



## Research Article

**Estimation of ETp in the southern part of Aras Basin based on CanESM2 model data**Bromand Salahi\*<sup>1</sup> , Mahnaz Saber<sup>1</sup>

1-Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 16 Jun 2023 Accepted: 28 Jan 2024

**Extended Abstract**

**Introduction:** Evapotranspiration is one of the important components of water balance. Estimation of evapotranspiration has been the focus of many researchers in Iran and the world. Accurate estimation of evapotranspiration is very important in hydrological modeling, irrigation design, and water resources management. This variable is one of the most important and effective components in the water balance. Evapotranspiration after rainfall is considered the second largest component of the earth's water cycle on a global scale. The assessment of the future climate and climate change and its effects is done through the output of climate models.

**Materials and Methods:** In this research, the average daily minimum and maximum temperature data were scaled according to the CanESM2 model under RCP scenarios using the SDSM for 6 synoptic stations in the southern part of the Aras River basin to draw the perspective of ETp using the Hargreaves-Samani method until the 2050s. For this purpose, observational data of stations and reanalysis data (NCEP) in the daily period (1985-2005) as well as historical data of the CanESM2 model (historical-2005) under RCP scenarios (for the period 2006-2100) has been used.

**Results and Discussion:** Estimated ETp values for the Aras basin during the coming period based on the downscaled temperature data of the CanESM2 model under RCP scenarios showed that the value of this variable under the RCP2.6 scenario compared to the base period, slightly decreased and under the RCP4.5 and RCP8 scenarios will have a slight increase. The amount of ETp in this basin will have a decreasing change in the Ardabil, Ahar, and Khoi stations and an increasing change in the Pars-Abad and Jolfa stations. The monthly ETp value of the Aras basin in the future period in January, April to June, and August was estimated to increase with a range between 0.1 to a maximum of 24.3 mm compared to the base period. Comparing the estimated ETp values of the future and the past period showed that the ETp estimated by the Hargreaves-Samani method in the past period compared to the evaporation data of stations except Pars-Abad and Khoi was overestimated by more than 100 mm per year, and it was less in other stations. Hargreaves-Samani ETp values, except for Mako, which is higher from 1985 to 2005 than in 1992-2005, in the other stations in the period of 1992-2005 are greater than the values of the base period.

**Conclusion:** The estimated ETp values for the Aras basin during the coming period showed that the value of this variable at the annual basin level will increase slightly compared to the ETp of the base period (by the Hargreaves-Samani method), which means that the water requirement of plants will increase in the future in the growing season and this increase means an increase in the water requirement of plants in the future in the growing season, a decrease in infiltration and an increase in evaporation of water resulting from rainfall and snow melting, and a decrease in the feeding of aquifers.

**Keywords:** Aras, Potential evapotranspiration, CMIP5, CanESM2 model.

**Citation:** Salahi, B. and Saber, M., 2024. Estimation of ETp in the southern part of Aras Basin based on CanESM2 model data, *Res. Earth. Sci.* 15(1), (84-98) DOI: 10.48308/esrj.2023.104049

\* Corresponding author E-mail address: bromand416@yahoo.com



## برآورد $ET_p$ بخش جنوبی حوضه ارس بر مبنای برونداد داده‌های مدل CanESM2

برومند صلاحی\*<sup>1</sup>، مهناز صابرا<sup>1</sup>

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۶ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸

### چکیده گسترده

**مقدمه:** تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه‌های مهم در بیلان آب است. تخمین تبخیر و تعرق مورد توجه پژوهشگران بسیاری در ایران و جهان بوده است. تخمین دقیق تبخیر و تعرق در مدل‌سازی هیدرولوژی، طراحی آبیاری و مدیریت منابع آب اهمیت زیادی دارد. این متغیر یکی از مؤلفه‌های بسیار مهم و مؤثر در بیلان آب است. تبخیر و تعرق بعد از بارش به عنوان دومین مؤلفه بزرگ چرخه آب زمین در مقیاس جهانی محسوب می‌شود. ارزیابی وضعیت اقلیم دوره آینده و تغییر اقلیم و اثرات آن از طریق خروجی مدل‌های اقلیمی انجام می‌شود. **مواد و روش‌ها:** در این پژوهش، داده‌های روزانه متوسط حداقل و حداکثر دما به منظور ترسیم دورنمای  $ET_p$  به روش هارگریوز-سامانی تا دهه ۲۰۵۰ میلادی برای ۶ ایستگاه سینوپتیک بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه ارس براساس مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP با استفاده از SDSM ریزمقیاس شد. بدین منظور، داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها و داده‌های بازتحلیل (NCEP) در بازه زمانی روزانه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) و نیز داده‌های تاریخی مدل CanESM2 (historical-2005) تحت سناریوهای RCP (برای بازه زمانی ۲۰۰۶-۲۱۰۰) به کار رفته است.

**بحث و نتایج:** مقادیر  $ET_p$  تخمینی برای حوضه ارس طی دوره آتی براساس ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دمایی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP نشان داد مقدار این متغیر تحت سناریوی RCP2.6 نسبت به دوره پایه، کاهش جزئی و تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 افزایش جزئی خواهد داشت. مقدار  $ET_p$  در این حوضه ایستگاه اردبیل، اهر و خوی تغییر کاهشی و در پارس‌آباد و جلفا تغییر افزایشی خواهند داشت. مقدار  $ET_p$  ماهانه حوضه ارس در دوره آینده در ژانویه، آوریل تا ژوئن و اوت با دامنه‌ای بین ۰/۱ تا حداکثر ۲۴/۳ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایشی برآورد شد. مقایسه مقادیر  $ET_p$  برآوردی دوره آینده و گذشته نشان داد که  $ET_p$  برآوردی به روش هارگریوز-سامانی در دوره گذشته نسبت به داده تبخیر ایستگاهی به جز پارس‌آباد و خوی بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در سال بیش برآورد و در سایر ایستگاه‌ها کم‌برآورد می‌کند. مقادیر  $ET_p$  هارگریوز - سامانی به جز ماکو که در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۵ بیشتر از ۲۰۰۵-۱۹۹۲ است، در بقیه ایستگاه‌ها در ۲۰۰۵-۱۹۹۲ بزرگ‌تر از مقادیر دوره پایه است.

**نتیجه‌گیری:** مقادیر  $ET_p$  تخمینی برای حوضه ارس طی دوره آتی نشان داد که مقدار این متغیر در سطح حوضه سالانه نسبت به  $ET_p$  دوره پایه (به روش هارگریوز-سامانی) افزایش جزئی خواهد یافت که این افزایش به معنی افزایش نیاز آبی گیاهان در آینده در فصل رشد، کاهش نفوذ و افزایش تبخیر آب حاصل از بارندگی و ذوب برف و کاهش تغذیه آبخوان‌ها است.

**واژگان کلیدی:** ارس، تبخیر و تعرق پتانسیل، مدل CMIP5، CanESM2.

**استناد:** صلاحی، ب. و صابرا، م. ۱۴۰۳. برآورد  $ET_p$  بخش جنوبی حوضه ارس بر مبنای برونداد داده‌های مدل CanESM2.

پژوهشهای دانش زمین: ۱۵(۱)، (۸۴-۹۸)، DOI: 10.48308/esrj.2023.104049

E-mail: bromand416@yahoo.com

\* نویسنده مسئول:



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## مقدمه

پدیده تغییر اقلیم با اهمیت روزافزونی که به جهت عمق زیاد و ابعاد متنوع و گاه کمتر شناخته شده اثراتش پیدا کرده، به‌عنوان یکی از بحث برانگیزترین موضوعات مورد کاوش پژوهشگران دنیا قلمداد می‌شود. این پدیده می‌تواند بر بخش‌های مختلفی تأثیر بگذارد. آب و هوا و وردایی آن نقش عمده‌ای در تعیین محصولات کشاورزی جهان دارد (Hayes et al, 2011). هرگونه تغییر در وضعیت اقلیمی جهان، در تولید محصولات کشاورزی به‌طور مستقیم اثرگذار است (قربانی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین تغییر اقلیم جهان بر روی بارش و تبخیر و تعرق<sup>۱</sup> تأثیر خواهد گذاشت. تبخیر و تعرق از جمله مؤلفه‌های بسیار مهم و مؤثر در بیلان آب محسوب می‌شود (Harrison, 2014). تبخیر و تعرق مؤثرتر از مقدار بارش هستند چرا که بخش زیادی از بارش‌ها در قالب تبخیر و تعرق از دسترس بشر خارج می‌گردند. هرگونه تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی، موجب اثرگذاری بر سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های فعلی خواهد شد. با توجه به این‌که به‌تبع تغییر اقلیم، وضعیت کشاورزی و منابع آبی و طبیعی دچار تغییر می‌شوند، ضروری است مدیران و برنامه‌ریزان بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و منابع آب، سازوکارهای متناسب با شرایط اقلیمی جدید را اتخاذ کنند (Harrison, 2014) چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی براساس ثبات و پایداری اقلیم طراحی گردیده و عمل می‌کنند (Zahabion et al, 2019). تخمین ET با وجود دشواری‌ها و پیچیدگی‌هایی که دارد یکی از موضوعات جالب و مورد توجه پژوهشگران بسیاری در ایران و جهان بوده است. برای این منظور روش‌های مختلف و مدل‌های تجربی گوناگونی جهت برآورد این متغیر در مقیاس‌های محلی تا منطقه‌ای و جهانی ارائه و بسط داده شده‌اند (Chen et al, 2014). تبخیر و تعرق به‌طور کلی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود. از جمله روش‌های مستقیم می‌توان به لایسیمترها (روزی یا زهکش‌دار)، استفاده از دستگاه سنتیلومتر<sup>۲</sup> و روش بیلان آب خاک اشاره کرد که علیرغم اینکه روش دقیقی محسوب می‌شوند ولی اغلب هزینه‌بر بوده، نیازمند متخصصان دارای مهارت بالا هستند و معمولاً برای اهداف تحقیقاتی در محدوده‌های کوچک مقیاس (در حد مزرعه) به کار گرفته می‌شوند. از روش‌های برآورد غیرمستقیم می‌توان به روش

های مبتنی بر بیلان انرژی، روش‌های وابسته به اقلیم خرد مقیاس - که مبنای محاسبه ET در الگوریتم‌های مختلف را تشکیل می‌دهند و مدل‌های تجربی برآورد ET (از قبیل هارگریوز - سامانی، بلانی - کریدل) اشاره نمود (Vaziri et al, 2017). مزیت‌ها و محدودیت‌های روش‌های مختلف برآورد ET بر حسب مقتضیات اقلیمی و شرایط هر منطقه و نیز مقیاس‌های زمانی - مکانی متفاوت است لذا اتفاق نظر و توصیه به استفاده از یک روش به خصوص در همه مناطق وجود ندارد و ممکن است روش ایده‌آل برای یک منطقه، لزوماً روش مطلوب برای منطقه دیگر نباشد. همچنین برای برآورد این متغیر در دوره آینده تحت شرایط تغییر اقلیم و بررسی تغییرات احتمالی آن، لازم است از خروجی مدل‌های اقلیمی و داده‌های ریزمقیاس شده آن‌ها استفاده نمود. در اینجا به چند مورد از پژوهش‌های انجام شده با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده مدل پرکاربرد CanESM2 اشاره می‌گردد: خلیل (Khalil, 2013) تأثیر تغییر اقلیم بر ET مصر را با استفاده از مدل HadCM3 و سناریوهای انتشار بررسی نموده و به این نتیجه دست یافت که تحت شرایط تغییر اقلیم، بالاترین و پایین‌ترین سطح ET به ترتیب در شرایط آب و هوایی آسوان و دامیتا با سناریو انتشار A2 و B2 رخ خواهد داد که نشان می‌دهد نیازهای آبی تحت شرایط تغییر آب و هوایی افزایش می‌یابد. ذوالقرنین و همکاران (Zulkarnain et al, 2014) با مقایسه خروجی شبیه‌سازی بارش و دما در دوم مدل SDSM و LARS-WG نشان دادند ضمن اینکه دو مدل نتایج یکسانی را ارائه نمی‌دهند در عین حال وجه مشترک سری زمانی تولید شده در هر دو مدل، به‌طور کلی روند افزایشی در میانگین دمای روزانه است. فنگ هوآنگ و همکاران (Feng Huang, 2016) به‌منظور شناسایی تغییر اقلیم و تغییر الگوهای بارشی و خشک‌سالی حوضه رودخانه هانگات مالزی تحت سناریوی RCP8.5 برای دوره آینده (۲۰۱۶-۲۱۰۰) از خروجی مدل اقلیمی CanESM2<sup>۳</sup> در مقیاس کاه<sup>۴</sup> SDSM استفاده نمودند. نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که به‌طور کلی مقدار بارش این حوضه در دوره آینده، افزایش و خشک‌سالی، کاهش خواهد یافت. فرین‌های دما و بارش آینده در آدیس آباما را با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده مدل‌های CanESM2 و CGCM3 تحت شرایط تغییر اقلیم با سناریوهای RCP<sup>۵</sup> و SRES<sup>۶</sup> بررسی کردند. بیش‌ترین

تغییر اقلیم را برای آینده دور برابر ۱۱/۳۳ و ۱۱/۲۶ میلی متر تحت سناریوی A2 و B2 برآورد کرد. گودرزی و همکاران (Goodarzi et al, 2016)، اثر تغییر اقلیم بر حداقل و حداکثر دمای دریاچه ارومیه را افزایشی و میزان آن را بین ۰/۳ و ۱/۴ درجه نسبت به دوره پایه محاسبه نمودند. فرخزاده و همکاران (Farrokhzadeh et al, 2020) تغییرات میانگین دمای حوزه آبخیز لتیان در دوره آینده را با مدل HadGEM تحت سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 بین ۰/۲۵ تا ۱/۵۴ درجه برآورد نمودند. زهیری و همکاران (Zoheyri et al, 2020) تغییرات دمای حداکثر اراک تا ۲۰۸۰ را با ریزگردانی CANE-SM2 و HADGEM2-ES تحت سناریوهای RCP از ژانویه تا جولای افزایشی محاسبه نمودند. حشمتی و سیاری (Heshmati and Sayari, 2021) در ارزیابی تغییرات ET<sub>p</sub> بندر انزلی با خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP تا ۲۱۰۰ دریافتند این متغیر در مقیاس ماهانه براساس روش هارگریوز-سامانی تحت هر سه سناریو بین ۱/۴۵ تا ۱/۷۲ میلی متر افزایش خواهد یافت. احمدی و همکاران (Ahmadi et al, 2015) تغییرات دمای سینگرد زاینده رود تحت شرایط تغییر اقلیم تا ۲۰۹۹ را به‌ویژه در فصل زمستان و پاییز افزایشی برآورد و میزان این افزایش را بین ۱/۳ تا ۴/۹ درجه تخمین زدند. در خصوص تحقیقات انجام شده در ارتباط با حوضه ارس و اثرات تغییر اقلیم بر موضوعات مرتبط با آب، اسمعیل‌پور (Esmaeilpour, 2016) بیان آب حوضه جنوبی رود ارس را با هدف کاربرد نتایج آن در بخش کشاورزی، بررسی نمود. اسفندیاری درآباد و همکاران (Esfandiari et al, 2013) به بررسی گرمایش جهانی و نقش آن در بی‌هنجاری‌های دبی حوضه ارس پرداختند. فتائی و همکاران (Fataei et al, 2013) تغییرات پارامترهای دما و بارش دره رود حوضه ارس را با مدل‌های تغییر اقلیم پیش‌بینی نمودند. فرید گیگلو و همکاران (Farid Giglou et al, 2020) تأثیر تغییر اقلیم در میزان جریان ورودی رودخانه ارس و حافظ‌پرست و شریف آذری (Hafezparast and Sharifazari, 2016) تأثیر آن را بر روی جریان ورودی سدهای ستارخان و قوری چای ارزیابی کردند. سورمن و همکاران (Sorman et al, 2020) به مقایسه مدل‌های هیدرولوژیکی سرچشمه‌های حوضه ارس و عالی جهان و همکاران (Aalijahan et al, 2021) به بررسی ارتباط بین تغییرات گازهای گلخانه‌ای اتمسفر و

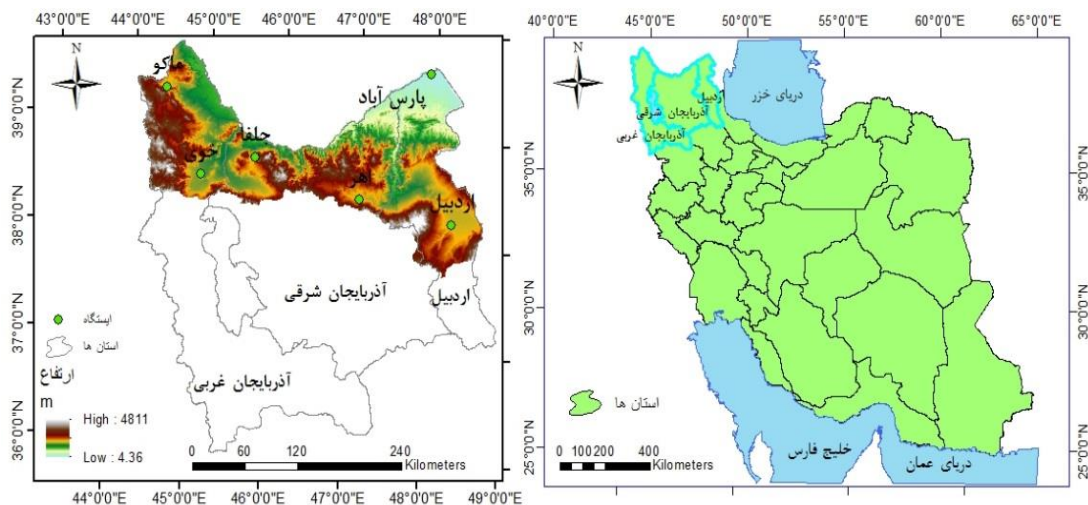
تغییر حداکثر دما را افزایش بین ۰/۹ درجه تحت سناریوی RCP4.5 در ۲۰۲۰ تا ۲/۱ درجه (با مدل CGCM3 تحت سناریوی A2) تا سال ۲۰۸۰ و بیش‌ترین افزایش بارش را به میزان ۲۹٪ تحت سناریوی RCP4.5 در تابستان تا سال ۲۰۸۰ پیش‌بینی نمودند. لیو و همکاران (Liu, et al, 2020) اثرات تغییر اقلیم بر روی ذخیره آب در دره مرکزی کالیفرنیا را پس از ارزیابی ۴ مدل اقلیمی CMIP5<sup>v</sup> (CanESM2, CNRM-CM5, HadGEM\_ES, MIROC5) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۲۰ بررسی نمودند. نتایج نشان داد تحت شرایط گرمایش اقلیمی، اوج جریان انتظار می‌رود از نظر بزرگی بین ۰/۵ تا ۴ برابر افزایش یابد و به دلیل ذوب زودرس برفاب، ۲-۴ ماه پیش از موعد در سال مشاهده شود. میرگل و همکاران (Mirgol, et al, 2020) اثر تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی سه محصول استراتژیک در استان نیمه‌خشک قزوین را برای سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۶، ۲۰۶۵-۲۰۴۱ و ۲۰۶۶-۲۰۹۰ با استفاده از داده‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP مدل‌سازی نمودند. نتایج پژوهش آنان نشان داد بارش این دوره‌ها حدود ۱۳-۱ درصد تحت تمامی سناریوها در همه ماه‌ها به استثنای اوت، سپتامبر و اکتبر کاهش خواهد یافت. دونگ فونگ و همکاران (Dong et al, 2020) به شبیه‌سازی تغییر اقلیم آینده تا اواخر قرن ۲۱م در حوضه رودخانه ووچیا تو بون با استفاده از داده‌های ریزمقیاس CanESM2 و HadCM3 در مدل SDSM پرداختند. براساس این داده‌ها، بیش‌ترین تغییر در حداکثر و حداقل دما را به ترتیب به میزان ۳/۹-۲/۶۷ درجه و ۱/۹۶-۱/۲۴ درجه برای دهه ۲۰۸۰ نسبت به دوره مرجع تحت سناریوهای بدبینانه به دست آوردند. در مطالعات متعددی به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای مختلف از جمله تبخیر و تعرق در مناطق مختلف ایران پرداخته شده است که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌گردد. کلانکی و کاراندیش (Kalanki and karandish, 2015)، به پیش‌بینی اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های اقلیمی (دما، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل) مازندران در LARS-WG با مقیاس‌گاهی داده‌های مدل گردش کلی جو HadCM3 پرداختند. نتایج پژوهش ذرتی‌پور و همکاران (Zoratipour et al, 2018) حداقل و حداکثر دمای اهواز در دوره آینده را افزایشی نشان داد همچنین متوسط ET<sub>p</sub> اهواز تحت شرایط

تغییر اقلیم بر مبنای مقایسه آن با دوره پایه نیز مورد بررسی قرار گرفت. مزیت روش هارگریوز- سامانی علاوه بر دخیل نمودن عرض جغرافیایی، سادگی محاسبه و تعداد کم داده مورد نیاز و استفاده از داده دما است که در شبیه سازی‌های داده‌های اقلیمی به جهت داشتن همبستگی بالا با متغیرهای کلان‌مقیاس NCEP، خطای برآورد کمتری را در مقایسه با داده بارش نشان می‌دهد.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه ارس که از نظر تقسیمات حوضه‌های آبریز، درجه ۲ محسوب شده و با کد ۱۱ مشخص می‌شود، یکی از ۷ زیرحوضه تشکیل‌دهنده حوضه آبریز دریای خزر است. حوضه آبریز ارس در ایران با مساحتی در حدود ۳۹۵۳۴ کیلومتر مربع بین مختصات جغرافیایی ۲۱° ۴۴' تا ۴۱° ۴۸' طول شرقی و ۴۵' ۳۷° تا ۴۷° ۳۹' عرض شمالی واقع گردیده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۴: سالنامه آماری آب کشور، ۱۳۹۰-۹۱/دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، ناشر: تهران، وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، ۱۳۹۴). رودخانه ارس به‌عنوان مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه حوضه ارس محسوب می‌شود. این حوضه بخش‌های زیادی از شمال استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را در بر می‌گیرد. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه ارس در ایران و پراکندگی ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه نشان داده شده است.

نوسانات دبی در حوضه رودخانه ارس پرداختند. در خصوص پژوهش‌های مختص ET حوضه ارس، جهانبخش و همکاران (Jahanbakhsh et al, 2012) ضمن مقایسه چندین مدل تخمین ET<sub>p</sub> در حوضه جنوبی رود ارس نشان دادند روش بلانی - کریدل ضریب همبستگی بالایی با داده تبخیر ایستگاهی دارد. اسمعیل‌پور و دین‌پژوه (Esmailpour and Dinpazhooh, 2012) متعاقب برآورد ET<sub>p</sub> برخی ایستگاه‌های این حوضه طی دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۶، دریافتند روند سالانه ET برخی ایستگاه‌ها افزایشی و برخی دیگر کاهش‌ی غیرمعنی‌دار است. دین‌پژوه و همکاران (Dinpazhooh et al, 2021) با ارزیابی حساسیت تبخیر و تعرق مرجع<sup>۸</sup> شمال‌غرب ایران نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی مؤثر بر آن به این نتیجه رسیدند که در اغلب ایستگاه‌ها، بیش‌ترین میزان ضریب حساسیت این متغیر در مقیاس سالانه و ماهانه مربوط به حداقل و حداکثر دما می‌باشد. پژوهش‌های ارزشمند انجام شده درباره ET حوضه ارس بیش‌تر معطوف به گذشته بوده و پژوهشگران یا به بررسی روند آن پرداخته‌اند یا ضمن مقایسه روش‌های تجربی برآورد ET و انتخاب مناسب‌ترین روش برای محدوده، به پهنه‌بندی آن اقدام نموده‌اند. در این آینده پژوهی که با هدف ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر ET<sub>p</sub> حوضه ارس در افق چند دهه آینده انجام گردید علاوه بر برآورد آن بر مبنای داده‌های مدل اقلیمی CanESM2 تحت سناریوهای RCP با روش تجربی هارگریوز- سامانی و نمایش توزیع فضایی آن، تغییرات آبی متغیر تحت شرایط



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

داده مورد استفاده در این پژوهش به عنوان داده ورودی مدل SDSM و نیز داده موردنیاز برای محاسبه ET<sub>p</sub> به روش هارگریوز - سامانی شامل: حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌های منتخب حوضه ارس طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۵ در مقیاس روزانه است. برای محاسبه ET<sub>p</sub> حوضه ارس در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های ریزمقیاس شده مدل CanESM2 در مقیاس کاه SDSM تحت سناریوهای RCP، ابتدا داده‌های متوسط ماهانه حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌ها براساس داشتن بالاترین ضریب همبستگی با متغیرهای بزرگ مقیاس NCEP در مقیاس روزانه، شبیه‌سازی و پیش‌بینی گردید. پس از آماده‌سازی داده‌ها و محاسبه میانگین ماهانه آن‌ها، ET<sub>p</sub> ایستگاه‌های حوضه برای این دوره محاسبه گردید. سپس ET<sub>p</sub> دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) براساس داده‌های ایستگاهی به روش هارگریوز-سامانی محاسبه شد. با توجه به شروع دوره شبیه‌سازی در مدل SDSM از سال ۲۰۰۶، علت تعیین این بازه زمانی به‌عنوان دوره پایه اجتناب از تداخل دوره و خطا در شبیه‌سازی‌ها است. در ادامه، مقادیر ET<sub>p</sub> دوره گذشته با داده تبخیر ایستگاهی به لحاظ کمی مقایسه شد.

معیارهای ارزیابی دقت روش هارگریوز-سامانی: برای ارزیابی دقت روش هارگریوز-سامانی در برآورد ET<sub>p</sub> ایستگاه‌ها، از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup>، میانگین مطلق خطا<sup>۲</sup>، ضریب نش-ساتکلیف<sup>۱۱</sup>، درصد میانگین مطلق خطا<sup>۱۲</sup>، همبستگی<sup>۱۳</sup> و ضریب تعیین<sup>۱۴</sup> (روابط ۱ تا ۵) به‌عنوان معیاری برای مقایسه ET<sub>p</sub> برآوردی دوره گذشته به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های ایستگاهی با داده تبخیر تحت ایستگاهی در دوره مشترک (۱۹۹۲-۲۰۰۵) استفاده گردید و در نهایت، سری زمانی، توزیع فضایی ET<sub>p</sub> دوره پایه و آینده، ترسیم و تغییرات آتی آن با استفاده از روش تفاضل‌گیری نیز بررسی شد.

رابطه (۱)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (ET_{Test_t} - ET_{Obs_t})^2}{n}}$$

رابطه (۲)

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |ET_{Test_t} - ET_{Obs_t}|}{n}$$

رابطه (۳)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{ET_{Test_t} - ET_{Obs_t}}{ET_{Obs_t}} \right| \times 100$$

رابطه (۴)

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (ET_{Test_t} - ET_{Obs_t})^2}{\sum_{t=1}^n (ET_{Obs_t} - \overline{ET_{Obs_t}})^2}$$

رابطه (۵)

$$R^2 = \frac{\text{Explained Variation}}{\text{Total Variation}}$$

که در این روابط n: تعداد زوج داده‌ها، ET<sub>Obs</sub>: مقدار داده تبخیر و تعرق مشاهداتی در زمان t، ET<sub>Est</sub>: مقدار داده تخمینی تبخیر و تعرق در زمان t، ET<sub>Obs<sub>max</sub></sub>: بزرگ‌ترین مقدار داده تبخیر و تعرق مشاهداتی، ET<sub>Obs<sub>min</sub></sub>: کوچک‌ترین مقدار داده تبخیر و تعرق مشاهداتی است. دامنه دو تابع اولی، از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت متغیر است و هر چند بهترین حالت متصور برای این تابع این است که برابر صفر باشند اما این اتفاق چندان رایج نبوده و هر مدلی با درصدی از خطای تخمین همراه است. تابع ۳ می‌تواند مقادیری بین صفر تا صد داشته باشد. اگر NS بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد نتایج شبیه‌سازی عالی توصیف می‌شود و زمانی که مقادیر آن بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد نتایج رضایت‌بخش است؛ رضایی و همکاران (Rezaei et al, 2014). تابع ۵ بین صفر و یک متغیر است. مقدار یک به معنی برآزش کامل است که نشانگر تناسب کامل بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی است.

مدل CanESM2: نسل دوم مدل کانادایی سیستم زمین (CanESM2)، مدل CanCM4 و چرخه کربن زمین را براساس مدل CTEM<sup>۱۵</sup> (Avora and Boer, 2010) که تبادل کربن خشکی-جو را مدل می‌کند، ترکیب می‌نماید. مدل‌های CTEM تمامی فرآیندهای اولیه اکوسیستم‌های زمین را براساس تغییرات تاریخی در نواحی زراعی مدل‌سازی می‌کند. غلظت گازهای گلخانه‌ای و وردایی خورشید براساس توصیه‌های CMIP5 است. علاوه بر این‌ها، اثرات فوران‌های آتش‌فشانی نیز گنجانده شده است. مؤلفه اتمسفری CanCM4، چهارمین نسل مدل گردش کلی جو است که ۳۵ تراز از سطح زمین تا تراز یک هکتوپاسکال دارد. مؤلفه اقیانوسی CanCM4 متفاوت از CanCM3 است زیرا ۴۰ تراز با وضوح تقریباً ۱۰ متر در لایه اقیانوس فوقانی را شامل می‌شود. اختلاط عمودی اقیانوس از طریق پارامترسازی k-profile لارج و همکاران (Large et al, 2001) و پارامترسازی اختلاط با منشأ جزر و مدی مشابه سمونز و همکاران (۲۰۰۴) نشان داده می‌شود (Chylek et al, 2011).

## بحث و نتایج

مقادیر  $ET_p$  هارگریوز- سامانی به جز ماکو که در دوره ۱۹۸۵-۲۰۰۵ بیشتر از ۱۹۹۲-۲۰۰۵ است، در بقیه ایستگاه‌ها در دوره ۱۹۹۲-۲۰۰۵ بزرگ‌تر از مقادیر دوره پایه است. این می‌تواند نشان‌دهنده افزایش مقدار این متغیر در انتهای دوره پایه نسبت به دهه اول آن و افزایشی بودن روند متغیر در این ایستگاه‌ها باشد.

مقایسه مقادیر  $ET_p$  برآوردی دوره آینده و گذشته (جدول ۱) نشان می‌دهد  $ET_p$  برآوردی به روش هارگریوز - سامانی در دوره گذشته نسبت به داده تبخیر ایستگاهی به‌جز پارس‌آباد و خوی بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در سال بیش‌برآورد و در سایر ایستگاه‌ها کم‌برآورد می‌کند.

جدول ۱: مقایسه داده تبخیر تحت ایستگاه‌ها با  $ET_p$  تخمینی به روش هارگریوز- سامانی برای دوره گذشته (براساس داده ایستگاهی) و

دوره آینده بر مبنای خروجی SDSM

دوره	اردبیل	اهر	پارس‌آباد	جلفا	خوی	ماکو	حوضه
۱۹۸۵-۲۰۰۵	۱۸۶۲/۳	۱۹۳۴/۷	۲۲۲۳	۲۲۶۷/۳	۲۲۰۳	۱۸۶۶/۲	$ET_p$
۱۹۹۲-۲۰۰۵	۱۸۸۴/۶	۱۹۴۴/۳	۲۲۲۵/۵	۲۲۷۵/۶	۲۲۱۰/۱	۱۸۶۴/۱	$ET_p$
۱۹۹۲-۲۰۰۵	۱۱۱۹/۱	۱۶۸۱/۶	۱۳۶۵/۹	۲۲۴۳/۱	۱۳۰۶/۸	۱۴۰۸/۱	تبخیر تحت
۲۰۲۱-۲۰۵۰	۱۸۵۲/۴	۱۹۳۱	۲۲۵۵/۱	۲۲۸۰/۲	۲۱۸۵/۵	۱۸۵۶/۴	RCP2.6_ $ET_p$
۲۰۲۱-۲۰۵۰	۱۸۵۱/۵	۱۹۳۳	۲۲۵۲/۷	۲۲۸۵/۴	۲۱۸۳/۲	۱۸۶۸/۳	RCP4.5_ $ET_p$
۲۰۲۱-۲۰۵۰	۱۸۴۴/۶	۱۹۲۸/۷	۲۲۴۸/۱	۲۲۷۳/۱	۲۱۷۹/۲	۱۸۶۶/۹	RCP8.5_ $ET_p$

## اعتبارسنجی برآورد

مذکور در همه ایستگاه‌ها به‌جز اردبیل (۰/۸۴) و جلفا (۰/۸۹) در سایر ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۹۰ است. همچنین بر حسب معیار MAE در جلفا و بر حسب MAPE و RMSE در اهر دقت روش هارگریوز- سامانی در برآورد  $ET_p$  بیشتر از بقیه ایستگاه‌ها است. همچنین با توجه به معیار NS دقت این روش در تخمین  $ET_p$  گذشته اهر و ماکو، عالی و در بقیه ایستگاه‌ها رضایت‌بخش است.

همان‌طور که اشاره شد، برای ارزیابی دقت روش هارگریوز- سامانی در برآورد  $ET_p$  ایستگاه‌ها، از معیارهایی برای مقایسه مقادیر تخمینی این روش و داده ایستگاهی (تبخیر تحت) در دوره مشترک (۱۹۹۲-۲۰۰۵) استفاده شد. نتایج محاسبه معیارهای ارزیابی آماری برای مقایسه  $ET_p$  ماهانه به روش هارگریوز- سامانی و داده‌های تبخیر ایستگاهی در جدول ۲ آمده است. مطابق جدول، همبستگی بین دو داده

جدول ۲: نتایج محاسبه معیارهای ارزیابی آماری برای مقایسه  $ET_p$  ماهانه به روش هارگریوز- سامانی و داده تبخیر ایستگاهی در دوره

۱۹۹۲-۲۰۰۵

ایستگاه	تعداد	R	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	NS	MAPE
اردبیل	۱۶۸	۰/۸۴	۰/۷۰	۵۸/۵	-۲۱/۸۹	۰/۵۸	۲۰/۶۲
اهر	۱۶۸	۰/۹۲	۰/۸۴	۳۱/۹۳	-۲۱/۸۹	۰/۸۹	۱۴/۳۶
پارس‌آباد	۱۶۸	۰/۹۱	۰/۸۳	۶۵/۱۹	-۷۱/۶۳	۰/۶۷	۲۳/۳۲
جلفا	۱۶۸	۰/۸۹	۰/۸۰	۷۸/۵۷	-۲/۷۱	۰/۵۴	۲۰/۰۳
خوی	۱۶۸	۰/۹۴	۰/۸۸	۶۸/۶۸	-۷۵/۲۷	۰/۶۴	۲۳/۶
ماکو	۱۶۸	۰/۹۳	۰/۸۶	۳۳/۳۴	-۵۱/۸۱	۰/۸۹	۱۰/۷

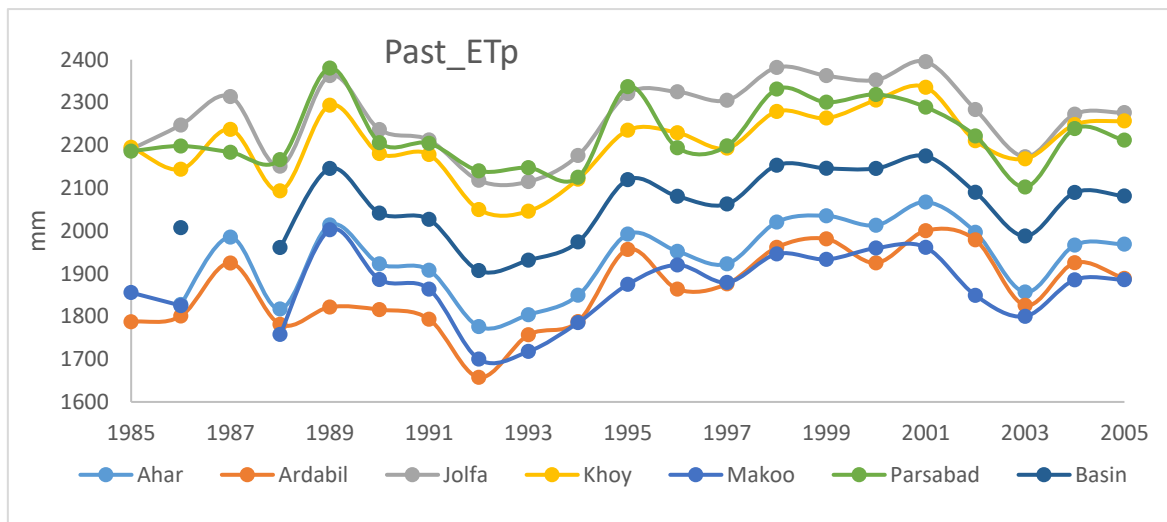
بررسی  $ET_p$  دوره پایه

در سه ایستگاه واقع در عرض جغرافیایی ۳۸/۵۵ تا ۳۹/۶۵ درجه یعنی جلفا، خوی و پارس‌آباد حدود ۲۲۳۱ میلی‌متر در سال است اما در دو ایستگاه واقع در عرض جغرافیایی پایین‌تر از آن‌ها (اهر و اردبیل) و ماکو با عرض جغرافیایی ۳۹/۳۳ درجه حدود ۱۸۸۸ میلی‌متر در سال است.

$ET_p$  حوضه در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) به روش هارگریوز- سامانی که در آن عرض جغرافیایی عامل مهمی است نشان می‌دهد (شکل ۲) ایستگاه‌های حوضه از نظر مقدار این متغیر در دو دسته قرار گرفته‌اند. متوسط  $ET_p$

همچنین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۱ به‌عنوان دو خیز مشخص هستند که بیش‌ترین مقدار ET<sub>p</sub> برآوردی را به خود اختصاص داده‌اند. روند گذشته این متغیر در ایستگاه‌های حوضه تقریباً تا پیش از سال ۱۹۹۵ نزولی و بعد از ۱۹۹۵ صعودی است. متوسط ET<sub>p</sub> سالانه در جلفا، پارس آباد، خوی، اهر، ماکو و اردبیل و کل حوضه به ترتیب ۲۲۶۷/۳، ۲۲۲۳، ۲۲۰۳، ۱۹۳۴/۷، ۱۸۶۶/۲، ۱۸۶۲/۳ و

۲۰۵۹/۴ میلی‌متر به دست آمد. میانگین ET<sub>p</sub> حوضه در دوره پایه ۲۰۵۹/۴ میلی‌متر به دست آمد که ایستگاه‌ها در دو دسته سه‌گانه در بالا و پایین میانگین حوضه قرار گرفتند به طوری که میانگین ET<sub>p</sub> سه ایستگاه جلفا، پارس‌آباد و خوی ۲۲۳۱ میلی‌متر و میانگین ET<sub>p</sub> سه ایستگاه اردبیل، اهر و ماکو ۱۸۸۷/۷ میلی‌متر محاسبه شد.

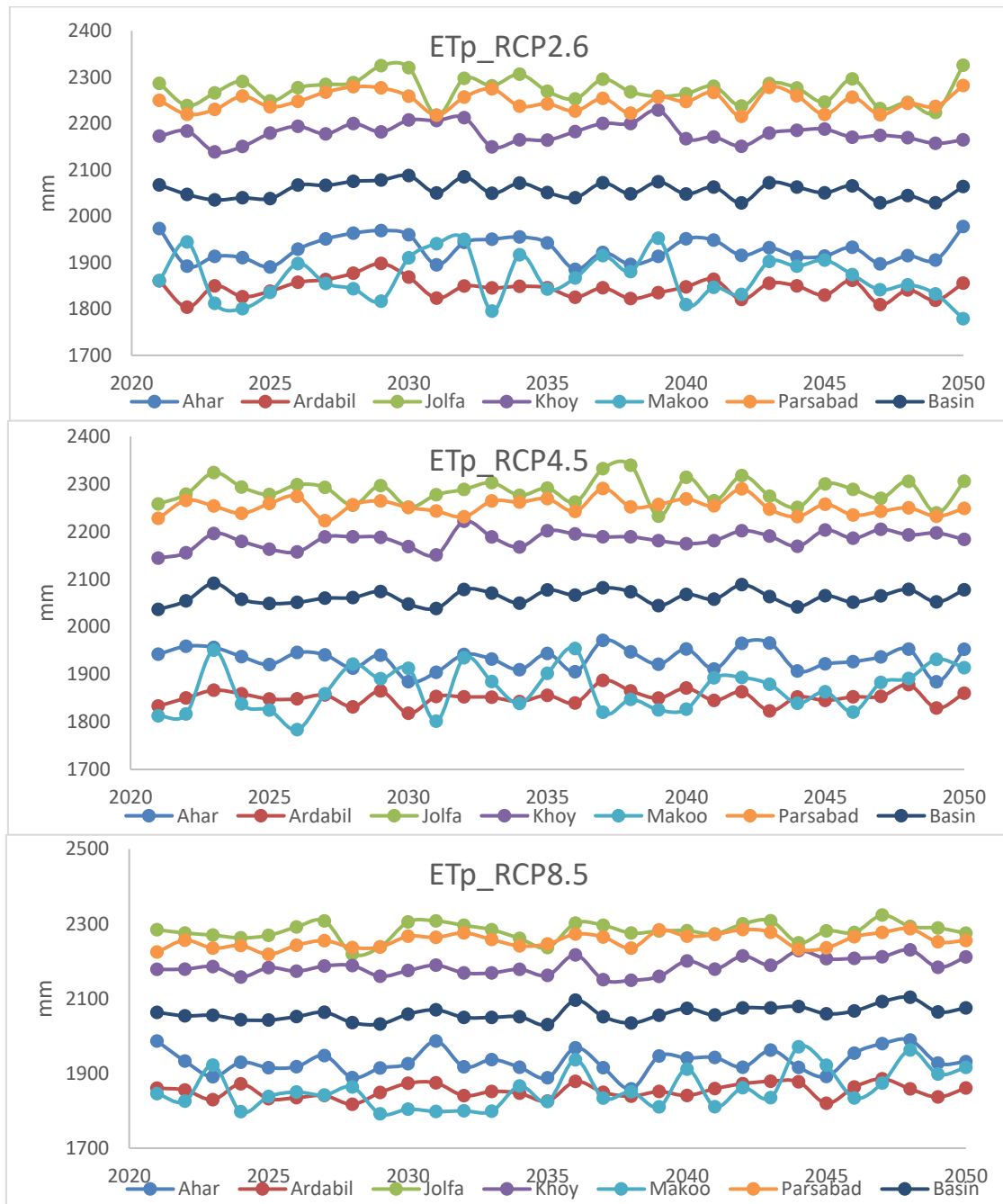


شکل ۲: سری زمانی ET<sub>p</sub> حوضه ارس در دوره پایه به روش هارگریوز- سامانی بر مبنای داده‌های ایستگاهی

بررسی ET<sub>p</sub> دوره آینده در شکل ۳ سری زمانی ET<sub>p</sub> برآوردی حوضه برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش هارگریوز- سامانی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP آورده شده است. هر چند مقادیر برآوردی سه سناریو اختلاف کمی با هم دارند ولی روند ET<sub>p</sub> آتی ایستگاه‌ها تحت هر سه سناریو صعودی است. ET<sub>p</sub> حوضه با این روش تحت سناریوی RCP4.5 بیشتر از سناریوی RCP8.5 و تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی RCP2.6 برآورده شده است. متوسط سالانه این متغیر در حوضه تحت سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲۰۵۸/۸، ۲۰۶۲/۴ و ۲۰۶۰/۱ میلی‌متر محاسبه شد که نسبت به دوره پایه به ترتیب ۰/۶ میلی‌متر کاهش و ۲/۹ و ۰/۷ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد. متوسط ET<sub>p</sub> سالانه تحت سناریوی RCP4.5 در جلفا، پارس‌آباد، خوی،

اهر، ماکو و اردبیل به ترتیب ۲۲۸۵/۴، ۲۲۵۲/۷، ۲۱۸۳/۲، ۱۹۳۳، ۱۸۶۸/۳ و ۱۸۵۱/۵ میلی‌متر برآورد شده است. ترتیب ایستگاه‌ها در دو سناریوی دیگر به همین نحو بوده و جلفا بیشترین و اردبیل کمترین مقدار ET<sub>p</sub> برآوردی را دارند. ET<sub>p</sub> جلفا و پارس‌آباد تحت هر سه سناریو روند افزایشی را نشان می‌دهند. ET<sub>p</sub> جلفا تحت سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه به ترتیب ۵/۸، ۱۸ و ۱۲/۹ میلی‌متر در سال افزایش خواهد یافت. ET<sub>p</sub> پارس‌آباد نیز بین ۲۵ تا ۳۲ میلی‌متر در سال افزایش خواهد داشت. ET<sub>p</sub> ماکو تحت سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 افزایش ۰/۶ و ۲/۹ میلی‌متر در سال خواهد داشت اما تحت سناریوی RCP8.5 روند کاهشی را نشان می‌دهد. ET<sub>p</sub> اردبیل، اهر و خوی تحت هر سه سناریو روند کاهشی را نشان می‌دهند.





شکل ۳: ET<sub>p</sub> برآوردی حوزه ارس برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش هارگریوز-سامانی براساس خروجی SDSM

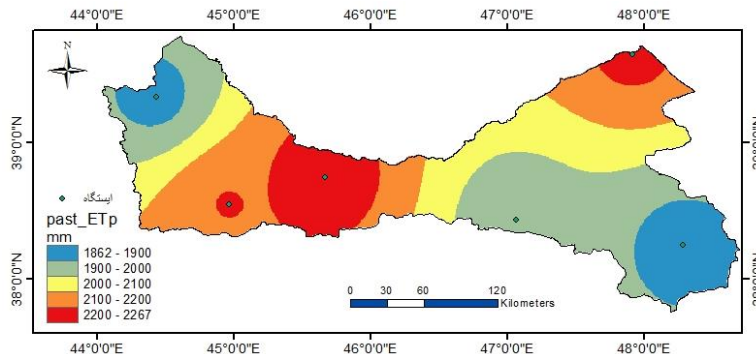
### بررسی فضایی ET<sub>p</sub> حوزه ارس

پراکنش فضایی ET<sub>p</sub> سالانه حوزه ارس در دوره پایه (شکل ۴) نشان می‌دهد که مقدار این متغیر در اردبیل، اهر (جنوب شرقی حوزه) و ماکو (شمال غربی حوزه) کمتر از ۱۹۰۰ میلی‌متر و در پارس‌آباد (شمال شرقی حوزه) و جلفا و خوی (نواحی میانی حوزه) بیشتر از ۲۲۰۰ میلی‌متر در سال است. نقشه‌های ET<sub>p</sub> سالانه حوزه ارس برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) براساس ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP (شکل ۵) نیز توزیع

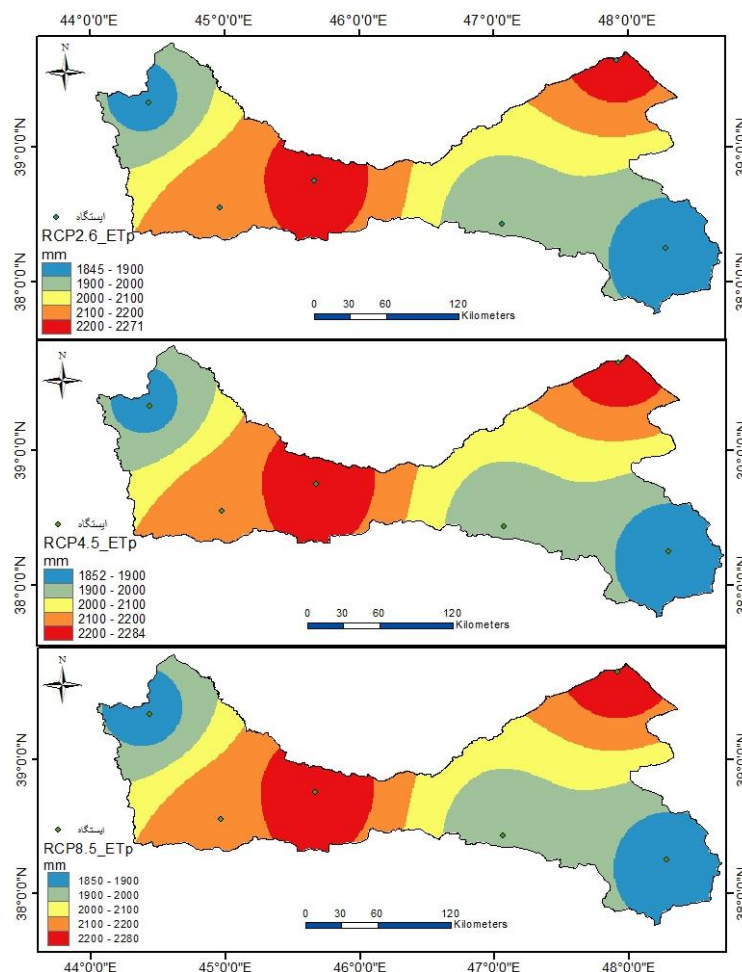
فضایی مشابه هم داشته و تا حدی شبیه به نقشه ET<sub>p</sub> گذشته است. ET<sub>p</sub> سالانه تحت سناریوی RCP2.6 در اردبیل کمتر از ۱۸۵۰ میلی‌متر، در ماکو کمتر از ۱۹۰۰ میلی‌متر، در اهر کمتر از ۲۰۰۰ میلی‌متر، در خوی بیشتر از ۲۱۰۰ میلی‌متر و در جلفا و پارس‌آباد بیشتر از ۲۲۰۰ میلی‌متر است. در دو سناریوی دیگر ET<sub>p</sub> اردبیل بیش از ۱۸۵۰ میلی‌متر برآورد شده و طبقات سایر ایستگاه‌ها مشابه با نقشه ET<sub>p</sub> تحت سناریوی RCP2.6 است با این توضیح که مقدار بیشینه طبقه آخر آن‌ها اندکی بیشتر از این

۱۸ و ۱۲/۹ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. بیشترین تغییر کاهشی مربوط به خوی (جنوب‌غربی حوضه) است که در هر سه سناریو بیش از ۱۰ میلی‌متر و تحت سناریوی RCP2.6 به مقدار ۲۴ میلی‌متر است.  $ET_p$  سالانه ماکو تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 کمتر از ۱۰ میلی‌متر افزایش و تحت سناریوی RCP8.5 کمتر از ۱۰ میلی‌متر کاهش را نشان می‌دهد.

سناریو است. شکل ۶ اختلاف مقادیر برآوردی  $ET_p$  آینده حوضه با دوره پایه را نشان می‌دهد. الگوی فضایی مقادیر اختلاف  $ET_p$  تحت هر سه سناریو شبیه به هم بوده و بیشترین تغییر افزایشی  $ET_p$  سالانه دوره آینده در مقایسه با دوره پایه به پارس‌آباد و در مرتبه دوم جلفا تعلق دارد.  $ET_p$  پارس‌آباد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲۵، ۳۰ و ۳۲ میلی‌متر و در جلفا ۵/۸،



شکل ۴: پراکنش فضایی  $ET_p$  سالانه حوضه ارس در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) بر مبنای داده ایستگاهی

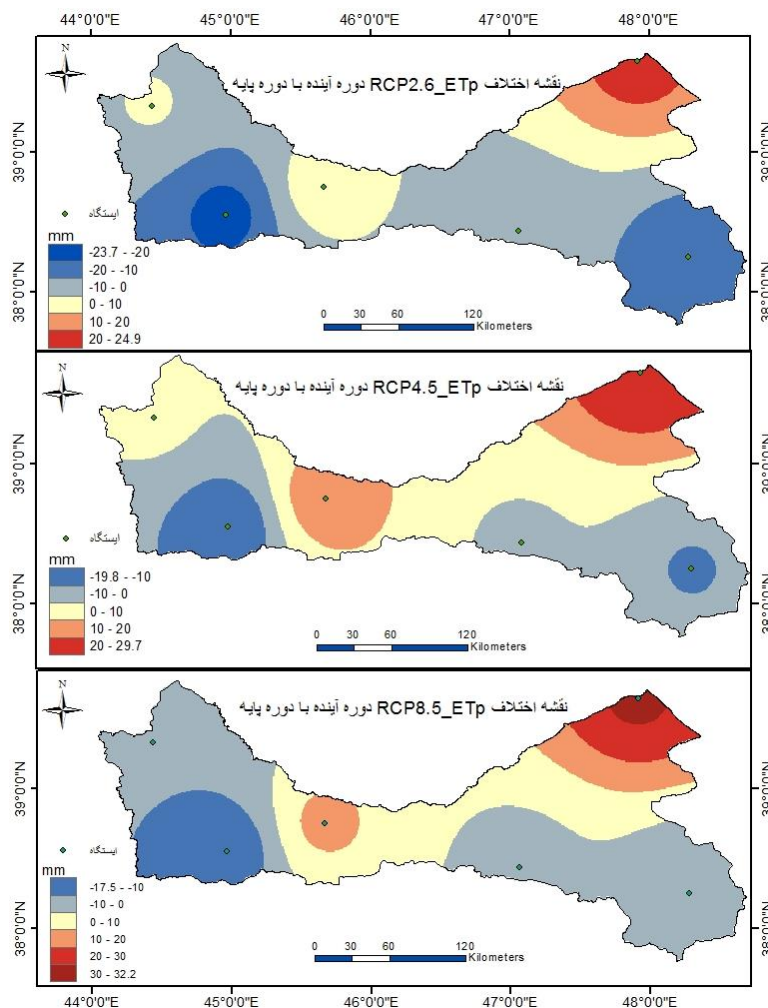


شکل ۵: پراکنش فضایی  $ET_p$  حوضه ارس در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) براساس خروجی SDSM

### تغییرات $ET_p$ حوزه ارس

مجموع  $ET_p$  ایستگاه‌ها در دوره پایه و آینده و تفاضل مقادیر دوره آینده از دوره پایه در جدول ۳ آمده است. مقدار سالانه این متغیر در دوره آینده تحت هر سه سناریوی RCP در پارس‌آباد و جلفا و تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 در ماکو دارای روند افزایشی است. این متغیر در مقیاس سالانه به‌طور متوسط در پارس‌آباد ۲۹ میلی‌متر و در جلفا ۱۲/۲ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. مقدار  $ET_p$  در چهار ایستگاه دیگر کاهش خواهد یافت که مقدار کاهش سالانه آن در خوی، اردبیل، اهر و ماکو به ترتیب ۲۰/۴، ۱۲/۸، ۳/۸ و ۲/۳ میلی‌متر خواهد بود. مقدار سالانه این متغیر در سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲/۷ میلی‌متر کاهش و ۲/۹ و ۰/۷ میلی‌متر افزایش و به‌طور متوسط در سطح حوزه ۰/۳ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. مقادیر برآوردی  $ET_p$  تحت

سناریوی RCP4.5 تقریباً بیشتر از دو سناریوی دیگر است. هر چند  $ET_p$  سالانه اردبیل، اهر و خوی تحت هر سه سناریو روند کاهشی را نشان دادند اما تغییرات آتی  $ET_p$  ماهانه آن‌ها در برخی از ماه‌ها افزایشی است. از جمله اینکه خوی در ژانویه، آوریل، ژوئن و اوت، اردبیل در ژانویه، می، ژوئن و نوامبر و اهر در ژانویه، آوریل، ژوئن و اوت و جلفا در ژانویه تا اوت، پارس‌آباد در ژانویه، آوریل تا ژوئن، اوت تا نوامبر، ماکو در آوریل، ژوئن تا اوت با افزایش این متغیر روبرو خواهند بود.  $ET_p$  آبی ایستگاه‌ها در سایر ماه‌هایی که ذکر نشد روند کاهشی را نشان می‌دهد. با اندکی اغماض می‌توان گفت این متغیر در ژانویه، آوریل تا ژوئن و اوت در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی است که مقدار این افزایش نسبت به دوره پایه در دامنه‌ای بین ۰/۱ تا ۲۴/۳ میلی‌متر قرار دارد.



شکل ۶: نقشه‌های تفاضل  $ET_p$  آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به گذشته (۱۹۸۵-۲۰۰۵) به روش هارگریوز- سامانی براساس خروجی

SDSM

جدول ۳: میانگین ET<sub>p</sub> ایستگاه‌ها در دوره پایه و آینده و میانگین تفاضل مقادیر برآوردی آینده از دوره پایه

ایستگاه	ET <sub>p</sub> (mm)	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
اردبیل	دوره پایه	۳۹/۹	۵۷/۱	۱۰۴	۱۸۳/۶	۲۴۱/۵	۲۸۵	۲۷۷/۶	۲۴۸/۲	۱۹۱/۳	۱۲۱/۹	۶۸/۸	۴۲/۳	۱۸۶۲/۳
	RCP2.6	۳۹/۶	۵۱/۸	۹۸/۳	۱۸۲/۵	۲۴۷	۲۹۹	۲۶۹/۷	۲۳۷/۸	۱۸۲/۲	۱۱۶	۷۹/۷	۴۱	۱۸۴۴/۶
	RCP4.5	۴۱/۱	۵۲/۲	۹۸/۵	۱۸۳	۲۴۵/۹	۲۹۸/۵	۲۷۱/۹	۲۳۹/۹	۱۸۳/۹	۱۱۶/۷	۷۹	۴۱	۱۸۵۱/۵
	RCP8.5	۴۱/۱	۵۱/۲	۱۰۰/۶	۱۸۲/۹	۲۴۷/۸	۲۹۹/۳	۲۶۹/۹	۲۳۸/۳	۱۸۳/۲	۱۷۲	۷۹/۸	۴۱/۲	۱۸۵۲/۴
	میانگین تفاضل	۰/۷	-۵/۴	-۴/۹	-۰/۹	۵/۴	۱۳/۹	-۷/۱	-۹/۶	-۸/۲	-۵/۳	۱۰/۷	-۲/۲	-۱۲/۸
اهر	دوره پایه	۳۹/۴	۵۷	۱۰۲/۸	۱۷۷/۹	۲۴۲/۳	۳۰۳/۱	۳۰۴/۸	۲۷۰/۸	۲۰۵/۲	۱۲۳/۸	۶۵/۹	۴۰/۸	۱۹۳۴/۷
	RCP2.6	۴۰/۸	۵۲/۳	۹۶/۲	۱۸۲/۸	۲۴۰/۷	۳۲۱/۶	۳۰۴/۵	۲۷۸/۲	۱۹۱/۴	۱۲۰/۴	۶۱/۴	۳۸/۳	۱۹۲۸/۷
	RCP4.5	۴۲/۳	۵۳/۴	۹۶/۸	۱۸۲/۸	۲۴۲/۶	۳۲۳/۲	۳۰۱/۱	۲۸۰/۲	۱۹۲/۴	۱۲۰/۳	۵۹/۶	۳۸/۳	۱۹۳۳
	RCP8.5	۴۱/۳	۵۳/۷	۹۷/۳	۱۸۱/۷	۲۴۴/۷	۳۱۹/۶	۳۰۲/۷	۲۷۶/۱	۱۹۱/۱	۱۲۱	۶۲	۳۸/۷	۱۹۳۱
	میانگین تفاضل	۲/۱	-۳/۸	-۶	۴/۵	-۰/۷	۱۸/۴	-۱/۷	۷/۴	-۱۳/۵	-۳/۲	-۴/۹	-۲/۴	-۳/۸
پارس- آباد	دوره پایه	۵۲	۷۴/۲	۱۱۹/۴	۲۰۳/۵	۲۸۵/۸	۳۶۰/۱	۳۶۲/۹	۳۰۹/۱	۲۱۴/۸	۱۲۳/۵	۶۹/۴	۴۸/۴	۲۲۲۳
	RCP2.6	۵۲/۴	۶۲/۴	۱۱۷/۸	۲۰۸/۹	۲۹۶/۴	۳۷۹	۳۴۸/۵	۳۱۷/۱	۲۲۱/۱	۱۲۷/۸	۷۱/۸	۴۴/۹	۲۳۴۸/۱
	RCP4.5	۵۱/۶	۶۳/۱	۱۱۸/۷	۲۰۸/۸	۲۹۵/۶	۳۷۹/۵	۳۵۰/۶	۳۱۸/۲	۲۲۱/۶	۱۲۸/۲	۷۰/۷	۴۵/۹	۲۲۵۲/۷
	RCP8.5	۵۲/۲	۶۱/۷	۱۲۰/۲	۲۰۸/۲	۲۹۸	۳۸۰/۵	۳۴۸/۳	۳۱۷	۲۲۲/۳	۱۲۸/۹	۷۲/۲	۴۵/۷	۲۲۵۵/۱
	میانگین تفاضل	۰/۱	-۱۱/۹	-۰/۵	۵/۳	۱۰/۹	۱۹/۶	-۱۳/۸	۸/۳	۶/۹	۴/۸	۲/۲	-۲/۹	۲۹
جلفا	دوره پایه	۴۰/۵	۶۷/۸	۱۲۷/۴	۲۱۴/۴	۲۹۲/۴	۳۵۴/۲	۳۵۲/۶	۳۱۶/۴	۲۴۱/۸	۱۴۲/۸	۷۵	۴۱/۸	۲۲۶۷/۳
	RCP2.6	۴۲/۷	۶۸/۸	۱۲۹/۶	۲۱۷/۶	۲۹۵/۱	۳۷۹/۴	۳۵۱/۹	۳۱۹	۲۲۹/۶	۱۳۶/۲	۶۴/۱	۳۹/۱	۲۲۷۳/۱
	RCP4.5	۲/۹	۷۰	۱۳۱/۹	۲۱۹/۵	۲۹۴/۴	۳۸۱/۶	۳۵۵/۷	۳۲۰/۶	۲۳۰/۲	۱۳۵/۶	۶۳/۴	۳۹/۷	۲۲۸۵/۴
	RCP8.5	۴۳	۷۲/۸	۱۳۴/۵	۲۱۸/۶	۲۹۴	۳۷۴/۵	۳۵۶/۶	۳۱۸/۱	۲۲۹	۱۳۷/۲	۶۲/۹	۳۸/۹	۲۲۸۰/۲
	میانگین تفاضل	۲/۳	۲/۷	۴/۶	۴/۲	۲/۱	۲۴/۳	۲/۱	۲/۸	-۱۲/۳	-۶/۴	-۱۱/۶	-۲/۵	۱۲/۲
خوی	دوره پایه	۳۹/۵	۶۳/۴	۱۱۶/۷	۱۹۹/۱	۲۶۸/۶	۳۳۸/۵	۳۵۹/۵	۳۲۴/۸	۲۴۱/۷	۱۳۸/۴	۷۲/۳	۴۰/۵	۲۲۰۳
	RCP2.6	۳۹/۴	۵۷	۱۱۳/۳	۱۹۹/۴	۲۶۷/۷	۳۳۳/۸	۳۵۲/۱	۳۲۲/۸	۲۳۷/۶	۱۲۹/۷	۶۶/۹	۳۹/۵	۲۱۷۹/۲
	RCP4.5	۳۹/۸	۵۸/۱	۱۱۶/۵	۲۰۰/۵	۲۶۶/۱	۳۴۳	۳۵۲/۶	۳۲۳/۳	۲۳۷/۵	۱۲۸/۶	۶۶/۶	۳۹/۷	۲۱۸۳/۲
	RCP8.5	۴۰/۲	۵۸/۳	۱۱۹/۶	۲۰۰/۵	۲۶۷	۳۳۹	۳۵۱/۵	۳۲۴/۶	۲۳۷/۷	۱۳۱	۶۶/۷	۳۹/۵	۲۱۸۵/۵
	میانگین تفاضل	۰/۳	-۵/۶	-۰/۲	۱/۱	-۱/۷	۳/۴	-۷/۱	۸/۷	-۴/۱	-۸/۶	-۵/۶	-۰/۹	-۲۰/۴
ماکو	دوره پایه	۳۱/۵	۴۹	۹۱/۹	۱۶۴	۲۲۸/۱	۲۹۳/۱	۳۱۷/۶	۲۸۲/۹	۲۰۴/۱	۱۱۲/۶	۵۸/۸	۳۲/۶	۱۸۶۶/۲
	RCP2.6	۳۰/۵	۴۶/۶	۹۰/۶	۱۶۷/۶	۲۱۲/۶	۳۰۷/۲	۳۲۲/۱	۲۹۶/۹	۲۰۲/۱	۱۰۵/۳	۵۴/۳	۳۱/۲	۱۸۶۶/۹
	RCP4.5	۳۱/۲	۴۷/۶	۹۱/۶	۱۶۷/۹	۲۱۲/۲	۳۰۵/۸	۳۲۲/۶	۲۹۷/۹	۲۰۱/۷	۱۰۴/۷	۵۳/۶	۳۰/۷	۱۸۶۸/۳
	RCP8.5	۳۱/۳	۴۸/۵	۹۲/۳	۱۶۷/۶	۲۱۱/۹	۲۹۳	۳۲۲/۴	۲۹۶/۳	۲۰۱/۷	۱۰۵/۸	۵۳/۵	۳۱/۲	۱۸۵۶/۴
	میانگین تفاضل	-۰/۵	-۱/۵	-۰/۴	۳/۷	-۱۵/۸	۸/۹	۵/۴	۱۴/۱	-۲/۳	-۷/۳	-۵/۱	-۱/۶	-۲/۳

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، داده‌های روزانه متوسط حداقل و حداکثر دما به‌منظور ترسیم دورنمای ET<sub>p</sub> به روش هارگریوز-سامانی تا دهه ۲۰۵۰ میلادی برای ۶ ایستگاه سینوپتیک بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه ارس براساس مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP با استفاده از SDSM ریزمقیاس شد. سه دسته داده به کار رفته شامل داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها و داده‌های بازتحلیل (NCEP) در بازه

زمانی روزانه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) و نیز داده‌های تاریخی مدل CanESM2 (historical-2005) و تحت سناریوهای RCP (برای بازه زمانی ۲۱۰۰-۲۰۰۶) است. براساس خروجی مدل، میزان دمای حداکثر و حداقل ایستگاه‌ها (به‌عنوان پیش‌نیازهای محاسبه ET<sub>p</sub> به روش هارگریوز-سامانی)، در دوره آینده در مقایسه با دوره پایه سیر افزایشی جزئی دارند که در توافق با نتایج پژوهش‌های احمدی و همکاران (Ahmadi et al, 2015)، ذرتی‌پور و همکاران (Zoratipour)

سالانه این متغیر بر حسب ایستگاهی در اردبیل، اهر و خوی تغییر کاهشی و در پارس آباد و جلفا تغییر افزایشی خواهند داشت. مقدار این افزایش در پارس آباد (۲۹ میلی متر) و جلفا (۱۲/۲ میلی متر) خواهد بود.  $ET_p$  ماهانه حوضه در دوره آینده تقریباً در ژانویه، آوریل تا ژوئن و اوت با دامنه‌ای بین ۰/۱ تا حداکثر ۲۴/۳ میلی متر نسبت به دوره پایه افزایشی برآورد شد که این افزایش به معنی افزایش نیاز آبی گیاهان در آینده در فصل رشد، کاهش نفوذ و افزایش تبخیر آب حاصل از بارندگی و ذوب برف و کاهش تغذیه آبخوان‌ها است.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

(et al, 2018)، گودرزی و همکاران (Goodarzi et al, 2016)، جوادیزاده و همکاران (Javadizadeh et al, 2017)، فرخ زاده و همکاران (Farrokhzadeh et al, 2020)، زهیری و همکاران (Zoheyri et al, 2020)، حشمتی و سیاری (Heshmati and Sayari, 2021) در محدوده‌های مطالعاتی آنان است. نتایج محاسبه  $ET_p$  به روش هارگریوز-سامانی در دوره آتی براساس ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دمای مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP نشان داد که مقدار این متغیر تحت سناریوی RCP2.6 نسبت به دوره پایه، کاهش و تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 افزایش خواهد داشت اما مقدار این متغیر در سطح حوضه در مقیاس سالانه نسبت به  $ET_p$  دوره پایه (به روش هارگریوز-سامانی) افزایش جزئی خواهد یافت. این یافته با نتایج پژوهش ذرتی‌پور و همکاران (Zoratipour et al, 2018) در شهرستان اهواز و حشمتی و سیاری (Heshmati and Sayari, 2021) در بندر انزلی همسویی دارد. در مقیاس

### پانویس

- 1-Evapotranspiration (ET)
- 2-Scintillometer
- 3-The second generation Canadian Earth System Model (CanESM2)
- 3-Statistical DownScaling Model
- 4-Representative Concentration Pathway
- 5-Special Report on Emissions Scenarios
- 6-The WCRP Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5 (CMIP5)

- 7-Sorman
- 8-Reference Crop Evapotranspiration ( $ET_o$ )
- 9-Root Mean Squared Error
- 10-Mean Absolute Error
- 11-Nash-sutcliffe
- 12-Mean Absolute Percentage Error
- 13-Correlation
- 14-Coefficient of determination (R-squared)
- 15-Canadian Terrestrial Ecosystem Model

### References

- Aalijahan, M., Salahi, B. and Hatami, D., 2021. Investigating the relationship between changes in atmospheric greenhouse gases and discharge fluctuations in the Basin of Aras River, International Journal of Geography and Geography Education (IGGE), v. 44, p. 461-474. <https://www.researchgate.net/publication/352088704>
- Ahmadi, A., Khoramian, A., & Safavi, H., 2015. Assessment of Climate Change Impacts on Snow-Runoff Processes a Case Study: Zayandehroud River Basin. Iran-Water Resources Research, v. 11(2), p. 70-82 (in Persian).
- Arora, V.K. and Boer, G.J., 2010. Uncertainties in the 20th century carbon budget associated with land use change, Glob. Change Biol, v. 16(12), p. 3327-3348, Doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02202.x
- Chen, Y., Xia, J., Liang, Sh., Eeng, J. et al, 2014. Comparison of satellite-based evapotranspiration models over terrestrial ecosystems in China, Remote Sensing of Environment, v. 140, p. 279-293.
- Chylek, P., Li, J., Dubey, M.K., Wang, M. and Lesins, G., 2011. Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian Earth System Model CanESM2, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, v. 11, p. 22893-22907.
- Dinpazhooh, Y, Jahanbakhsh Asl, S, Foroughi, M., 2019. Sensitivity analysis of reference crop evapotranspiration to change in meteorological parameters in north-west and west of Iran. Journal of water and soil

- resources conservation, v. 8(2), p. 1-14 (in Persian).
- Dong Phuong, D.N., Duong, T.Q., Liem, N.D., Quynh Tram, V.N., Cuong, D.K. & Kim Loi, N., 2020. Projections of Future Climate Change in the Vu Gia Thu Bon River Basin, Vietnam by Using Statistical DownScaling Model (SDSM). *Water*, v. 12, p. 75-95, Doi:10.3390/w12030755
- Esfandiari, F., Ali-Jahan, M., Rahimi, M., Mehrovarz, A., 2013. Statistical detection of the effect of global warming on the discharge anomalies of Aras river basin, *Quantitative Geomorphological Research*, 1(4), p. 43-60 (in Persian).
- Esmailpour, M., & Dinpazhooh, Y., (2012). Analyzing long term trend of potential evapotranspiration in the Southern parts of the Aras river basin. *Geography and Environmental Planning*, v. 23(3), p. 193-210 (in Persian).
- Esmailpour, M., 2016. Assessment of water balance for agricultural use in the southern basin of Aras River, master's thesis, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz (in Persian).
- Farid Giglou, B., Ghazavi, R., & Dokhani, S., 2020. Assessing the Impact of Climate Change on Aras River Flow (Case Study: Ardabil Province). *Iran-Water Resources Research*, v. 16(3), p. 198-211 (in Persian).
- Farrokhzadeh, B, Choobeh, S, Bazrafshan, O., 2020. Assessing the climate change effects on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), case study: Latian dam. *Journal of rainwater catchment systems*, v. 8(3(26)), p. 59-72 (in Persian).
- Fataei, E., Aziz, A. I., Seied Safaviyan, S. T., Imani, A. A., Ojaghi, A., & Farhadi, H., 2017. Prediction of the changes in some climate variables in Darehrood River of Aras Basin over next decades using of GCM Models. v. 11(39), p. 1-13 (in Persian).
- Feng Huang, Y., Tat Ang, J., Jie Tiong, Y., Mirzaei, M. and Mat Amin, M.Z., 2016. Drought Forecasting using SPI and EDI under RCP-8.5 Climate Change Scenarios for Langat River Basin, Malaysia, *Procedia Engineering*, v. 154, p. 710-717.
- Goodarzi M, salahy B, Hosseini A., 2016. Performance Analysis of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin. *Jwmseir*. 9(31), p. 11-23 (in Persian).
- Heshmati, F., & Sayari, N., 2021. Projected changes of potential evapotranspiration under RCP climate change scenarios (Case study: Bandar Anzali). *Journal of Agricultural Meteorology*, v. 9(1), p. 63-76 (in Persian).
- Hafezparast, M. and Sharifazari, S., 2016. Impact of Climate Change on the Inflow of the Aras, Ghorichai and Sattarkhan Dams, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, v. 2(8), p. 782-797.
- Harrison, L.S., 2014. Impacts of Climate Variability on Surface Energy and Water Budgets in sub-Saharan Africa. PH.D. dissertation in Geography. University of California.
- Jahanbakhsh, S., Rezaee Banafshe, M., Esmaelpour, M., & Tadayoni, M., 2012. The Evaluation of Potential Evapotranspiration Estimation Models and Its Spatial Distribution in the Southern Basin of Aras River. *Geography and Planning*, v. 16(40), p. 25-46 (in Persian).
- Javadizadeh, F., Kardavani, P., Alijani, B., Asadian, F., 2017. The effectiveness of SDSM statistical exponential microscale model models in predicting temperature parameters. *Physical Geography Quarterly*, v. 11(42), p. 47-66 (in Persian).
- Kalanki, M., & karandish, F., (2015). Predicting The Long-term Effect of Climate Change on Climatic Variables in Humid Region. *Irrigation and Water Engineering*, v. 5(4), p. 131-149 (in Persian).
- Khalil, A.A., 2013. Effect of climate change on evapotranspiration in Egypt. Central Laboratory for Agricultural Climate (CLAC)-Agricultural Research Center (ARC)-Ministry of Agriculture and Land Reclamation- Dokki, Giza, Egypt. *Researcher*, v. 5(1), p. 7-12.
- Large, W.G., Danabasoglu, G., McWilliams, J., Gent, P. and Bryan, F., 2001. Equatorial circulation of a global ocean climate model with anisotropic horizontal viscosity, *J. Phys. Oceanogr*, v. 31, p. 518-536.
- Liu, Z., Herman, J.D., Huang, G., Kadir, T. and Dahlke, H., 2020. Identifying climate change impacts on surface water supply in the southern 1 Central Valley, California. <https://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>

- Mirgol, B., Nazari, M. and Eteghadipour, M., 2020. Modelling Climate Change Impact on Irrigation Water Requirement and Yield of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.), Barley (*Hordeum vulgare* L.), and Fodder Maize (*Zea mays* L.) in the Semi-Arid Qazvin Plateau, Iran. *Agriculture*, v. 10 (60), p. 1-14.  
<http://dx.doi.org/10.3390/agriculture10030060>
- Rezaei, M., Nohtani, M., Moghaddamnia, A., Abkar, A., & Rezaei, M., 2014. Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Precipitation in two Arid and Hyper arid Regions. *Water and Soil*, v. 28(4), p. 836-845 (in Persian).
- Salahi, B., Khorshiddust, A., Qavidel Rahimi, Y., 2016. The relationship between North Atlantic atmospheric-oceanic circulation fluctuations and droughts in East Azerbaijan, *Geographical Research*, v. 60, p. 156-147 (in Persian).
- Simmons, H.L., Laurent, S., Jayne, S. and Weaver, A., 2004. Tidally driven mixing in a numerical model of the ocean general circulation. *Ocean Modell*, v. 6, p. 245-263. Doi:10.1016/S1463-5003(03)00011-8.
- Sorman, A.A., Tas, E. and Dogan, Y.O., 2020. Comparison of hydrological models in upper Aras Basin. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, v. 26(6), p. 1015-1022.
- Vaziri, ZH., Salamat, A., Entesari, M., Meschi, M., Heydari, N., Dehghani-Sanich, H., 2017. Evaporation-transpiration of plants (instructions for calculating the water required by plants). Translation and editing: Working group for sustainable use of water resources for the production of agricultural products, National Irrigation and Drainage Committee of Iran, first edition, Tehran: National Irrigation and Drainage Committee of Iran, 355 p (in Persian).
- Zahabion, B., Gudarzi M., Masah-Bavani, A., 2019. The application of SWAT model in the estimation of watershed runoff in future periods under the conditions of climate change, *Climatology Research*, v. 1 & 2, p. 43-58 (in Persian).
- Zoheyri, Z., ghazavi, R., omidvar, E., & Davudi\_rad, A., 2020. Comparison of LARS-WG and SDSM Downscaling Models for Prediction Temperature and Precipitation Changes under RCP Scenarios. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, v. 11(40), p. 39-52 (in Persian).
- Zoratipour, E., SoltaniMohammadi, A., & Baradaran, F., 2018. Investigating the effect of climate change on Increasing the temperature and potential evapotranspiration using SDSM model in Ahvaz city. *Journal of Water Science & Engineering*, v. 7(18), p. 47-56 (in Persian).
- Zulkarnain, H., Supiah, S. and Sabri, H., 2014. Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature, *Theoretical and Applied Climatology*, v. 116, p. 243-257