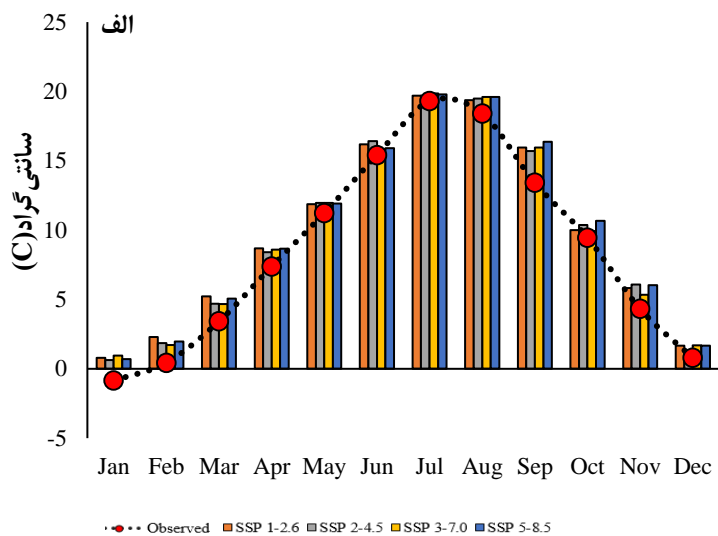
بررسی تغییرات بارش در دوره‌های آتی

مطابق نتایج شکل الف ۵، مشاهده می‌گردد که متوسط بارش ماهانه برای آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸) در ماه‌های مختلف نوسان دارد و بیشتر به صورت کاهشی می‌باشد. در ایستگاه خرم‌آباد بیشترین کاهش و افزایش بارش به ترتیب به میزان ۲۶ و ۲۵ میلی‌متر در ماه‌های آوریل (فروردین) و فوریه (بهمن) و طبق سناریوی SSP1-2.6 پیش‌نگری شده است. با مقایسه مقادیر جمع سالانه مشاهداتی دوره پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۴) با نتایج متناظر آن، کاهش بارش در محدوده مطالعاتی طبق تمامی سناریوهای SSP در سال‌های آتی (۲۰۲۳-۲۰۴۸) به وضوح مشخص می‌گردد؛ به گونه‌ای که وقوع بارش در آینده نزدیک در ایستگاه خرم‌آباد بین ۱/۹ تا ۶/۷ درصد کاهش خواهد داشت. در بررسی تغییرات بارش در آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴) نیز مطابق شکل ب ۵، مشاهده می‌گردد که متوسط بارش ماهانه در ماه‌های مختلف نوسان دارد و بیشتر به صورت کاهشی می‌باشد. در دوره‌ی آینده میانی مقدار بارش علاوه بر دوره پایه حتی نسبت به دوره آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸) هم رو به کاهش می‌باشد. در ایستگاه خرم‌آباد بیشترین کاهش و افزایش بارش به ترتیب به میزان ۳۹ و ۲۷ میلی‌متر در ماه‌های آوریل (فروردین) طبق سناریوی SSP3-7.0 و فوریه (بهمن) طبق سناریوی SSP1-2.6 خواهد بود. با مقایسه مقادیر جمع سالانه مشاهداتی دوره پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۴) با نتایج متناظر آن در آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴)، کاهش بارش در محدوده مطالعاتی طبق تمامی سناریوهای SSP در دوره میانی به وضوح مشخص می‌گردد. به عبارتی، می‌توان چنین استنباط نمود که وقوع بارش در آینده نزدیک در ایستگاه خرم‌آباد بین ۲/۲ تا ۱۴/۸ درصد کاهش نسبت به دوره پایه خواهد داشت. در بررسی تغییرات بارش در آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) نیز مطابق شکل ج ۵، مشاهده می‌گردد که متوسط بارش ماهانه در ماه‌های مختلف مثل دوره‌های نزدیک و میانی نوسان دارد و بیشتر به

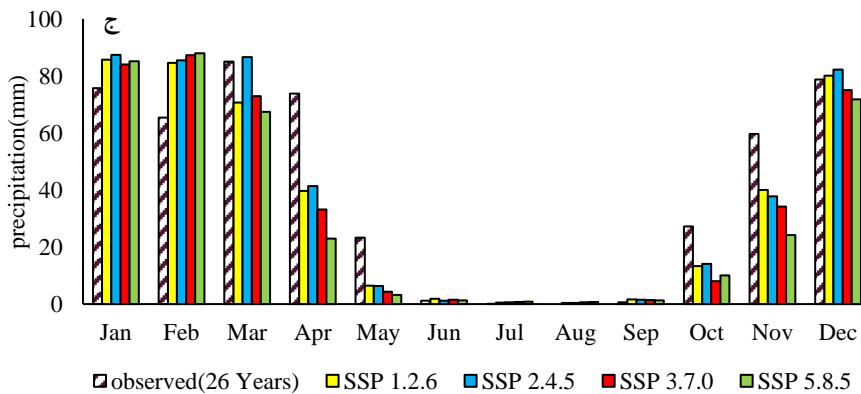
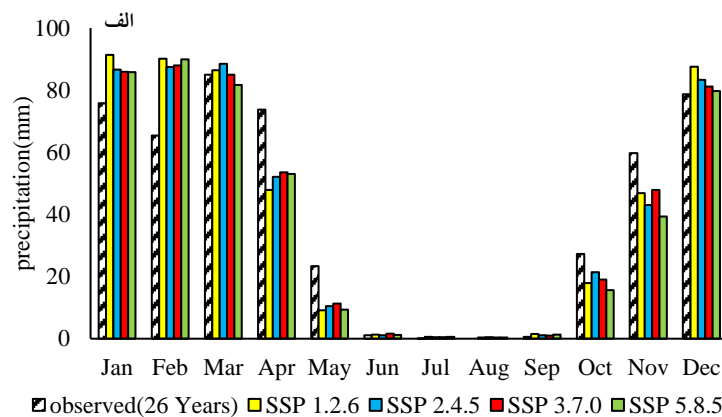
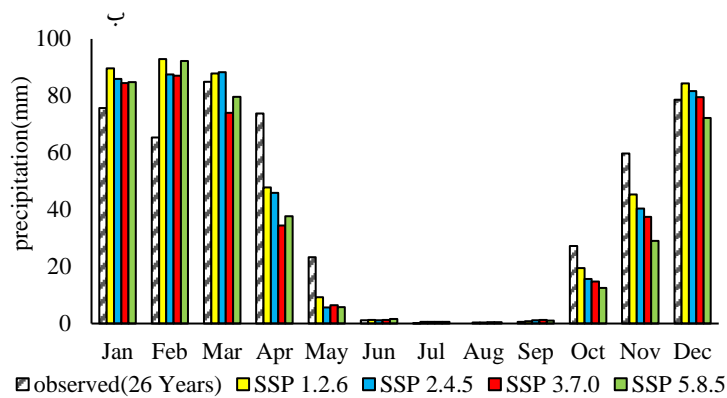
صورت کاهشی می‌باشد. در دوره‌ی آینده دور مقدار بارش علاوه بر دوره پایه نسبت به دوره آینده نزدیک و آینده میانی هم رو به کاهش می‌باشد. در ایستگاه خرم‌آباد بیشترین کاهش و افزایش بارش به ترتیب به میزان ۵۰ و ۲۲ میلی‌متر در ماه‌های آوریل (فرودین) و فوریه (بهمن) طبق سناریوی SSP5-8.5 خواهد بود. با مقایسه مقادیر جمع سالانه مشاهداتی دوره پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۴) با نتایج متناظر آن در آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰)، کاهش بارش به‌گونه‌ای است. وقوع بارش در آینده دور در ایستگاه خرم‌آباد بین ۹/۴ تا ۲۳/۲ درصد کاهش نسبت به دوره پایه خواهد داشت. این نتایج مطابق با نتایج تحقیقات مذکور و بررسی‌های اقلیمی IPCC می‌باشد. همچنین نتایج تحقیق انصاری مهابادی و همکاران (۱۴۰۱) که با استفاده از گزارش ششم IPCC به بررسی وضعیت بارش در کشور ایران پرداختند تطابق دارد.



شکل ۳. میانگین ماهانه دمای حداکثر ایستگاه خرم‌آباد (الف) آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، (ب) آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴)، (ج) آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۴)



شکل ۴. میانگین ماهانه دمای حداقل ایستگاه خرم آباد الف) آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، ب) آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴)، ج) آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۸)



شکل ۵. میانگین ماهانه بارش ایستگاه خرم آباد الف) آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، ب) آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴)، ج) آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۴)

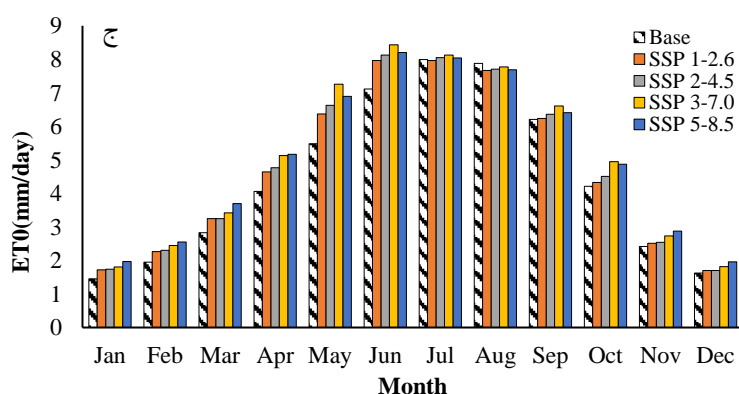
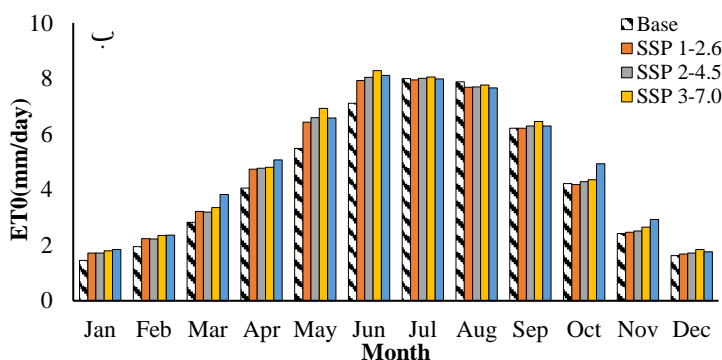
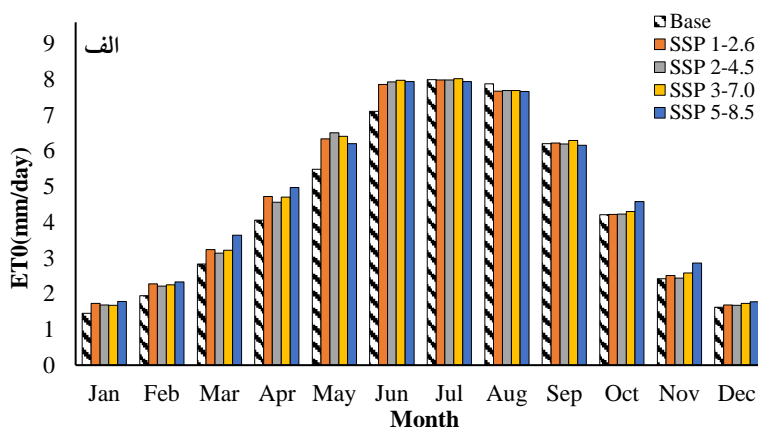
بررسی تغییرات تبخیر - تعرق در دوره‌های آتی

مطابق شکل الف ۶، بررسی تغییرات متوسط ماهانه تبخیر - تعرق مرجع طی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸) در ایستگاه خرم‌آباد، بیشترین تغییرات افزایشی نسبت به دوره پایه در ماه می (اردیبهشت) به میزان ۰/۶۲ میلی‌متر بر روز طبق سناریوی SSP2-4.5 و کمترین تغییرات افزایشی تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در ماه جولای (تیر) به میزان ۰/۰۲ میلی‌متر بر روز طبق سناریوی SSP5-8.5 رخ خواهد داد.

مطابق شکل ب ۶، تغییرات تبخیر - تعرق مرجع متوسط ماهانه در آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴) ایستگاه خرم‌آباد به صورتی است که بیشترین تغییرات افزایشی تبخیر و تعرق مرجع نسبت به دوره پایه در ماه می (اردیبهشت) به میزان ۱ میلی‌متر بر روز طبق سناریوی SSP3-7.0 و کمترین تغییرات افزایشی تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در ماه جولای (تیر) به میزان ۰/۰۲ میلی‌متر

بر روز طبق سناریوی SSP1-2.6 رخ خواهد داد.

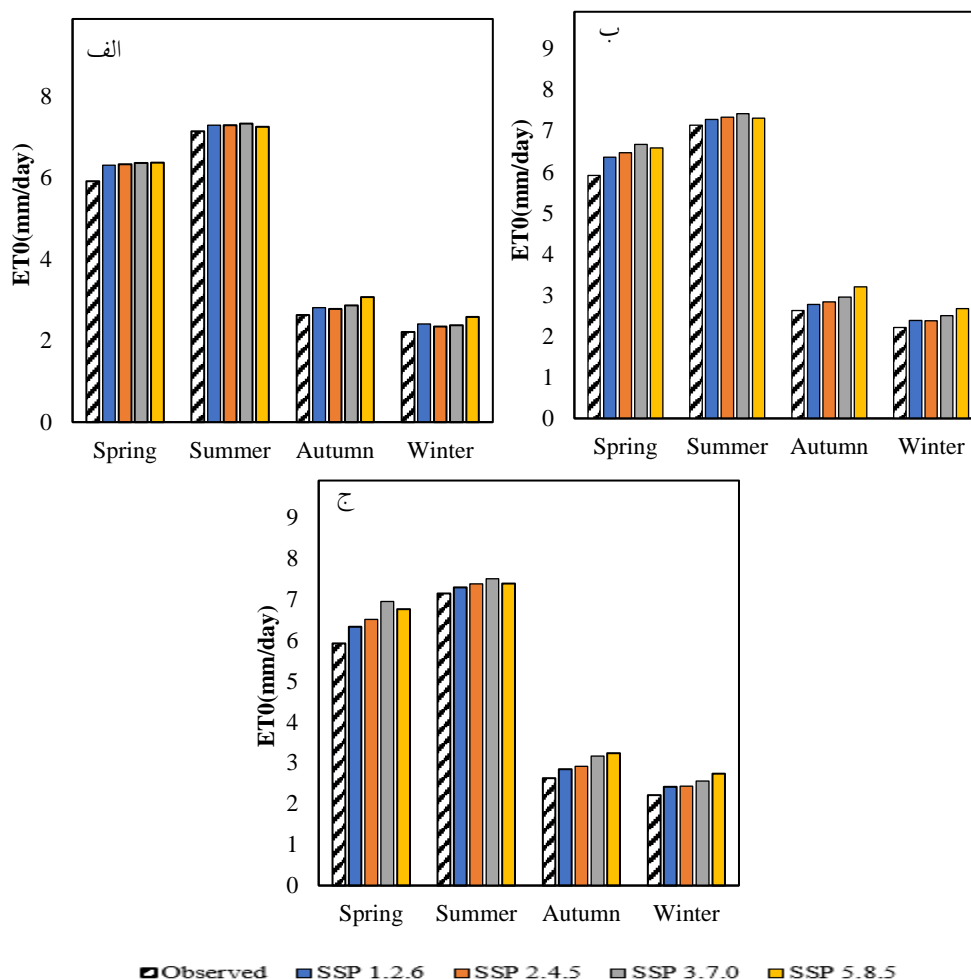
مطابق شکل ج ۶، بررسی تغییرات تبخیر - تعرق مرجع متوسط ماهانه طی دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۵) ایستگاه خرم‌آباد، بیشترین تغییرات افزایشی نسبت به دوره پایه در ماه می (اردیبهشت) به میزان ۱/۳۸ میلی‌متر بر روز طبق سناریوی SSP3-7.0 و کمترین تغییرات افزایشی تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در ماه جولای (تیر) به میزان ۰/۰۴ میلی‌متر بر روز طبق سناریوی SSP1-2.6 رخ خواهد داد.



شکل ۶. میانگین ماهانه تبخیر - تعرق مرجع ایستگاه خرم‌آباد (الف) آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، (ب) آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴)، (ج) آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۴)

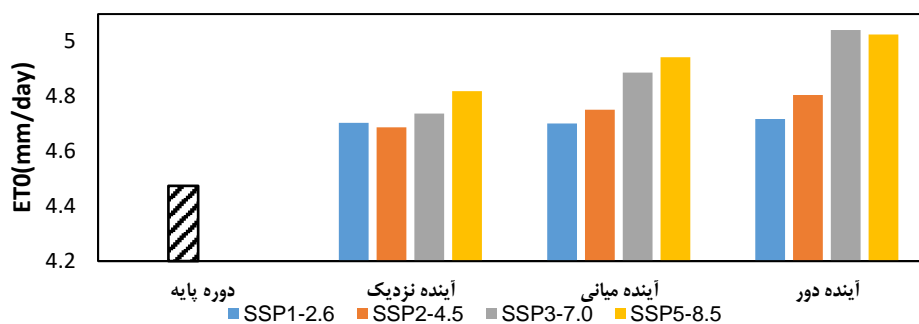
شکل ۷ میانگین تبخیر - تعرق مرجع برای چهار فصل سال را در مقایسه با دوره پایه در سه دوره آتی طبق چهار سناریوی SSP در ایستگاه خرم‌آباد نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصله، الگوی تغییرات فصلی تبخیر-تعرق مرجع نیز غیریکنواختی زمانی تغییرات این مؤلفه را در شرایط وقوع تغییر اقلیم نشان می‌دهد. افزایش تبخیر-تعرق مرجع طبق سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 در تمام فصول دوره‌های زمانی آینده نسبت به دوره پایه مشاهده می‌شود. با توجه به تغییرات تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه خرم‌آباد،

طی سال‌های آتی علاوه بر فصول بهار و تابستان، شاهد زمستان‌هایی با تغییرات افزایشی نسبت به دوره پایه روبرو خواهیم بود که نشان‌دهنده افزایش دمای این فصل می‌باشد که در بخش‌های قبل اشاره گردید.



شکل ۷. میانگین فصلی تبخیر - تعرق مرجع ایستگاه خرم آباد الف) آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، ب) آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴)، ج) آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۴)

مطابق شکل ۷ الف، بررسی تغییرات تبخیر - تعرق مرجع متوسط فصلی طی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، بیشترین تغییرات افزایشی نسبت به دوره پایه در فصل بهار به میزان ۰/۴۵ میلی‌متر بر روز (۴۰ میلی‌متر) طبق سناریوی SSP5-8.5 و کمترین تغییرات افزایشی تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در فصل تابستان به میزان ۰/۱۱ میلی‌متر بر روز (۱۰ میلی‌متر) طبق سناریوی SSP5-8.5 رخ خواهد داد. مطابق شکل ۷ ب، در دوره آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴)، بیشترین تغییرات افزایشی نسبت به دوره پایه در فصل بهار به میزان ۰/۷۶ میلی‌متر بر روز (۶۸ میلی‌متر) طبق سناریوی SSP3-7.0 و کمترین تغییرات افزایشی تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در فصل تابستان به میزان ۰/۱۴ میلی‌متر بر روز (۱۳ میلی‌متر) طبق سناریوی SSP1-2.6 رخ خواهد داد و طی دوره آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) مطابق شکل ۷ ج، بیشترین تغییرات افزایشی نسبت به دوره پایه در فصل بهار به میزان ۱ میلی‌متر بر روز (۹۰ میلی‌متر) طبق سناریوی SSP3-7.0 و کمترین تغییرات افزایشی تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در این ایستگاه نسبت به دوره پایه در فصل تابستان به میزان ۰/۱۵ میلی‌متر بر روز (۱۴ میلی‌متر) طبق سناریوی SSP1-2.6 رخ خواهد داد.



شکل ۸. متوسط سالانه تبخیر - تعرق مرجع در آینده نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۸-۲۰۱۴)

شکل ۸، نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات متوسط تبخیر - تعرق مرجع سالانه طبق مدل MRI-ESM2 و سناریوهای SSP را نسبت به متوسط ۲۶ ساله‌ی مشاهدات (۱۹۸۸-۲۰۱۴) به نمایش می‌گذارد. مطابق شکل با اینکه تغییرات تبخیر - تعرق مرجع در مقیاس ماهانه و در طول زمان دارای نوساناتی است، با این حال، متوسط سالانه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه کاملاً افزایشی خواهد بود (متوسط تبخیر - تعرق مرجع مشاهداتی در دوره پایه ایستگاه خرم‌آباد ۴/۴۷ میلی‌متر در روز می‌باشد). مطابق جدول ۵ و شکل ۸، در آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸) متوسط تبخیر - تعرق مرجع بین ۵/۱۴ تا ۷/۷۲ درصد افزایش خواهد داشت. تغییرات سالانه میانگین تبخیر - تعرق مرجع در آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴) نسبت به دوره مشاهداتی طبق سناریوهای گزارش ششم بین ۵/۰۸ تا ۱۰/۴۸ درصد افزایش خواهد داشت. تغییرات سالانه میانگین تبخیر - تعرق مرجع در آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی طبق سناریوهای گزارش ششم بین ۵/۴۵ تا ۱۲/۶۸ درصد افزایش خواهد داشت. نتایج این بخش با مطالعات خیری و همکاران (۱۴۰۱)، نیکبخت شهبازی (۱۳۹۷)، یعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۵)، و حیدری تاشه‌کبود و خوشخو، (۱۳۹۸) نیز همخوانی داشته که افزایش تبخیر - تعرق را در آینده به‌ویژه در آینده دور در تحقیقات خود نشان داده‌اند.

جدول ۵. متوسط تبخیر - تعرق مرجع در دوره پایه و سناریوهای SSP در آینده

دوره	سناریو	روش هارگرویز سامانی (mm/day)	درصد تغییرات نسبت به دوره پایه
آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸)	SSP1-2.6	۴/۷۱	۵/۱۴
	SSP2-4.5	۴/۶۹	۴/۷۵
	SSP3-7.0	۴/۷۴	۵/۸۸
	SSP5-8.5	۴/۸۲	۷/۷۲
آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴)	SSP1-2.6	۴/۷	۵/۰۸
	SSP2-4.5	۴/۷۵	۶/۲۱
	SSP3-7.0	۴/۸۹	۹/۲۲
	SSP5-8.5	۴/۹۴	۱۰/۴۸
آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۵)	SSP1-2.6	۴/۷۲	۵/۴۵
	SSP2-4.5	۴/۸۱	۷/۴
	SSP3-7.0	۵/۰۴	۱۲/۶۸
	SSP5-8.5	۵/۰۳	۱۲/۳۳

نتیجه‌گیری

طبق گزارش AR6، پیش‌بینی شده است که متوسط دمای جهانی تا سال ۲۱۰۰ میلادی نسبت به سال ۱۹۹۰ به میزان ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. این افزایش دما باعث تغییرات گسترده‌ای در سطح زمین می‌شود. به گونه‌ای که تغییرات منابع آب در شرایط گرمایش جهانی و افزایش دما به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد، نیاز آب آبیاری را تا حدود ۳۰ درصد افزایش می‌دهد. لذا شناخت اثرات تغییر اقلیم بر چرخه هیدرولوژیکی هر منطقه‌ای ضرورت بسیاری دارد. در این پژوهش طبق جدیدترین گزارش تغییر اقلیم (AR6)، در سه دوره آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور، تبخیر - تعرق مرجع طبق مهمترین سناریوهای SSP در ایستگاه خرم‌آباد پیش‌بینی گردید. میزان تبخیر - تعرق مرجع طبق روش هارگرویز افزایش چشم‌گیری را نسبت به دوره پایه خود نشان می‌دهد. تقریباً طبق سناریوی SSP5-



8.5 بیشترین تغییرات افزایشی و طبق سناریوی SSP1-2.6 کمترین تغییرات افزایشی متوسط تغییرات سالانه تبخیر - تعرق مرجع در آینده نسبت به دوره پایه رخ خواهد داد. میزان افزایش تبخیر - تعرق مرجع به طور متوسط در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۳-۲۰۴۸) نسبت به دوره پایه به ترتیب ۵/۱۴ و ۷/۷۲ درصد، آینده میانی (۲۰۴۹-۲۰۷۴) ۵/۰۸ و ۱۰/۴۸ درصد و آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) ۵/۴۵ و ۱۲/۶۸ درصد افزایش خواهد داشت. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت پیامدهای تغییر اقلیم، به ویژه از نظر دما، قابل مشاهده است، به صورتی که مطابق بررسی تغییرات فصلی تبخیر - تعرق مرجع نتایج تمام سناریوهای SSP بیانگر افزایش این پارامتر در فصول سرد سال می باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن دما در افزایش میزان تبخیر - تعرق باید به دنبال راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و اصلاح روش های بهره برداری آب، به ویژه در بخش کشاورزی بود. با توجه به اینکه بخش کشاورزی از نظر توزیع زمانی آب در آینده دچار تغییر خواهد شد، باید در جهت سازگاری با شرایط جدید که در ترکیب کشت منطقه تغییراتی ایجاد نمود.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- ارفع، عاطفه؛ خاشعی سیوکی، عباس و حمیدیان پور، محسن (۱۳۹۹). تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق در شرایط گرم و مرطوب (مطالعه موردی: جنوب و جنوب شرق ایران)، نشریه سامانه های سطوح آبگیر باران، ۸ (۴): ۵۰۰-۳۷.
- انصاری مهابادی، ثمین؛ دهبان، حسین؛ زارعیان، محمد جواد و فرخ نیا، اشکان (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات دما و بارش حوضه های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده بر اساس برونداد مدل های CMIP6. مجله پژوهش آب ایران، ۱۶ (۱): ۱۱-۲۴.
- اخوان، سمیرا؛ قبائی سوق، محمد و مساعدی، ابوالفضل (۱۳۹۴). بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات عمده دشت همدان - بهار با استفاده از نتایج مدل ریزمقیاس LARS-WG. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۲ (۴): ۴۶-۲۵.
- احمدی باصری، نوشین؛ شیروانی، امین و ناظم السادات، سید محمد جعفر (۱۳۹۴). کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در خرد مقیاس نمودن برون دادهای مدل GCM برای پیش بینی بارش در پهنه جنوبی ایران. مجله آب و خاک، ۲۸ (۵): ۱۰۳۷-۱۰۴۷.
- باب الحکمی، علی؛ غلامی سفیدکوهی، محمد علی و عمادی، علیرضا (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع در استان مازندران. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۲): ۳۸۷-۴۰۱.
- حیدری تاشه کیود، شادیه و خوشخو، یونس (۱۳۹۸). تصویرسازی و پیش بینی تغییرات آبی تبخیر - تعرق مرجع در مقیاس های فصلی و سالانه در غرب ایران بر اساس سناریوهای انتشار RCP، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۵۳ (۱۹): ۱۵۷-۱۷۶.
- خیری، راضیه؛ مجرد، فیروز؛ فرهادی، بهمن؛ معصوم پور سماکوش، جعفر (۱۴۰۱). بررسی تغییرات تبخیر - تعرق گندم آبی پاییزه در ایران تحت شرایط تغییر اقلیم، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، ۲۰ (۱): ۲۴۸-۲۱۵.
- رضائی اعتدالی، هادی؛ خدابخشی، فریبا، کنعانی، الهه (۱۴۰۱). چشم انداز اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی بر اساس گزارش پنجم IPCC (مطالعه موردی شهر ایلام. حفاظت منابع آب و خاک، ۱۲ (۱): ۸۷-۱۰۷.
- شرافتی، احمد و خزائی، محمدرضا (۱۳۹۶). بررسی رفتار تصادفی الگوی بارش توسط مدل RDP در حوضه آبریز رودخانه سیمره، نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹ (۱): ۱-۱۴.
- علیزاده، امین (۱۳۹۱). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ سی و پنجم، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی.
- علی زاده جبه دار، میلاد؛ اسدی، اسماعیل و قربانی، محمد علی (۱۴۰۰). پیش بینی تغییرات بلندمدت دما و بارش آینده شهرستان اردبیل بر اساس خروجی مدل CMIP6، دومین کنفرانس بین المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست.
- فاضلی خیابوی، عبدالرحیم؛ برومند صالحی و مسعود گودرزی (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر - تعرق پتانسیل در دشت مغان با سناریوهای RCPs، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲ (۴): ۹۱۷-۹۹۳.
- گودرزی، مسعود؛ صلاحی، برومند و حسینی، سید اسعد (۱۳۹۷). برآورد میزان تبخیر - تعرق در ارتباط با تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۲ (۴۱): ۱-۱۲.
- مهرآذر، آیدا؛ مساح بوانی، علیرضا؛ مشعل، محمود و رحیمی خوب، حدیثه (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد با تاکید بر عدم قطعیت مدل های AOGCM گزارش ارزیابی پنجم IPCC، نشریه علوم و مهندسی آبیاری، ۴۱ (۳): ۴۵-۵۹.
- میرحسینی، سید محمدرضا؛ قاسمیه، هدی و عبداللهی، خدایار (۱۴۰۰). پیش بینی میزان تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه تحت سناریوهای RCP در دوره های آبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گلپایگان)، نشریه اکوهیدرولوژی، ۱ (۱): ۲۰۵-۲۲۰.

- نیکبخت شهبازی، علی‌رضا (۱۳۹۷). محصولات کشاورزی بررسی میزان تغییرات بارش و تبخیر - تعرق محصولات کشاورزی در استان خوزستان تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۵(۶): ۱۲۳-۱۳۹.
- هادی، فریبا؛ خاشعی سیوکی، عباس؛ شهیدی، علی؛ و فرزانه، محمدرضا (۱۳۹۵). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق گیاه مرجع در اقلیم‌های مختلف، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۲): ۲۳۰-۲۴۰.
- یعقوب‌زاده، مصطفی؛ احمدی، محسن؛ برومندنسب، سعید و حقایقی مقدم، سید ابوالقاسم (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر- تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل‌های AOGCM، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۴): ۵۱۱-۵۲۳.

REFERENCES

- Ahmadibaseri, N., Shirvani, A., & Nazemosadat, M. J. (2015). The Application of ANN for Downscaling GCMs Outputs for Prediction of Precipitation in Across Southern Iran. *Water and Soil*, 28(5), 1037-1047. (In Persian)
- Akhavan, S., Ghobaei Sugh, M., & Mosaedi, A. (2016). Investigation of the effect of climate change on net irrigation requirement of main crops of Hamadan-Bahar plain using LARS-WG downscaling model. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(4), 25-46. (In Persian)
- Ali N M S, Güven A. & Al-Juboori A M. (2018). Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature Using Gene Expression Programming. *Journal of Advanced Physics*, 7, 518-521.
- Alizadeh, Amin (2012). Principles of applied hydrology, 35th edition, Mashhad, Astan Quds Razavi Publications. (In Persian)
- Alizadeh Jabehdar, A., Asadi, E. & Ghorbani, M A. (2021). Selection of the most appropriate GCM models of IPCC fourth, fifth and sixth assessment reports (Case Study: Ardabil synoptic station). Second International Conference and Fifth National Conference on Natural Resources and Environment. (In Persian)
- Almazroui, M., Saeed, F., Saeed, S., Islam, MN., Ismail, M., Klutse, NAB. & Siddiqui, MH. (2020). Projected change in temperature and precipitation over Africa from CMIP6. *Earth Systems and Environment*, 4, 455- 475.
- 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. (In Persian)
- Arfa, A., Khashei siuki, A. & hamidianpoor, M. (2021). The effect of climate change on evapotranspiration in warm and humid conditions (Case study: South and Southeast of Iran). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 8, 37-50. (In Persian)
- Aryal, A., Shrestha, S. & Babel, MS. (2019). Quantifying the sources of uncertainty in an ensemble of hydrological climate-impact projections. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 193-209.
- Babolhekami, A., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Emadi, A. (2020). The Impact of Climate Change on Reference Evapotranspiration in Mazandaran Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(2), 387-401. (In Persian)
- Bhattacharya, B. & Solomatine, D. P. (2006). Machine learning in sedimentation modelling. *Neural Networks*, 19, 208-214.
- Chen, C., Kalra A. & Ahmad, S. (2019). Hydrologic responses to climate change using downscaled GCM data on awatershed scale. *Journal of Water and Climate Change*, 10, 63-77.
- Dibike, BY. Coulibaly, P. (2006). Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes. *Journal of the International Neural Network Society*, 19, 135-144.
- Dinpashoh, Y. (2006). Study of Reference Crop Evapotranspiration in I.R. of Iran. *Agricultural Water Management*, 84, 123-129.
- Fazeli khiavi, A., Salahi, B., Goodarzi, M. (2020). Assessment effects of climate change on changes in potential evapotranspiration in the Moghan Plain by RCPs. *Watershed Engineering and Management*, 12, 977-993. (In Persian)
- Ghorbani, M A., Deo, R C., Karimi, V., Yaseen, Z M. & Terzi, O. (2018). Implementation of a hybrid MLP-FFA model for water level prediction of Lake Egirdir, Turkey. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 1683-1697.
- Goudarzi, M., Salahi, B. & Hosseini, S A. (2018). Estimation of Evapotranspiration Rate Due to Climate Change in the Urmia Lake Basin. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 12, 1-12. (In Persian)
- Granger, R J. (1999). Satellite-derived estimation of evapotranspiration in Geddis basin. *Journal of Hydrology*, 229, 70-76.



- García-García, A., Cuesta-Valero, F J., Beltrami, H. & Smerdon, J E. (2019). Characterization of air and ground temperature relationships within the CMIP5 historical and future climate simulations: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 3903-3929.
- Goyal, R K. (2004). Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management*, 69, 1-11.
- Guo, B., Zhang, J., Gong, H. & Cheng, X. (2014). Future climate change impacts on the ecohydrology of Guishui River Basin China, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 14, 55-67.
- Hadi, F., Khashei Siuki, A., Shahidi, A. & Farzaneh, M R. (2016). Examination the Effect of Climate Change on Potential Evapotranspiration in Different Climates. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 10, 230-240. (In Persian)
- Hargreaves, G H. & Samani, Z. (1985). Reference crop evapotranspiration from ambient air tempraturer. *Meeting American Society of Agricultural Engineers*, Chicago, 12p.
- Haykin, S. (1996). Neural networks expand SP's horizons. *IEEE Signal Processing Magazine*, 13, 24-49.
- Heydari Tasheh Kaboud, S. & Khoshkhou, Y. (2019). Projection and prediction of the annual and seasonal future reference evapotranspiration time scales in the West of Iran under RCP emission scenarios. *Journal title 2019*; 19 (53) :157-176. (In Persian)
- Kim, J H., Sung, J H., Chung, E S., Kim, S U., Son, M. & Shiru, M S. (2021). Comparison of projection in meteorological and hydrological droughts in the Cheongmicheon Watershed for RCP4. 5 and SSP2-4.5. *Sustainability*, 13, 2066.
- Kheyri, R., Mojarrad, F., Farhadi, B., & Masompour Samakoosh, J. (2022). Investigation of Evapotranspiration Changes of Autumn Irrigated Wheat in Iran under Climate Change Conditions. *Journal of Geography and Regional Development*, 20(1), 248-215. (In Persian)
- Konapala, G., Mishra, A K., Wada, Y. & Mann, M. E. (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature communications*, 11, 1-10.
- Mehrazar, A., Massah Bavani, A., Mashal, M., & Rahimikhoob, H. (2018). Assessment of Climate Change Impacts on Agriculture of the Hashtgerd Plain with Emphasis of AR5 Models Uncertainty. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41, 45-59. (In Persian)
- Mirhosseiny, S M R., Ghasemieh, H. & Abdollahi, K. (2021). Prediction of Monthly Potential Evapotranspiration under RCP Scenarios in Future Periods (Case Study: Golpayegan Basin), *Iranian journal of Ecohydrology*, 8, pp. 205-220. (In Persian)
- Nikbkht Shahbazi, A. (2019). Investigation of Crop Evapotranspiration and Precipitation changes under Climate Change RCPs Scenarios in Khouzeestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(6), 123-139. (In Persian)
- Nourani, V., Rouzegari, N., Molajou, A. & Baghanam, A H. (2020). An integrated simulation-optimization framework to optimize the reservoir operation adapted to climate change scenarios. *Journal of Hydrology*. 587, 125018.
- O'Neill, B C., Kriegler, E., Ebi, K L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D S. & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180.
- Quinlan, J R. (1992). Learning with continuous classes. In 5th Australian joint conference on artificial intelligence, Vol. 92, 343-348.
- Rahman, M A., Yunsheng, L., Sultana, N. & Ongoma, V. (2018). Analysis of reference evapotranspiration (ET0) trends under climate change in Bangladesh using observed and CMIP5 data sets. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 1-17.
- Ramezani Etedali H, Khodabakhshi F, Kanani E. (2022). Outlook for the effects of climate change on drought according to the fifth IPCC report (case study: Ilam). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 12, 87-107. (In Persian)
- Sabziparvar, A.A. & Tabari, H. (2010). Regional estimation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.
- Sharafti, A., & Khazaei, M. R. (2017). Exploration of Randomness Characteristic of Rainfall Pattern Using RDP Model in Symareh Catchment. *Journal of Environmental Science and Technology*, 19(1), 1-14. (In Persian)
- Yaghoubzadeh, M., Ahmadee, M., Boroomad Nasab, S., & Haghayghi Moghaddam, A. (2016). Impact of Climate Change on Changing Trend of Evapotranspiration during the Growth Period of Irrigated and Rainfed Field Crops by AOGCM Models. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(4), 511-523. (In Persian)

Investigating the effects of climate change on reference evapotranspiration based on the SSP scenarios

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Studies show that climate change can pose a threat to food security, the environment, and economic activities. It can also alter temperature and precipitation patterns in different regions, thereby affecting the hydrological cycle. Evapotranspiration is also an important part of the hydrological cycle, which holds significant importance in water resource management and agricultural planning. Therefore, studying the impact of climate change on the important parameter of reference Evapotranspiration (ET_o) plays a crucial role in improving water consumption management on farms and agricultural planning.

Materials and Methods

In this study, climate data from Khorramabad station for the time range of 1988-2014 was used. Among the GCM models, the MRI-ESM2 from the Japan Meteorological Research Institute was selected as the top model due to its high resolution matching with the synoptic stations in Khorramabad. Using the climate data from this model and the SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, and SSP5-8.5 scenarios under the sixth IPCC report (CMIP6), they were downscaled for the period of 2100-2023 for Khorramabad station. For this purpose, the most effective predictors for temperature and precipitation parameters were first identified using the Weka software, and then, using the neural network model, the monthly average values of 44 years of temperature and precipitation parameters (1970-2014) were separately used for downscaling in the observational station scale (Khorramabad station). It is worth mentioning that 75% of the observational data were used for model training and 25% of the data were used for model testing. Then, using the observational climate data and downscaled minimum and maximum temperature data, reference evaporation and transpiration were calculated for the base period and future period using the Hargreaves-Samani method.

Results

In this study, three time periods were examined: near future (2023-2048), middle (2049-2074), and far (2075-2100). For this purpose, the reference evapotranspiration was calculated for the base period and future periods using the Hargreaves method. The results showed that on average, the maximum temperature in Khorramabad station will increase by 0.26 to 6.3 degrees Celsius and the minimum temperature will increase by 0.32 to 4.9 degrees Celsius compared to the base period (1988-2014) by the year 2100. Also, the average amount of reference evapotranspiration will increase in all periods compared to the observational base period. The amount of reference evapotranspiration in the near future will vary between 4.69 to 4.82 millimeters per day, in the middle future between 4.7 to 4.94 millimeters per day, and in the far future between 4.72 to 5.04 millimeters per day, with the SSP1-2.6 scenario predicting the lowest amount and the SSP5-8.5 scenario predicting the highest amount of reference Evapotranspiration in different time periods.

Conclusion

Based on the results, it can be said that the consequences of climate change, especially in terms of temperature, are observable. According to the seasonal changes in reference evapotranspiration, the results of all SSP scenarios indicate an increase in this parameter during the cold seasons. Therefore, considering the temperature in the increase of evaporation and transpiration, we need to look for solutions for better water resource management and improve water utilization methods, especially in the agricultural sector.

Keywords: Khorramabad Station, Climate Change, Reference Evapotranspiration, Sixth Report, Hargreaves.