نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۹۹۵-۹۷۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 979-995

مقاله علمی-پژوهشی

اثر تغییر تاریخ کشت در شرایط تغییر اقلیم بر عملکرد گندم پاییزه

فاطمه برزو[۱]، هادی رمضانی اعتدالی[۲*]، عباس کاویانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

چکیده

تولیدات کشاورزی در معرض آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی هستند. تاثیر این تغییرات بر میزان بارش سالانه، دما و به دنبال آن کاهش تولیدات کشاورزی غیر قابل چشم‌پوشی است. ضروری است که تغییرات اقلیمی در دوره‌های آتی تخمین زده‌شود و مدیریت کشت و آبیاری در کشاورزی، همسو با آن صورت گیرد. لذا در این مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی و کشت در تاریخ‌های مختلف؛ بر میزان عملکرد، در طول دوره کشت رقم پاییزه گندم در دشت قزوین بررسی شد. این بررسی در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ و با مقایسه دو منبع اطلاعاتی LARS-WG و DKRZ در تولید داده‌های سالانه تغییر اقلیم و به کارگیری مدل Aquacrop در شبیه‌سازی واکنش گیاه به تغییرات ذکر شده، صورت گرفت. در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مناسب‌ترین تاریخ‌های کشت متفاوت (گندم پاییزه تاریخ‌های ۱۵ مهر، ۱ آبان، ۱۵ آبان، ۳۰ آبان و ۱۵ آذر) به منظور افزایش عملکرد گندم و کاهش متغیرهای دیگر بررسی شد. طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، در هر ۴ دوره آتی میانگین عملکرد نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین عملکرد در کل این دوره‌ها و مدل‌ها برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۸/۵ در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ آبان ماه انجام شود، پیش‌بینی می‌شود که مقدار آن برابر ۱۱/۷۱ تن بر هکتار با انحراف معیار ۰/۶۴ تن بر هکتار است. کمترین عملکرد نیز برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۸/۵ در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ مهر ماه انجام شود، گزارش می‌شود که مقدار آن برابر ۱/۳۴ تن بر هکتار با انحراف معیار ۱/۱۵ تن بر هکتار است. در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، تاریخ ۱۵ بهمن ماه (۴ فوریه)، در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، تاریخ ۱۵ بهمن (۴ فوریه)؛ در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تاریخ ۱۵ بهمن (۴ فوریه) و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تاریخ ۱ آبان (۲۳ اکتبر) به عنوان مناسب‌ترین تاریخ کشت در این دوره‌ها، به منظور افزایش عملکرد گندم در دشت قزوین توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پایگاه اطلاعاتی، تاریخ کشت، تغییر اقلیم، گندم پاییزه، AquaCrop، DKRZ، LARS-WG

مقدمه

گندم از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در جهان است (Behera and Panda., 2009). طبق آمار موجود در تارنمای سازمان خواروبار جهانیFAO، حدود ۳۱۵ میلیون هکتار از اراضی در دنیا زیر کشت گندم است (FAO, 2012). گندم نقش چشم‌گیری در سبد تامین نیاز غذایی بشر دارد (فکاری سردهایی و همکاران، ۱۳۹۹). با افزایش روزافزون جمعیت، نیاز به تأمین مواد غذایی جمعیت رو به رشد، دست یافتن به امنیت غذایی در کشور (قالیباف و همکاران، ۱۳۹۵) و حتی، صادرات این محصول به کشورهای نیازمند، نیاز دست‌یابی کشور به سطح بیش از خودکفایی این محصول را، افزایش داده است. سهم مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی در کشور، ۹۲ درصد از منابع آب در دسترس و مصرف آب در تولید گندم ۱۶/۹ میلیارد مترمکعب است که ۱۸/۳ درصد از کل آب مصرفی در محصولات زراعی آبی کشور را شامل می‌شود (عظیمی دزفولی، ۱۳۹۹). تغییر اقلیم از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر تولیدات کشاورزی است چنانکه سلیمانی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش خود به بررسی اثرات ناشی از تغییر اقلیم بر الگوی کشت زراعی دشت مشهد پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر بارندگی، دمای بیشینه و کمینه‌ی فصلی روند افزایشی دارد و این تغییرات دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد محصولات زراعی منطقه هستند. همچنین با

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

درنظرگرفتن سناریوهای تغییرات اقلیم (تا سال ۱۴۱۰) در دوره کاشت هریک از محصولات مورد مطالعه، مقادیر سطح زیرکشت آنها تغییر یافته و سود ناخالص کشاورزان نسبت به سال پایه (۱۳۹۳) ۱/۶ درصد افزایش می‌یابد. در نهایت نتایج پژوهش حاکی از این است که بیشترین تغییرات در عملکرد بر اثر شرایط اقلیمی مربوط به محصولات گندم و جو می‌باشد. تغییرات آب و هوا متاثر از دو عامل دما و بارش است که در نتیجه تغییر هر یک از این عوامل تغییر اقلیم اتفاق می‌افتد. دریجانی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی تأثیر خشک‌سالی بر روی ۱۳۰ عملکرد گندم دیم در استان گلستان به این نتیجه رسیدند که با کاهش یک درصدی رطوبت خاک، عملکرد محصول تا ۱ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد. علیجانی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به بررسی اثر درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم آبی ایران بر مبنای داده‌های ترکیبی پرداختند و نتایج آنها نشان دادند که برای هریک از استان‌ها، متغیرهای فیزیکی (نهاده‌های مصرفی) مدل غیر از سم مصرفی، اثری مثبت و معنی‌دار در عملکرد دارد و متغیر بارندگی اثر مثبت و درجه حرارت اثر منفی بر عملکرد گندم دارد. پیش‌بینی دقیق تغییرات اقلیم نیازمند استفاده از روش‌های قابل‌قبول با کم‌ترین خطا می‌باشد. LARS-WG به عنوان یک مدل ریز مقیاس ساز که در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه‌سازی و داده-های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد (Semonov et al., 2010). نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست مجارستان در سال ۱۹۹۲ به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از توزیع نیمه‌تجربی است که به دفعات از آن استفاده شده است. دقت بالای این مدل در تولید داده‌های آب و هوایی (دما و بارش) مربوط به ۱۸ ایستگاه در کانادا (Williams, 1991) و ۲۲ ایستگاه واقع در اقلیم‌های متفاوت انگلیس (Semomov, 2008) گزارش شده است. حاجیوند و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی روزانه بارش، حداقل و حداکثر دما در ایستگاه-های سینوپتیک شمال خوزستان انجام دادند. از مدل LARS-GW برای ریز مقیاس گردانی داده‌های GCM استفاده شد و نتایج نشان داد که بارش سالانه در منطقه روند نزولی را طی کرده است و بیشترین دما، در دمای کمینه است و این افزایش در فصل زمستان مشهودتر است. حشمتی و رمضانی (۱۴۰۰) برای ارزیابی داده‌های پیش‌بینی شده در مدلLARS-WG به بررسی میزان خطای داده-های مشاهداتی و پیش‌بینی شده پرداختند. نتایج نشان داد متوسط دمای حداقل و حداکثر افزایش داشته و الگوی بارش در دوره‌های زمانی آینده تغییر خواهد کرد و مدل LARS-WG قابلیت لازم را برای پیش‌بینی داده‌های اقلیمی در آینده را دارد.

AquaCrop از مدل‌های زراعی کاربردی است که از اصلاح و بازنگری نشریه شماره ۳۳ فائو توسط متخصصان برجسته از سرتاسر جهان به دست آمده است. اصول اساسی مدل برای شبیه‌سازی فرآیندها توسط (Steduto et al., 2009) و الگوریتم مورد استفاده در نرم افزار مدل و توصیف عملیات توسط (Raes et al., 2009) ارائه شده است. AquaCrop نسبت به مدل فائو از عملکرد بهتری برخوردار است. خصوصاً اینکه کاربرد این مدل نسبت به مدل فائو محاسبات کمتر اما نیاز به واسنجی مؤلفه‌های بیشتری دارد. می‌توان از رتبه‌بندی محصولات بر اساس عملکرد پتانسیل به دست آمده توسط این مدل به عنوان یک ضریب اکولوژیکی در تخصیص زمین به محصولات مختلف در الگوی کشت منطقه استفاده نمود، (عباسی و همکاران، ۱۳۹۲). در نیجریه برای بررسی توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول ذرت دیم تحت تیمارهای مختلف نیتروژن مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد مدل AquaCrop دقت قابل قبولی در تخمین زیست‌توده گیاه در شرایط تنش حاصل‌خیزی دارد (Akumaga et al., 2017). در مطالعه دیگری در ایران، روش نیمه کمی مدل AquaCropبرای شبیه‌سازی پاسخ ذرت به کود نیتروژن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل مذکور از دقت خوبی در شبیه‌سازی رطوبت ناحیه ریشه و ضریب بهره‌وری آب نرمال شده برخوردار است (Ranjbar et al., 2019). محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق خود به اعتبارسنجی مدل AquaCrop تحت تنش هم‌زمان شوری و کم آبی، در دو سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ و ۱۳۸۹-۹۰ بر روی گندم بهاره در مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد محصول، زیست توده، کارایی مصرف آب، شاخص برداشت، رطوبت و شوری نیمرخ خاک برای گندم در شرایط شوری و کم آبی به خوبی شبیه‌سازی شده‌اند هر چند که دقت مدل در شبیه‌سازی شاخص برداشت و شوری نیمرخ خاک کمتر از سایر پارامترها است. تحلیل حساسیت نشان داد که مدل نسبت به ضریب گیاهی مربوط به تعرق، بهره‌وری آب نرمال شده، شاخص برداشت، رطوبت در ظرفیت زراعی، شرایط اولیه رطوبت خاک و دمای هوا حساس‌تر از سایر پارامترها است. هر چند دقت پیشبینی مدل با افزایش تنش‌های شوری و خشکی کمی کاهش یافت اما AquaCrop می‌تواند مدلی ارزشمند برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره و شبیه‌سازی رطوبت و شوری در منطقه مشهد باشد. زیرا مدل به پارامترهای ورودی کم نیاز دارد که به آسانی قابل دسترس و یا قابل جمع‌آوری هستند. نتایج سلامی و همکاران نشان داد که مدل AquaCrop به خوبی می‌تواند در شرایط کم‌آبیاری و آبیاری کامل عملکرد و زیست توده گندم را شبیه‌سازی نماید (Salemi et al., 2011). کومار و همکاران پس از ارزیابی مدل AquaCrop در شهر دهلی هندوستان برای چهار رقم گندم (سه رقم مقاوم به شوری و یک رقم غیر مقاوم به شوری) و چهار سطح شوری آب آبیاری، گزارش کردند که مدل دقت قابل‌قبولی در شبیه‌سازی عملکرد

محصول، زیست‌توده و کارایی مصرف آب دارد. اما دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول بیشتر از زیست‌توده و کارایی مصرف آب بود (Kumar et al., 2014).

ون و همکاران به تحلیل تفاوت عملکرد محلی با جهانی بین شرایط فعلی و مطلوب پرداختند و تفاوت عملکرد را با استفاده از مدل های شبیه‌سازی محصول در غرب کنیا، نبراسکا (آمریکا) و ویکتوریا (استرالیا) محاسبه نمودند. این پژوهشگران عنوان کردند که عملکرد محصولات به مرور زمان در دهه‌های آینده باید همگام با تقاضای افزایش غذا به دلیل رشد روزافزون جمعیت افزایش یابد (Van Ittersum et al., 2013). هاچمن و همکاران نیز گزارش نموده‌اند از بین بردن شکاف عملکرد، راهکاری کلیدی برای غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت درحال رشد جهان است (Hochman et al., 2013) . جناب و نظری (۱۳۹۷) با استفاده از پروتکل‌های GYGA به تعیین تفاوت عملکرد بهره‌وری آب برای محصول گندم در استان قزوین، بین وضع موجود و وضعیت مطلوب (پتانسیل) پرداختند. در ابتدا نقشه پهنه‌بندی نواحی آب و هوایی استان به روش آمبرژه ترسیم شد. سپس عملکرد مطلوب (پتانسیل) گندم بر اساس نسخه پنج مدل Aquacrop برآورد شد. نتایج این مطالعه نشان داد، متوسط تفاوت عملکرد در سال‌های مورد مطالعه در مناطق مختلف آب و هوایی استان از ۴۵۰۲ تا ۶۲۷۱ کیلوگرم در هکتار بود و تفاوت بهره‌وری تبخیر و تعرق گندم از ۰/۵۶ تا ۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب و تفاوت بهره‌وری آب (آبیاری و بارش مؤثر) گندم از ۰/۵۷ تا ۰/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. نتایج اندازه‌گیری شده نشان داد، در استان قزوین میانگین عملکرد گندم در شرایط موجود، برابر با ۳۷ درصد عملکرد مطلوب (پتانسیل) گندم است. همچنین، بهره‌وری نسبی تبخیر و تعرق ۰/۴۷ و شاخص بهره‌وری نسبی آب ۰/۳۱ است. این دو شاخص هر یک، نشان از نسبت بین بهره‌وری در وضعیت موجود و بهره‌وری در وضعیت پتانسیل و مطلوب را دارند. بر اساس نتایج به دست آمده، تفاوت بین وضعیت مطلوب و موجود عملکرد و بهره‌وری آب بالاست. تفاوت عملکرد ۶۳ درصد عملکرد مطلوب و تفاوت بهره‌وری آب ۶۹ درصد بهره‌وری در وضعیت مطلوب است. لذا نقاط ضعف قابل توجه‌ای در مدیریت تولید کشاورزی و مدیریت آبیاری وجود دارد و نشان از این دارد که فرصت‌های بالقوه‌ای برای تقویت این بخش‌ها و ارتقای بهره‌وری آب و کاهش فشار به منابع آب و افزایش امنیت‌غذایی وجود دارد. عزیزی زهان و همکاران (۱۳۹۳) متوسط وزنی ۱۵ ساله عملکرد گندم در اراضی آبی، دیم و ترکیب آن را به ترتیب ۳/۴، ۰/۹۶ و ۱/۹ تن در هکتار برآورد کرده و گزارش نموده‌اند که متوسط عملکرد گندم کشور ۳۰-۴۰ درصد کمتر از متوسط دنیا است و این میانگین متأثر از شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور (به‌خصوص در زراعت دیم) و عوامل فنی و مدیریتی تولید است.

برای پیش‌بینی رشد و عملکرد گیاه زراعی بایستی زیر مدل‌های فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، موازنه آب و خاک مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. قاسمی مهام و همکاران (۱۳۹۷) به منظور پیش‌بینی عملکرد گندم در شرایط آب‌وهوایی همدان پارامترهای مربوط به هر زیرمدل را با استفاده از داده‌های مربوط به تاریخ کاشت‌های مختلف در سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۱ در منطقه همدان و داده‌های مربوط به سایر محققان در سایر نقاط برآورد کرد. براساس آمار هواشناسی استان همدان (دمای حداقل، دمای حداکثر، مقدار تابش و میزان بارندگی) و با استفاده از زیرمدل‌های مربوط به فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، تغییرات رشد و عملکرد آن محاسبه و عملکرد مربوط به محصول گندم در پایان فصل رشد پیش‌بینی شده است. نتایج این بررسی نشان داد، تغییرات عملکرد دانه برای داده‌های مشاهده شده بین ۴/۰۸ تا ۸/۰۱ تن در هکتار و میانگین داده‌ها ۶/۰۹ تن بود و برای داده‌های پیش‌بینی‌شده دامنه تغییرات عملکرد بین ۴/۰۸ تا ۷/۵۹ تن و میانگین آن‌ها ۵/۵۳ تن در هکتار بود که در تمام موارد عملکرد شبیه‌سازی‌شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد.

با توجه به توانایی مناسب مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی گندم، می‌توان از آن به عنوان ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر مزارع گندم و نیز به عنوان یک سیستم تصمیم‌سازی پشتیبان در منطقه همدان استفاده نمود. لذا در این مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی و کشت در تاریخ‌های مختلف؛ بر میزان عملکرد، رقم پاییزه گندم در دشت قزوین بررسی شد. این بررسی در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ و با مقایسه دو منبع اطلاعاتی LARS-WG و DKRZ در تولید داده‌های سالانه تغییر اقلیم و به کارگیری مدل Aquacrop در شبیه‌سازی واکنش گیاه به تغییرات اقلیمی، صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مدل LARS-WG

LARS-WG یک مولد تصادفی آب و هوا است که با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی حال و آینده اقدام به تولید سری زمانی پارامترهای هواشناسی می‌کند. این ابزار از توزیع نیمه تجربی (Emp)برای طول سری‌های روزانه خشک و تر، بارش روزانه و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند.

$$EMP = a_0 , a_i , h_i \ldots \qquad i = 1, 2, 3, \ldots , 23 \quad (۱)$$

در این رابطه Emp یک هیستوگرام با تعداد فواصل ۲۳ است (در نسخه ی سوم تعداد فواصل ۱۰ بوده است) که در آن a به شرح زیر تعریف شده است.

$$[a_{i-1}, a_i) \qquad a_{i-1} < a_i \qquad (۲)$$

و h تعداد رخدادهای مشاهده شده در i امین فاصله است. چنین توزیعی انعطاف‌پذیر است و می‌تواند با تنظیم فواصل، تقریبی از انواع مختلفی از شکل‌ها باشد. فواصل (a_{i-1} , a_i] بر اساس خواص مورد انتظار از متغیرهای آب و هوا انتخاب می‌شوند. برای تابش خورشیدی، این فواصل به طور مساوی بین مقادیر کمینه و بیشینه داده‌های مشاهداتی ماهانه می‌باشد. حداقل دما، حداکثر دما و تابش خورشیدی مربوط به میانگین پوشش ابر است، بنابراین LARS-WGاز توزیع جداگانه‌ای برای روزهای تر و خشک برای هر یک از این متغیرها استفاده می‌کند(Semenov 2008) . در ورژن های مختلف LARS-WG، گزارش‌های مختلف تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده است. در این پژوهش، جدیدترین ورژن یعنی سری ششم به کار گرفته شده است. در سری ششم مدل LARS-WG گزارش‌های پنجم گردش عمومی جو (GCM) تحت سناریوهای مختلف وجود دارد. که توسط کشورهای مختلف ارائه شده‌اند.

در این پژوهش از مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شده است. سناریوهای مربوط به هر GCM در

جدول ۱) آورده شده است.

جدول ۱- GCM همراه با سناریوهای مربوطه

GCM	Scenario
EC-EARTH	rcp 4/5
	rcp 8/5
GFDL-CM3	rcp 4/5
	rcp 8/5
HadGEM2-ES	rcp 4/5
	rcp 8/5
MIROC5	rcp 4/5
	rcp 8/5
MPI-ESM-MR	rcp 4/5
	rcp 8/5

پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ

مرکز محاسبات اقلیمی آلمان (DKRZ: Deutsches Klimarechenzentrum GmbH) یک سرویس بایگانی طولانی مدت را برای مجموعه داده‌های تحقیقاتی بزرگ که مربوط به تحقیقات اقلیم یا سیستم زمین است فراهم می‌کند. این سرویس شامل قابلیت بایگانی و بازیابی داده‌ها برای بازه‌های زمانی ۱۰ ساله یا بیشتر است. بایگانی طولانی مدت DKRZ (LTA) طبق ضوابط Core Trust Seal (CTS) تأیید شده است و به عنوان مرکز داده جهانی آب و هوا (WDCC) به عنوان عضو منظم سیستم داده جهانی معتبر است. داده‌های دما حداکثر (درجه کلوین)، دما حداقل (درجه کلوین) و بارش (کیلوگرم بر مترمربع در هر ثانیه) برای مدل‌های EC-EARTH، GFDLCM3، HadGEM2-Es، MIROC5 و MPI-ESM-MR در سال‌های آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ از این پایگاه اطلاعاتی دانلود شد. فایل‌های دانلود شده با فرمت NC هستند که به منظور تبدیل فرمت به TXT در محیط ARCGIS فراخوانی شدند. سپس تبدیل واحدهای لازم برای دما و بارش صورت گرفت تا داده‌های دما بر حسب سانتی‌گراد و بارش بر حسب میلی‌متر در روز شوند.

داده‌های دما حداکثر (درجه کلوین)، دما حداقل (درجه کلوین) و بارش (کیلوگرم بر مترمربع در هر ثانیه) برای مدل‌های EC-EARTH، GFDLCM3، HadGEM2-Es، MIROC5 و MPI-ESM-MR تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) ۴/۵ و ۸/۵ در سال‌های آماری ۲۱۰۰-۲۰۲۱ دانلود شد. فایل‌های دانلود شده با فرمت NC بودند که در محیط ARCGIS فراخوانی شدند و به فایل TXT تبدیل شدند. سپس تبدیل واحدهای لازم برای دما و بارش صورت گرفت تا داده‌های دما بر حسب سانتی‌گراد و بارش بر حسب میلی‌متر در روز شوند.

ایستگاه همدید

داده‌های روزانه ی دما حداقل (درجه سلسیوس)، دما حداکثر (درجه سلسیوس)، بارش (میلی‌متر در روز) و ساعت آفتابی (تعداد ساعت در طول یک شبانه روز) در بازه زمانی سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ از ایستگاه سینوپتیک قزوین اخذ گردید. بر روی داده‌ها ارزیابی صورت گرفت. از آنجایی که دوره ۲۰ ساله برای مراحل بعدی داده‌ها مناسب بود، داده‌های دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ به منظور داده‌های پایه انتخاب گردید. به منظور تولید داده‌های تغییر اقلیم در مدل LARS-WG، ابتدا می‌بایست مجموعه‌ای از داده‌ها (دما حداقل، دما حداکثر، بارش و ساعت آفتابی) در طول بازه‌ای چند ساله، تحت عنوان داده‌های پایه به نرم افزار داده شود. در این پژوهش، داده‌های ایستگاه سینوپتیک قزوین در طول سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ به عنوان داده‌های پایه انتخاب شد. برای معرفی داده‌های پایه به مدل LARS-WG، می‌بایست داده‌ها به ترتیب شماره سال، روز ژولیوسی، دما حداقل (درجه سلسیوس)، دما حداکثر (درجه سلسیوس)، بارش (میلی‌متر در روز) و ساعت آفتابی (تعداد ساعت در طول یک شبانه روز) در ستون-های مجزا مرتب شوند. با فرمت DAT به مدل معرفی شوند. مشخصات ایستگاه مورد نظر از جمله، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، با فرمت St نیز آماده شود و به مدل LARS-WG جهت تولید داده‌ها داده شود.

بررسی مقادیر عملکرد گندم پاییزه در شرایط پایه و شرایط تغییر اقلیم بر اساس یافته‌های LARS-WG و DKRZ

از میانگین داده‌های ۵ مدل گردش عمومی جو تحت سه متغیر دما حداقل، دما حداکثر و بارش به تفکیک داده‌های LARS-WG و داده‌های پایگاه اطلاعاتی DKRZ و سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ استفاده شد و به منظور تولید پارامترهای عملکرد، نیاز آبیاری، بارش، تبخیر، تعرق، تاریخ برداشت محصول به مدل Aquacrop معرفی شد.

تاریخ کشت گندم پاییزه ۶ نوامبر (۱۵ آبان) در نظر گرفته شد. اما از آنجایی که تاثیر تاریخ کشت بر میانگین عملکرد محصول نیز برای بررسی مد نظر بود، تاریخ‌های کشت به فاصله ۱۵ و ۳۰ روز جلوتر و عقب‌تر از تاریخ مورد نظر نیز، جهت بررسی به مدل معرفی شدند. بنابراین تاریخ‌های ۷ اکتبر (۱۵ مهر)، ۲۳ اکتبر (۱ آبان)، ۲۱ نوامبر (۳۰ آبان) و ۶ دسامبر (۱۵ آذر) در مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند.

مقدار متغیر (عملکرد) محصول (گندم پاییزه) که در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ و در تاریخ‌های کشت متفاوت، در ۴ دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) پیش‌بینی شده‌اند، بررسی شدند. روند تغییرات آن (افزایش یا کاهش) و بیش‌ترین و کم‌ترین این متغیرها در طول این دوره‌ها، مدل و سناریویی که تحت آن بیش‌ترین و کم‌ترین این متغیرها را گزارش می‌کند، میانگین اختلاف متغیرها در طول دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در شرایطی که کشت در تاریخ‌های متفاوت صورت گیرد، ارزیابی شدند.

نتایج و بحث

در این بخش مقادیر عملکرد محصول (گندم پاییزه) که در شرایط اقلیمی حاصل از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ و در تاریخ‌های کشت متفاوت (برای گندم پاییزه تاریخ‌های ۱۵ مهر، ۱ آبان، ۱۵ آبان، ۳۰ آبان و ۱۵ آذر)، در ۴ دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) پیش‌بینی شده‌اند، بررسی خواهد شد. روند تغییرات آن (افزایش یا کاهش) و بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد در طول این دوره‌ها، مدل و سناریویی که تحت آن بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد محصول تولید می‌شود، میانگین اختلاف عملکرد در طول این دوره‌ها نسبت به دوره پایه در شرایطی که در تاریخ‌های متفاوت کشت صورت گیرد، ارزیابی می‌شود. در انتها، عملکرد محصولات در تاریخ‌های متفاوت بررسی خواهد شد و تاریخی که اگر در آن کشت صورت گیرد بالاترین میانگین عملکرد در دشت قزوین حاصل می‌شود، معرفی خواهد شد.

عملکرد گندم پاییزه- تاریخ کشت ۷ اکتبر (۱۵ مهر)

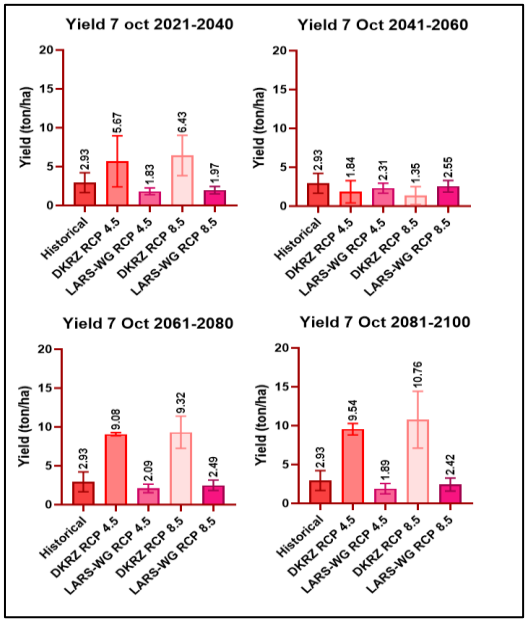
همانطور که نتایج مدل Aquacrop نشان داد و در نمودار شکل ۱ آورده شده است، عملکرد گندم پاییزه در شرایط اقلیمی دوره پایه دشت قزوین و منطقه مورد بررسی برابر ۲/۹۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۲۸ تن بر هکتار) است. در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، افزایش عملکرد گندم پاییزه را نسبت به عملکرد آن در دوره پایه نشان می‌دهند و نتایج حاصل از مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG کاهش عملکرد گندم پاییزه نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه را گزارش می‌کنند. در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نیز کاهش عملکرد گندم پاییزه نسبت به عملکرد آن در دوره پایه پیش‌بینی می‌شود.

افزایش عملکرد گندم پاییزه در شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ نسبت به عملکرد در دوره پایه، در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به ترتیب برابر ۲/۷۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۲/۲۸ تن بر هکتار)، ۶/۱۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۷۳ تن بر هکتار) و ۶/۶۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱ تن بر هکتار) خواهد بود وکاهش عملکرد گندم پاییزه تحت شرایط پیش‌بینی شده این سناریو در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، نسبت به عملکرد در دوره پایه برابر ۱/۰۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۳۵ تن بر هکتار) خواهد بود شکل ۲. لذا مقدار عملکرد گندم پاییزه در سناریو DKRZ ۴/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ به ترتیب برابر ۵/۶۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۳/۲۸ تن بر هکتار)، ۱/۸۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۴۳ تن بر هکتار)، ۹/۰۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۹ تن بر هکتار) و ۹/۵۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۷۳ تن بر هکتار) خواهد شد.

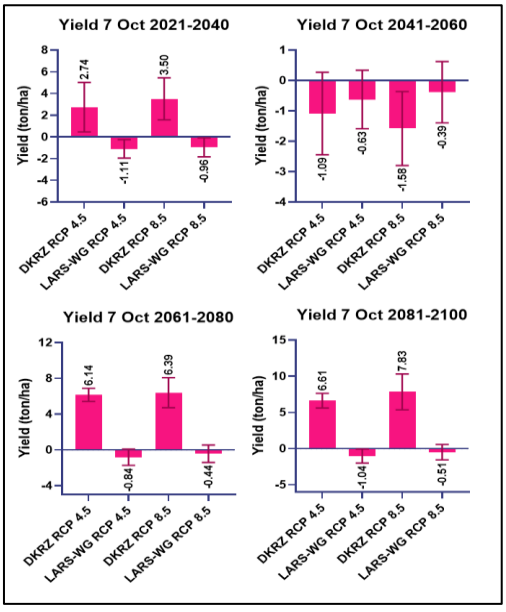
تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۸/۵، افزایش عملکرد گندم پاییزه در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نسبت به مقدار آن در دوره پایه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۳/۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۹۳ تن بر هکتار)، ۶/۳۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۶۷ تن بر هکتار)، ۹/۰۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار تن بر هکتار) و ۷/۸۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۲/۴۷ تن بر هکتار) است وکاهش عملکرد گندم پاییزه تحت شرایط پیش‌بینی شده این سناریو در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نسبت به عملکرد در دوره پایه ، برابر ۱/۵۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۲۱ تن بر هکتار) خواهد بود. بنابراین مقدار عملکرد گندم پاییزه سناریو ۸/۵ DKRZ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به ترتیب برابر ۶/۴۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۲/۵۹ تن بر هکتار)، ۱/۳۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۱۵ تن بر هکتار)، ۹/۳۱ تن بر هکتار (با انحراف

معیار۲/۰۷ تن بر هکتار) و ۱۰/۷۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۳/۶۶ تن بر هکتار) خواهد شد. بیشترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌شود وکمترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ اتفاق می‌افتد.

با احتساب شرایط اقلیمی گزارش شده از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، میانگین کاهش عملکرد گندم پاییزه در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ نسبت به عملکرد آن در دوره پایه، به ترتیب برابر ۱/۱۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۸۵ تن بر هکتار)، ۰/۶۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۹۶ تن بر هکتار)، ۰/۸۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۹۱ تن بر هکتار) و ۱/۰۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۹۷ تن بر هکتار) گزارش می‌شود.



شکل ۱-عملکرد گندم پاییزه تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ مهر ماه در نظر گرفته شود



شکل ۲-تغییرات متوسط عملکرد گندم پاییزه دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ در صورتی که تاریخ کشت محصول ۱۵ مهر ماه در نظر گرفته شود

لذا مقادیر عملکرد گندم پاییزه در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ به ترتیب برابر ۱/۸۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۲ تن بر هکتار)، ۲/۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۶۴ تن بر هکتار)، ۲/۱۰ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۵۴ تن بر هکتار) و ۱/۸۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۶۶ تن بر هکتار) پیش‌بینی می‌شود.

میانگین کاهش عملکرد در شرایط اقلیمی گزارش شده از سناریو ۸/۵ مدل LARS-WG در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ نسبت به عملکرد در دوره پایه به ترتیب برابر ۰/۹۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۸۷ تن بر هکتار)، ۰/۳۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۰۱ تن بر هکتار)، ۰/۴۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۹۷ تن بر هکتار) و ۰/۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۰۵ تن بر هکتار) گزارش می‌شود لذا میانگین عملکرد گندم پاییزه در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ به ترتیب برابر ۱/۹۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۷ تن بر هکتار)، ۲/۵۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۷۳ تن بر هکتار)، ۲/۴۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۶۶ تن بر هکتار) و ۲/۴۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۸۳ تن بر هکتار) خواهد شد.

عملکرد گندم پاییزه- تاریخ کشت ۲۳ اکتبر (۱ آبان)

طبق نتایج مدل Aquacrop؛ همانطور که در شکل ۳ آمده است، اگر میانگین عملکرد گندم پاییزه دشت قزوین با احتساب تاریخ کشت ۱ آبان در نظر گرفته شود، عملکرد این محصول در دوره پایه برابر ۷/۱۸ تن بر هکتار با انحراف معیار ۱/۰۲۴ تن بر هکتار است. غیر از مقدار عملکرد درشرایط اقلیمی که میانگین سناریو ۴/۵ پایگاه اطلاعاتی DKRZ در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ گزارش می‌کند، بقیه نتایج مدل‌ها در سناریوهای ۴/۵ و ۸،/۵ افزایش عملکرد گندم پاییزه را نسبت به عملکرد دوره پایه گزارش می‌دهند. طبق شرایط اقلیمی حاصل از میانگین مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵، عملکرد گندم پاییزه در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۷/۱۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۲/۲۹ تن بر هکتار) خواهد بود لذا ۰/۰۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۶۵ تن بر هکتار) نسبت به دوره پایه کاهش عملکرد تخمین زده می‌شود (شکل ۴).

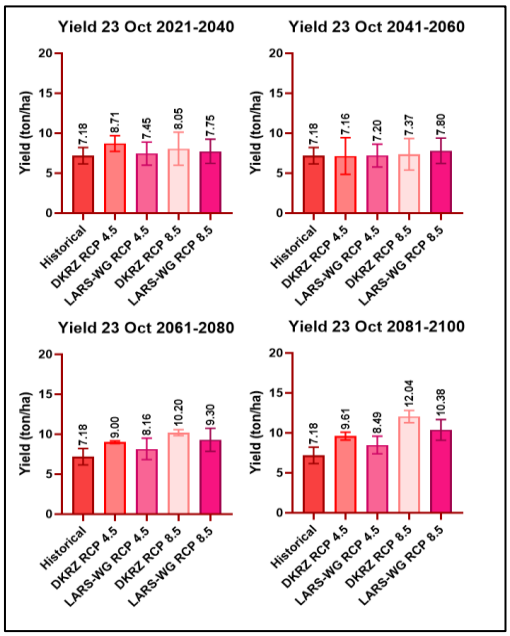
در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۸/۷۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار۰/۹۸ تن بر هکتار)، ۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۸ تن بر هکتار) و ۹/۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۹ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا عملکرد در این دوره‌ها به ترتیب؛ ۱/۵۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱ تن بر هکتار)، ۱/۸۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۶ تن بر هکتار) و ۲/۴۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۷۵ تن بر هکتار) نسبت به میانگین عملکرد در دوره پایه، افزایش می‌یابد. در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه ۷/۱۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۲/۲۹ تن بر هکتار) پیش‌بینی می‌شود که ۰/۰۲۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۶۵ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد محصول در دوره پایه کاهش عملکرد گزارش می‌شود. کمترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ اتفاق خواهد افتاد.

در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۸/۰۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۲/۰۶ تن بر هکتار)، ۷/۳۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۹۶ تن بر هکتار)، ۱۰/۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۷ تن بر هکتار) و ۱۲/۰۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۷۶ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۸۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۵۴ تن بر هکتار)، ۰/۱۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۴۹ تن بر هکتار)، ۳/۰۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۶۹ تن بر هکتار) و ۴/۸۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۸۹ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد اتفاق می‌افتد. بیشترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌شود.

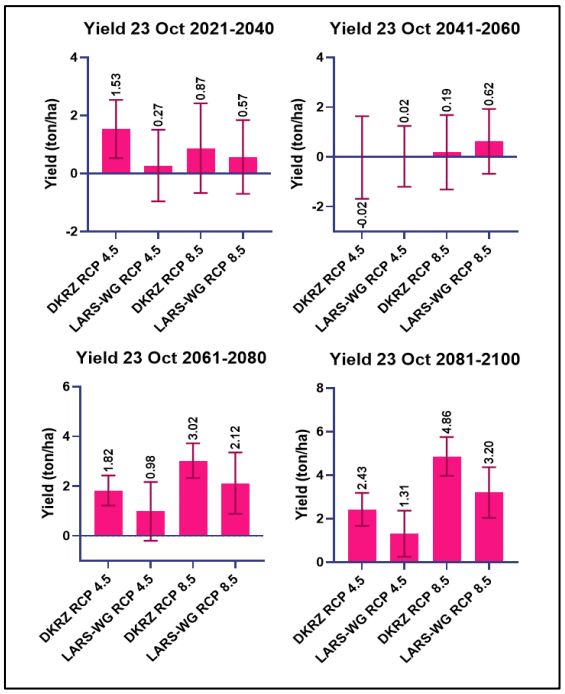
در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۷/۴۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۴۴ تن بر هکتار)، ۷/۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۴۲ تن بر هکتار)، ۸/۱۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۳۳ تن بر هکتار) و ۸/۴۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۰۹ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۲۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۲۳ تن بر هکتار)، ۰/۰۲۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۲۲ تن بر هکتار)، ۰/۹۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۱۸ تن بر هکتار) و ۱/۳۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۰۶ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد اتفاق می‌افتد.

در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۷/۷۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۵۱ تن بر هکتار)، ۷/۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار

۱/۵۸ تن بر هکتار)، ۹/۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۴۴ تن بر هکتار) و ۱۰/۳۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۳ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۵۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۲۷ تن بر هکتار)، ۰/۶۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۳ تن بر هکتار)، ۲/۱۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۲۳ تن بر هکتار) و ۳/۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۱/۱۶ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد تخمین زده می‌شود.



شکل ۳- عملکرد گندم پاییزه تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی در صورتی که تاریخ کشت ۱ آبان ماه در نظر گرفته شود



شکل ٤- تغییرات متوسط عملکرد گندم پاییزه دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ در صورتی که تاریخ کشت محصول ۱ آبان ماه در نظر گرفته شود

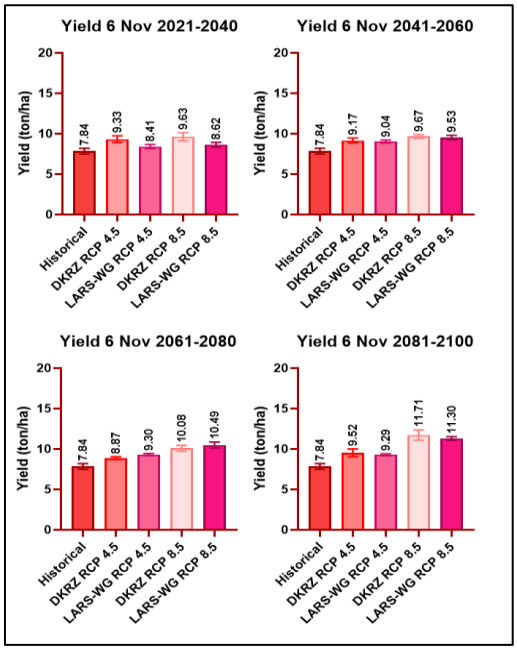
عملکرد گندم پاییزه- تاریخ کشت ٦ نوامبر (۱۵ آبان)

طبق نتایج مدل Aquacrop همانطور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، عملکرد گندم پاییزه در دوره پایه در صورتی که کشت در ۱۵ آبان صورت گیرد، برابر ۷/۸۳ تن بر هکتار با انحراف معیار ۰/۳۶ تن بر هکتار است. طبق نتایج مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در هر چهار دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) افزایش عملکرد گندم پاییزه را نسبت به عملکرد دوره پایه اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۹/۳۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴ تن بر هکتار)، ۹/۱۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳ تن بر هکتار)، ۸/۸۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۸ تن بر هکتار) و ۹/۵۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۸ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۱/۴۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۸ تن بر هکتار)، ۱/۳۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۳ تن بر هکتار)، ۱/۰۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۷ تن بر هکتار) و ۱/۶۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۲ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد گزارش می‌شود(شکل ۶). در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۹/۶۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۵۱ تن بر هکتار)، ۹/۶۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۲ تن بر هکتار)، ۱۰/۰۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۵ تن بر هکتار) و ۱۱/۷۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۶۴ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۱/۷۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۴ تن بر هکتار)، ۱/۸۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۹ تن بر هکتار)، ۲/۴۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۵ تن بر هکتار) و ۳/۸۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۵ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد پیش‌بینی می‌شود. بیشترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد. در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۸/۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۴ تن بر هکتار)، ۹/۰۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۷ تن بر هکتار)، ۹/۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۴ تن بر هکتار) و ۹/۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۱ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۵۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳ تن بر هکتار)، ۱/۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۷ تن بر هکتار)، ۱/۴۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۵ تن بر هکتار) و ۱/۴۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۳ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد گزارش می‌شود.کمترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ اتفاق خواهد افتاد. در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۸/۶۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳ تن بر هکتار)، ۹/۵۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۷ تن بر هکتار)، ۱۰/۴۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۶ تن بر هکتار) و ۱۱/۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۳ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۷۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۳ تن بر هکتار)، ۱/۶۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۲ تن بر هکتار)، ۲/۶۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۶ تن بر هکتار) و ۳/۴۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۹ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد محصول در دوره پایه افزایش عملکرد پیش‌بینی می‌شود.

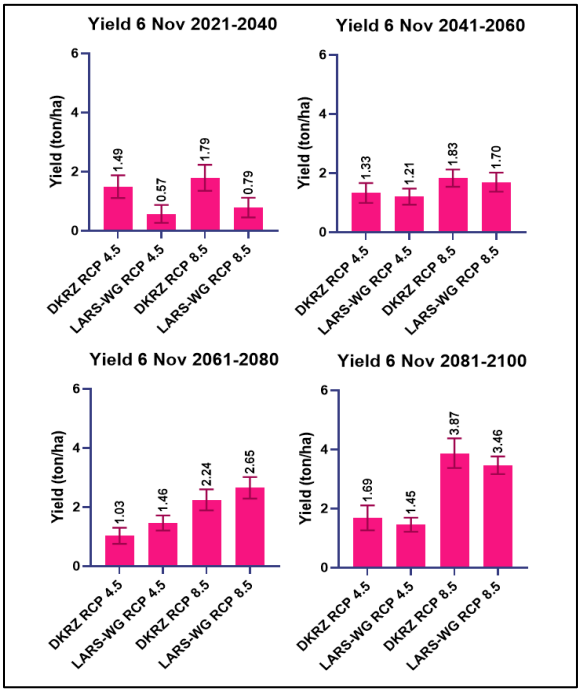
عملکرد گندم پاییزه- تاریخ کشت ۲۱ نوامبر (۳۰ آبان)

طبق نتایج مدل Aquacrop همانطور که در شکل ۷ نیز قابل مشاهده است، عملکرد گندم پاییزه در دوره پایه در صورتی که تاریخ کشت در ۳۰ آبان ماه انجام شود، برابر ۷/۷ تن بر هکتار با انحراف معیار ۰/۳۶ تن بر هکتار است. طبق نتایج مدل‌های گردش عمومی جو، هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در هر چهار دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ افزایش عملکرد گندم پاییزه را نسبت به عملکرد دوره پایه گزارش می‌کنند.

در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۹/۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۱ تن بر هکتار)، ۹/۱۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۹ تن بر هکتار)، ۸/۷۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۸ تن بر هکتار) و ۹/۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۷ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۱/۵۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۸ تن بر هکتار)، ۱/۴۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۲ تن بر هکتار)، ۱/۰۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۷ تن بر هکتار) و ۱/۶۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۲ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد گزارش می‌شود (شکل ۸).



شکل ۵-عملکرد گندم پاییزه تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ آبان ماه در نظر گرفته شود



شکل ٦- تغییرات متوسط عملکرد گندم پاییزه دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ در صورتی که تاریخ کشت محصول ۱۵ آبان ماه در نظر گرفته شود

در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۹/۵۷ تن بر هکتار (با

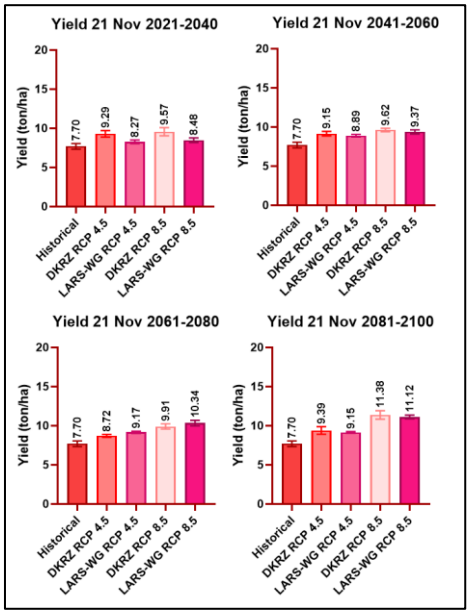
انحراف معیار ۰/۵۲ تن بر هکتار)، ۹/۶۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۲ تن بر هکتار)، ۹/۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۳ تن بر هکتار) و ۱۱/۳۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۵۳ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۱/۸۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۴ تن بر هکتار)، ۱/۹۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۹ تن بر هکتار)، ۲/۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۴ تن بر هکتار) و ۳/۶۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۵ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد تخمین زده می‌شود. بیشترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره ۲۰۸۱–۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد.

در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو۴/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۸/۲۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۳ تن بر هکتار)، ۸/۸۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۷ تن بر هکتار)، ۹/۱۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۴ تن بر هکتار) و ۹/۱۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۵۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۹ تن بر هکتار)، ۱/۱۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۶ تن بر هکتار)، ۱/۴۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۵ تن بر هکتار) و ۱/۴۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۳ تن بر هکتار) افزایش عملکرد نسبت به دوره پایه گزارش می‌شود. کمترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ در دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ اتفاق خواهد افتاد.

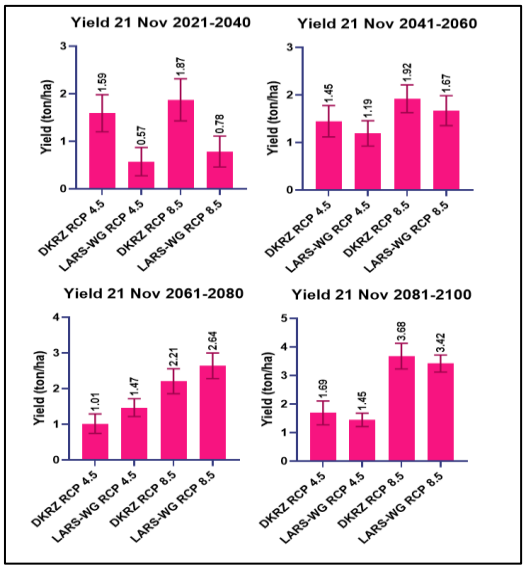
در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو۸/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۸/۴۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۸ تن بر هکتار)، ۹/۳۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۶ تن بر هکتار)، ۱۰/۳۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۵ تن بر هکتار) و ۱۱/۱۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۳ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۷۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۲ تن بر هکتار)، ۱/۶۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۱ تن بر هکتار)، ۲/۶۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۵ تن بر هکتار) و ۳/۴۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۹ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد پیش‌بینی می‌شود.

عملکرد گندم پاییزه- تاریخ کشت ٦ دسامبر (۱۵ آذر)

طبق نتایج مدل Aquacrop همانطور که در شکل ۹ نیز قابل مشاهده است، میانگین عملکرد گندم پاییزه دشت قزوین در دوره پایه در صورتی که کشت در تاریخ ۱۵ آذر انجام شود، برابر ۷/۵۸ تن بر هکتار با انحراف معیار ۰/۳۴ تن بر هکتار است. مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در هر چهار دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰، ۲۰۴۱–۲۰۶۰، ۲۰۶۱–۲۰۸۰ و ۲۰۸۱–۲۱۰۰، افزایش عملکرد گندم پاییزه را نسبت به عملکرد دوره پایه گزارش می‌کنند.



شکل ۷- عملکرد گندم پاییزه تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی در صورتی که تاریخ کشت ۳۰ آبان ماه در نظر گرفته شود



شکل ۸- تغییرات متوسط عملکرد گندم پاییزه دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ در صورتی که تاریخ کشت محصول ۳۰ آبان ماه در نظر گرفته شود

در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۹/۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۲ تن بر هکتار)، ۹/۰۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳ تن بر هکتار)، ۸/۵۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۵ تن بر هکتار) و ۹/۲۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۶ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۱/۶۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۸ تن بر هکتار)، ۱/۴۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۲ تن بر هکتار)، ۱/۰۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۵ تن بر هکتار) و ۱/۶۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد تخمین زده می‌شود (شکل ۱۰). در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۹/۴۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۵۲ تن بر هکتار)، ۹/۵۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۳ تن بر هکتار)، ۹/۷۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۱ تن بر هکتار) و ۱۱/۰۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۵ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۱/۸۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴۳ تن بر هکتار)، ۱/۹۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۹ تن بر هکتار)، ۲/۱۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۳ تن بر هکتار) و ۳/۴۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۴ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد این محصول در دوره پایه افزایش عملکرد پیش‌بینی می‌شود. بیشترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد.

در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۸/۱۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۱ تن بر هکتار)، ۸/۷۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۶ تن بر هکتار)، ۸/۹۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱۳ تن بر هکتار) و ۸/۹۷ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۱ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۵۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۸ تن بر هکتار)، ۱/۱۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۵ تن بر هکتار)، ۱/۴۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۳ تن بر هکتار) و ۱/۳۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۲ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد در دوره پایه، افزایش عملکرد گزارش می‌شود. کمترین عملکرد تحت شرایط اقلیمی حاصل از LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ اتفاق می‌افتد.

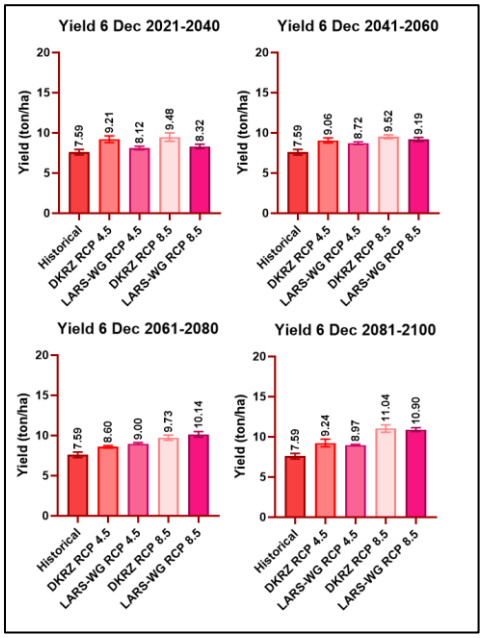
در شرایط اقلیمی متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین عملکرد گندم پاییزه به ترتیب دوره‌های ذکر شده برابر ۸/۳۲ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۷ تن بر هکتار)، ۹/۱۸ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۶ تن بر هکتار)، ۱۰/۱۴ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۴ تن بر هکتار) و ۱۰/۹ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۳ تن بر هکتار) خواهد بود. لذا ۰/۷۳ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۱ تن بر

هکتار)، ۱/۶ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳ تن بـر هکتـار)، ۲/۵۵ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۳۴ تن بر هکتار) و ۳/۳۱ تن بر هکتار (با انحراف معیار ۰/۲۹ تن بر هکتار) نسبت به عملکرد ایـن محصـول در دوره پایه افزایش عملکرد پیش‌بینی می‌شود.

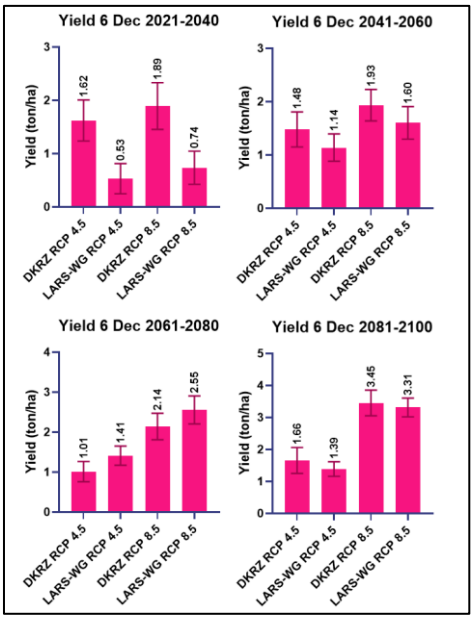
نتایج پژوهش کوچکی و کمالی (۱۳۸۹) نشان داد، عملکرد گنـدم دیم در مناطق دیم خیز کشور از جمله قزوین، در سـال‌هـای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۱۶ درصد و ۲۷ درصد نسبت به شرایط فعلی کـاهش خواهد داشت. اما طبق نتایج حاصل از پژوهش حاضر، در سـال ۲۰۲۵ در مناسب‌ترین تاریخ کشت برای افزایش عملکرد گندم که ۱۵ بهمن برآورد شد، طبق نتایج حاصـل از مـدل LARS-WG تحـت سـناریو ۴/۵، مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحـت سـناریو ۸/۵ بـه ترتیب ۸/۱۱ درصـد، ۱۰/۵۸ درصـد، ۲۳/۳۸ درصـد و ۲۶/۱۸ درصـد عملکرد نسبت به شرایط فعلی افزایش خواهد داشت. کم‌ترین عملکرد در دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ در تمـام مـدل‌هـا و سـناریوها، تحـت شـرایط اقلیمی مدل LARS-WG تحت سـناریو ۴/۵ در صـورتی کـه تـاریخ کشت ۱۵ مهر ماه انجام شود، برآورد می‌شود که مقدار آن برابر ۱/۸۲ تن بر هکتار با انحراف معیار ۰/۴۲ تن برهکتار اسـت کـه نسـبت بـه شرایط فعلی ۳۷/۷۵ درصد کاهش عملکرد را نشان می‌دهـد. در سـال ۲۰۵۰ در مناسب‌ترین تاریخ کشت برای افزایش عملکرد گندم که ۱۵ بهمن برآورد شد، طبـق نتـایج حاصـل از مـدل LARS-WG تحـت سناریو ۴/۵، مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵، پایگـاه اطلاعـاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحـت سـناریو ۸/۵ به ترتیب ۱۵/۶۵ درصد، ۲۱/۲۷ درصـد، ۲۲/۴۴ درصـد و ۲۸/۲۸ درصد عملکرد نسبت به شرایط فعلی افزایش خواهد داشت. کـم‌تـرین عملکرد در دوره ۲۰۴۱–۲۰۶۰ در تمـام مـدل‌هـا و سـناریوها، تحـت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ مهر ماه انجام شود، برآورد می‌شود کـه مقـدار آن برابر ۱/۳۴ تن بر هکتار با انحراف معیـار ۱/۱۵ تـن برهکتـار اسـت و ۵۳/۹۹ درصد کاهش عملکرد را نسبت به مقدار آن در شـرایط فعلـی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج ایـن بررسـی نشـان داد اگـر در دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ شـرایط اقلیمی مطابق مدل LARS-WG تحـت سـناریو ۴/۵ و ۸/۵ باشـد و کشت در تاریخ‌های ۱۵ مهر و ۱ آبان صـورت گیـرد، عملکـرد گنـدم پاییزه نسبت به مقدار آن در دوره پایه کـاهش خواهـد یافـت. در دوره ۲۰۴۱–۲۰۶۰ اگر کشت در تاریخ ۱۵ مهـر انجـام شـود، طبـق نتـایج حاصل از مدل LARS-WG و پایگـاه اطلاعـاتی DKRZ در هـر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵، عملکرد گندم پاییزه نسـبت بـه مقـدار آن در دوره پایه کاهش پیدا می‌کند. در ایـن دوره اگـر شـرایط اقلیمـی بـه ماننـد شرایط حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ باشد نیز، عملکرد گندم پاییزه نسبت به مقدار آن در دوره پایـه کـاهش خواهـد یافت.



شکل ۹–عملکرد گندم پاییزه تحت شرایط اقلیمی دوره پایه و میانگین مدل‌های گردش عمومی جو GCM در سناریو های ٤/٥ و ٨/٥، در ٤ بازه زمانی دوره آتی در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ آذر ماه در نظر گرفته شود



شکل ۱۰- تغییرات متوسط عملکرد گندم پاییزه دشت قزوین در ٤ بازه زمانی آتی و تحت شرایط اقلیمی سناریوهای ٤/٥ و ٨/٥ پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل LARS-WG، نسبت به شرایط اقلیمی پایه؛ در صورتی که تاریخ کشت محصول ۱۵ آذر ماه در نظر گرفته شود

در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ اگر کشت در تاریخ ۱۵ مهر انجام پذیرد و شرایط اقلیمی مطابق نتایج مدل LARS-WG تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ شود، عملکرد گندم پاییزه نسبت به مقدار آن در دوره پایه کاهش می‌یابد. به غیر از این گزارشاتی که گفته شد، اگر کشت در بقیه تاریخ‌ها صورت پذیرد، طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، در هر ۴ دوره آتی میانگین عملکرد نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین عملکرد در کل این دوره‌ها و مدل‌ها برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۸/۵ در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ آبان ماه انجام شود، پیش‌بینی می‌شود که مقدار آن برابر ۱۱/۷۱ تن بر هکتار با انحراف معیار ۰/۶۴ تن بر هکتار است. کمترین عملکرد نیز برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو ۸/۵ در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ مهر ماه انجام شود، گزارش می‌شود که مقدار آن برابر ۱/۳۴ تن بر هکتار با انحراف معیار ۱/۱۵ تن بر هکتار است.

در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، تاریخ ۱۵ بهمن ماه (۴ فوریه)، در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، تاریخ ۱۵ بهمن (۴ فوریه)؛ در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تاریخ ۱۵ بهمن (۴ فوریه) و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تاریخ ۱ آبان (۲۳ اکتبر) به عنوان مناسب‌ترین تاریخ کشت در این دوره‌ها، به منظور افزایش عملکرد گندم در دشت قزوین توصیه می‌شود.

منابع

جناب، م.، نظری، ب. ۱۳۹۷. برآورد تفاوت عملکرد و بهره وری آب گندم بین وضعیت موجود و مطلوب در استان قزوین با استفاده از پروتکل.GYGA پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب) ۳۲.

دریجانی، ع.، حسینی، س، ص.، قربانی، م. ۱۳۹۷. برآورد ارزش خسارت ناشی از خشکسالی بر تولید گندم دیم در استان گلستان. اقتصاد کشاورزی و توسعه ۱۶ (۶۴). موسسه پژوهش های برنامه ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی: ۸۳-۹۵.

سلیمانی نژاد، س.، دوراندیش، آ.، صبوحی، م .، بنایان اول، م. ۲۰۱۹. اثرات تغییر اقلیم بر الگوی کشت محصولات زراعی (مورد مطالعه: دشت مشهد). تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران: ۲۴۹-۶۳. doi:10.22059/ijaedr.2019.237998.668461 .

حاجیوند پایداری، س.، یزدان پناه، ح.، اندرزیان، ب. ۱۴۰۱. بررسی اثرات منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم در شمال استان خوزستان با بهره‌گیری از مدل HadCM3 تحت ریز مقیاس نمای LARS-WG در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۰ و ۲۰۵۰-۲۰۳۰. جغرافیا و روابط انسانی. Doi: 10.22034/GAHR.20220330821.1669.

حشمتی، س.، رمضانی اعتدالی، ه.، ۱۴۰۰. پیش‌بینی وضعیت خشکسالی در دوره‌های آتی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی استان کرمانشاه). آمایش سرزمین. Doi:

10.22059/jtcp.2021.332432.670263

عباسی، ف.، احترامیان،ک.، خزانه داری، ل.، محمد نیا قرایی، س.، اثمری، م. ۱۳۹۲. مکان‌یابی مناسب‌ترین مناطق کشت گندم دیم(مطالعه موردی: استان خراسان شمالی). پژوهش های اقلیم شناسی ۱۳۹۲ (۱۳).

عزیزی، ز. ع.، شهابی فر، م، پاک نیاز، ع.، رضوی، ر.، غالبی، س.، پیری، ر.، طلوعی، ر.، تبریزی، س. ۱۳۹۳. ارزیابی کارایی مصرف آب گندم در ایران و جهان.

عظیمی دزفولی، س.ع. ا. ۱۳۹۹. برآورد مصرف آب در محصولات زراعی– درآمدی بر حسابداری آب کشاورزی. مجله *آب و توسعه پایدار* ۶ (۳). موسسه پژوهش های برنامه ریزی اقتصادکشاورزی و توسعه روستایی: ۳۱–۴۰ . doi:10.22067/jwsd.v6i3.84407.

علیزاده، ح. ع.، نظری،ب.، پارسی نژاد، م.، رمضانی اعتدالی، ه. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل Aqua Crop در مدیریت کم آبیاری گندم در منطقه کرج. سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. اهواز.

علیجانی، ف.، کرباسی، ع.، مظفری مسنن، م. ۱۳۹۷. بررسی اثر درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم آبی ایران. اقتصاد کشاورزی و توسعه ۱۹ (۷۶). موسسه پژوهش های برنامه ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی. ۱۴۳–۶۷.

فکاری سردهایی، ب .، شاه نوشی فروشانی، ن .، محمدی، ح. ۱۳۹۹. آینده پژوهی گندم ایران. *اقتصاد کشاورزی* ۱۴ (۱): ۲۷–۴۹.

قاسمی مهام، س.، ترابی، ب.، دادرسی، ا.، ۱۳۹۷. مدلسازی رشد و عملکرد گندم پاییزه در استان همدان. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۳: ۱۸۶–۱۹۹.

قالیباف، م. ب .، پیشگاهی فرد، ز.، افضلی، ر.، حسینی، س. م . ۲۰۱۶. تحلیلی ژئوپلیتیکی بر محصول‌های راهبردی کشاورزی ایران (مطالعهٔ موردی: گندم). پژوهشهای جغرافیای انسانی ۴۸ (۱). . doi:10.22059/jhgr.2016.51495

کوچکی، ع.، ک، غ. ۱۳۸۹. تغییر اقلیم و تولید گندم دیم در ایران. پژوهش‌های زراعی ایران ۸ (۳): ۵۰۸–۵۲۰.

محمدی، م.، داوری،ک.، قهرمان، ب .، انصاری، ح.، حق وردی، ا . ۲۰۱۵. واسنجی و صحت سنجی مدل AquaCrop برای شبیه سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. پژوهش آب در کشاورزی ۲۹ (۳): ۲۷۷–۹۵.

Akumaga, U., Tarhule, A., Yusuf, A. 2017. Validation and testing of the FAO AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rainfed maize in Nigeria, West Africa. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.08.011.

Behera, S. K., and R, K. Panda. 2009. Integrated Management of Irrigation Water and Fertilizers for Wheat Crop Using Field Experiments and Simulation Modeling. *Agricultural Water Management* 96 (11): 1532–40. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.016.

FAO. 2012a. Coping With Water Scarcity - An Action Framework For Agriculture And Food Security. FAO Water Reports 38.

Hochman, Zvi, David Gobbett, Dean Holzworth, Tim McClelland, Harm van Rees, Oswald Marinoni, Javier Navarro Garcia, and Heidi Horan. 2013. "Reprint of Quantifying Yield Gaps in Rainfed Cropping Systems: A Case Study of Wheat in Australia." *Field Crops Research* 143. Elsevier: 65–75.

Kumar, P, A Sarangi, D K Singh, and S S Parihar. 2014. "Evaluation of AquaCrop Model in Predicting Wheat Yield and Water Productivity under Irrigated Saline Regimes." *Irrigation and Drainage* 63 (4). Wiley Online Library: 474–87.

Salemi, H., Mohd Soom, M.A., Lee, T.S., and Mousavi, S.F., Ganji, A., And, and M. KamilYusoff. 2011a. Application of AquaCrop Model in Deficit Irrigation Management of Winter Wheat in Arid Region. *African Journal of Agricultural Research* 610: 2204–15.

Semonov, M. A., Stratonovith, P., (2010). Use of multi-model ensembles from global models for assessment of climate change impacts. J. Climate Research. Vol. 41.2010.p.1-14.

Semenov, M. A., (2008). Simulation of Extreme Weather Events by a Stochastic Weather Generator. *Climate Research* 35 (3): 203–12.

Steduto, Pasquale, Theodore C Hsiao, Dirk Raes, and Elias Fereres. 2009. "AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles." *Agronomy Journal* 101 (3). Wiley Online Library: 426–37.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., and Fereres, E. 2009. AquaCrop-the FAO Crop Model for Predicting Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agronomy Journal* 101: 438–47.

Ranjbar, A., Rahimikhoob, A., Ebrahimian, H. 2019. Assesment of the AquaCrop model for simulating maize response to different Nitrogen stresses under semi-arid climate. DOI: 10.1080/00103624.2019.1689254

Van-Ittersum, M, K., cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relrvance- A review.

Journal Elsevier .143(2013)4-17.

Williams, A G. 1991. Modeling Future Climates: From GCMs to Statistical Downscaling Approaches. *University of Toronto at Scarborough, 56p*.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 979-995

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۹۹۵-۹۷۹

Effect of Planting Dates on Autumn Wheat Yield under Climate Change condition

F. Borzoo[1], H. Ramezani etedali[2*], A. Kaviani[3]
Recived: Jun.06, 2023 Accepted: Aug.19, 2023

Abstract

Agricultural production vulnerable to damage due to climate changes. Effect of these changes on the annual rainfall, temperature and consequently in agricultural production isn't negligible. It is necessary to estimate climate change in the future and management plantation and irrigation in agriculture in line with it. In this study, the effects of climate change and plantation on different dates, Yield, cultivation period autumn wheat types in Qazvin plain were studied. This study was conducted in the period 2021-2100 by comparing the two information sources LARS-WG and DKRZ in the production of annual climate change data and using the AquaCrop model in simulating the plant's response to the mentioned changes. In the periods 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 and 2081-2100, the most suitable dates were studied to increase the wheat yield and reduce other variables. According to the results obtained from the climate conditions LARs-WG model and DKRZ database under release scenarios 4.5 and 8.5 in each 4 future period the average yield will increase compared to the base period. The highest performance in all these periods and models is for period 2081-20100 under climate conditions DKRZ database in scenario 8/5, in the event that the planting date is Novmber 6 , it is prediction that its amount is equal to 11.71 tons per hectare with standard deviation of 0.64 tons per hectare. The lowest performance is also for the period of 2041-2060 under climate condition DKRZ database in scenario 8.5, in the event that the planting data was October 7, it is reported that its amount is equal to 1.34 tons per hectare with standard deviation of 1.15. In the periods of 2021-2040, 2041-2060and 2061-2080 of February 4 and in the period 2081-2100 of October 23 is recommended as the most appropriate date in these periods in order to increase the yield of wheat in the Qazvin plain.

Keywords: AquaCrop, Autumn wheat, Climate change, DKRZ, LARS-WG, planting date

1- MS.c Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Assocaited. Professor, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3- Assocaited. Professor, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

(*- Corresponding Author Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)