

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر زیست توده و تبخیر تعرق ذرت (مطالعه موردی: دشت قزوین)

مژگان احمدی^{۱*}، هادی رضائی اعتدالی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶

چکیده

اقلیم بر کشاورزی تأثیر می‌گذارد و اثر عمده تغییر اقلیم بر کشاورزی تا حدود زیادی بستگی به دو متغیر دما و بارندگی دارد. در این پژوهش به تأثیر تغییر اقلیم بر زیست توده و تبخیر تعرق ذرت در دشت قزوین پرداخته شده است. برای ارزیابی، از مدل‌های گردش عمومی موجود در مدل LARS-WG (EC-Earth، MPI-ESM-MR، MIROC5، HadGEM2-ES، GFDL-CM3) و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره پایه ۱۹۸۶-۲۰۱۵ و در دوره‌های آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ استفاده شد. تبخیر تعرق و زیست توده ذرت در دوره پایه و دوره‌های آتی با نرم‌افزار Aqua Crop محاسبه شد. در این پژوهش نتایج حاصل از سناریوها با داده ایستگاه قزوین برای محصول ذرت، توسط معیارهای آماری شامل آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، نرمال جذر میانگین مربعات خطا (NRMSE)، میانگین مطلق خطا (ME)، مقایسه شدند. نتایج شبیه‌سازی مدل LARS-WG در دوره پایه نشان داد که مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر دقت بیشتری نسبت به بارش دارد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که دما در دوره‌های آتی افزایش می‌یابد. تغییرات بارش هم به صورت کاهش و هم به صورت افزایش دیده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که زیست توده نسبت به دوره پایه در دوره‌های آتی کاهش و تبخیر تعرق در اکثر مدل‌های مورد استفاده افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، سناریوهای RCP، مدل‌های گردش عمومی جو، مدل LARS-WG، AquaCrop

مقدمه

تغییر اقلیم و افزایش گرمای جهانی از مهم‌ترین مسائل روز دنیا بشمار می‌روند. با پیشرفت بخش صنعت و مکانیزه شدن امور در قرن نوزدهم و رشد روزافزون فعالیت‌های بشری، تغییرات گوناگونی در زندگی انسان‌ها به وقوع پیوسته است. استفاده بیش از حد از منابع ذخیره‌ای و سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز سبب شکل‌گیری و تشدید گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین شده است (Bates et al, 2008). گرمایش جهانی طی چند دهه گذشته باعث شده تا سیاست‌گذاران کشورها توجه خاصی به موضوع تغییر اقلیم از خود نشان دهند. از این رو 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 انتشار RCPs (Representative Concentration

Pathways)، بر این نکته اتفاق دارند که سطح جهانی دما تا پایان قرن ۲۱، نسبت به دوره ۱۹۰۰-۱۸۵۰، بیش از ۱/۵ درجه سلسیوس و بادید بدینانه‌تر به بیش از دو درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت (IPCC, 2014). 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, 2014). تغییرات اقلیم در تمام پدیده‌های زیست‌محیطی مؤثر است. بررسی و شناخت این تغییرپذیری در برنامه‌ریزی ناحیه‌ای و منطقه‌ای اهمیت بسیاری دارد. محققین زیادی تاکنون به بررسی اثرات تغییر اقلیم پرداختند. میر صانع و همکاران (۱۳۸۹)، اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری، طول دوره رشد و تاریخ کشت ذرت در دشت قزوین در دوره‌های آتی را بررسی کردند. آن‌ها از خروجی مدل CGCM2 تحت سناریو A_2 استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش درجه حرارت در دوره‌های آتی، طول دوره رشد ذرت در منطقه کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد نیاز خالص آبیاری برای ذرت به جایابی تاریخ کاشت به سمت ماه‌های گرم افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. هرچند این نیاز به ازای یک تاریخ کشت مشخص، در دوره آینده نسبت به دوره

۱- دانشجوی دوره دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: mojgan.ahmadi@edu.ikiu.ac.ir)

زیست‌توده گیاهان در هر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بنابراین در این پژوهش به بررسی اثر تغییر اقلیم بر زیست‌توده و تبخیر تعرق ذرت در ایستگاه سینوپتیک قزوین با استفاده از مدل‌های گردش عمومی موجود در مدل LARS-WG (EC-Earth), GFDL-CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5, HadGEM2-ES و RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 در دوره پایه ۱۹۸۶-۲۰۱۵ و دوره‌های آبی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع به ترتیب بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه و ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه در حوزه مرکزی ایران واقع شده است. موقعیت استان قزوین در شکل (۱) نشان داده شده است. میانگین بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی‌متر در بخش‌های شرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال شرقی متغیر است. در این مطالعه از داده‌های ایستگاه سینوپتیک قزوین استفاده شده است. طول جغرافیایی این ایستگاه ۵۰/۰۳ و عرض جغرافیایی آن ۳۶/۱۵ و ارتفاع آن ۱۲۷۹/۲ است.

معرفی مدل Aqua Crop

اساس تخمین عملکرد محصول در مدل Aqua Crop رابطه Doorenbos and Kassam است که در شماره ۳۳ نشریه آبیاری و زهکشی سازمان خواربار جهانی (فائو) ارائه شده است. با اعمال اصلاحاتی در آن از جمله تفکیک تبخیر و تعرق واقعی (ET) به تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق (T_s) و نیز عملکرد به بیوماس (B) و شاخص برداشت (HI) استنتاج شده است (Raes et al., 2012):

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_x}\right) \quad (1)$$

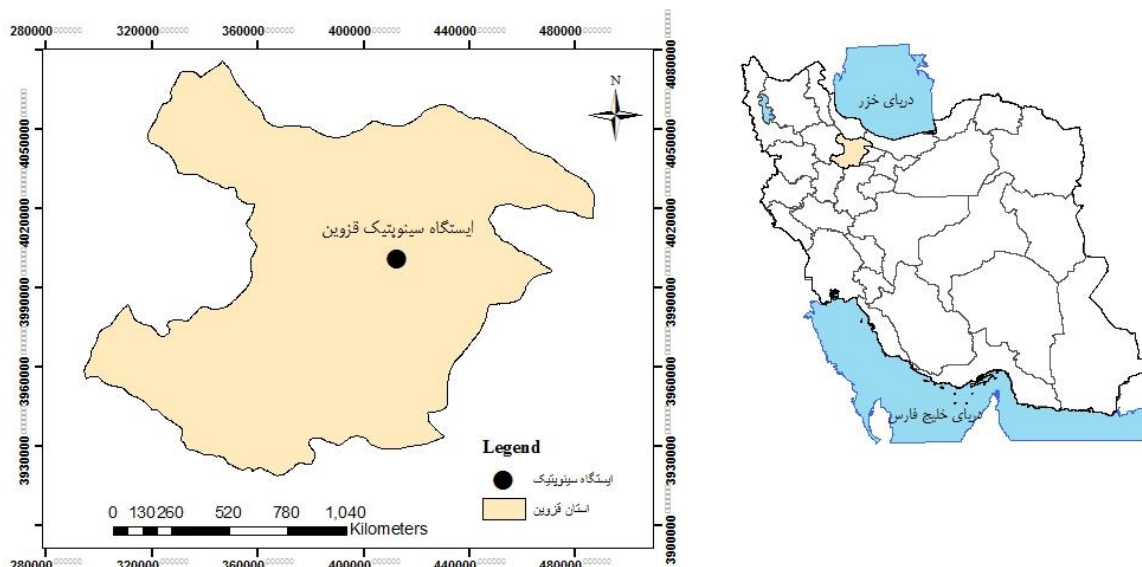
که در آن Y_x : حداکثر عملکرد، Y : عملکرد واقعی، ET_x : حداکثر تبخیر و تعرق، ET : تبخیر و تعرق واقعی و K_y فاکتور تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر و تعرق است. برای محاسبه عملکرد از بیوماس، مدل Aqua Crop از رابطه ۳ استفاده می‌کند (Raes et al., 2012):

$$Y = f_{HI} \times HI_0 \times B \quad (2)$$

که در آن HI_0 : شاخص برداشت مرجع (طی مرحله بلوغ فیزیولوژیک)، Y : عملکرد دانه، f_{HI} : ضریبی است که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند.

پایه افزایش معنی‌داری ندارد. به بررسی تأثیر تغییر اقلیم در تانزانیا پرداخته شد. نتایج نشان داد که ۲۰ درصد افزایش تغییرپذیری در بارش منجر به ۴/۲، ۷/۲ و ۷/۶ درصد و ۲ درجه افزایش دما به ترتیب موجب ۱۳، ۸/۸ و ۷/۶ درصد کاهش محصول به ترتیب بر روی گیاهان ذرت، سور گوم و برنج تا سال ۲۰۵۰ خواهد شد (Parry, 1990). مرادی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تاریخ کشت در مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم در اکثر سناریوهای بکار گرفته شده کاهش خواهد داشت. در پژوهشی سان و همکاران تقاضای آب کشاورزی تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 در حوضه شانکسی در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد در دوره آبی درجه حرارت، بارش مؤثر و رطوبت نسبی افزایش و سرعت باد کاهش می‌یابد (Sun et al., 2018). بورچفیلد و همکاران به بررسی تغییر عملکرد در ایالت متحده مرکزی تحت تأثیر تغییر اقلیم و تغییرات تکنولوژی پرداختند (Burchfield et al., 2020). سریواستاوا و همکاران به بررسی اثر تغییر اقلیم بر پتانسیل تولید ذرت در غنا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که متوسط عملکرد ذرت در افق ۲۰۳۰ تحت سناریو RCP8.5، ۵۷ درصد افزایش خواهد یافت (Srivastava et al., 2017). شریفی حداد و همکاران (۱۴۰۰) به شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارقام غالب ذرت تحت شرایط محدودیت آب و تغییر اقلیم در استان خوزستان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که به‌طور متوسط عملکرد دانه و کارایی مصرف آب ذرت تحت سناریو RCP4.5 در آینده نسبت به گذشته به ترتیب ۲- و ۵/۷- درصد کاهش و میانگین دما در طول فصل رشد و تبخیر تعرق ۱۲/۶+ و ۰/۹+ درصد افزایش خواهد داشت. مجرد و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات عملکرد ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد مقدار عملکرد پتانسیل محصول در آینده تا میانگین ۲۲ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. دگیف و همکاران به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد پتانسیل ذرت در اتیوپی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد ذرت در شرایط دیم تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 به ترتیب ۱۵ و ۱۴ درصد کاهش می‌یابد (Degife et al., 2021). هان و همکاران به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت در شمال غربی چین پرداختند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد که عملکرد ذرت تحت سناریو RCP4.5 با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن تأثیرات CO_2 به ترتیب ۱۰/۳ درصد و ۱۱/۷ درصد تا پایان قرن ۲۱ کاهش می‌یابد (Han et al., 2021).

با توجه به پژوهش‌های انجام شده، تغییرات آب و هوایی بر تبخیر تعرق محصولات کشاورزی در آینده اثر می‌گذارد، بدین ترتیب بررسی تغییرات پارامترهای هواشناسی و تأثیر آن‌ها بر تبخیر تعرق و



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

زمان بر می‌باشند. در مقابل مدل‌های آماری ارزان‌تر بوده و سرعت بالاتری دارند. می‌توان از مدل‌های آماری بدون نیاز به ابررایانه‌ها و یا رایانه‌های سریع استفاده کرد.

از جمله مدل‌های آماری، مدل (Long Ashton) LARS-WG (Research Station Weather Generator) است. این مدل مولد آب و هوایی بر پایه روش سری‌ها است که می‌تواند به‌منظور شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی فعلی و آینده استفاده شود. کارایی دو مدل LARS-WG و WGEN (Weather Generator) در ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا بررسی و معلوم شد که مدل LARS نتایج بهتری تولید می‌کند.

در مدل LARS-WG، مدل‌سازی بارش و احتمال وقوع آن از روش توزیع نیمه تجربی و زنجیره‌ی مارکوف، مدل‌سازی تابش بر اساس توزیع نیمه تجربی و مدل‌سازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می‌شود. در گزارش پنجم تغییر اقلیم مدل‌های گردش عمومی مختلفی ارائه شده است. نام این مدل‌ها به همراه مرکز ارائه‌دهنده و سناریوهای موجود در مدل LARS-WG به شرح جدول (۱) است:

معرفی مدل LARS-WG

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو است. این مدل‌ها، معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب شده و قادرند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی مدت بر اساس سناریوهای تأییدشده IPCC مدل‌سازی نمایند (خلیلی اقدام و همکاران، ۱۳۹۱). گروهی از این مدل‌ها، اطلاعات مفیدی درباره پاسخ جو به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای فراهم می‌کنند. با توجه به وضوح مکانی کم در مدل‌های گردش عمومی جو، به‌ناچار مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی پیشنهاد شدند. این مدل‌ها با استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی و به‌کارگیری سناریوهای اقلیمی، داده‌های گردش عمومی در مقیاس درشت را به مقیاس‌های ریزتر تبدیل می‌کنند. روش‌های متداولی برای ریزمقیاس‌نمایی وجود دارد که شامل استفاده از سلول اصلی یا روش تناسبی (Proportional Downscaling)، روش‌های آماری (Statistical Downscaling) و روش‌های دینامیکی (Dynamical downscaling) می‌باشند. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی نیاز به سخت‌افزارهای قوی داشته و

جدول ۱- مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای تغییر اقلیمی موجود در مدل LARS-WG

سناریوهای تغییر اقلیمی			نام مرکز ارائه‌دهنده	نام مدل گردش عمومی
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		
			European community Earth-System	EC-Earth
			Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	GFDL-CM3
			Hadley Centre Global Environment	HadGEM2-ES
			International Center for Earth Simulation	MIROC5
			Max Planck Institute for Meteorology Earth System	MPI-ESM-MR

برآورد تبخیر تعرق پتانسیل در دشت قزوین است. همچنین این مدل در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی در مطالعات سایر محققان (نیکبخت شهبازی، ۱۳۹۷؛ کوهی و همکاران، ۱۳۹۹) مورد استفاده قرار گرفته است، به همین منظور این مدل برای محاسبه تبخیر تعرق روزانه محصول گندم برای دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۵) و دوره‌های شبیه‌سازی شده انتخاب شده است.

مدل هارگریوز سامانی برای برآورد تبخیر تعرق روزانه به صورت رابطه (۳) تعیین می‌شود:

$$ET_0 = 0.0023 \times (T_{men} + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times R_a \quad (3)$$

T_{min} و T_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر دمای هوا در دوره مورد نظر بر حسب درجه سانتی‌گراد، T_{men} میانگین درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)، R_a تابش خورشیدی در بالای جو (میلی‌متر بر روز) است.

شاخص‌های آماری

در این تحقیق نتایج حاصل از سناریوها با داده ایستگاه قزوین برای محصول ذرت، توسط معیارهای آماری خطا شامل آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، نرمال جذر میانگین مربعات خطا (NRMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، مقایسه شدند.

ضریب تبیین یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی ارتباط میان دو متغیر x و y است که به صورت بی‌بعد نمایش داده می‌شود. این ضریب ارتباط مستقیمی با ضریب همبستگی دارد. به این ترتیب که با جذر گرفتن از ضریب تبیین می‌توان ضریب همبستگی میان دو سری مورد بررسی را به دست آورد. همانند ضریب همبستگی هر چه مقدار ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، ارتباط قوی‌تری میان دو متغیر وجود دارد. در صورت ضرب ضریب تبیین در عدد ۱۰۰ مقدار به دست آمده بیان‌گر درصد واریانس تغییرات متغیر x است که با متغیر y توصیف می‌شود. طبقه‌بندی ضریب پیرسون در جدول ۲ آورده شده است (Joinior et al., 2017).

جدول ۲- تقسیم‌بندی نتایج شبیه‌سازی ضریب پیرسون

R^2	< ۰/۱	۰/۱ تا ۰/۲	۰/۲ تا ۰/۵	> ۰/۵
	قوی	متوسط	ضعیف	همبستگی ندارد

برای محاسبه ضریب تبیین از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

شاخص NRMSE سطح تخمین را نشان می‌دهد. تقسیم‌بندی NRMSE توسط جمیسون و همکاران در جدول (۳) آورده شده است (Jamieson et al., 1991).

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (4)$$

سناریوهای واداشت تابشی تغییر اقلیم

سناریوهای تغییر اقلیمی ارائه شده در گزارش پنجم به صورت RCP نمایش داده می‌شوند که مختصر شده عبارت نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های (Concentration Representative Pathways) گوناگون گازهای گلخانه‌ای هستند. سناریوهای به کاررفته در مدل LARS-WG دارای تعاریفی به شرح ذیل هستند:

RCP2.6: به معنای کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو حداکثر مقدار انرژی تابشی قبل از سال ۲۱۰۰ به حدود ۳ وات بر مترمربع می‌رسد. همچنین، انتشار گاز کربن دی‌اکسید از سال ۲۰۲۰ کاهش و تا سال ۲۱۰۰ به صفر خواهد رسید. میزان انتشار گاز متان نیز تا سال ۲۱۰۰ به نصف مقدار موجود در سال ۲۰۲۰ تقلیل می‌یابد. همچنین اکسید سولفور به ۱۰ درصد مقدار موجود در دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ کاهش می‌یابد. در صورت وقوع سناریوی RCP2.6 افزایش دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ در حدود زیر ۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود

RCP4.5: به عنوان سناریوی متوسط شناخته می‌شود که انرژی تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به ۴/۵ وات بر مترمربع خواهد رسید. آستانه این سناریو برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در حدود سال ۲۰۴۰ اتفاق می‌افتد و بعد از آن به صورت کاهشی است. به طور جزئی‌تر، دی‌اکسید کربن تا سال ۲۰۴۵ شروع به کاهش می‌نماید و تا سال ۲۱۰۰ مقدار آن به نصف مقدار سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. همچنین افزایش انتشار گاز متان تا سال ۲۰۵۰ متوقف شده و مقدار آن رفته‌رفته به ۷۵ درصد سطح متان موجود در سال ۲۰۴۰ می‌رسد. مقدار سطح گاز دی‌اکسید سولفور نیز به ۲۰ درصد آنچه در دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ بوده، خواهد رسید. برای تحقق سناریوی RCP4.5 انتشار منفی گاز دی‌اکسید کربن همانند جذب توسط درختان باید در حدود ۲ گیگا تن در سال باشد. در صورت وقوع این سناریو میزان افزایش دمای تا سال ۲۱۰۰ بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد بوده و افزایش سطح دریا حدود ۳۵ درصد بیشتر از سناریوی RCP2.6 خواهد بود. با این حال بسیاری از درختان و گونه‌های جانوری قادر به ادامه حیات تحت این سناریو نخواهند بود. RCP8.5: این سناریو به عنوان بدترین حالت وقوع تغییر اقلیمی شناخته می‌شود؛ زیرا انتشار گازهای گلخانه‌ای در آن طی قرن ۲۱ به صورت پیوسته افزایش یافته به گونه‌ای که انرژی تابشی به حدود ۸/۵ وات بر مترمربع قبل از سال ۲۱۰۰ خواهد رسید.

برآورد تبخیر تعرق مرجع

مدل تبخیر تعرق هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر تعرق روزانه نیازی به اطلاعات گسترده ندارد. در پژوهشی که نظری و کوابانی (۱۳۹۵) به ارزیابی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت قزوین پرداخته پرداختند، نتایج نشان داد که روش هارگریوز سامانی با

جدول ۳- تقسیم‌بندی نتایج شبیه‌سازی بر اساس NRMSE

NRMSE	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	>۳۰
	عالی	خوب	متوسط	ضعیف

میانگین مطلق خطا، میانگین قدر مطلق اختلاف مقدار اندازه-گیری شده مدل با مقدار واقعی کمیت است. هرچه مقدار آن کمتر باشد دقت مدل بالاتر است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (5)$$

در روابط بالا P_i و O_i مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده‌ای و n تعداد داده‌ها یا طول سری زمانی است.

نتایج و بحث

ارزیابی متغیرهای اقلیمی

برای ارزیابی، از مدل‌های گردش عمومی موجود در مدل LARS-WG (EC-Earth, HadGEM2-ES, GFDL-CM3, MPI-ESM-MR, MIROC5, RCP4.5, RCP2.6) و سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و زیست‌توده ذرت در دوره پایه و دوره‌های آتی با مدل AquaCrop محاسبه شد.

نتایج ارزیابی داده‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیک قزوین و شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- ارزیابی آماری داده‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر شبیه‌سازی با مدل LARS-WG و ایستگاه سینوپتیک در دره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶)

متغیرهای اقلیمی	MAE	NRMSE (%)	R ²
بارش (میلی‌متر)	۲۱،۷۵	۱۱۸،۵۶	۰،۱ ۶
دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	۱،۲۴	۲۲،۵۹	۰،۹ ۵
دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	۱،۷۵	۱۰،۵۸	۰،۹ ۵

ضریب تبیین برای دمای حداکثر و حداقل شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG در جدول ۴ نشان می‌دهد که داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های ایستگاه سینوپتیک همبستگی بالایی دارند. مقدار ضریب تبیین بیش از ۹۰ درصد نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد واریانس موجود در داده‌های دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیک با داده‌های مدل LARS-WG توصیف می‌شود. مقدار NRMSE در

دمای حداکثر در رده خوب و در دمای حداقل در رده متوسط قرار گرفته است. مقدار شاخص MAE برای دمای حداقل برابر ۱/۲۶ درجه سانتی‌گراد و برای دمای حداکثر برابر ۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد.

ضریب تبیین برای بارش شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG در جدول ۴ نشان می‌دهد که داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های ایستگاه سینوپتیک همبستگی بالایی ندارند و ضریب تبیین به کمتر از ۰/۵ کاهش می‌یابد. مقدار NRMSE برای بارش در رده ضعیف قرار گرفته است و مقدار شاخص MAE برابر ۲۱/۷۵ میلی‌متر به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر دقت بیشتری نسبت به بارش دارد که این امر ناشی از پیچیده بودن فرآیند بارش و همچنین ساختار مدل‌های اقلیمی است. در پژوهشی گودرزی و همکاران (۱۳۹۴) عملکرد مدل‌های ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل در شبیه‌سازی دما دقت بیشتری نسبت به بارش دارند که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

درصد تغییرات دمای حداقل، حداکثر و بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در جداول ۵ تا ۷ آورده شده است. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که دمای حداقل در همه مدل‌های (MPI-GFDL-CM3, MIROC5, HadGEM2-ES, EC-Earth) مورد بررسی تحت هر سه سناریو (RCP4.5, RCP2.6, RCP8.5) در دوره‌های آتی (۲۰۱۰-۲۰۸۱، ۲۰۸۱-۲۰۶۱، ۲۰۶۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) افزایش می‌یابد و بیشترین درصد تغییرات در مدل HadGEM2-ES تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ به دست آمد. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که دمای حداکثر در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و بیشترین درصد تغییرات در مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ حاصل شد. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که درصد تغییرات بارش شبیه‌سازی شده در مدل‌های مختلف و تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه بین ۲۵/۷۲ تا ۱۷/۴۹- متغیر است. در پژوهشی قربانی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر پهنه‌بندی اقلیمی استان گلستان طی دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۲ پرداختند. آن‌ها در این مطالعه از مدل LARS-WG بر اساس خروجی مدل HADCM3، تحت سناریوهای مختلف استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم، بارش و دما در استان گلستان افزایش می‌یابد اما مقدار آن در سال‌های مختلف متفاوت است.

جدول ۵- درصد تغییرات دمای حداقل در ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سه سناریو و چهار دوره آتی در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۵)

GCMs		سناریوها	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۰۸۱-۲۱۰۰
EC-EARTH	RCP4.5	سناریوها	۱۳,۰۳	۲۳,۱۴	۲۹,۱۷	۲۸,۲۹
	RCP8.5		۱۲,۹۴	۲۷,۸۶	۴۵,۴۵	۴۴,۵۶
GFDL-CM3	RCP4.5		۱۹,۴۸	۳۰,۸۰	۳۹,۰۱	۳۸,۱۳
	RCP8.5		۲۴,۶۴	۳۷,۱۷	۵۵,۷۵	۵۴,۸۱
HadGEM2-ES	RCP2.6		۱۹,۱۸	۲۶,۰۳	۲۴,۰۵	۲۳,۱۷
	RCP4.5		۱۶,۴۴	۲۶,۹۵	۳۷,۸۳	۳۶,۹۵
	RCP8.5		۲۱,۴۷	۳۶,۲۸	۵۷,۹۳	۵۷,۰۶
MIROC5	RCP4.5		۱۲,۱۳	۲۱,۱۱	۲۶,۱۹	۲۵,۳۱
	RCP8.5		۱۲,۲۵	۲۷,۵۱	۴۲,۰۰	۴۱,۱۳
MPI-ESM-MR	RCP4.5		۱۳,۱۵	۲۱,۵۴	۲۸,۹۵	۲۸,۰۸
	RCP8.5		۱۵,۵۹	۳۱,۰۳	۴۷,۸۷	۴۷,۰۰

جدول ۶- درصد تغییرات دمای حداکثر در ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سه سناریو و چهار دوره آتی در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۵)

GCMs		سناریوها	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۰۸۱-۲۱۰۰
EC-EARTH	RCP4.5	سناریوها	۴,۰۸	۷,۴۶	۹,۴۸	۹,۴۴
	RCP8.5		۴,۰۴	۹,۰۶	۱۴,۹۱	۱۴,۸۷
GFDL-CM3	RCP4.5		۸,۲۴	۱۳,۶۵	۱۷,۲۳	۱۷,۱۸
	RCP8.5		۱۰,۳۳	۱۶,۶۰	۲۴,۵۹	۲۴,۵۳
HadGEM2-ES	RCP2.6		۷,۱۴	۱۰,۷۲	۹,۰۹	۹,۰۳
	RCP4.5		۶,۸۹	۱۰,۴۳	۱۵,۹۵	۱۵,۹۰
	RCP8.5		۸,۴۷	۱۴,۶۷	۲۳,۱۷	۲۳,۱۲
MIROC5	RCP4.5		۴,۹۴	۸,۳۲	۱۱,۳۷	۱۱,۳۱
	RCP8.5		۴,۰۰	۱۰,۷۲	۱۵,۹۷	۱۵,۹۱
MPI-ESM-MR	RCP4.5		۵,۸۲	۸,۱۰	۱۱,۷۷	۱۱,۷۲
	RCP8.5		۶,۰۵	۱۱,۷۸	۱۸,۹۰	۱۸,۸۶

جدول ۷- درصد تغییرات بارش در ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سه سناریو و چهار دوره آتی در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۵)

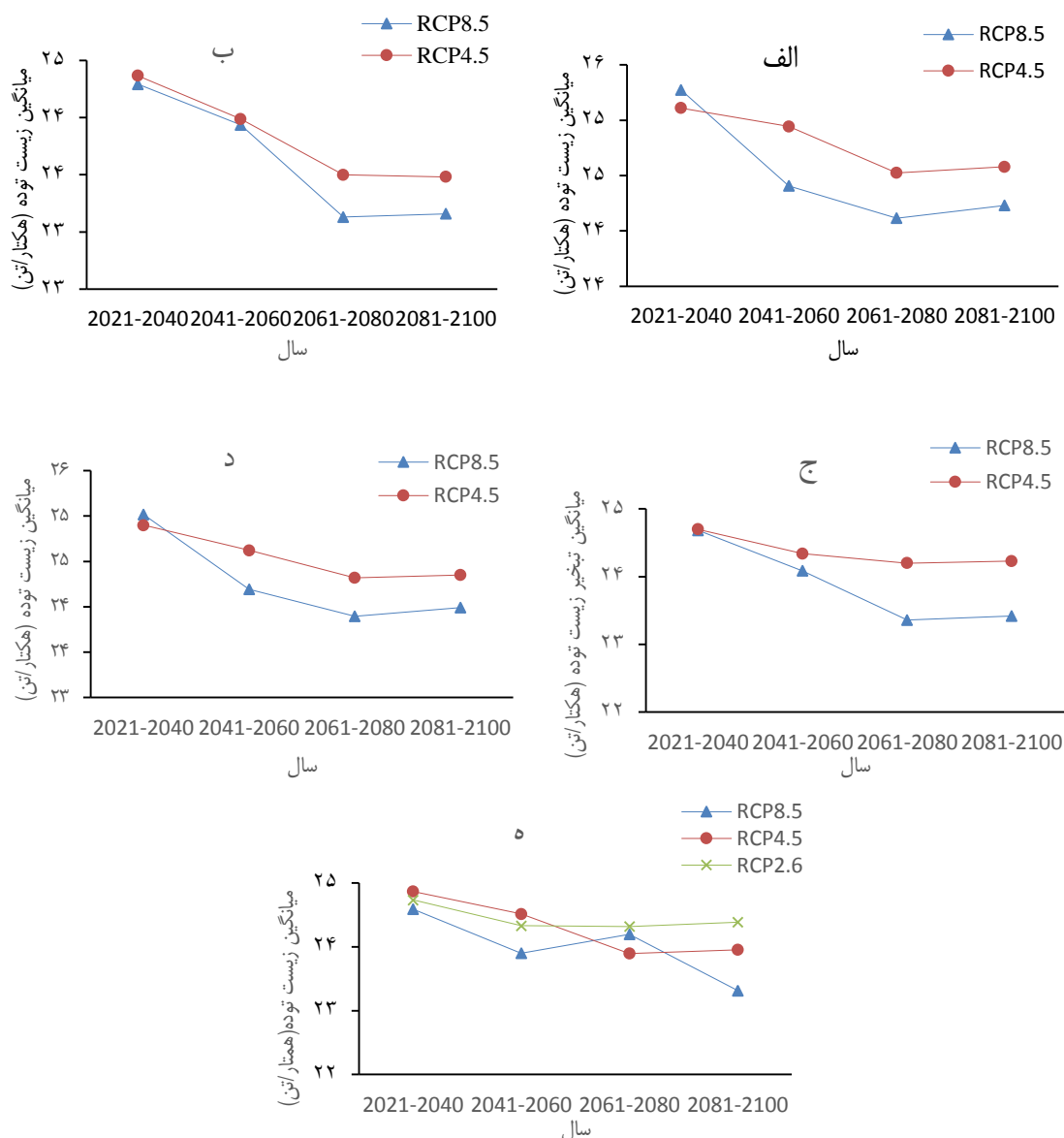
GCMs		Scenario	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۰۸۱-۲۱۰۰
EC-EARTH	RCP4.5	Scenario	۹,۷۳	۱۰,۷۰	۱۳,۸۶	۰,۳۴
	RCP8.5		۱۱,۲۸	۱۶,۶۹	۱۲,۰۳	-۱,۳۱
GFDL-CM3	RCP4.5		۴,۰۳	۰,۳۷	-۳,۶۵	-۱۶,۱۱
	RCP8.5		۰,۵۳	-۰,۰۵	-۲,۰۴	-۱۳,۴۴
HadGEM2-ES	RCP2.6		۱۷,۷۲	۱۲,۸۴	۲۲,۹۳	۹,۰۲
	RCP4.5		۹,۲۴	۲۵,۷۲	۱۸,۹۲	۵,۰۵
	RCP8.5		۷,۳۹	۱۲,۰۰	۱۷,۹۸	۴,۱۲
MIROC5	RCP4.5		۴,۷۱	۱۴,۲۳	۰,۷۱	-۱۰,۶۳
	RCP8.5		۱۵,۹۲	۷,۲۱	۱۱,۸۵	-۱,۱۳
MPI-ESM-MR	RCP4.5		-۴,۰۲	۸,۰۱	-۱,۸۳	-۱۳,۵۱
	RCP8.5		۷,۶۱	-۳,۰۱	-۷,۱۲	-۱۷,۴۹

نتایج نشان داد که در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، افزایش بارش بر دما برتری دارد و باعث مرطوب شدن اقلیمها می‌شود

آنالیز حساسیت موضعی مدل AquaCrop برای محصول ذرت در دشت قزوین (ادبی و همکاران، ۱۳۹۸)، واسنجی این مدل (کمالی و همکاران، ۱۳۹۵) و کالیبراسیون مدل LARS-WG در دشت قزوین (اکبری و همکاران، ۱۳۹۸) توسط محققان صورت گرفته است و به همین دلیل در این مطالعه به آنالیز حساسیت و واسنجی پرداخته نشده است. برای برآورد زیست توده و تبخیر تعرق در دوره‌های آبی از داده‌های بارش و دما پیش‌بینی شده مدل LARS-WG6 و دی‌اکسید کربن سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 موجود در مدل AquaCrop استفاده شد.

ولی در دوره‌های آبی دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) افزایش دما اثر بیشتری دارد و باعث گرم‌تر شده اقلیم‌ها می‌شود که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. اسدی و همکاران (۱۳۹۸) برای بررسی تغییرات دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی همدان در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ از مدل LARS-WG و سناریوهای A2، A1B و B1 استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که دمای حداقل و حداکثر افزایش می‌یابد و تغییرات بارش، هم به صورت افزایشی و هم به صورت کاهش برآورد شد که با نتیجه مطالعه حاضر همخوانی دارد.

ارزیابی زیست توده و تبخیر تعرق ذرت



شکل ۲- الف نتایج میانگین سالانه زیست توده ذرت مدل EC-EARTCH، ب، نتایج میانگین سالانه زیست توده ذرت مدل GFDL-CM3، ج، نتایج میانگین سالانه زیست توده ذرت مدل MPI-ESM-MR، د، نتایج میانگین سالانه زیست توده ذرت مدل MIROC5، ه، نتایج میانگین سالانه

زیست توده ذرت مدل HadGEM2-ES برای بازه‌های (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، (۲۰۶۱-۲۰۸۰)، (۲۰۸۱-۲۱۰۰) و (۲۰۲۱-۲۰۴۰) جدول ۸- درصد تغییرات زیست توده (هکتار/تن) در ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سه سناریو و چهار دوره آبی در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۲۰۱۶)

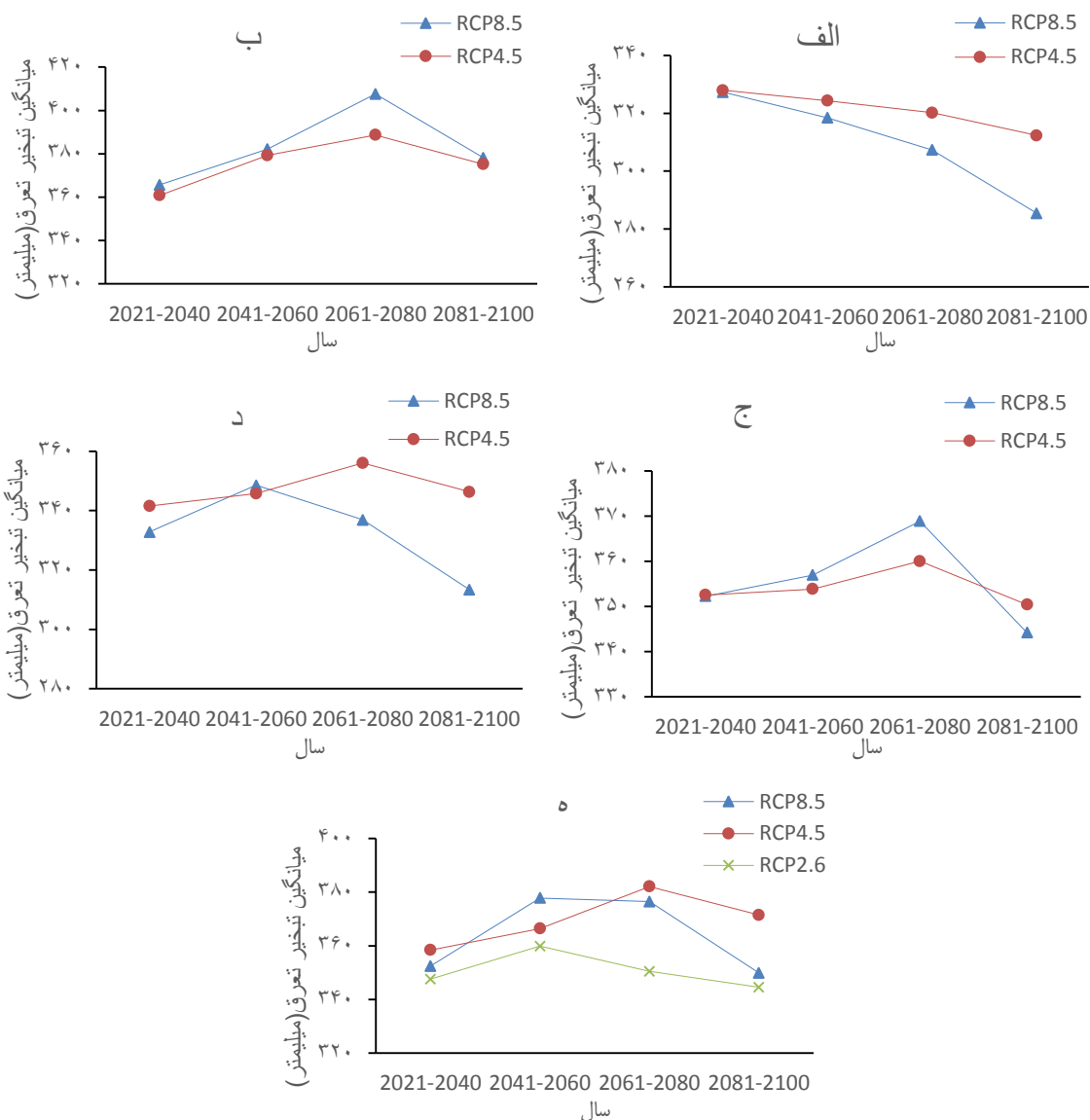
۲۰۸۱-۲۱۰۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۲۱-۲۰۴۰	Scenario	GCMs
-۲,۴۹	-۲,۷۱	-۱,۰۴	-۰,۳۸	RCP4.5	EC-EARTH
-۳,۸۸	-۴,۳۳	-۳,۱۷	۰,۲۷	RCP8.5	
-۶,۸۵	-۶,۷۸	-۴,۸۴	-۳,۳۴	RCP4.5	GFDL-CM3
-۸,۱۳	-۸,۲۴	-۵,۰۴	-۳,۶۳	RCP8.5	
-۳,۲۵	-۳,۰۳	-۳,۴۸	-۱,۸۸	RCP2.6	HadGEM2-ES
-۴,۹۷	-۴,۹۵	-۲,۷۴	-۱,۳۴	RCP4.5	
-۷,۵۰	-۷,۷۰	-۵,۱۸	-۲,۴۵	RCP8.5	RCP8.5
-۳,۴۰	-۳,۵۲	-۲,۳۲	-۱,۲۲	RCP4.5	MIROC5
-۴,۸۲	-۵,۲۰	-۴,۰۲	-۰,۷۵	RCP8.5	
-۳,۸۸	-۴,۰۰	-۳,۴۵	-۲,۰۲	RCP4.5	MPI-ESM-MR
-۷,۱۱	-۷,۳۴	-۴,۴۶	-۲,۰۸	RCP8.5	

ذرت جز گیاهان C4 است که نسبت به تغییرات اقلیمی حساس است (Meza et al. 2008). بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که ذرت به باد، رطوبت و دمای خیلی بالا حساس بوده و افزایش دما تا حدود زیادی می‌تواند عملکرد این گیاه را کاهش دهد (Dupuis and Moradi et al. 2013, Dumas, 1990). که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. در پژوهشی که به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و ذرت در شمال چین پرداختند نتایج نشان داد که تغییر اقلیم بر عملکرد گندم تأثیر مثبت ولی بر عملکرد ذرت تأثیر منفی خواهد داشت (Xiao et al., 2020).

میانگین تبخیر تعرق ذرت برای دوره پایه ۳۱۶/۲۷ (میلی‌متر) به دست آمد. نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد که مقدار تبخیر تعرق در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ در همه مدل‌ها و سناریوها افزایش می‌یابد و در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ در مدل EC-EARTH تحت سناریو RCP8.5 و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در مدل EC-EARTH تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و مدل MIROC5 تحت سناریو RCP8.5 کاهش می‌یابد. نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد که مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ بیشترین افزایش تبخیر تعرق را نسبت به دوره پایه داشته است. حداکثر تبخیر تعرق ذرت در پایه ۳۷۹ (میلی‌متر) بود و حداکثر تبخیر تعرق پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۱-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب برابر ۳۹۶، ۴۱۶، ۴۴۴ و ۴۱۵ (میلی‌متر)، برآورد شد. حداقل تبخیر تعرق ذرت در دوره پایه ۲۷۷ (میلی‌متر) به دست آمد و حداقل تبخیر تعرق ذرت در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۱-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مدل EC-EARTH تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب برابر ۲۹۹، ۲۸۳، ۳۴۸ و ۲۵۵ (میلی‌متر)

نتایج زیست توده و تبخیر تعرق ذرت برآورد شده با مدل AquaCrop در ایستگاه سینوپتیک قزوین برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مدل‌های گردش عمومی موجود در مدل (LARS-WG، EC-Earth، GFDL-CM3، HadGEM2-ES، MIROC5، MPI-ESM-MR) در دوره‌های آبی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در شکل‌های ۲ و ۳ و درصد تغییرات آن‌ها نسبت به دوره پایه در جداول ۸ و ۹ آورده شده است.

میانگین زیست توده ذرت برای دوره پایه ۲۵/۲۱ (هکتار/تن) به دست آمد. نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که مقدار زیست توده در دوره‌های آبی کاهش می‌یابد. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ بیشترین کاهش زیست توده را نسبت به دوره پایه داشته است. حداکثر زیست توده ذرت در پایه ۲۶/۹۸ (هکتار/تن) بود و حداکثر زیست توده پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ MIROC5 تحت سناریو RCP8.5 برابر ۲۶/۶۱ (هکتار/تن)، در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ و EC-EARTH تحت سناریو RCP4.5 به ترتیب برابر ۲۵/۴۸، ۲۵/۰۵ و ۲۴/۹۴ (هکتار/تن) برآورد شد. حداقل زیست توده ذرت در دوره پایه ۲۴/۰۲ (هکتار/تن) به دست آمد و حداقل زیست توده ذرت در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۱ و ۲۰۶۱-۲۱۰۰ و GFDL-CM3 تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب برابر ۲۳/۷۱، ۲۲/۶۰ و ۲۲/۹۶ (هکتار/تن) و در دوره ۲۰۶۱-۲۰۴۱ و مدل HadGEM2-ES تحت سناریو RCP8.5 برابر ۲۳/۴۸ (هکتار/تن) محاسبه شده است. در بررسی صورت گرفته (نتایج در مقاله حاضر آورده نشده است) عملکرد ذرت نیز در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد.



شکل ۳- الف نتایج میانگین سالانه تبخیر تعرق ذرت مدل EC-EARTH ب، نتایج میانگین سالانه تبخیر تعرق ذرت مدل GFDL-CM3 ج، نتایج میانگین سالانه تبخیر تعرق ذرت مدل MPI-ESM-MR د، نتایج میانگین سالانه تبخیر تعرق ذرت مدل MIROC5 ه، نتایج میانگین سالانه تبخیر تعرق ذرت مدل HadGEM2-ES برای بازه‌های (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۶۰)، (۲۰۶۱-۲۰۸۰) و (۲۰۸۱-۲۱۰۰)

نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی داده‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیک قزوین و شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۵) پرداخته شد. نتایج ارزیابی نشان داد که ضریب تبیین برای دمای حداکثر و حداقل شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG و داده‌های ایستگاه سینوپتیک همبستگی بالایی دارند.

در پژوهشی نیکبخت شهبازی (۱۳۹۷) به بررسی میزان تغییرات بارش و تبخیر تعرق محصولات کشاورزی شامل گندم، جو، برنج، ذرت و نیشکر در استان خوزستان تحت تأثیر تغییر اقلیم پرداخت. جهت بررسی و شبیه‌سازی داده‌ها از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و مدل گردش عمومی CanESM2 تحت سناریوهای RCP استفاده شد. نتایج ایشان نشان داد که میزان تبخیر تعرق به‌دست آمده برای همه محصولات کشاورزی مورد مطالعه روند افزایشی داد که با

مقدار NRMSE در دمای حداکثر در رده خوب و در دمای حداقل در رده متوسط قرار گرفته است.

جدول ۹- درصد تغییرات تبخیر تعرق (میلی‌متر) در ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سه سناریو و چهار دوره آبی در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶)

۲۰۸۱-۲۱۰۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۲۱-۲۰۴۰	Scenario	GCMs
-۱,۲۴	۱,۲۶	۲,۵۶	۳,۷۱	RCP4.5	EC-EARTH
-۹,۷۶	-۲,۸۲	۰,۷۰	۳,۴۹	RCP8.5	
۱۸,۶۲	۲۲,۹۰	۱۹,۹۲	۱۴,۰۸	RCP4.5	GFDL-CM3
۱۹,۵۷	۲۸,۸۸	۲۰,۸۳	۱۵,۶۱	RCP8.5	
۸,۹۴	۱۰,۸۱	۱۳,۷۹	۹,۹۰	RCP2.6	HadGEM2-ES
۱۷,۴۶	۲۰,۸۲	۱۵,۸۶	۱۳,۳۳	RCP4.5	
۱۰,۶۳	۱۹,۰۳	۱۹,۴۷	۱۱,۴۳	RCP8.5	
۹,۵۱	۱۲,۵۸	۹,۳۳	۸,۰۰	RCP4.5	MIROC5
-۰,۹۱	۶,۵۲	۱۰,۲۲	۵,۲۴	RCP8.5	
۱۰,۷۹	۱۳,۸۳	۱۱,۸۸	۱۱,۴۶	RCP4.5	MPI-ESM-MR
۸,۸۳	۱۶,۶۳	۱۲,۸۶	۱۱,۲۸	RCP8.5	

MIROC5 تحت سناریو RCP8.5 کاهش می‌یابد. یانو و همکاران، اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی و رشد ذرت در نواحی مدیترانه در ترکیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی ایشان افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی‌ها تا پایان سال ۲۱۰۰ را نشان می‌دهد و عملکرد ذرت کاهش می‌یابد که با نتیجه مطالعه حاضر همخوانی دارد (Yano et al., 2007). مزا و همکاران تأثیر سناریوهای اقلیمی بر محصول ذرت در منطقه شیلی را بررسی کرده که نتایج حاکی از آن است که ذرت می‌تواند تحت تأثیر تغییر اقلیم واقع شده و با کاهشی محصول که وابسته به سناریوهای تغییر اقلیم مورداستفاده است همراه باشد (Meza et al., 2008). در کل می‌توان بیان کرد که در اثر تغییر اقلیم و افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی در دوره‌های آبی کاهش زیست‌توده ذرت و افزایش تبخیر تعرق را در دشت قزوین خواهیم داشت. نتایج تحقیق حاضر در رابطه با تأثیر شرایط تغییر اقلیم آینده بر زیست‌توده و تبخیر تعرق ذرت در دشت قزوین می‌تواند ابزار سودمندی برای مدیران، کارشناسان، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران بخش آب به‌منظور مدیریت صحیح و پایدار منابع آب و در راستای توسعه کشاورزی باشد.

منابع

ادبی، و، عزیزیان، ا، رضانی اعتدالی، ه، کاویانی، ع. و آبایی، ب. ۱۳۹۸. آنالیز حساسیت موضعی مدل AquaCrop برای دو محصول گندم و ذرت در دو منطقه دشت قزوین و پارس‌آباد مغان. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ (۶): ۱۵۷۹-۱۵۶۵. اسدی، م، زارع ابیانه، ح، دلاور، ن. و اسدی، ا. ۱۳۹۸. اثر پدیده تغییر

نتایج ارزیابی بارش نشان داد که ضریب تبیین برای بارش شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG و داده‌های ایستگاه سینوپتیک همبستگی بالایی ندارند و ضریب تبیین به کمتر از ۰/۵ کاهش می‌یابد. به‌طور کلی نتایج مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر دقت بیشتری نسبت به بارش دارد. برای پیش‌بینی دمای حداقل، حداکثر و بارش در دوره‌های آبی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰، ۲۰۸۱-۲۱۰۰) از مدل‌های EC-EARTH، MPI-GFDL-CM3، MIROC5، HadGEM2-ES، Earth (ESM-MR) تحت سناریوهای (RCP4.5، RCP2.6، RCP8.5) استفاده شد. نتایج نشان داد که دمای حداقل و دمای حداکثر در همه مدل‌های مورد بررسی تحت هر سه سناریو در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و بیشترین درصد تغییرات دمای حداقل در مدل HadGEM2-ES تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و بیشترین دمای حداکثر در مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ محاسبه شده است. درصد تغییرات بارش شبیه‌سازی شده در مدل‌های متخلف و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه بین ۲۵/۷۲ تا ۱۷/۴۹- متغیر است. همچنین در این پژوهش به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق و زیست‌توده ذرت پرداخته شد. نتایج نشان داد که مقدار زیست‌توده در دوره‌های آبی کاهش می‌یابد. مقدار تبخیر تعرق در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ در همه مدل‌ها و سناریوها افزایش می‌یابد و در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ در مدل EC-EARTH تحت سناریو RCP8.5 و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در مدل EC-EARTH تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و مدل

- زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی آب، ۱۰-۱۲ اسفند.
- نظری، ر. و کاویانی، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی روش‌های تبخیر تعرق پتانسیل و تشت تبخیر با مقادیر لایسی متر در یک اقلیم نیمه‌خشک (مطالعه موردی: دشت قزوین). اکو هیدرولوژی. ۱(۳): ۱۹-۳۰.
- نیکبخت شهبازی، ع. ۱۳۹۷. بررسی میزان تغییرات بارش و تبخیر تعرق محصولات کشاورزی در استان خوزستان تحت تأثیر تغییر اقلیم. پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک. ۲۵ (۶): ۱۳۹-۱۲۳.
- Bates, B. Kundzewicz, Z.W. and Palutikof, J. 2008. Climate change and water, Intergovernmental Panel on Climate Change. 88:197-206.
- Burchfield, E., Matthews-Pennanen, N., Schoof, J. and Lant, C. 2020. Changing Yields in the Central United States under Climate and Technological Change. Climatic Change. 159(3): 329-46.
- Degife, A.W., Zabel, F. and Mauser, W. 2021. Climate change impacts on potential maize yields in Gambella Region, Ethiopia. Regional Environmental Change. 21(60):1-12.
- Dupuis, I. and Dumas, C. 1990. Influence of temperature stress on in vitro fertilisation and heat shock protein synthesis in maize (*Zea mays* L.) reproductive tissues. Plant Physiol. 94: 665-670.
- Han, Z., Zhang, B., Yang, L. and He, C. 2021. Assessment of the impact of future climate change on maize yield and water use efficiency in agro-pastoral ecotone of Northwestern China. Agronomy and Crop Science. 207(2):317-331.
- 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 [Core Writing Team, Pachauri, R.K., and Meyer, L.A., (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland; 151 pp.
- Jamieson, P.D., Porter, J.R. and Wilson, D.R. 1991. A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Res. 27: 337-350.
- Joinior, W., Loireau, M., Fargette, M., Filho, B. and Wele, A. 2017. Correlation between soil erodibility and satellite data on areas of current desertification: a case study in Senegal. Ci Trop. Recife. 42 (2):51-66.
- Meza, J., Silva, F. and Vigil, D. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. Agricultural Systems. 98. 21-30.
- Moradi, R., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Mansoori, H. 2013. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: Irrigation and planting data management. Mitig. Adapt. Strat. Gl. 18: 265-284.
- Parry. M.L. 1990. Climate Change and World اقلیم بر فرا سنجه‌های اقلیمی همدان. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۲۱ (۹):۱۴-۱.
- اکبری، م.، نجفی علمدار لو، ح. و موسوی، ح. ۱۳۹۸. اثرات تغییر اقلیم و خشک‌سالی روی ریسک درآمدی و الگوی کشت زراعی در شبکه آبیاری دشت قزوین. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳ (۲): ۲۸۲-۲۶۵.
- خلیلی اقدم، ن.، مساعدی، ا.، سلطانی، ا. و کامکار، ب. ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنج. پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک. ۱۹ (۴): ۱۲۲-۸۵.
- شریفی حداد، ن.، دیهیم فرد، ر.، نوری، ا. و رحیمی مقدم، س. ۱۴۰۰. شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارقام غالب ذرت تحت شرایط محدودیت آب و تغییر اقلیم. بوم‌شناسی کشاورزی. ۱۳ (۱): ۱۱۵-۱۰۳.
- قربانی، خ.، بذرافشان دریاسری، م.، مفتاح خلقی، م. و قهرمان، ن. ۱۳۹۵. تأثیرات تغییر اقلیم بر پهنه‌بندی اقلیمی استان گلستان با روش دمار تن گسترش‌یافته. تحقیقات آب‌و خاک ایران. ۴۷ (۲): ۳۱۹-۳۳۲.
- کمالی، ب.، رضوانی اعتدالی ه. و ستوده نیا، ع. ۱۳۹۵. تعیین زمان مناسب کاشت و آبیاری تکمیلی عدس دیم در دشت قزوین با استفاده از مدل AquaCrop. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۰ (۵): ۶۲۱-۶۱۳.
- کوهی، م.، شیرمحمدی، ز.، خانی، ع.، محمدیان، ا. و حبیبی‌نوخندان، ح. ۱۳۹۹. توزیع مکانی-زمانی دما و تبخیر تعرق مرجع با استفاده از داده‌های CRU در خراسان رضوی و پیش‌نگری تغییرات آبی بر مبنای مدل‌های اقلیمی CMIP5. سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۱۲ (۱): ۷۲-۵۵.
- گودرزی، م.، صلاحی، ب. و حسینی، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۹ (۳۱): ۲۲-۱۱.
- مجرد، ف.، نادری، ل.، فرهادی، ب. و حافظ سرپرست، م. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات عملکرد ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم در استان کرمانشاه. برنامه‌ریزی و آمایش فضا. ۲۰ (۴): ۲۵۵-۲۲۷.
- مرادی، ر.، کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۹۲. تأثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت به‌عنوان راهکار سازگاری در شرایط آب و هوایی مشهد. دانش کشاورزی و تولید. ۲۳ (۴): ۱۳۰-۱۱۳.
- میر صانع، م.، مساح بوانی، ع.، شاه نقی، ن. و بلوک آذری، س. ۱۳۸۹. بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری ذرت در دوره‌های آبی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و

- Plateau of Northern Shaanxi, China. *Ecological Indicators*. 84: 811-819.
- Xiao, D., Liu, D.L., Wang, B., Feng, P., Bai, H. and Tang, J. 2020. Climate Change Impact on Yields and Water Use of Wheat and Maize in the North China Plain under Future Climate Change Scenarios. *Agricultural Water Management*. 238: 106238.
- Yano, T., Aydin, M. and Haraguchi, T. 2007. Impact of Climate Change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. *Sensors*. 7: 2297-2315.
- Agriculture. Earthscan Publications, London.
- Raes, D., Steduto, P. and Hsiao, T.C. 2012. Fereres E. Reference manual Aqua Crop, FAO. Land and Water Division. Rome, Italy.
- Srivastava, A. K., Mboh, C. M., Zhao, G., Gaiser, T. and Ewert, F. 2017. Climate change impact under alternate realizations of climate scenarios on maize yield and biomass in Ghana. *Agricultural Systems*. 159. 157-174.
- Sun, S. K., Li, C., Wu, P. T., Zhao, X. N. and Wang, Y. B. 2018. Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess

Evaluation of the Effect of Climate Change on Biomass and Evapotranspiration of Maize (Case Study: Qazvin)

M. Ahmadi^{1*}, H. Ramezani Etedali²

Received: Jul.29, 2021

Accepted: Sep.07, 2021

Abstract

Climate affects agriculture and the main effect of climate change on agriculture largely depends on two variables: temperature and precipitation. In this study, the effect of climate change on biomass and evapotranspiration of maize in Qazvin plain has been investigated. For evaluation, from the general circulation models in the LARS-WG model (EC-Earth, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5, MPI-ESM-MR) and the scenarios of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 in the base period 2015-1986 and used in the following periods: 2040-2021, 2060-2041, 2080-2061 and 2100-2081. Evapotranspiration and maize biomass in baseline and future periods were calculated with AquaCrop software. In this study, the results of the scenarios were compared with the data of Qarvin station for maize crop by statistical error criteria including explanatory coefficient statistics (R^2), normal root mean square error (NRMSE) and absolute mean error (MAE). The simulation results of LARS-WG model in the base period showed that the model has more minimum and maximum temperature simulation accuracy than precipitation. Studies also show that the temperature will increase in future periods. Precipitation changes were seen as both decreasing and increasing. The simulation results showed that the biomass decreased compared to the baseline period in the following periods and evapotranspiration increased in most of the models used.

Keywords: AquaCrop, General circulation models, LARS-WG model, Maize, RCP scenarios

1- Ph.D. Student in Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Associated Professor, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

(*- Corresponding Author Email: mojgan.ahmadi@edu.ikiu.ac.ir)