

ارزیابی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی (مطالعه موردی: ورامین)

سعید شیوخ سوغانلو^۱، محمد موسوی بایگی^{۲*}، بنیامین ترابی^۳، محمود رائینی سرجاز^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

چکیده

به منظور بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (CRBD) در ۳ تکرار با پنج تیمار آزمایشی شامل؛ [کشت معمول منطقه در شرایط بدون تنش (شاهد) (T1)، تنش در مرحله چکمه‌ای (T2)، تنش در مرحله گلدهی (T3)، تنش در مرحله شیری شدن (T4)، و تنش در مرحله خمیری شدن (T5)]، در شهرستان ورامین انجام شد. در این پژوهش شبیه‌سازی اقلیم آینده، با بهره‌گیری از مدل گردش عمومی HadGEM تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ (۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۶۹-۲۰۴۰)، توسط مدل AgMIP با استفاده از داده‌های اقلیمی بلند مدت مربوط به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹) صورت گرفت. همچنین برای شبیه‌سازی رشد و نمو گندم از مدل SSM-Wheat استفاده شد. بر پایه یافته‌ها، فراسنجه‌های دمای کمینه و بیشینه در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 افزایش یافت. در حالی که میزان بارش در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 به ترتیب ۹/۴ و ۲۱ درصد افزایش یافت. ولی تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب ۱/۹ و ۲/۸ درصد کاهش یافت. رخداد تنش خشکی باعث کوتاه شدن طول دوره مراحل فنولوژیک از جمله؛ تعداد روز تا گلدهی، رسیدگی و طول دوره پر شدن دانه در شرایط تغییر اقلیم شد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین کاهش میزان ماده خشک مربوط به شرایط رخداد تنش در مرحله چکمه‌ای در دوره ۲۰۵۵ با ۴ درصد و بیشترین کاهش عملکرد در مرحله گلدهی با ۱۰/۲ درصد در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP4.5 دیده شد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، تنش خشکی، سناریو اقلیمی، مدل AgMIP، مراحل فنولوژیک

مقدمه

۰/۷۸ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت (Joireman et al., 2010). فعالیت‌های انسانی برای تامین رفاه و نیاز خود، موجب افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای شده است. که پیامد آن بروز تغییراتی گسترده و شگرف در آب و هوای جهان خواهد شد (Baziarpur et al., 2020). حال این تغییرات با توجه به ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه از کره زمین، ممکن است اثرات مثبت (مناطق واقع در عرض‌های شمالی بالاتر از

امروزه طیف گسترده‌ای از صاحب‌نظران، دانشمندان و پژوهشگران حوزه علوم جوی، به ارزیابی و چگونگی رخداد تغییر اقلیم و پیامدهای آن پرداخته‌اند، تا بدین صورت اهمیت توجه به پدیده تغییر اقلیم بیش از پیش نمایان گردد. بنابه گزارش‌های هیات بین‌الدول تغییر اقلیم^۵ از سده نوزدهم تا به حال حاضر، دما در سطح خشکی و آب در کره زمین ۰/۴ تا

^۳ دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۴ استاد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۵ Intergovernmental Panel Climate Change

^۱ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ استاد هواشناسی کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*نویسنده مسئول: mousavib@um.ac.ir)

نحوه ارجاع مقاله:

شیوخ سوغانلو، س.، موسوی بایگی، م.، ترابی، ب.، رائینی سرجاز، م. ۱۴۰۰. ارزیابی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی (مطالعه موردی: ورامین). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۹(۲): ۱۵-۲۸. DOI: 10.22125/agmj.2021.297373.1121

Shiukhy-Sughanlu, S., Mousavi-Baygi, M., Torabi, B., Raeini-Sarjaz, M. 2021. Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin). Journal of Agricultural Meteorology, 9(2): 15-28. DOI: 10.22125/agmj.2021.297373.1121

بنابراین اثر خالص تغییر اقلیم بر عملکرد، به اثرات متقابل بین این عوامل بستگی دارد (Krishnan et al., 2018). رشد و عملکرد گیاهان زراعی در شرایط اقلیم معمول به میزان زیادی به وسیله شرایط آب و هوایی در طی فصل رشد تعیین می‌شود. حتی تغییرات بسیار اندک شرایط اقلیمی نسبت به وضع معمول بر توان تولیدی گیاهان زراعی اثرات شگرف خواهد داشت (Tao et al., 2014). بنابراین پیش‌بینی مقدار و الگوی بارش و عملکرد در آینده از اهمیت بیشتری نسبت به شرایط فعلی برخوردار خواهند بود (Ludwig and Asseng, 2006). تا کنون مطالعات بسیاری در زمینه اثرگذاری تغییر اقلیم بر محصولات گیاهی در سرتاسر نقاط مختلف جهان انجام شده است که می‌توان به (Gantulukua et al., 2020; Raza et al., 2019; Yang et al., 2019; Koochaki and Nasiri Mahlati., 2012) اشاره کرد. پاسخ گیاهان به شرایط تنش خشکی، ارتباط تنگاتنگی با ویژگی‌های منطقه مورد بررسی و نوع گیاه دارد (Mohammadi et al., 2020). گندم یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی شناخته شده در جهان می‌باشد. که به‌عنوان یک محصول راهبردی با ارزش و دارای سطح انرژی بالا، اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است (Baygi et al., 2018). تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدود کننده رشد و نمو گندم است که از جدی‌ترین تهدیدها برای تولید گیاهان زراعی دانه‌ای بویژه در ایران به‌شمار می‌رود. از طرفی، گستره‌ی کلانی از مناطق ایران دارای اقلیم اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و خشکسالی - های اخیر نیز بر مشکل کم‌آبی افزوده است (Zali et al., 2020). توزیع نامناسب بارندگی‌ها و توقف بارش‌ها پیش از کامل شدن رشد و نمو گندم، باعث می‌شود که در مراحل رشد رویشی و زایشی، تحت تأثیر تنش میانی و انتهایی دوره رشد قرار گیرد. لذا با توجه به محدودیت منابع آب، یکی از راهکارهای مناسب و منطقی برای سازگاری با خشکی، می‌تواند تغییر الگوی کشت به سمت گیاهان سازگار به خشکی باشد (Mahmoudi and Afkari., 2020). Basal and Szabo, (2020) نشان دادند که، تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های گندم مانند ارتفاع، شاخص سطح برگ و میزان سبزی‌نگی تأثیر منفی گذاشت. (Athar Hussain et al., 2019) به بررسی

۵۵ درجه) و اثرات منفی (مناطق گرم و خشک واقع در عرض‌های میانی) را در پی داشته باشد و گاه‌ها در برخی مناطق تغییرات چندانی مشاهده نشود (Eyni-Nargeseh et al., 2020; Mohammadi et al., 2015). هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در آخرین گزارش خود، نقش افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای بویژه دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن در افزایش گرمایش جهانی و تغییر اقلیم از نیمه سده بیستم را، بسیار چشمگیر و حائز اهمیت قلمداد نموده است (Eyni-Nargeseh et al., 2015). تغییر اقلیم به هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی اطلاق می‌شود که، در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ بدهد (IPCC, 2007). از اینرو پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم در تمامی کشورهای جهان چه پیشرفته و چه در حال توسعه، وابستگی بسیار زیادی به وضعیت اقلیمی دارد، بطوری که تغییرات آن بر بسیاری از بخش‌های اقتصادی، کشاورزی، اجتماعی و غیره اثر گذار خواهد بود. که در این میان، بخش کشاورزی حساس‌تر و آسیب‌پذیرتر می‌باشد (Ghorbani and Soltani, 2014). Ranuzzi and Srivastava, (2012) اظهار داشتند که در صورت وجود دامنه خاصی از متغیرهای اقلیمی نظیر دما، زمینه لازم برای دستیابی به عملکرد مطلوب گیاهان را فراهم می‌سازد. لذا رخداد تغییر اقلیم می‌تواند این دامنه را تحت تأثیر قرار داده و عملکرد گیاهان را دچار تغییرات قابل توجهی نماید. (Saunders 1999) بیان نمود که افزایش دما به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد در طول یک دهه، اثرات چشمگیری را به دنبال خواهد داشت که با خروجی پیش‌بینی برخی مدل‌های اقلیمی مبنی بر افزایش ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش دما در آینده، همسو می‌باشد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، به‌تنهایی افزایش فتوسنتز و در نتیجه عملکرد بیشتر را برای اغلب گیاهان زراعی به‌همراه خواهد داشت (Austin et al., 2020). افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی و کاهش میزان بارش، اثرات سودمند افزایش دی‌اکسید کربن را خنثی خواهد کرد. در واقع جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم، اثرات متفاوتی را بر تولید و عملکرد گیاهان زراعی ایجاد خواهد کرد و این عوامل در ترکیب با یکدیگر ممکن است افزایش یا کاهش محصول را موجب شوند.

(2014). بنابراین با توجه به رخداد تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن در کشور ایران و اهمیت نوع پاسخ گیاهان زراعی برای سازگاری با شرایط تغییر اقلیم، مطالعه و بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم در هر منطقه و نوع گیاه امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. لذا هدف از این پژوهش اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محل و نحوه انجام آزمایش

شهرستان ورامین دارای طول و عرض جغرافیایی به ترتیب $51^{\circ}64' E$ و $35^{\circ}32' N$ است، که شرایط آب و هوایی آن براساس طبقه‌بندی اقلیمی در سیستم دوماستن، خشک سرد می‌باشد. این منطقه دارای ارتفاع $1190/8$ متر بالاتر از سطح دریا، میانگین دمای سالانه بلند مدت $17/3$ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه بارندگی بلند مدت 210 میلی‌متر می‌باشد. شرایط آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره‌ی رشد و نمو گندم در جدول ۱ ارائه شد. به منظور بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (CRBD) در ۳ تکرار با پنج تیمار آزمایشی شامل؛ [کشت معمول منطقه در شرایط بدون تنش (شاهد) (T1)، تنش در مرحله چکمه‌ای^۱ (T2)، تنش در مرحله گلدهی^۲ (T3)، تنش در مرحله شیرری شدن^۳ (T4)، و تنش در مرحله خمیری شدن^۴ (T5)]، در شهرستان ورامین انجام شد. لازم به ذکر است که در هر یک از مراحل فنولوژیکی ذکر شده، تنش خشکی با توقف آبیاری در هر مرحله اعمال شد و با پایان هر مرحله، آبیاری تا انتهای دوره رشد ادامه پیدا کرد.

مدل اقلیمی، سناریوها و جمع‌آوری اطلاعات

در بیشتر مطالعات در مقیاس منطقه‌ای که با هدف بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان بویژه گیاهان زراعی دانه‌ای انجام شده‌اند، چگونگی شرایط اقلیمی آینده نقش بسیار حائز اهمیتی را ایفا می‌کند. بنابراین مدل‌های گردش عمومی^۵ آبیاری کارآمد در برآورد شرایط اقلیم آینده شناسایی

اثرات متقابل تنش خشکی و گرما بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد، جذب عناصر غذایی و وضعیت اکسیداتیو در هیبریدهای گندم پرداختند. نتایج نشان داد که وقوع همزمان تنش خشکی و گرما تاثیر شدیدتری بر رشد و نمو گندم نسبت به تنش جداگانه خشکی یا گرما داشت. با این حال در هر دو تنش، انباشت متابولیت‌ها و پاد اکساینده‌ای آنزیمی و غیر آنزیمی، باعث جلوگیری از تنش اکسیداتیو می‌شوند. (Ma et al., 2020) در بررسی پاسخ گیاه به تنش خشکی اظهار داشتند که، پاسخ گیاهان به شرایط تنش بسیار پیچیده است و به عوامل دیگری مانند گونه و ژنوتیپ، سن و اندازه گیاه، میزان رشد و همچنین شدت و مدت تنش بستگی دارد. بر پایه یافته‌های (Saeidi and Abdoli 2015) رخداد تنش خشکی در مراحل گلدهی تا پر شدن دانه، تاثیر بسیار محسوسی بر عملکرد دانه و شاخص برداشت داشت. به‌طوریکه اثرگذاری تنش خشکی در مرحله پس از گلدهی، نمود قابل توجه‌تری داشت. (Mehraban et al., 2019) عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف گندم در شرایط رخداد تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش، دستخوش تغییرات بارزی در ارتفاع گیاه، عملکرد دانه و طول دوره‌ی پر شدن دانه شد. (Francia et al., 2013) دلیل کاهش عملکرد و اجزای عملکرد را کمبود آب در طی مراحل مختلف رشد و نمو گندم گزارش کردند. امروزه با توجه به سرعت گسترش مدل‌های کامپیوتری بویژه در بخش کشاورزی می‌توان از مدل‌های رشد گیاهی به‌عنوان ابزاری مناسب، به‌منظور دستیابی به درک صحیح از نحوه تغییرات عملکرد تولید، بر اساس تغییرات نهادها و عوامل محیطی استفاده کرد (Paknejad et al., 2017). تعیین راهکارهای بهینه به‌زراعی و به‌نژادی مبتنی بر تحقیقات و آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌باشد. لذا صرف هزینه و انرژی زیاد به‌همراه زمان بر بودن آن‌ها، سبب بروز مشکلات فراوانی می‌شود. مدل‌های شبیه‌سازی رشد با در نظر گرفتن اثرات پیچیده عواملی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و فاکتورهای مدیریتی بر عملکرد گیاه سبب کاهش هزینه‌ها و زمان در مقایسه با تحقیقات مزرعه‌ای می‌شوند (Delghandi et al.,

⁴ Doughing stage

⁵ Global Circulation Model (GCM)

¹ Booting stage

² After flowering

³ Milky stage

بارش اقلیم آینده به اقلیم پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹) یک مدل گردش عمومی است، ولی عامل تغییر برای بارش حاصل نسبت بارش بین این دو شرایط است. برای واسنجی و اعتبار مدل با مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی (مشاهده شده) از نمایه‌های گوناگونی برای ارزیابی تفاوت میان آن‌ها استفاده می‌شود. در این پژوهش با بهره‌گیری از نمایه ریشه میانگین مربعات خطا^۱، ارزیابی تفاوت داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی صورت گرفت.

مدل شبیه‌سازی رشد و نمو و عملکرد گندم SSM

برای شبیه‌سازی اثرات تغییرات اقلیم بر گیاه گندم از مدل SSM-Wheat استفاده خواهد شد (Soltani and Sinclair, 2012). این مدل رشد، نمو و عملکرد را به صورت روزانه به عنوان تابعی از شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک و مدیریت زراعی (رقم، تاریخ کاشت، تراکم بوته، رژیم آبیاری) شبیه‌سازی می‌کند. این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک، گسترش و پیری برگ، تاثیر خشکی هوا، شوری و CO₂ بر تولید ماده خشک، توزیع ماده خشک، تاثیر دماهای آستانه (دماهای بالا و پایین) بر سطح برگ، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد (Soltani and Sinclair, 2011). داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای اجرای مدل گیاهی و آب و هوایی شامل؛ دمای کمینه و بیشینه، بارش و ساعت آفتابی از ایستگاه همدیدی ورامین برای دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۰) تهیه شد. لازم به ذکر است که از دمای کمینه و بیشینه برای محاسبه دمای موثر استفاده خواهد داشت و مستقیماً مورد استفاده قرار نمی‌گیرند (Ghorbani and Soltani, 2014). همچنین از داده‌های ساعت آفتابی برای محاسبه تابش خورشیدی حسب (MJ.m⁻².d⁻¹)، از رابطه آنگستروم استفاده شد، به این دلیل که در بسیاری از ایستگاه‌های همدیدی تابش خورشیدی به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود (Zinali Mobarakeh et al., 2019). در این شبیه‌سازی متوسط مقدار CO₂ برای دوره گذشته ۳۶۰ ppm، برای دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۴۲۳ ppm و ۴۳۲ ppm و همچنین برای دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۴۹۹ ppm

و به‌کار گرفته شده‌اند. در این پژوهش شبیه‌سازی اقلیم آینده، از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES استفاده شد. این مدل با پیکربندی Earth-System توسط مرکز اداره هواشناسی هادلی انگلیس ساخته شده است و برای پروژه CMIP5 استفاده می‌شود. HadGEM2-ES اولین مدل مرکز اداره هواشناسی هادلی انگلیس است که سیستم زمین به طور استاندارد در آن گنجانده شده است. این مدل برای پیش‌بینی‌های اقلیم آینده از خصوصیات اجزای سیستم زمین شامل چرخه کربن زمینی و اقیانوسی، شیمی تروپوسفریک و روابط متقابل بین آن‌ها استفاده می‌کند. بدلیل عدم قطعیت و تردید در روند انتشار گازهای گلخانه‌ای، سناریوهای اقلیمی در بازه‌های مختلف در ارزیابی اثرگذاری تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش از دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ (۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۶۹-۲۰۴۰)، استفاده شد. سناریوهای انتشار بر اساس واداشت تابشی پیش‌بینی شده تا سال ۲۱۰۰ پایه‌گذاری شده‌اند که به نماینده خط سیر غلظت (RCP) معروف هستند. این سناریوها از گزارش ارزیابی پنجم IPCC حاصل شده‌اند. هر یک از سناریوهای انتشار تقریبی از واداشت خالص تابشی در سال ۲۱۰۰ را نشان می‌دهند. تغییرات در رشد جمعیت آینده، توسعه فناوری و سیاست بین‌المللی که ممکن است بر انتشار گازهای گلخانه‌ای تاثیر بگذارد، سناریوها را هدایت می‌کند. در RCP8.5 افزایش گازهای گلخانه‌ای در غیاب سیاست‌های تغییر اقلیم، به شدت افزایش خواهد یافت و میزان واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ به ۸/۵ وات بر مترمربع و غلظت CO₂ به حدود ۹۵۰ ppm خواهد رسید و این روند به صورت افزایشی ادامه خواهد داشت (Riahi et al., 2011). در سناریو RCP4.5 میزان واداشت تابشی ۴/۵ وات بر مترمربع و غلظت CO₂ نیز حدود ۵۴۰ ppm در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید (Wayne., 2013). برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی از ابزارهای تولید سناریوی اقلیمی AgMIP مبتنی بر روش دلتا (عامل تغییر) استفاده شد. روش دلتا یا عامل تغییر یکی از ساده‌ترین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل‌های گردش عمومی است. برای دما عامل تغییر اختلاف بین شبیه‌سازی

¹ Root Mean Squared Error (RMSE)

(۲۰۰۹-۱۹۸۰) در جدول ۱ ارائه گردید. بر پایه یافته‌ها، دمای کمینه در سناریو RCP4.5 در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ به ترتیب ۱/۱ و ۲/۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه، افزایش نشان داد. در حالی که دمای کمینه در سناریو RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ به ترتیب ۱/۵ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. تغییرات دمای بیشینه در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ به ترتیب ۱/۸ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه، تحت سناریو RCP4.5 افزایش یافت. این در حالی بود که دمای بیشینه در سناریو RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ به ترتیب ۲/۱ و ۴/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان داد.

Table 1- The variation of Tmax, Tmin, and Rainfall variables during 2025-2050 period under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios compared to baseline period

جدول ۱- بررسی تغییرات فراسنج‌های دمای کمینه، بیشینه و بارش شبیه‌سازی شده در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت دو سناریو RCP و RCP8.5 نسبت به دوره پایه

Scenarios	Time Period	Parameter		
		Tmin (°C)	Tmax (°C)	Rain (mm)
-	Baseline	11.1	24.9	155.6
RCP 4.5	2025 (2010-2039)	12.2	26.7	170.3
	2055 (2040-2069)	13.4	28.1	152.8
RCP 8.5	2025 (2010-2039)	12.6	27.0	188.4
	2055 (2040-2069)	14.3	29.2	151.3

در واقع می‌توان اینگونه اظهار داشت که میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP8.5، نسبت به دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP4.5 بیشتر بود و سناریوی RCP8.5 افزایش دمای بیشتری را پیش‌بینی کرد (شکل ۱). یافته‌های بدست آمده از این پژوهش با نتایج Zinali et al, (2019) مبنی بر افزایش دما تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه، همسو بود. ارزیابی تغییرات فراسنج بارش مشابه فراسنج‌های دمای کمینه و بیشینه نبود و تفاوت‌های قابل توجهی در آن مشاهده شد. به‌طوریکه در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریو

۵۷۱ppm در نظر گرفته شد. در پایان برای اجرای نهایی مدل شبیه‌سازی رشد و نمو گندم، دیگر داده‌های ورودی مورد نیاز از جمله (ضرایب ژنتیکی رقم مهرگان، تاریخ کاشت ۱۰ مهر و تراکم ۳۰۰ بوته در متر مربع) و ویژگی‌های خاک در آغاز رشد، در مدل وارد شد. در نهایت پس از اجرای مدل، اطلاعات خروجی‌های مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کمی‌سازی اثر تنش آب

در برخی مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی، اثرگذاری تنش آب بر فرآیندهای رشد و نمو با محاسبه ضرایب اصلاحی که بین صفر و یک دامنه خاصی هستند، لحاظ می‌شود. در این پژوهش اثر تنش خشکی بر فرآیندهای مختلف گیاهی با محاسبه ضرایب اصلاحی^۱ WSFL (ضریب اصلاحی برای گسترش سطح برگ) و WSFG^۲ (ضریب اصلاحی برای تعرق و تولید ماده خشک که در واقع تاثیر بر بسته شدن روزنه‌ها را نشان می‌دهد)، شبیه‌سازی شد. این ضرایب اصلاحی به کسر آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه گیاه (FASW) ارتباط داده می‌شوند. مقادیر WSFL و WSFG در شرایطی که FASW بیشتر از یک حد خاص باشد، افزایش یافته تا به عدد یک برسند. با کاهش FASW به کمتر از این حد، هر دو ضریب اصلاحی کاهش می‌یابند و در FASW = 0، به صفر می‌رسند.

$$WSFL = 1 \text{ if } FASW \geq WSSL$$

$$WSFL = FASW / WSSL \text{ if } FASW < WSSL$$

(۱)

$$WSFL = 1 \text{ if } FASW \geq WSSL$$

$$WSFL = FASW / WSSL \text{ if } FASW < WSSL$$

(۲)

در معادلات بالا WSSL مقداری از FASW است که در کمتر از آن (WSSL = 0.4) گسترش سطح برگ رو به کاهش می‌گذارد و WSSG نیز مقداری از FASW است که در کمتر از آن (WSSG = 0.3) روزنه‌ها شروع به بسته شدن کرده و در نتیجه تولید ماده خشک کاهش می‌یابد.

نتایج و بحث

تغییرات فراسنج‌های شبیه‌سازی شده

نتایج ارزیابی تغییرات فراسنج‌های دمای کمینه، بیشینه و بارش شبیه‌سازی شده در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه

² Water stress factor for growth (dry matter production)

¹ Water stress factor for leaf area development

دوره‌های اقلیمی آینده ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با فصل رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ نتایج کاملاً متفاوتی را در بر داشت (جدول ۲). در این راستا، تعداد روز تا مرحله گلدهی در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP4.5 نسبت به سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۱۹، کاهش یافت. در این دوره، تعداد روز تا مرحله گلدهی تحت سناریو RCP4.5 (۱۸۱ روز) و در سناریو RCP8.5 (۱۷۵ روز) مشاهده شد. در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، کاهش تعداد روز تا مرحله گلدهی بسیار قابل توجه و چشمگیر بود. به طوری که در این دوره تعداد روز تا مرحله گلدهی از (۱۸۴ روز) در طول سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۱۹، به (۱۶۳ روز) در سناریو RCP4.5 و (۱۵۱ روز) در سناریو RCP8.5 کاهش یافت. در واقع می‌توان اینگونه بیان کرد که کاهش تعداد روز تا مرحله گلدهی گندم آبی رقم مهرگان، در دوره ۲۰۵۵ بسیار بیشتر از دوره ۲۰۲۵، و در سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 شدیدتر شد (جدول ۲). با توجه به نتایج جدول ۲، پیش‌بینی می‌شود که طول دوره پر شدن دانه (شروع تا پایان پر شدن دانه) در دوره‌های آینده تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۱۹، کاهش یابد. طول دوره پر شدن دانه در فصل رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ (۲۷ روز)، و در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP4.5 به ترتیب ۲۵ و ۳۰ روز بود و اختلاف چندان زیادی (۲ تا ۳ روز) وجود نداشت. اما در هر دو دوره تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب با ۲۵ و ۳۵، اختلاف بیشتری مشاهده شد. بیشترین اختلاف طول دوره پر شدن دانه (۸ روز) مربوط به دوره ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP8.5 در مقایسه با فصل رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ بود (جدول ۲). تعداد روز تا رسیدگی نیز روندی مشابه با شمار پس از کاشت تا گلدهی و طول دوره پر شدن دانه داشت. به طوری که در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تعداد روز تا رسیدگی به ترتیب ۱۰ و ۱۴ روز کاهش یافت. این در حالی بود که در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تعداد روز تا رسیدگی به ترتیب ۱۹ و ۲۷ روز کاهش می‌یابد. افزایش دما در طول دوره رشد موجب تسریع در رشد و گلدهی می‌شود، که در نهایت کاهش روز از کاشت تا گلدهی و در نهایت رسیدگی دانه در

RCP4.5، به ترتیب ۹/۴ و ۲۱ درصد افزایش بارش نسبت به دوره پایه نشان داد. در حالی که در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP8.5، به ترتیب با ۱/۹- و ۲/۸- درصد کاهش بارش، نسبت به دوره پایه همراه بود. در برخی مطالعات بر افزایش دما به مقدار ۳/۵ تا ۳/۹ در آینده تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 اشاره شده است (Koochaki and Nasiri Mahalati, 2008; Wang et al., 2017). نتایج Khaliliaghdam et al, (2016) نیز حاکی از افزایش دمای کمینه و بیشینه به ترتیب با مقادیر ۰/۷۳ و ۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش از ۱/۲ به ۰/۹۸ میلی‌متر در سال، در شرایط اقلیم آینده نسبت به شرایط اقلیمی گذشته در منطقه ارومیه بود. همسنگی این نتایج با یافته‌های بدست آمده از این پژوهش مبنی بر افزایش دما و کاهش بارش در آینده نسبت به دوره پایه، مطابقت داشت. این در حالی بود که Xiao et al, (2018) هم روند میانگین دمای روزانه و هم بارش را تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در آینده در چین، را افزایشی گزارش کردند.

مراحل فنولوژیک

ارزیابی شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک گندم آبی رقم مهرگان در طول دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ در شرایط تنش خشکی با استفاده از مدل SSM، بیانگر آن بود که مدل به خوبی و با دقت بسیار بالا و قابل پذیرش، قادر خواهد بود که مراحل فنولوژیک را شبیه‌سازی کند. همچنین مقادیر شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و آماره ضریب تغییرات (CV) در مرحله گلدهی (RMSE=۴/۴ و CV=۲/۴) و رسیدگی دانه (RMSE=۴/۸ و CV=۲/۲)، موید توانایی مدل SSM در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی بود. نتایج حاصل از پیش‌بینی مراحل فنولوژیک گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۱۹، در جدول ۲ ارائه گردید. بر پایه یافته‌ها، در سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۱۹، میان تیمارهای آزمایشی تفاوت چندانانی در تعداد روز تا مراحل گلدهی، رسیدگی و طول دوره پر شدن دانه گندم آبی رقم مهرگان مشاهده نشد. این در حالی بود که مقایسه

به همراه خواهد داشت (Ghorbani and Soltani, 2014). Paymard and et al., (2015) بیان کردند که طول دوره کاشت تا گلدهی و همچنین طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک گندم آبی تحت تاثیر تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و دوره های مختلف کاهش نشان داد.

پی خواهد داشت (Roberts and Summerfield, 2007). پدیده تغییر اقلیم و افزایش دما در دوره های آینده تحت سناریوهای اقلیمی مختلف، منجر به کاهش شمار روز تا رسیدگی کامل و برداشت سویا می شوند. حال ممکن است میزان کاهش در صفات مورد نظر متفاوت باشد، اما به طور کلی روند کاهش را

Table 2- Comparison of phenological stages of Wheat cv. Mehregan, of 2019-2020 growing season and 2020-2050 period under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios and drought stress conditions

جدول ۲- بررسی مراحل فنولوژیک گندم رقم مهرگان در طول دوره رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰ در مقایسه با دوره های ۲۰۵۰-۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در شرایط تنش خشکی

Period characteristics	Phonological s.	Experimental treatments				
		Non- stress (control)	Booting stage	Flowering stage	Milky stage	Doughing stage
2019-2020 no-Scenario	Flowering	184	183	184	184	184
	BSG	196	194	194	196	196
	TSG	224	221	220	221	222
	Maturity	231	229	229	229	230
(2010-2039) RCP4.5-2025	Flowering	181	181	181	181	181
	BSG	187	186	187	187	187
	TSG	212	211	211	211	212
	Maturity	220	220	219	219	220
(2010-2039) RCP8.5-2025	Flowering	175	174	175	175	175
	BSG	183	182	183	183	183
	TSG	208	207	207	208	208
	Maturity	216	216	216	216	216
(2040-2069) RCP4.5-2055	Flowering	163	163	163	163	163
	BSG	173	173	173	173	173
	TSG	204	203	203	203	204
	Maturity	211	211	211	211	211
(2040-2069) RCP8.5-2055	Flowering	151	151	151	151	151
	BSG	160	160	160	160	160
	TSG	195	194	194	195	195
	Maturity	203	202	202	202	203

DAP: Day After Planting, BSG: Beginning Seed Growth, TSG: Termination Seed Growth.

تمامی اعداد در ستون ها بر حسب روز پس از کاشت می باشند.

ثابت بود. همچنین در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوی RCP8.5 مقدار بیشینه شاخص سطح برگ تحت تاثیر رخداد تنش خشکی قرار نگرفت و تغییرات نسبت به شرایط بدون تنش مشابه و یکسان مشاهده شد. بدین ترتیب می توان اینگونه بیان کرد که رخداد تنش در مراحل چکمه ای و گلدهی دوره ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP4.5، باعث کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش سایه بان گندم آبی رقم مهرگان خواهد شد. از آنجا که بیشترین میزان رشد و گسترش برگ ها در زمان رسیدن به مرحله گلدهی به پایان می رسد، بنابراین نبود اختلاف در مقدار شاخص سطح برگ میان شرایط بدون تنش و رخداد تنش خشکی در مراحل شیری و خمیری شدن دانه در هر دو دوره تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، قابل انتظار بود (شکل ۱). در تمامی تیمارهای آزمایشی بدلیل اینکه تا پیش از آغاز مرحله چکمه ای گیاه بصورت مشابه و

بیشینه شاخص سطح برگ

نتایج بدست آمده از پیش بینی بیشینه شاخص سطح برگ برای گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی نشان داد، که در دوره های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تحت تاثیر تغییر اقلیم کاهش می یابد (شکل ۱). بر پایه نتایج بدست آمده، در دوره ۲۰۲۵ تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 میزان بیشینه شاخص سطح برگ در شرایط بدون تنش به ترتیب ۴/۹۷ و ۴/۷۱ بود. بررسی ۵۰ درصد از سال ها در دوره (۲۰۳۹-۲۰۱۰) ۲۰۲۵ بیانگر این بود که در این دوره تحت سناریو RCP4.5، رخداد تنش در مراحل چکمه ای باعث کاهش ۲ درصدی در مقدار بیشینه شاخص سطح برگ شد. و همچنین در مراحل گلدهی، شیری و خمیری شدن دانه تغییرات سطح برگ بسیار اندک و تقریباً

گلدھی میزان ماده خشک به ترتیب ۳/۷ و ۲/۴ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت و در مراحل شیری و خمیری شدن بدون تغییر باقی ماند. همچنین در سناریو RCP8.5 میزان ماده خشک در شرایط رخداد تنش در مراحل چکمه‌ای، گلدھی و شیری شدن به ترتیب ۴/۱، ۳/۶ و ۰/۳ درصد کاهش نشان داد و در مرحله خمیری شدن تغییری مشاهده نشد. همچنین نتایج گویای آن بود که در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP4.5 میزان ماده خشک در شرایط بدون تنش خشکی به ترتیب ۱۱۳۸۳/۲ و ۱۰۰۸۹/۵ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط رخداد تنش خشکی تحت سناریو RCP4.5، شاهد کاهش میزان ماده خشک در مراحل چکمه‌ای و گلدھی میزان ماده خشک به ترتیب با ۴ و ۲ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش خواهیم بود. در حالیکه مراحل شیری و خمیری شدن تغییرات چندانی را نشان ندادند. همچنین در این دوره و تحت سناریو RCP8.5 کاهش میزان ماده خشک تولید شده فقط در شرایط رخداد تنش خشکی در مرحله چکمه‌ای و با ۲/۹ درصد کاهش نسبت به شرایط بدون تنش مشاهده شد (شکل ۲). بنظر می‌رسد با توجه به افزایش زمان از دوره ۲۰۲۵ به ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، با افزایش دما سرعت رشد گیاه نیز افزایش یابد. Parry et al, (2004) با بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم بر تولید جهانی تحت سناریو انتشار SRES بیان نمودند که افزایش دما، سرعت رشد و نمو گیاهان زراعی را افزایش خواهد داد.

یکسان آبیاری شد، روند رشد سطح برگ روندی افزایشی نشان داد. با افزایش سن گیاه و ریزش برگ‌ها، روند رشد سطح برگ کاهش می‌یابد. شاخص سطح برگ معرف بسیار مناسبی برای میزان گسترش سایه بان گیاه می‌باشد که در نهایت توانایی گیاه را در برابر دریافت تابش‌های خورشیدی را نشان می‌دهد. با کاهش سطح برگ گیاه، میزان دریافت نور و در نهایت فعالیت فتوسنتزی و انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد (Koochaki and Kamali, 2010). Paymard and et al (2015) با در نظر گرفتن وضعیت اقلیم آینده، کمبود آب را عامل اصلی در کاهش توسعه برگ بیان کردند. Amiri Deh-ahmadi et al., (2015) نشان دادند که وجود تنش در مرحله گلدھی و غلاف‌دهی بر تولید سطح برگ اثراتی جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت و روند پیری در گیاه را تسریع می‌دهد.

تولید ماده خشک

بر اساس یافته‌های بدست آمده، شرایط اقلیم آینده، بر میزان تولید ماده خشک گندم آبی رقم مهرگان، در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 اثر گذار می‌باشد (شکل ۲). با توجه به شکل ۲، بررسی نتایج ۵۰ درصد از سال‌های دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (۲۰۲۵ نشان داد که در این دوره تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، میزان ماده خشک در شرایط بدون تنش خشکی به ترتیب ۱۴۲۰۳ و ۱۳۰۴۶/۲ کیلوگرم در هکتار بود. در حالیکه در شرایط رخداد تنش خشکی تحت سناریو RCP4.5، در مراحل چکمه‌ای و

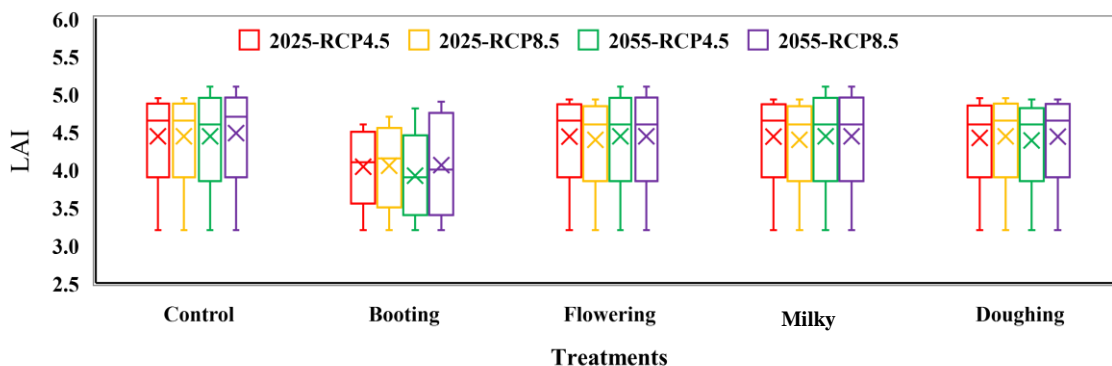


Figure 1- Evaluation of irrigated wheat Cv. Mehregan LAI_{max} in drought stress condition, at 2025 - 2055 periods under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

شکل ۱- بررسی بیشینه شاخص سطح برگ گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی، در دوره‌های ۲۰۲۵-۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5

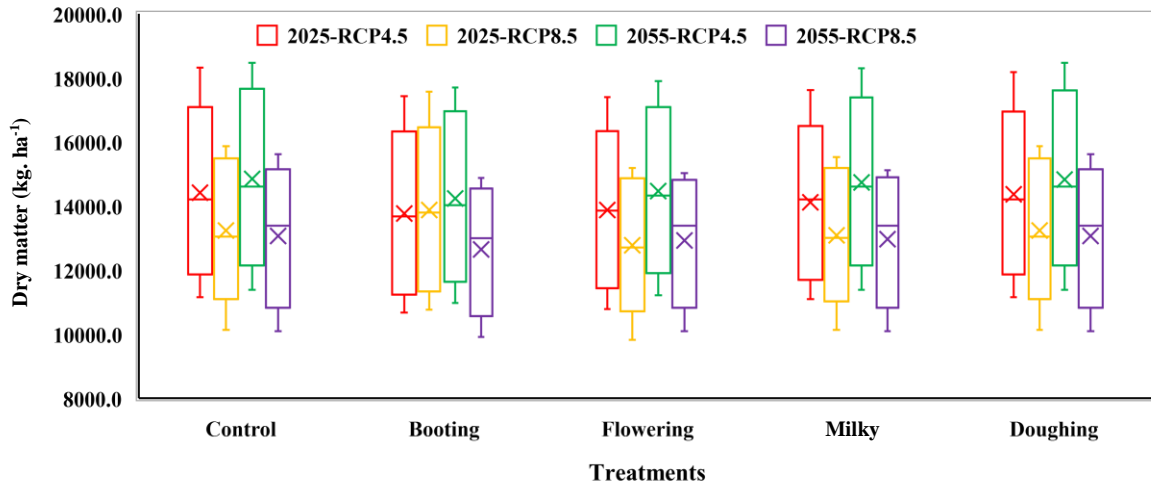


Figure 2- Evaluation of irrigated wheat Cv. Mehregan dry matter in drought stresses condition, at 2025 - 2055 periods under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

شکل ۲- بررسی تولید ماده خشک گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی، در دوره‌های ۲۰۲۵-۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

و ۱/۹ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش نشان داد. همچنین در سناریو RCP8.5، عملکرد دانه در شرایط رخداد تنش در مراحل چکمه‌ای، گلدهی و شیری شدن به ترتیب ۲، ۴/۴ و ۲/۲ درصد کاهش و در مرحله خمیری شدن بدون تغییر بود. همچنین نتایج گویای آن بود که در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP4.5، عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی به ترتیب ۵۲۲۶/۸ و ۴۶۴۸/۶ کیلو گرم در هکتار بود. در شرایط رخداد تنش خشکی تحت سناریو RCP4.5، عملکرد دانه در مراحل چکمه‌ای و گلدهی به ترتیب ۵/۲ و ۲/۳ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت. همچنین در این دوره و تحت سناریو RCP8.5 کاهش عملکرد دانه در شرایط رخداد تنش خشکی در مرحله چکمه‌ای و گلدهی به ترتیب با ۷/۷ و ۰/۵ درصد نسبت به شرایط بدون تنش مشاهده شد (شکل ۳). در واقع می‌توان اظهار داشت که عملکرد دانه تحت شرایط خشکی در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، کاهش می‌یابد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، به‌تنهایی افزایش فتوسنتز و در نتیجه عملکرد بیشتر را برای اغلب گیاهان زراعی به همراه خواهد داشت. با این وجود به نظر می‌رسد افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی و کاهش میزان بارش، اثرات سودمند افزایش دی‌اکسید کربن را خنثی خواهد کرد (Xiao et al., 2018).

از طرفی رخداد تنش خشکی در طول دوره‌ی رشد و نمو گندم منجر به کاهش رشد می‌شود. بازتاب این کاهش، تغییر در وزن ماده خشک و عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Basal and Szabo, 2020; Mehraban et al., 2019). نتایج (Rauf and Sadaqat, 2007) در بررسی پاسخ تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی به تنش خشکی نشان داد که، میزان تولید ماده خشک در شرایط رخداد تنش خشکی کمتر از شرایط بدون تنش بود. همسنگی این نتایج با یافته‌های بدست آمده از این پژوهش کاملاً همسو بود.

عملکرد دانه

نتایج بدست آمده از پیش‌بینی عملکرد دانه برای گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی نشان داد، که عملکرد دانه در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تحت تاثیر تغییر اقلیم، کاهش خواهد یافت (شکل ۳). بر پایه یافته‌های بدست آمده، بررسی نتایج ۵۰ درصد از سال‌های دوره (۲۰۱۰-۲۰۳۹) ۲۰۲۵ نشان داد که در این دوره تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی به ترتیب ۴۷۳۱/۶ و ۴۴۴۲/۱ کیلو گرم در هکتار بود. در حالیکه در شرایط رخداد تنش خشکی تحت سناریو RCP4.5، در مراحل چکمه‌ای، گلدهی، شیری و خمیری شدن عملکرد دانه به ترتیب ۸/۸، ۱۰/۳، ۷/۳

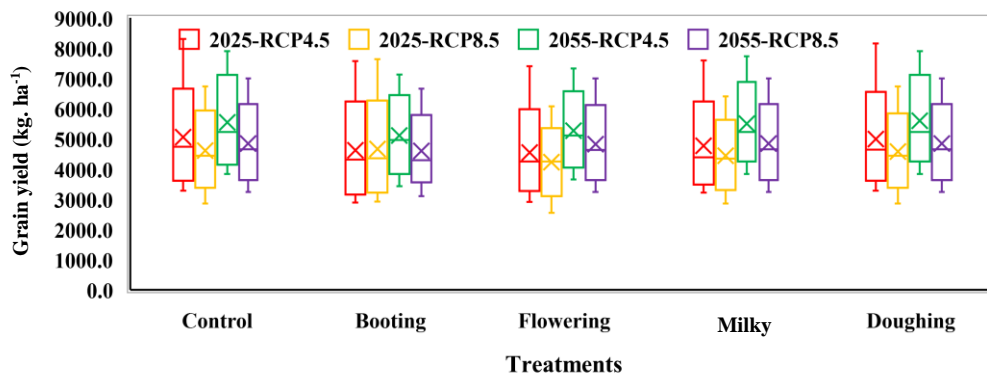


Figure 3- Grain yield of irrigated wheat, Mehregan cv. under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios and water stress conditions during 2025-2050 period

شکل ۳- عملکرد دانه گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی، در دوره‌های ۲۰۲۵-۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

بررسی چگونگی رخداد تنش و اثرگذاری آن بر میزان آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه گندم آبی رقم مهرگان در دوره‌های آینده ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با طول دوره رشد و نمو ۲۰۲۰-۲۰۱۹ در شرایط تنش خشکی در ارایه شد (شکل ۴). بر اساس یافته‌ها، در شرایط بدون تنش و شرایط رخداد تنش در هر یک از مراحل فنولوژیک گندم آبی رقم مهرگان نتایج تقریباً مشابه و یکسانی مشاهده شد. نتایج گویای آن بود که در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با طول دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹، گندم آبی رقم مهرگان در آغاز مرحله پنجه‌زنی تا پایان رسیدگی دانه تحت تنش خشکی قرار خواهد گرفت که در مقایسه با دوره رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ که در اواخر مرحله چکمه‌ای تحت تنش خشکی قرار گرفت، تفاوت بسیار چشمگیر و قابل توجهی را نشان داد. بر اساس شکل ۴، میزان آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه گندم آبی رقم مهرگان در شرایط بدون تنش تا اواخر مرحله چکمه‌ای و پیش از مرحله گلدهی هیچ‌گاه به حد آستانه WSSL نرسید اما در شرایط رخداد تنش در تمامی مراحل فنولوژیک (دیگر تیمارها) دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 میزان آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه گندم آبی رقم مهرگان در مراحل آغازین دوره رشد (شروع پنجه‌زنی) همواره کم‌تر از حدود آستانه WWSL و WWSG بود، که این امر حاکی از قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش خشکی بود.

در واقع جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم، اثرات متفاوتی را بر تولید و عملکرد گندم ایجاد خواهد کرد و این عوامل در ترکیب با یکدیگر ممکن است افزایش یا کاهش محصول را موجب شوند. بنابراین اثر خالص تغییر اقلیم بر عملکرد، به اثرات متقابل بین این عوامل بستگی دارد (Krishnan et al, 2018).

کسر آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه (FASW)

رخداد تنش و اثرگذاری آن بر میزان آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه گندم آبی رقم مهرگان در طول دوره‌ی رشد و نمو ۲۰۲۰-۲۰۱۹ نشان داد که، در در طول دوره‌ی رشد و نمو ۲۰۲۰-۲۰۱۹ گندم آبی رقم مهرگان در شرایط بدون تنش تقریباً از اواخر مرحله چکمه‌ای تا رسیدگی کامل تحت تنش خشکی قرار گرفت. این درحالی بود که در شرایط رخداد تنش بویژه رخداد تنش در مرحله چکمه‌ای، گندم آبی رقم مهرگان در مقایسه با شرایط بدون تنش کمی پیش‌تر (تقریباً ۲۰ روز) از مرحله چکمه‌ای تحت تنش خشکی قرار گرفت. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با رسیدن گیاه به اواخر مرحله چکمه‌ای میزان آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه به حد آستانه ۰/۴ رسید. با پایان مرحله چکمه‌ای با توجه به کاهش میزان آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه به پایین‌تر از حد آستانه ($WSSL < 0.4$)، گسترش برگ و شاخص سطح برگ شروع به کاهش نمود. در ادامه و با نزدیک شدن میزان آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه به حد آستانه ۰/۳ و پایین‌تر از آن ($WSSG < 0.3$)، کاهش تولید ماده خشک را نیز به دنبال داشت. نتایج

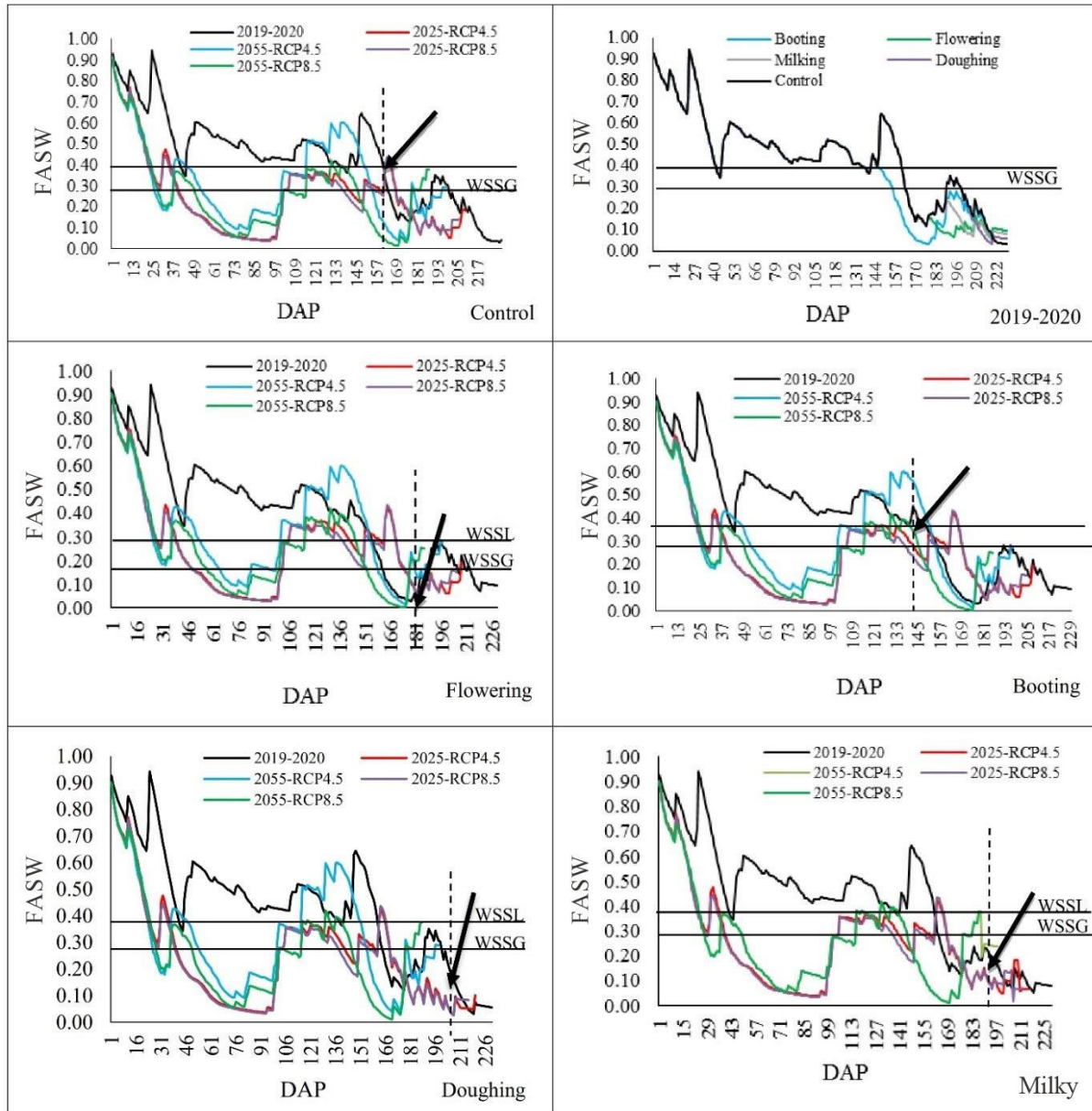


Figure 4- Root zone available water of irrigated wheat in 2019-2020 growing season comparing to 2025-2055 period under two RCP scenarios

شکل ۴- تغییرات میزان آب در دسترس ناحیه ریشه گندم آبی رقم مهرگان در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با سال زراعی ۲۰۱۹-۲۰۲۰

مقداری از آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه، بیانگر وضعیت رخداد تنش خشکی در گندم می‌باشد که پیامدهایی نظیر توقف گسترش برگ، تسریع روند پیری برگ و کاهش تولید ماده خشک را به همراه دارد (Soltani and Sinclair., 2011; 2012).

اصلی‌ترین و مهم‌ترین دلیل روبرو شدن گندم آبی رقم مهرگان در اوایل دوره رشد تا رسیدگی دانه در دوره‌های آینده ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، را می‌توان کاهش قابل توجه میزان بارندگی نسبت به دوره‌ی رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰، بیان کرد. کاهش مقادیر حد آستانه WSSL به کمتر از ۰/۴ و WSSG به کمتر از ۰/۳ به‌عنوان

نتیجه‌گیری

بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی حاکی از آن بود که برخی ویژگی‌های فنولوژیک گندم در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تحت تاثیر تغییر اقلیم کاهش خواهد یافت. بر پایه یافته‌ها، تعداد روز تا مرحله گلدهی، در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP4.5 نسبت به سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۱۹، به ترتیب ۱/۶ و ۱۱/۴ درصد کاهش، و همچنین در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب ۴/۸ و ۱۷/۹ درصد کاهش یافت. کاهش طول دوره پر شدن دانه و تعداد روز تا نیز روند مشابهی با کاهش تعداد روز تا رسیدگی دانه در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 داشت. بررسی نتایج ۵۰ درصد از سال‌های دوره (۲۰۳۹-۲۰۱۰) ۲۰۲۵ و (۲۰۴۶-۲۰۴) ۲۰۵۵ نشان داد که در این دوره‌ها تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، میزان ماده خشک و عملکرد کاهش یافت. بیشترین کاهش میزان ماده خشک در رخداد تنش خشکی در مرحله چکمه‌ای نسبت به شرایط بدون تنش در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP4.5، با مقدار ۱۴۰۲۳/۳ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان کاهش عملکرد در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP4.5، مربوط به رخداد تنش در مراحل چکمه‌ای و گلدهی به ترتیب با مقادیر ۴۲۴۵/۶ و ۴۳۱۳/۶ کیلو گرم در هکتار بود. رخداد تنش در مرحله چکمه‌ای نسبت به شرایط بدون تنش، باعث افزایش طول دوره تنش خشکی در دوره‌های آینده ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ شد. به‌طور کلی می‌توان اینگونه اظهار داشت که تغییر اقلیم در شرایط رخداد تنش خشکی در طول دوره رشد و نمو گندم آبی رقم مهرگان بویژه در مراحل فنولوژیک چکمه‌ای و گلدهی، باعث کوتاه شدن طول دوره مراحل فنولوژیک، شاخص سطح برگ، تولید ماده خشک و عملکرد دانه خواهد شد. میزان آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه در دوره‌های آینده ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با طول دوره‌ی رشد و نمو ۲۰۲۰-۲۰۱۹ حاکی از دوره‌ی

طولانی تنش خشکی در طول دوره‌ی رشد و نمو گندم آبی رقم مهرگان بود. بنابراین با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان محصولی با ارزش و راهبردی، پیش‌آگاهی از اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های کلان کشاورزی در آینده ایفا می‌کند.

منابع

- Amiri Deh-ahmadi, R., Parsa, V., Ganjali, A. 2010. The effect of drought stress at different phenological stages on morphological characteristics and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Crop Research*, 8(2), 157-166 (In Farsi).
- Athar Hussain, H., Men, SH., Husain, S., Chen, Y., Ali, SH., Zhang, S., Zhang, K., Li, Y., Xu, Q., Liao, CH., and Wang, L. 2019. Interactive effects of drought and heat stresses on morphophysiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific reports*, 9, 1-12.
- Austin, K. G., Beach, R. H., Lapidus, R., Salem, M. E., Taylor, N. J., Knudsen, M., Ujeneza, N. 2020. Impacts of Climate Change on the Potential Productivity of Eleven Staple Crops in Rwanda. *Sustainability*, 12, 1-12.
- Basal, O., and Szabo, A. 2020. Physiomorphology of Soybean as Affected by Drought Stress and Nitrogen Application. *Hindawi Scientifica*, 1, 1-7.
- Baygi, Z., Safizadeh, S., Shirani Rad, A. M., Valadabadi, S. A., Jafarinejad, A. 2018. Seed Yield and Yield Component of Some Spring Wheat Varieties as Affected by Different Sowing Dates in Neishabour. *Journa of Crop Ecophysiology*, 11(4), 905-922 (In Farsi).
- Baziarpur, H., Raeini-Sarjaz, M., Shiukhy-Sughanlu, S. 2020. Influence of rice straw management on emissions of methane and carbon dioxide greenhouse gases during the second rive cropping (Case study, Sari, Iran). *Journal of Agricultural Meteorology*, 8(1), 35-43 (In Farsi).
- Delghandi, M., Andarzian, B., Broomandnasab, S., Massah Bovani, A., Javaheri, E. 2014. Evaluation of DSSAT 4.5-CSM-CERES-Wheat to Simulate Growth and Development, Yield and Phenology Stages of Wheat under Water Deficit Condition (Case Study, Ahvaz Region). *Journal of Water and Soil*, 28(1), 82-91 (In Farsi).
- Eyni-Nargeseh, H., Deyhimfard, R., Soufizadeh, S., Haghghat, M., Nouri, O. 2015. Predicting the effects of climate change on irrigated wheat yield

- Mohammadi, E., Movahedi, S., Mohammadi, R., Golkari, S. 2020. Investigation of the occurrence of climate change and its effect on the phenology and yield of dryland wheat in the western and northwestern regions of Iran. *Journal of Climatological Research*, 11(43), 159-170 (In Farsi).
- Mohammadi, E., Movahedi, S., Mohammadi, R., Golkari, S. 2020. Investigation of the occurrence of climate change and its effect on the phenology and yield of dryland wheat in West and northwest of Iran. *Journal of Climatological Research*, 11(43), 159-170 (In Farsi).
- Paknejad, F., Moayeri Pour, Sh. Aghayari, F., Ilkaei, M. N. 2017. Simulation of Maize Yield with Different Levels of Nitrogen by Using DSSAT Model. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(3), 503-518 (In Farsi).
- Parry, M., Rosenzweig, C., Inglesias, A., Livermore, M. and Gischer, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global and Environmental Change*, 14(1), 53-67.
- Pymard, P., Banayan, M., Sadr Abadi, R. 2015. Evaluation of climate change effects on phenological stages and yield of irrigated wheat in Khorasan Razavi climate. Iranian National Congress on Irrigation and Drainage, 2-4 September, Isfahan, Iran.
- Ranuzzi, A., Srivastava, R. 2012. Impact of Climate Change on Agriculture and Food Security. *ICRIER Policy Series*, no. 16.
- Rauf, S., Sadaqat, H.A. 2007. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Plant Interactions*, 2, 41-51.
- Raza, A., Razzaq, A., Saher Mahmood, S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., Xu, J. 2019. Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome, A Review. *Plant*, 8(34), 1-29.
- Riahi, K., Rao, Sh., Volker, K., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., Rafaj, P. 2011. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109, 33-57 (In Farsi).
- Roberts, E.H., Summerfield, R.J. 2007. Measurement and prediction of flowering in annual crops. In: Atherton, J.G. (Ed.), *Manipulation of Flowering*. Butterworth, London, 17-50.
- Saeidi, M., Abdoli, M. 2015. Effect of Drought Stress during Grain Filling on Yield and Its Components, Gas Exchange Variables, and Some Physiological Traits of Wheat Cultivars. *Journal of Agricultural Science Technology*, 17, 885-898 (In Farsi).
- in Fars province using APSIM model. *Journal of Crop Production*, 8(4), 203-224 (In Farsi).
- Francia E., Tondelli A., Rizza F., Badeck F.W., Thomas W.T.B., van Eeuwijk Romagosa I., Stanca A.M., Pecchioni N. 2013. Determinants of barley grain yield in drought-prone Mediterranean environments. *Italian Journal of Agronomy*, 8 (1), 1-8.
- Ghorbani, Kh., Soltani, A. 2014. The effect of climate change on soybean yield in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, 21(2), 67-85 (In Farsi).
- Guntukula, R., Goyari, P. 2020. Climate Change Effects on the Crop Yield and Its Variability in Telangana, India. *Studies in Microeconomics*, 8(1) 119-148.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007, The physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Joireman, J., Truelove, H.B., Duell, B. 2010. Effect of outdoor temperature, heat primes and anchoring on belief in global warming. *Journal of Environmental Psychology*, 4(1), 1-10.
- Khaliliaghdam, N., Mir Mahmoudi, T. and Mirab Yeganeh, S. 2016. Simulation of the effect of climate change on wheat production in rainfed conditions of Urmia. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 26(3), 201-214 (In Farsi).
- Koochaki, A. and Kamali, Gh. 2010. Climate change and dryland wheat production in Iran. *Iranian Agricultural Research*, 8(3), 508-520 (In Farsi).
- Koochaki, A., Nasiri Mahalati, M. 2012. Climate Change Effects on Agricultural Production of Iran, II. Predicting Productivity of Field Crops and Adaptation Strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(1), 1-20 (In Farsi).
- Krishnan, R., Sabin, T. P., Madhura, T. P., Vellore, R. K., Mujumdar, M., Sanjay, J., Nayak, S., Rajeevan, M. 2018. Non-monsoonal precipitation response over the Western Himalayas to climate change. *Climate Dynamics*, 52, 4091-4109.
- Ludwig, F., Asseng, S. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agricultural System*, 90, 159-179.
- Ma, Y., Celeste Dias, M. and Freitas H. 2020. Drought and Salinity Stress Responses and Microbe-Induced Tolerance in Plants. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1-18.
- Mehraban, A., Tobe, A., Gholipour, A., Amiri, E., Ghafari, A., Rostaii, M. 2019. The Effects of Drought Stress on Yield, Yield Components, and Yield Stability at Different Growth Stages in Bread Wheat Cultivar (*Triticum aestivum L.*). *Polish Journal of Environmental Studies*, 28 (2), 739-746.

- Xiao, D., Bai, H., Li Liu, D. 2018. Impact of Future Climate Change on Wheat Production, A Simulated Case for China's Wheat System. *Sustainability*, 10, 1-15.
- Yang, Ch., Ferga, H., Van Leperen, W., Trindade, H., Santos, J. A. 2019. Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal. *Climatic Change*, 154, 159-178.
- Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghar, A. 2020. Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3), 735-747 (In Farsi).
- Zinali Mobarakeh, Z., Deyhim Fard, R., Kambuzia, J. 2019. Evaluation of the effects of climate change and adaptation strategies on the yield and water use efficiency of irrigated wheat (*Triticum aestivum*), Case study of Khorasan Razavi province. *Journal of Plant Production Research*, 26(3), 71-87 (In Farsi).
- Saunders, M.A. 1999. Earth's future climate. *Philos. Transactions of the Royal Society*. 357, 3459-3480.
- Soltani, A., Sinclair, T.R., 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crop Research*, 124, 252-260.
- Soltani, A., Sinclair, T.R., 2012. *Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield*. CAB International, Wallingford, UK.
- Taoa, F., Zhao, Z., Xiaoa, D., Reimund, P., Zhang, H. 2014. Responses of wheat growth and yield to climate change in different climate zones of China, 1981–2009. *Agricultural and Forest Meteorology*, 190, 91–104.
- Wang, B., Li Liu, D., Asseng, S., Macadam, I., Yu, Q. 2017. Modelling wheat yield change under CO2 increase, heat and water stress in relation to plant available water capacity in eastern Australia. *EUR. Journal of Agronomy*, 90, 152-161.
- Wayne, G. P. 2013. *The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways*. *Skeptical Science*, Version 10, 24pp.



Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin)

S. Shiukhy-Sughanlu¹, M. Mousavi-Baygi^{2*}, B. Torabi³, M. Raeini-Sarjaz⁴

Received: 16/03/2021

Accepted: 25/09/2021

Abstract

To evaluate the effects of climate change on irrigated wheat yield, Cv. Mehregan, under drought stress condition, a completely randomized block design (CRBD) experiment was carried out during 2019-2020 cropping season in Varamin, Iran. Five treatments of Control (T1), without stress, drought stress in booting stage (T2), flowering stage (T3), milky stage (T4) and doughing stage (T5) were assigned to three replications. In this study, simulation of the future climate, 2025 and 2055 (2010-2039 and 2069-2040), were performed using the outputs of HadGEM general circulation model under RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios. For this purpose outputs of AgMIP model were employed using long-term climatic data of the base period (1980-2009). Based on these findings, under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, the minimum and maximum temperature parameters might increase for the 2025 and 2055 periods. Also, under RCP4.5 scenario rainfall might increase by 9.4% and 21%, for 2025 and 2055 periods, respectively. However, under RCP8.5 scenario, it might decrease by 1.9% and 2.8%, respectively. Drought stress shortened the phenological stages, the number of days after planting to flowering, ripening and the grain filling periods under climate change conditions. The results also showed that under RCP4.5 scenario in 2025 period the highest decrease in dry matter (4 percent) and seed yield (10.2 percent), due to stress condition, occur during booting and flowering stages, respectively.

Keywords: AgMIP Model, Climate change, Drought Stress, Phenological stages, Scenario



¹ Ph. D. student in Agrometeorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

² Professor in Agrometeorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*Corresponding Author Email Address: mousavib@um.ac.ir)

³ Associate Professor, Agronomy Department, Gorgan University of Agriculture and Natural Recourses

⁴ Professor of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

شیوخ‌سوغانلو، س.، موسوی‌بایگی، م.، ترابی، ب.، رائینی‌سرجاز، م. ۱۴۰۰. ارزیابی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی (مطالعه موردی: ورامین). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۹(۲): ۱۵-۲۸. DOI: 10.22125/agmj.2021.297373.1121

Shiukhy-Sughanlu, S., Mousavi-Baygi, M., Torabi, B., Raeini-Sarjaz, M. 2021. Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin). Journal of Agricultural Meteorology, 9(2): 15-28. DOI: 10.22125/agmj.2021.297373.1121