



Estimating changes in the amount of water harvesting from air humidity and evapotranspiration due to climate change (CMIP6)

Hadi Ramezani Etedali^{1*} | Zahra Partovi² | Sakine Koohi³

1. Corresponding Author, Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University Qazvin, Iran. Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir
2. PhD Student of irrigation and drainage, Imam Khomeini International University Qazvin, Iran. Email: zahrapartovi95@gmail.com
3. PhD Student of water resources management, Imam Khomeini International University Qazvin, Iran. Email: sakine.koohi3731@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received September 24, 2023
Revised October 24, 2023
Accepted November 23, 2023
Published online 14 February 2024

Keywords:

Evapotranspiration,
Temperature,
CNRM,
ESM.

ABSTRACT

This research aims to investigate the impact of climate change based on the sixth report (CMIP) under two scenarios SSP3_7.0 and SSP5_8.5 on forecasting temperature, wind speed, evaporation-transpiration (ET), and the amount of extractable water (Q) by two CNRM models and ESM was at 16 meteorological stations during the future period of 2025-2044 and 2045-2064. The statistical analysis results showed that the impact of climate change under two scenarios on temperature, ET and Q was significant. CNRM model performed better than ESM in temperature estimation (CC=0.96-0.98). From examining the results of the CNRM model, the maximum and minimum RMSE of temperature in Khormadreh and Zanzan stations were 8.30 and -0.5°C, respectively; Also, the RMSE value of wind speed fluctuated between 0.82-0.5 m.s⁻¹. The examination of ESM model showed the fluctuation of RMSE between 2.55-8.45°C in temperature parameter and 0.62-0.68 meters per second in wind speed. The maximum and minimum values of Q and ET in the seasonal survey occurred in summer and winter, respectively. Both models had poor performance in predicting wind speed. The maximum ET under the SSP5_8.5 scenario by the CNRM model (first period) at Khorramdare station is equal to 104.29 mm.month⁻¹ and the minimum value by the ESM model (first period) under the SSP3_7.0 scenario at Firuzkoh station is equal to 25.60 mm.month⁻¹ was estimated. The maximum Q under the SSP3_7.0 scenario by the ESM model (first period) at Malair station is equal to 20.70 Lit.day.m⁻² and the minimum value by the CNRM model (second period) under the SSP3_7.0 scenario at the Astar station is equal to 0.3 Lit.day.m⁻² were estimated.

Cite this article: Ramezani Etedali, H.; Partovi, Z. & Koohi, S. (2024). Estimating changes in the amount of water harvesting from air humidity and evapotranspiration due to climate change (CMIP6). *ECO HYDROLOGY*. 10 (4), 555-573. Doi: doi.org/10.22059/ije.2024.367096.1768





انتشارات دانشگاه تهران

بر آورد تغییرات مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا و تبخیر- تعرق مرجع ناشی از تغییرات اقلیمی

هادی رضانی اعتدالی^{۱*} | زهرا پرتوی^۲ | سکینه کوهی^۳

۱. نویسنده مسؤل، دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ع)، قزوین. رایانامه: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ع)، قزوین. رایانامه: zahrapartovi95@gmail.com

۳. دانشجوی دکتری مدیریت منابع آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ع)، قزوین. رایانامه: sakine.koohi3731@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر اساس گزارش ششم (CMIP) تحت دو سناریوی SSP3_7.0 و SSP5_8.5 بر پیش‌بینی دما، سرعت باد، تبخیر- تعرق (ET) و مقدار آب قابل استحصال (Q) توسط دو مدل CNRM و ESM در ۱۶ ایستگاه هواشناسی طی دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۴ و ۲۰۴۵-۲۰۶۴ است. نتایج بررسی آماری بیانگر معنادار بودن تأثیر تغییر اقلیم تحت دو سناریو بر دما، ET و Q بود. مدل CNRM نسبت به ESM در برآورد دما عملکرد بهتری داشت (CC=۰/۹۶ -۰/۹۸). از بررسی نتایج مدل CNRM حداکثر و حداقل RMSE دما در ایستگاه خرمدره و زنجان به ترتیب برابر با ۸/۳۰ و ۰/۵- درجه سانتی‌گراد بود؛ همچنین مقدار RMSE سرعت باد بین ۰/۸۲- و ۵/۲۰ متر بر ثانیه نوسان داشت. بررسی مدل ESM بیانگر نوسان RMSE بین ۲/۵۵- و ۸/۴۵ درجه سانتی‌گراد در پارامتر دما و ۴/۶۸- و ۰/۶۲ متر بر ثانیه در سرعت باد بود. حداکثر و حداقل Q و ET در بررسی فصلی به ترتیب در فصل تابستان و زمستان رخ داد. هر دو مدل در پیش‌بینی سرعت باد از عملکرد ضعیفی برخوردار بودند. حداکثر ET تحت سناریوی SSP5_8.5 توسط مدل CNRM (دوره اول) در ایستگاه خرمدره برابر با ۱۰۴/۲۹ میلی‌متر در ماه و حداقل مقدار توسط مدل ESM (دوره اول) تحت سناریوی SSP3_7.0 در ایستگاه فیروزکوه برابر با ۲۵/۶۰ میلی‌متر در ماه برآورد شد. حداکثر Q تحت سناریوی SSP3_7.0 توسط مدل ESM (دوره اول) در ایستگاه ملایر برابر با ۲۰/۷۰ لیتر در روز در مترمربع و حداقل مقدار توسط مدل CNRM (دوره دوم) تحت سناریوی SSP3_7.0 در ایستگاه آستارا برابر با ۰/۳ لیتر در روز در مترمربع برآورد شد.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

کلیدواژه:

تبخیر- تعرق،

دما،

CNRM

ESM

استناد: رضانی اعتدالی، هادی، پرتوی، زهرا و کوهی، سکینه (۱۴۰۲). برآورد تغییرات مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا و تبخیر- تعرق مرجع ناشی از تغییرات اقلیمی.

اکوهیدرولوژی، ۱۰ (۴) ۵۵۵-۵۷۳

DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2024.367096.1768>

© هادی رضانی اعتدالی، زهرا پرتوی، سکینه کوهی. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2024.367096.1768>



۱. مقدمه

تغییر اقلیم و تأثیر آن بر جنبه‌های مختلف زندگی بشر یکی از مسائل و مشکلات مهم موجود در عصر حاضر محسوب می‌شود. براساس گزارش‌های ارائه‌شده در صورت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای دمای هوا در سطح جهان حدود ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت [۱]. عدم دسترسی به آب کافی و تأثیرات جانبی آن بر کشاورزی و ناپایداری زیست افراد جامعه از جمله بخش‌هایی است که به شدت تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار دارد. با توجه به دسترسی محدود افراد در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، تأثیر تغییر اقلیم در این مناطق شدیدتر است.

درک آب‌وهوای آینده ما تحت گرمایش جهانی فعلی، واکنش ما را به اثرات ناشی از آن بهبود می‌بخشد. مدل‌های آب‌وهوای جهانی به طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی آب‌وهوا در گذشته، حال و آینده به کار گرفته شده‌اند. آن‌ها براساس قوانین اساسی فیزیک، دینامیک سیالات، شیمی و غیره ایجاد شده‌اند [۲]. جدیدترین سناریوهای ارائه‌شده برای بررسی تغییرات اقلیمی، سناریوهای گزارش ششم (AR6) هستند. در این سناریوها چگونگی تغییر اقلیم در دوره‌های آتی براساس ترکیب سناریوهای انتشار (RCPs) و سناریوهای اقتصادی- اجتماعی (SSPs) بررسی شده است. براساس این گزارش، سناریوهای آینده علاوه بر توصیف اقلیم‌های متفاوت، باید جنبه‌های پیشرفت اقتصادی و اجتماعی را نیز شامل شوند [۳]. با توجه به اهمیت پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی به منظور اتخاذ شیوه مدیریت و تصمیم‌گیری صحیح، پژوهش‌های متعددی در براساس سناریوهای CMIP6 در سطح جهان انجام شده است. ژانگ و همکاران به ارزیابی توانایی مدل تحت CMIP6 به منظور بازتولید دما در سین کیانگ پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر میانگین بایاس دمای منطقه‌ای ۰/۱ درجه سانتی‌گراد برای میانگین سالانه، ۱/۶- درجه سانتی‌گراد در بهار، ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در تابستان، ۰/۲- درجه سانتی‌گراد در پاییز و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد در زمستان بود [۲]. عبدالعلی‌زاده و همکاران به بررسی دقت دما و بارش شبیه‌سازی شده براساس CMIP6 توسط مدل‌های مختلف در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. شاخص‌های RMSE و NRMSE بیانگر دقت زیاد مدل‌ها در شبیه‌سازی دمای ماهانه و دقت کم در شبیه‌سازی بارش حوضه بود. از طرفی تبخیر و تعرق (ET) یک پارامتر مهم چرخه آب، کربن و انرژی محسوب می‌شود. مدل‌های آب‌وهوایی فعلی بیانگر افزایش دما (T) بوده از این رو انتظار می‌رود بر چرخه هیدرولوژیکی تأثیر گذاشته و ET با افزایش همراه باشد [۴]. ارفع و همکاران به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق در شرایط گرم و مرطوب با استفاده از ۴ مدل گردش عمومی جو تحت سه سناریوی A1B، B1 و A2 (IPCC4) پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر افزایش دما و تبخیر- تعرق در دوره آتی بود [۵]. هادی و همکاران به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق گیاه مرجع در پنج ایستگاه با اقلیم خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب و خیلی مرطوب پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده افزایش ۱۲ درصدی تبخیر- تعرق در فصل زمستان و کاهش ۳۵ درصدی تبخیر- تعرق در تابستان برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریوی A2 بود [۶].

در میان آثار تغییر اقلیم، از خشکسالی به عنوان یکی از نتایج اجتناب‌ناپذیر تغییرات آب‌وهوایی می‌توان نام برد، به طوری که با توجه به مطالعات مختلف، وقوع خشکسالی‌های بیشتر و شدیدتر در بسیاری از مناطق برای قرن ۲۱ مورد انتظار است [۷-۱۳]. از طرفی بالا بودن میزان سهم تبخیر- تعرق به دنبال افزایش دمای هوا و به دنبال آن، عدم دسترسی به آب کافی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله پیامدهای مهم خشکسالی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. از این رو، یافتن یک منبع آب جدید حائز اهمیت است. امروزه کاربرد روش‌های استحصال آب از هوا بیش از پیش گسترش یافته است. به طور کلی، استحصال آب از رطوبت هوا به هرگونه فعالیتی که به تراکم بخار آب موجود در هوا و جمع‌آوری آن منجر شود، گویند [۱۴]. با توجه به اهمیت تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کریم‌پور و همکاران پس از تهیه داده‌های هواشناسی از ابزار GIS به منظور وزن‌دهی لایه‌ها با استفاده از روش بولین استفاده کرده و نقشه تلفیقی نقاط مناسب برای استحصال آب از هوا را ایجاد کردند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر مناسب بودن ایستگاه بوشهر برای استحصال آب از هوا بود [۱۵]. محمودی و همکاران پس از تعیین ایستگاه چابهار به عنوان ایستگاه مناسب برای استحصال آب از هوا اقدام به اجرای یک جمع‌کننده با ابعاد $1 \times 1 \text{ m}^2$ کردند. حداکثر و حداقل مقدار آب برداشت‌شده توسط جمع‌کننده به ترتیب $8/6$ و $1/1$ لیتر در مترمربع در روز بود [۱۶]. همچنین

نتایج حاصل از پژوهش یوسفی و برومندنسب که اقدام به استحصال آب از هوا توسط سیستم چگالش به منظور تأمین آب شرب کردند نیز بیانگر ظرفیت تولید ۴ لیتر آب طی ۸ ساعت به ازای طول لوله ۲۵ متر بود [۱۷]. با توجه به توضیحات یادشده و اهمیت یافتن منابع آب جایگزین و بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر مقدار آب قابل استحصال، هدف اصلی پژوهش حاضر: بررسی کارایی دو مدل ES و CNRM بر بازتولید پارامترهای دما، سرعت باد، تبخیر- تعرق مرجع و مقدار آب قابل استحصالی تحت دو سناریوی مختلف از گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6)، پیش‌بینی پارامترهای نامبرده در دوره آتی با استفاده از دو مدل نامبرده و ارزیابی آماری نتایج در ایستگاه‌های مختلف است.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش ۱۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان‌های قزوین، زنجان، همدان، گیلان، مرکزی، تهران و البرز است که در محدوده طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر با توجه به دوره آماری موجود از مقادیر متوسط دمای هوا و سرعت باد طی بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ استفاده شده است. در این پژوهش ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در آستارا، انزلی، رشت، منجیل، قزوین، زنجان، خرمدره، خدابنده، همدان، ملایر، اراک، ساوه، کرج، تهران، اَبعلی و فیروزکوه مورد بررسی قرار گرفت.

۲.۱. داده‌های اقلیمی مورد استفاده

پروژه مقایسه مدل جفت‌شده (CMIP) که در سال ۱۹۹۵ آغاز شد، اکنون در مرحله ششم خود (CMIP6) قرار دارد [۱۲]. از جمله مزایای CMIP6 نسبت به CMIP5 می‌توان به افزایش تعداد لایه‌های عمودی که به شبیه‌سازی دقیق‌تر در استراتوسفر منجر می‌شود، اشاره کرد [۱۸]. مدل‌های گردش عمومی (GCM) مبتنی بر گزارش ششم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (CMIP6) شکل‌های بهبودیافته CMIP های قبلی از راه‌های مختلف از جمله وضوح جغرافیایی بهتر و مدل‌سازی بهبودیافته فرایندهای میکروفیزیکی ابری هستند. بنابراین، گروه GCM گزارش ششم نسبت به مجموعه‌های قبلی CMIP برای پیش‌بینی آب‌وهوا قابل اعتمادتر است [۱۹]. یکی از مشکلات در زمینه کاربرد GCMs، ابعاد سلولی این مدل‌ها است که می‌تواند سبب کاهش دقت پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های مکانی شود، بنابراین لازم است تا از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی برای مطالعه تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های کوچک‌تر بهره برد. این نکته قابل ذکر است که با توجه به متغیر انتخابی، مدل‌ها، مقیاس‌های مکانی و زمانی خاصی ارائه می‌شود. با توجه به محدودیت یادشده در این پژوهش از داده‌های متوسط دما، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا مربوط به ۲ مدل اقلیمی در توان تفکیک مکانی ۰/۴۴ درجه و در مقیاس زمانی روزانه استفاده شده است. اطلاعات مورد نیاز دو مدل ES و CNRM برای دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۰۵) و دو دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۴ (دوره اول) و ۲۰۴۴-۲۰۶۴ (دوره دوم) تحت دو سناریوی SSP3_7.0 (رقابت منطقه‌ای) و SSP5_8.5 (توسعه مبتنی بر سوخت فسیلی) از سایت‌های <https://esgf-data.isimip.org/search/node.lnl.gov/search/cmip6> دریافت شد.

۲.۲. محاسبه تبخیر- تعرق مرجع

با توجه به در اختیار داشتن اطلاعات دمای منطقه از مدل‌های اقلیمی و ایستگاه‌های هواشناسی در این پژوهش مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در هر ایستگاه با استفاده از روش تورنت- وایت محاسبه شد.

$$ET = 16N_m \left(\frac{10T_m}{I_m} \right)^a \quad (1)$$

$$I_m = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.514} \quad (2)$$

$$a = (675 \times 10^{-9} \times I_m^3) - (771 \times 10^{-7} \times I_m^2) + (179 \times 10^{-4} \times I_m) + 0.492 \quad (3)$$

که در آن ET مقدار تبخیر- تعرق مرجع برحسب میلی‌متر در ماه، N_m ضریب تصحیح است که بر اساس موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه تعیین می‌شود، T_m متوسط دمای ماهانه برحسب درجه سانتی‌گراد و a ضریب اصلاحی است.

۳.۲. محاسبه آب قابل استحصال از رطوبت هوا

در پژوهش حاضر مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شده است [۱۹]. همان‌طور که مشخص است، برای محاسبه پتانسیل آب موجود در هوا لازم است تا مقدار رطوبت مطلق محاسبه شود که با استفاده از رابطه ۲ انجام می‌پذیرد.

$$Q_{w-air} = AH \times U \times A \times t \times E \quad (4)$$

$$AH = P \left(\frac{216.98}{T} \right) \quad (5)$$

که در آن Q_{w-air} مقدار آب قابل استحصال بر حسب لیتر در روز بر مترمربع، AH رطوبت مطلق بر حسب گرم بر مترمکعب، U سرعت باد در ارتفاع دو متری بر حسب متر بر ثانیه، A واحد سطح بر حسب مترمربع، t زمان بر حسب ثانیه، E کارایی سیستم استحصال آب و مقدار درصد تبدیل آب موجود در هوا به آب، T دمای هوا بر حسب درجه کلوین و P فشار بخار در ایستگاه بر اساس میلی‌بار است.

از آنجا که تمام رطوبت موجود در هوا قابل استحصال نیست و میزان آب استحصالی به نوع، جنس و ساختار دستگاه مورد استفاده برای استحصال وابسته است، ضریبی با عنوان کارایی سیستم استحصال در معادله یادشده در نظر گرفته شده است. در این تحقیق براساس مطالعات گذشته مقدار ۲۰ درصد برای محاسبه مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا در نظر گرفته شده است [۱۷].

۴.۲. تعیین ابعاد شبکه توری مورد نیاز

ابتدا مقدار Q و ET تحت دو سناریوی $SSP3-7.0$ و $SSP5-8.5$ توسط دو مدل $CNRM$ و ESM برای دو دوره در هر ایستگاه برآورد شد. به منظور تعیین ابعاد مورد نیاز ابتدا مقدار حداکثر ET در هر ایستگاه تحت هر سناریو و مدل تعیین شده و سپس مقدار ET در یک هکتار با استفاده از رابطه ۳ تعیین شد.

$$W_f = ET_i \times 10 \quad (6)$$

که در آن W_f نیاز آبی در هر هکتار بر حسب مترمکعب، ET_i حداکثر نیاز آبی در هر ایستگاه و ۱۰ ضریب تبدیل واحد به منظور برآورد در سطح ۱ هکتار است.

با توجه به حداکثر مقدار Q قابل تأمین در هر ایستگاه تحت هر سناریو و مدل، ابعاد مورد نیاز شبکه توری با استفاده از رابطه ۴ برآورد شد.

$$L = \frac{W_f}{\left(\frac{Q}{1000} \right)} \quad (7)$$

L ابعاد مورد نیاز بر حسب مترمربع و Q برابر با حداکثر آب قابل استحصال از رطوبت هوا توسط شبکه توری در هر ایستگاه بر حسب لیتر بر مترمربع است.

۵.۲. شاخص‌های ارزیابی استفاده‌شده

همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، در پژوهش حاضر و به منظور توسعه مدل اقلیمی چندگانه، حداقل کردن شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^1$) به عنوان تابع هدف به منظور تعیین ضریب کارایی در برآورد آب قابل استحصال توسط مدل

CNRM و ESM در دوره پایه در نظر گرفته شد. همچنین، از شاخص‌های آماری همچون ضریب همبستگی (CC^1)، میانگین انحراف خطا (MBE^2)، بایاس نسبی ($RBIAS^3$)، میانگین ریشه مربعات خطای نرمال شده ($NRMSE^4$) و کارایی شبیه‌سازی (EF^5) برای ارزیابی عملکرد خروجی‌های اقلیمی استفاده شده است. معادلات مورد استفاده برای هر یک از شاخص‌های یادشده و مقدار بهینه آن‌ها در زیر ارائه شده است (روابط ۸-۱۳).

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (Gi - \bar{G})(Ri - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Gi - \bar{G})^2 \sum_{i=1}^N (Ri - \bar{R})^2}} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Gi - Ri)^2} \quad (9)$$

$$RBIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (Ri - Gi)}{\sum_{i=1}^N (Gi)} \quad (10)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (Ri - Gi)}{N} \quad (11)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{R}} \quad (12)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (Ri - \bar{R})^2 - \sum_{i=1}^N (Gi - Ri)^2}{\sum_{i=1}^N (Ri - \bar{R})^2} \quad (13)$$

که در آن، Gi : مقادیر داده‌های اقلیمی، Ri : مقادیر مشاهداتی، N : تعداد داده‌ها، \bar{G} : متوسط داده‌های اقلیمی، \bar{R} : متوسط مقادیر مشاهداتی است. مقدار بهینه در شاخص‌های CC ، $RMSE$ ، $RBIAS$ ، MBE ، $NRMSE$ و EF به ترتیب برابر با ۱، ۰، ۰، ۰، ۰ تا ۱۰ و ۱ است [۲۰-۲۳].

۳. نتایج و بحث

۳.۱. ارزیابی خروجی‌های اقلیمی در شبیه‌سازی دما و سرعت باد

ابتدا عملکرد دو مدل اقلیمی CNRM و ESM2 در تخمین متغیرهای اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل ۱ تا ۳ نمودار ماتریسی شاخص‌های آماری CC ، MBE ، $RMSE$ ، $RBIAS$ ، $NRMSE$ و EF ارائه شده است. مقدار ضریب CC در کاربرد مدل اقلیمی CNRM برای شبیه‌سازی دمای هوا بین ۰/۹۶ - ۰/۹۸ تغییر می‌کند؛ در حالی که حداقل و حداکثر مقدار این شاخص در کاربرد مدل اقلیمی ESM2 برابر با ۰/۹۵ و ۰/۹۷ است. بنابراین هر دو مدل در شبیه‌سازی دمای هوا در ایستگاه‌های مورد بررسی از عملکرد قابل قبولی برخوردار هستند. در خصوص پارامتر سرعت باد در ارتفاع ۲ متری هر دو مدل عملکرد ضعیف‌تری ارائه کردند. مقدار سرعت باد در مدل CNRM در دو جهت ارائه شده و مقدار نهایی از برآورد برآیند حاصل شد. مقدار ضریب همبستگی بین مقدار سرعت باد با سرعت باد ارائه‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی در مدل CNRM بین ۰/۵۴ تا ۰/۲۲- نوسان داشته است. مدل ESM2 نسبت به مدل CNRM در خصوص مقدار همبستگی سرعت باد عملکرد ضعیف‌تری داشت. با توجه به ناچیز بودن مقدار CC می‌توان دریافت مدل ESM2 در پیش‌بینی سرعت باد در ایستگاه‌های مورد بررسی در این پژوهش کارآمد نیست. شاخص آماری MBE بیانگر میزان انحراف در داده‌ها است. در پارامتر دمای هوا مقدار MBE در مدل اقلیمی CNRM بین ۷/۶۱ تا ۷/۸۹- نوسان داشته است. مقدار MBE در ایستگاه‌های اراک، فیروزکوه، کرج و قزوین میزان

1. Correlation Coefficient
2. Mean Bias Error
3. Relative Bias
4. Normalized Root Mean Square Error
5. Modeling efficiency

اریبی داده‌ها از مقادیر مشاهداتی در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۰/۲۶ - ۰/۷۱ است. محدوده نوسان مقدار MBE برآوردشده دمای هوا در مدل ESM2 نسبت به مدل CNRM کاهش یافته است. به طور کلی، میزان انحراف در داده‌های پیش‌بینی شده توسط هر دو مدل اقلیمی نسبت به داده‌های حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی در سرعت باد کمتر از دمای هوا بود. در مدل CNRM و ESM2 مقدار MBE به ترتیب بین ۱/۴۸-۴/۲۰ و ۳/۶۹-۱/۴۸- نوسان داشت. در مدل CNRM میزان اربیبی داده‌ها از مقادیر مشاهداتی به جز ایستگاه‌های فیروزکوه، خدابنده، ملایر و منجیل در سایر ایستگاه‌ها کمتر از ± 1 و نزدیک به ۰ بود. در مدل ESM2 نیز به جز ایستگاه‌های اراک، آستارا، منجیل، قزوین و رشت، مقدار MBE در سایر ایستگاه‌ها مقدار قابل قبولی داشت.

Index	CC				MBE			
	Temperature		Wind speed		Temperature		Wind speed	
	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2
Abali	0.97	0.95	-0.17	0.09	-2.81	-2.87	0.44	-0.94
Arak	0.98	0.96	0.02	-0.05	-0.26	-0.39	-0.87	-1.48
Astara	0.97	0.95	0.05	0.03	1.65	-0.37	-0.88	-1.46
Bandar-E-Anzali	0.96	0.95	0.23	0.11	-1.12	-1.01	-0.45	-0.11
Firuzkuh	0.97	0.95	-0.12	0.15	0.26	-1.83	-1.48	-0.46
Hamedan (Airport)	0.98	0.96	0.18	-0.02	1.27	0.33	-0.30	-0.97
Karaj	0.98	0.96	0.46	-0.05	0.71	0.78	0.58	-0.80
Khodabandeh	0.97	0.96	0.22	-0.01	1.22	0.63	1.25	0.59
Khorramdareh	0.96	0.95	0.46	0.00	-7.89	-7.88	0.18	-0.59
Malayer	0.98	0.97	-0.06	0.00	1.58	0.78	1.29	0.11
Manjil	0.96	0.95	-0.22	0.04	7.61	5.35	4.20	3.69
Qazvin	0.97	0.96	0.08	-0.02	0.36	0.64	-0.78	-1.24
Rasht	0.97	0.95	0.54	0.03	-3.81	-3.71	-0.78	-1.02
Saveh	0.98	0.96	0.08	-0.05	5.40	3.46	0.30	-0.91
Tehran (Mehrabad Airport)	0.98	0.96	0.20	-0.03	4.60	4.49	0.98	-0.64
Zanjan	0.97	0.96	-0.02	-0.02	1.49	1.66	0.34	-0.13

شکل ۱. نمودار ماتریسی شاخص‌های CC و MBE در شبیه‌سازی متغیرهای جوی دمای هوا و سرعت باد

شاخص آماری RMSE بیانگر مقدار خطای موجود بوده و حداقل بودن این شاخص در ارزیابی آماری امری مطلوب محسوب می‌شود. حداکثر مقدار RMSE ۸/۳۰ و ۸/۲۳ در ایستگاه‌های خرمدره و منجیل بوده است. حداقل مقدار RMSE در ایستگاه زنجان برابر با ۰/۵- بود. در مدل ESM2 نیز حداکثر مقدار RMSE در دو ایستگاه خرمدره و منجیل رخ داد. حداقل مقدار RMSE در ایستگاه قزوین برابر با ۲/۵۵ در ایستگاه قزوین بود. براساس شاخص RMSE مدل CNRM نسبت به مدل ESM2 در پیش‌بینی دما عملکرد بهتری داشته است. مقدار RMSE پارامتر سرعت باد در مدل CNRM بین ۰/۸۱ - ۱/۸۴ نوسان داشته و در مدل ESM2 بازه تغییرات ۰/۶۷ - ۱/۶۶ است. اگرچه ایستگاه منجیل نسبت به سایر ایستگاه‌ها بادخیزتر بوده اما مقدار RMSE در هر دو مدل بیشتر از سایر ایستگاه‌ها بود. پارامتر RBIAS بیانگر مقدار بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مدل اقلیمی نسبت به ایستگاه هواشناسی در پارامتر مورد بررسی است. در پارامتر دما مدل CNRM ایستگاه خرمدره دارای حداکثر بیش‌برآورد (۰/۶۳) و ایستگاه منجیل حداکثر مقدار کم‌برآورد (-۰/۳۷) بود. مقدار RBIAS در پارامتر دمای مدل ESM2 بین ۰/۳۸- تا ۰/۶۳ تغییر یافته است. در ایستگاه‌های اراک، آستارا، انزلی، همدان، کرج، خدابنده، ملایر و قزوین مقدار قدرمطلق RBIAS کمتر از ۰/۱ بود. از این رو در پیش‌بینی پارامتر دما از منظر شاخص RBIAS مدل ESM2 نسبت به مدل CNRM عملکرد بهتری داشت. RBIAS سرعت باد پیش‌بینی شده توسط مدل CNRM بین ۰/۶۳- تا ۰/۹۸ و در مدل ESM2 بین ۰/۵۳- تا ۱/۳۳ تغییر یافته است.

index variable	RMSE				RBIAS			
	Temperature		Wind speed		Temperature		Wind speed	
	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2
MODEL								
Abali	3.76	4.10	1.03	1.29	0.30	0.31	-0.22	0.47
Arak	2.13	2.63	1.15	1.66	0.03	0.03	0.64	1.08
Astara	3.10	3.00	0.98	1.53	-0.11	0.02	0.80	1.33
Bandar-E-Anzali	3.13	3.41	0.90	0.67	0.07	0.06	0.21	0.05
Firuzkuh	2.37	3.08	1.84	1.07	0.20	0.18	0.98	0.45
Hamedan (Airport)	2.43	2.67	0.82	1.30	-0.11	-0.03	0.17	0.57
Karaj	2.22	2.80	0.81	1.15	-0.04	-0.05	-0.25	0.34
Khodabandeh	2.39	4.10	1.58	1.25	0.14	-0.09	-0.13	0.07
Khorrmandareh	8.30	8.40	0.83	1.25	0.63	0.63	-0.06	0.21
Malayer	2.61	2.97	1.52	0.74	-0.06	-0.07	-0.46	0.02
Manjil	8.23	8.45	5.29	4.68	-0.37	-0.38	-0.63	-0.53
Qazvin	2.18	2.55	0.95	1.36	-0.03	-0.05	0.54	0.86
Rasht	4.67	4.86	0.99	1.14	0.24	0.23	0.76	1.00
Saveh	5.78	6.04	1.35	1.66	-0.20	-0.20	-0.02	0.52
Tehran (Mehrabad Airport)	5.04	5.20	1.25	1.13	-0.26	-0.25	-0.40	0.26
Zanjan	-0.50	3.02	0.93	0.79	-0.14	-0.15	-0.13	0.05

شکل ۲. نمودار ماتریسی شاخص‌های RMSE و RBIAS در شبیه‌سازی متغیرهای جوی دمای هوا و سرعت باد

شاخص NRMSE بیانگر سطح تخمین صورت گرفته است. با توجه به سطح‌بندی ارائه‌شده توسط Jamieson و همکاران هر دو مدل در شبیه‌سازی دما عملکرد عالی داشته و از سطح تخمین خوبی برخوردار بوده‌اند [۲۴]. حداکثر مقدار NRMSE در شبیه‌سازی دما توسط هر دو مدل در ایستگاه خرمدره و برابر با ۰/۶۷ است. تخمین سرعت باد نیز توسط هر دو مدل در سطح عالی صورت گرفته است. شاخص EF بیانگر میزان مطلوب بودن شبیه‌سازی است. عملکرد شبیه‌سازی دما در دو مدل CNRM و ESM2 مطلوب بود. حداقل مقدار EF در ایستگاه‌های خرمدره و منجیل در شبیه‌سازی صورت گرفته توسط هر دو مدل رخ داده است. عملکرد شبیه‌سازی در ایستگاه‌های اراک، همدان، کرج، قزوین و زنجان بسیار مطلوب است. در شبیه‌سازی سرعت باد توسط مدل CNRM تنها ایستگاه خرمدره و خدابنده که مقدار EF به ترتیب برابر با ۰/۰۳ و ۰/۰۴ بود، دارای عملکرد مطلوب بودند؛ سایر ایستگاه‌ها فاقد عملکرد مطلوب بودند (کمتر از صفر). حداقل مقدار EF در شبیه‌سازی سرعت باد توسط مدل CNRM برابر با ۷/۳۰- (ایستگاه آستارا) بود. همچنین بررسی شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل ESM2 نیز بیانگر این مسئله است که تنها ایستگاه خرمدره عملکرد مطلوب دارد. حداقل مقدار EF در شبیه‌سازی سرعت باد توسط مدل ESM2 در ایستگاه آستارا برابر با ۲۰/۷۶- است. به طور کلی از بررسی شبیه‌سازی سرعت باد توسط دو مدل می‌توان دریافت که مدل ESM2 نسبت به مدل CNRM عملکرد ضعیف‌تری داشته و هر دو مدل در شبیه‌سازی سرعت باد فاقد عملکرد مناسب هستند.

index variable	NRMSE				EF			
	Temperature		Wind speed		Temperature		Wind speed	
	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2
MODEL								
Abali	0.41	0.44	0.51	0.64	0.84	0.81	-0.83	-2.13
Arak	0.15	0.19	0.82	1.19	0.91	0.89	-2.41	-6.84
Astara	0.20	0.20	0.89	1.40	0.82	0.83	-7.30	-20.76
Bandar-E-Anzali	0.19	0.21	0.43	0.32	0.80	0.76	-1.03	-0.23
Firuzkuh	0.22	0.29	0.77	0.45	0.74	0.51	-2.22	-0.50
Hamedan	0.21	0.23	0.48	0.76	0.97	0.92	-0.21	-2.17
Karaj	0.14	0.17	0.34	0.49	0.94	0.91	-0.64	-2.84
Khodabandeh	0.20	0.35	0.40	0.32	0.60	0.57	0.03	0.09
Khorrmandareh	0.67	0.67	0.30	0.45	0.16	0.14	0.04	-1.22
Malayer	0.20	0.22	0.59	0.28	0.77	0.74	-1.87	-0.13
Manjil	0.48	0.50	0.85	0.75	0.06	0.03	-0.90	-0.63
Qazvin	0.16	0.19	0.66	0.95	0.94	0.92	-4.67	-11.55
Rasht	0.30	0.31	0.97	1.12	0.54	0.51	-4.76	-6.88
Saveh	0.30	0.31	0.56	0.69	0.56	0.54	-0.07	-0.89
Tehran	0.28	0.29	0.51	0.46	0.72	0.70	-1.71	-1.42
Zanjan	0.25	0.28	0.35	0.30	0.91	0.89	-0.97	-0.53

شکل ۳. نمودار ماتریسی شاخص‌های NRMSE و EF در شبیه‌سازی متغیرهای جوی دمای هوا و سرعت باد

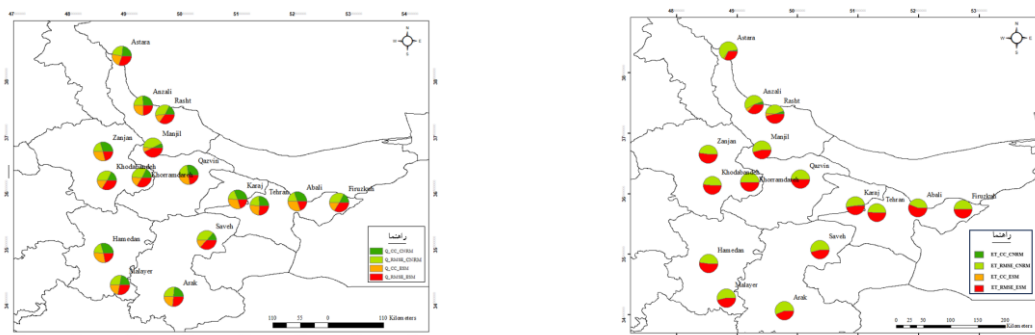
پس از ارزیابی آماری دمای هوا و سرعت باد در دو مدل اقلیمی CNRM و ESM2 در دوره پایه مقدار ET و Q در دوره پایه برآورد شد. از آنجا که به طور کلی سرعت باد از عملکرد مطلوبی برخوردار نبود، مقدار ET و Q برآورد شده دارای مقدار RMSE بالایی بود. برای کاهش مقدار RMSE یک ضریب اصلاحی با شرط حداقل شدن مقدار RMSE با استفاده از دستور Solver برای هر ایستگاه برآورد شده و پس از تعیین ضریب مقدار Q و ET جدیدی در هر ایستگاه برآورد شد (جدول ۱).

جدول ۱. ضرایب اصلاحی اعمال شده در برآورد مقدار آب قابل استحصال و تبخیر- تعرق

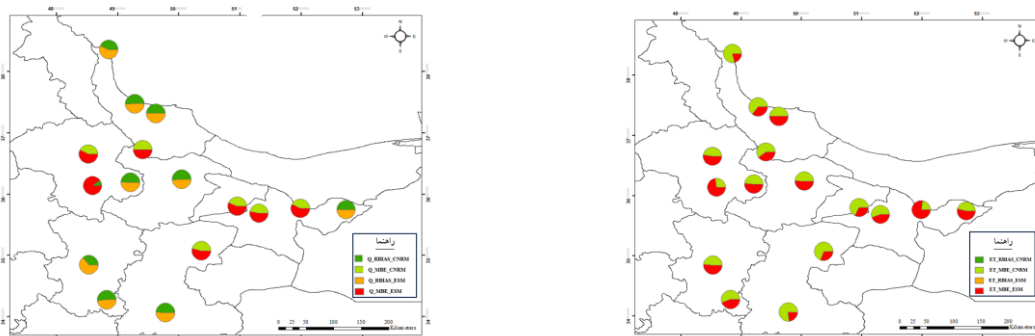
	Q		ET	
	CNRM	ESM2	CNRM	ESM2
Abali	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۹۰	۰/۸۳
Arak	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۷۸	۰/۸۹
Astara	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۹۴	۰/۹۵
Anzali	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۹۵	۰/۹۵
Firuzkuh	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۷۴	۰/۷۷
Hamedan	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۹۱	۰/۸۹
Karaj	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۹۷	۰/۹۶
Khodabandeh	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۷۶
Khorramdareh	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۸۹	۰/۸۹
Malayer	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۸۵	۰/۹۴
Manjil	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۷۲	۰/۸۹
Qazvin	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۹۵	۰/۹۲
Rasht	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۹۲	۰/۹۲
Saveh	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۹۱	۰/۹۴
Tehran	۰/۳۹	۰/۳۹	۱	۰/۹۹
Zanjan	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۹۲	۰/۹۶

مقدار RMSE، RBIAS، CC، MBE، NRMSE و EF در ET و Q برآورد شده با استفاده از اطلاعات ارائه شده در دوره پایه توسط دو مدل ESM و CNRM در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است. با استفاده از اطلاعات حاصل از مدل اقلیمی CNRM مقدار RMSE برآورد شده برای مقدار ET در ایستگاه‌های اراک، فیروزکوه، خدابنده، خرمدره، ملایر، منجیل، قزوین و ساوه به ترتیب برابر با ۷۰/۶۲، ۷۰/۴۲، ۵۸/۳۲، ۵۶/۵۷، ۶۲/۷۲، ۷۲/۰۵، ۴۱/۷۶ و ۵۶/۱۳ بود. همچنین مقدار ضریب همبستگی نیز در ایستگاه‌های نامبرده به ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۳۲، ۰/۴۷، ۰/۳۲، ۰/۳۲، ۰/۱۹، ۰/۲۵، ۰/۳۵ و ۰/۲۷ است. از طرفی مقدار MBE که بیانگر مقدار اربیبی نسبت به مقدار مشاهداتی است نیز در ایستگاه‌های یاد شده بین ۳/۱۵ تا ۳۲/۲۶ تغییر یافته است. علی‌رغم ناچیز بودن مقدار نوسانات RBIAS در ایستگاه‌های نامبرده می‌توان دریافت که مدل CNRM در برآورد مقدار ET در ایستگاه‌های یاد شده عملکرد مطلوبی نداشته است. در حالی که در ایستگاه‌های انزلی و رشت مقدار خطا، همبستگی و صحت اطلاعات قابل قبول است. مقدار RMSE در برآورد ET توسط مدل ESM در ایستگاه‌های آستارا، انزلی و رشت به ترتیب برابر با ۱۳/۵۲، ۶/۵۷ و ۸/۹۱ و مقدار CC نیز به ترتیب ۰/۹۰، ۰/۹۷ و ۰/۹۸ بود. لذا مدل ESM در برآورد ET در ایستگاه‌های نامبرده عملکرد مطلوبی دارد. از طرفی در ایستگاه فیروزکوه و منجیل بیشترین مقدار RMSE که به ترتیب برابر با ۷۱/۲۰ و ۶۲/۸۵ بود، رخ داد؛ که بیانگر عملکرد ضعیف مدل در ایستگاه‌های نامبرده است. از بررسی شاخص NRMSE می‌توان دریافت که در برآورد ET هر دو مدل CNRM و ESM از سطح تخمین عالی برخوردار بودند. حداقل مقدار NRMSE در ایستگاه‌های رشت، انزلی در هر دو مدل CNRM و ESM رخ داد. مقدار NRMSE در تمامی ایستگاه‌ها کمتر از ۱ است. در ET شبیه‌سازی شده توسط مدل CNRM در ایستگاه‌های اراک، فیروزکوه، همدان، منجیل، ملایر، قزوین، ساوه و تهران مقدار شاخص EF منفی بوده که بیانگر عملکرد نامناسب مدل در شبیه‌سازی است. در شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل ESM نیز ایستگاه‌های ابعلی، اراک، فیروزکوه، همدان، خدابنده، خرمدره، ملایر، منجیل، قزوین و ساوه فاقد عملکرد مطلوب بودند. حداکثر مقدار EF در شبیه‌سازی

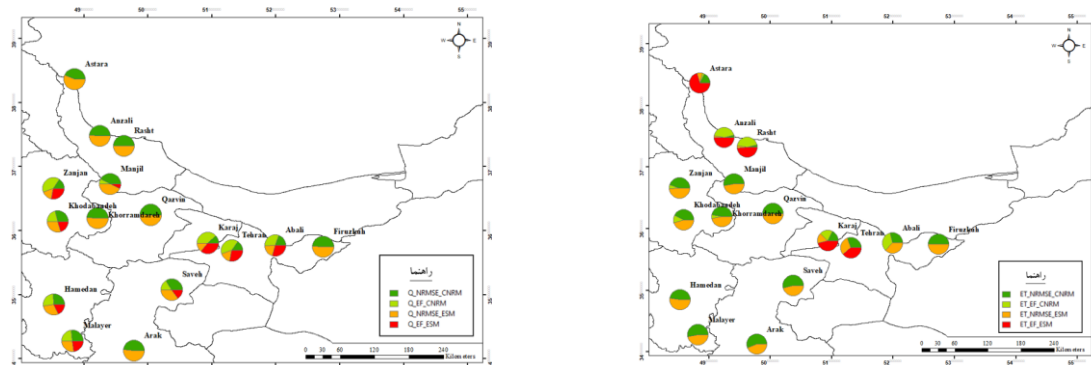
ET توسط مدل CNRM در ایستگاه‌های رشت و انزلی به ترتیب برابر با ۰/۸۶ و ۰/۸۴ است. همچنین حداکثر مقدار EF در شبیه‌سازی صورت‌گرفته توسط مدل ESM نیز در ایستگاه‌های رشت و انزلی به ترتیب برابر با ۰/۹۳ و ۰/۸۶ بود. در برآورد مقدار آب قابل استحصال، هر دو مدل CNRM و ESM از نظر مقدار RMSE عملکرد قابل قبولی داشتند. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل اقلیمی CNRM مقدار RMSE بین ۴/۳۸ تا ۰/۵۱ نوسان داشت. حداکثر مقدار RMSE در ایستگاه‌های فیروزکوه، خدابنده، خرمدره، منجیل و ساوه برابر با ۱/۳۶، ۱/۳۳، ۱/۶۳، ۴/۳۸ و ۱/۶۰ بود. در نتایج حاصل از مدل CNRM مقدار CC بین ۰/۴۵ تا ۰/۹۱ نوسان داشت. به جز ایستگاه رشت سایر ایستگاه‌ها دارای مقدار CC قابل قبولی بودند. مقدار دو پارامتر MBE و RBIAS نیز به ترتیب بین -۱/۰۱ تا ۲/۴۶ و -۰/۴۹ تا ۱/۱۴ تغییر یافت. بیشترین مقدار RMSE در برآورد مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا توسط مدل ESM در ایستگاه‌های خدابنده، خرمدره، منجیل و ساوه به ترتیب برابر با ۱/۳۸، ۱/۶۷، ۴/۴۱ و ۱/۶۱ بود. مقدار CC، MBE و RBIAS نیز به ترتیب بین ۰/۳۵ تا ۰/۸۹، -۰/۹۶ تا ۲/۴۸ و -۰/۴۹ تا ۱/۱۳ نوسان داشت. ایستگاه رشت در مدل ESM نسبت به سایر ایستگاه‌ها عملکرد ضعیف‌تری داشت. از بررسی شاخص NRMSE می‌توان دریافت که مقدار Q برآوردشده توسط دو مدل CNRM و ESM از سطح تخمین عالی برخوردار بود. حداقل مقدار NRMSE در Q برآوردشده توسط مدل CNRM در ایستگاه کرج، تهران و زنجان به ترتیب برابر با ۰/۲۶، ۰/۳۴ و ۰/۳۶ بود. همچنین حداقل مقدار NRMSE در Q برآوردشده توسط مدل ESM در ایستگاه‌های کرج، تهران و زنجان به ترتیب برابر با ۰/۳، ۰/۳۸ و ۰/۳۸ است. حداکثر مقدار NRMSE در برآورد Q توسط مدل CNRM در ایستگاه‌های فیروزکوه و رشت به ترتیب برابر با ۱/۰۶ و ۱/۲۵ و در مدل ESM نیز در ایستگاه‌های نامبرده برابر با ۱/۰۹ و ۱/۲۷ بود، به طوری که مقدار EF در برآورد Q کمتر از ET بود. حداقل مقدار EF در برآورد Q توسط مدل CNRM در ایستگاه رشت برابر با ۸/۳۰- و در برآورد Q توسط مدل ESM در ایستگاه رشت برابر با ۸/۵۹- بود. در برآورد Q توسط مدل CNRM ایستگاه‌های آملی، همدان، کرج، خدابنده، ملایر، منجیل، ساوه، تهران و زنجان عملکرد مطلوبی داشتند. نتایج حاصل از مدل ESM در برآورد Q در ایستگاه‌های اراک، آستارا، انزلی، فیروزکوه، خرمدره، قزوین و رشت فاقد عملکرد مناسب بودند.



شکل ۴. مقدار CC و RMSE در ET و Q برآوردشده در دوره پایه توسط دو مدل CNRM و ESM



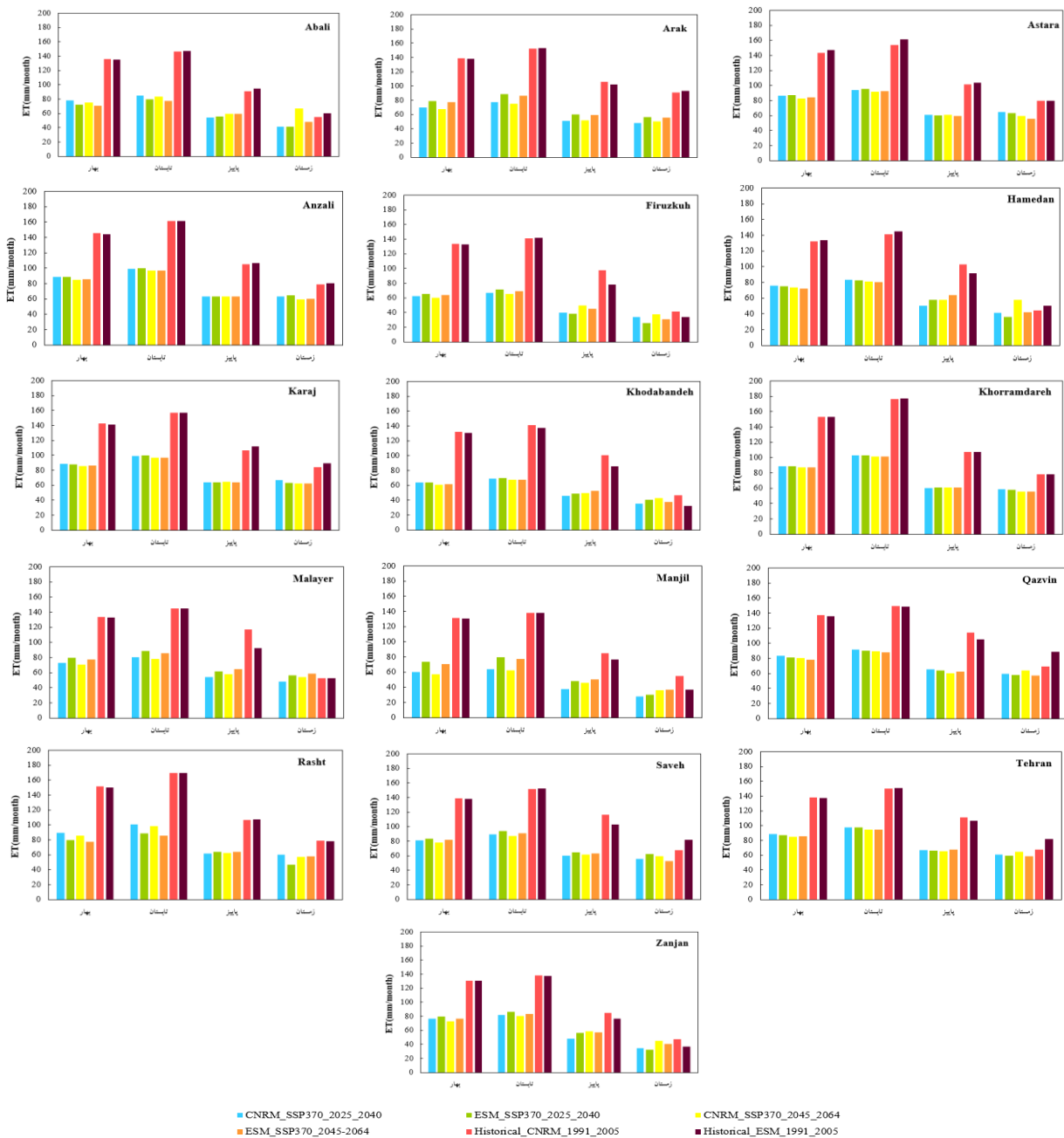
شکل ۵. مقدار MBE و RBIAS در ET و Q برآوردشده در دوره پایه توسط دو مدل CNRM و ESM



شکل ۶. مقدار EF و NRMSE در ET و Q برآورده شده در دوره پایه توسط دو مدل CNRM و ESM

۲.۳. پیش‌بینی مقدار ET تحت دو سناریوی SSP-370 و SSP-558

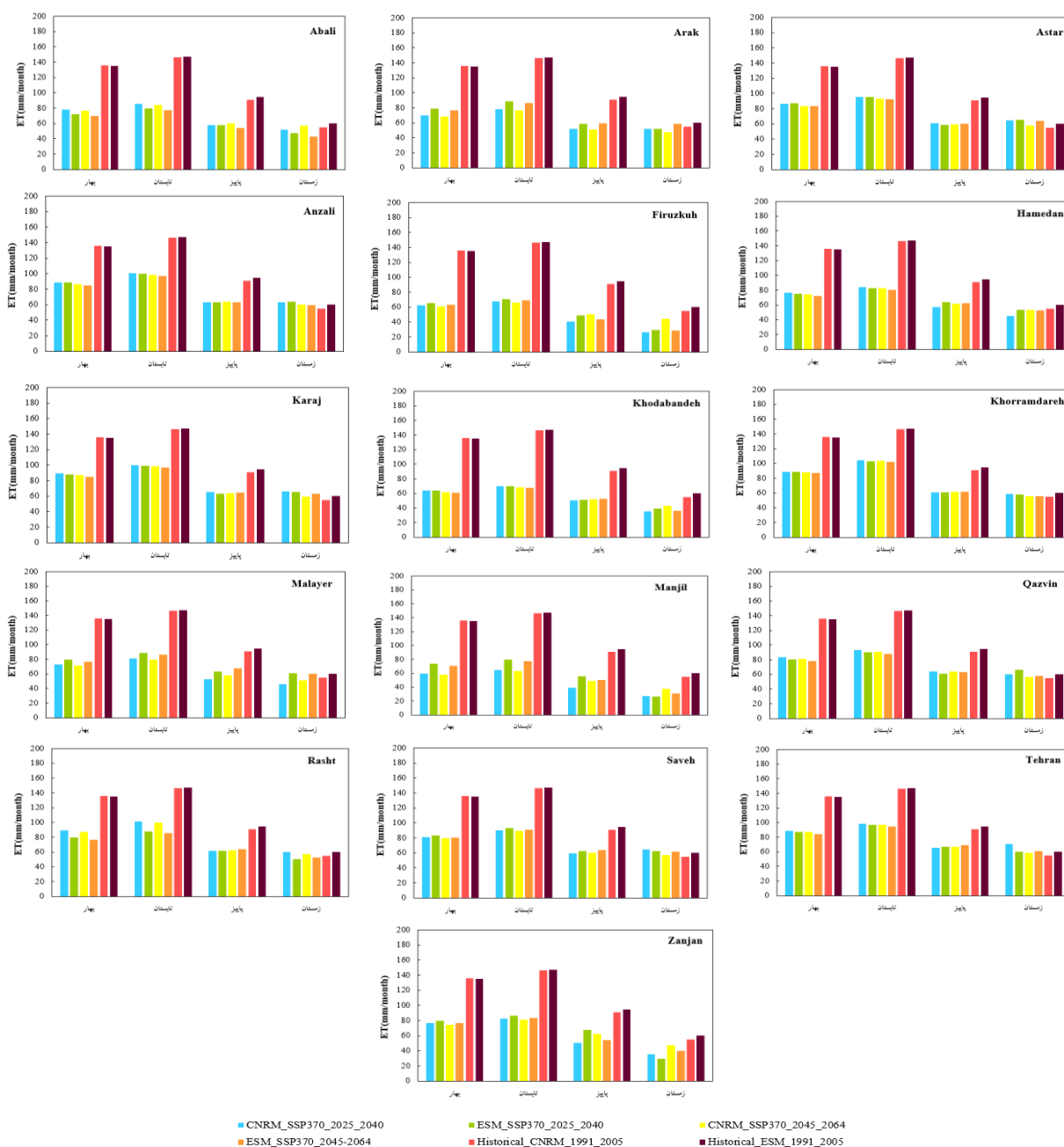
مقدار پارامتر ET پیش‌بینی شده تحت سناریوی SSP-370 توسط مدل CNRM در کل زمان مورد بررسی در فصل تابستان حداکثر مقدار و در فصل زمستان حداقل مقدار بود (شکل ۷). حداکثر مقدار ET در دوره اول (۲۰۲۵-۲۰۴۴) در ایستگاه خرمدره برابر با ۱۰۲/۸۹ و حداقل مقدار نیز در ایستگاه منجیل برابر با ۲۷/۶۴ میلی‌متر در ماه بود. در دوره دوم (۲۰۴۵-۲۰۶۴) نیز حداکثر مقدار در ایستگاه خرمدره برابر با ۱۰۱/۵۸ میلی‌متر در ماه و حداقل مقدار نیز در ایستگاه منجیل برابر با ۳۶/۲۷ میلی‌متر در ماه بود. به طور کلی، مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره اول در دو فصل بهار و تابستان کاهش یافته است، در حالی که در فصل پاییز در تمامی ایستگاه‌ها به جز قزوین و تهران مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته بود. طی فصل زمستان نیز به جز دو ایستگاه کرج و رشت در سایر ایستگاه‌ها مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است. از مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده در دو دوره نسبت به دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۰۵) می‌توان دریافت که تحت سناریوی SSP-370 نتایج حاصل از مدل CNRM بیانگر کاهش مقدار ET در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان (فقط دوره اول) بود. اما مقدار ET در فصل زمستان دوره دوم در ایستگاه‌های آمل، همدان و ملایر به ترتیب ۱۷، ۲۳ و ۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت. نتایج حاصل از مدل ESM تحت سناریوی SSP-370 نیز بیانگر حداکثر بودن مقدار ET در فصل تابستان و حداقل بودن آن در فصل زمستان بود (شکل ۷). در دوره اول حداکثر مقدار ET در ایستگاه خرمدره برابر با ۱۰۲/۸۱ میلی‌متر در ماه و حداقل مقدار نیز در ایستگاه‌های فیروزکوه برابر با ۲۵/۶۰ میلی‌متر در ماه بود. در دوره دوم نیز حداکثر مقدار در ایستگاه خرمدره ۱۰۱/۰۶ میلی‌متر در ماه و حداقل مقدار نیز در ایستگاه فیروزکوه برابر با ۳۰/۷۳ میلی‌متر در ماه بود. در هر دو فصل بهار و تابستان مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافت. اما در فصل پاییز به جز ایستگاه‌های قزوین و ساوه و در فصل زمستان نیز به جز در ایستگاه‌های اراک، آستارا، انزلی، کرج، خدابنده، خرمدره، قزوین، ساوه و تهران در سایر ایستگاه‌ها مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است. از مقایسه نتایج حاصل از دوره اول و دوم با دوره پایه می‌توان دریافت که مقدار ET در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان در تمامی ایستگاه‌ها کاهش یافته، اما در فصل زمستان و در ایستگاه ملایر مقدار ET نسبت به دوره پایه حدود ۶ درصد افزایش یافته است. در دوره دوم نیز مقدار ET در ایستگاه‌های خدابنده، ملایر، منجیل و زنجان به ترتیب ۱۴/۲، ۱۰/۵، ۱ و ۹/۳ درصد نسبت به دوره پایه در فصل زمستان افزایش یافته است. به طور کلی از بررسی شکل ۶ می‌توان دریافت در تمامی ایستگاه‌ها مقدار ET برآورده شده در دوره پایه بیشتر از دو دوره بررسی شده بود.



شکل ۷. پیش‌بینی مقدار تبخیر-تعرق از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۴ با استفاده از دو مدل ESM و CNRM بر اساس سناریوی SSP_370

مقدار ET پیش‌بینی شده توسط دو مدل ESM و CNRM تحت سناریوی SSP_585 در شکل ۸ ارائه شده است. تحت اجرای سناریوی SSP-585 در مدل CNRM حداکثر مقدار ET در دوره اول در ایستگاه خرمدره برابر با ۱۰۴/۲۹ میلی‌متر در ماه و حداقل مقدار در ایستگاه منجیل برابر با ۲۶/۶۹ میلی‌متر در ماه بود. در دوره دوم حداکثر مقدار ET در ایستگاه خرمدره برابر با ۱۰۳/۶۸ میلی‌متر در ماه و حداقل مقدار نیز در ایستگاه منجیل برابر با ۳۷/۸۱ میلی‌متر در ماه بود. به طور کلی مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره اول طی فصل بهار و تابستان کاهش یافته است. در فصل پاییز تنها در ایستگاه‌های اراک، آستارا و کرج مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش و در سایر ایستگاه‌ها افزایش یافته است. مقدار ET دوره دوم نسبت به دوره اول فصل زمستان نیز در تمامی ایستگاه‌ها به جز اراک، آستارا، انزلی، کرج، خرمدره، قزوین، رشت، ساوره و تهران افزایش یافته بود. به جز در ایستگاه‌های همدان و تهران در فصل زمستان مقدار ET در دوره اول نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. همچنین به جز ایستگاه‌های اراک، فیروزکوه، همدان و زنجان در فصل زمستان در سایر ایستگاه‌ها و فصل‌های بهار، تابستان و پاییز مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. حداکثر

مقدار ET با اجرای مدل ESM تحت سناریوی SSP-585 در دوره اول در ایستگاه خرمدره برابر با ۱۰۲/۸۹ و در دوره دوم نیز در ایستگاه خرمدره برابر با ۱۰۲/۲۱ میلی‌متر در ماه بود. حداقل مقدار ET در دوره اول در ایستگاه منجیل برابر با ۲۶/۵۷ و در دوره دوم نیز در ایستگاه فیروزکوه برابر با ۲۸/۸۲ میلی‌متر در ماه بود. مقدار ET در فصل بهار و تابستان در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. اما در فصل پاییز به جز در ایستگاه‌های اَبعلی، فیروزکوه، همدان، منجیل و زنجان در سایر ایستگاه‌ها مقدار ET افزایش یافت. در ایستگاه‌های رشت و تهران نیز به ترتیب ۸ و ۲ درصد مقدار ET در دوره دوم نسبت به دوره اول در فصل زمستان افزایش یافت. از بررسی تغییرات ET طی زمان نیز می‌توان دریافت مقدار ET در دوره اول در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز در تمام ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه کاهش یافته است؛ اما در فصل زمستان تنها در ایستگاه‌های همدان و ملایر به ترتیب ۵/۵ و ۱۳/۶ درصد افزایش رخ داد. در دوره دوم نیز همانند دوره اول مقدار ET در مقایسه با ET در دوره پایه در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز کاهش یافته است. در فصل زمستان نیز به جز ایستگاه‌های همدان، خدابنده، ملایر و زنجان مقدار ET نسبت به دوره پایه کاهش یافت.



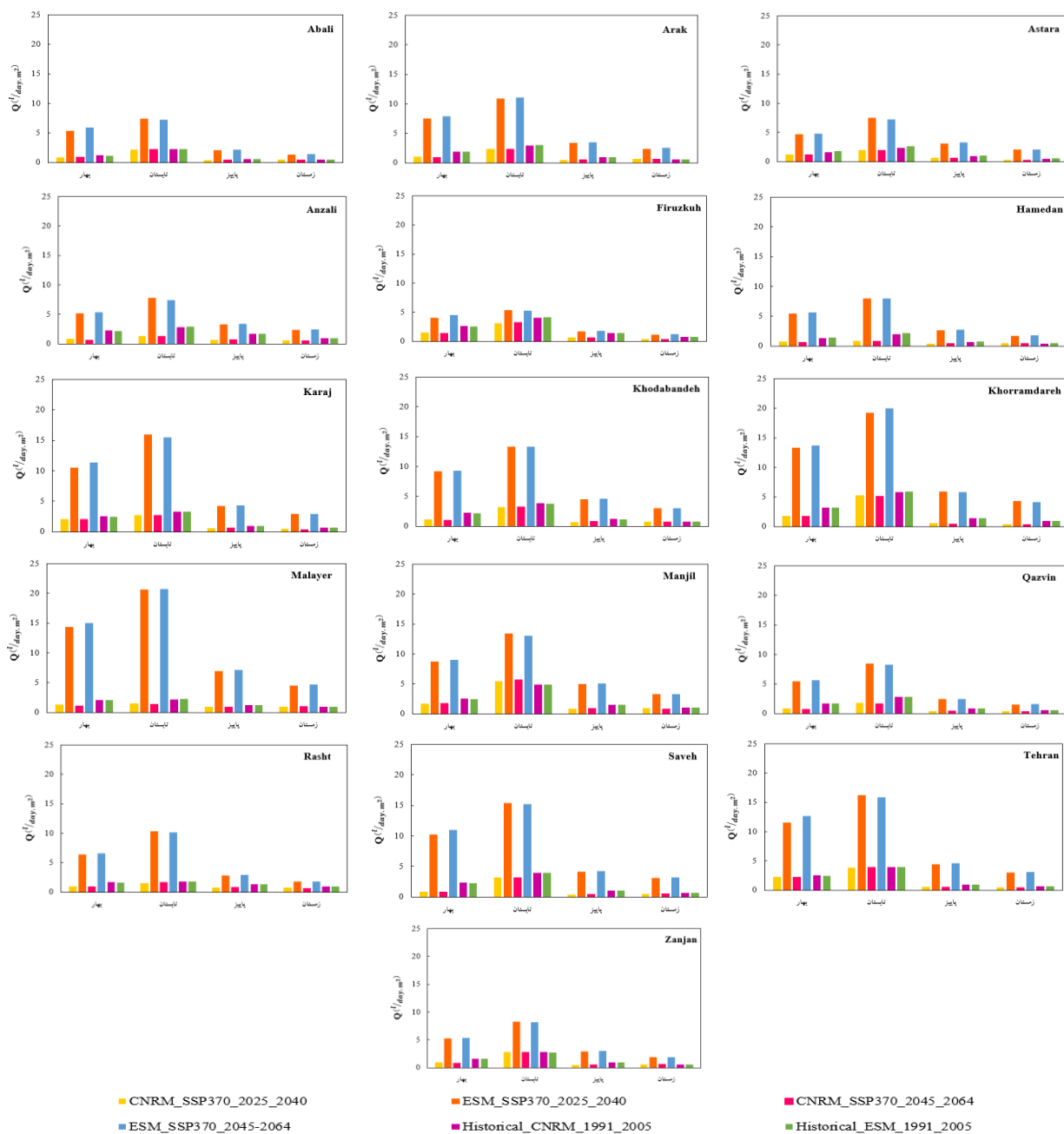
شکل ۸. پیش‌بینی مقدار تبخیر-تعرق از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۴ از دو مدل ESM و CNRM بر اساس سناریوی SSP_585

به طور کلی حداکثر مقدار ET در فصل تابستان و حداقل مقدار در فصل زمستان حاصل شد. دلیل این امر تأثیر زیاد دما در مقدار ET است. پژوهش انجام شده توسط حیدری و خوشخو که تأثیر تغییر اقلیم بر ET در غرب ایران را بررسی کرده بودند، بیانگر افزایش نرخ ET مرجع در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه در مقیاس‌های فصلی و سالانه بود [۲۵]. در پژوهشی مشابه که به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق برآورد شده با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 در ارومیه پرداخته شد؛ نتایج بیانگر افزایش ET طی زمان و بیشتر بودن نرخ افزایش در فصل‌های گرم نسبت به فصل‌های سرد سال بود [۲۶]. همچنین بررسی انجام شده در منطقه بردسیر کرمان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP6 و RCP8.5 بیانگر افزایش دما و به دنبال آن افزایش نیاز آبی بخش کشاورزی بود [۲۷]. Nooni و همکاران به ارزیابی تغییرات سالانه و الگوهای مکانی تغییرات پیش‌بینی شده در تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده (ET) در قرن بیست و یکم روی قاره آفریقا بر اساس سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 ارائه شده توسط مدل CNRM_CM پرداختند. نتایج نشان داد SSP3- و SSP5-8.5 و SSP2-4.5 و SSP1-2.6 را نسبت به ET بالاتری را نسبت به SSP2-4.5 پیش‌بینی کردند [۲۸].

۳.۳. پیش‌بینی مقدار Q تحت دو سناریوی SSP-370 و SSP-558

مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا توسط شبکه توری (Q) پیش‌بینی شده توسط دو مدل CNRM و ESM تحت دو سناریوی SSP-370 و SSP-585 در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از مدل CNRM تحت سناریوی SSP-370؛ در دوره اول Q در ایستگاه‌های خرمدره و منجیل حداکثر مقدار و برابر با ۵/۱۹ و ۵/۴۵ لیتر در روز در هر مترمربع بود. حداقل مقدار نیز در ایستگاه آستارا برابر با ۰/۳ لیتر در روز در هر مترمربع است. در دوره دوم حداکثر مقدار Q در ایستگاه منجیل برابر با ۵/۷۳ لیتر در روز در هر مترمربع و حداقل مقدار Q در ایستگاه‌های آستارا برابر با ۰/۳ لیتر در روز در هر مترمربع بود. از مقایسه مقدار Q دوره دوم نسبت به دوره اول می‌توان دریافت که Q فصل بهار در تمام ایستگاه‌ها به جز خرمدره، منجیل، رشت، تهران و کرج کاهش یافته است. در فصل تابستان Q در دوره دوم نسبت به دوره اول در ایستگاه‌های ملایر، قزوین، خرمدره و ساوه افزایش یافت. از مقایسه Q در دوره اول و دوم با دوره پایه می‌توان دریافت که در فصل بهار، تابستان و پاییز مقدار Q کاهش یافته است، اما در فصل زمستان دوره اول در ایستگاه‌های آبدلی، اراک، همدان، خدابنده و زنجان و در دوره دوم نیز در ایستگاه‌های آبدلی، اراک، همدان، خدابنده، ملایر و زنجان مقدار Q افزایش یافته است. براساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل ESM تحت سناریوی SSP-370، حداکثر Q در ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره اول بین ۵/۳۴ _ ۲۰/۶۶ و حداقل مقدار Q نیز بین ۱/۱۴ _ ۴/۴۸ لیتر در روز در هر مترمربع نوسان داشت. در دوره دوم نیز حداکثر Q بین ۵/۲۲ _ ۲۰/۷۰ و حداقل Q بین ۱/۱۸ _ ۴/۶۶ لیتر در روز در هر مترمربع تغییر یافت. بررسی‌ها نشان‌دهنده افزایش Q در دوره دوم نسبت به دوره اول در فصل بهار و تابستان (به جز ایستگاه اراک و خدابنده در فصل تابستان) بود. در فصل پاییز تنها در ایستگاه خرمدره و در فصل زمستان در ایستگاه‌های خرمدره و آستارا مقدار Q در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. همچنین به طور کلی در تمام فصل‌های سال در هر دو مدل CNRM و ESM مقدار Q نسبت به حالت پایه افزایش یافت. به طور کلی مقدار Q پیش‌بینی شده توسط مدل ESM نسبت به مدل CNRM در تمام ایستگاه‌ها بیشتر بوده است.

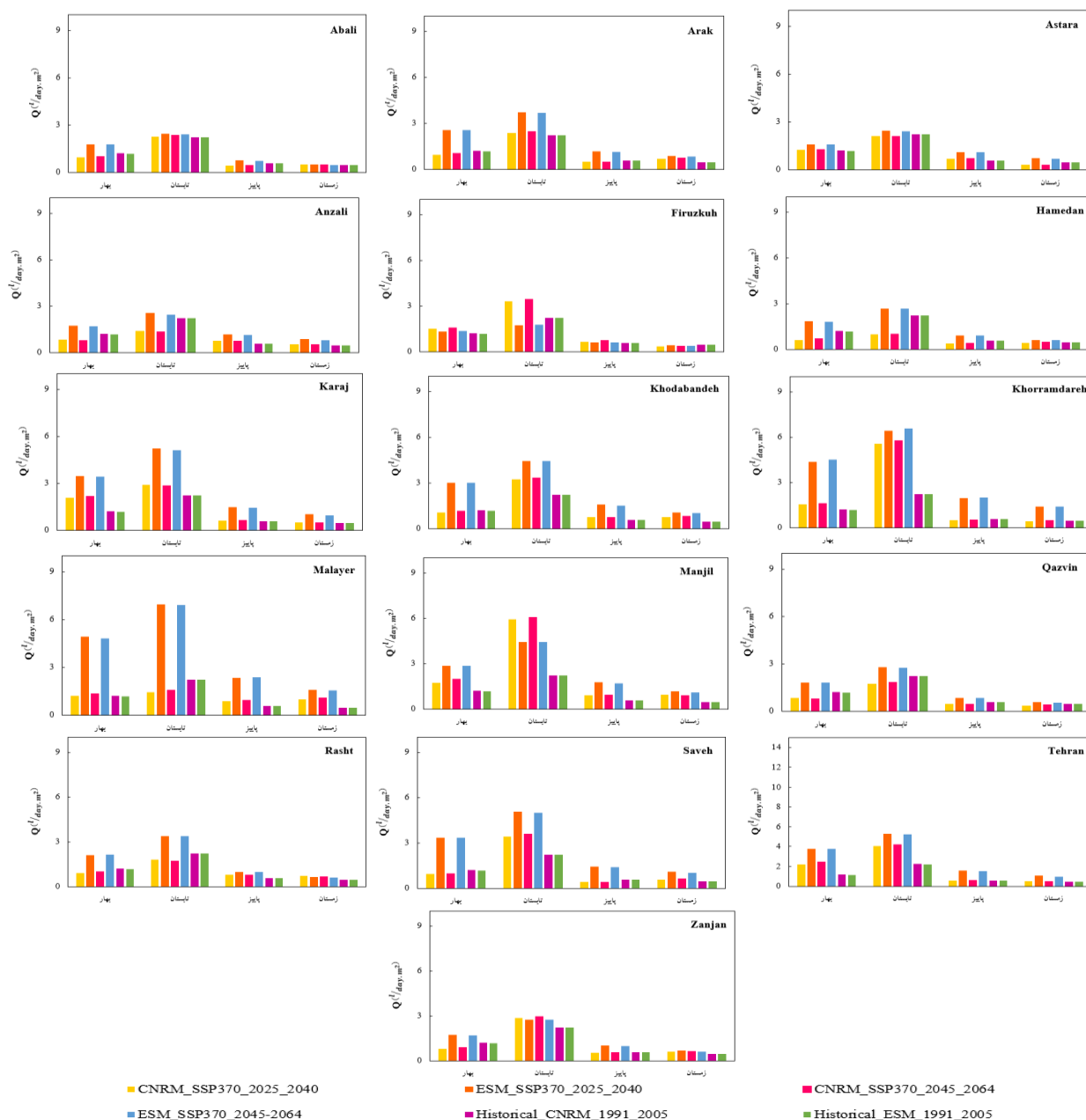
در مدل CNRM حداکثر Q بین ۰/۹۸ تا ۵/۹۱ لیتر در روز در هر مترمربع و حداقل Q بین ۰/۲۸ تا ۰/۸۸ لیتر در روز در هر مترمربع در دوره اول نوسان داشت. در دوم نیز حداکثر Q بین ۱ تا ۶/۰۸ لیتر در روز در هر مترمربع و حداقل مقدار نیز بین ۰/۳۲ _ ۰/۹۵ لیتر در روز در هر مترمربع نوسان داشت. همچنین مقدار Q در دوره دوم در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها نسبت به Q در دوره اول افزایش یافت. در فصل زمستان تنها در ایستگاه‌های انزلی، منجیل و رشت مقدار Q در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. Q در دوره اول نسبت به دوره پایه در تمامی فصل‌ها کاهش یافته و در دوره دوم تنها در ایستگاه‌های آبدلی، منجیل، تهران و زنجان در فصل تابستان و در ایستگاه‌های آبدلی، اراک، همدان، خدابنده، ملایر و زنجان افزایش یافته است.



شکل ۹. پیش‌بینی مقدار آب قابل استحصال از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۴ با استفاده از دو مدل CNRM و ESM بر اساس سناریوی SSP_370

در مدل ESM حداکثر Q در دوره اول در ایستگاه ملایر برابر با $۶/۹۵$ لیتر در روز در هر مترمربع و حداقل مقدار نیز در ایستگاه‌های آبدلی و فیروزکوه به ترتیب برابر با $۰/۴۳$ و $۰/۴۱$ لیتر در روز در هر مترمربع بود. در دوره دوم نیز حداکثر مقدار Q در ایستگاه ملایر برابر با $۶/۸۹$ لیتر در روز در هر مترمربع بود. حداقل Q در دوره دوم در ایستگاه‌های آبدلی و فیروزکوه برابر با $۰/۴۵$ و $۰/۳۸$ لیتر در روز در هر مترمربع بود. به جز در فصل بهار در سایر فصول در بیشتر ایستگاه‌ها مقدار Q در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته بود. در فصل بهار تنها در ایستگاه خرمدره، قزوین و رشت Q در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است. از مقایسه Q در دوره اول با Q در دوره پایه می‌توان دریافت که در فصل بهار در ایستگاه‌های آستارا، انزلی، فیروزکوه؛ در فصل تابستان در ایستگاه‌های آستارا، انزلی، فیروزکوه قزوین و منجیل؛ در فصل پاییز در ایستگاه‌های انزلی، فیروزکوه، قزوین و رشت و در فصل زمستان در ایستگاه‌های انزلی، فیروزکوه، قزوین و رشت Q کاهش یافته است. در دوره دوم نیز تنها در ایستگاه‌های آستارا، انزلی و فیروزکوه در تمامی فصل‌های سال، ایستگاه‌های قزوین و رشت در پاییز و زمستان و ایستگاه‌های منجیل، قزوین و زنجان در فصل

تابستان مقدار Q در دوره دوم نسبت به Q در دوره پایه کاهش یافته است. به طور کلی می‌توان دریافت که در فصل تابستان Q حداکثر و در فصل زمستان Q حداقل مقدار است. از جمله دلایل آن می‌توان به تأثیر مستقیم دما در برآورد Q اشاره کرد. براساس پژوهش انجام‌شده توسط رضایی اعتدالی و همکاران روی پیش‌بینی مقدار آب قابل استحصال از هوا تحت گزارش پنجم، شهرستان‌های آستارا، رشت و انزلی از پتانسیل بالایی به منظور گسترش شبکه‌های توری و استحصال آب از هوا داشت [۲۹].



شکل ۱۰. پیش‌بینی مقدار آب قابل استحصال طی سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۴ با استفاده از دو مدل CNRM و ESM بر اساس سناریوی SSP_585

۴. نتیجه‌گیری

از جمله منابع آب جدید می‌توان به رطوبت موجود در هوا اشاره کرد که توسط روش‌های مختلف با راندمان‌های مختلف قابل دستیابی است. یکی از روش‌های رایج در این زمینه استفاده از شبکه‌های توری است. بر اساس رابطه موجود به منظور تخمین مقدار آب قابل استحصال از این سیستم پارامترهای جوی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. با توجه به اهمیت تغییرات اقلیمی بر تغییرات پارامترهای هواشناسی مختلف مانند دما و سرعت باد در این پژوهش به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی طی دو دوره ۲۰۲۵-

۲۰۴۴ و ۲۰۴۵-۲۰۶۴ توسط دو مدل اقلیمی CNRM و ESM تحت دو سناریوی SSP-370 و SSP-585 پرداخته شد. به طور کلی هر دو مدل ESM و CNRM در تعیین پارامتر سرعت باد از دقت کافی برخوردار نبودند. هرچند مدل CNRM نسبت به مدل ESM از عملکرد بهتری برخوردار بود. بهینه‌سازی پارامترهای اقلیمی دو مدل یادشده در دوره پایه موجب بهبود مقدار ET و Q برآوردشده در آینده شد. با توجه به تأثیر زیاد دما در مقدار ET برآوردشده، ET برآوردشده توسط هر دو مدل و تحت هر دو سناریو در فصل تابستان حداکثر مقدار و در فصل زمستان حداقل مقدار بوده است.

با توجه به نقش به‌سزای دما در برآورد Q، حداکثر بودن Q برآوردشده در فصل تابستان و حداقل بودن آن در فصل زمستان نیز صادق است. با توجه به شکل ۱۰ سطح مورد نیاز به منظور تأمین ۱۰۰ درصدی ET قابل توجه است، از این‌رو برای ایجاد صرفه اقتصادی در اجرای طرح توصیه می‌شود نخست سهم بارش مؤثر بر منطقه نیز لحاظ شود؛ دوم اینکه آرایش سیستم شبکه توری در افزایش مقدار آب قابل استحصال در واحد سطح اهمیت بالایی داشته لذا آرایش و ابعاد مناسب در هر ایستگاه تعیین شود؛ سوم اینکه استفاده از شبکه توری به منظور تأمین بخشی از نیاز ET و به صورت ترکیبی با سایر منابع توصیه می‌شود.

منابع

- [1]. Lee H, Calvin K, Dasgupta D, Krinmer G, Mukherji A, Thorne P, Trisos C, Romero J, Aldunce P, Barret K, Blanco G. Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6), Longer report. IPCC.2023
- [2]. Zhang X, Hua L, Jiang D. Assessment of CMIP6 model performance for temperature and precipitation in Xinjiang, China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*. 2022 Mar 1;15(2):100128.
- [3]. Riahi K, Van Vuuren DP, Kriegler E, Edmonds J, O'neill BC, Fujimori S, Bauer N, Calvin K, Dellink R, Fricko O, Lutz W. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change*. 2017 Jan 1;42:153-68.
- [4]. Abdolalizadeh F, Khorshiddoust A, Jahanbakhsh S. Assessment of the performance of CMIP6 model for analysis of temperature and precipitation in Urmia Lake basin. *Climate Change Research*.2022; 3(11), 17-30. [Persian].
- [5]. Arfa A, Khashei A, Hamidian pour M. The Effect Of Climate Change On Evapotranspiration In Warm And Humid Conditions (Case Study: South And Southeast Of Iran. 2021. [Persian].
- [6]. Hadi F, Khashei Siuki A, Shahidi A, Farzaneh M. Examination the Effect of Climate Change on Potential Evapotranspiration in Different Climates. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*.2016; 230–240. [Persian].
- [7]. Bisht DS, Sridhar V, Mishra A, Chatterjee C, Raghuwanshi NS. Drought characterization over India under projected climate scenario. *International Journal of Climatology*. 2019 Mar 30;39(4):1889-911.
- [8]. Khan JU, Islam AS, Das MK, Mohammed K, Bala SK, Islam GT. Future changes in meteorological drought characteristics over Bangladesh projected by the CMIP5 multi-model ensemble. *Climatic Change*. 2020 Sep;162:667-85.
- [9]. Hosseinabadi S, Yaghoobzadeh M, Amirabadizadeh M, & Foroozanmehr M. Meteorological Drought Assessment in Future Periods by Using of the Data of the Fifth Report of Climate Change (Case Study: Zabol and Shiraz Cities). *Journal of Arid Regions Geographics Studie*.2020; 10(40), 78–87. [Persian].
- [10]. Haile GG, Tang Q, Hosseini- Moghari SM, Liu X, Gebremicael TG, Leng G, Kebede A, Xu X, Yun X. Projected impacts of climate change on drought patterns over East Africa. *Earth's Future*. 2020 Jul;8(7):e2020EF001502.
- [11]. Gaitán E, Monjo R, Pórtoles J, & Pino-Otín M. Impact of climate change on drought in Aragon (NE Spain). *Science of the Total Environment*. 2020. 740.
- [12]. Das S, Das J, Umamahesh NV. Identification of future meteorological drought hotspots over Indian region: a study based on NEX- GDDP data. *International Journal of Climatology*. 2021 Oct;41(12):5644-62.
- [13]. Swain S, Hayhoe K. CMIP5 projected changes in spring and summer drought and wet conditions over North America. *Climate Dynamics*. 2015 May;44:2737-50.
- [14]. Prada S, da Silva M. Fog precipitation on the Island of Madeira (Portugal). *Environmental Geology*. 2001 Dec;41(3):384-9.
- [15]. Karimpour Reihan M, Alizadeh M, Kamalian S. Selection of suitable sites for water harvesting from air humidity in Bushehr province using GIS. *Geography (Regional Planning)*. 2017 Feb 19;7(1):43-51. [Persian].
- [16]. Mahmoudi P, Khajeh Amiri Khaledi C, Salari, M. Examining the feasibility of water harvesting from air humidity in the Southern province of Sistan and Baluchestan. *J. of Water and Soil Conservation*. 2014; 23(2). [Persian].
- [17]. Yousefi B, Boroomand Nasab S. Desalination Using the Condensation Irrigation System (A Case Study of the Research Farm of Shahid Chamran University of Ahvaz). 2013; 127–133. [Persian].
- [18]. Roshani A, Hamidi M. Forecasting the effects of climate change scenarios on temperature & precipitation based on CMIP6 models (Case study: Sari station). *Water and Irrigation Management*. 2022 Jan 21;11(4):781-95. [Persian].
- [19]. Kamruzzaman M, Wahid S, Shahid S, Alam E, Mainuddin M, Islam HT, Cho J, Rahman MM, Biswas JC, Thorp KR. Predicted changes in future precipitation and air temperature across Bangladesh using CMIP6 GCMs. *Heliyon*. 2023 May 1;9(5).
- [20]. Alizadeh A. *Principle of Applied Hydrology*. Emam Reza University Press. 2010. [Persian].
- [21]. Pearson K. Mathematical contributions to the theory of evolution.on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the royal society of london*. 1897 Dec 31;60(359-367):489-98.
- [22]. Hyndman RJ, Koehler AB. Another look at measures of forecast accuracy. *International journal of forecasting*. 2006 Oct 1;22(4):679-88.
- [23]. Stanski R, Wilson J, Burrows R. *Survey of Common Verification Methods in Meteorology* (2nd ed.). World Meteorological Organization.1989.
- [24]. Jamieson PD, Porter JR, Wilson DR. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field crops research*. 1991 Nov 1;27(4):337-50.

- [25]. Heydari Tasheh Kaboud S, Khoshkhoo Y. Projection and prediction of the annual and seasonal future reference evapotranspiration time scales in the West of Iran under RCP emission scenarios. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*. 2019 Jul 10;19(53):157-76. [Persian].
- [26]. Behmanesh J, Azad Talatappeh N, Montaseri M, Rezayi H, Khalili K. Climate change impact on reference evapotranspiration, precipitation deficit and vapor pressure deficit in Urmia. *Water and Soil Science*. 2015 Jul 23;25(2):79-91. [Persian].
- [27]. Jalalkamali N, Rajabi M, Naghizade M. Evaluation of Climate Change Effect on Estimation of Reference Evapotranspiration and Comparison with Lysimetric Data (case study, Bardsir plain). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. 2020 Jun 21;14(2):605-15. [Persian].
- [28]. Nooni IK, Hagan DF, Wang G, Ullah W, Lu J, Li S, Dzakpasu M, Prempeh NA, Lim Kam Sian KT. Future changes in simulated evapotranspiration across continental Africa based on CMIP6 CNRM-CM6. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021 Jun 23;18(13):6760.
- [29]. Ramezani Etedali H, Koohi S, Partovi Z. Evaluation of Ensemble Climate Model development methods based on CMIP5 to investigate the potential of water harvesting from air humidity. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2023 Oct 21. [Persian].