نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠١

صفحات ١٤٣ – ١٥٨

برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل بخش جنوبی حوضه ارس بر مبنای داده‌های مدل GFDL ریزگردان دینامیکی CORDEX

برومند صلاحی[1]؛ استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

مهناز صابر؛ دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

عباس مفیدی؛ استادیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد،مشهد، ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۱/۰۹/۱۲ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۱۱/۲۲

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در بیلان و مدیریت آب است. در این پژوهش به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه ارس با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده مدل GFDL-ESM۲M در ریزگردان دینامیکی CORDEX تحت سناریوی RCP۸،۵ طی دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ و مقایسه آن با مقادیر دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) پرداخته شد. از داده‌های با قدرت تفکیک افقی ۲۲*۲۲ کیلومتر مدل GFDL-ESM۲M در این پژوهش استفاده گردید. یافته‌های پژوهش نشان داد مقدار حداقل و حداکثر دما و به تبع آن ET_p دوره آینده در مقایسه با دوره پایه در تمامی شش ایستگاه مورد مطالعه حوضه ارس (اردبیل، اهر، جلفا، خوی، ماکو و پارس‌آباد) افزایش خواهد یافت. مقدار این افزایش حداقل دما بین ۱/۴ تا ۳/۸ درجه سانتی‌گراد و برای حداکثر دما ۱/۷ تا ۲/۲ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شده است. دامنه افزایش ET_p سالانه بین ۱۳۳ میلی‌متر در خوی تا ۱۸۹ میلی‌متر در اهر متغیر است. در مقیاس ماهانه ET_p تمامی ایستگاه‌ها از ژانویه تا ژوئیه با افزایشی بین ۳/۹ تا ۶۴/۱ میلی‌متر و از اوت تا دسامبر با کاهشی حدود ۰/۷ تا ۳۸/۲ میلی‌متر برآورد شد. برآورد افزایش ETp دوره آینده در حوضه به ویژه در ماه‌های فصل بهار که از نظر نیاز آبی حائز اهمیت فراوانی است، ضرورت توجه ویژه به احتمال این افزایش برآوردی در برنامه‌ریزی‌های بخش آب و انرژی را ایجاب می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ارس، تبخیر و تعرق پتانسیل، RCP۸،۵، CMIP۵، مدل GFDL.

[1] . نویسنده مسئول: Email:boromand٤١٦@yahoo.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

مقدمه

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی، پیچیده و دارای ابعاد و اثرات گسترده است. سازمان خواروبار جهانی[۱] (فائو) تغییر اقلیم را به‌عنوان چالش فزاینده در مقابل کشاورزی، جنگلداری، امنیت غذایی و شیلات در آینده معرفی نموده است (FAO, ۲۰۰۹). تخمین دقیق تبخیر و تعرق در مدل‌سازی هیدرولوژی، طراحی آبیاری و مدیریت منابع آب اهمیت زیادی دارد (Tegos, et al., ۲۰۱۵). این متغیر یکی از مؤلفه‌های بسیار مهم و مؤثر در بیلان آب است (Harrison, ۲۰۱۴). ET بعد از بارش به‌عنوان دومین مؤلفه بزرگ چرخه آب زمین در مقیاس جهانی محسوب می‌شود زیرا بیش از ۶۰ درصد بارش زمین را به اتمسفر بازمی‌گرداند (Korzoun, et al., ۱۹۷۸; L'vovich and White, ۱۹۹۰). علاوه بر این، ET یک شار مهم انرژی است چراکه بیش از نیمی از انرژی خورشیدی جذب‌شده توسط سطح زمین را مصرف می‌کند (Trenderth, et al., ۲۰۰۹). اگرچه تخمین و برآورد ET با توجه به ماهیت آن امری دشوار است، این موضوع یکی از موضوعات جالبی است که پژوهشگران بسیاری در ایران و جهان با روش‌های مختلفی به آن پرداخته و می‌پردازند. برای این منظور، مدل‌های تجربی متعددی برای تخمین این متغیر در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی ارائه و توسعه داده شده‌اند (Chen, et al., ۲۰۱٤). ارزیابی وضعیت اقلیمی دوره آینده و تغییر اقلیم و اثرات آن از طریق خروجی مدل‌های اقلیمی انجام می‌شود که به دلیل تفکیک پایین این مدل‌ها معمولاً برای استفاده از آن‌ها در محدوده‌های کوچک، منطقه‌ای و یا ایستگاهی به واسطه روش‌های مختلف و مدل‌های مقیاس‌کاه، ریزمقیاس می‌شوند. در اینجا به چند مورد از پژوهش-های انجام شده با استفاده از مدل GFDL اشاره می‌گردد:

دان و همکاران (Dunne, et.al., ۲۰۱۲) در ارزیابی دو مدل جهانی جفت‌شده کربن-اقلیمی سیستم زمین[۲] (ESM۲M و ESM۲G) به این نتیجه رسیدند که هر چند هر دو مدل مزیت و قابلیتی نسبت به دیگری دارد، اما هیچ کدام بر دیگری ارجحیت ندارد. حسن و همکاران (Hassan, et.al., ۲۰۱۵) به ارزیابی ورودایی موسمی تابستانه جنوب آسیا در زمان حال و آینده (۲۰۷۰-۲۰۹۹) با استفاده از داده ریزمقیاس‌شده مدل GFDL-ESM۲M تحت سناریوهای گزارش پنجم در RegCM٤ پرداختند. الگوهای پیش‌یابی برای قرن ۲۱ ام نشان دادند که بارش در شبه‌جزیره هند و گات غربی افزایش خواهد یافت. دیمیرجان و همکاران (Dimircan, et.al., ۲۰۱۷) برای پیش‌بینی تغییر اقلیم در ترکیه از داده‌های ریزمقیاس‌شده سه مدل اقلیمی HadGEM۲-ES، MPI-ESM-MR و GFDL-ESM۲M تحت سناریوهای RCP٤،٥ و RCP۸،٥ در RegCM استفاده نمودند. مطابق خروجی‌های مدل‌ها، انتظار افزایش متوسط دما بین ۶-۱ درجه و کاهش بارش به استثنای فصل زمستان وجود دارد. برونسلیر و همکاران (Bronselaer, et.al., ۲۰۱۸) از داده‌های مدل GFDL-ESM۲M تحت سناریوی RCP۸،٥ برای ارزیابی تغییر اقلیم آینده ناشی از ذوب صفحه یخی قطب جنوب استفاده نمودند. نکته مهم یافته آنان این بود که برفاب در شبیه‌سازی‌های اقلیم آینده تأثیر می‌گذارد. یین و همکاران (Yin, et.al., ۲۰۱۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی جریان رود در حوضه جینشا بر اساس مدل‌های اقلیمی CMIP٥ از جمله مدل GFDL-ESM۲M پرداختند. برآورد آنان نشان داد که جریان رودخانه در جینشای علیا حدود ۴/۱ تا ۱۴/۳ درصد کاهش خواهد یافت. آلتونکاینک و نیگوسی (Altunkaynak and Nigussie, ۲۰۱۸) اثرات تغییر اقلیم بر روی روندهای شاخص‌های بارش حدی و مقادیر بارش بیشینه در ایستگاه Olimpiyat استانبول را برای دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و آینده (۲۰۷۰-

۱. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
۲. global coupled carbon–climate Earth System Models (ESMs)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

۲۰۹۹) با ریزگردانی مدل‌های GFDL-ESM۲M و HadGEM۲-ES در مدل منطقه‌ای RegCM۴،۳،۴ تحت سناریوهای RCP۴،۵ و RCP۸،۵ بررسی نمودند. نتایج نشان داد با توجه به مقادیر بارش ۲۴ ساعته تحت سناریوی RCP۸،۵ در هر دو مدل که بزرگ‌تر از مقدار بارش دوره پایه است، احتمال افزایش سیلاب در حوضه آبخیز آیاماما وجود دارد. فویهرون و همکاران (Foyhrun, et.al., ۲۰۱۹) مدل‌های اقلیمی را برای تحلیل داده‌های باد NCEP-NCAR ارزیابی کردند. آنان دریافتند دقت چهار مدل MRI-CGCM۳، GFDL-ESM۲M، IPSL-CM۵A-LR و IPSL-CM۵A-MR با اغلب داده مشاهداتی NCEP-NCAR مطابقت دارد. هاندوکو و همکاران (Handoko, et.al., ۲۰۱۹) پس از ارزیابی دقت مدل‌های CMIP۵، دما و بارش حوضه آبخیز Batanghari را شبیه‌سازی نمودند. سید و همکاران (Syed, et.al., ۲۰۱۹) با ریزمقیاس‌نمایی برخی از مدل‌های اقلیمی در چهارچوب CORDEX برای محدوده‌های شرق میانی شمال آفریقا و جنوب آسیا به ارزیابی حساسیت شبیه‌سازی‌های دما و بارش شبه‌جزیره عربستان نسبت به شرایط مرزی آغازین دامین CORDEX پرداختند. نتایج نشان داد شبیه‌سازی‌های دما نسبت به دامین شبیه‌سازی، بسیار حساس و نسبت به شرایط مرزی ثانویه، کمتر حساس است در حالی که در مورد بارش، شرایط مرزی ثانویه نقش غالبی ایفا می‌کند. یعقوب‌زاده و رمضانی (۱۳۹۸) در پژوهشی به منظور ارزیابی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم در تخمین متغیرهای دما و بارش بیرجند از سال ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ میلادی دریافتند که دقت مدل GFDL-ESM۲M و GISS-E۲-R بیشتر از مدل‌های دیگر است. سرابی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از وزن‌دهی به چهار مدل AOGCM شامل: IPSL-CM۶A-LR، GFDL-ESM۴، MPI-ESM۱-۲-HR و MRI-ESM۲-۰ تحت برخی از سناریوهای SSP به بررسی تأثیر تغییر اقلیم دوره‌های آینده بر دما و بارش حوضه آبریز سد طرق مشهد پرداختند. یافته‌های آنان نشان‌دهنده وجود روند سینوسی در تغییرات بارش تحت سناریوی SSP-۸،۵ در دوره‌های مختلف است. پیش‌بینی‌ها در خصوص دما حاکی از افزایش مقدار حداقل و حداکثر دما در دوره آینده نسبت به دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۱۲) است.

پژوهش‌هایی که با استفاده از ریزمقیاس نمودن داده‌های مدل‌های مختلف به‌ویژه مدل GFDL-ESM۲M برای ارزیابی تغییر و یا برآورد متغیرهای اقلیمی در دوره آینده انجام شده‌اند، کارایی مدل را نشان دادند. در این پژوهش با توجه اینکه عمده مساحت حوضه‌های آبریز کشور دارای اقلیم خشک و یا گرم و خشک است و نیز مهم بودن عنصر دما در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، به واسطه ریزمقیاس نمودن داده‌های حداقل و حداکثر دمای مدل GFDL-ESM۲M در مقیاس-گاه دینامیکی CORDEX برای ایستگاه‌های منتخب حوضه ارس، به برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل آن‌ها در دوره پایه و آینده اقدام گردید.

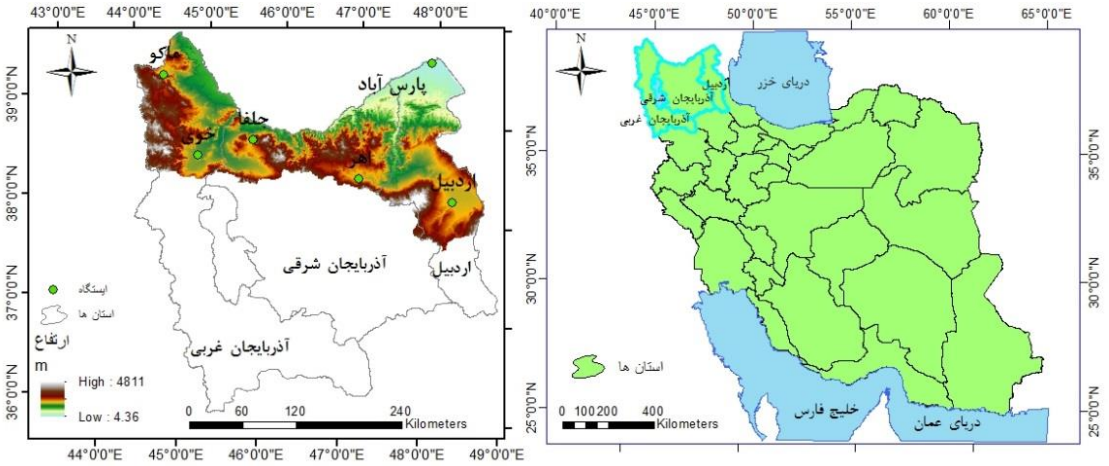
داده‌ها و روش کار

حوضه ارس که از نظر تقسیمات حوضه‌های آبریز، درجه ۲ (فرعی) محسوب 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 کیلومترمربع بین مختصات جغرافیایی ′۲ °۴۴ تا ′۴۱ °۴۸ طول شرقی و ′۴۵ °۳۷ تا ′۴۷ °۳۹ عرض شمالی واقع شده است (وزارت نیرو[۱]، ۱۳۹۴) و رود ارس، مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه این حوضه به شمار می‌رود. مرتفع‌ترین نقطه در این حوضه، قله سبلان با ۴۸۱۱ متر از سطح دریا و پست‌ترین آن با ارتفاع ۲۰ متر در محل خروجی رودخانه ارس واقع

۱. سالنامه آماری آب کشور ۹۱-۱۳۹۰/دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، ناشر: تهران، وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، ۱۳۹۴.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

در مرز ایران و جمهوری آذربایجان قرار دارد (کیانی سفیدان جدید، ۱۳۸۴). این حوضه قسمت‌هایی از استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را شامل می‌شود. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه ارس در ایران و پراکندگی ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه

برای محاسبه ET_p حوضه ارس در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های ریزمقیاس‌شده مدل GFDL-ESM۲M در CORDEX، ابتدا داده‌های متوسط ماهانه حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌ها با دقت ۲۲*۲۲ کیلومتر برای مدل GFDL-ESM۲M-SMHI-RCA٤_V۱ تحت سناریوی RCP۸٫۵ از دامین MENA[۱] استخراج شد. هرچند ایران در داخل ۴ منطقه جهانی داده‌های CORDEX واقع است اما در منطقه MENA در جای مناسبی از دامین قرار دارد. پس از آماده‌سازی داده‌های ایستگاه‌ها، میانگین ET_p ماهانه و سالانه آن‌ها برای دوره پایه و آینده محاسبه گردید. سپس مقادیر ET_p دوره گذشته با داده تبخیر ایستگاهی به‌لحاظ کمّی مقایسه شد. در نهایت، روند، توزیع فضایی ET_p دوره پایه و آینده، ترسیم و تغییرات آتی آن‌ها نیز بررسی شد.

مدل GFDL-ESM۲M: آزمایشگاه ژئوفیزیک دینامیک سیالات (GFDL[۲]) یکی از پیشروان جهان در مدل‌سازی و شبیه‌سازی اقلیم در ۵۰ سال گذشته بوده است. با شروع دهه ۱۹۶۰، دانشمندان GFDL اولین مدل اقلیمی جفت شده گردش عمومی اقیانوس-جو را توسعه دادند و به بهبود و پیشرفت در جامعه مدل‌سازی رو به رشد ادامه دادند. مدل GFDL-ESM۲M یک مدل جامع سیستم-زمین است که توسط این آزمایشگاه متعلق به اداره ملی اقیانوسی نوآ (NOAA[۳]) توسعه یافت. این مدل یکی از مدل‌های ارجح در مطالعات CMIP۵ است. قدرت تفکیک افقی این نسخه، ۲/۵ درجه طول جغرافیایی و ۳ درجه عرض جغرافیایی (حدود ۲۲۰ کیلومتر) و قدرت تفکیک قائم آن ۲۴ تراز است دیمیرجان و همکاران (Dimircan, et.al., ۲۰۱۷).

سناریوهای RCP: این سناریوها به‌عنوان خطوط سیر غلظت‌های متفاوت گازهای گلخانه‌ای و با اسامی RCP۲٫۶، RCP٤٫۵، RCP٦ و RCP۸٫۵ معرفی و عرضه شدند که بر اساس میزان واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ میلادی نامگذاری

۱. Middle East North Africa
۲. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
۳. National Oceanic and Atmospheric Administration

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

شده‌اند (اعداد، معرف میزان واداشت تابشی بر حسب وات بر متر مربع است) ون وورن و همکاران (Van Vuuren, et.al., ۲۰۱۱). سه سناریوی اخیر تا حدی با سناریوهای B۱، A۱B و A۲ گزارش چهارم مطابقت دارد. از معیارهایی که در تهیه این سناریوها مورد توجه بوده است توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی کاربری اراضی از قبیل زمین‌های زراعی، مراتع و پوشش گیاهی است. به‌همین دلیل یکی از مهم‌ترین ویژگی آن‌ها توانایی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم است. به طور اجمالی میزان واداشت تابشی و انتشار CO_2، پوشش گیاهی، آلودگی هوا متناسب با سناریوی RCP۸،۵ که مؤسسه MESSAGE آن را طراحی کرده به این نحو است که خط سیر افزایش واداشت تابشی منجر به ۸/۵ وات در متر مربع (معادل تقریباً ۱۳۷۰ppm دی اکسید کربن) تا سال ۲۱۰۰، انتشار گازهای گلخانه‌ای دارای خط مبنای بالا، ناحیه کشاورزی: متوسط از لحاظ هر دوی زمین زراعی و مرتع و آلودگی هوا: متوسط تا زیاد است ون وورن و همکاران (Van Vuuren, et.al., ۲۰۱۱: ۱۲ & ۲۶).

- **معیارهای اعتبارسنجی**

در این پژوهش از معیارهای: جذر میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، ضریب نش-ساتکلیف، همبستگی و ضریب تعیین به عنوان معیار ارزیابی و بررسی مقایسه ET برآوردی دوره گذشته به روش هارگریوز-سامانی با استفاده از داده‌های ریزمقیاس‌شده مدل GFDL-ESM۲M و داده تبخیر ایستگاهی استفاده شد. توابع یادشده به‌صورت رابطه (۱ تا ۵) تعریف می‌شوند:

رابطه (۱)
$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(ETest_t-ETobs_t)^2}{n}}$$

رابطه (۲)
$$NRMSE=\frac{\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(ETest_t-ETobs_t)^2}{n}}}{ETobs_{max}-ETobs_{min}}$$

رابطه (۳)
$$MAE=\frac{\sum_{t=1}^{n}|ETest_t-ETobs_t|}{n}$$

رابطه (۴)
$$MAPE=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{ETest_t-ETobs_t}{ETobs_t}\right|\times 100$$

رابطه (۵)
$$NS=1-\left[\frac{\sum_{t=1}^{n}(ETest_t-ETobs_t)^2}{\sum_{t=1}^{n}(ETobs_t-\overline{ETobs_t})^2}\right]$$

که در این روابط n: تعداد زوج داده‌ها، ETobs: مقدار داده تبخیر و تعرق مشاهداتی در زمان t، ETest: مقدار داده تخمینی تبخیر و تعرق در زمان t، ETobsmax: بزرگ‌ترین مقدار داده تبخیر و تعرق مشاهداتی، ETobsmin: کوچک‌ترین مقدار داده تبخیر و تعرق مشاهداتی است. دامنه سه تابع اولی است. دامنه تابع، 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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

با درصدی از خطای تخمین همراه است. تابع (۴) می‌تواند مقادیری بین صفر تا صد داشته باشد. تابع (۵) بین صفر و یک متغیر است. مقدار یک به معنی برازش کامل است که نشانگر تناسب کامل بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده/برآوردی است. 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، ۱۳۹۵).

شرح و تفسیر نتایج

دامنه متوسط حداقل دما در ایستگاه‌های حوضه بین ۲/۷- (در ماکو) تا $9^{\circ}C$ (در پارس‌آباد) و دامنه متوسط حداکثر دما بین ۷/۹ تا ۲۱/۲ درجه (در همان ایستگاه‌ها) متغیر است (جدول ۱). مقایسه مقادیر حداقل و حداکثر دما دوره آینده مقادیر دوره پایه نشان می‌دهد مقدار دو متغیر در دوره آینده افزایش خواهد یافت. بیشترین و کمترین مقدار افزایش حداقل دما در دوره آینده نسبت به دوره پایه به‌ترتیب ۳/۸ درجه (در خوی) و ۱/۴ درجه (در پارس‌آباد) و برای حداکثر دما به‌ترتیب ۲/۲ درجه (در جلفا) و ۱/۷ درجه (در پارس‌آباد) برآورد شد.

جدول ۱. مقادیر متوسط حداقل و حداکثر دما در دو دوره گذشته و آینده و اختلاف آن‌ها باهم (برحسب درجه سانتی‌گراد)

ایستگاه	متغیر	۲۰۰۵-۱۹۸۵	۲۰۵۰-۲۰۲۱	تفاضل دوره آینده از دوره گذشته
اردبیل	حداقل دما	۱/۸-	۰/۱	۲
	حداکثر دما	۸/۹	۱۰/۹	۲
اهر	حداقل دما	۲/۵-	۰/۳-	۲/۱
	حداکثر دما	۹/۶	۱۱/۷	۲/۱
پارس‌آباد	حداقل دما	۹	۱۰/۵	۱/۴
	حداکثر دما	۲۱/۱	۲۲/۸	۱/۷
جلفا	حداقل دما	۰/۴	۲/۶	۲/۲
	حداکثر دما	۱۱/۸	۱۴	۲/۲
خوی	حداقل دما	۰/۷-	۳/۱	۳/۸
	حداکثر دما	۱۲/۹	۱۴/۹	۲
ماکو	حداقل دما	۲/۷-	۰/۷-	۲
	حداکثر دما	۷/۹	۱۰	۲/۱

مقایسه مقادیر ET_p سالانه دوره گذشته با داده تبخیر ایستگاهی (جدول ۲) نشان می‌دهد ET_p برآوردی به روش هارگریوز-سامانی با استفاده از داده‌های ریزمقیاس‌شده مدل GFDL-ESM۲M برای دوره گذشته نسبت به داده تبخیر تشت در اهر و جلفا کم‌برآوردی و در سایر ایستگاه‌ها بیش‌برآوردی دارد. مقادیر ET_p هارگریوز-سامانی در همه ایستگاه‌ها در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲ 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.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

جدول ۲. مقایسه داده تبخیر تشت با ET_p تخمینی دوره پایه و آینده به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های مدل GFDL

متغیر	دوره	اردبیل	اهر	پارس‌آباد	جلفا	خوی	ماکو	حوضه
ET_p	۱۹۸۵-۲۰۰۵	۱۴۹۱/۸	۱۶۰۱/۲	۲۳۲۳/۷	۱۷۲۷/۸	۱۸۳۵/۹	۱۴۷۲/۲	۱۷۴۲/۱
ET_p	۱۹۹۲-۲۰۰۵	۱۴۹۶/۸	۱۶۰۳/۶	۲۳۲۲/۱	۱۷۳۰/۶	۱۸۶۱/۲	۱۴۷۷	۱۷۴۸/۵
تبخیر ایستگاهی	۱۹۹۲-۲۰۰۵	۱۱۱۹/۱	۱۶۸۱/۶	۱۳۶۵/۹	۲۲۴۳/۱	۱۳۰۶/۸	۱۴۰۸/۱	۱۵۲۰/۷
ET_p	۲۰۲۱-۲۰۵۰	۱۶۶۲/۳	۱۷۸۹/۴	۲۴۵۹/۶	۱۹۰۵	۱۹۶۸/۳	۱۶۵۴/۲	۱۹۰۶

- **اعتبارسنجی برآورد**

برای ارزیابی دقت روش هارگریوز-سامانی در برآورد ET_p ایستگاه‌ها بر مبنای داده‌های مقیاس‌کاه دینامیکی CORDEX برای مدل GFDL، از معیارهایی برای مقایسه مقادیر تخمینی این روش و داده ایستگاهی (تبخیر تشت) در دوره مشترک (۲۰۰۵-۱۹۹۲) استفاده شد. نتایج محاسبه معیارهای ارزیابی آماری برای مقایسه ET_p ماهانه به روش هارگریوز-سامانی و داده‌های تبخیر ایستگاهی در جدول (۳) آمده است. مطابق جدول، همبستگی بین دو داده مذکور در همه ایستگاه‌ها به جز اردبیل (۰/۸۳) و پارس‌آباد (۰/۸۴) در سایر ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۸۹ است. بر حسب معیار MAE در اهر، بر حسب MAPE در خوی و بر حسب RMSE در ماکو 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 اردبیل، اهر، خوی و ماکو عالی و در جلفا پایین است. بر اساس معیار MAE، ET_p ماهانه به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های CORDEX اهر و جلفا در مقایسه با داده ایستگاهی بیش‌برآوردی دارد اما در سایر ایستگاه‌ها مقداری کم‌تر از داده ایستگاهی را تخمین می‌زند.

جدول ۳. نتایج محاسبه معیارهای ارزیابی آماری برای مقایسه ETp ماهانه به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های CORDEX و داده تبخیر ایستگاهی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲

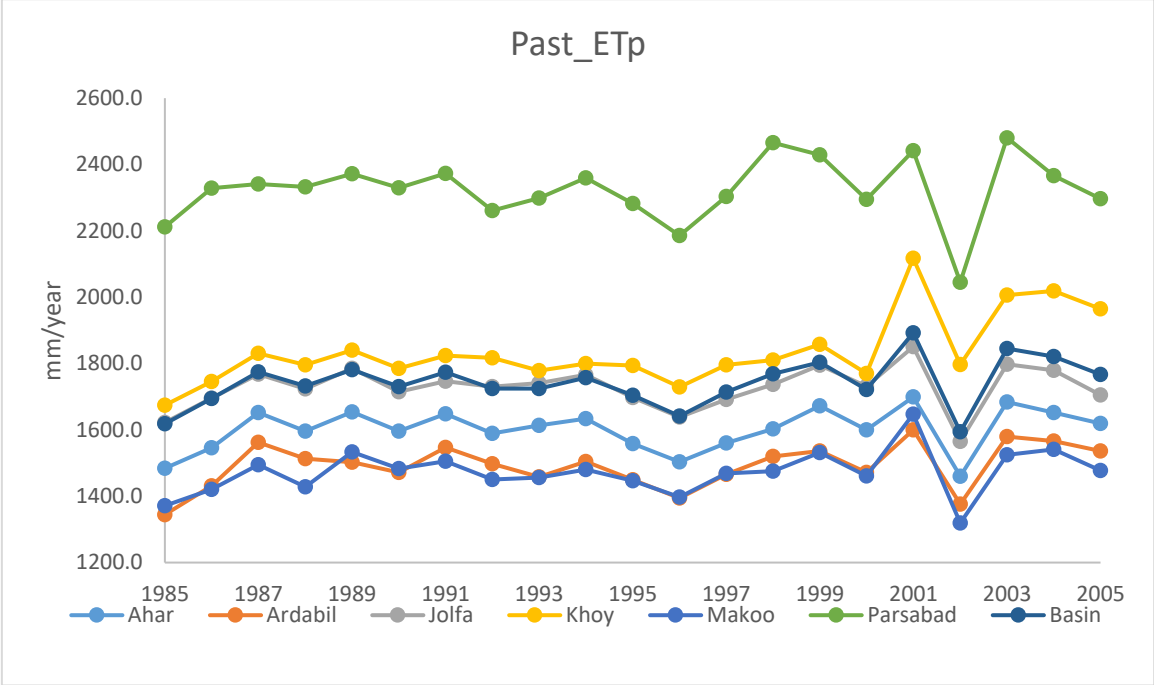
ایستگاه	تعداد	R	R^2	RMSE	MAE	NS	MAPE
اردبیل	۱۶۸	۰/۸۳	۰/۶۹	۴۰/۵۸	-۴۴/۳۸	۰/۸۱	۱۸/۰۲
اهر	۱۶۸	۰/۸۹	۰/۷۹	۴۲/۹۵	۶/۵	۰/۸۱	۲۲/۳۸
پارس‌آباد	۱۶۸	۰/۸۴	۰/۷۰	۷۹/۲۷	-۷۹/۵۶	۰/۵۵	۲۴/۵۵
جلفا	۱۶۸	۰/۹۰	۰/۸۲	۱۰۳/۶۵	۴۲/۷۱	۰/۰۱	۳۱/۲۶
خوی	۱۶۸	۰/۹۰	۰/۸۱	۵۰/۲۵	-۴۶/۲	۰/۷۹	۱۷/۵
ماکو	۱۶۸	۰/۸۹	۰/۸۰	۳۰/۴۶	-۱۹/۵۵	۰/۸۹	۱۴/۰۸

- **بررسی روند ET_p دوره پایه**

نمودار روند ET_p سالانه حوضه در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) به روش هارگریوز-سامانی بر اساس داده‌های CORDEX (شکل ۲) نشان می‌دهد به لحاظ مقدار ET_p برآوردی نیز ترتیب ایستگاه‌ها از بیشترین به کمترین عبارت است از: پارس‌آباد، خوی، جلفا، اهر، اردبیل و ماکو (به‌ترتیب با ۲۳۲۳/۷، ۱۸۳۵/۹، ۱۷۲۷/۸، ۱۶۰۱، ۱۴۹۱/۸ و ۱۴۷۲/۲ میلیمتر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

در سال) که بر اساس داده ایستگاهی جلفا در مرتبه اول و پارس‌آباد در مرتبه دوم قرار داشت. روند گذشته این متغیر در ایستگاه‌های حوضه تقریباً تا پیش از سال ۲۰۰۱ تقریباً صعودی و از ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۲ نزولی و از ۲۰۰۳ به بعد مجدداً صعودی است. متوسط ET_p سالانه حوضه در دوره پایه ۱۷۴۲ میلی‌متر محاسبه شد که پارس‌آباد و خوی بیشتر از میانگین حوضه و بقیه ایستگاه‌ها کمتر از این مقدار دارند.

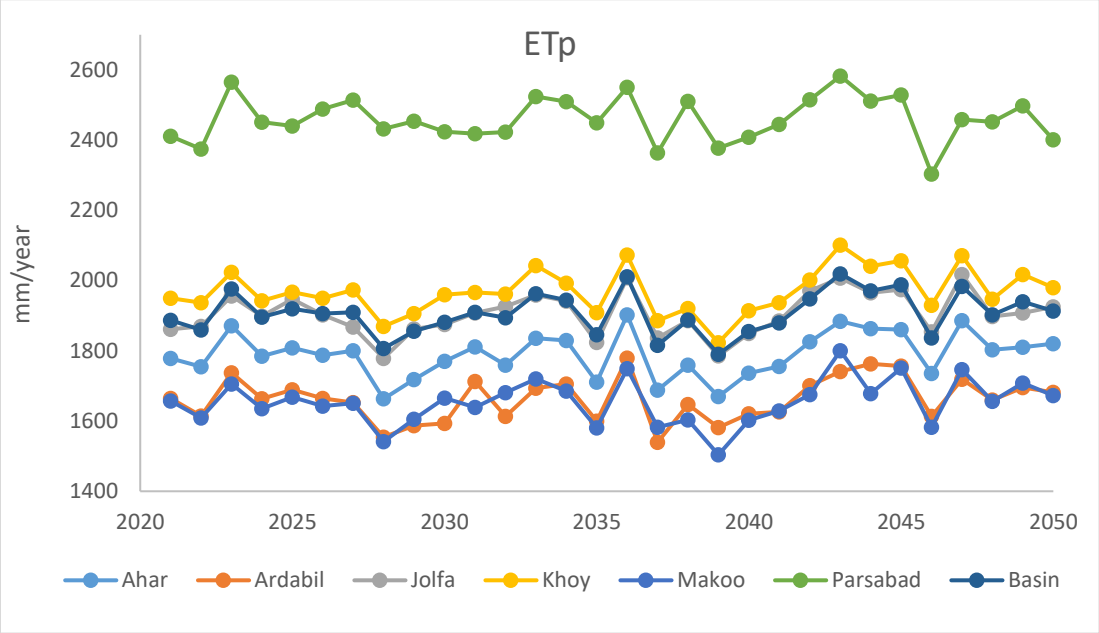


شکل ۲. ET_p برآوردی حوضه ارس برای دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های CORDEX

- **بررسی روند ET_p دوره آینده**

در شکل (۳) سری زمانی ET_p سالانه برآوردی ایستگاه‌های حوضه برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش هارگریوز-سامانی با استفاده از داده‌های مدل GFDL-ESM۲M آورده شده است. روند ET_p آتی در همه ایستگاه‌ها صعودی است. متوسط سالانه این متغیر در حوضه ۱۹۰۸ میلی‌متر محاسبه شد که نسبت به دوره پایه ۱۶۶ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد. همچنان ET_p آتی پارس‌آباد همانند دوره گذشته با اختلاف زیاد نسبت به سایر ایستگاه‌ها قرار دارد. متوسط ET_p سالانه ایستگاهی از مقادیر بیشتر به کمتر به پارس‌آباد، خوی، جلفا، اهر، اردبیل و ماکو تعلق دارد که به‌ترتیب ۲۴۶۱/۶، ۱۹۶۹/۴، ۱۹۰۵/۹، ۱۷۹۰/۲، ۱۶۶۳ و ۱۶۵۵ میلی‌متر به دست آمد.

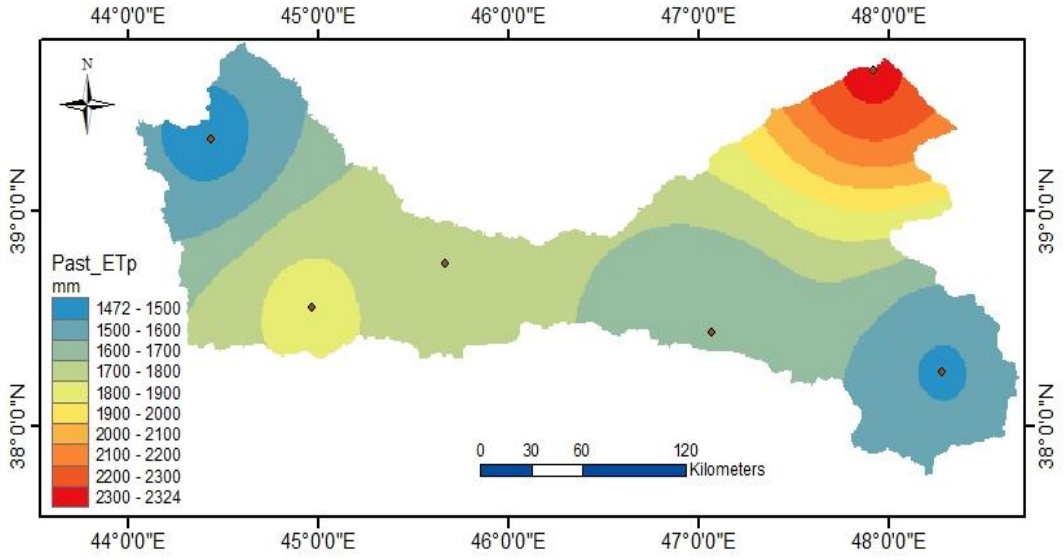
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۳. ET_p برآوردی حوضه ارس برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های مدل GFDL

- **توزیع فضایی ET_p حوضه ارس**

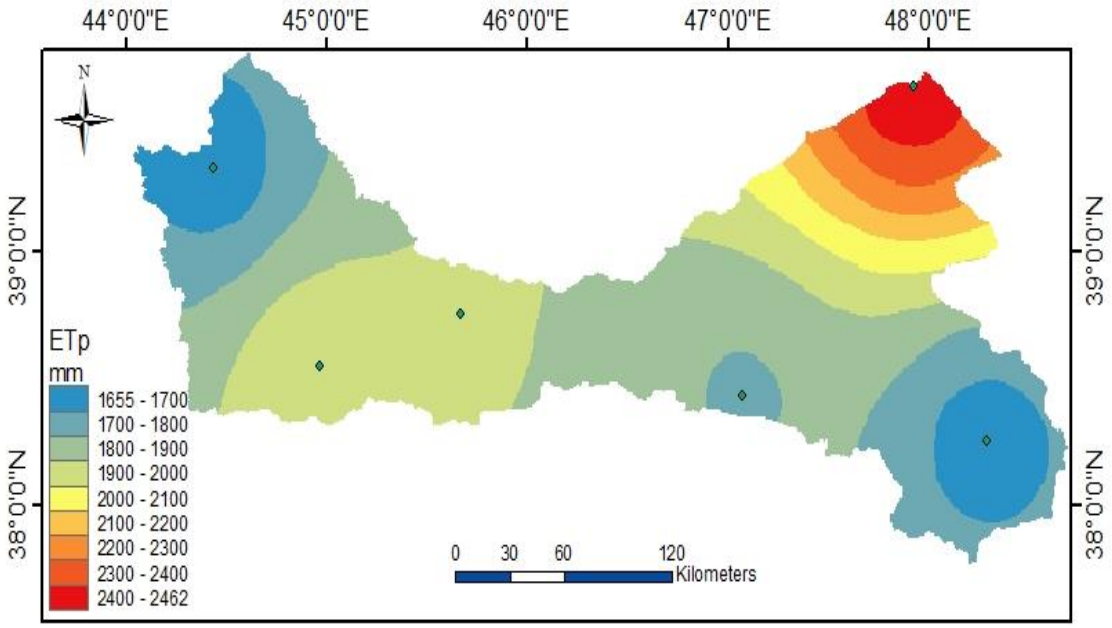
توزیع فضایی مقادیر ET_p سالانه حوضه ارس در دوره پایه بر اساس ریزمقیاس‌نمایی مدل GFDL (شکل ۴) نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار این متغیر در شمال‌شرقی حوضه (پارس‌آباد) بیش از ۲۳۰۰ میلی‌متر، کم‌ترین مقدار آن در جنوب-شرقی و شمال‌غربی حوضه به مرکزیت اردبیل و ماکو کمتر از ۱۵۰۰ میلی‌متر و در اطراف آن‌ها تا ۱۶۰۰ میلی‌متر است. ET_p جنوب‌غربی حوضه به مرکزیت خوی بین ۱۹۰۰-۱۸۰۰ میلی‌متر، شرق مرکز حوضه تا ۱۷۰۰ میلی‌متر و غرب مرکز آن تا ۱۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۴. پراکنش فضایی ET_p سالانه حوضه ارس در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) بر مبنای داده‌های مدل GFDL

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

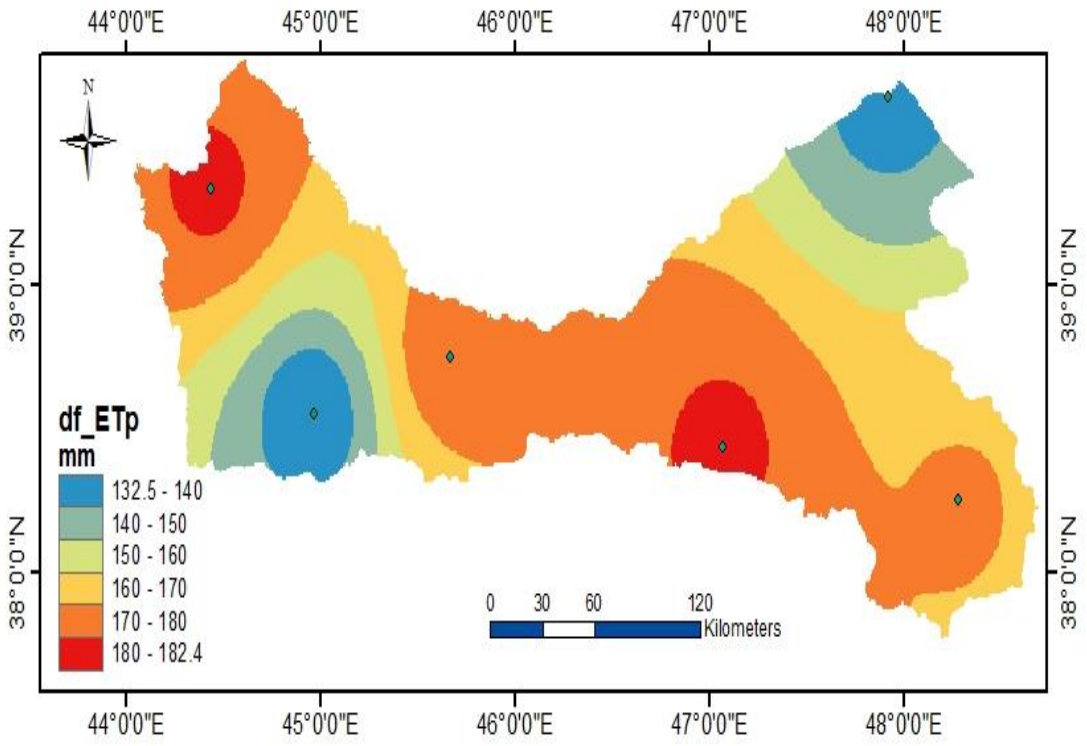
نقشه‌های ET_p سالانه حوضه ارس برای دوره آینده (شکل ۵) نشان می‌دهد که شکل ظاهری توزیع فضایی ET_p آینده مشابه گذشته است با این تفاوت که مقادیر آستانه‌های طبقات افزایش یافته است. ET_p شمال‌شرقی حوضه به مرکزیت پارس‌آباد به بیش از ۲۴۰۰ میلی‌متر رسیده و حوالی آن تا ۲۱۰۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد. کم‌ترین میزان ET_p سالانه نیز همچنان متعلق به شمال غربی (ماکو) و جنوب شرقی (اردبیل) است که نسبت به گذشته افزایش یافته و تا ۱۷۰۰ میلی‌متر نیز رسیده است. ET_p غرب مرکز حوضه تا ۲۰۰۰ میلی‌متر و شرق مرکز آن تا ۱۹۰۰ میلی‌متر پیش‌بینی شده است.



شکل ۵. پراکنش فضایی ET_p حوضه ارس در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش هارگریوز-سامانی و بر مبنای داده‌های مدل GFDL

شکل (۶) نقشه اختلاف مقادیر برآوردی ET_p سالانه دوره آینده حوضه با دوره پایه را نشان می‌دهد. ET_p آینده همه ایستگاه‌ها با افزایشی بین ۱۴۰ تا ۱۸۲ میلی‌متر روبرو خواهند شد. بیشترین میزان افزایش ET_p از شرق حوضه (حوالی اهر) تا شمال‌غرب حوضه (ماکو) مشاهده می‌شود. مرکز و جنوب‌شرق حوضه (اردبیل) بین ۱۸۰-۱۷۰ میلی‌متر، شمال‌شرق حوضه (پارس‌آباد) و جنوب‌غرب حوضه (خوی) کم‌تر از ۱۴۰ میلی‌متر و سایر بخش‌های حوضه بین ۱۴۰ تا ۱۷۰ میلی‌متر در سال با افزایش ET_p نسبت به دوره پایه مواجه خواهند بود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۶. نقشه تفاضل ETp آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) نسبت به گذشته (۲۰۰۵-۱۹۸۵) به روش هارگریوز-سامانی بر مبنای داده‌های مدل GFDL

- **تغییرات ET_p حوضه ارس**

مجموع ET_p ایستگاه‌ها در دوره پایه و آینده و تفاضل مقادیر دوره آینده از دوره پایه بر اساس داده‌های CORDEX برای مدل GFDL در جدول (۴) آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تغییر سالانه این متغیر در دوره آینده در تمامی ایستگاه‌ها افزایشی است. مقدار این افزایش در اهر، جلفا، ماکو، اردبیل، پارس‌آباد و خوی به ترتیب ۱۸۹/۲، ۱۸۷/۱، ۱۸۲/۸، ۱۷۱/۲، ۱۳۷/۹ و ۱۳۳/۵ میلی‌متر پیش‌بینی شده است. لذا بیش‌ترین مقدار افزایش ET_p به اهر و کم‌ترین آن به خوی تعلق دارد. تغییرات آتی ET_p ماهانه بدین نحو پیش‌بینی شده که روند متغیر از ژانویه تا ژوئیه در تمامی ایستگاه‌ها افزایشی و مقدار آن بین ۳/۹ تا ۶۴/۱ میلی‌متر و از اوت تا دسامبر در همه ایستگاه‌ها (به استثنای دسامبر در پارس‌آباد) به مقدار ۰/۷ تا ۳۸/۲ میلی‌متر کاهشی خواهد بود. در سایر ایستگاه‌ها کم‌ترین کاهش ET_p به دسامبر مربوط است که مقدار آن بین ۰/۷ تا ۲/۵ متغیر خواهد بود. همچنین تمامی ایستگاه‌ها در سپتامبر با بیش‌ترین مقدار کاهش ET_p (بین ۳۸/۲ تا ۳۰/۶ میلی‌متر) مواجه خواهد شد. بیش‌ترین میزان افزایش ET_p آینده به جز در پارس‌آباد که مربوط به ژوئن است، در سایر ایستگاه‌ها در ماه می (بین ۶۴/۱ تا ۵۹/۱ میلی‌متر) مشاهده می‌شود. کم‌ترین میزان افزایش نیز در همه ایستگاه‌ها مربوط به ژانویه است که بین ۳/۹ تا ۱۱/۱ میلی‌متر متغیر است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

جدول ۴. میانگین ET_p ایستگاه‌ها بر مبنای داده‌های مدل GFDL در دوره پایه و آینده و تفاضل مقادیر برآوردی آینده از دوره پایه

ایستگاه	ET_p (mm)	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
اردبیل	دوره پایه	۲۰/۳	۲۷/۳	۵۶/۱	۱۲۴/۳	۱۸۹/۶	۲۵۰	۲۶۴/۵	۲۳۹/۸	۱۶۵/۵	۹۲/۱	۴۱/۱	۲۱	۱۴۹۱/۸
	دوره آینده	۲۵/۱	۵۰/۶	۱۰۵/۵	۱۷۶/۱	۲۴۸/۸	۲۹۴/۸	۲۹۱/۹	۲۲۲/۵	۱۳۴/۹	۶۳	۲۹/۸	۲۰/۳	۱۶۶۳/۱
	تفاضل	۴/۷	۲۳/۲	۴۹/۳	۵۱/۸	۵۹/۱	۴۴/۷	۲۷/۴	-۱۷/۳	-۳۰/۶	-۲۹/۱	-۱۱/۳	-۰/۷	۱۷۱/۳
اهر	دوره پایه	۱۸/۴	۲۳/۷	۵۵/۵	۱۳۵/۴	۲۰۴/۹	۲۶۹/۸	۲۹۰/۳	۲۶۱/۹	۱۸۰/۱	۱۰۰/۴	۴۵/۱	۲۱/۵	۱۶۰۷/۱
	دوره آینده	۲۳/۵	۵۱/۸	۱۱۱/۹	۱۸۸/۷	۲۶۷/۳	۳۲۳/۲	۳۱۶/۴	۲۴۱/۶	۱۴۵/۵	۷۰	۳۱/۴	۱۸/۹	۱۷۹۰/۲
	تفاضل	۵/۱	۲۸/۱	۵۶/۴	۵۳/۲	۶۲/۴	۵۳/۴	۲۶/۱	-۲۰/۳	-۳۴/۷	-۳۰/۴	-۱۳/۸	-۲/۵	۱۸۳/۱
پارس-آباد	دوره پایه	۵۲/۵	۷۷/۱	۱۳۸/۷	۲۳۲/۶	۳۰۱/۵	۳۵۶/۳	۳۷۱/۶	۳۲۵/۸	۲۱۷/۶	۱۲۸/۶	۷۳/۹	۴۷/۶	۲۳۲۳/۷
	دوره آینده	۶۳/۷	۱۰۹/۳	۱۸۱/۱	۲۶۸/۵	۳۴۸/۱	۴۰۹/۲	۳۸۶/۱	۲۹۱/۹	۱۸۵/۱	۱۰۳/۳	۶۵/۲	۵۰/۱	۲۴۶۱/۶
	تفاضل	۱۱/۱	۳۲/۲	۴۲/۵	۳۵/۹	۴۶/۶	۵۲/۹	۱۴/۵	-۳۳/۹	-۳۲/۵	-۲۵/۳	-۸/۷	۲/۵	۱۳۷/۹
جلفا	دوره پایه	۲۱/۳	۲۹/۲	۶۸/۳	۱۴۷/۲	۲۱۹	۲۸۵/۵	۳۰۷/۲	۲۷۵/۵	۱۹۰/۵	۱۰۸/۶	۵۰/۹	۲۴/۶	۱۷۲۷/۸
	دوره آینده	۲۷/۴		۱۲۲/۱	۲۰۰/۶	۲۸۳/۱	۳۳۹/۳	۳۳۰	۲۵۱/۴	۱۵۴/۸	۷۷/۹	۳۶/۹	۲۲/۴	۱۹۰۵/۹
	تفاضل	۶	۳۰/۸	۵۳/۸	۵۳/۴	۶۴/۱	۵۳/۸	۲۲/۸	-۲۴/۱	-۳۵/۷	-۳۰/۷	-۱۳/۹	-۲/۲	۱۷۸/۱
خوی	دوره پایه	۲۶/۵	۳۴/۱	۷۵/۳	۱۶۱/۶	۲۳۱/۸	۲۹۹/۱	۳۲۴/۲	۲۸۹/۷	۱۹۷/۴	۱۱۳/۱	۵۴/۸	۲۸/۳	۱۸۳۵/۹
	دوره آینده	۳۲/۸	۶۶/۵	۱۳۰/۵	۲۰۷/۲	۲۸۷/۱	۳۴۵	۳۳۶/۵	۲۵۹	۱۵۹/۲	۸۰/۱	۳۹/۱	۶۲/۲	۱۹۶۹/۴
	تفاضل	۶/۳	۳۲/۵	۵۵/۲	۴۵/۶	۵۵/۳	۴۶	۱۲/۳	-۳۰/۷	-۳۸/۲	-۳۳	-۱۵/۷	-۲/۱	۱۳۳/۵
ماکو	دوره پایه	۱۷/۴	۲۲/۵	۴۹/۴	۱۱۵	۱۸۰/۱	۲۴۴/۱	۲۷۵/۶	۲۵۱/۱	۱۶۸/۱	۹۰/۷	۳۹/۴	۱۸/۸	۱۴۷۲/۲
	دوره آینده	۲۱/۳		۹۶/۱	۱۶۸/۹	۲۴۳	۳۰۶/۴	۳۰۴/۷	۲۲۸/۴	۱۳۳/۳	۶۲/۷	۲۸/۱	۱۷/۳	۱۶۵۵
	تفاضل	۳/۹	۲۲/۵	۴۶/۶	۵۳/۸	۶۳	۶۲/۳	۲۹/۱	-۲۲/۸	-۳۴/۸	-۲۸	-۱۱/۳	-۱/۵	۱۸۲/۸

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، داده‌های ماهانه متوسط حداقل و حداکثر دما به منظور ترسیم چشم‌انداز ETp به روش هارگریوز-سامانی تا دهه ۲۰۵۰ میلادی برای ۶ ایستگاه سینوپتیک بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه ارس با استفاده از داده‌های مقیاس‌گاه دینامیکی CORDEX با دقت ۲۲*۲۲ کیلومتر برای مدل GFDL-ESM۲M استخراج شد. بر این اساس میزان دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌ها در دوره آینده در مقایسه با دوره پایه سیر افزایشی را نشان می‌دهند که این یافته با نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، ذرتی‌پور و همکاران (۱۳۹۶)، جوادی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

گودرزی و همکاران (۱۳۹۷)، زهیری و همکاران (۱۳۹۹)، فرخزاده و همکاران (۱۳۹۹) و حشمتی و سیاری (۱۴۰۰) در محدوده‌های مورد مطالعه آنان همسویی دارد.

هم‌چنین نتایج محاسبه ETp به روش هارگریوز-سامانی در سه دهه آتی بر اساس داده‌های این مدل نشان داد در ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس زمانی سالانه مقدار این متغیر بین ۱۳۳ تا ۱۸۹ میلی‌متر و در سطح حوضه به‌طور متوسط ۱۶۶ میلی‌متر نسبت به ETp دوره پایه افزایش خواهد یافت. این یافته همسو با یافته‌های پژوهش آینده‌نگر ذرتی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) در شهرستان اهواز و حشمتی و سیاری (۱۴۰۰) در بندر انزلی است. بر حسب ایستگاهی بیش‌ترین مقدار افزایش مربوط به اهر و کم‌ترین افزایش مربوط به خوی است و نیز تمامی ایستگاه‌ها از ژانویه تا ژوئیه با افزایش (بین ۳/۹ تا ۶۴/۱ میلی‌متر) و از اوت تا دسامبر با کاهش ETp (بین ۰/۷ تا ۳۸/۲ میلی‌متر) روبرو خواهند بود. با توجه به اینکه افزایش ETp حوضه در ماه‌هایی پیش‌بینی شده است که از هم از لحاظ مقوله تولید (محصولات کشاورزی، باغی و تمرکز بیشینه نیاز آبی آن‌ها در نیمه اول سال) و هم از نظر ذخایر آب سدها و هم بخش‌های متکی به این ذخایر (مانند بخش انرژی به جهت تولید برق‌آبی و نیز مصارف شهری) حائز اهمیت فراوانی است، لازم است در برنامه‌ریزی‌های مربوط به آب و برق‌آبی در محدوده مورد مطالعه، این یافته و احتمال افزایش ETp حوضه در نظر گرفته شود. علاوه بر این بهتر است برای جلوگیری از هدر رفت آب در حوضه به ویژه در مناطق دارای سیستم آبیاری مدرن، استفاده از کانال‌های سرپوشیده در اولویت مدیران و برنامه‌ریزان بخش آب قرار گیرد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

منابع

احمدی، آزاده؛ امین خرمیان و حمیدرضا صفوی. ۱۳۹۴. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر فرآیند تبدیل برف به رواناب، مطالعه موردی: حوزه آبریز زاینده‌رود. *تحقیقات منابع آب ایران*، **۲**: ۸۲-۷۰.

جوادی‌زاده، فرشاد؛ پرویز کردوانی، بهلول علیجانی و فریده اسدیان. ۱۳۹۷. کارایی الگوهای مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی. *جغرافیای طبیعی*، **۱۱ (۴۲)**: ۶۶-۴۷.

حشمتی، فردوس و نسرین سیاری. ۱۴۰۰. بررسی تغییرات تبخیرتعرق پتانسیل در شرایط اقلیمی آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی (مطالعه موردی: ایستگاه بندر انزلی). *نشریه هواشناسی کشاورزی*، **۹ (۱)**: ۷۶-۶۳.

ذرتی‌پور، الهه؛ امیر سلطانی محمدی و فاطمه برادران. ۱۳۹۶، بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند افزایش درجه حرارت و تبخیرتعرق پتانسیل با استفاده از مدل SDSM در شهرستان اهواز. *فصلنامه علوم و مهندسی آب*، **۷ (۱۸)**، ۵۶-۴۷.

رضایی، مریم؛ محمد نهتانی، علیرضا مقدم‌نیا، علیجان آبکار و معصومه رضایی. ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، **۳**: ۸۴۵-۸۳۶.

زهیری، زهره؛ رضا قضاوی، ابراهیم امیدوار و علی‌اکبر داودی‌راد. ۱۳۹۹. مقایسه مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM در پیش‌بینی تغییرات دما و بارش تحت سناریوهای RCP. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، **۱۰ (۴۰)**: ۵۲-۳۹.

سرابی، مجتبی؛ محمدتقی دستورانی و آذر زرین. ۱۳۹۹. بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر وضعیت دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد طرق مشهد). *نشریه هواشناسی و علوم جو*، **۳ (۱)**: ۸۳-۶۳.

فرخ‌زاده، بهنوش؛ سپیده چوبه و ام‌البنین بذرافشان. ۱۳۹۹. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (مطالعه موردی: حوزه آبخیز لتیان). *مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، **۸ (۲۶)**: ۷۲-۵۶.

گودرزی، مسعود؛ برومند صلاحی و اسعد حسینی. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزگردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوزه آبریز دریاچه ارومیه. *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، **۹ (۳۱)**: ۲۲-۱۰.

کیانی سفیدان جدید، طاهره. ۱۳۸۴. تحلیل سینوپتیکی بارش‌های رگباری در حوزه جنوبی ارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تهران.

یعقوب‌زاده، مصطفی و یوسف رمضانی. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم در برآورد دما و بارش ایستگاه بیرجند. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، **(۳۷) ۱۰**: ۱۰۰-۸۷.

Bronselaer, B.; M. Winton, S.M. Griffies, W.J. Hurlin, and K.B. Rodgers. ۲۰۱۸. Change in future climate due to Antarctic meltwater. *Nature*. **٥٦٤**: ٥٣-٧٢. https://doi.org/١٠,١٠٣٨/s٤١٥٨٦-٠١٨-٠٧١٢-z

Chen, Y.; J. Xia, S. Liang, J. Eeng, and J.B. Fisher, X. Li. ٢٠١٤. Comparison of satellite-based evapotranspiration models over terrestrial ecosystems in China. *Remote Sensing of Environment.* **١٤٠**: ٢٧٩–٢٩٣.

Demircan, M.; H. Gurkan, O. Eskioglu, H. Arabeci, and M. Coskun. ٢٠١٧. Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenario. *Turkish journal of water science & management*. ١: ٢٢-٤٣.

Dunne, J.P.; J.G. John, A.J. Adcroft, S.M. Griffies, and R.W. Hallberg. ٢٠١٢. GFDL's ESM٢ Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics. *Journal of Climate*. ٦٦٤٦-٦٦٦٥. DOI: ١٠,١١٧٥/JCLI-D-١١-٠٠٥٦٠,١

Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.٢٠٠٩. 'Profi le for climate change', available at ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/٠١٢/i١٣٢٣e/i١٣٢٣e٠٠.pdf (accessed ١٩ December ٢٠١٠).

Foyhirun, C.; D. K.Kongkitkul, and C. Ekkawatpanit. ٢٠١٩. Performance of Global Climate Model (GCMs) for Wind Data Analysis. *E3S Web of Conferences 117*, ٠٠٠٠٦ (٢٠١٩). https://doi.org/١٠,١٠٥١/e٣sconf/٢٠١٩١١٧٠٠٠٠٦

Handoko, U.; R. Boer, E. Aldrian, A. Lailatul Latifah, and B. Dwi Dasanto. ٢٠١٩. Comparison Performance of the Multi-Regional Climate Model (RCM) in Simulating Rainfall and Air Temperature in Batanghari

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

Watershed. *Aceh International Journal of science and technology*. ۸ (۲): ۵۲-۶۷. doi: ۱۰,۱۳۱۷۰/aijst.۸,۲,۱۲۳۴۰

Harrison, L.S. ۲۰۱۴. Impacts of Climate Variability on Surface Energy and Water Budgets in sub-Saharan Africa. PH.D. dissertation in Geography. *University of California*.

Hassan, M.; P. Du, S. Jia, W. Iqbal, and R. Mahmood. ۲۰۱۵. An Assessment of the South Asian Summer Monsoon Variability for Present and Future Climatologies Using a High Resolution Regional Climate Model (RegCM۴,۳) under the AR۵ Scenarios. *Atmosphere*. ۶: ۱۸۳۳-۱۸۵۷. doi:۱۰,۳۳۹۰/atmos۶۱۱۱۸۳۳

Korzoun, V.I.; A.A. Sokolov, M.I. Budyko, K.P. Voskresensky, and G.P. Kalinin. ۱۹۷۸. World water balance and water resources of the earth (English). In: Studies and Reports in Hydrology (UNESCO), no. ۲۵/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, ۷۵-Paris (France); International Hydrological Decade, Moscow (USSR). *USSR National Committee*. ۶۶۳ p.

L'vovich, M.I.; and G.F. White. ۱۹۹۰. Use and transformation of terrestrial water systems. Pages ۲۳۵-۲۵۲ in B.L. Turner II, W.C. Clark, R.W. Kates, J.F. Richards, J. T. Mathews, and W.B. Meyer, editors. The Earth as transformed by human action. *Cambridge University Press*. Cambridge, UK.

Nigussie, T.A., and A. Altunkaynak. ۲۰۱۸. Impacts of climate change on the trends of extreme rainfall indices and values of maximum precipitation at Olimpiyat Station, Istanbul, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۷۰۴-۰۱۸-۲۴۴۹-x

Syed, F.S.; M. Latif, A. Al-Maashi, and A. Ghulam. ۲۰۱۹. Regional climate model RCA۴ simulations of temperature and precipitation over the Arabian Peninsula: sensitivity to CORDEX domain and lateral boundary conditions. *Climate Dynamics*. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۳۸۲-۰۱۹-۰۴۹۷۴-z

Tegos, A., E. Andreas, N. Malamosb, N. Mamassisa, and D. Koutsoyiannisa. ۲۰۱۵. Evaluation of a parametric approach for estimating potential evapotranspiration across different climates. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. ۴: ۲ – ۹.

Trenberth, K, E.J. Fasullo, and J. Kiehl. ۲۰۰۹. Earth's global energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*. ۹۰ (۳): ۳۱۱–۳۲۳.

Yin, J.; Z. Yuan, D. Yan, Z. Yang, and Y. Wang. ۲۰۱۸. Addressing Climate Change Impacts on Streamflow in the Jinsha River Basin Based on CMIP۵ Climate Models. *Water*. ۱۰ **(۹۱۰)**: ۱-۱۹.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]