

## ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت مغان با سناریوهای RCPs

عبدالرحیم فاضلی<sup>۱\*</sup>، برومند صلاحی<sup>۲</sup> و مسعود گودرزی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، <sup>۲</sup> استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی و <sup>۳</sup> استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۹

### چکیده

تغییر اقلیم پدیده‌ای تأثیرگذار بر بسیاری از فرایندهای طبیعی از جمله چرخه هیدرولوژی است. تبخیر و تعرق نیز به‌عنوان یکی از بخش‌های چرخه هیدرولوژی، دست‌خوش این تغییرات خواهد بود. به‌دلیل اهمیت تبخیر و تعرق در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کشاورزی، پژوهش حاضر، با هدف بررسی اثر تغییر اقلیم بر این پارامتر مهم و تأثیرگذار، در دشت مغان انجام شده است. بدین‌منظور، از مدل گردش عمومی جوی و اقیانوسی HadGEM2 تحت سناریوهای RCPs و ریزمقیاس گردان Lars-WG6 در دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۳۰-۲۰۶۰ استفاده شد. همچنین، برای محاسبه تبخیر و تعرق نیز از روش‌های پنمن-مانتیت و هارگریوز-سامانی استفاده شده است. این پژوهش، نشان داد که تبخیر و تعرق محاسباتی با روش پنمن-مانتیت در دشت مغان در هر یک از سناریوها و در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۳۰-۲۰۶۰ از شش الی تا ۸/۴ درصد نسبت به سال‌های مشاهداتی افزایش خواهد داشت. همچنین، مشاهده شد که تبخیر و تعرق محاسباتی از روش هارگریوز-سامانی در دشت مغان، در هر یک از سناریوها و در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۳۰-۲۰۶۰ از ۴/۵ الی ۷/۷ درصد نسبت به سال‌های مشاهداتی افزایش خواهد یافت. این افزایش‌ها موجب افزایش نیاز آبی شبکه‌های آبیاری و زهکشی مغان و خدآفرین در ماه‌های پرنیاز می‌شود که اتخاذ راهکارهای مناسب برای سازگاری با شرایط تغییر اقلیم را ایجاب می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** پنمن-مانتیت، چرخه هیدرولوژی، ریزمقیاس گردان Lars-WG6، مدل گردش عمومی جوی و اقیانوسی، هارگریوز-سامانی

### مقدمه

تبخیر و تعرق ارائه شده که تفاوت عمده آن‌ها در تعداد پارامترهای هواشناسی مورد نیاز است و لازم است، در هر منطقه با توجه به داده‌های هواشناسی بهترین روش غیرمستقیم برای برآورد تبخیر و تعرق انتخاب شود (Pouryazdankhah و همکاران، ۲۰۱۲). گرمایش جهانی طی چند دهه گذشته باعث شده تا

مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل، به پارامترهای اقلیمی مانند دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و غیره بستگی دارد. بنابراین، هر تغییری در پارامترهای اقلیمی بر میزان تبخیر و تعرق و آب مورد نیاز گیاه تأثیر خواهد گذاشت. مدل‌های مختلفی برای برآورد

اساس، می‌توان گفت که هرگونه برنامه‌ریزی منابع آبی در آینده بدون در نظر گرفتن تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان، ناقص و کم‌اعتبار خواهد بود. به‌طور کلی، باید توجه داشت که مدل‌های گردش عمومی جو، برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری، شرایط توپوگرافی، پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را لحاظ می‌کنند. در حالی که ممکن است، شرایط واقعی سطح زمین در این محدوده کاملاً متفاوت و متغیر باشد (Kouhi و Babaeian, ۲۰۱۲). برای فائق آمدن به این مشکل، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس می‌شود (Babaeian و Najafinik, ۲۰۰۶). در ادامه، به تعدادی مطالعات پیشین در ارتباط با موضوع مقاله حاضر اشاره می‌شود.

Mehrazar و همکاران (۲۰۱۸)، اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد را با تأکید بر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM گزارش ارزیابی پنجم IPCC بررسی کردند. نتیجه پردازش داده‌های اقلیمی به‌وسیله این محققان نشان داد که دما تحت تأثیر تغییر اقلیم تحت هر چهار سناریوی RCPs در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت، به‌طوری‌که میزان افزایش دما در ماه‌های مختلف متفاوت است. از طرف دیگر، پیش‌بینی کردند که در دوره آتی تغییرات چندانی در بارش منطقه وجود نخواهد داشت. Akhavan و همکاران (۲۰۱۶)، اثر تغییر اقلیم بر مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات عمده دشت همدان-بهار را با استفاده از نتایج مدل ریزمقیاس‌سازی Lars-WG بررسی کردند. در این پژوهش، اثرات تغییر اقلیم بر مقدار نیاز آبی محصولات عمده دشت بهار-همدان در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که با توجه به تغییرات افزایش مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات مختلف، تغییر در الگوی کشت برای حفظ تعادل منابع آب این منطقه اقدامی ضروری است.

در تحقیقی دیگر، Babaeian و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی توانمندی مدل Lars-WG در ایستگاه‌های منتخب خراسان بزرگ پرداختند. آن‌ها از این مدل، در تولید داده‌های بارش و دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش استفاده کردند. این محققان، با توجه به میانگین

سیاست‌گذاران کشورها توجه خاصی به موضوع تغییر اقلیم از خود نشان دهند. از این‌رو، کشورهای توسعه‌یافته، با طراحی و اجرای مدل‌های اقلیمی سعی در شبیه‌سازی میزان تغییرات متغیرهای اقلیمی تحت پدیده تغییر اقلیم دارند. اغلب مدل‌های اقلیمی، تحت سناریوهای RCPs<sup>۱</sup> بر این نکته اتفاق دارند که سطح جهانی دما تا پایان قرن ۲۱، با دید خوش‌بینانه به‌طور متوسط بیش از یک درجه سلسیوس و با دید بدبینانه‌تر به بیش از چهار درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت (IPCC, ۲۰۱۴). تغییرات در چرخه آب از مهمترین پاسخ‌های زمین به گرمایش احتمالی به آن است. نوسانات شدید بارش و الگوهای بارش، پراکنش نامناسب زمانی و مکانی نزولات آسمانی، تبخیر و تعرق زیاد، افزایش محسوس وقوع خشکسالی و سیل و فراوانی آن‌ها، از جمله تغییرات در چرخه آبی است (IPCC, ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴). بنابراین، با توجه به تشدید و تقویت مخاطرات زیستی در اثر تنش‌های ناشی از تغییر اقلیم، لازم است شرایط اقلیمی آینده مطالعه و برآورد شده تا تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های واقعی‌تر و موثرتری اتخاذ و اجرا شود. از جمله تبعات تغییر اقلیم، تأثیرگذاری آن بر چرخه هیدرولوژیکی است (Bormann, ۲۰۱۱). از آنجایی که مساله آب مهمترین دغدغه مدیران و برنامه‌ریزان در آینده است، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر چرخه آب از جمله مواردی است که مدیران مسئول در زمینه منابع آب، برای ساماندهی و یافتن راه‌های مقابله با این بحران باید در نظر بگیرند. تبخیر و تعرق به‌عنوان یک پارامتر مهم در چرخه هیدرولوژیکی محسوب می‌شود که خود تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی متعددی نظیر ساعات آفتابی، درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت و غیره قرار دارد. لذا، بررسی چرخه آب، بدون در نظر گرفتن تبخیر و تعرق به‌عنوان رکن اصلی تعیین‌کننده نیاز آبی گیاهان، امکان‌پذیر نیست (Goyal, ۲۰۰۴). اهمیت موارد گفته‌شده زمانی قابل درک است که به بررسی آمار مصرف آب در کشور پرداخته شود. بر اساس آمار منتشر شده از سوی وزارت نیرو، بخش کشاورزی با مصرف حدود ۹۰ درصد از کل آب مصرفی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در ایران محسوب می‌شود. بر این

<sup>۱</sup> Representative Concentration Pathways

رسیدند که متوسط تبخیر و تعرق در دوره رشد گیاه افزایش می‌یابد.

در تحقیقات انجام‌شده قبلی در کشور، عمدتاً از سناریوهای گزارش چهارم IPCC (SRES) استفاده شده است که با توجه به تجربیات سال‌های اخیر و مطالعات انجام‌یافته، دارای عدم قطعیت زیادی هستند. در پژوهش حاضر، از سناریوهای گزارش پنجم IPCC (RCPs) استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** دشت مغان با وسعت بیش از ۲۰۰ هزار هکتار در شمال غرب کشور و در حاشیه رودخانه مرزی ارس واقع شده است و شامل سه تراس آبرفتی حاصلخیز است. اقلیم این منطقه گرم و خشک بوده و شبکه آبیاری و زهکشی مغان با وسعت بیش از ۷۰۰۰۰ هکتار و شبکه آبیاری و زهکشی در حال احداث خداآفرین با وسعت بیش از ۳۶۰۰۰ هکتار در این دشت واقع شده‌اند. مطالعه میزان تبخیر و تعرق در این محدوده، از لحاظ شرایط تغییر اقلیم اهمیت زیادی دارد. زیرا نتایج حاصله، می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای مدیریت بهینه منابع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی منطقه مورد استفاده قرار بگیرد. در شکل ۱، نقشه موقعیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی مغان و خداآفرین نشان داده شده است.

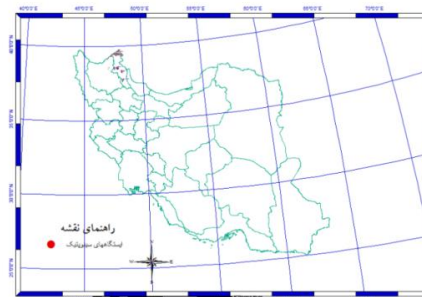
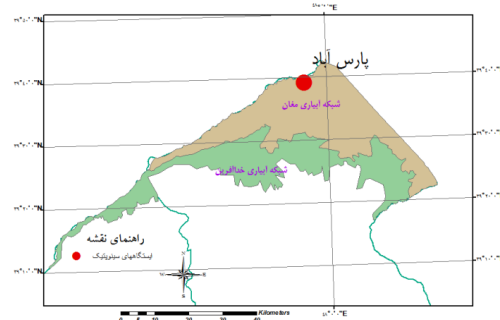
**ریزمقیاس‌نمایی با مدل LARS-WG6:** کلیه پیش‌بینی‌های اولیه مدل‌های AOGCM در محدوده بزرگ‌مقیاس بوده و نمی‌تواند تغییرات مربوط به اقلیم محلی و شرایط سینوپتیکی کوچک‌مقیاس را مورد ارزیابی قرار دهد. به همین علت، از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای رفع این مشکل استفاده می‌شود. در روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، خروجی مدل‌های AOGCM با داده‌های مشاهداتی تطبیق داده می‌شوند (Mehrazar و همکاران، ۲۰۱۸). استفاده از مولد آب و هوای تصادفی از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری است. مدل Lars-WG یکی از پرکاربردترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی است که برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه استفاده می‌شود (Semenov و Barrow، ۲۰۰۲). در نقاط مختلف جهان و کشورمان، از مدل Lars-WG در مطالعات

و انحراف معیار داده‌های تولیدشده و مقایسه آن با داده‌های مشاهداتی در دوره آماری مورد مطالعه، به قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی داده‌های روزانه صحنه گذاشتند. Goudarzi و همکاران (۲۰۱۸)، میزان تبخیر و تعرق در ارتباط با تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را با روش‌های مختلف محاسبه تبخیر و تعرق و تحت سناریوهای SRES<sup>۱</sup> و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌سازی Lars-WG و مدل گردش عمومی Hadcm3 در سه دوره زمانی برآورد کرده و نتیجه گرفتند که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل نسبت به دوره پایه به میزان ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. در یکی دیگر از تحقیقات منتشرشده، Rasouli و همکاران (۲۰۱۴)، اثر عوامل مورفواقلیمی را بر دقت ریزمقیاس‌نمایی مدل Lars-WG بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل در شبیه‌سازی دمای بیشینه و به خصوص دمای کمینه از دقت نسبتاً خوبی برخوردار است ولی در شبیه‌سازی بارش، دقت کمتری دارد.

در تحقیقی دیگر، Daneshfaraz و Razzaghpour (۲۰۱۴) اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل در استان آذربایجان غربی مطالعه کردند. نتایج حاصله نشان داد که تحت سناریوهای B1، A1B و A2، میزان تبخیر افزایش خواهد یافت. Sabzipour و Tabari (۲۰۱۰) با استفاده از معادلات پریستلی-تیلور، ماککینگ و هارگریوز و مقایسه نتایج این معادلات با پنمن-مانتیت فائو میزان تبخیر-تعرق مرجع را در دوره‌های پایه و آتی به‌دست آورده، با بررسی اثر تغییر اقلیم بر تغییرات این پارامترها نشان دادند که میزان تبخیر-تعرق مرجع در سال‌های آتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران افزایش می‌یابد. Jahanbani و همکاران (۲۰۱۱) نیز با بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع در رشت نشان دادند که میانگین تبخیر-تعرق مرجع در سال‌های بین ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ افزایش خواهد یافت. این محققان از معادله هارگریوز و سامانی، به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق مرجع استفاده کرده بودند. Yaghoobzadeh و همکاران (۲۰۱۶) هم اثر تغییر اقلیم را بر روند تغییرات تبخیر-تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل‌های AOGCM بررسی کردند و به این نتیجه

<sup>۱</sup> Special Report on Emissions Scenarios

مختلفی استفاده شده است و مدل به‌روزر شده آن بر اساس سناریوهای RCPs در فوریه ۲۰۱۸ ارائه شده است که مطالعاتی در این زمینه فعلاً منتشر نشده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت شبکه آبیاری و زهکشی مغان و خداآفرین

وسایل دقیق اندازه‌گیری تحت شرایط کنترل شده، به‌طور احتمال نشان خواهند داد که تبخیر-تعرق مرجع محاسبه شده با معادله پنمن-مانتیت فائو، گاهی متفاوت از تبخیر-تعرق مرجع (چمن) اندازه‌گیری شده است. معادله پنمن-مانتیت فائو برای محاسبه روزانه، هفتگی، ۱۰ روزه یا ماهانه تبخیر-تعرق، علاوه بر مختصات محل به داده‌هایی نظیر دمای هوا، رطوبت، تابش و سرعت باد نیازمند است. در رابطه (۱)، فرمولاسیون محاسبه تبخیر-تعرق مرجع آورده شده است.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

که در آن،  $ET_0$  تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)،  $R_n$  تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع بر روز)،  $G$  شار گرمای خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)،  $T$  میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)،  $u_2$  میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)،  $e_s$  فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $e_a$  فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)،  $(e_s - e_a)$  کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)،  $\gamma$  ضریب ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) می‌باشد.

در این پژوهش، برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل از نرم‌افزار Cropwat8 استفاده شده است. این نرم‌افزار که به‌طور وسیع به‌وسیله دانشجویان و متخصصان رشته‌های مرتبط با علوم آب استفاده می‌شود، برای محاسبه نیاز آبی گیاه از روش ارائه‌شده در نشریه فائو شماره ۵۶ استفاده می‌کند. این برنامه برای محاسبه نیاز آبی، نیاز به اطلاعات مختلفی دارد. این نرم‌افزار بر اساس روش پنمن-مانتیت نیاز آبی گیاهان را محاسبه می‌کند. اولین بخش آن، محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از داده‌های هواشناسی دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد و موقعیت جغرافیایی ایستگاه و لحاظ کردن فرضیاتی برای گیاه مرجع محاسبه می‌کند. در این پژوهش، از این بخش نرم‌افزار استفاده شده است. در ورودی این نرم‌افزار دمای متوسط ماهانه و ساعات آفتابی استخراج شده از مدل لارس در سناریوهای مختلف و برای

تبخیر-تعرق پتانسیل به روش پنمن-مانتیت: در روش پنمن-مانتیت فائو از داده‌های استاندارد اقلیمی که به سادگی قابل اندازه‌گیری بوده یا از روی سایر داده‌های اندازه‌گیری شده قابل محاسبه بوده، استفاده می‌شود. این معادله، از داده‌های هواشناسی استاندارد شامل تابش خورشیدی (ساعات آفتابی)، دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد استفاده می‌کند. به‌منظور اطمینان از صحت محاسبه‌ها، پارامترهای هواشناسی باید در ارتفاع دو متری بالای چمن سبز که در سطح وسیع کشت شده، زمین را به‌طور کامل پوشانده، کمبود آب نیز نداشته باشد، اندازه‌گیری شوند. به‌دلیل اعمال فرض‌های ساده‌کننده در معادله‌ها و وجود خطای اندازه‌گیری داده‌ها، نمی‌توان انتظار داشت که معادله‌های تعیین تبخیر-تعرق وابسته به داده‌های هواشناسی بتوانند تبخیر-تعرق را همواره و تحت هر موقعیت اقلیمی مشخص به‌طور دقیق برآورد کنند.

تعرق به صورت زیر قابل محاسبه است (Hargreaves و Samani, ۱۹۸۵).

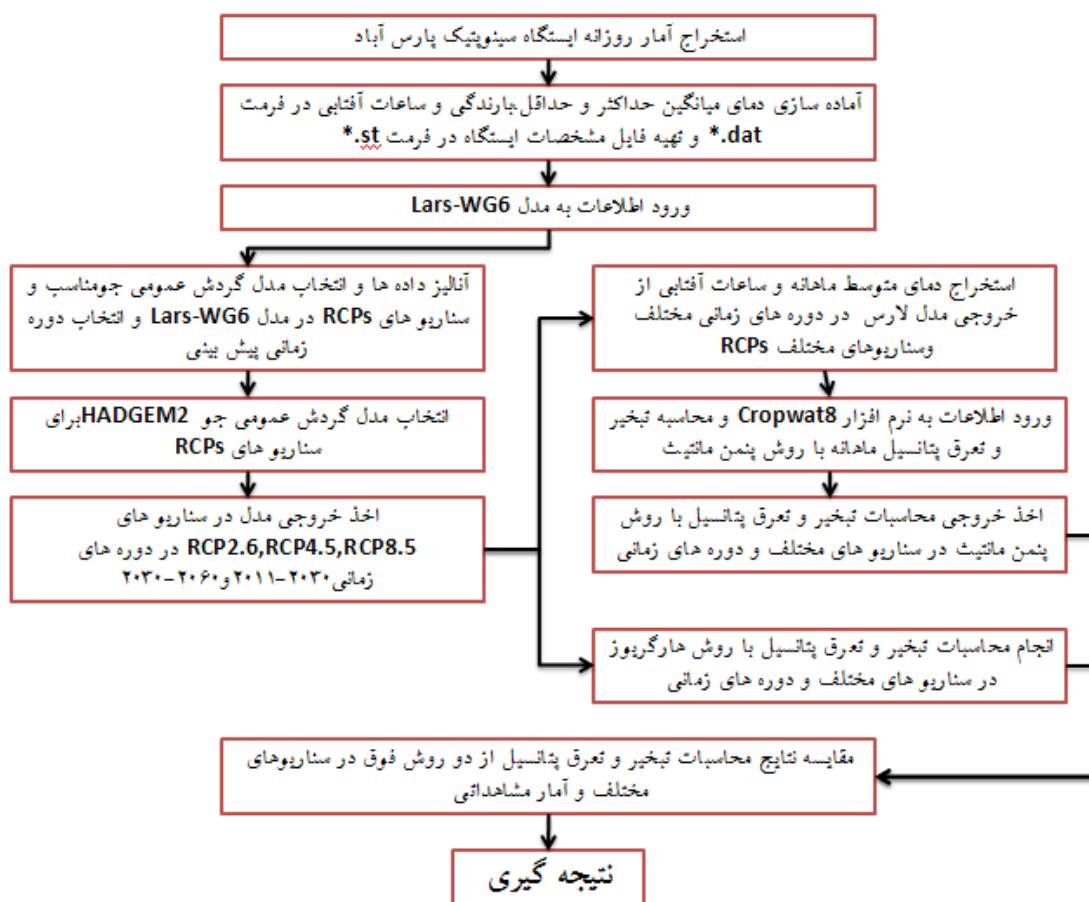
$$ET_0 = 0.0023R_a(T + 17.8)(TR^{0.5}) \quad (2)$$

که در آن،  $TR$  تفاوت بیشینه و کمینه دما  $TR = T_{max} - T_{min}$  (سلسیوس) است و  $ET_0$  همان واحدی را خواهد داشت که برای انتخاب خواهد شد که می توان مقدار آن را بر حسب میلی متر در روز از جداول ویژه به دست آورد که مقادیر آن برای منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. مراحل انجام کار در شکل ۲ نشان داده شده است.

بازه های زمانی ۲۰۳۰-۲۰۶۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ استفاده شده است و برای مقادیر سرعت متوسط باد و رطوبت نسبی از مقادیر دوره مشاهداتی بهره گرفته شده است. تبخیر-تعرق پتانسیل روش هارگریوز-سامانی: روشی که در آن فقط به داده های دمای هوا نیاز است، روشی است که به نام هارگریوز یا هارگریوز-سامانی معروف است. در این روش، لازم است برای دوره مورد نیاز دمای متوسط هوا ( $T$ ) و تفاوت متوسط بیشینه و کمینه دما ( $TR$ ) در دوره مورد نظر وجود داشته باشد. سپس، با داشتن تابش خورشیدی ( $R_a$ ) مقدار تبخیر-

جدول ۱- مقادیر  $R_a$  (تابش برون زمینی) بر حسب میلی متر آب قابل تبخیر در روز برای منطقه مورد مطالعه

ماه	$R_a$	ماه	$R_a$
ژانویه	۶	جولای	۱۶/۳
فوریه	۸/۳	اگوست	۱۴/۸
مارس	۱۱	سپتامبر	۱۲/۲
آوریل	۱۳/۹	اکتبر	۹/۳
می	۱۵/۹	نوامبر	۶/۷
ژوئن	۱۶/۷	دسامبر	۵/۵



شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

**نتایج و بحث**

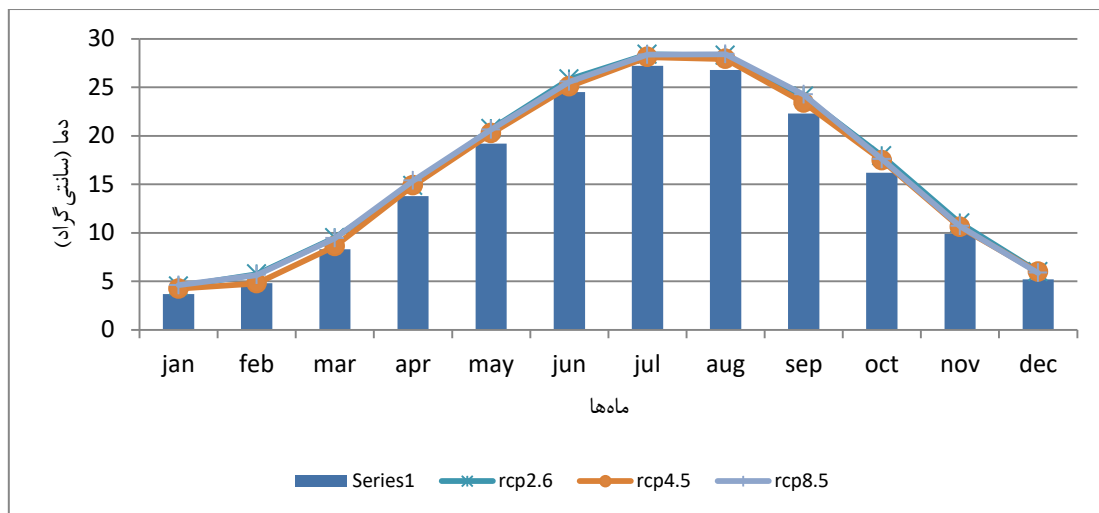
در این پژوهش، ابتدا آمار روزانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک پارس‌آباد در دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۰) شامل دمای متوسط، کمینه و بیشینه، بارندگی و ساعات آفتابی پس از کنترل و مرتب‌سازی برای ریزمقیاس‌سازی وارد مدل Lars-WG6 شد. آمار روزانه ایستگاه‌ها تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مدل‌های گردش عمومی جوی اقیانوسی (AOGCM) ریزمقیاس شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس، به تفکیک هر سه سناریو از طریق کنترل و مقایسه آماره کلموگروف اسمیرنوف (K-S) و مقدار P-value، پارامترهای بارندگی و دما کنترل و در نهایت، بهترین مدل گردش عمومی جو که دارای بیشترین مقدار P-value و کمترین مقدار شاخص S-K بود، HADGEM2 انتخاب شده، خروجی داده‌ها برای

سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۰-۲۰۳۰ استخراج شد. در این پژوهش، پیش‌بینی دما و بارش تحت سه سناریوی گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم مقایسه شده است و خروجی نتایج مدل به‌عنوان ورودی محاسبات تبخیر-تعرق پتانسیل در نظر گرفته شده است.

در جدول‌های ۲ و ۳، نتایج شبیه‌سازی دما و بارش تحت سناریوهای RCPs با مدل Lars-WG6 ایستگاه سینوپتیک پارس‌آباد ارائه شده است. در شکل‌های ۳ و ۴، تغییرات دما و بارش نشان داده شده و با آمار مشاهداتی مقایسه شده است. نتایج، بیانگر افزایش دما به میزان ۱/۲ درجه سانتی‌گراد در سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 و افزایش ۰/۷ درجه سانتی‌گراد در سناریوی RCP4.5 است.

**جدول ۲- دمای متوسط ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پارس‌آباد در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰**

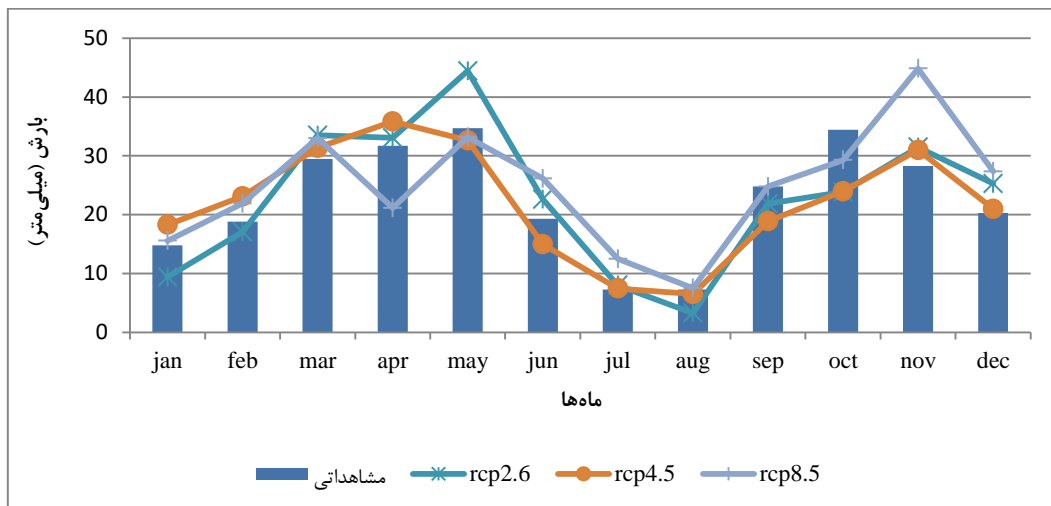
سال	Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	ماه‌ها	ایستگاه پارس‌آباد
	۱۵/۲	۵/۲	۹/۹	۱۶/۲	۲۲/۳	۲۶/۸	۲۷/۲	۲۴/۵	۱۹/۲	۱۳/۸	۸/۳	۴/۸	۳/۷	مشاهداتی
	۱۶/۴	۶/۰	۱۱/۰	۱۷/۹	۲۴/۰	۲۸/۳	۲۸/۴	۲۵/۸	۲۰/۷	۱۴/۹	۹/۵	۵/۷	۴/۵	rcp2.6
	۱۵/۹	۶/۰	۱۰/۶	۱۷/۵	۲۳/۴	۲۷/۹	۲۸/۱	۲۵/۱	۲۰/۳	۱۴/۹	۸/۶	۴/۸	۴/۲	rcp4.5
	۱۶/۴	۵/۹	۱۰/۷	۱۷/۶	۲۴/۲	۲۸/۴	۲۸/۴	۲۵/۶	۲۰/۶	۱۵/۴	۹/۴	۵/۶	۴/۶	rcp8.5



**شکل ۳- مقایسه دمای متوسط ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پارس‌آباد در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰**

جدول ۳- بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پارس‌آباد در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

سال	Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	ماه‌ها	
۲۷۱/۲	۲۰/۳	۲۸/۳	۳۴/۴	۲۴/۸	۷/۳	۷/۳	۱۹/۳	۳۴/۷	۳۱/۷	۲۹/۵	۱۸/۸	۱۴/۸	مشاهداتی	پارس‌آباد
۲۷۳/۸	۲۵/۳	۳۱/۵	۲۳/۹	۲۱/۹	۳/۳	۸/۰	۲۲/۶	۴۴/۴	۳۳/۰	۳۳/۵	۱۷/۱	۹/۴	rcp2.6	
۲۶۴/۹	۲۱/۰	۳۱/۰	۲۴/۰	۱۸/۹	۶/۵	۷/۵	۱۵/۰	۳۲/۶	۳۵/۸	۳۱/۴	۲۳/۱	۱۸/۳	rcp4.5	سناریوهای AR5
۲۹۷/۲	۲۷/۳	۴۴/۸	۲۹/۳	۲۴/۸	۷/۵	۱۲/۵	۲۶/۲	۳۳/۲	۲۱/۱	۳۳/۰	۲۱/۹	۱۵/۶	rcp8.5	



شکل ۴- مقایسه بارش متوسط ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پارس‌آباد در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

می‌دهد. این مسئله از لحاظ تامین منابع آب شبکه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در جدول ۷، نتایج محاسبات تبخیر-تعرق پتانسیل با روش هارگریوز-سامانی ایستگاه پارس‌آباد در دوره مشاهداتی ارائه شده است. میزان تبخیر-تعرق پتانسیل سالانه ۱۱۹۳ میلی‌متر بود و بیشترین میزان تبخیر-تعرق ماهانه مربوط به ماه جولای به میزان ۱۹۳/۸ میلی‌متر است. مقایسه میزان تبخیر-تعرق در شرایط تغییر اقلیم و درصد تغییرات نسبت به دوره مشاهداتی در جدول‌های ۸ و ۹ در دوره‌های زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۰-۲۰۳۰ ارائه شده است و درصد تغییرات نسبت به دوره پایه در شکل‌های ۹ تا ۱۲ ارائه شده است. نتایج بیانگر افزایش ۴/۵ تا ۵/۹ درصد تبخیر سالانه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ است. همچنین، نتایج افزایش ۴/۹ تا ۷/۷ درصد در دوره ۲۰۳۰-۲۰۶۰ را نشان می‌دهد. آنچه که مهم است، تغییرات افزایشی تبخیر-تعرق در دوره کاشت است که بیشترین مقدار افزایش ۸/۳ و ۱۰/۴ درصدی در ماه آگوست در سناریوی RCP8.5 را نشان می‌دهد.

ارقام خروجی مدل Lars-WG6 به‌عنوان ورودی نرم‌افزار Cropwat8 در نظر گرفته شد. در جدول ۴، نتایج محاسبات تبخیر-تعرق پتانسیل با روش پنمن-مانتیت ایستگاه پارس‌آباد در دوره مشاهداتی ارائه شده است. میزان تبخیر-تعرق پتانسیل سالانه ۱۱۳۹ میلی‌متر بود و بیشترین میزان تبخیر-تعرق ماهانه مربوط به ماه جولای به میزان ۲۰۳/۱ میلی‌متر است. مقایسه میزان تبخیر-تعرق در شرایط تغییر اقلیم و درصد تغییرات نسبت به دوره مشاهداتی در جدول‌های ۵ و ۶ در دوره‌های زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۶۰-۲۰۳۰ ارائه شده است و درصد تغییرات نسبت به دوره پایه در شکل‌های ۵ تا ۸ ارائه شده است. نتایج بیانگر افزایش شش تا هفت درصد تبخیر سالانه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ است. همچنین، نتایج افزایش ۶/۴ تا ۸/۶ درصد در دوره ۲۰۳۰-۲۰۶۰ را نشان می‌دهد. آنچه که مهم است، تغییرات افزایشی تبخیر-تعرق در دوره کاشت است که بیشترین مقدار افزایش نه درصدی در ماه آگوست در سناریوی RCP8.5 نشان

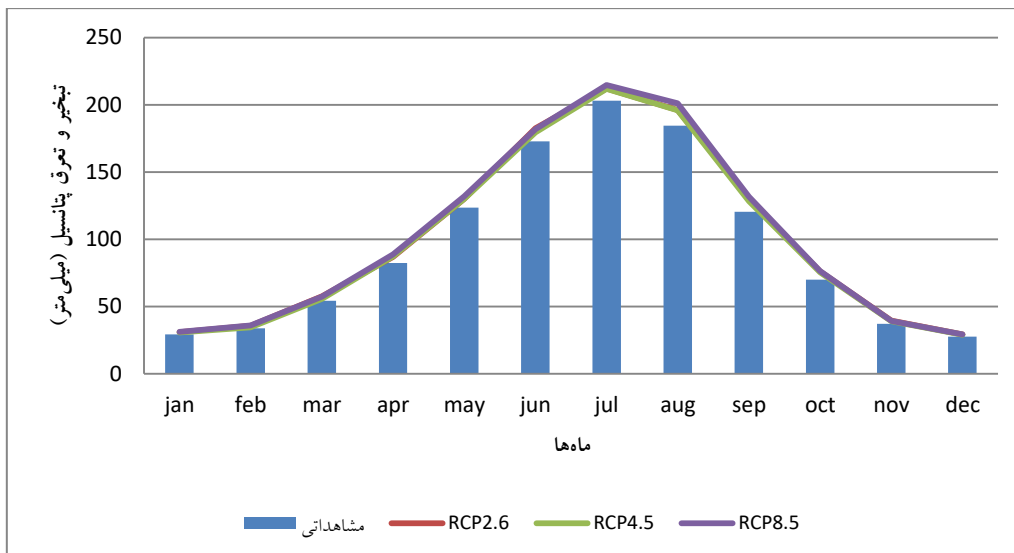
جدول ۴ - نتایج محاسبات تبخیر-تعرق پتانسیل با روش پنمن-ماتیت ایستگاه پارس آباد در دوره مشاهداتی

ماه	Avg Temp °C	Humidity درصد	Wind ms <sup>-1</sup>	Sun hours	Rad MJm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup>	ETo mmmonth <sup>-1</sup>
Jan	۳/۷	۷۹	۴/۱	۳/۸	۷	۲۹/۴
Feb	۴/۸	۷۸	۴/۳	۴/۶	۹/۷	۳۳/۸
mar	۸/۳	۷۶	۴/۱	۴/۶	۱۲/۴	۵۴/۳
Apr	۱۳/۸	۷۴	۴/۱	۵/۹	۱۶/۶	۸۲/۵
May	۱۹/۲	۷۰	۳/۴	۷/۶	۲۰/۶	۱۲۳/۵
Jun	۲۴/۵	۶۰	۳/۵	۹/۳	۲۳/۶	۱۷۲/۹
Jul	۲۷/۲	۵۹	۴/۱	۹/۴	۲۳/۳	۲۰۳/۱
Aug	۲۶/۸	۶۰	۳/۹	۸/۳	۲۰/۳	۱۸۴/۴
Sep	۲۲/۳	۶۸	۳/۴	۶/۸	۱۵/۸	۱۲۰/۴
Oct	۱۶/۲	۷۷	۳/۲	۵/۲	۱۱	۶۹/۹
Nov	۹/۹	۸۲	۳/۴	۳/۹	۷/۵	۷۳/۲
Dec	۵/۳	۸۲	۳/۹	۳/۷	۶/۳	۲۷/۷
سال	۱۵/۲	۷۲	۳/۸	۶/۱	۱۴/۵	۱۱۳۹/۰

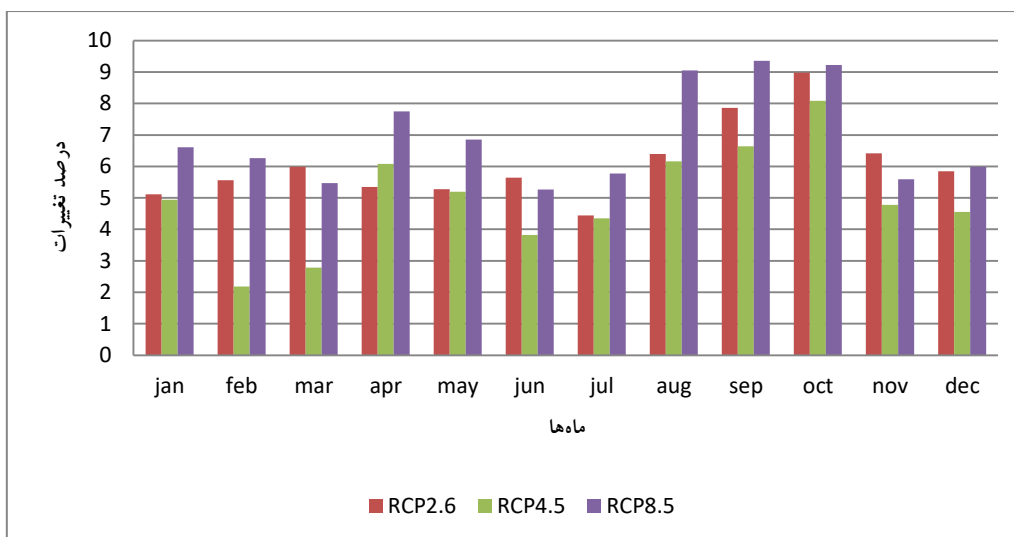
جدول ۵ - درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل از روش پنمن-ماتیت ایستگاه پارس آباد نسبت به دوره پایه و دوره مشاهداتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف

ماه	مشاهداتی		سناریوی RCP2.6		سناریوی RCP4.5		سناریوی RCP8.5	
	ETo mmmonth <sup>-1</sup>	درصد تغییرات	ETo mmmonth <sup>-1</sup>	درصد تغییرات	ETo mmmonth <sup>-1</sup>	درصد تغییرات	ETo mmmonth <sup>-1</sup>	درصد تغییرات
Jan	۲۹/۴	۳۰/۹	۳۱	۵/۱	۳۱	۴/۹	۳۱/۳	۶/۶
Feb	۳۳/۸	۳۵/۷	۳۵	۵/۶	۳۵	۲/۲	۳۶/۰	۶/۳
Mar	۵۴/۳	۵۷/۵	۵۶	۶/۰	۵۶	۲/۸	۵۷/۳	۵/۵
Apr	۸۲/۵	۸۶/۹	۸۷	۵/۳	۸۷	۶/۱	۸۸/۹	۷/۷
May	۱۲۳/۵	۱۳۰/۰	۱۳۰	۵/۳	۱۳۰	۵/۲	۱۳۲/۰	۶/۸
Jun	۱۷۲/۹	۱۸۲/۹	۱۷۹	۵/۶	۱۷۹	۳/۸	۱۸۲/۰	۵/۳
Jul	۲۰۳/۱	۲۱۲/۱	۲۱۲	۴/۴	۲۱۲	۴/۴	۲۱۴/۸	۵/۸
Aug	۱۸۴/۴	۱۹۶/۲	۱۹۶	۶/۴	۱۹۶	۶/۲	۲۰۱/۱	۹/۰
Sep	۱۲۰/۴	۱۲۹/۹	۱۲۸	۷/۹	۱۲۸	۶/۶	۱۳۱/۷	۹/۴
Oct	۶۹/۹	۷۶/۲	۷۶	۹/۰	۷۶	۸/۱	۷۶/۴	۹/۲
Nov	۳۷/۲	۳۹/۶	۳۹	۶/۴	۳۹	۴/۸	۳۹/۳	۵/۶
Dec	۲۷/۷	۲۹/۳	۲۹	۵/۸	۲۹	۴/۵	۲۹/۴	۶/۰
سال	۱۱۳۹/۰	۱۲۰۶/۹	۱۱۹۸	۶/۰	۱۱۹۸	۵/۱	۱۲۱۹/۹	۷/۱

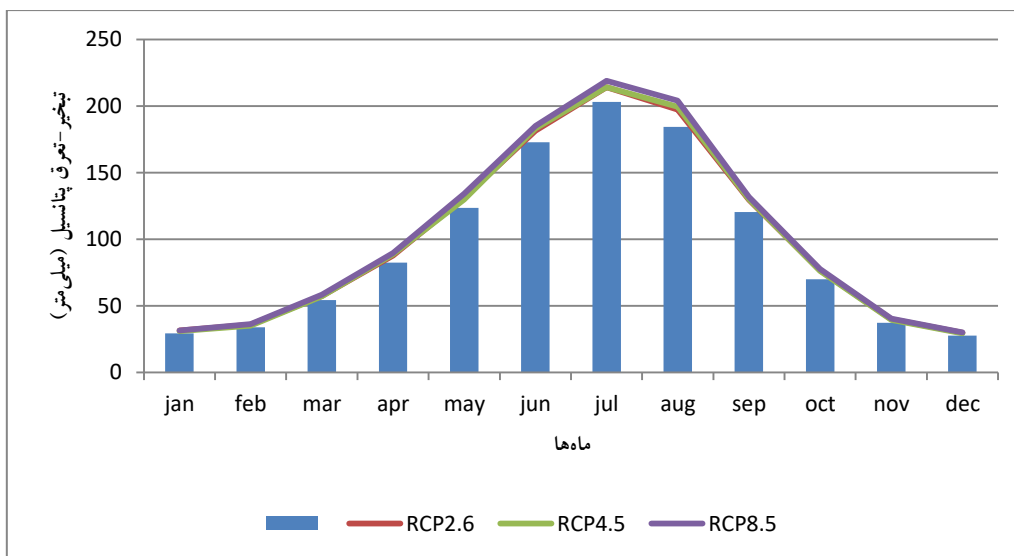




شکل ۵- مقایسه تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد از روش پنمن-مانتیث با دوره مشاهداتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف



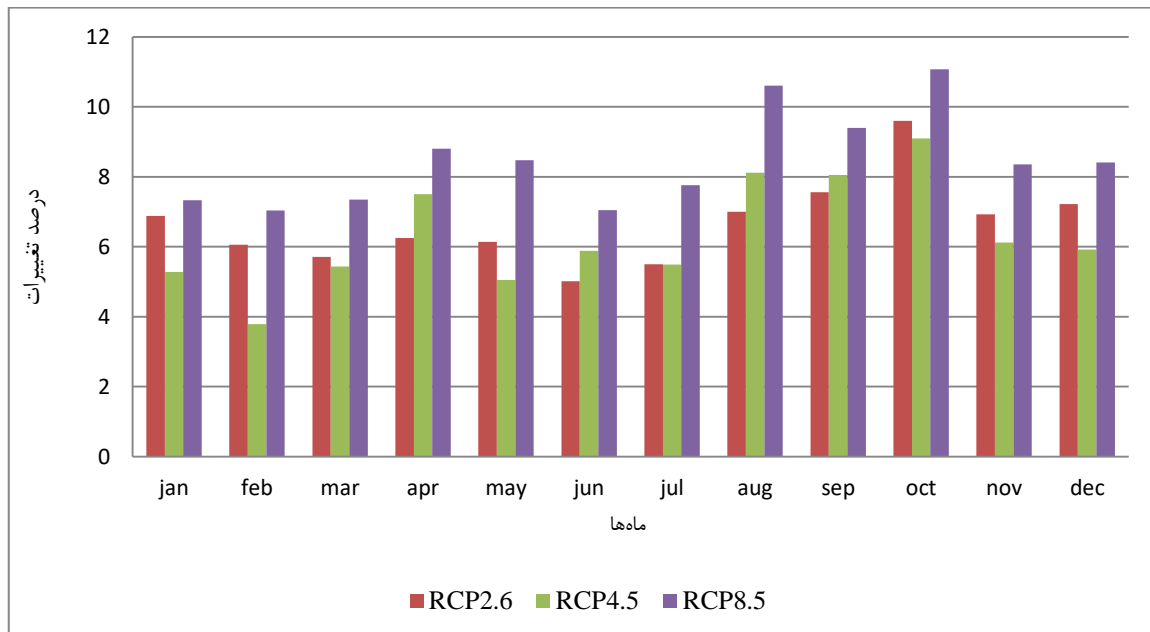
شکل ۶- مقایسه درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد با دوره مشاهداتی و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف



شکل ۷- مقایسه تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد نسبت به دوره پایه و دوره مشاهداتی ۲۰۳۰-۲۰۶۰ تحت سناریوهای مختلف

جدول ۶- درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل از روش پنمن-مانتیت ایستگاه پارس آباد نسبت به دوره پایه و دوره مشاهداتی ۲۰۳۰-۲۰۶۰ تحت سناریوهای مختلف

ماه	مشاهداتی		سناریوی RCP2.6		سناریوی RCP4.5		سناریوی RCP8.5	
	ETo	درصد تغییرات	ETo	درصد تغییرات	ETo	درصد تغییرات	ETo	درصد تغییرات
Jan	۲۹/۴	۷/۳	۳۱/۴	۶/۹	۳۰/۹	۵/۳	۳۱/۵	۷/۳
Feb	۳۳/۸	۷/۰	۳۵/۹	۶/۱	۳۵/۱	۳/۸	۳۶/۲	۷/۰
Mar	۵۴/۳	۷/۳	۵۷/۴	۵/۷	۵۷/۲	۵/۴	۵۸/۳	۷/۳
Apr	۸۲/۵	۸/۸	۸۷/۶	۶/۲	۸۸/۷	۷/۵	۸۹/۷	۸/۸
May	۱۲۳/۵	۸/۵	۱۳۱/۱	۶/۱	۱۲۹/۸	۵/۱	۱۳۴/۰	۸/۵
Jun	۱۷۲/۹	۷/۰	۱۸۱/۵	۵/۰	۱۸۳/۰	۵/۹	۱۸۵/۰	۷/۰
Jul	۲۰۳/۱	۷/۸	۲۱۴/۲	۵/۵	۲۱۴/۲	۵/۵	۲۱۸/۸	۷/۸
Aug	۱۸۴/۴	۱۰/۶	۱۹۷/۳	۷/۰	۱۹۹/۴	۸/۱	۲۰۴/۰	۱۰/۶
Sep	۱۲۰/۴	۹/۴	۱۲۹/۵	۷/۶	۱۳۰/۱	۸/۰	۱۳۱/۷	۹/۴
Oct	۶۹/۹	۱۱/۱	۷۶/۶	۹/۶	۷۶/۳	۹/۱	۷۷/۷	۱۱/۱
Nov	۳۷/۲	۸/۴	۳۹/۸	۶/۹	۳۹/۵	۶/۱	۴۰/۳	۸/۴
Dec	۲۷/۷	۸/۴	۲۹/۷	۷/۲	۲۹/۳	۵/۹	۳۰/۰	۸/۴
سال	۱۱۳۹/۰	۸/۶	۱۲۱۲/۱	۶/۴	۱۲۱۳/۵	۶/۵	۱۲۳۷/۳	۸/۶



شکل ۸- مقایسه درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد نسبت به دوره پایه و دوره مشاهداتی ۲۰۳۰-۲۰۶۰ تحت سناریوهای مختلف

**جدول ۷-** نتایج محاسبات تبخیر-تعرق پتانسیل از روش هارگریوز ایستگاه پارس آباد نسبت به دوره پایه و دوره مشاهداتی ۲۰۳۰-۲۰۶۰ تحت سناریوهای مختلف

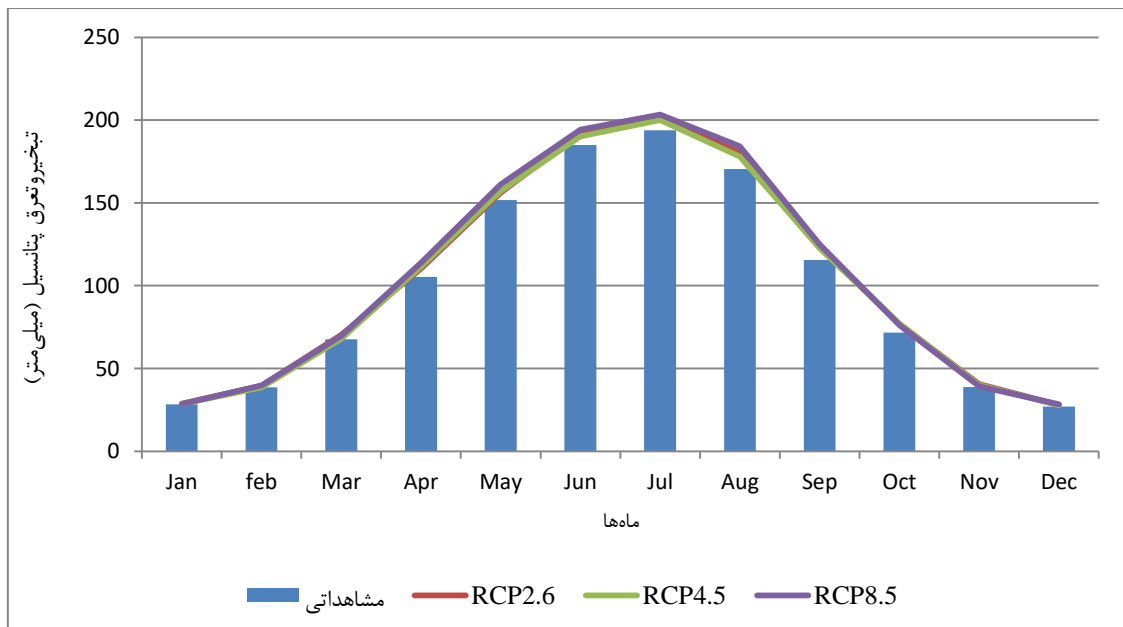
ماه	مشاهداتی	تبخیر و تعرق پتانسیل در RCP2.6		تبخیر و تعرق پتانسیل در RCP4.5		تبخیر و تعرق پتانسیل در RCP8.5	
		۲۰۳۰-۲۰۶۰	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۲۰۳۰-۲۰۶۰	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۲۰۳۰-۲۰۶۰	۲۰۱۱-۲۰۳۰
Jan	۲۸/۴	۲۸/۷	۲۸/۷	۲۸/۲	۲۸/۴	۲۸/۶	۲۸/۶
Feb	۳۸/۵	۳۹/۵	۳۹/۹	۳۸/۶	۳۸/۹	۳۹/۸	۴۰/۳
Mar	۶۷/۶	۷۰/۳	۷۰/۴	۶۸/۱	۷۰/۵	۶۹/۶	۷۲/۰
Apr	۱۰۵/۲	۱۱۰/۳	۱۱۰/۳	۱۱۱/۵	۱۱۱/۱	۱۱۳/۷	۱۱۴/۹
may	۱۵۱/۷	۱۵۶/۱	۱۶۰/۰	۱۵۷/۲	۱۵۸/۶	۱۶۱/۲	۱۶۴/۰
Jun	۱۸۴/۹	۱۹۲/۲	۱۹۰/۶	۱۹۰/۱	۱۹۲/۸	۱۹۴/۳	۱۹۵/۸
Jul	۱۹۳/۸	۲۰۱/۰	۲۰۰/۷	۲۰۰/۱	۲۰۱/۲	۲۰۳/۳	۲۰۶/۹
Aug	۱۷۰/۴	۱۸۰/۶	۱۸۱/۲	۱۷۷/۹	۱۸۳/۰	۱۸۴/۱	۱۸۸/۱
Sep	۱۱۵/۵	۱۲۳/۹	۱۲۴/۱	۱۲۲/۶	۱۲۳/۹	۱۲۵/۱	۱۲۷/۴
Oct	۷۱/۷	۷۶/۸	۷۷/۳	۷۷/۲	۷۷/۳	۷۶/۲	۷۷/۳
Nov	۳۸/۸	۴۰/۶	۴۰/۴	۳۹/۹	۴۰/۷	۳۹/۲	۴۰/۹
Dec	۲۶/۹	۲۷/۹	۲۸/۳	۲۷/۸	۲۷/۶	۲۸/۴	۲۹/۱
سال	۱۱۹۳/۶	۱۲۴۷/۸	۱۲۵۱/۸	۱۲۳۹/۰	۱۲۵۴/۰	۱۲۶۳/۵	۱۲۸۵/۲

**جدول ۸-** درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل از روش هارگریوز ایستگاه پارس آباد نسبت به دوره پایه و دوره مشاهداتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف

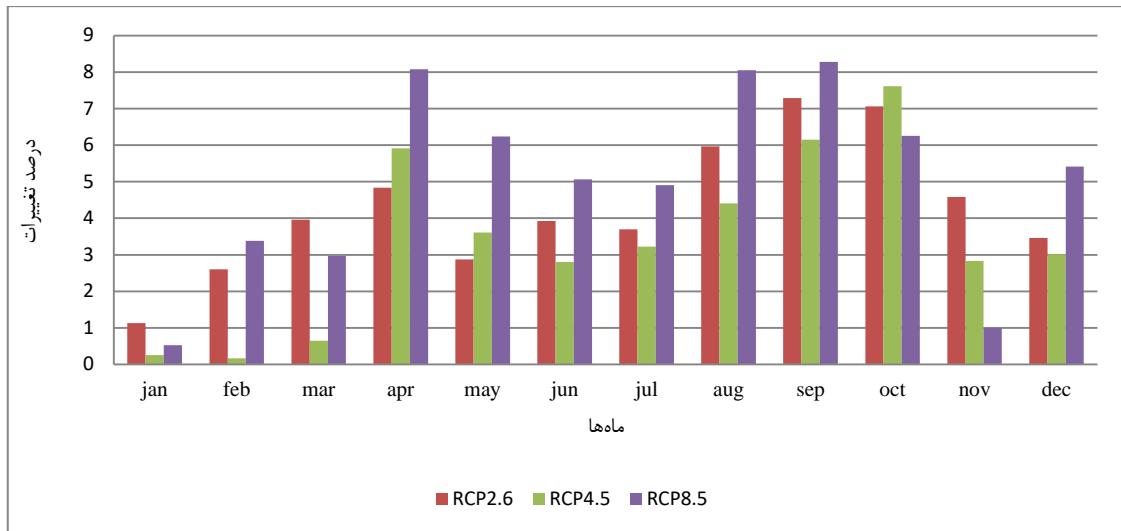
ماه	مشاهداتی	سناریوی RCP2.6		سناریوی RCP4.5		سناریوی RCP8.5	
		تبخیر-تعرق (mmmonth <sup>-1</sup> )	درصد تغییرات	تبخیر-تعرق (mmmonth <sup>-1</sup> )	درصد تغییرات	تبخیر-تعرق (mmmonth <sup>-1</sup> )	درصد تغییرات
Jan	۲۸/۴	۲۸/۷	۱/۱	۲۹	۰/۳	۲۸/۶	۰/۵
Feb	۳۸/۵	۳۹/۵	۲/۶	۳۹	۰/۲	۳۹/۸	۳/۴
Mar	۶۷/۶	۷۰/۳	۴/۰	۶۸	۰/۷	۶۹/۶	۳/۰
Apr	۱۰۵/۲	۱۱۰/۳	۴/۸	۱۱۱	۵/۹	۱۱۳/۷	۸/۱
May	۱۵۱/۷	۱۵۶/۱	۲/۹	۱۵۷	۳/۶	۱۶۱/۲	۶/۲
Jun	۱۸۴/۹	۱۹۲/۲	۳/۹	۱۹۰	۲/۸	۱۹۴/۳	۵/۱
Jul	۱۹۳/۸	۲۰۱/۰	۳/۷	۲۰۰	۳/۲	۲۰۳/۳	۴/۹
Aug	۱۷۰/۴	۱۸۰/۶	۶/۰	۱۷۸	۴/۴	۱۸۴/۱	۸/۰
Sep	۱۱۵/۵	۱۲۳/۹	۷/۳	۱۲۳	۶/۲	۱۲۵/۱	۸/۳
Oct	۷۱/۷	۷۶/۸	۷/۱	۷۷	۷/۶	۷۶/۲	۶/۳
Nov	۳۸/۸	۴۰/۶	۴/۶	۴۰	۲/۸	۳۹/۲	۱/۰
Dec	۲۶/۹	۲۷/۹	۳/۵	۲۸	۳/۰	۲۸/۴	۵/۴
سال	۱۱۹۳/۶	۱۲۴۷/۸	۴/۵	۱۲۳۹	۳/۸	۱۲۶۳/۵	۵/۹

جدول ۹- درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل از روش هارگریوز ایستگاه پارس آباد نسبت به دوره پایه و دوره مشاهداتی ۲۰۳۰-۲۰۶۰ تحت سناریوهای مختلف

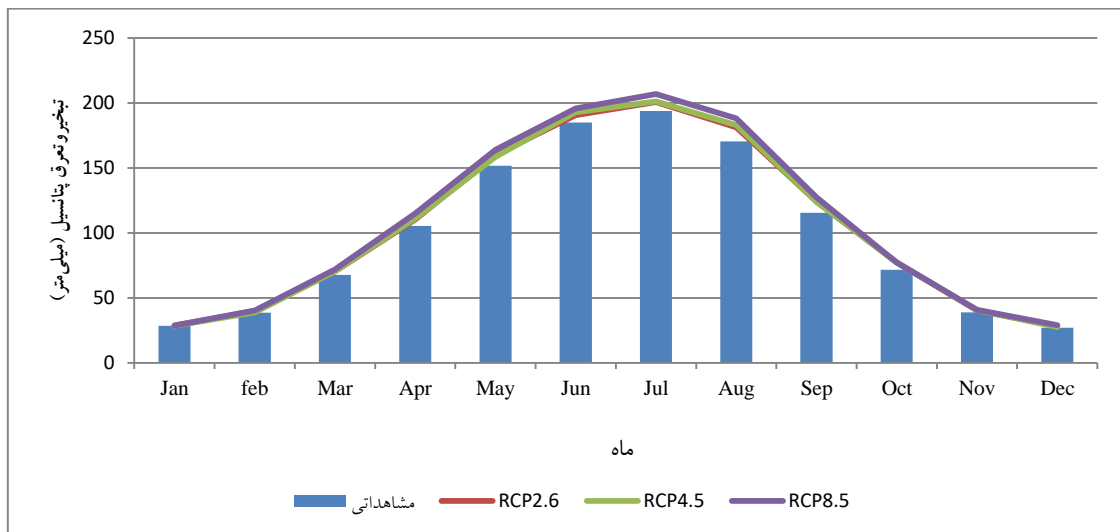
سناریوی	مشاهداتی		سناریوی		سناریوی		ماه
	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	
درصد تغییرات	تبخیر و تعرق (mmmonth <sup>-1</sup> )	تبخیر و تعرق (mmmonth <sup>-1</sup> )	درصد تغییرات	تبخیر و تعرق (mmmonth <sup>-1</sup> )	درصد تغییرات	تبخیر و تعرق (mmmonth <sup>-1</sup> )	
۰/۸	۲۸/۶	۲۸/۴	۰	۲۸/۴	۰/۹	۲۸/۷	Jan
۴/۷	۴۰/۳	۳۸/۹	۰/۹	۳۸/۹	۳/۵	۳۹/۹	Feb
۶/۴	۷۲/۰	۷۰/۵	۴/۲	۷۰/۵	۴/۱	۷۰/۴	Mar
۹/۱	۱۱۴/۹	۱۱۱/۱	۵/۵	۱۱۱/۱	۴/۸	۱۱۰/۳	Apr
۸/۱	۱۶۴/۰	۱۵۸/۶	۴/۶	۱۵۸/۶	۵/۵	۱۶۰/۰	May
۵/۹	۱۹۵/۸	۱۹۲/۸	۴/۳	۱۹۲/۸	۳/۱	۱۹۰/۶	Jun
۶/۸	۲۰۶/۹	۲۰۱/۲	۳/۸	۲۰۱/۲	۳/۵	۲۰۰/۷	Jul
۱۰/۴	۱۸۸/۱	۱۸۳/۰	۷/۴	۱۸۳/۰	۶/۳	۱۸۱/۲	Aug
۱۰/۳	۱۲۷/۴	۱۲۳/۹	۷/۳	۱۲۳/۹	۷/۴	۱۲۴/۱	Sep
۷/۸	۷۷/۳	۷۷/۳	۷/۸	۷۷/۳	۷/۸	۷۷/۳	Oct
۵/۵	۴۰/۹	۴۰/۷	۴/۸	۴۰/۷	۴/۱	۴۰/۴	Nov
۷/۹	۲۹/۱	۲۷/۶	۲/۵	۲۷/۶	۵/۰	۲۸/۳	Dec
۷/۷	۱۲۸۵/۲	۱۲۵۴/۰	۵/۱	۱۲۵۴/۰	۴/۹	۱۲۵۱/۸	سال



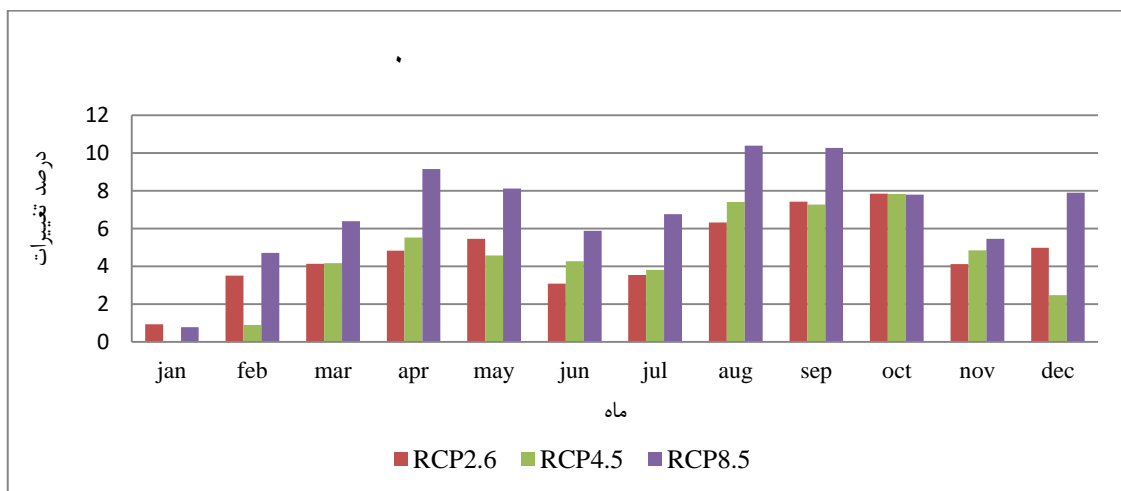
شکل ۹- مقایسه تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد از روش هارگریوز با دوره مشاهداتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف



شکل ۱۰- مقایسه درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد از روش هارگریوز با دوره مشاهداتی و ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوهای مختلف



شکل ۱۱- مقایسه تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد از روش هارگریوز با دوره مشاهداتی و ۲۰۶۰-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف



شکل ۱۲- مقایسه درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد از روش هارگریوز با دوره مشاهداتی و ۲۰۶۰-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف

مقایسه مقادیر سالانه تبخیر-تعرق بیانگر بیشینه اختلاف ۴/۸ درصدی برای دوره پایه و بیشینه اختلاف ۳/۶ درصدی برای سناریوی RCP8.5، روش هارگریوز نسبت به پنمن است. مقایسه مقادیر ماهانه در فصول کشت مقادیر تبخیر-تعرق از روش هارگریوز بیشتر از روش پنمن-مانتیت است و درصد اختلاف در سناریوهای مختلف، کمتر از چهار درصد است. در نتیجه هر دو روش نتایج قابل قبولی را در محاسبه تبخیر-تعرق نشان می‌دهند.

در جدول‌های ۱۰ و ۱۱، توزیع ماهانه میزان تبخیر-تعرق پتانسیل از روش‌های پنمن-مانتیت و هارگریوز-سامانی ایستگاه پارس‌آباد در دوره مشاهداتی و دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۰-۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف ارائه شده است. مقادیر سالانه تبخیر-تعرق پتانسیل برای دو روش فوق در جدول ۱۲ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که میزان تبخیر-تعرق پتانسیل به‌دست آمده با روش هارگریوز-سامانی بیشتر از روش پنمن-مانتیت است.

جدول ۱۰- مقایسه نتایج محاسبات تبخیر-تعرق پتانسیل از روش‌های پنمن-مانتیت و هارگریوز-سامانی ایستگاه پارس‌آباد در دوره مشاهداتی و ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوهای مختلف

ماه	سناریوی RCP8.5		سناریوی RCP4.5		سناریوی RCP2.6		مشاهداتی
	تبخیر و تعرق از روش پنمن (mm)	تبخیر و تعرق از روش هارگریوز (mm)	تبخیر و تعرق از روش پنمن (mm)	تبخیر و تعرق از روش هارگریوز (mm)	تبخیر و تعرق از روش پنمن (mm)	تبخیر و تعرق از روش هارگریوز (mm)	
Jan	۲۸/۴	۲۹/۴	۲۸/۷	۳۰/۹	۲۸/۴	۲۹/۴	۲۹/۴
Feb	۳۹/۸	۳۶/۰	۳۹/۵	۳۵/۷	۳۸/۵	۳۳/۸	۳۳/۸
Mar	۶۹/۶	۵۷/۳	۷۰/۳	۵۷/۵	۶۷/۶	۵۴/۳	۵۴/۳
Apr	۱۱۳/۷	۸۸/۹	۱۱۰/۳	۸۶/۹	۱۰۵/۲	۸۲/۵	۸۲/۵
May	۱۶۱/۲	۱۳۲/۰	۱۵۶/۱	۱۳۰/۰	۱۵۱/۷	۱۲۳/۵	۱۲۳/۵
Jun	۱۹۴/۳	۱۸۲/۰	۱۹۲/۲	۱۸۲/۶	۱۸۴/۹	۱۷۲/۹	۱۷۲/۹
Jul	۲۰۳/۳	۲۱۴/۸	۲۰۱/۰	۲۱۲/۱	۱۹۳/۸	۲۰۳/۱	۲۰۳/۱
Aug	۱۸۴/۱	۲۰۱/۱	۱۸۰/۶	۱۹۶/۲	۱۷۰/۴	۱۸۴/۴	۱۸۴/۴
Sep	۱۲۵/۱	۱۳۱/۷	۱۲۳/۹	۱۲۹/۹	۱۱۵/۵	۱۲۰/۴	۱۲۰/۴
Oct	۷۶/۲	۷۶/۴	۷۶/۸	۷۶/۲	۷۱/۷	۶۹/۹	۶۹/۹
Nov	۳۹/۲	۳۹/۳	۴۰/۶	۳۹/۶	۳۸/۸	۳۷/۲	۳۷/۲
Dec	۲۸/۴	۲۹/۴	۲۷/۹	۲۹/۳	۲۶/۹	۲۷/۷	۲۷/۷
سال	۱۲۶۳/۵	۱۲۱۹/۹	۱۲۴۷/۸	۱۲۰۶/۹	۱۱۹۳/۶	۱۱۳۹/۱	۱۱۳۹/۱

جدول ۱۱- مقایسه نتایج محاسبات تبخیر-تعرق پتانسیل از روش‌های پنمن-مانتیث و هارگریوز-سامانی ایستگاه پارس‌آباد در دوره مشاهداتی و ۲۰۳۰-۲۰۶۰ تحت سناریوهای مختلف

ماه	مشاهداتی		سناریوی RCP2.6		سناریوی RCP4.5		سناریوی RCP8.5	
	تبخیر و تعرق از روش پنمن (mm)	تبخیر و تعرق از روش هارگریوز (mm)	تبخیر و تعرق از روش پنمن (mm)	تبخیر و تعرق از روش هارگریوز (mm)	تبخیر و تعرق از روش پنمن (mm)	تبخیر و تعرق از روش هارگریوز (mm)	تبخیر و تعرق از روش پنمن (mm)	تبخیر و تعرق از روش هارگریوز (mm)
Jan	۲۹/۴	۲۸/۴	۳۱/۴	۲۸/۷	۳۰/۹	۲۸/۴	۳۱/۵	۲۸/۶
Feb	۳۳/۸	۳۸/۵	۳۵/۹	۳۹/۹	۳۵/۱	۳۸/۹	۳۶/۲	۴۰/۳
Mar	۵۴/۳	۶۷/۶	۵۷/۴	۷۰/۴	۵۷/۲	۷۰/۵	۵۸/۳	۷۲/۰
Apr	۸۲/۵	۱۰۵/۲	۸۷/۶	۱۱۰/۳	۸۸/۷	۱۱۱/۱	۸۹/۷	۱۱۴/۹
May	۱۲۳/۵	۱۵۱/۷	۱۳۱/۱	۱۶۰/۰	۱۲۹/۸	۱۵۸/۶	۱۳۴/۰	۱۶۴/۰
Jun	۱۷۲/۹	۱۸۴/۹	۱۸۱/۵	۱۹۰/۶	۱۸۳/۰	۱۹۲/۸	۱۸۵/۰	۱۹۵/۸
Jul	۲۰۳/۱	۱۹۳/۸	۲۱۴/۲	۲۰۰/۷	۲۱۴/۲	۲۰۱/۲	۲۱۸/۸	۲۰۶/۹
Aug	۱۸۴/۴	۱۷۰/۴	۱۹۷/۳	۱۸۱/۲	۱۹۹/۴	۱۸۳/۰	۲۰۴/۰	۱۸۸/۱
Sep	۱۲۰/۴	۱۱۵/۵	۱۲۹/۵	۱۲۴/۱	۱۳۰/۱	۱۲۳/۹	۱۳۱/۷	۱۲۷/۴
Oct	۶۹/۹	۷۱/۷	۷۶/۶	۷۷/۳	۷۶/۳	۷۷/۳	۷۷/۷	۷۷/۳
Nov	۳۷/۲	۳۸/۸	۳۹/۸	۴۰/۴	۳۹/۵	۴۰/۷	۴۰/۳	۴۰/۹
Dec	۲۷/۷	۲۶/۹	۲۹/۷	۲۸/۳	۲۹/۳	۲۷/۶	۳۰/۰	۲۹/۱
سال	۱۱۳۹/۱	۱۱۹۳/۶	۱۲۱۲/۱	۱۲۵۱/۸	۱۲۴۱	۱۲۵۴	۱۲۳۷/۳	۱۲۸۵/۲

جدول ۱۲- مقایسه تبخیر-تعرق پتانسیل سالانه از روش‌های پنمن-مانتیث و هارگریوز-سامانی ایستگاه پارس‌آباد

مقدار	مشاهداتی		سناریوی RCP2.6		سناریوی RCP4.5		سناریوی RCP8.5	
	تبخیر-تعرق سالانه (mm)	تبخیر-تعرق سالانه (mm)	تبخیر-تعرق سالانه (mm)	تبخیر-تعرق سالانه (mm)	تبخیر-تعرق سالانه (mm)	تبخیر-تعرق سالانه (mm)	تبخیر-تعرق سالانه (mm)	تبخیر-تعرق سالانه (mm)
۲۰۱۱-۲۰۳۰	۱۱۳۹	۱۱۹۳/۶	۱۲۰۶/۹	۱۲۴۷/۸	۱۱۹۸	۱۲۳۹	۱۲۱۹/۹	۱۲۶۳/۵
۲۰۳۰-۲۰۶۰	۱۱۳۹	۱۱۹۳/۶	۱۲۱۲/۱	۱۲۵۱/۸	۱۲۱۳/۵	۱۲۵۴	۱۲۳۷/۳	۱۲۸۵/۲
درصد افزایش	۰	۰	۵/۹۶	۴/۵۴	۵/۱۸	۳/۸۰	۷/۱۰	۵/۸۶
نسبت به دوره پایه	۰	۰	۶/۴۲	۴/۸۸	۶/۵۴	۵/۰۶	۸/۶۳	۶/۶۷
اختلاف دو روش	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۵۴/۶	۴۰/۹	۴۰/۹	۴۱	۴۱	۴۳/۶	۴۳/۶
درصد تغییرات	۲۰۳۰-۲۰۶۰	۵۴/۶	۳۹/۷	۳۹/۷	۴۰/۵	۴۰/۵	۴۷/۹	۴۷/۹
نسبت به روش پنمن-مانتیث	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۴/۸	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۶	۳/۶
	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۴/۸	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۹	۳/۹

## نتیجه‌گیری

ماه‌های تابستان باعث افزایش نیاز آبی گیاه شده و لازم است، در کشت گیاهان تابستانه مانند ذرت احتیاط کرد، ولی این افزایش تبخیر و تعرق در محصولات کشت پائیزه کمتر است. همچنین، در صورت عدم تغییر الگوی کشت لازم است، ذخیره‌سازی آب بیشتر در ماه‌های بیشینه مصرف و اصلاح و ارتقای ظرفیت تاسیسات به‌خصوص کانال اصلی مد نظر قرار گیرد. به هر حال، با توجه به محدودیت منابع آب حوضه ارس و کاهش آورد رودخانه ارس به دلیل اثرات تغییر اقلیم، توسعه بالادست و بهره‌برداری از تاسیسات آبی در بالادست حوضه (کشورهای ترکیه، گرجستان و ارمنستان) و به بهره‌برداری رسیدن طرح‌های توسعه منابع آب در سرشاخه‌های رود ارس در ایران و همچنین، افزایش مصارف در حوضه لزوم دقت در برنامه‌ریزی منابع آب شبکه‌های آبیاری و زهکشی مغان و خدآفرین را می‌طلبد. پیشنهادات زیر می‌تواند راهکاری در صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری آب مورد استفاده در شبکه شود و به‌عنوان موضوعاتی در تحقیقات بعدی مد نظر قرار گیرد.

- ۱- افزایش راندمان آبیاری با استفاده از روش‌های نوین آبیاری برای افزایش بهره‌وری آب
- ۲- تغییر الگوی کشت و استفاده از گیاهان کم‌مصرف و سازگار با کم‌آبی
- ۳- لاینینگ کانال‌های اصلی و درجه ۲ و کاهش نشت از کانال‌ها در راستای افزایش راندمان انتقال آب
- ۴- بازنگری تقویم زراعی کشت محصولات با شرایط تغییر اقلیم (افزایش دما و تبخیر-تعرق).

در این پژوهش، از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARSWG6 و خروجی مدل جهانی HadGEM2 برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی و به دنبال آن برآورد تبخیر-تعرق، با توجه به تغییرات اقلیمی در محدوده دشت مغان در دو دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۰-۲۰۳۰ استفاده شد. نتایج حاصل از مدل ریزمقیاس-گردانی LARS-WG6 و بر اساس سناریوهای RCPs ایستگاه سینوپتیک پارس‌آباد بیانگر افزایش دما به میزان ۰/۷ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد در سناریوهای مختلف است. میزان تبخیر-تعرق نیز بر اساس هر دو روش هارگریوز و پنمن نیز افزایش چشمگیری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل از مدل LARS-WG6، در مجموع در سطح دشت مغان میزان دما و به تبع آن میزان تبخیر-تعرق افزایش پیدا خواهد کرد که این موضوع با پژوهش Goudarzi و همکاران (۲۰۱۸)، Mehrazar و همکاران (۲۰۱۸)، Akhavan و همکاران (۲۰۱۴) و Sabzipoor و Tabari (۲۰۱۰) مطابقت دارد و افزایش دما و تبخیر-تعرق باعث افزایش نیاز آبی گیاهان خواهد شد. افزایش دما و تبخیر-تعرق و تغییرات زمانی بارش باعث کاهش منابع آب و افزایش نیاز آبی گیاهان شده و در صورت عدم تصمیم‌گیری مناسب برای سازگاری با شرایط آبی باعث خسارات جبران‌ناپذیر خواهد شد. بنابراین پیشنهاد می‌شود، برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت مغان، راهکارهای مدیریتی مناسب، شناسایی و اثربخشی این راهکارها به‌وسیله مدل‌های مناسب بررسی شود. افزایش میزان تبخیر در

## منابع مورد استفاده

1. Akhavan, S., M. Ghabaei Sough and A. Mosaedi. 2016. Investigation of the effect of climate change on net irrigation requirement of main crops of Hamadan-Bahar Plain using LARS-WG downscaling model. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(4): 25-46 (in Persian).
2. Alizadeh, A. 2005. Principles of applied hydrological. Astan Quds Razavi, Mashhad, 807 pages (in Persian).
3. Babaeian, I. and M. Kouhi. 2012. Agro climatic indices assessment over some selected weather stations of Khorasan Razavi Province under climate change scenarios. *Journal of Water and Soil*, 26(4): 953-967 (in Persian).
4. Babaeian, I., Z. Najafinik, F. Abbasi, M. Habibi Nohandan, H. Adab and Sh. Malbousi. 2009. Assessment of the country's climate change in the period 2010-2039, using the finer scale of the data of the general circulation of atmosphere. *Geography Magazine and Developmental*, 16: 152-132 (in Persian).
5. Bormann, B. 2011. Sensitivity analysis of 18 different potential evapotranspiration models to observed climatic change at German climate stations. *Climatic Change*, 104(3-4): 729-753.



6. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, No.56.
7. Daneshfaraz, R. and H. Razzaghpour. 2014. Assessment of climate change effects on potential evapotranspiration in West Azarbaijan Province, Iran. *Journal of Geographic Space*, Azad University of Ahar, 14(46): 323-333 (in Persian).
8. Goudarzi, M., B. Salahi and S.A. Hosseini. 2018. Estimation of evapotranspiration rate due to climate change in the Urmia Lake Basin, Iran. *Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(41): 1-12 (in Persian).
9. Goyal, R.K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management*, 69: 1-11.
10. Hargreaves, G.H. and Z. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2): 96-99.
11. Houerou, H.N. 1993. *Changements climatiques et désertisation*. Secheresse, 4: 95-111.
12. IPCC. 2007. Summary for policymakers climate change: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, 881 pages.
13. IPCC. 2014. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pages.
14. Jahanbani, H., L.T. Shui, A.M. Bavani and A.H. Ghazali. 2011. Uncertainty of climate change and its impact on reference evapotranspiration in Rasht City, Iran. *Journal of Water Climate Change*, 2(1): 72-83.
15. Mehrazar, A., A. Massah Bavani, M. Mashal and H. Rahimikhoob. 2018. Assessment of climate change impacts on agriculture of the Hashtgerd Plain with emphasis of AR5 models uncertainty. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(3): 45-59 (in Persian).
16. Pouryazdankhah, H., T. Razavipour, M.R. Khaledian and M. Rezaei. 2012. Determining proper methods to estimate the reference evapotranspiration in Rasht region. Third National Conference on Integrated Water Resource Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 11 pages (in Persian).
17. Rasouli, A., M. Rezaei-Banafsheh, A. Massah, R. Khorshiddoust and B. Ghermezcheshmeh. 2014. Investigation impact of morpho-climatic parameters on accuracy of LARS-WG Model. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 8(24): 9-19 (in Persian).
18. Sabziparvar, A.A. and H. Tabari. 2010. Regional estimation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(10): 724-731.
19. Semenov, M.A. and P. Stratonovitch. 2010. The use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41: 114-135.
20. Wilby, R.L., T.M.L. Wigley, D. Conway, P.D. Jones, B.C. Hewitson, J. Main and D.S. Wilks. 1998. Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods. *Water Resources Research*, 34: 2995-3008.
21. Yaghoobzadeh, M., M. Ahmadi and B. Salahi. 2016. The effect of climate change on evapotranspiration changes during the growth period, plants of water and water fields using AOGCM models. *Water Research in Agriculture*, 30(4): 22-35 (in Persian).