

پیش‌نگری تبخیر و تعرق پتانسیل براساس سناریوهای واداشت تابشی (مطالعه موردی: تبریز)

منصور چترنور^۱، میرناصر نویدی^{۲*}، نسرين مرادی مجد^۳، ناصر دواتگر^۴، ابراهیم اسعدی اسکویی^۵، بهاره دلسوز خاکی^۶

۱ و ۶- محقق، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

۲ و ۳- دانشیار پژوهشی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

۴- دانش‌آموخته دکتری، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.

۵- استادیار پژوهشی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد.

چکیده

تبخیر- تعرق از بخش‌های مهم چرخه هیدرولوژی بوده و تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می‌شود، از عوامل اساسی در برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر و از مهم‌ترین پارامترهای مدیریت آب در گیاهان است. پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی تبخیر- تعرق پتانسیل ایستگاه تبریز به عنوان پاسخ به تغییرات اقلیمی انجام شد. به این منظور روش پنمن مانتیت به عنوان الگوریتم معیار برای برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره زمانی پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۱) استفاده بکار رفت. در ادامه تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۵ با استفاده از سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 براساس مدل‌های CMIP5 (1.1) BCC-CSM و CCSM4 و مدل LARS-WG6 برآورد شد. در نهایت با استفاده از شاخصهای آماری اعتبارسنجی بررسی توانمندی مدل LARS-WG6 طی دوره پایه با مقادیر مشاهداتی طی دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۰۵) ارزیابی شد. همچنین برای بدست آوردن ارزیابی کلی کیفیت برآوردها از منحنی امتیاز مهارتی ROC استفاده شد. ارزیابی عملکرد میانگین دو مدل نشان داد که برای ماه‌های گرم سال، مدل قابلیت بهتری در برآورد میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در مقایسه با ماه‌های سرد داشته و کمترین خطای RMSE در ماه‌های گرم بوده است. به طوری که در ماه ژانویه با مقدار ۰/۱۵ میلی‌متر کمترین مقدار خطا را داشت. در مقایسه ماه‌ها نیز نتایج حاکی از بهترین میزان برآورد دو ماه فوریه و اوت در برآورد مقادیر سالانه تبخیر- تعرق بود. همین‌طور نتایج نشان داد که در تمامی دوره‌های آبی و تحت تمامی سناریوها، میانگین تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های سالانه در مقایسه با دوره پایه افزایش معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ خواهد داشت. همچنین نمودار مشخصه عملکرد مهارتی نتایج قابل قبولی را از پیش‌بینی‌های دو مدل تبخیر تعرق پتانسیل نشان داد. نتایج میانگین دو مدل بیانگر افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده تحت سناریوهای RCP بود. در هر سه سناریو بیشترین میزان تبخیر- تعرق در ماه جولای و کمترین میزان آن در ماه دسامبر بدست آمد. همچنین در ماه‌های جولای، آگوست، ژانویه و فوریه نسبت به دوره پایه افزایش میزان تبخیر تعرق مشاهده شده و در ماه‌های نوامبر و دسامبر کاهش تبخیر- تعرق نسبت به دوره پایه بدست آمد. در سناریوی RCP 8.5 میزان تفاوت نسبت به دوره پایه به میزان ۶ میلی‌متر در روز بدست آمد که بیشترین مقدار تفاوت در بین سناریوهای منتخب بود.

کلید واژه‌ها: تبخیر- تعرق پتانسیل، سناریوی واداشت تابشی، امتیاز مهارتی، تبریز، CMIP5.

مقدمه

از این‌رو هر گونه تلاش برای بهبود بازده مصرف آب، می‌بایست بر پایه برآوردهایی با ضریب اطمینان زیاد در زمینه تبخیر- تعرق باشد (Simaiee et al., 2013). تاکنون مدل‌های بسیاری برای برآورد صحیح تبخیر-تعرق با استفاده از داده‌های هواشناسی توسعه یافته است. برای برآورد میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی در قرن اخیر، مدل‌های اقلیم جهانی GCM با قدرت تفکیک زمانی و مکانی متفاوت اجرا شده و نتایج آنها در اختیار محققان قرار می‌گیرد. مدل‌های

GCM برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی اقلیم در مقیاس جهانی بوده و ابزاری کاربردی برای استنتاج اطلاعات تغییر اقلیم در مقیاس بزرگ است (Wright et al., 2015). به دلیل محدودیت این داده‌ها در تفکیک زمانی و مکانی، نخستین گام در فرایند استفاده از آنها، گرفتن خروجی از مدل ریزمقیاس نمای آنها با روش‌های آماری و پویا و نیز تلفیقی از هر دو روش به منظور تولید داده‌هایی با صحت مکانی بیشتر و در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر است (صادقی و دین‌پژوه، ۲۰۱۶). به‌تازگی تلاش‌های زیادی از طرف جامعه‌های اقلیم‌شناسی برای توسعه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پویا و آماری برای بیان تغییر اقلیم در یک مقیاس محلی و منطقه‌ای انجام شده است.

در دهه‌های اخیر مدل‌های GCM در کشورهای مختلف دنیا (۱۲ کشور) توسعه یافته و در قالب پروژه جهانی CMIP با یک چارچوب مشترک مقایسه‌ای برای ارتقاء دانش تغییر اقلیم (اقلیم در گذشته، حال و آینده) و نیز بهبود کارایی مدل‌های اقلیمی در نسخه‌های مختلف به صورت گام به گام ارائه شده‌اند (Demirel and Moradkhani, 2016). به گونه‌ای که در سال‌های اخیر نسل جدیدی از مدل‌های اقلیمی به نام مدل‌های زمین برای کاهش عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی پیشین (مدل CMIP3) در قالب پروژه جهانی CMIP5 و CMIP6 توسعه یافته یا در حال توسعه است (Eyring et al., 2016). مدل‌های CMIP5 به عنوان جدیدترین مجموعه از مدل‌های GCM کارایی قابل توجهی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی اقلیم در مقیاس با نسل پیش از خود (مدل‌های CMIP3) نشان داده‌اند (Wang et al., 2017). این موضوع به خاطر عملکرد بهتر این مدل‌ها در شبیه‌سازی فرآیندهای کلیدی در پروژه CMIP5 از جمله شبیه‌سازی مطلوب‌تر آب و هوای سال‌های گذشته است

از مهمترین چالش‌های زیست‌محیطی در یک منطقه، پیش‌بینی تغییرات اقلیم است. پیش‌نگری بلند مدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن مقدمات و تصمیم‌های لازم برای کاهش اثرات بد ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه متخصصان مختلف از جمله متخصصان علوم محیطی قرار گرفته است. انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر برای سازگاری با این پدیده و نیز کاهش هزینه‌های خسارت بار ناشی از این تغییرات بسیار ضروری است. مطالعات نشان داده که تغییرات اقلیم در آینده بیشتر به صورت افزایش دمای هوا آشکار خواهد شد (Sarafroozeh et al., 2014). با توجه به پدیده تغییر اقلیم و در پی آن تغییرات نیاز آبی گیاه شناخت و ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آینده با هدف برنامه‌ریزی محیطی مناسب در جهت سازگاری با شرایط آبی اقلیم و کاهش اثرات آن امری کاملاً بایسته می‌باشد. عمده‌ترین عامل مصرف منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک کشاورزی و به تبع آن تبخیر-تعرق است، لذا آگاهی از روند تغییرات و پیش‌بینی آن نقش موثری را در برنامه‌ریزی، توسعه و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند (ارفع و همکاران، ۲۰۱۹). از آنجایی که تبخیر-تعرق بخش مهمی از بیلان آبی مناطق خشک و نیمه خشک را به خود اختصاص می‌دهد، برآورد صحیح آن در حفظ بهینه منابع آب اهمیت زیادی دارد. از سوی دیگر آگاهی از فرایند تبخیر-تعرق برای برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سامانه‌های آبیاری ضروری است (شکری و همکاران، ۲۰۱۷). باتوجه به رشد روز افزون جمعیت، نیاز به مواد غذایی و خاک، کاهش نزولات جوی متأثر از تغییر اقلیم، ارزیابی اثرات آن در کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجایی که امنیت غذایی در نتیجه تغییر اقلیم به خطر می‌افتد، پرداختن به مواردی چون توسعه سامانه‌های آبیاری، پذیرش رقم‌های سازگار با دما، سازگاری عملیات زراعی و آبیاری کشاورزان با توجه به اقلیم آینده ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت مسئله تغییر اقلیم، مطالعات و بررسی سناریوهای اقلیمی و بررسی اثرات آن بر میزان تولید محصولات کشاورزی می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی آینده توسعه کشاورزی باشد (Sarafroozeh et al., 2014).

ایران شهر ۲۳/۱۹۴ (mm/day) می‌باشد. حسینی تابش و آقا شریعتمداری (۲۰۲۰) تأثیر تغییرات اقلیم بر نیاز آبیاری برنج در سناریوهای واداشت تابشی در بندر انزلی را تعیین کردند. پژوهش آنها در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ بوده و میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه به ترتیب به میزان ۲/۲ و ۱/۲ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۰۵ افزایش نشان داد. همچنین در دوره ۲۰۵۹-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه به ترتیب به میزان ۳/۲ و ۲/۸ درجه سانتیگراد افزایش یافت. احمدی و همکاران (۲۰۱۸) پژوهشی را برای بررسی تغییرات دمای هوا در آینده بر اساس مدل CMIP5 و سناریوهای واداشت تابشی در استان ایلام انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که مدل CMIP5 به نسبت زیادی با داده دوره پایه یا مشاهده‌ای داشت. همچنین نتایج آنها نشان داد که براساس سناریوهای RCP 8.5 و RCP4.5 تغییر اقلیم موجب افزایش دمای هوا در آینده خواهد شد. حافظ پرست و پورخیرا... (۲۰۱۸) اثر سناریوهای واداشت تابشی بر شاخص‌های هیدرولوژیکی را در منطقه حوضه آبریز سد دویرج شهرستان دهلران به انجام رساندند. در این پژوهش میزان تغییرات بارش و دما بر میزان رواناب حوضه این سد سنجیده شد. نتایج آنها نشان داد که رواناب دوره آتی ۹/۴ درصد نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. همچنین حافظ پرست و پورخیرا... (۲۰۱۷) پایش خشکسالی هوشناسی به منظور حفظ پایداری در سناریوهای واداشت تابشی در منطقه حوضه آبریز سد دویرج شهرستان دهلران را نیز انجام دادند. در این تحقیق نتایج نشان دهنده افزایش میانگین درازمدت بارش و دمای ماهانه به میزان ۱۴ درصد و ۱/۲ سانتیگراد نسبت به دوره پایه بوده است. عسگری و همکاران (۲۰۱۷) پژوهشی را به منظور پیش‌نگری کمی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص گرمایی (THI) در سناریوهای واداشت تابشی RCP را در ایران انجام دادند. شاخص گرمایی THI به عنوان یک شاخص اقلیمی - کشاورزی موثر در تولید دام در نظر گرفته شد. براساس نتایج این پژوهش، در فصل‌های بهار و تابستان، مناطق مستعد تولید دام با توجه به گرمایش جهانی رو به کاهش بوده ولی در فصول پاییز و زمستان دام‌ها در گستره ایران دچار تنش‌های گرمایی محسوسی نخواهد بود. در پژوهشی Dascălu و همکاران (2016) با استفاده از مدل‌های گزارش پنجم (IPCC) در دو

(Taylor et al., 2012). شایسته یادآوری است که عملکرد مدل‌های GCM بیشتر براساس توانایی آنها در شبیه‌سازی آب و هوای سال‌های گذشته و مقایسه آنها با داده‌های تاریخی انجام می‌گیرد (Wright et al., 2015). روش‌های متعددی برای ارزیابی عملکرد مدل‌های GCM در شبیه‌سازی اقلیم سال‌های گذشته پیشنهاد و به کار گرفته شده‌اند. بیشتر روش‌های پیشنهادی محدود به استفاده از چند آماره عمومی (ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و ...) و در یک پایه زمانی (سالانه) بدون ارزیابی جامع بوده است. از طرف دیگر مرور تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که هیچ توافق پذیرفته شده جهانی در چگونگی انتخاب مدل GCM و مقیاس زمانی ارزیابی وجود ندارد (Smith and Chandler, 2010; McMahon et al., 2015). با این حال، McMahon و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که ارزیابی مدل‌های GCM در مقیاس زمانی ماهیانه و سالانه بسیار منطقی‌تر از مقیاس زمانی روزانه است.

مطالعات ارزیابی عملکرد مدل‌های GCM به گستردگی انجام شده است. از جمله عسگری (۲۰۱۹) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روند میانگین دمای کمینه سالانه در گذشته (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در دوسناریو RCP4.5 و RCP8.5 با آزمون‌های ناپارامتری پرداخت. نتایج پژوهش وی نشان داد که میانگین سالانه دمای کمینه دارای روند افزایش معنی‌دار ($p \leq 0.01$) درجه سلسیوس در هر دهه از دوره اقلیمی گذشته بود. همچنین در آینده روند افزایشی دما بر اساس سناریو RCP4.5 با افزایش حدود ۰/۲ درجه سلسیوس در هر دهه و فاقد روند معنی‌داری ($p > 0.05$) بود، پژوهش آنها در شرایطی بود که در سناریو RCP8.5 روند افزایشی معنی‌داری ($p \leq 0.01$)؛ ۰/۶ درجه سلسیوس به طور میانگین در هر دهه را نشان داد.

ارفع و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق در شرایط گرم و مرطوب در نوب و جنوب شرق ایران بررسی کردند. در این پژوهش نتایج نشانگر روند افزایشی دما و در پی آن افزایش تبخیر-تعرق در دوره آتی است. افزایش تبخیر-تعرق به طور متوسط در مدل NBI از دیگر مدل‌ها کمتر بوده و در ایستگاه کرمان کمترین مقدار و در ایستگاه بیشترین مقدار را دارد. تغییرات نسبی تبخیر-تعرق تا سال ۲۰۹۹ در ایستگاه کرمان ۱۰/۶۹۲ (mm/day) و در ایستگاه

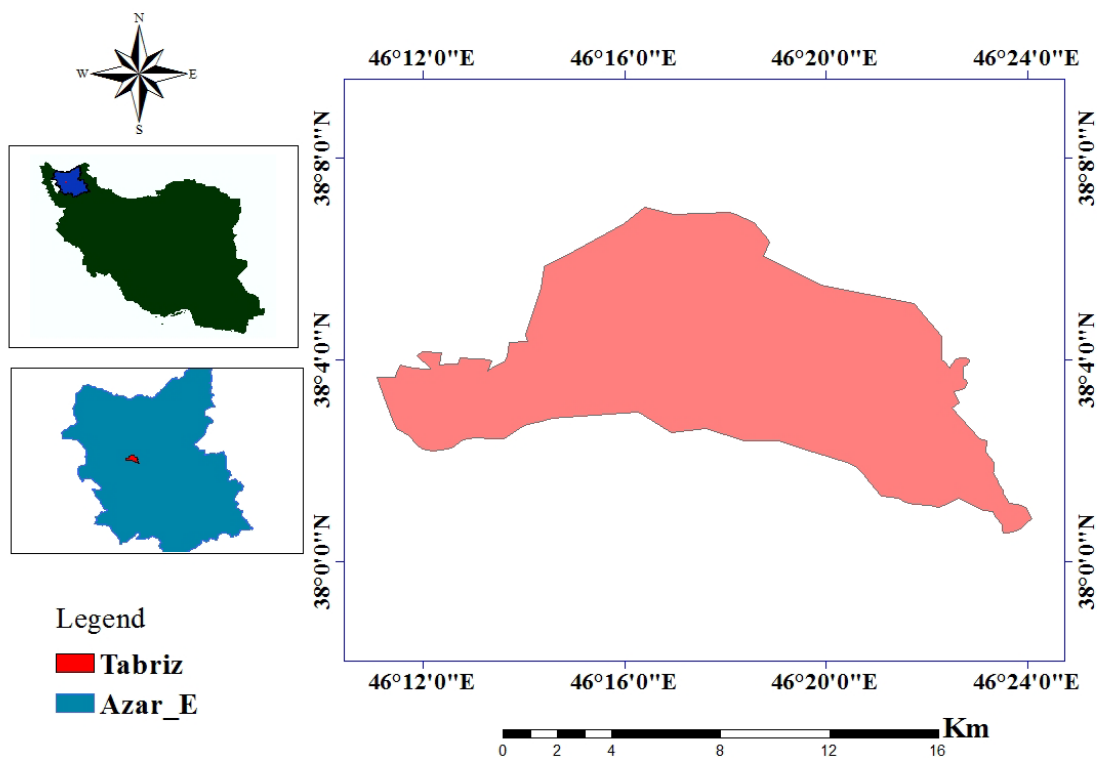
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش با استفاده از اطلاعات هواشناسی این ایستگاه انجام گرفت. تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی با مساحتی حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع، در محدوده ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۰۵ دقیقه عرض است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. شهر تبریز از شمال به کوه عینالی، از جنوب به دامنه کوه سهند و از سمت غرب به جلگه تبریز و دریاچه ارومیه محدود است. میانگین دمای تبریز در تیرماه (گرم‌ترین ماه سال) ۲۵/۴ درجه سانتی‌گراد، در دی‌ماه (سردترین ماه سال) ۲/۵- درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه دما ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش در تبریز در زمستان ۱۱۳/۳ میلی‌متر، در بهار ۱۲۱/۸ میلی‌متر، در تابستان ۲۰/۷ میلی‌متر و در پاییز ۷۴/۳ میلی‌متر است. تعداد روزهای یخبندان در طول سال به‌طور متوسط ۱۴۹/۵ روز است که عموماً از اواسط پاییز تا اواخر زمستان را دربرمی‌گیرد (عساکره و اکبرزاده، ۲۰۱۷). شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را در سطح استان و کشور نشان می‌دهد.

سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 به ارزیابی تحولات آینده دمای ماهانه و بارش و تأثیرات آنها بر خشکسالی در حوضه رودخانه Barlad در شرق رومانی با استفاده از شاخص خشکسالی پالم RPI در شرق رومانی با استفاده از شاخص پالم در دو سناریو بیان کرد که به‌طور متوسط در حوضه رودخانه یاد شده شرایط تغییرات آب و هوایی و خشکسالی اتفاق خواهد افتاد. Huang و همکاران (۲۰۱۶) نیز به پیش‌پدیده خشکسالی در حوضه رودخانه لانگات در مالزی پرداختند. برای بررسی شدت و مدت خشکسالی از خروجی مدل‌های گزارش پنجم IPCC در سناریوی RCP 8.5 از دو شاخص (EDI) و (SPI) استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که خشکسالی در اقلیم آینده حوضه رودخانه سیر روند افزایشی خواهد داشت.

با توجه به تحقیقات انجام شده، برآورد تبخیر-تعرق در دوره حال و آینده از نیازهای اساسی مدیران توسعه است، از این رو این پژوهش با هدف ارزیابی تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۱)، پیش‌بینی تغییرات دما با استفاده از سناریوهای (RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5) و تبخیر-تعرق بر اساس مدل‌های (CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4 در دوره (۲۰۲۵-۲۱۰۰) در شهر تبریز انجام شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه تبریز در کشور

شبه سازی متغیرهای اقلیمی در محدوده مورد مطالعه در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۱) و نیز خروجی‌های مدل‌های جهانی CMIP5 (BCC-CSM 1.1 و CCSM4) برای پیش بینی متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای مختلف (2.6, 4.5, 8.5) RCP در دوره‌های مختلف استفاده شد. مدل‌های منتشر شده سری CMIP5 که در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم استفاده شده‌اند؛ از عدم قطعیت پایین تر و تفکیک مکانی بیشتری نسبت به مدل‌های قبل برخوردارند. در گزارش پنجم تغییر اقلیم، برخلاف گزارش‌های قبل، بیشتر به جنبه‌های اقتصادی- اجتماعی تغییرات اقلیم و نقش آن در توسعه پایدار و مدیریت ریسک پرداخته شده است (میر اکبری و همکاران، ۲۰۱۸).

در ادامه تبخیر و تعرق پتانسیل برای دوره پایه و دوره آینده محاسبه شد. سرانجام ارزیابی عملکرد مدل برای پیش بینی تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره آینده و بر اساس دوره پایه و متغیر پیش بینی شده دما استفاده شد. در مدل های GCM جو کره زمین به صورت سه بعدی شبکه بندی می‌شود و معادلات دیفرانسیل مربوط به سرعت باد، انتقال گرما، تابش، رطوبت نسبی و هیدرولوژی آب‌های سطحی بر روی هر یک از گره‌های شبکه حل می‌شوند و نتایج بدست آمده با نتایج نظیر نقاط همسایه شبکه تعدیل می‌کنند (Solmon et al., 2007).

سناریوهای غلظت گازهای گلخانه‌ای: هیات بین المللی تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم خود به ارزیابی مدل AR5 با استفاده از سناریوهای RCP به عنوان نماینده‌های بررسی غلظت‌های گازهای گلخانه‌ای پرداخت. سناریوی انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP4.5، RCP2.6، RCP6 و RCP8.5 هستند که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده‌اند (Chaumont, 2014).

سناریوی انتشار RCP2.6: این سناریو توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگزیده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. بر پایه این سناریو واداشت تابش، در اواسط قرن اخیر به حدود ۳/۱ وات بر متر مربع رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح

برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (ET_0) برای دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۹۱

سازمان بین‌المللی غذا و کشاورزی (فائو) در سال ۱۹۹۸ در نشریه شماره ۵۶ روش پنمن مانیت فائو را به عنوان روشی استاندارد برای تعیین تبخیر-تعرق گیاه پتانسیل پیشنهاد داد. تبخیر و تعرق گیاه پتانسیل ET_0 نشان دهنده مقدار تبخیر و تعرق نوع معینی از پوشش سبز با ارتفاع ۸ تا ۱۵ سانتیمتر است که در سطح گسترده کشت شده و دارای رشد فعال با پوشش کامل زمین و سایه انداز، بدون تنش آبی است. براساس این نشریه، در شرایط دسترسی نداشتن به داده‌های دقیق لایسیمیتری می‌توان از روش پنمن مانیت فائو به عنوان روش استاندارد استفاده کرد (Allen et al., 1998; Shiri et al., 2014 a,b). در این پژوهش مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0) به روش پنمن-مانیت فائو محاسبه شد (رابطه ۱).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U2(es - ed)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U2)} \quad (1)$$

که در آن ET_0 تبخیر-تعرق پتانسیل بر حسب میلی متر بر روز، Rn تابش خالص در سطح پوشش گیاهی بر حسب مگاژول بر مترمربع بر روز، T میانگین دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین، $es-ed$ اختلاف فشار بخار آب در ارتفاع دو متری نسبت به حالت اشباع بر حسب کیلوپاسکال، Δ شیب فشار بخار بر حسب کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس، G شار گرمایی به داخل خاک بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز، و در نهایت γ ضریب رطوبتی بر حسب کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس، $U2$ سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین است (Allen et al., 1998).

تبخیر-تعرق پتانسیل با توجه به داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تبریز محاسبه شد. داده‌های مورد نیاز شامل حداکثر و حداقل دماهای ماهانه، متوسط رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد در مقیاس روزانه از سازمان هواشناسی کشور تهیه و به مقیاس ماهانه تبدیل و میانگین بلند مدت آنها محاسبه شد.

استفاده از سناریوها واداشت تابشی (RCP) و مدل‌های GCM: ابتدا مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG6 به منظور

مدل‌های بزرگ گردش عمومی اتمسفر، معتبرترین ابزار برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده هستند. با توجه به اینکه خروجی مدل‌های گردش عمومی اتمسفر قابلیت لازم برای مقیاس محلی را ندارند، برای استفاده کاربردی از خروجی این مدل‌ها نیاز به اجرای فرآیند ریزمقیاس‌نمایی است. به همین منظور در این پژوهش داده‌ها به صورت ریزمقیاس شده از طریق پایگاه داده ریزمقیاس شده Mark SIMGCM براساس خروجی دومدل AOGCM اقلیمی 1.1 BCC-CSM و CCSM4 که اطلاعات آنها در جدول ۱ آورده شده، برای ایستگاه تبریز گرفته شد. این پایگاه داده ریزمقیاس شده، به عنوان یک ابزار مبتنی بر شبکه، با استفاده از مدل تصادفی مرتبه سوم مارکوف داده‌های دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش آفتاب را به صورت ماهانه روزانه و روزانه در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در این پایگاه یک برنامه فورترن جهت‌دار توسعه داده شده تا برونداد ریزمقیاس‌نمایی در اختیار کاربران قرار بگیرد. این پایگاه براساس ۱۷ مدل AOGCM از مجموعه مدل‌های CMIP5 براساس آخرین گزارش تغییر اقلیم (گزارش پنجم) با عنوان سناریوهای واداشت تابشی (RCP 2.6, 4.5, 8.5) متناظر سناریوهای خوش بینانه، واقع بینانه و بدبینانه اجرا می‌شود. این پایگاه و نرم‌افزار با توجه به این‌که مبتنی بر شبکه است برای کلیه نقاط کره زمین به راحتی قابل دسترس است. مدل‌هایی که در این نرم‌افزار تعبیه شده، از تفکیک مکانی نسبتاً زیادی برخوردار هستند (احمدی و همکاران، ۲۰۱۸). پایگاه Mark SIMGCM جزء گروه مشورتی تحقیقات بین‌المللی کشاورزی و برنامه تحقیقاتی تغییر اقلیم، کشاورزی و امنیت غذایی می‌باشد (Duko et al., 2018). در این تحقیق از مدل‌های اقلیمی BCC-CSM 1.1 و CCSM4 و مجموعه CMIP 5 با توجه به صحت بالاتر این مدل در برآورد در پهنه ایران (معصوم‌پور سماکوش و همکاران، ۲۰۱۸)، استفاده شد. مشخصات این مدل‌ها در جدول ۱ آمده است.

واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند. سناریوی RCP4.5: سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ به مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع رسیده و ثابت می‌ماند. سناریوی RCP6: سناریوی انتشار RCP6 توسط گروه مدل‌سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای، میزان این گازها ثابت می‌ماند. سناریوی RCP8.5: بدون انجام هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیمی، آب و هوای کره زمین در سناریوی انتشار RCP 8.5 پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IIASA در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است (Pachauri & Meyer, 2014). برآورد تغییرات اقلیمی با مدل LARS WG: مدل‌های مولد تولید مصنوعی داده‌های هواشناسی دارای دو رویکرد آماری هستند: مدل‌های نوع ریچاردسون که از روش زنجیره مارکوف استفاده می‌کنند و دومین نوع مدل‌های تولیدکننده داده‌های هواشناسی، مدل‌های نوع سریال هستند که توزیع نیمه تجربی را به کار می‌برند و مشهورترین آنها مدل LARS WG است (Babaeian et al., 2004). در این مطالعه به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بزرگ مقیاس از مدل WG LARS استفاده شد. این مدل برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و دماهای حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حال و آینده به کار می‌رود. فرآیند تولید داده‌ها در مدل مذکور شامل سه بخش واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی می‌باشد.

جدول ۱- مدل انتخابی گزارش پنجم هیات بین‌الدول

نام مدل	موسسه تحقیقاتی	وضوح
CCSM4	NCAR, National Center for Atmospheric Research, USA	$0.94^{\circ} \times 1.25^{\circ}$
BCC-CSM1.1	BCC, Beijing Climate Centre, China	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$

با مقدار $ROC = 0.5$ برای حالتی است که پیش‌بینی مدل با پیش‌بینی احتمالاتی دوره آماری برابر است. در حالتی $ROC < 0.5$ آن گاه پیش‌بینی مدل قابل قبول نیست، اما در حالتی $ROC > 0.5$ پیش‌بینی‌های مدل با مقادیر پایه هماهنگ و قابل قبول است.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM4 و CSM4): داده‌های مورد نظر برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل توسط نرم‌افزار LARS-WG در سناریوهای یاد شده محاسبه شد. معیار ارزیابی، RMSE مربوط به هر یک از متغیرهای هواشناسی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در ایستگاه مطالعاتی در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۰۵ در جدول ۴ نشان داده شد. کم بودن شاخص خطا سنجی RMSE نشان دهنده کارایی بالای مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش است.

همچنین بر اساس میانگین ماهیانه در ۱۴ سال کمترین میزان RMSE در تبخیر- تعرق پتانسیل مربوط به ماه دسامبر با میزان ۰/۳۵ میلی‌متر در روز و بیشترین میزان RMSE در تبخیر- تعرق پتانسیل در ماه ژوئن با میزان ۱/۳۸ میلی‌متر در روز بدست آمد و میزان سالانه RMSE در تبخیر- تعرق ۰/۷۲ میلی‌متر در روز تعیین شد (جدول ۳). مدل برای ماه‌های سرد سال توانایی بهتری در برآورد میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در مقایسه با ماه‌های سرد سال داشته و کمترین خطای RMSE در ماه‌های گرم رخ داده است، به طوری که در ماه دسامبر کمترین مقدار آن است.

ارزیابی عملکرد مدل: شاخص‌های برونداد مدل برای مؤلفه‌های بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۱) مقایسه و انطباق داده شد و خطای شبیه‌سازی آن براساس شاخص‌های خطاسنجی مشخص گردید. برای کمی نمودن ارزیابی و مقایسه سناریوها، آماره‌های ارزیابی اعتبارسنجی یا خطا سنجی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و نمودار مشخصه عملکرد برای داده‌های پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۱) و شبیه‌سازی شده ماهیانه در ایستگاه مبنا محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (2)$$

در نهایت با پذیرش فرض قابل تعمیم بودن روابط حاصله در دوره پایه برای دوره‌های آینده، مقادیر تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره‌های آتی، برآورد و با دوره پایه مقایسه شدند. برای این مقایسه، از آزمون مقایسه میانگین t استیودنت در سطح معنی‌دار $\alpha = 0.01$ استفاده شد.

از نمودار مشخصه عملکرد (ROC) به دلیل داشتن توانایی اندازه‌گیری کیفیت یک پیش‌بینی باینری یا تصمیم براساس احتمال پیش‌بینی استفاده شد (بویزا و پالمر، ۱۹۹۸ و میسون و گراهام، ۱۹۹۹). نمودار مشخصه عملکرد مهارت به عنوان امتیاز مهارتی معرفی می‌شود که به صورت درصد بهبود نسبت به پیش‌بینی مرجع تفسیر می‌شود (Wilks, 2011). واضح است که هر چه سطح زیر نمودار بیشتر باشد نشان دهنده مهارت بیشتر مدل است. مساحت زیر خم ROC به منزله یکی از نمایه‌های ارزیابی پیش‌بینی است. امتیاز مهارتی ROC می‌تواند جزئیات دقیق‌تری از پیش‌بینی‌ها را برای سه گروه از پیش‌بینی‌های کمتر از نرمال، نرمال و بیش از نرمال بدست آورد. در شکل ROC، خط یک به یک قطری

جدول ۲- مقادیر معیار ارزیابی RMSE متغیرهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۵

معیار ارزیابی	بارش (mm)	دمای کمینه (°C)	دمای بیشینه (°C)	تابش خورشیدی (MJ/m ² /day)
RMSE	۲/۱۷	۰/۱۵	۰/۲	۰/۰۰۵

جدول ۳- مقادیر معیار ارزیابی RMSE تبخیر-تعرق پتانسیل میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4

ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۱

ماه	RMSE
ژانویه	۰/۴
فوریه	۰/۴
مارس	۰/۵
آوریل	۰/۸
می	۱/۳
ژوئن	۱/۳۸
ژوئیه	۱/۳۲
اوت	۱/۳۵
سپتامبر	۱/۳۵
اکتبر	۱/۱
نوامبر	۰/۴
دسامبر	۰/۳۵
سالانه	۰/۷۲

پتانسیل سالانه در دوره های آینده و مقایسه با دوره پایه بود (جدول ۴). بر این اساس پیش بینی می‌شود که در دوره‌های آینده دورتر، میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل سالانه نرخ افزایشی بیشتری از خود نشان دهد.

برای تبخیر-تعرق پتانسیل در مقیاس سالانه مقدار آماره آزمون t در تمامی حالات شامل هر سه سناریوی انتشار، هر سه دوره آینده و ایستگاه مورد مطالعه به ترتیب نشان از معنی دار بودن ($P < 0/01$) تفاوت میانگین تبخیر-تعرق

جدول ۴- مقادیر آماره آزمون t - استودنت و P -Value حاصل از آزمون مقایسه میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل سالانه در دوره‌های

آینده در مقایسه با دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۰۵) برای سناریوها

۲۰۷۶-۲۱۰۰			۲۰۵۱-۲۰۷۵			۲۰۲۵-۲۰۵۰			آزمون مقایسه میانگین
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	آماره t
۱۳/۶۹	۱۳/۲۴	۹/۴	۹/۸۵	۸/۵۴	۶/۶۴	۵/۴۳	۳/۳	۴/۸۷	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	P -value

می دهد که برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل مدل به مقادیر پایه نزدیک و قابل قبول است.

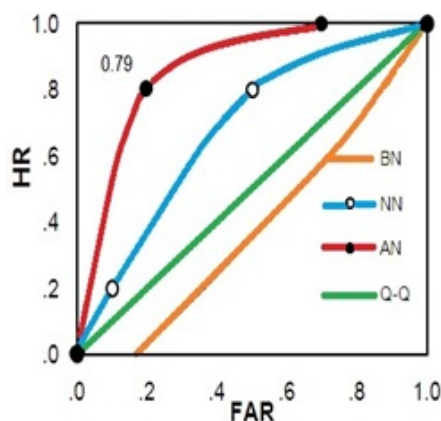
برآورد تبخیر-تعرق مرجع (ET0) در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۱):

متغیرهای تبخیر-تعرق پتانسیل به روش پنمن-مانیت فائو در مقیاس ماهانه و سالانه (شکل ۲) محاسبه شد و سپس شار حرارتی خاک (ضرایب تبدیل G) و تبخیر و تعرق

مقایسه کارایی میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4 براساس روش نمودار مشخصه عملکرد مهارتی (ROC) در شکل ۲ نشان داده شد. برای تفسیر نتایج می توان از آستانه های تعریف شده استفاده کرد، به طوری که امتیاز مهارتی کمتر از ۰/۵ قابل قبول نیست و هر چه امتیاز مهارتی نزدیک عدد ۱ باشد مدل دارای کارایی مناسبی است. در روی نمودار شکل ۲ بیشترین امتیاز مهارتی ۰/۷۹ درج شده است. بیشترین امتیاز مهارتی نشان

برای گرمای نهان و حرارت محسوس بازی می‌کنند. همچنین معیاری برای تغییر اقلیم می‌باشد. دانستن شار حرارت خاک و آشنایی با نحوه تغییرات آن می‌تواند در مدیریت بهره برداری از زمین بسیار کاربردی باشد.

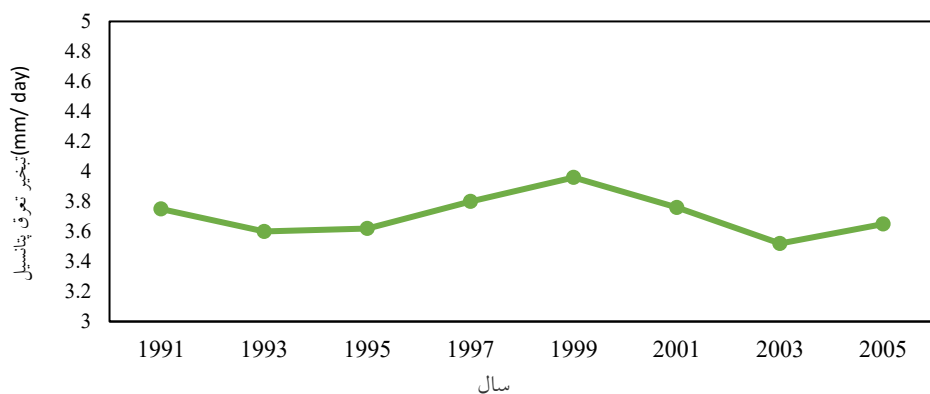
پتانسیل (ET0) محاسبه گردید (جدول ۵). شار حرارتی خاک G یکی از اجزای اصلی رابطه فائو پنمن مونثیت می‌باشد که برای محاسبه میزان تبخیر تعرق نیاز به دانستن آن است شار حرارتی خاک نقش مهمی در پویایی انرژی سطحی زمین توسط محدود کردن مقدار انرژی در دسترس



شکل ۲- نمودار ROC سالانه تبخیر- تعرق پتانسیل میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4

جدول ۵- محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل به روش پنمن - مانثیت و ضریب G

تبخیر تعرق مرجع میانگین	پنمن - مانثیت (mm/ day)	شار حرارتی خاک ضریب G
	۴/۲	۴



شکل ۳- میانگین سالانه تبخیر-تعرق پتانسیل برای دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۰۵) ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز

محاسبه شد. تبخیر-تعرق مرجع در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۱) با دوره‌های ۲۰۰۵-۲۰۲۵، ۲۰۰۵-۲۰۵۱ و ۲۰۱۰-۲۰۷۶ در سه سناریوی RCP ۲.۶، RCP ۴.۵ و RCP ۸.۵ تعیین و با دوره پایه مقایسه شدند (شکل‌های ۳ تا ۵). با نگاهی کوتاه به تغییرات نرمال ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل در سه دوره یاد شده با دوره پایه مشاهده شد که این پارامتر

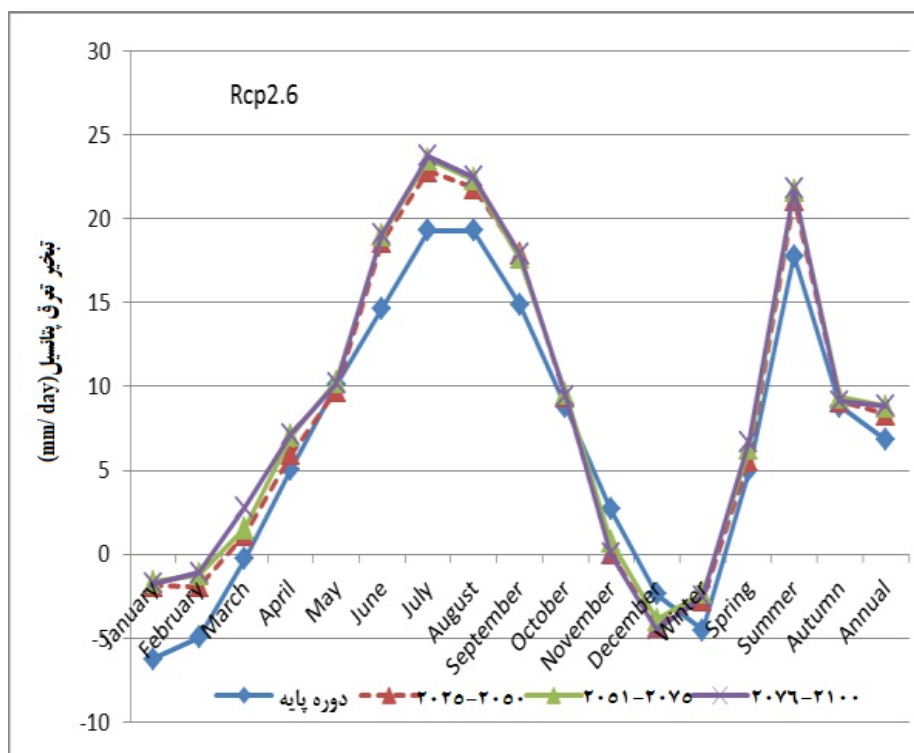
تعیین تبخیر-تعرق پتانسیل میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4 و تحت سه سناریوی RCP ۲.۶، RCP ۴.۵ و RCP ۸.۵ تا سال ۲۱۰۰ تبخیر-تعرق پتانسیل با توجه به چشم انداز متغیرهای هواشناسی بارش، دمای بیشینه و کمینه و دمای متوسط ماهانه در دوره‌های آینده از روش پنمن- مانثیت فائو

آگوست، ژانویه و فوریه نسبت به دوره پایه افزایش میزان تبخیر-تعرق مشاهده شد. در حالی در ماه‌های نوامبر و دسامبر کاهش تبخیر-تعرق نسبت به دوره پایه بدست آمد. این تفاوت نسبت به دوره پایه در سناریوی RCP 8.5 و دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ بسیار بیشتر است. با توجه به افزایش دما افزایش تبخیر-تعرق را به دنبال خواهد داشت که این روند بر منابع آب منطقه مورد مطالعه تاثیر بسزایی خواهد گذاشت.

درصد تغییرات بلندمدت مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل (ET0) در سناریوهای مختلف برای سه دوره ۲۰۵۰-۲۰۷۵، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ در جدول ۶ نشان داده شده است. در این مرحله، میانگین وزنی ماهانه تبخیر-تعرق در سه سناریوی RCP برآورد شده و به منظور مقایسه از میانگین وزنی دوره پایه تفاضل‌گیری شده است. با توجه به جدول ۶ بیشترین درصد تغییرات افزایشی میزان تبخیر-تعرق پتانسیل سالانه طی سناریوی RCP ۸.۵ و کمترین درصد تغییرات طی سناریوی RCP ۲.۶ بدست آمد. همچنین درصد این تغییرات نامنظم بود.

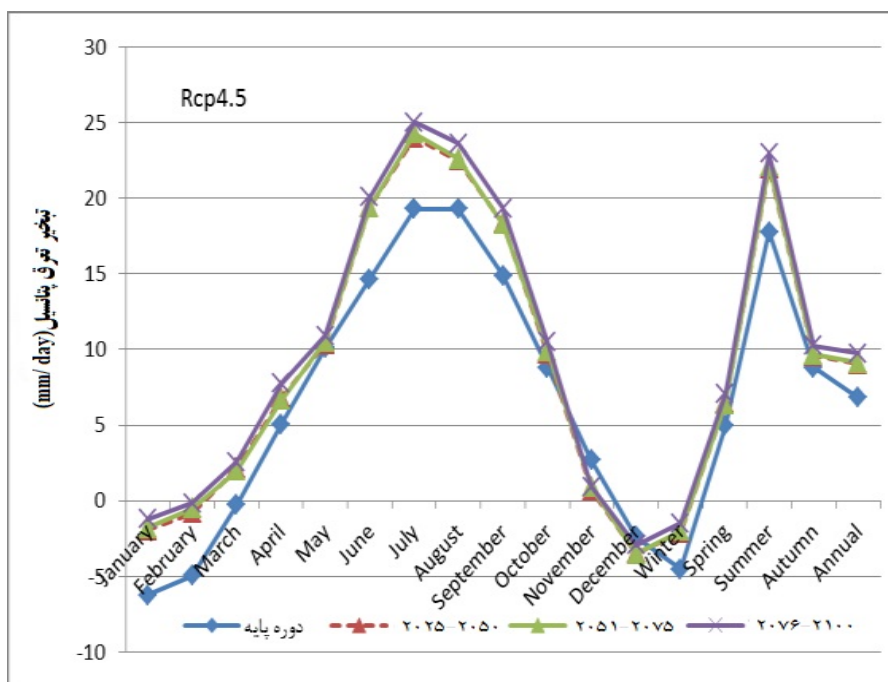
در فصل‌های بهار و تابستان افزایش و در فصل‌های پاییز و زمستان کاهش یافته است. نکته قابل توجه در شکل‌های ۵-۳ پیش بینی افزایش میانگین‌های بلندمدت در هر سه سناریو در فصل‌های بهار و تابستان است که یکی از عوامل افزایش دما می‌تواند پدیده تغییر اقلیم تلقی گردد. همچنین با گذشت از دوره ۲۵ ساله اول میزان تبخیر-تعرق پتانسیل پیش‌نگری شده در تمامی سناریوها با مقادیر پایه تحت بدینانه ترین سناریو افزایش یافته که ناشی از تجمع گازهای گلخانه‌ای و افزایش به دام انداختن انرژی گرمایی خورشید است که موجب گرم‌تر شدن کره زمین و افزایش تبخیر-تعرق پتانسیل می‌شود.

در سه سناریوی بررسی شده برای سه دوره ۲۰۵۰-۲۰۷۵، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ تبخیر-تعرق پتانسیل افزایش یافته که کمترین میزان در دوره اول در سناریو RCP 2.6 و بیشترین افزایش در دوره آخر و در سناریو RCP 8.5 بدست آمد. با توجه به شکل‌های ۶-۴ در هر سه سناریو بیشترین میزان تبخیر-تعرق ماه جولای و کمترین میزان در ماه دسامبر بدست آمد. در هر سه سناریو در ماه‌های جولای،

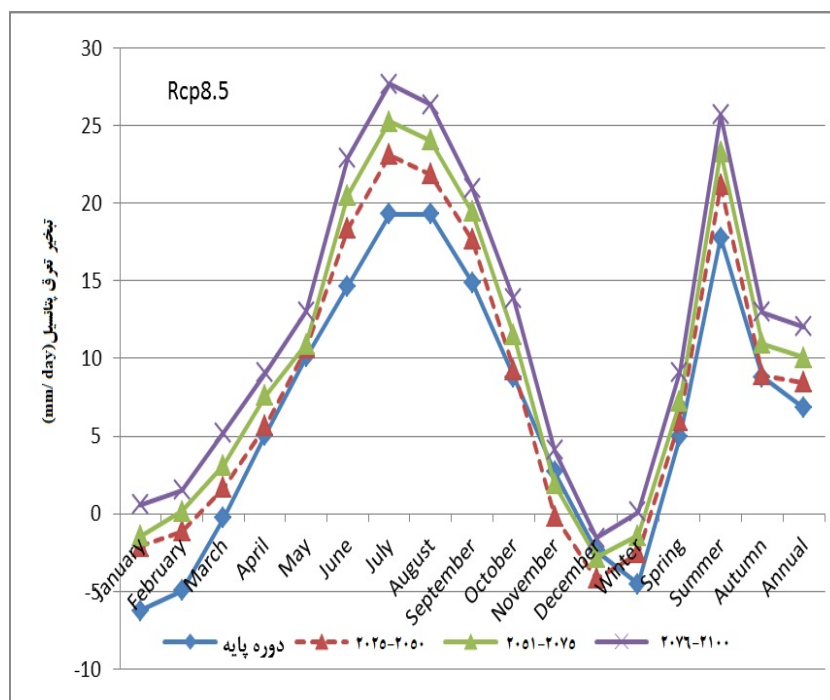


شکل ۴- تغییرات میانگین ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4

تحت سناریوی RCP 2.6



شکل ۵- تغییرات میانگین ماهانه تبخیر- تفرق پتانسیل میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4) تحت سناریوی RCP 4.5



شکل ۶- تغییرات میانگین ماهانه تبخیر- تفرق پتانسیل میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4) تحت سناریوی RCP 8.5

جدول ۶- درصد تغییرات مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل (ET0) در سناریوهای مختلف در ماه‌های مختلف در دوره‌های آینده با میانگین دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4

۲۰۷۶-۲۱۰۰			۲۰۵۱-۲۰۷۵			۲۰۲۵-۲۰۵۰			ماه
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	
درصد تغییرات									
۱۱/۲	۸/۸	۷/۸	۷/۵	۷/۷	۸	۳/۲	۴	۳/۲	ژانویه
۱۷/۱	۱۱/۸	۱۱/۹	۸/۱۲	۱۰/۱	۱۱/۲	۱۲/۱	۶/۵	۱۲	فوریه
۱۷/۲	۱۱/۶	۸	۹	۸	۸/۱	۸/۹	۷	۸/۵	مارس
۱۷/۵	۱۷	۱۱/۲	۹/۹	۱۲/۲	۱۱/۳	۱۰	۱۳	۷	آوریل
۱۳/۶	۱۲/۴	۱۱/۴	۱۰/۱	۱۰/۱۱	۱۰/۱	۱۰	۷	۸	می
۱۳/۸	۱۳	۱۰/۹	۱۰	۱۳	۸/۵	۸/۹	۱۰	۷/۷	ژوئن
۱۲/۸	۱۰/۷	۹/۸	۹/۵	۱۰/۹	۹/۱	۷/۵	۷/۸	۸/۹	ژوئیه
۱۵/۵	۱۶/۱	۱۱/۳	۷/۸	۱۳/۴	۱۱/۱	۱۲	۹	۸	اوت
۱۵/۴	۱۳/۴	۸/۷	۸/۸	۱۱/۶	۱۲/۸	۸/۱	۷/۸	۸/۴	سپتامبر
۱۲/۴	۱۲/۴	۹/۷	۸/۱	۱۱/۵	۱۱/۲	۹/۲	۹/۴	۷	اکتبر
۱۳/۹	۱۱/۸	۱۱	۹/۵	۱۱/۲	۶/۸	۵/۳	۷/۱	۷/۱	نوامبر
۹/۲	۱۱/۶	۹/۸	۸/۶	۱۱/۲	۷/۲	۲/۳	۲/۲	۹	دسامبر

افزایش این پارامترها، در طول ماه‌های گرم، در مقایسه با ماه‌های سرد، بیشتر خواهد بود. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند کمک فراوانی به حل چالش‌های مدیران و مسئولان ذیربط در دوره‌های آتی نماید. با توجه به این امر ضروری است برنامه‌ریزان بخش آب، محیط‌زیست و بهداشت، راهکارهای لازم برای سازگاری و کاهش پیامدها اتخاذ نمایند. استفاده معقول از منابع آب تحت شرایط گرم شدن هوا در تبریز اجتناب ناپذیر می‌نماید. افزایش تبخیر و ایجاد تغییراتی مهم در کیفیت و کمیت منابع آب و به تبع آن تغییرات در کم و کیف محصولات کشاورزی خواهد کرد، این مهم لزوم تغییرات برنامه‌ریزی را در بهره‌برداری از منابع آب و کشاورزی مشخص می‌کند. برنامه‌های آینده باید به گونه‌ای باشند که تغییرات پیش رو اثرات زیانبار کمتری را متوجه بخش آب و کشاورزی در این منطقه از کشورمان کند. لازم است هم‌اکنون تدابیری در جهت اصلاح نظام آبیاری، روش‌های کاهش تبخیر و استفاده مجدد از فاضلاب و اصلاح الگوی کشت لحاظ گردد.

منابع

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی میزان تغییرات تبخیر-تعرق با دو مدل CMIP5 (۱.۱) BCC-CSM و CCSM4 تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP با استفاده از پرونداد دو مدل اقلیمی برای سه دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰، ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ در تبریز بوده است. نتایج بدست آمده بیانگر افزایش تبخیر-تعرق مرجع در همه سناریوهای RCP برای هر یک از دوره‌های زمانی آینده است. همچنین بیشترین درصد تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل در سناریوی 8.5 RCP بیش از دیگر سناریوها به دلیل اینکه این سناریو بدترین شرایط اقلیمی را پیش‌بینی کرده و تغییرات مشهودی در تبخیر - تعرق رخ خواهد داد، می‌باشد. در پژوهش‌های مشابه سیف زاده مومن‌سرای (۲۰۲۲) و سبزی‌پرور نیز بیشترین تبخیر و تعرق و کاهش عملکرد در در سناریوی 8.5 RCP بدست آوردند. باب الحکمی و همکاران (۲۰۲۰) همچنین در پژوهش خود به نتایج مشابه رسیدند. جورابلو و همکاران (۲۰۱۸) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع و کمبود بارندگی تا انتهای قرن روند افزایشی خواهند داشت، که

- M.J., Chendes, V., Mic, R. P. (2016). Drought-related variables over the Bârlad basin (Eastern Romania) under climate change.
12. Demirel, M. C., Moradkhani, H. (2016). Assessing the impact of CMIP5 climate multi-modeling on estimating the precipitation seasonality and timing. *Climatic change*, 135(2), 357-372.
 13. Duko, C., Zwart, S. J., Hein, L. (2018). Impact of climate change on cropping pattern in a tropical, sub tropical watershed. *PoloS ONE*, 13(3), 1-21.
 14. Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958.
 15. Hafezparast, M., Pourkheirolah, Z. (2017). Meteorological drought monitoring in order to sustainability in RCP scenarios Case study: Doiraj watershed. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(4), 1227-1239.
 16. Hafezparast, M., Pourkheirollah, Z. (2018). The effect of RCP scenarios on hydrological parameters, case study: Doiraj Dam catchment. *Watershed Engineering and Management*, 10(2), 231-248.
 17. Hoseini Tabesh, S., Aghashariatmadari, Z. (2020). The Effect of Climate Change on Rice Irrigation Requirement under RCP Scenarios (Case Study: Anzali). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(10), 2607-2621.
 18. Huang, Y. F., Ang, J. T., Tiong, Y. J., Mirzaei, M., Amin, M. Z. M. (2016). Drought forecasting using SPI and EDI under RCP-8.5 climate change scenarios for Langat River Basin, Malaysia. *Procedia Engineering*, 154, 710-717.
 19. Joorabloo, S., Azhdary, K., Ganji, Z., Delghandi, M. (2018). Climate Change Impact on Reference Evapotranspiration and Precipitation Deficit in Semnan Region. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(4), 61-75.
 20. Mason, S. J., Graham, N. E. (1999). Conditional probabilities, relative operating characteristics, and relative operating levels. *Weather and Forecasting*, 14(5), 713-725.
 21. Masoompour Samakosh, J., miri, M., purkamar, F. (2018). Assessment of CMIP5 climate models with observed precipitation in
 1. Ahmadi, H., Fallah Ghalhari, G., Baaghdeh, M., Amiri, M. E. (2018). Investigating the effects of climate change on the pattern of heat accumulation in apple trees cultivation areas in Iran during the future period. *Journal of Spatial Analysis Environmental hazarts*, 5(2), 35-54.
 2. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300(9), D05109.
 3. Arfa A, Khashei siuki A, hamidianpoor M. (2021). The effect of climate change on evapotranspiration in warm and humid conditions (Case study: South and Southeast of Iran). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 8 (4) :37-50.
 4. Asakere, H. , Akbarzadeh, Y. 2017. Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station using SDSM statistical microscale and CanESM2 model output,. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(1), 153-174.
 5. Askari, S. 2019. Possible effects of climate change on the minimum temperature trend of Zanzan in the past and future climate under radiative forcing (RCP) scenarios, the 5th International Conference on New Horizons in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment, Tehran.
 6. Askari, S. Ghahraman, N. , Babaiyan, A. 2016. Quantitative forecasting of possible effects of climate change on thermal index (THI) under radiative forcing (RCP) scenarios in Iran. *Journal of Climate Research*, 1396(31), 1-18.
 7. Babaeian, I., Kwon, W. T., Im, E. S. (2004). Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. *Meteorological Research Institute. Climate Research Lab.*, 98pp.
 8. Babolhekami, A., Gholami Sefidkouhi, M. A., Emadi, A. (2020). The Impact of Climate Change on Reference Evapotranspiration in Mazandaran Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(2), 387-401.
 9. Buizza, R., Palmer, T. N. (1998). Impact of ensemble size on ensemble prediction. *Monthly Weather Review*, 126(9), 2503-2518.
 10. Chaumont, D. (2014). *A guidebook on climate scenarios: Using climate information to guide adaptation research and decisions*. Ouranos: Montréal, QC, Canada.
 11. Dascălu, S. I., Gothard, M., Bojariu, R., Birsan, M. V., Cică, R., Vintilă, R., Adler,

31. Shokri, S., Hooshman, A., Ghorbani, M. (2017). The Estimation Evaporation Pan Coefficient For Calculating Reference Evapotranspiration in Ahvaz. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), 1-12.
32. Simaiee, A. Homaiee, M. Noroozi, A. (2013). Assessment SEBAL Model to Evapotranspiration Estimation by MODIS and TM Data. *Water and Soil Resources Conservation*, 2 (4), 29-40.
33. Smith, I., Chandler, E. (2010). Refining rainfall projections for the Murray Darling Basin of south-east Australia—the effect of sampling model results based on performance. *Climatic Change*, 102(3), 377-393.
34. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Averyt, K., Marquis, M. (Eds.). (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4)*. Cambridge university press.
35. Taylor, K. E., Stouffer, R. J., Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American meteorological Society*, 93(4), 485-498.
36. Wang, X., Yang, T., Li, X., Shi, P., Zhou, X. (2017). Spatio-temporal changes of precipitation and temperature over the Pearl River basin based on CMIP5 multi-model ensemble. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(5), 1077-1089.
37. Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences (Vol. 100)*. Academic press.
38. Wright, D. B., Knutson, T. R., Smith, J. A. (2015). Regional climate model projections of rainfall from US landfalling tropical cyclones. *Climate dynamics*, 45(11), 3365-3379.
- Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 11(4), 40-53.
22. McMahon, T. A., Peel, M. C., Karoly, D. J. (2015). Assessment of precipitation and temperature data from CMIP3 global climate models for hydrologic simulation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 361-377.
23. Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H., Mortezaie Farizhendi, G. (2018). Performance of Series Model CMIP5 in Simulation and Projection of Climatic Variables of Rainfall, Temperature and Wind Speed (Case Study: Yazd). *Physical Geography Research Quarterly*, 50(3), 593-609.
24. Pachauri, R. K., Meyer, L. A., Plattner, G. K., Stocker, T. (2014). *Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland.
25. Sadeghi, A. , Din Pajouh, Y. (2016). Forecasting the trend of minimum and maximum temperature of Tabriz city under the conditions of climate change in the coming period, conference of new researches in agricultural engineering, environment and natural resources.
26. Sarafroozeh, F. Jalali, M. Jalali, T. and Jamali, A. (2014). Assessing the effects of future climate change on wheat water consumption in Tabriz. *Geographic Space*, 2 (37 and 37): 81-96
27. scenarios. *Catena*, 141, 92-99.
28. Seifzadeh Momensaraei, A. (2022). Optimization of rice (*Oryza sativa* L.) and subsequent soybean (*Glycine max* L. Merr) cropping calendars under the climate change conditions using dynamical general circulation models (GCMs) and DSSAT crop model. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 23(4), 357-372.
29. Shiri, J., Nazemi, A.H., Sadraddini, A.A., Landaras, G., Kisi, O., Fakhri Fard, A. and Marti, P. (2014a). Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108: 230- 241.
30. Shiri, J., Sadraddini, A.A., Nazemi, A.H., Kisi, O., Landaras, G., Fakhri Fard, A. and Marti, P. (2014b). Generalizability of gene expression programming-based approaches for estimating daily reference evapotranspiration in coastal stations of Iran. *Journal of Hydrology*, 508: 1-11.