

برآورد نیاز آبی گندم تحت شرایط تغییر اقلیم در دشت مغان (پارس آباد)**مهیار احدی**

دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ایران

برومند صلاحی*

استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ایران

شهرام کوثری مهر

کارشناس مسئول پیش‌بینی اداره کل هواشناسی استان اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۴

چکیده

تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی در دوران آبی و داشتن شمای کلی از آن در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب بسیار ضروری است و با استفاده از آن قادر به تعیین مناطق بحرانی خواهیم بود. بر اساس اطلاعات منتشر شده در سال‌نامه آماری استان اردبیل (۱۳۹۸)، محصول گندم با سطح زیر کشت ۱۱ هزار هکتار و تولید سالانه ۵۰ هزار تن، مهم‌ترین محصول کشاورزی شهرستان پارس‌آباد و استان اردبیل می‌باشد هدف از پژوهش حاضر برآورد نیاز آبی گندم با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی (HadGEM2-ES) با استفاده از آخرین گزارش تغییر اقلیم (گزارش پنجم) تحت عنوان سناریو واداشت تابشی (RCP) می‌باشد که با بکارگیری مدل LARSWG تحت سناریوی RCP85 ریز مقیاس شده‌است. برای این منظور، داده‌های ۳۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۰) وارد مدل شدند و داده‌های اقلیمی به صورت روزانه برای ۴۰ سال آینده در دو بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۶۰-۲۰۴۱) پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که در بازه زمانی ۴۰ ساله پیش‌بینی هر سه پارامتر متوسط دمای بیشینه، کمینه و بارش روند صعودی خواهد داشت. در مرحله بعد داده‌های تولید شده برای محاسبه نیاز آبی گندم در دشت پارس‌آباد وارد نرم‌افزار CROPWAT 8.0 گردید نتایج نشان داد که روند افزایشی دما، منجر به افزایش تبخیر و تعرق و بالا رفتن نیاز آبی گندم ۳ تا ۵ درصد تحت شرایط تغییر اقلیم می‌شود.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، نیاز آبی، HadGEM2-ES, LARS-WG

مقدمه

هرگونه تغییر منظم و معنی دار متوسط بلند مدت پارامترهای اقلیمی منطقه، به عنوان تغییر اقلیم تعریف می‌شود (Gil-Alana, 2012). تبخیر و تعرق بعد از بارش اصلی‌ترین جزء چرخه آب شناسی به حساب می‌آید. و نقش قابل ملاحظه‌ای در اقلیم‌های جهانی از طریق سیکل هیدرولوژیکی ایفا می‌کند و تخمین آن کاربردهای مهمی در اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی، انجام مطالعات اقلیمی، طراحی کانال‌های آبیاری و ابنیه تقسیم آب، بهبود مصرف و کنترل تلفات آن در

بخش کشاورزی، پیش‌بینی عملکرد محصول، طراحی کاربری اراضی و پایش خشک‌سالی دارد و نیاز آبی گیاهان مستقیماً بر اساس آن مشخص می‌گردد (Liu et al, 2014).

به منظور بررسی تغییرات اقلیمی آینده از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. معروف‌ترین مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو هستند که در مطالعات مختلف به کار گرفته شده‌اند (آشفتة و مسلح بورانی، ۱۳۹۱). به‌طور کلی مدل گردش عمومی جو، شرایط توپوگرافی، پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در این محدوده کاملاً متفاوت باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). برای فائق آمدن به این مشکل، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس می‌گردند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). روش‌های آماری به دلیل هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر، معمولاً نسبت به روش‌های دینامیکی ارجحیت دارند (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ Hewitson & Crane, 1996). از جمله مدل‌هایی که از روش‌های آماری استفاده می‌کنند می‌توان به مدل LARS-WG, GEM, CLIMGEN و SDSM اشاره کرد. از این مدل‌ها، مدل لارس، به دلیل سادگی و انطباق بیشتر با واقعیت‌های موجود، به گستردگی در انگلستان مورد استفاده قرار می‌گیرد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). کارایی مدل لارس در مطالعات متعددی تأیید شده است (دوستی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Mavromatis & Hansen, 2001) لذا در مطالعه حاضر، از این مدل جهت تعیین نوسانات اقلیمی آینده استفاده شده است. مطالعات زیادی در سراسر دنیا در مورد ارتباط بین تبخیر و تعرق و تغییرات اقلیمی انجام شده است. این مطالعات را از نقطه نظر روش بررسی تغییر اقلیم می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. در گروه اول به منظور بررسی تغییرات اقلیمی، از روند تغییرات پارامترهای هواشناسی استفاده شده و بحثی از سناریوهای اقلیمی به میان نیامده است در گروه دوم مطالعات از سناریوهای اقلیمی به منظور پیش‌بینی اقلیم استفاده شده است. که در کل می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود. کوثری و همکاران، از معادله فائو پن من مانیتث برای تعیین تبخیر و تعرق داده‌های ۴۵ ساله اقلیمی ۳۲ ایستگاه هواشناسی استفاده کرده و روند تغییرات تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه با آزمون روند من کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند (Kousari et al, 2013)؛ نتایج نشان داد، در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، در دهه‌های اخیر، تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روند رو به افزایشی داشته است. طبری (Tabari, 2014) مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در اقلیم‌های مختلف ایران، مورد تحلیل و بررسی قرار داد. براساس نتایج پژوهش طبری تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک زیادتر از مناطق مرطوب است، بیشترین تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مطالعه ایشان، حدود ۹ درصد و مربوط به منطقه خشک بوده است. دار و همکاران (Dar et al, 2017) به مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و تعادل آب در گیاه برنج و گندم تحت سناریو RCP85 پرداختند نتایج نشان داد در طول دوران مطالعه مقدار بارندگی افزایش و مقدار نیاز آبی و تبخیر تعرق کاهش خواهد یافت ولی این افزایش بارش تأثیر نامطلوب دما را جبران نخواهد کرد. سیری وات و همکاران (Siriwat et al, 2018) به مطالعه تغییرات اقلیمی بر نیاز آبیاری و بهره‌وری آب زراعی و عملکرد محصول برنج در حوضه رودخانه سونگکرام تایلند پرداختند نتایج نشان داد در دوره آینده تا سال ۲۰۸۰ و با استفاده از سناریو

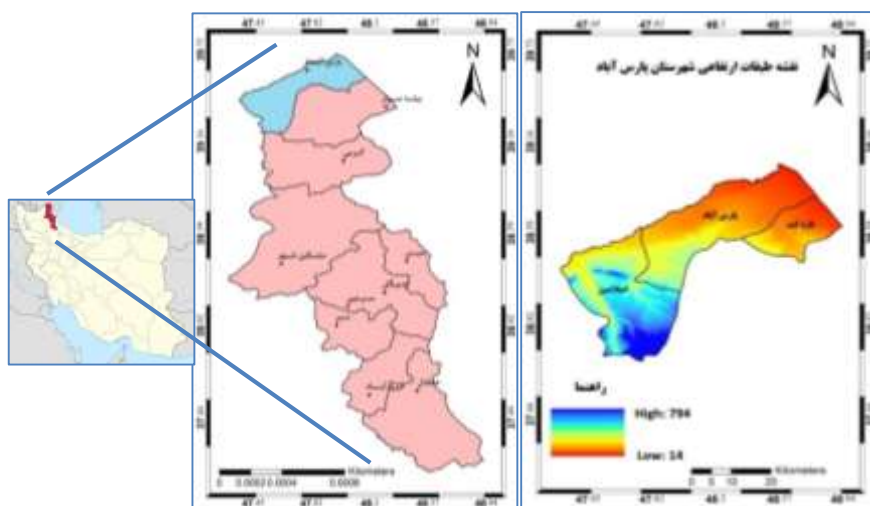
RCP4.5 و RCP8.5 هر دو پارامتر دما و بارش افزایش خواهد یافت ولی با توجه به کاهش میزان بارندگی در فصل رشد احتمالاً در آینده باعث استرس آبی خواهد. لطفی و همکاران (Lotfi et al, 2020) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تبخیر در غرب ایران و با استفاده از مدل LARS-WG و SDSM پرداختند، نتایج نشان داد که در سال ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و با استفاده از مدل HadGEM2 و CanESM2، هر دو پارامتر حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۰/۶ تا ۱/۶ و ۰/۸ تا ۱/۹ و درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و در نتیجه انتظار می‌رود که میزان تبخیر و تعرق نیز بین ۱ تا ۷/۳ درصد افزایش یابد. دانگ و همکاران (Dong et al, 2020) در چین به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تبخیر تعرق در طی سال‌های گذشته و نیز به پیش بینی این متغیر در دهه‌های آینده پرداختند. نتایج نشان داد که طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس مدل‌های گردش عمومی و تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5، روند افزایشی تبخیر و تعرق در قرن ۲۱ ادامه خواهد داشت که منجر به افزایش مصرف آب خواهد شد. در مطالعات انجام شده داخلی: زینلی مبارکه و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با آن بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در استان خراسان رضوی تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 پرداختند. نتایج نشان داد در سال ۲۰۵۰ متوسط دمایی و میزان بارش در منطقه مورد مطالعه به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت که منجر به افزایش عملکرد تحت هر دو سناریو خواهد شد. در پژوهش انجام شده دیگر در ایران، سبحانی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد درخت سیب با استفاده از دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در ارومیه و سمیرم پرداختند. نتایج نشان داد در ایستگاه‌های مورد مطالعه روند تبخیر و تعرق در طول فصل رشد افزایش خواهد یافت که افزایش دما، تبخیر تعرق و درجه روزهای رشد منجر به افزایش نیاز آبی درخت سیب خواهد شد. حیدری و خوشخو (۱۳۹۸)، به پیش‌بینی تغییرات آبی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های فصلی و سالانه در غرب ایران بر اساس پرداختند، نتایج نشان داد که بیشترین نرخ افزایشی تبخیر و تعرق مرجع دوره‌های آبی در مقایسه با دوره پایه در تمامی مقیاس‌های فصلی و سالانه در کل منطقه تحت سناریو RCP85 خواهد بود، و این افزایش تبخیر و تعرق مرجع در فصول پاییز و زمستان بسیار چشمگیرتر خواهد بود.

شهرستان پارس آباد به دلیل آنکه بخش زیادی از گندم مورد نیاز کشور و استان اردبیل را تامین می‌نماید لذا در پژوهش حاضر به بررسی نقش تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاهان بخش کشاورزی در دشت پارس آباد پرداخته شد تا شاید راه گشای مدیران در برنامه‌ریزی آینده منابع آبی باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل شهرستان پارس آباد واقع در شمال استان اردبیل و در شمال غرب ایران است. وسعت این شهرستان ۱۳۸۳ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط دراز مدت بارش (۱۳۹۷-۱۳۶۸) در این شهرستان ۲۷۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۱۵/۳ درجه سلسیوس است. پربارش‌ترین ماه سال، آبان ماه با ۳۴/۸ میلی‌متر و کم بارش‌ترین مرداد ماه با ۵/۵ میلی‌متر می‌باشد. متوسط رطوبت نسبی سالانه ۷۱ درصد بوده است. متوسط سالانه سرعت باد ۲/۵ متر

برثانیه و جهت باد غالب شرقی می باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۸). بر اساس طبقه‌بندی دومارتن شهرستان پارس آباد دارای آب و هوای نیمه خشک می‌باشد موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ و جدول ۱ آورده شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک پارس آباد

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	سال تاسیس
سینوپتیک پارس آباد	۴۷°۵۲' ۳۸"	۳۹° 36' ۲۷"	82	1365

مأخذ: نگارندگان

شهرستان پارس آباد با وجود وسعت اراضی، تنوع آب و هوایی، نیروهای بالقوه، غنای آب‌های سطحی و زیر زمینی و زمین‌های حاصل خیز برای توسعه کشاورزی بسیار مستعد است. گندم از جمله تولیدات شهرستان پارس آباد است که در کنار تولید سویا، کلزا، ذرت و ... از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا در این پژوهش جهت برآورد نیاز آبی، محصول گندم انتخاب گردید. جدول ۲ تاریخ کاشت و تعداد روزهای طی شده در هر مرحله فنولوژیکی را نشان می‌دهد.

جدول ۲: تعداد روزهای طی شده در هر مرحله فنولوژیکی گندم در شهرستان پارس آباد

مراحل فنولوژیکی	روز	ماه	تعداد روز در هر مرحله
کاشت	۱۵	مهر	-
سبز شدن	۳۰	مهر	۱۵
خوشه رفتن	۵	خرداد	۲۱۶
رسیدن	۲۵	تیر	۵۱
ارتفاع مناسب گندم	۸۰ سانتی‌متر		
جمع روزها از کاشت تا برداشت			۲۶۵

مأخذ: نگارندگان

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش جهت برآورد تغییرات اقلیم از مدل ریز مقیاس گردانی^۱ LARS-WG استفاده شد. این مدل یک مدل تصادفی با استفاده از توزیع نیمه تجربی برای تولید داده‌های آب و هوایی به وسیله تکنیک‌های ریز مقیاس گردانی آماری است (Semenov & Barrow, 2002) که توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دارد (Semenov et al, 1998). مدل‌های اقلیمی برآوردهای متفاوتی از متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آبی برای یک مکان مشخص دارند. بنابراین لازم است تعیین شود که کدام یک از مدل‌ها برای شبیه‌سازی متغیر اقلیمی مورد نظر در محدوده مورد بررسی مناسب بوده و از دقت و توانایی کافی برخوردار است. جهت اجرای مدل LARS-WG در این پژوهش از داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی در دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۱) استفاده شد. به‌منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه مدل را اجرا کرده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود. سپس این خروجی‌ها را به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی به کمک آزمون کلموگروف - اسمیرنوف (K-S) و T-test مقایسه می‌شوند.

در این پژوهش، از داده‌های خروجی مدل مرکز تحقیقات هادلی^۲ HadGEM2-ES که یکی از مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو - اقیانوسی می‌باشد و توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی‌های اقلیمی هادلی در اداره هواشناسی انگلستان تهیه شده استفاده شده است. تفکیک مکانی این مدل ۱/۸×۱/۱۲۵ کیلومتری باشد.

جهت اعتبارسنجی برون‌داد مدل‌ها با دوره مشاهده‌ای از معیارهای ارزیابی (R^2 , MAE, RMSE) استفاده گردید که جزو متداول‌ترین معیارها برای خطا سنجی محسوب می‌شوند (Zhang & Tong, 2007). این معیارها بر اساس معادله‌های (۱ تا ۳) محاسبه می‌شوند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad \text{معادله (۲)}$$

$$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{معادله (۳)}$$

در معادله‌های فوق، P_i میانگین مقادیر برآورد شده و O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر برآورد شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد.

پس از انتخاب توانمندترین مدل با خطای شبیه‌سازی کمتر، به منظور برآورد میزان نیاز آبی گندم در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) و (۲۰۶۰-۲۰۴۱) در شهر پارس‌آباد، داده‌های برون‌داد مدل منتخب تحت سناریو RCP85 بررسی و تنظیم گردید. مشخصات سناریو مورد استفاده در جدول ۳ آورده شده است.

¹ -Weather generator

² - Hadley Global Environment Model 2 - Earth System

جدول ۳: سناریوهای اقلیمی اصلی مورد استفاده در گزارش پنجم IPCC

سناریو	وضعیت	توضیح
RCP26	خوش بینانه	واداشت تابشی در اواسط قرن جاری به حدود ۳/۱ رسیده سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد.
RCP45	میانماتمایل به خوش بینانه	واداشت تابشی، قبل از سال ۲۱۰۰ کمتر از ۴/۵ وات بر مترمربع و بعد از آن در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.
RCP6	میانماتمایل به خوش بینانه	واداشت تابشی، قبل از سال ۲۱۰۰ کمتر از ۶ وات بر مترمربع و بعد از ۲۱۰۰ به مقدار ۶ وات بر مترمربع می‌رسد و ثابت می‌ماند.
RCP85	بد بینانه	واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد و بعد از سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد.

مآخذ: نگارندگان

در این پژوهش جهت محاسبه میزان نیاز آبی گندم از نرم افزار CROPWAT استفاده گردید. داده‌های ورودی این نرم افزار شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، رطوبت، ساعت آفتابی، سرعت باد و تبخیر می‌باشد که پس از استخراج از مدل به صورت روزانه، در نرم افزار Excel به داده‌های ماهانه تبدیل شده و وارد نرم افزار شد. در هر مرحله با اعمال ضرایب مربوطه میزان نیاز آبی گیاه مورد نظر محاسبه می‌گردد.

علاوه بر این پارامترها، جهت تعیین ET_0 در دوره آینده به داده‌های سرعت باد و رطوبت نسبی نیاز است که به دلیل محدودیت‌های داده‌های خروجی مدل اقلیمی لارس، امکان ارزیابی این پارامترها وجود ندارد. با توجه به این که سرعت باد و میزان رطوبت نسبی در ارتباط خوبی با درجه حرارت هستند، با استفاده از روابط زیر میزان این پارامترها برای دوره های آینده محاسبه شد. قبلا اعتبار سنجی این رابطه با استفاده از مدل های آماری توسط محققان انجام شده است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۷).

$$Wind = 9.495 + (0.633 \times T_{min}) - (0.386 \times T_{max}) \quad \text{معادله (۴)}$$

$$Humidity = 93.453 + (1.658 \times T_{min}) - (2.962 \times T_{max}) \quad \text{معادله (۵)}$$

به منظور تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن - مانیتیت که مورد تایید کمیته بین المللی آبیاری، سازمان خواربار جهانی و جامعه مهندسی شهری آمریکا است، استفاده شد (معادله ۶):

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \Delta (1 + 0.34 U_2)} \quad \text{معادله (۶)}$$

که در آن ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)، R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$)^۱، T : میانگین دمای هوا (درجه سلسیوس)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (Kpa)، Δ : شیب منحنی فشار بخار ($\text{Kpa}^{\circ}\text{C}^{-1}$)، γ : ثابت سایکرومتری ($\text{Kpa}^{\circ}\text{C}^{-1}$)، G : شارگرمما به داخل خاک ($\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$) است.

برای تعیین تبخیر و تعرق گیاهان متداول در سیستم کشاورزی منطقه از گزارش ۵۶ فائو استفاده شد و ضرایب گیاهی در مراحل توسعه اولیه، میانی و نهایی رشد به تفکیک گیاهان مختلف به دست آمد و با توجه به شرایط منطقه تعدیل گردید. تاریخ کشت و برداشت محصول از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان پارس آباد اخذ گردید. بر اساس اقلیم منطقه که از

نوع نیمه خشک است، برای هر یک از مراحل چهارگانه رشد (ابتدایی، رشد و توسعه گیاه، میانی و نهایی) طول دوره رشد محصول در دوره فعلی از نشریه ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو استخراج شد. تاریخ کشت محصول در دوره آینده بر اساس تطابق درجه حرارت متوسط روزانه در تاریخ کشت فعلی با زمان وقوع آن برآورد گردید. پس از تعیین مراحل رشد، ضریب گیاهی (KC) هر مرحله رشدی بر اساس نوع اقلیم منطقه تعیین (Xu et al, 2004) و سپس KC ماهانه برای هر دوره از طریق درون یابی خطی توسط مدل کراپ وات برآورد گردید (Xu et al, 2004; Zarghami, 2011). KC مربوط به مرحله ابتدایی رشد (K_{Cini})، دوره میانی رشد (K_{Cmid}) و نقطه آخر مرحله چهارم (K_{Cend}) از جدول ارائه شده توسط FAO استخراج شد. مقادیر K_{Cmid} و K_{Cend} به دست آمده از جدول بایستی با توجه به اطلاعات اقلیمی منطقه و با استفاده از معادله‌های ۷ و ۸ تصحیح شوند (Xu et al, 2004).

$$K_{Cmid} = K_{Cmid-table} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] [h/3]^{0.3} \quad \text{معادله (۷)}$$

$$K_{Cend} = K_{Cend-table} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] [h/3]^{0.3} \quad \text{معادله (۸)}$$

که در این معادله‌ها، $K_{Cmid-table}$: مقدار ضریب گیاهی به دست آمده از جدول برای مرحله میانی رشد، $K_{Cend-table}$: مقدار ضریب گیاهی به دست آمده از جدول برای نقطه آخر مرحله انتهایی رشد، h : حداکثر ارتفاع گیاه (متر)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه) و RH_{min} : رطوبت نسبی حداقل (درصد) می‌باشند. میزان U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری که از معادله ۴ محاسبه می‌گردد.

$$U_2 = \frac{4.868}{\ln(67.75z - 5.42)} U_z \quad \text{معادله (۹)}$$

در این معادله U_2 و U_z به ترتیب سرعت باد در ارتفاع ۲ و ۱۰ متری و Z ارتفاع محل اندازه گیری باد است. پس از تصحیح مقادیر KC و پردازش و مرتب سازی داده ها و تهیه فایل ورودی، جهت ارزیابی تغییر اقلیم ۴۰ سال آینده بر مصرف آب، با استفاده از نرم افزار Cropwat، میزان تبخیر تعرق و پتانسیل واقعی به روش پنمن مانیت (Xu et al, 2004) و بارندگی موثر به روش USDA در شرایط استاندارد برای دوره آبی محاسبه شده و نیاز آبی محصول گندم در دوره رشد، بر اساس روش ارائه شده در نشریه ۵۶ آبیاری و زهکشی FAO (Xu et al, 2004; Zhang, 2011) تعیین شد.

بحث و یافته‌ها

با توجه به نتایج حاصل شده و مقادیر R^2 , RMSE, MAE و آزمون کولوموگروف اسمیرنوف، شبیه سازی‌های صورت گرفته در ایستگاه مورد نظر از دقت بالایی برخوردار است، همانگونه که در جداول ۴ تا ۷ مشاهده می‌گردد در ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش، مقادیر آزمون کولوموگراف اسمیرنوف از ۰/۰۵ بزرگتر بوده که با اطمینان ۰/۹۵ فرض نرمال بودن باقیمانده‌های مدل (خطاها) رد نمی‌شود. اغلب نتایج بدست آمده از آزمون کولوموگروف اسمیرنوف به ۰/۰۵ نزدیک‌تر بوده و دارای ارزش ۱ می‌باشند.

جدول ۴: مقادیر آزمون کلموگراف اسمیرنوف و P-value برای پارامتر کمینه دما در ایستگاه پارس آباد

دسام	نوامبر	اکتبر	سپتام	اگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۶۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۵۰/۱۰	۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۶۰/۱۰	۶۰/۱۰	KS Statistic
۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	P-value

مأخذ: نگارندگان

جدول ۵: مقادیر آزمون کلموگراف اسمیرنوف و P-value برای پارامتر بیشینه دما در ایستگاه پارس آباد

دسام	نوامبر	اکتبر	سپتام	اگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۶۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۶۰/۱۰	۶۰/۱۰	۶۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۶۰/۱۰	۶۰/۱۰	KS Statistic
۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	P-value

مأخذ: نگارندگان

جدول ۶: مقادیر آزمون کلموگراف اسمیرنوف و P-value برای پارامتر بارش در ایستگاه پارس آباد

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۷۶۰/۱۰	۵۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۶۱۱/۱۰	۶۱۱/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۵۵۰/۱۰	۷۶۰/۱۰	۸۸۰/۱۰	۸۸۰/۱۰	۶۷۰/۱۰	KS Statistic
۱	۱	۱	۰/۹۶۶	۰/۹۸۸	۰/۹۸۴	۰/۴۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	P-value

مأخذ: نگارندگان

جدول ۷: مقادیر آزمون کلموگراف اسمیرنوف و P-value برای پارامتر ساعت آفتابی در ایستگاه پارس آباد

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۱۸۱/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۸۷۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۳۵۰/۱۰	۱۸۱/۱۰	KS Statistic
۰/۹۸۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۸۲	P-value

مأخذ: نگارندگان

همچنین مقادیر R^2 برآورد شده برای ایستگاه هم بالای ۰/۹۹ بوده و مقادیر خطای RMSE و MAE نیز دارای حداقل

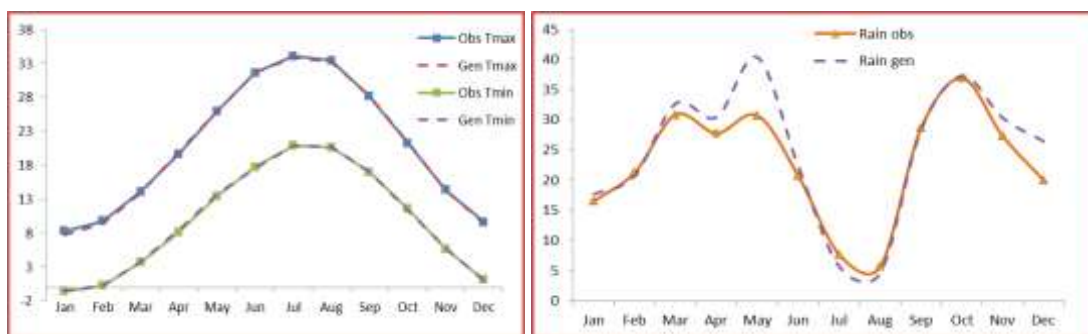
خطای ممکن می‌باشد. (جدول ۸).

جدول ۸: مقادیر خطاهای محاسبه شده برای ایستگاه مورد مطالعه

ایستگاه	RMSE	MAE	R ²
کمینه دما	۰/۱۶۹	۰/۱۴۸	۱/۰۰۰
بیشینه دما	۰/۲۶۲	۰/۱۹۹	۰/۹۹۹
بارش	۳/۶۸۸	۲/۵۴۳	۰/۹۲۸
ساعت آفتابی	۰/۲۲۶	۰/۱۸۵	۰/۹۹۹

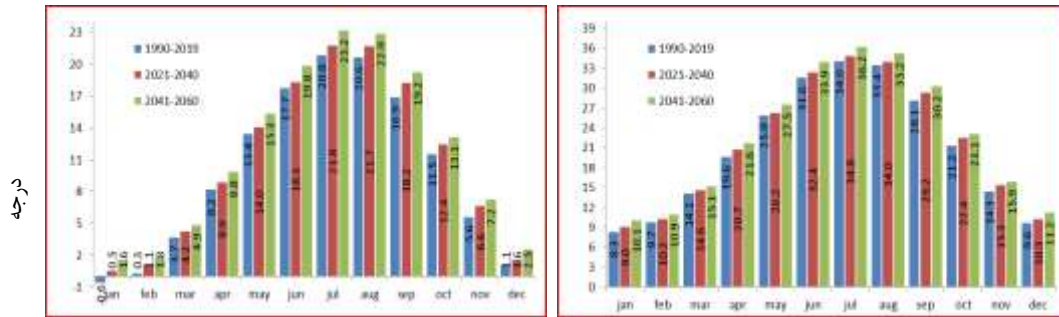
مأخذ: نگارندگان

بر اساس شکل ۲ نمونه‌ای از مقایسه نتایج حاصل از مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر مدل‌سازی شده ایستگاه پارس آباد را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودارها مشخص می‌شود که مدل به خوبی توانسته روند تغییرات را شبیه‌سازی کند به‌خصوص در مورد روند کمینه و بیشینه دما و ساعت آفتابی که نتایج پیش‌بینی شده تقریباً منطبق با نتایج مشاهده‌ای می‌باشد. اما در مورد کمیت بارش مدل ماه‌های آوریل و می را بیشتر از داده ایستگاهی ثبت کرده است.



شکل ۲: نمودار نتایج حاصل از مقایسه مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده برای بیشینه و کمینه دما و بارش

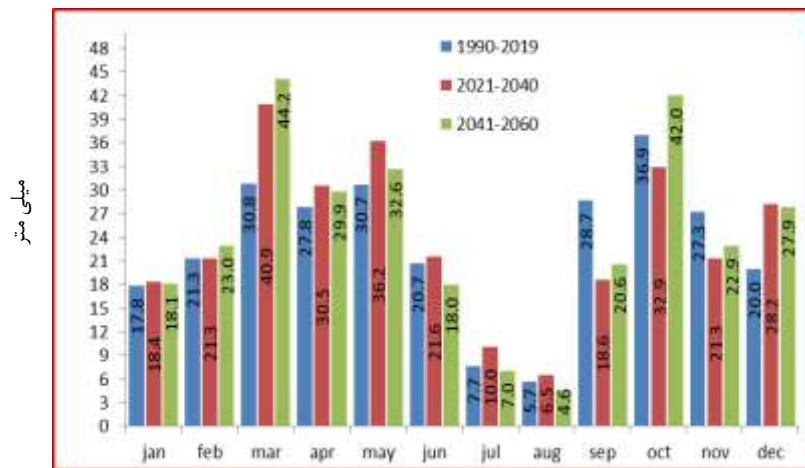
برآورد مدل نشان می‌دهد که میزان درجه حرارت کمینه در تمامی ماه‌های سال در آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. بر این اساس متوسط دمای کمینه سالانه در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) به میزان ۰/۸ درجه و در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) به میزان ۱/۸ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. همچنین برآورد مدل از تغییرات دمای بیشینه در دوره آینده نشان داد که میزان دمای بیشینه نیز در هر دو دوره آینده افزایش خواهد داشت. متوسط دمای بیشینه سالانه در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) به ترتیب ۰/۸ و ۱/۸ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت (شکل ۳).



مآخذ: نگارندکان

شکل ۳: نمودار تغییرات متوسط دمای بیشینه (راست) و کمینه (چپ) پارس آباد در دوره پایه و دوره آینده بر اساس سناریو RCP85

با بررسی خروجی مدل HadGEM2-ES تحت سناریو RCP85، وضعیت متفاوتی نسبت به دما برای بارش در دشت پارس آباد پیش بینی می‌گردد، بر اساس برآورد مدل متوسط بارش سالانه در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نسبت به دوره پایه به ترتیب ۱۱ و ۱۵ میلی متر افزایش می‌یابد. و به طوری که در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) شاهد کاهش بارش در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر (فصل پاییز) و افزایش بارش در بقیه ماه‌ها هستیم. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نیز شاهد افزایش و کاهش بارش در ماه‌های مختلف هستیم.



مآخذ: نگارندکان

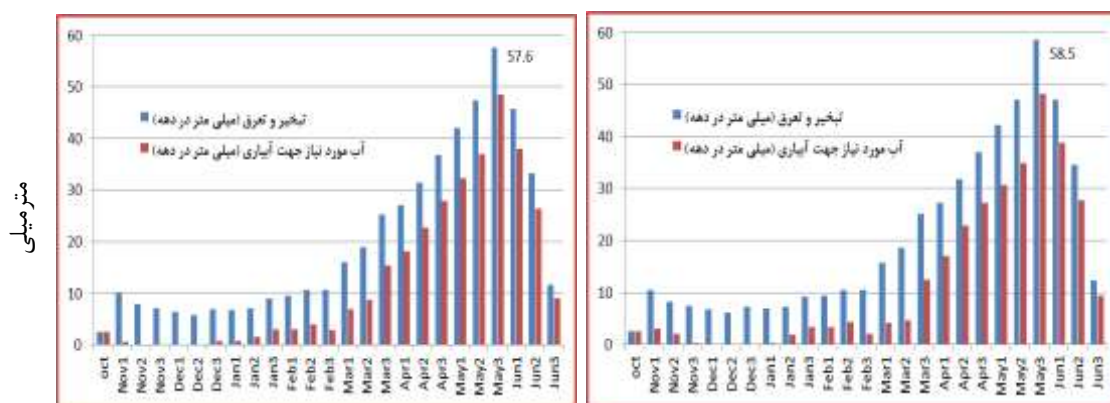
شکل ۴: نمودار تغییرات بارش پارس آباد در دوره پایه و آینده بر اساس سناریو RCP85

همان‌طور که در مراحل قبلی ذکر شد در مرحله اول پژوهش داده‌های پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۹) وارد نرم افزار لارس گردید و اقدام به مدل سازی اقلیم آینده در دو دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و (۲۰۲۱-۲۰۴۰) گردید. در مرحله بعد پارامترهای پیش‌بینی شده برای دو دوره آینده و دوره پایه به‌طور جداگانه وارد نرم افزار کراپ وات گردید و با اعمال ضرایب مربوط به محصول گندم، نیاز آبی دو دوره آینده و دوره پایه مشخص، و در نهایت با هم مقایسه شدند.

نتایج حاصل از ورود داده‌های دوره پایه و دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در نرم افزار کراپ وات در شکل ۴ و جدول ۹ مشاهده می‌گردد. نمودارستونی قرمز رنگ آب مورد نیاز جهت آبیاری در هر دهه و نمودار آبی رنگ میزان تبخیر و تعرق در هر دهه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین میزان تبخیر و تعرق در دوره پایه در ماه می و دهه سوم با ۵۷/۶ میلی‌متر (۵/۲۳ میلی‌متر در روز) می‌باشد. همچنین در این دوره بیشترین آب مورد نیاز جهت آبیاری ۴۸/۵ میلی‌متر در همان دهه سوم ماه می است.

جدول ۸ به ترتیب ضریب گیاهی (KC)، تبخیر و تعرق در هر روز و هر دهه (ETc)، میزان بارش مؤثر در هر دهه (Eff rain) و آب آبیاری مورد نیاز در هر دهه (Irr.Req) را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در دوره پایه میزان تبخیر و تعرق محصول گندم برابر با ۴۹۳/۴ میلی‌متر در سال محاسبه گردید در حالی که مجموع بارش مؤثر در طول فصل رشد گیاه ۱۸۸/۴ میلی‌متر و آب مورد نیاز جهت آبیاری در طول فصل ۳۱۰/۱ میلی‌متر می‌باشد.

در مرحله بعد داده‌های (۲۰۲۱-۲۰۴۰) وارد نرم افزار کراپ وات گردید. نتایج نشان داد در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) میزان تبخیر و تعرق در طول فصل نسبت به دوره پایه افزایش یافته و به ۴۹۹/۷ میلی‌متر خواهد رسید. همچنین در این دوره میزان بارش مؤثر ۲۰۸/۱ میلی‌متر و آب مورد نیاز آبیاری ۳۰۰/۸ میلی‌متر خواهد بود (جدول ۸). در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) بیشترین میزان تبخیر و تعرق در دهه سوم ماه می با ۵۸/۵ میلی‌متر خواهد بود که نسبت به ماه دهه سوم ماه می (۲۰۱۰-۱۹۸۹) تفاوت چندانی نخواهد داشت (شکل ۵ راست).



شکل ۵: نمودارمیزان تبخیر و تعرق گندم و آب مورد نیاز آبیاری دوره (۲۰۱۹-۱۹۹۱) سمت چپ و دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) راست

در مرحله آخر پژوهش داده‌های دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) وارد نرم افزار کراپ وات گردید. در این دوره نیز میزان تبخیر و تعرق در طول فصل رشد افزایش یافته و در مجموع به ۵۱۵/۱ میلی‌متر خواهد رسید. در این دوره میزان بارش مؤثر نسبت به دوره پایه افزایش و نسبت به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) کاهش پیدا کرده و به ۲۰۶/۸ میلی‌متر خواهد رسید. میزان آب مورد نیاز جهت آبیاری در این دوره هم نسبت به دوره پایه و هم نسبت به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) افزایش و به ۳۱۷ میلی‌متر خواهد رسید (جدول ۱۰).

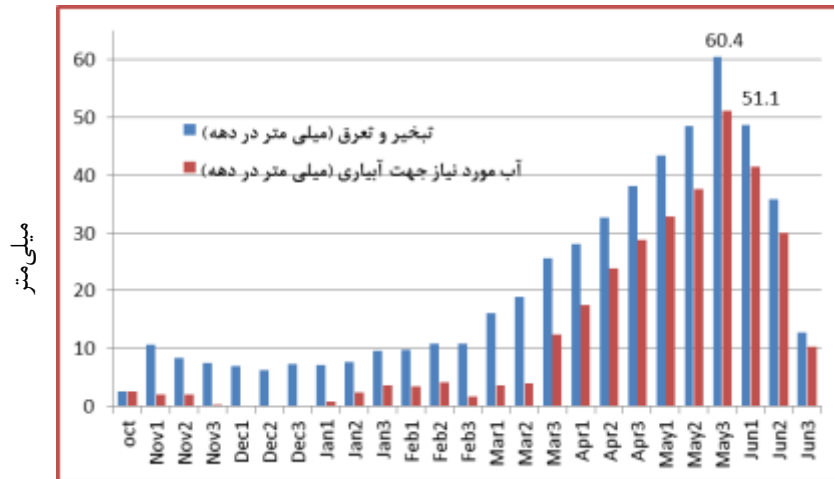
در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) بیشترین میزان تبخیر و تعرق در دهه سوم ماه می با ۶۰/۴ میلی متر خواهد بود که نسبت به

ماه دهه سوم ماه می دوره پایه و دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) افزایش محسوسی خواهد داشت (شکل ۶).

جدول ۹: میزان تبخیر و تعرق، بارش مؤثر، آب مورد نیاز آبیاری و ضریب گیاهی گندم در دوره پایه و دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

Month	Decad	Stage	دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۱۹)					پیش بینی دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰)				
			Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	۳	Ini t	۰/۷	۱/۲۴	۲/۵	۲	۲/۵	۰/۷	۱/۲۸	۲/۶	۱/۸	۲/۶
Nov	۱	Ini t	۰/۷	۱/۰۲	۱۰/۲	۹/۶	-/۶	۰/۷	۱/۰۵	۱۰/۵	۷/۵	۳
Nov	۲	Ini t	۰/۷	۰/۷۹	۷/۹	۸/۷	۰	۰/۷	۰/۸۲	۸/۲	۶/۱	۲/۱
Nov	۳	Deve	۰/۷	۰/۷۱	۷/۱	۷/۹	۰	۰/۷	۰/۷۴	۷/۴	۷/۱	۰/۳
Dec	۱	Deve	۰/۷۲	۰/۶۵	۶/۵	۷/۱	۰	۰/۷۲	۰/۶۷	۶/۷	۸/۷	۰
Dec	۲	Deve	۰/۷۶	۰/۵۸	۵/۸	۶/۳	۰	۰/۷۶	۰/۶۱	۶/۱	۹/۷	۰
Dec	۳	Deve	۰/۷۹	۰/۶۳	۶/۹	۶/۱	-/۸	۰/۷۹	۰/۶۵	۷/۲	۸/۴	۰
Jan	۱	Deve	۰/۸۲	۰/۶۷	۶/۷	۵/۹	-/۸	۰/۸۲	۰/۶۹	۶/۹	۶/۶	۰/۳
Jan	۲	Deve	۰/۸۶	۰/۷۱	۷/۱	۵/۶	۱/۶	۰/۸۶	۰/۷۳	۷/۳	۵/۵	۱/۹
Jan	۳	Deve	۰/۸۹	۰/۸۳	۹/۱	۶	۳/۱	۰/۸۹	۰/۸۴	۹/۲	۵/۹	۳/۳
Feb	۱	Deve	۰/۹۲	۰/۹۵	۹/۵	۶/۴	۳/۱	۰/۹۲	۰/۹۴	۹/۴	۶/۱	۳/۳
Feb	۲	Deve	۰/۹۶	۱/۰۷	۱۰/۷	۶/۷	۴	۰/۹۶	۱/۰۵	۱۰/۵	۶/۲	۴/۳
Feb	۳	Deve	۰/۹۸	۱/۳۳	۱۰/۶	۷/۷	۲/۹	۰/۹۸	۱/۳۱	۱۰/۵	۸/۴	۲/۱
Mar	۱	Deve	۱/۰۱	۱/۶	۱۶	۹/۱	۶/۹	۱/۰۱	۱/۵۷	۱۵/۷	۱۱/۶	۴/۱
Mar	۲	Deve	۱/۰۵	۱/۹	۱۹	۱۰/۳	۸/۷	۱/۰۵	۱/۸۶	۱۸/۶	۱۴	۴/۶
Mar	۳	Deve	۱/۰۸	۲/۲۹	۲۵/۲	۹/۸	۱۵/۴	۱/۰۸	۲/۲۸	۲۵/۱	۱۲/۶	۱۲/۵
Apr	۱	Deve	۱/۱۱	۲/۷۱	۲۷/۱	۹	۱۸/۱	۱/۱۱	۲/۷۲	۲۷/۲	۱۰/۳	۱۷
Apr	۲	M d	۱/۱۴	۳/۱۴	۳۱/۴	۸/۷	۲۲/۷	۱/۱۴	۳/۱۸	۳۱/۸	۹	۲۲/۸
Apr	۳	M d	۱/۱۵	۳/۶۸	۳۶/۸	۹	۲۷/۸	۱/۱۵	۳/۷	۳۷	۹/۸	۲۷/۲
May	۱	M d	۱/۱۵	۴/۲	۴۲	۹/۸	۳۲/۲	۱/۱۵	۴/۲۱	۴۲/۱	۱۱/۴	۳۰/۷
May	۲	M d	۱/۱۵	۴/۷۳	۴۷/۳	۱۰/۲	۳۷	۱/۱۵	۴/۷۱	۴۷/۱	۱۲/۲	۳۴/۹
May	۳	Lat e	۱/۱۲	۵/۳۳	۵۷/۶	۹	۴۸/۵	۱/۱۲	۵/۳۲	۵۸/۵	۱۰/۵	۴۸/۱
Jun	۱	Lat e	۰/۸۷	۴/۵۷	۴۵/۷	۷/۸	۳۷/۹	۰/۸۶	۴/۷۱	۴۷/۱	۸/۴	۳۸/۷
Jun	۲	Lat e	۰/۵۷	۳/۳۲	۳۳/۲	۶/۸	۲۶/۴	۰/۵۶	۳/۴۶	۳۴/۶	۶/۹	۲۷/۷
Jun	۳	Lat e	۰/۳۳	۱/۹۶	۱۱/۷	۲/۲	۹/۱	۰/۳۲	۲/۰۴	۱۲/۳	۳/۴	۹/۴
SUM					۴۹۳/۴	۱۸۸/۴	۳۱۰/۱			۴۹۹/۷	۲۰۸/۱	۳۰۰/۸

مأخذ: نگارندگان



ماخذ: نگارندگان

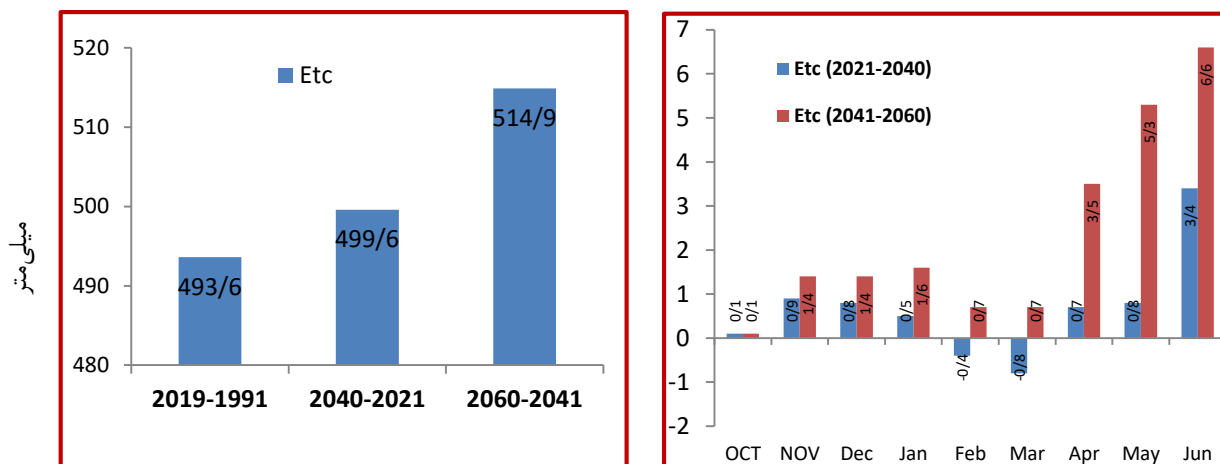
شکل ۶: نمودار میزان تبخیر و تعرق محصول گندم و آب مورد نیاز آبیاری در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰)

جدول ۱۰: میزان تبخیر و تعرق، بارش مؤثر، آب مورد نیاز آبیاری و ضریب گیاهی گندم در دوره پایه (۲۰۴۱-۲۰۶۰)

Month	Decade	Stage	Kc coeff	Etc mm/day	Etc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Oct	۳	I n i t	۰/۷	۱/۳۱	۲/۶	۲/۲	۲/۶
Nov	۱	I n i t	۰/۷	۱/۰۷	۱۰/۷	۸/۶	۲/۱
Nov	۲	I n i t	۰/۷	۰/۸۴	۸/۴	۶/۴	۲
Nov	۳	Deve	۰/۷	۰/۷۵	۷/۵	۷/۲	۰/۳
Dec	۱	Deve	۰/۷۲	۰/۶۹	۶/۹	۸/۸	۰
Dec	۲	Deve	۰/۷۶	۰/۶۳	۶/۳	۹/۵	۰
Dec	۳	Deve	۰/۷۹	۰/۶۷	۷/۴	۸/۳	۰
Jan	۱	Deve	۰/۸۲	۰/۷۲	۷/۲	۶/۵	۰/۸
Jan	۲	Deve	۰/۸۶	۰/۷۷	۷/۷	۵/۳	۲/۴
Jan	۳	Deve	۰/۸۹	۰/۸۷	۹/۶	۶	۳/۶
Feb	۱	Deve	۰/۹۲	۰/۹۸	۹/۸	۶/۴	۳/۴
Feb	۲	Deve	۰/۹۵	۱/۰۹	۱۰/۹	۶/۷	۴/۲
Feb	۳	Deve	۰/۹۸	۱/۳۵	۱۰/۸	۹/۱	۱/۷
Mar	۱	Deve	۱/۰۱	۱/۶۲	۱۶/۲	۱۲/۶	۳/۶
Mar	۲	Deve	۱/۰۴	۱/۹	۱۹	۱۵/۱	۳/۹
Mar	۳	Deve	۱/۰۸	۲/۳۴	۲۵/۷	۱۳/۳	۱۲/۵
Apr	۱	Deve	۱/۱۱	۲/۸	۲۸	۱۰/۴	۱۷/۶
Apr	۲	M d	۱/۱۴	۳/۲۷	۳۲/۷	۸/۸	۲۳/۹
Apr	۳	M d	۱/۱۵	۳/۸۱	۳۸/۱	۹/۳	۲۸/۸
May	۱	M d	۱/۱۵	۴/۳۳	۴۳/۳	۱۰/۵	۳۲/۸
May	۲	M d	۱/۱۵	۴/۸۵	۴۸/۵	۱۱	۳۷/۵
May	۳	Lat e	۱/۱۲	۵/۴۹	۶۰/۴	۹/۳	۵۱/۱
Jun	۱	Lat e	۰/۸۶	۴/۸۷	۴۸/۷	۷/۳	۴۱/۵
Jun	۲	Lat e	۰/۵۶	۳/۵۸	۳۵/۸	۵/۷	۳۰/۱
Jun	۳	Lat e	۰/۳۲	۲/۱۱	۱۲/۷	۲/۸	۱۰/۴
					۵۱۵/۱	۲۰۶/۸	۳۱۷

ماخذ: نگارندگان

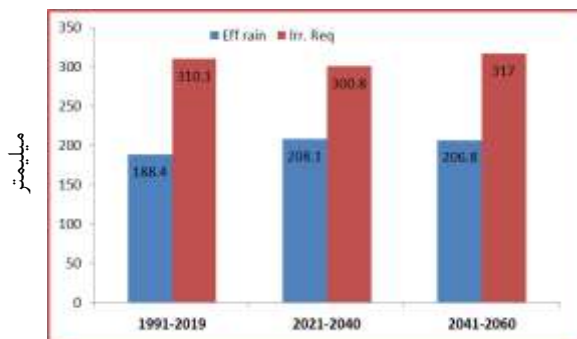
با توجه به نتایج ذکر شده می‌توان گفت که علیرغم افزایش بارش در هر دو دوره آینده، به علت افزایش دما میزان تبخیر و تعرق در دو دوره مطالعه افزایش و در مجموع ۴۹۹/۶ و ۵۱۴/۹ میلی‌متر خواهد رسید در بررسی ماهانه میزان تبخیر و تعرق (شکل ۷) مشاهده می‌گردد که به غیر از ماه‌های فوریه و مارس در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) که میزان تبخیر و تعرق نسبت به دوره پایه کاهش یافته در بقیه ماه‌ها میزان تبخیر و تعرق روند افزایشی داشته و بیشترین افزایش در ماه‌های آوریل، می و ژوئن رخ خواهد داد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: نمودار میزان تغییرات تبخیر و تعرق ماهانه (بر حسب میلی‌متر) در دوره پایه نسبت به آینده (راست) میانگین تبخیر و تعرق سالانه در ۳ دوره مختلف (چپ)

در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به افزایش میزان تبخیر و تعرق (نمودار ۷ چپ) میزان نیاز آبی محصول گندم در دشت پارس آباد در دوره آتی افزایش خواهد یافت ولی به علت افزایش بارش مؤثر در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) میزان آب مورد نیاز آبیاری این دوره کمتر از دوره پایه خواهد بود و به ۳۰۰/۸ میلی‌متر خواهد رسید (شکل ۸). اما در دوره (۲۰۴۰-۲۰۶۰) به علت تبخیر و تعرق بالا میزان بارش مؤثر جوابگوی نیاز آبی گیاه نبوده و در این دوره آب مورد نیاز آبیاری محصول گندم به ۳۱۷ میلی‌متر خواهد رسید.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: نمودار میزان بارندگی مؤثر (آبی) و میزان آب مورد نیاز جهت آبیاری محصول گندم (قرمز)

نتیجه گیری

این پژوهش به منظور بررسی تغییرات تبخیر و تعرق و نیاز آبی بخش کشاورزی دشت پارس آباد با در نظر گرفتن تغییر اقلیم انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده و تحت سناریو RCP8.5، متوسط کمینه و بیشینه دما و بارش در سال (۲۰۴۰-۲۰۲۱) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. در ادامه پژوهش نتایج حاصل از خروجی مدل CROPWAT در ارتباط با نحوه اثرپذیری متوسط تبخیر و تعرق مرجع از شرایط تغییر اقلیم احتمالی آتی در مقیاس‌های ماهانه و سالانه در شهرستان پارس آباد برای دوره‌های (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر دو دوره آینده میزان تبخیر و تعرق به ترتیب $1/2$ و $4/3$ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. در بررسی ماهانه میزان تبخیر و تعرق، مشاهده گردید که به غیر از ماه‌های فوریه و مارس در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) که میزان تبخیر و تعرق نسبت به دوره پایه کاهش یافته در بقیه ماهها میزان تبخیر و تعرق روند افزایشی داشته و بیشترین افزایش در ماه‌های آوریل، می و ژوئن رخ خواهد داد. به لحاظ مقایسه رفتار بین فصول مختلف نیز بیشترین نرخ افزایش در رتبه اول در فصل بهار و در رتبه دوم در فصل تابستان رخ خواهد داد و میزان نرخ افزایش این دو فصل بسیار چشمگیرتر از فصول پاییز و زمستان خواهد بود. بر این اساس در مجموع چنین پیش‌بینی می‌شود که در منطقه پارس آباد، با توجه با افزایش میزان تبخیر و تعرق، میزان نیاز آبی محصول گندم در دوره آتی افزایش خواهد یافت ولی به علت افزایش بارش مؤثر در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) میزان آب مورد نیاز آبیاری این دوره کمتر از دوره پایه خواهد بود. اما در دوره (۲۰۶۰-۲۰۴۱) به علت تبخیر و تعرق بالا میزان بارش مؤثر جابجوی نیاز آبی گیاه نبوده و در این دوره آب مورد نیاز آبیاری محصول گندم نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. نتایج این پژوهش تاییدی بر برخی یافته‌های ذیل در مورد اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاهان است.

برزگری و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم در دشت یزد پرداختند نتایج نشان داد که در دوره آتی ضمن افزایش دمای کمینه و بیشینه، میزان تبخیر و تعرق به میزان ۹ درصد افزایش خواهد یافت. دانش فراز و همکاران (۱۳۹۲) به مطالعه اثرات تغییر اقلیم در نیاز آبی بخش کشاورزی در استان آذربایجان غربی پرداختند که نتایج حاکی از افزایش دما و کاهش بارش و افزایش نیاز آبی گیاهان می باشد. در مطالعات انجام شده دیگر، رحمانی و همکاران (۱۳۹۴)، دلقندی (۱۳۹۵) به نتایج مشابه دست یافتند. نتایج حاصل از این پژوهش و شناختی که در ارتباط با نحوه اثرپذیری تبخیر و تعرق مرجع از شرایط تغییر اقلیم احتمالی آتی بدست آمده است می‌تواند ابزاری مناسب برای مدیران بخش منابع آب جهت اتخاذ راهکارهایی جهت مدیریت بهینه و پایدار منابع آب و نیل به سمت توسعه پایدار کشاورزی باشد.

منابع

- ۱- آشفته، پری سادات؛ مساح بورانی، علیرضا (۱۳۹۱): بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی و اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، مطالعه موردی: قرقنو، آذربایجان شرقی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، دوره هشتم، شماره دوم، صص ۳۶-۴۷.
- ۲- بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابل عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد؛ ملبوسی، شراره (۱۳۸۸): ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، مجله علمی - پژوهشی جغرافیا و توسعه، دوره هفتم، شماره شانزدهم، صص ۱۶-۱۳۵.
- ۳- برزگری، فاطمه؛ ملکی نژاد حسین (۱۳۹۴): بررسی نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم، مجله علوم و مهندسی آبیاری، دوره سی و نهم، شماره چهارم، صص ۸۵-۹۴.
- ۴- حیدری تاشه کبود، شادیه؛ خوشخو، یونس (۱۳۹۸): تصویرسازی و پیش بینی تغییرات آبی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های فصلی و سالانه در غرب ایران بر اساس سناریوهای انتشار RCP، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره پنجاه و سوم، صص ۱۷۶-۱۵۷.
- ۵- دانش فراز، رسول؛ رزاق پور، هادی (۱۳۹۲): ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل در استان آذربایجان غربی، فصل‌نامه فضای جغرافیایی، سال چهاردهم، شماره چهل و ششم، صص ۲۱۱-۱۹۹.
- ۶- دلقندی، مهدی (۱۳۹۵): بررسی اثرات ریسک تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق و پتانسیل شهرستان شاهرود، فصل‌نامه مهندسی آبیاری و آب، سال ششم، شماره بیست و سوم، صص ۱۶۷-۱۵۶.
- ۷- دوستی، مریم؛ حبیب نژادروشن، محمود؛ شاهی، کاکا؛ میریعقوب زاده، میرحسین (۱۳۹۲): بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره سی و نهم، شماره چهارم، صص ۱۸۹-۱۷۷.
- ۸- رحمانی، میترا؛ جامی الاحمدی، مجید؛ شهیدی، علی؛ هادی زاده ازغندی، مصطفی (۱۳۹۴): تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم دشت بیرجند، نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۷، شماره چهارم، صص ۴۶۰-۴۴۳.
- ۹- زینلی مبارکه، زهرا؛ دیهیم فرد، رضا؛ کامبوزیا، جعفر (۱۳۹۸): ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و راعکارهای سازگاری با آن بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم خراسان رضوی، نشریه تولید گیاهی، دوره ۲۶، شماره سوم، صص ۸۷-۷۱.
- ۱۰- سال‌نامه آماری استان اردبیل (۱۳۹۸): سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل.
- ۱۱- سبحانی، بهروز؛ احمدیان، مینو؛ جهانبخش اصل، سعید (۱۳۹۸): بررسی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد درخت سیب سمیرم و ارومیه، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره سوم، صص ۵۴۴-۵۲۹.
- ۱۲- عباسی، فاطمه؛ بابائیان، ایمان؛ گلی مختاری، لیلیا؛ ملبوسی، شراره (۱۳۸۹): ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با کمک مدل MAGIC-SCENGEN، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره چهل و دوم، شماره هفتاد و دو، صص ۹۱-۱۱۰.
- ۱۳- علیزاده، امین؛ غلامعلی، کمالی (۱۳۸۷): نیاز آبی گیاهان در ایران، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا.
- 14- Alizadeh, A. (2002): Soil, water, plant relationship. Emam Reza University Press, Mashhad, Iran, ISBN, 21, 964-6582.
- 15- Dar, M., Aggarwal, R., & Kaur, S. (2017): Climate Change Impact on Yield and Water Balance Components in Rice-Wheat Cropping System in Central Punjab, India under RCP 8.5. J. Agric. Allied Sci, 6, 1-8.
- 16- Dong, Q., Wang, W., Shao, Q., Xing, W., Ding, Y., & Fu, J. (2020): The response of reference evapotranspiration to climate change in Xinjiang, China: Historical changes, driving forces, and future projections. International Journal of Climatology, 40(1), 235-254.
- 17- Gil-Alana, L. A. (2012): Long memory, seasonality and time trends in the average monthly temperatures in Alaska. Theoretical and Applied Climatology, 108(3-4), 385-396.

- 18- Hewitson, B. C., & Crane, R. G. (1996): Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research*, 7(2), 85-95.
- 19- Kousari, M. R., Zarch, M. A. A., Ahani, H., & Hakimelahi, H. (2013): A survey of temporal and spatial reference crop evapotranspiration trends in Iran from 1960 to 2005. *Climatic change*, 120(1-2), 277-298.
- 20- Liu, H., Zhang, R., & Li, Y. (2014): Sensitivity analysis of reference evapotranspiration (ET_o) to climate change in Beijing, China. *Desalination and Water Treatment*, 52(13-15), 2799-2804.
- 21- Lotfi, M., Kamali, G. A., Meshkatee, A. H., & Varshavian, V. (2020). Study on the impact of climate change on evapotranspiration in west of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(15), 1-11.
- 22- Mavromatis, T., & Hansen, J. W. (2001): Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and forest meteorology*, 109(4), 283-296.
- 23- Semenov, M. A., Barrow, E. M., & Lars-Wg, A. (2002): A stochastic weather generator for use in climate impact studies. User Man Herts UK.
- 24- Semenov, M. A., Brooks, R. J., Barrow, E. M., & Richardson, C. W. (1998): Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate research*, 10(2), 95-107.
- 25- Siritwat, B., Sangam, S., Mukand, S., Babel, S., Sutat, W., & Avishek, D. (2018): Climate change impacts on irrigation water requirement, crop water productivity and rice yield in the Songkhram River Basin, Thailand, *Journal of Cleaner Production*, 168: 1157-1164.
- 26- Tabari, H., & Talaei, P. H. (2014): Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates. *Global and Planetary Change*, 115, 16-23.
- 27- Xu, Z. X., Chen, Y. N., & Li, J. Y. (2004): Impact of climate change on water resources in the Tarim River basin. *Water Resources Management*, 18(5), 439-458.
- 28- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., & Kanani, R. (2011). Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78(3-4), 137-146.
- 29- Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Shao, L., & Wang, Y. (2011): Changes in evapotranspiration over irrigated winter wheat and maize in North China Plain over three decades. *Agricultural Water Management*, 98(6), 1097-1104.