

Modeling the impact of water deficit on wheat yield under climate change conditions

Saeid Shiukhy Soqanloo* 

Corresponding Author, Assistant Prof. of Agrometeorology, Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: saeid.shiukhy@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 01.29.2023
Revised: 04.14.2023
Accepted: 05.03.2023

Keywords:
Climatic scenario,
Flowering,
Maximum temperature,
SSM-wheat model,
Varamin

ABSTRACT

Background and Objectives: The plant have a close relationship with the climatic conditions and their surrounding environment to go through the stages of growth and development. Therefore, the knowledge and understanding of the effect of atmospheric parameters on plant yield and production efficiency is very important.

Materials and Method: The experiment was conducted in the form of a randomized complete block design in three replications with five experimental treatments including: no water deficit (control) (NWD), water deficit at the booting stage (WDB), flowering (WDF), milking (WDM), and doughing (WDD), in Varamin, Iran. Simulating the future climate, using the HadGEM general circulation model under the RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios in the three periods of 2025, 2055 and 2085, by the AgMIP model using long-term climate data related to the base period (1980-2009) was done. SSM-Wheat model was used to simulate wheat growth.

Result: Based on the findings, the changes of maximum and minimum temperature compared to the baseline in the periods of 2025, 2055 and 2085 showed that the maximum and minimum temperature under RCP8.5 scenario increased more than RCP4.5. So that under the RCP8.5 scenarios, the maximum temperature increased by 2.1, 4.3, and 6.9 (°C), respectively. and the minimum temperature increased by 1.5, 3.2, and 5.6 (°C) respectively. The amount of precipitation in the periods of 2025 and 2055 under the RCP8.5 scenario increased by 4.9 and 5.9%, respectively. While the amount of precipitation in the period of 2085 under RCP8.5 scenario showed a decrease of 12.6%. The results showed that both in the no water deficit and the water deficit at the flowering stage in the periods of 2025, 2055 and 2085 under RCP4.5 and RCP8.5, the FASW by passing through The early stages of wheat cv. Mehregan growth were faced with water shortage stress and the need for irrigation was necessary from that time. Also, the length of the growth period of wheat cv. Mehregan in 2085 period was shorter compared to 2055 and 2025 periods, and this period reduction was much more intense than the growth season. The evaluation of grain yield in 2085 under the RCP8.5 scenario showed that the water deficit at the flowering stage significantly reduced grain yield by 16.8%.

Conclusion: In the climate change conditions, the maximum and minimum temperatures under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios increased during the studied periods compared to the base period. This increase was more

intense from 2025 to 2085 and also under the RCP8.5 scenarios. Based on the findings, the FASW in the no water deficit and the water deficit at the flowering stage at the 2025, 2055 and 2085 periods under both scenarios showed the absence of water stress. The results of the evaluation of the grain yield showed that the reduction of grain yield under the RCP8.5 scenarios was more obvious and more severe than the RCP4.5 scenarios. The water deficit both the booting and especially flowering stages caused a significant decrease in grain yield.

Cite this article: Shiukhy Soqanloo, Saeid. 2023. Modeling the impact of water deficit on wheat yield under climate change conditions. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (1), 71-89.




© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21024.3614

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

مدلسازی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم

سعید شیوخی سوغانلو* 

نویسنده مسئول، استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: saeid.shiukhy@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: گیاهان زراعی برای گذراندن مراحل رشد و نمو، ارتباط تنگاتنگی با شرایط اقلیمی و محیط پیرامونی خود دارند. بنابراین آگاهی و شناخت اثرگذاری فراسنجه‌های جوی بر عملکرد گیاه و بازده تولید اهمیت بسیار دارای اهمیت و ضروری به نظر می‌رسد.
تاریخ دریافت: ۰۱/۱۱/۰۹ تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۲/۱۳	مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار با پنج تیمار آزمایشی شامل؛ [بدون کم‌آبیاری (شاهد) (NII)، کم‌آبیاری در مرحله آبستنی (IIB)، گلدهی (IIF)، شیری شدن دانه (IIM)، و خمیری شدن دانه (IID)]، در شهرستان ورامین انجام شد. شبیه‌سازی اقلیم آینده، با بهره‌گیری از مدل گردش عمومی HadGEM تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵، توسط مدل AgMIP با استفاده از داده‌های اقلیمی بلند مدت مربوط به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹) صورت گرفت. برای شبیه‌سازی رشد و نمو گندم از مدل SSM-Wheat استفاده شد.
واژه‌های کلیدی: دمای بیشینه، سناریوی اقلیمی، گلدهی، مدل SSM-Wheat، ورامین	یافته‌ها: بر پایه یافته‌ها، تغییرات دمای بیشینه و کمینه نسبت به دوره پایه در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ نشان داد که دمای بیشینه و کمینه تحت سناریوی RCP8.5 در مقایسه با RCP4.5 شدیدتر بود. به طوری که تحت سناریوی RCP8.5، دمای بیشینه به ترتیب با ۲/۱، ۴/۳، ۶/۹ و دمای کمینه به ترتیب با ۱/۵، ۳/۲ و ۵/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش همراه بود. مقدار بارش در در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP8.5، به ترتیب ۴/۹ و ۵/۹ درصد افزایش یافت. در حالی که میزان بارش در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5 نشان از کاهش ۱۲/۶ درصدی داشت. نتایج نشان داد که هم در شرایط بدون کم‌آبیاری و هم در شرایط کم‌آبیاری در مرحله گلدهی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت هر دو سناریوی، وضعیت کسر آب قابل دسترس گیاه با گذر از مراحل اولیه رشد و نمو، گندم آبی مهرگان با تنش کم‌آبی مواجه شد و نیاز به آبیاری از همین زمان بسیار مشهود بود. هم‌چنین طول دوره رشد و نمو گندم آبی مهرگان در دوره ۲۰۸۵ نسبت به دوره‌های ۲۰۵۵ و ۲۰۲۵ کوتاه‌تر شد و این کاهش دوره نسبت

به فصل رشد و نمو بسیار شدیدتر بود. ارزیابی عملکرد دانه در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5، نشان داد که کم‌آبیاری در مرحله گلدهی به میزان قابل توجهی عملکرد دانه را ۱۶/۸ درصد کاهش داد.

نتیجه‌گیری: در شرایط تغییر اقلیم دمای بیشینه و کمینه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در طی دوره‌های مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه افزایش یافت. این میزان افزایش با گذر از دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۸۵ و همچنین در سناریو RCP8.5 در مقایسه با سناریو RCP4.5 شدیدتر بود. همچنین بر پایه یافته‌ها، وضعیت آب قابل دسترس گیاه در شرایط بدون کم‌آبیاری و هم در شرایط کم‌آبیاری در مرحله گلدهی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت هر دو سناریو، نشان از عدم وجود تنش کم‌آبی بود. نتایج ارزیابی میزان عملکرد دانه نشان داد که کاهش عملکرد دانه تحت سناریو RCP 8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 آشکارتر و با شدت بیشتری همراه بود. و در این میان کم‌آبیاری در مراحل آبستنی و به‌ویژه گلدهی میزان عملکرد دانه را با کاهش چشمگیری مواجه ساخت.

استناد: شیوخی سوغانلو، سعید (۱۴۰۲). مدلسازی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰ (۱)، ۸۹-۷۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21024.3614



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

گندم (*Triticum sativum* L.) به‌عنوان یک محصول راهبردی با ارزش و دارای سطح انرژی بالا، اهمیت ویژه‌ای را در سرتاسر جهان پیدا کرده است (۱). بنا بر گزارش سازمان جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۶، سطح زیرکشت گندم کشور حدود ۴۱/۶ میلیون هکتار برآورد شده است که ۴۲/۳۷ درصد آن آبی و ۵۷/۶۳ درصد به‌صورت دیم بوده است. میزان تولید گندم کشور حدود ۴۴/۱۳ میلیون تن برآورد شده است که ۷۷/۶۴ درصد آن سهم کشت آبی و ۲۲/۳۶ درصد از کشت دیم به‌دست آمده است (۲). گیاهان به‌ویژه گیاهان زراعی برای گذراندن مراحل رشد و نمو، ارتباط تنگاتنگی با شرایط اقلیمی و محیط پیرامونی خود دارند. بنابراین آگاهی و شناخت اثرگذاری فراسنجه‌های جوی بر عملکرد گیاه و بازده تولید اهمیت بسیار زیادی برای کشاورزان دارد (۳). تابش خورشیدی (تشنوع)، آب و دی‌اکسیدکربن از عناصر حیاتی و دارای اهمیت موردنیاز برای رشد و نمو گیاهان بوده و در یک دامنه وسیع، افزایش رشد و بهره‌وری محیط‌خاکی درگرو افزایش این عناصر است (۴). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، که بیش‌ترین سهم را در گرمایش جهانی دارد، به‌تنهایی افزایش فتوسنتز و در نتیجه عملکرد بیش‌تر را برای اغلب گیاهان زراعی به همراه خواهد داشت. با این‌وجود به نظر می‌رسد افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی و کاهش میزان بارش، اثرات سودمند افزایش دی‌اکسیدکربن را خنثی خواهد کرد (۳۷). تغییر اقلیم و کاهش تنوع زیستی چالش‌های مهمی هستند که جهان در دهه‌های آینده با آن مواجه خواهد شد؛ بنابراین آگاهی از تغییرات اقلیم، چگونگی تأثیر آن بر محصولات کشاورزی، مواجهه با اثرات و تأکید بر سازگاری برای تأمین امنیت غذایی بسیار دارای اهمیت است (۵).

رشد و نمو گیاهان و عملکرد محصول، نتیجه تعاملات پیچیده بین شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های

خاک، ویژگی‌های ژنتیکی گیاه و شیوه‌های مدیریتی است (۷). از این‌رو، پیش‌بینی رشد و عملکرد محصول بسیار چالش‌برانگیز است زیرا این عوامل در هر زمان و مکان، متفاوت هستند. (۸). گانتولوکا و همکاران (۲۰۲۰)، با ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر عملکرد محصول و تنوع آن در هندوستان نشان دادند که، بیشینه دما به‌عنوان یک عامل کاهش‌دهنده خطر برای تمام محصولات مورد مطالعه مشاهده شد درحالی‌که کمینه دما به‌عنوان یک عامل افزایش‌دهنده خطر برای برنج و پنبه معرفی گردید (۹). کوکال و ایرماک (۲۰۱۸)، با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد و تنوع محصول در طرح‌های گسترده تولیدات کشاورزی ایالات‌متحده نشان دادند که، روند تغییرات مشاهده‌شده دما برای عملکرد ذرت مفید بود، اما برای عملکرد سورگوم و سویا تأثیرات منفی برجای گذاشت و باعث کاهش عملکرد شد. این در حالی بود که روند تغییرات بارش شده در هر سه محصول مثبت ارزیابی شد و عملکرد افزایش یافت (۱۰).

از سوی دیگر، حساسیت گیاهان به شرایط تنش کم‌آبی بسته به نوع گیاه، مرحله فنولوژیکی رشد و نمو و شدت تنش متفاوت است. بنابراین پاسخ گیاهان به تنش خشکی بسیار پیچیده است و برخی اوقات شامل تغییرات سازگار یا گاهی با اثرات زیان‌آور همراه است (۶). فهد و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که طیف وسیعی از پاسخ گیاهان به کمبود آب در طی مراحل مختلف رشد به پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تعمیم داده می‌شود (۱۱). وی و همکاران (۲۰۱۸)، تنش‌های غیرزیستی را چالشی جدی برای تولید محصول و امنیت غذایی در جهان دانستند و در شرایط تغییر اقلیم میزان این محدودیت‌ها را شدیدتر پیش‌بینی نمودند (۱۲). نتایج برخی مطالعات از جمله شیوخی و همکاران (۲۰۲۱)، مهربان و همکاران (۲۰۱۹)، رازا و همکاران (۲۰۱۹) و

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. بنابراین هدف از این پژوهش مدل‌سازی تأثیر مدیریت قطع آبیاری بر عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم بود.

مواد و روش‌ها

شهرستان ورامین دارای طول و عرض جغرافیایی به ترتیب $32^{\circ} 35' N$ و $64^{\circ} 51' E$ است، که شرایط آب و هوایی آن براساس طبقه‌بندی اقلیمی در سیستم دوماترین گسترش یافته، خشک بیابانی می‌باشد (۲۳). این منطقه دارای ارتفاع $1190/8$ متر بالاتر از سطح دریا، میانگین دمای سالانه بلندمدت $17/3$ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه بارندگی بلندمدت 210 میلی‌متر می‌باشد. شرایط آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره رشد و نمو گندم در جدول ۱ ارایه شد.

سعیدی و عبدولی (۲۰۱۵) نشان دادند که کمبود آب به‌ویژه در مراحل مختلف رشد و نمو گندم، باعث کوتاه شدن طول دوره مراحل فنولوژی و در پی آن دوره پر شدن دانه و عملکرد نهایی دانه شد (۶، ۱۳، ۱۴، ۱۵).

تعیین راهکارهای بهینه به‌زراعی و به‌نژادی مبتنی بر تحقیقات و آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌باشد. بنابراین صرف هزینه و انرژی زیاد به همراه زمان‌بر بودن آن‌ها، سبب بروز مشکلات فراوانی می‌شود. مدل‌های شبیه‌سازی رشد با در نظر گرفتن اثرات پیچیده عواملی مانند آب‌وهوا، خصوصیات خاک و فاکتورهای مدیریتی بر عملکرد گیاه سبب کاهش هزینه‌ها و زمان در مقایسه با تحقیقات مزرعه‌ای می‌شوند (۱۶). تاکنون از مدل SSM در پژوهش‌های مختلفی از جمله مطالعات مرتبط با امنیت غذایی (۱۷)، شبیه‌سازی رشد و نمو گندم در خاورمیانه (۱۸) و ایالات متحده (۱۹)، سویا در منطقه ایالات متحده (۲۰) و جنوب آسیا (۲۱) و بادام‌زمینی در جنوب صحرای آفریقا (۲۲) استفاده شده است. بنابراین با توجه به

جدول ۱- شرایط آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره رشد و نمو گندم.

Table 1. Weather condition of experimental site at during wheat growth season.

ماه Month	دما Temperature (°C)			بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)			تبخیر Evaporation (mm)
	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean		حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	
	October	12.3	27		19.6	24.3	13	
November	4.1	15.5	9.8	55.3	21	100	70	34.5
December	2.5	13.1	7.8	7.4	36	98	69	0
January	-0.1	9.7	4.8	16.4	34	100	70	0
February	0.2	13.8	7.8	65.6	21	100	54	0
March	6.6	19.5	13.1	4.1	14	99	50	19.6
April	8.6	21.8	15.2	38.7	25	100	58	109.5
May	14.8	31.9	23.3	9.4	9	91	23.5	237.1
June	19.3	38.7	29	0	6	58	20	365.4

تانسیومتر برای پایش رطوبت خاک استفاده شد. بدین ترتیب آبیاری زمانی که رطوبت خاک به ۷۰ درصد می‌رسید ($SWC=70$)، انجام می‌شد (۲۴). برای اعمال تنش، آبیاری کرت‌ها بدین صورت انجام شد که با وارد شدن گیاه در هر یک از مراحل فنولوژیکی مد نظر، آبیاری قطع و با سپری شدن آن مرحله دوباره کرت‌های مورد نظر تا پایان دوره رشد و نمو، آبیاری شدند. در زمان وقوع بارندگی با استفاده از سرپناه بارش^۱ از ورود آب به کرت‌های تحت تنش جلوگیری شد. هم‌چنین بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه اداره ترویج و آموزش کشاورزی شهرستان ورامین، کوددهی انجام نشد (جدول ۲).

به منظور ارزیابی کارایی مدل SSM در شبیه‌سازی رشد و نمو گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش آبی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (CRBD) در ۳ تکرار با پنج تیمار آزمایشی شامل؛ [بدون تنش (شاهد)^۱ (NS)، تنش در مرحله آبستنی^۲ (WSB)، تنش در مرحله شیری شدن^۳ (WSF)، تنش در مرحله خمیری شدن^۴ (WSD)]، در شهرستان ورامین انجام شد. ابعاد هر کرت ۱۲ مترمربع (۶×۲ متر)، شامل ۶ ردیف کاشت با فواصل ۲۵ سانتی‌متر و فاصله تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. از بذر رقم مهرگان برای کشت در تاریخ ۱۰ مهر سال ۱۳۹۸ استفاده شد. هم‌چنین روش آبیاری سطحی بوده و از

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در طول فصل رشد و نمو.

Table 2. Some Physico-chemical characteristics of experimental field soil at during growth season.

مدایت الکتریکی Ec (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	روی Zn (mg.kg ⁻¹)	آهن Fe (mg.kg ⁻¹)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	ویژگی‌ها characteristics
2.1	8.1	0.94	0.90	13.28	508.7	1.79	7.23	26	48	26	ایستگاه Station

خاک کف بر شده و پس از توزین نمونه عملکرد دانه محاسبه شد.

مدل و سناریوهای اقلیمی: به منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده، از مدل گردش عمومی HADGEM2-ES استفاده شد. سیستم زمین به‌طور استاندارد در این مدل لحاظ شده است و نخستین مدل مرکز اداره هواشناسی هادلی انگلیس به حساب می‌آید. برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی از ابزارهای تولید

اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد: شاخص سطح برگ با استفاده از نرم‌افزار Image J و برای یک سطح معین ۴۰۰ سانتی‌مترمربع حاصل از یک کودرات (۲۰×۲۰) محاسبه شد. در این روش ابتدا نمونه‌ها (برگ‌ها) بر روی یک صفحه کاغذی سفید رنگ قرار گرفته و عکس‌برداری انجام شد. سپس در محیط نرم‌افزار با استفاده از درجه‌بندی خط‌کش برحسب سانتی‌متر اقدام به تنظیمات مقیاس^۱ شد. سپس مساحت هر برگ با مرزبندی پیرامون برگ محاسبه شد برای اندازه‌گیری عملکرد، مساحت ۱ مترمربع از مرکز هر کرت انتخاب و ساقه‌ها از سطح

1- Set scale

- 2- Non-drought stress
- 3- Drought stress on booting stage
- 4- Drought stress on Flowering stage
- 5- Drought stress on Milking stage
- 6- Drought stress on Doughing stage
- 7- Rain Shelter

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. در سناریو RCP4.5 میزان واداشت تابشی ۴/۵ وات بر مترمربع و غلظت CO₂ نیز به حدود ۵۴۰ ppm در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید (۲۵).

مدل شبیه‌ساز رشد و نمو گیاه SSM: هم‌چنین با استفاده از مدل SSM-Wheat که توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک، گسترش و پیری برگ، تأثیر خشکی هوا، CO₂ بر تولید ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد، رشد و نمو و عملکرد گندم به صورت روزانه به عنوان تابعی از شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک و مدیریت زراعی انجام شد (۲۶، ۲۷). مدل SSM، زیر مدل‌های هواشناسی، گیاه، خاک و مدیریت زراعی را شامل می‌شود. داده‌های هواشناسی موردنیاز برای اجرای زیر مدل هواشناسی شامل؛ ساعت آفتابی (محاسبه تابش خورشیدی بر حسب (MJ.m⁻².d⁻¹))، از رابطه آنگستروم، دمای کمینه و بیشینه (محاسبه دمای مؤثر) و بارش (۲۷) برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۰) از سازمان هواشناسی ایران-تهران تهیه شد. در این شبیه‌سازی متوسط مقدار CO₂ برای دوره گذشته ۳۶۰ ppm، برای دوره ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP4.5 به ترتیب برابر با ۴۲۳، ۴۳۲ و ۵۲۸ پی‌پی‌ام و تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب برابر با ۴۹۹، ۵۷۱ و ۵۱۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شدند (۲۵). برای اجرای زیر مدل خاک اطلاعات مربوط به خاک مزرعه آزمایشی و برای زیر مدل گیاه داده‌های موردنیاز شامل؛ رقم، تراکم بوته در مترمربع، ضرایب ژنتیکی و غیره وارد شد تا در نهایت مدل نهایی اجرا و خروجی‌های مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

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 بارش اقلیم آینده به اقلیم پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) یک مدل گردش عمومی است، ولی عامل تغییر برای بارش حاصل نسبت بارش بین این دو شرایط است. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل، مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده (واقعی) با استفاده از نمایه ریشه میانگین مربعات خطا (رابطه ۱) و ضریب تغییرات (رابطه ۲) صورت گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - S_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

که، O_i و S_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، و n تعداد مشاهدات می‌باشند.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

که، σ و μ به ترتیب انحراف معیار و میانگین جامعه را نشان می‌دهند.

سناریوهای RCP (نماینده خط سیر غلظت)، بر پایه واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ ارایه شده‌اند که حاصل گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم می‌باشند. سناریوهای اقلیمی در بازه‌های مختلف، در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم استفاده می‌شوند، که دلیل آن عدم قطعیت و تردید در روند انتشار گازهای گلخانه‌ای عنوان شده است. در این پژوهش از دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره (۲۰۱۰-۲۰۳۹) (۲۰۲۵ (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و ۲۰۵۵ و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) ۲۰۸۵ استفاده شد. در سناریو RCP8.5 افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در غیاب

روزنه‌ها شروع به بسته شدن کرده و در نتیجه تولید ماده خشک کاهش می‌یابد شد (۲۷).

نتایج و بحث

بر پایه یافته‌ها، ارزیابی تغییرات دمای بیشینه، کمینه و بارش نسبت به دوره پایه در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ نشان داد که دمای بیشینه به ترتیب با افزایش ۱/۸، ۳/۲ و ۴/۳ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو RCP4.5 و با ۲/۱، ۴/۳ و ۶/۹ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو RCP8.5 روبه‌رو شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش دمای بیشینه در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5 اختلاف قابل‌توجهی با سایر دوره‌ها تحت سناریو RCP4.5 داشت. (شکل ۱-الف)، دمای کمینه نیز به ترتیب با افزایش تحت سناریو RCP4.5 در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ به ترتیب با ۱/۱، ۲/۳ و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. درحالی‌که در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP 8.5 به ترتیب ۱/۵، ۳/۲ و ۵/۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یافت (شکل ۱-ب). هم‌چنین ارزیابی میزان بارش نشان داد که مقدار بارش در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ نسبت به دوره پایه تحت سناریو RCP4.5 به ترتیب ۳/۲، ۱۲/۵ و ۷ درصد افزایش یافت. مقدار بارش در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP8.5، به ترتیب ۴/۹ و ۵/۹ درصد افزایش نسبت به دوره پایه نشان داد. این در حالی بود که میزان بارش در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5 قابل‌توجه و متفاوت بود و نشان از کاهش ۱۲/۶ درصدی بارش داشت (شکل ۱-پ).

کمی‌سازی تأثیر کم‌آبیاری: 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 مدیریت کم‌آبیاری بر فرآیندهای مختلف گیاهی با محاسبه ضرایب اصلاحی WSFL (ضریب اصلاحی برای گسترش سطح برگ) و WSFG (ضریب اصلاحی برای تعرق و تولید ماده خشک که در واقع تأثیر 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. مقدار WSFL و WSFG در شرایطی که FASW بزرگ‌تر از یک حد خاص باشند، برابر یک می‌باشند. با کاهش FTSW به کم‌تر از این حد، هر دو ضریب اصلاحی کاهش می‌یابند و در $FASW=0$ به صفر می‌رسند.

(۳)

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

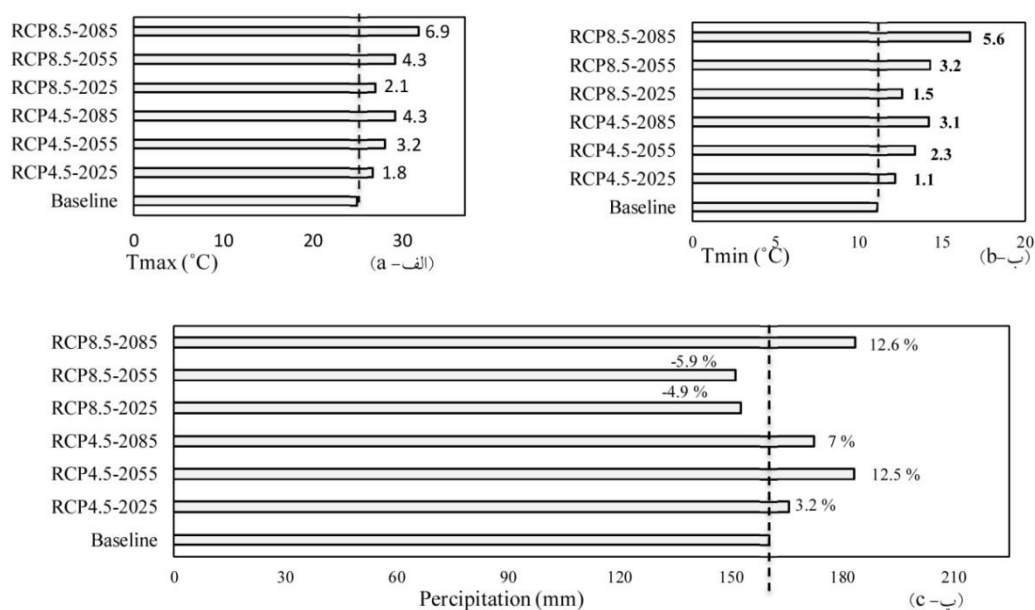
$$WSFL = FASW / WSSL \text{ if } FASW < WSSL$$

(۴)

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

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

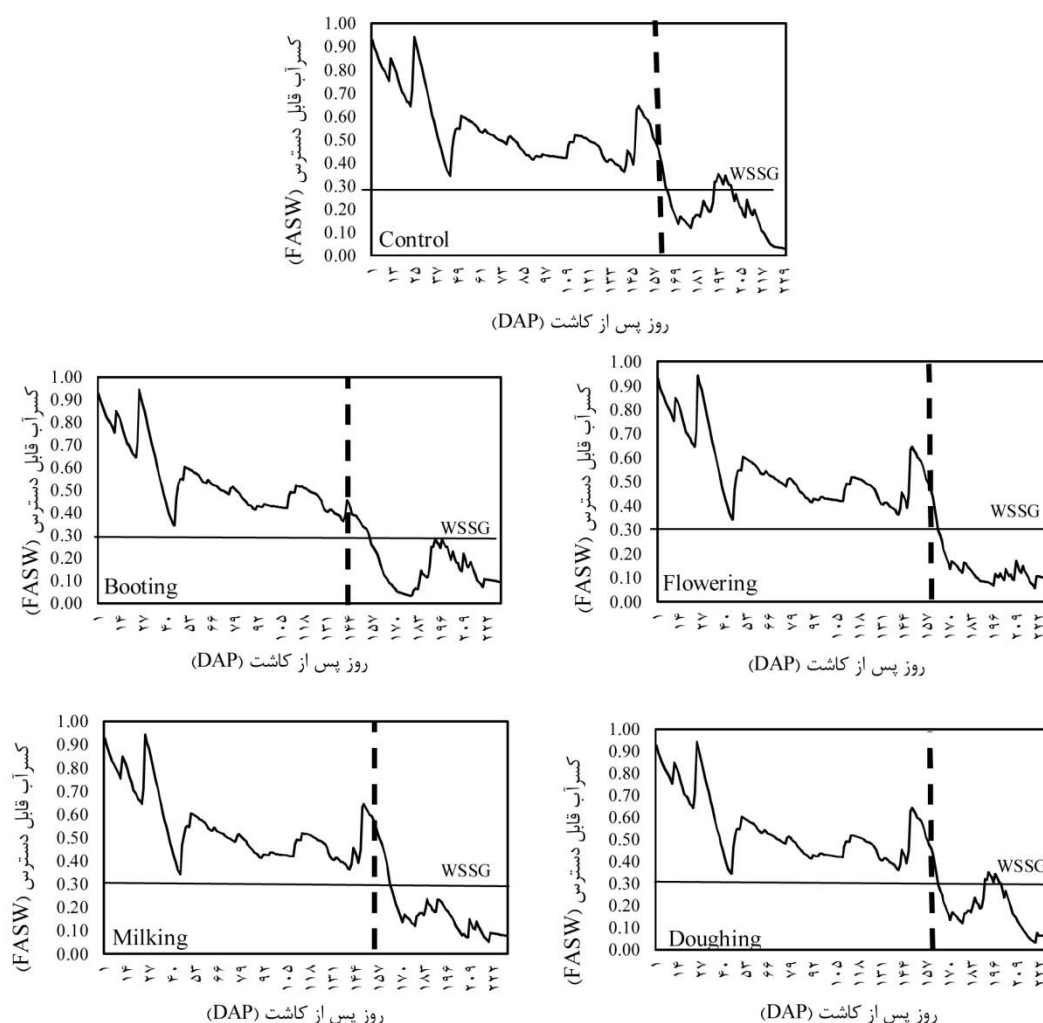
در روابط بالا، WSSL مقداری از FASW است که در کم‌تر از آن (WSSL = 0.4) گسترش سطح برگ رو به کاهش می‌گذارد و WSSG نیز مقداری از FASW است که در کم‌تر از آن (WSSG = 0.3)



شکل ۱- روند تغییرات پارامترهای دمای بیشینه، کمینه و بارش تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵.
Figure 1. The maximum temperature, minimum temperature and precipitation changes under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios at 2025, 2055 and 2085 periods.

شدن دانه تأثیری بر طول دوره زمانی تنش کم‌آبی نسبت به شرایط تیمار شاهد نداشت و در همه شرایط به استثناء کم‌آبیاری در مرحله آبستنی، بازه تنش کم‌آبی یکسان بود و تقریباً از روز ۱۶۴ ام تا انتهای دوره رشد و نمو، گندم آبی رقم مهرگان به آبیاری نیاز داشت (شکل ۲). هم‌چنین مقدار شاخص WSSG نیز بیانگر بسیار خوبی برای بروز و مواجهه گیاه با تنش کم‌آبی بود. به‌طوری که با رسیدن به مرحله آبستنی مقدار این شاخص به کم‌تر از حد آستانه میزان آب قابل دسترس در منطقه ریشه گندم آبی رقم مهرگان رسید ($WSSG < 0.3$) که نشان از شرایط تنش کم‌آبی در گیاه بود. میزان آب قابل دسترس در منطقه ریشه از این حد آستانه به پایین، بیانگر آن است که ابتدا گسترش برگ و شاخص سطح برگ شروع به کاهش نمود و ادامه این روند تولید ماده خشک و در نهایت عملکرد دانه را نیز کاهش داد (۲۶، ۲۷).

میزان کسر آب قابل‌دسترس در منطقه ریشه نشان‌دهنده وضعیت رشد و نمو گیاه در شرایط بروز تنش آبی (کم‌آبی) می‌باشد. بنابراین با توجه به شرایط رشد و نمو گندم آبی رقم مهرگان در طول فصل، در شرایط بدون کم‌آبیاری (شاهد) به‌شکل طبیعی گیاه با ورود به مرحله آبستنی با کمبود آب مواجه نشده و میزان بارندگی منطقه پاسخگوی نیاز آبی گیاه بود. اما با گذر از مرحله آبستنی (روز ۱۶۵ ام)، با شرایط کمبود آب مواجه شده و نیاز به آبیاری گیاه امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر بود. (شکل ۲). بر پایه نتایج، تأثیر کم‌آبیاری در مرحله آبستنی نیز بر میزان آب قابل‌دسترس گندم آبی رقم مهرگان آشکار بود. به‌طوری‌که با کم‌آبیاری، نیاز به آبیاری گیاه از روز ۱۴۴ ام را ضروری نشان داد و نسبت به شرایط بدون کم‌آبیاری، طول دوره زمانی تنش کم‌آبی حدوداً ۲۱ روز افزایش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد که کم‌آبیاری در مراحل گلدهی، شیری شدن و خمیری



شکل ۲- مقایسه وضعیت میزان کسر آب قابل دسترس منطقه ریشه در طول فصل رشد گندم آبی رقم مهرگان.

Figure 2. Comparison of fraction available soil water in root zone at irrigated wheat cv. Mehregan during growth season.

کاهش (کوتاه‌تر شدن) بیش‌تری همراه بود و این کاهش طول دوره رشد و نمو تحت سناریو RCP8.5 نسبت به فصل رشد و نمو شدیدتر بود. به‌طوری‌که در شرایط بدون کم‌آبیاری در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5، بیش‌ترین اختلاف طول دوره رشد با مقدار ۴۴ روز بود. این در حالی بود که طول دوره رشد و نمو در شرایط کم‌آبیاری در مراحل آبستنی، گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه به ترتیب ۵۹، ۴۱، ۴۲ و ۴۳ روز مشاهده شد.

یافته‌های حاصل از ارزیابی تأثیر شرایط کم‌آبیاری بر طول دوره رشد و نمو گندم آبی مهرگان در هر یک از مراحل آبستنی، گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه در دوره‌های آینده ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با طول دوره رشد و نمو (۲۰۱۹-۲۰۲۰) در جدول ۳ ارائه شد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود طول دوره رشد و نمو گندم آبی مهرگان در دوره ۲۰۸۵ نسبت به دوره‌های ۲۰۵۵ و ۲۰۲۵ با

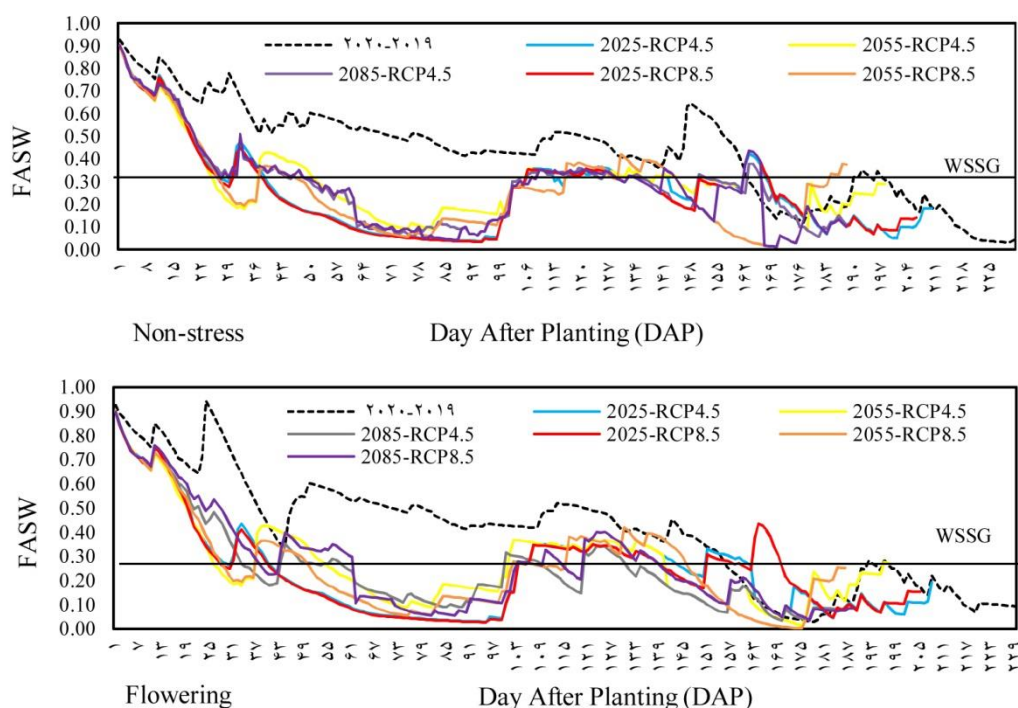
جدول ۳- مقایسه تأثیر کم‌آبایی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره رشد و نمو (۲۰۱۹-۲۰۲۰).

Table 3. Comparison of the water deficit in 2025, 2055 and 2085 periods under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios compared to growth season (2019-2020).

Scenario	Period	Experimental treatments				
		Non-stress	Booting	Flowering	Milking	Doughing
No- scenario	2019-2020	231	229	229	229	230
	2025	210	208	208	210	210
	2055	198	197	197	198	198
RCP4.5	2085	188	184	185	185	188
	2025	206	205	205	206	206
	2055	188	186	186	188	187
RCP8.5	2085	187	170	188	187	187

تنش کم‌آبی در شرایط کم‌آبایی در مرحله گلدهی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP4.5 به ترتیب با ۱۴۵، ۱۲۶ و ۱۲۸ روز مشاهده شد. درحالی‌که مقدار آن در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب ۱۴۶، ۱۲۸ و ۱۲۷ روز، در مقایسه با دوره فصل رشد و نمو گندم آبی مهرگان بود (شکل ۳). نتایج سلطانی و سینکدر (۲۰۱۲) نشان داد که کاهش مقادیر حد آستانه WSSL به کم‌تر از ۰/۴ و WSSG به کم‌تر از ۰/۳ به‌عنوان مقداری از آب قابل‌دسترس خاک در منطقه ریشه، بیانگر وضعیت رخداد تنش خشکی در گندم است که پیامدهایی مانند توقف گسترش برگ، تسریع روند پیری برگ و کاهش تولید ماده خشک را به همراه دارد (۲۷). نتایج شیوخی و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیانگر کاهش میزان گسترش سطح برگ و بیشینه شاخص سطح برگ در شرایط رخداد تنش خشکی در پایین‌تر از مقدار بحرانی شاخص WSSL و توقف میزان تولید ماده خشک در کم‌تر از مقدار بحرانی شاخص WSSG بود (۶). هم‌سنجی نتایج این پژوهش‌ها با یافته‌های این پژوهش در راستای قرار گرفتن گیاه در شرایط کمبود آب و تنش کم‌آبی در شرایط تغییر اقلیم همسو بود.

بر پایه نتایج، وضعیت آب قابل‌دسترس گیاه در منطقه ریشه در شرایط تغییر اقلیم (آینده) نتایج بسیار متفاوت و قابل‌توجهی نسبت به فصل رشد و نمو ۲۰۲۰-۲۰۱۹ داشت. با توجه به نتایج جدول ۳ و تشابه نتایج به‌دست‌آمده در شرایط تغییر اقلیم، به اختصار به بررسی وضعیت آب قابل‌دسترس گیاه در منطقه ریشه در شرایط بدون کم‌آبایی و کم‌آبایی در مرحله گلدهی پرداخته شد. نتایج نشان داد که هم در شرایط بدون کم‌آبایی و هم در شرایط کم‌آبایی در مرحله گلدهی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت هر دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 وضعیت آب قابل‌دسترس گیاه تنها در اوایل مراحل رشد و نمو نشان از عدم وجود تنش کم‌آبی بود و با گذر از مراحل اولیه رشد و نمو و تقریباً از روز ۶۰ ام، گندم آبی مهرگان با تنش کم‌آبی مواجه شد و نیاز به آبیاری از همین زمان بسیار مشهود بود. طول دوره تنش کم‌آبی در شرایط تغییر اقلیم در وضعیت بدون کم‌آبایی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP4.5 به ترتیب ۱۵۰، ۱۳۸ و ۱۲۸ روز مشاهده شد. درحالی‌که طول دوره تنش کم‌آبی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب ۱۴۶، ۱۲۸ و ۱۲۷ روز بود (شکل ۳). هم‌چنین نتایج بیانگر تفاوت قابل‌توجه طول دوره



شکل ۳- وضعیت میزان کسر آب قابل دسترس خاک در منطقه ریشه گندم آبی رقم مهرگان در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به فصل رشد و نمو (۲۰۱۹-۲۰۲۰).

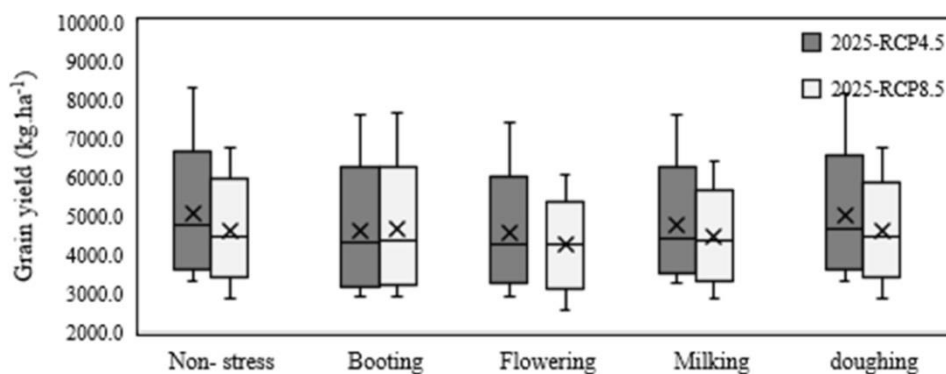
Figure 3. FASW in root zone of irrigated wheat cv. Mehregan at 2025, 2055 and 2085 periods under RCP4.5 and RCP8.5 compare to the growth season (2019-2020).

میزان عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری با شدت بیش‌تری کاهش یافت. به‌طوری‌که در سناریو RCP4.5 عملکرد دانه در شرایط قطع در مراحل آبستنی، گلدهی و خمیری شدن دانه به‌ترتیب ۹/۶، ۱۱/۴، ۷/۹ و ۱/۹ درصد کاهش یافت و تحت سناریو RCP8.5 به‌ترتیب با ۲، ۴/۵، ۲/۲ و ۰/۱ درصد کاهش همراه بود (شکل ۴). وجود طول روز کافی و مناسب و دمای مطلوب در سپری کردن مراحل فنولوژیکی به‌ویژه گلدهی و پر شدن دانه‌ها، منجر به افزایش عملکرد خواهد شد (۲۸). بروز تنش در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه به‌ویژه در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی بر تولید سطح برگ اثراتی جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت و روند پیری در گیاه را تسریع می‌دهد (۶). نه‌بندانی و همکاران (۲۰۱۷)، دلیل کاهش سطح برگ نخود در شرایط

بررسی نتایج حاصل از تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد گندم در شرایط اقلیم کنونی (طول فصل رشد و نمو)، نشان داد که در شرایط بدون کم‌آبیاری میزان عملکرد گندم آبی مهرگان ۵۷۸۳ کیلوگرم مشاهده شد. این در حالی بود که در شرایط کم‌آبیاری در مراحل آبستنی، گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه گندم آبی مهرگان، میزان عملکرد به‌ترتیب ۱۰/۷، ۱۲، ۱۵/۵ و ۱۳ درصد کاهش یافت. بر اساس یافته‌های حاصل، کم‌آبیاری در مرحله شیری شدن دانه در مقایسه با کم‌آبیاری در مراحل آبستنی، گلدهی و خمیری شدن دانه حساس‌تر و در نتیجه آسیب‌پذیرتر شناسایی گردید. اما نتایج بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم (آینده) بسیار متفاوت و قابل‌توجه بود. نتایج نشان داد که، در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوی RCP4.5 در مقایسه با سناریو RCP8.5

مرحله پر شدن دانه‌ها تنش آبی و دمای بالا بر روی عملکرد دانه تأثیر منفی بر جای گذاشت (۳۰).

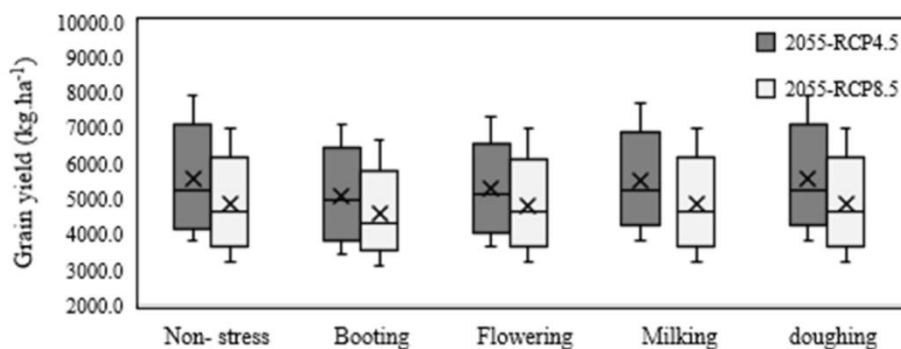
تنش از آغاز مرحله گلدهی را، طولانی‌تر بودن دوره تنش خشکی نسبت به دیگر تیمارها بیان کردند (۲۹). نتایج عبداللهی (۲۰۱۵)، نیز نشان داد که در طول



شکل ۴- ارزیابی عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5
Figure 4. Evaluation of grain yield under irrigation deficit condition at 2025 period under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

و قابل چشم‌پوشی بود. هم‌چنین در همین دوره تحت سناریو RCP8.5، در مقایسه با شرایط بدون کم‌آبیاری کاهش ۸/۳ درصدی عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری در مرحله آبستنی بسیار قابل توجه بود. درحالی‌که میزان عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری در مراحل گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه اختلاف بسیار اندکی را نشان داد (شکل ۵).

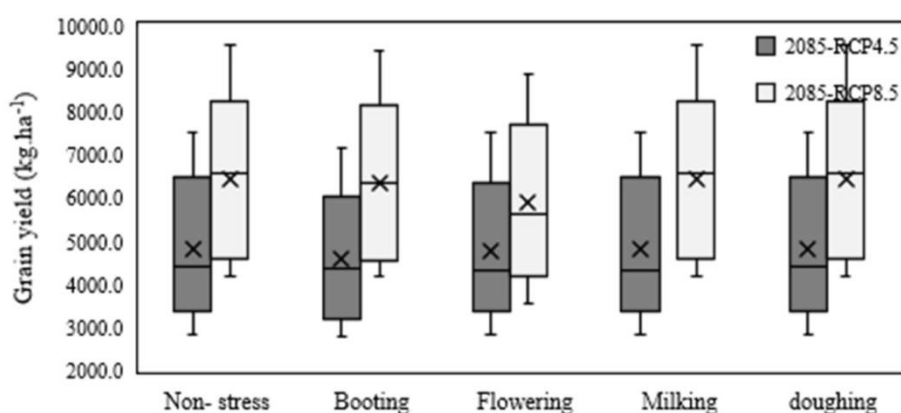
ارزیابی میزان عملکرد دانه گندم آبی رقم مهرگان در شرایط کم‌آبیاری در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP4.5 در مقایسه با دوره ۲۰۲۵ تغییرات شدیدی نداشت اما دارای تفاوت‌هایی بود. به‌طوری‌که کم‌آبیاری در مراحل آبستنی و گلدهی به ترتیب با مقادیر ۵/۴، ۲/۳ درصد شد. اما کم‌آبیاری در مراحل شیری شدن و خمیری شدن دانه تغییرات بسیار ناچیز



شکل ۵- ارزیابی عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5
Figure 5. Evaluation of grain yield under irrigation deficit condition at 2055 period under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

RCP8.5. نشان داد که کم‌آبیاری در مرحله گلدهی به میزان قابل توجهی عملکرد دانه را در مقایسه با سایر مراحل کم‌آبیاری تحت تأثیر قرارداد. به طوری که بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه با ۱۶/۸ درصد مربوط به کم‌آبیاری در مرحله گلدهی بود. مرحله آبستنی با ۳/۶ درصد، مرحله شیری شدن با ۰/۱ درصد در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند و کم‌آبیاری در مرحله خمیری شدن اختلافی را نشان نداد (شکل ۶).

بر پایه یافته‌ها، در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP4.5 تأثیر کم‌آبیاری در شرایط تغییر اقلیم بر عملکرد دانه با کاهش ۱/۵ درصدی عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری در مرحله گلدهی مواجه شد. در حالی که عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری در مرحله آبستنی تغییرات کمی داشت و در مراحل شیری شدن و خمیری شدن دانه بدون تغییر باقی ماند. هم‌چنین ارزیابی عملکرد دانه در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو



شکل ۶- ارزیابی عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5
 Figure 6. Evaluation of grain yield under water deficit condition at 2085 period under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

مصرف آب بازی می‌کند، که بدین شکل تأثیر مستقیمی بر عملکرد گیاهان می‌گذارد (۳۱). با این وجود به نظر می‌رسد افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی و کاهش میزان بارش، اثرات سودمند افزایش دی‌اکسیدکربن را خنثی می‌کند (۳۲). از طرفی، با ایجاد تغییراتی در مقدار دما و شدت و مدت بارندگی‌ها به‌طور غیرمستقیم بر عملکرد گیاهان مؤثر است (۳۳). بر پایه یافته‌های این پژوهش، در دوره ۲۰۸۵ و تحت سناریو RCP8.5 در شرایط رخداد تنش در مرحله گلدهی بیش‌ترین میزان کاهش عملکرد نسبت به فصل رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ (غلظت دی‌اکسیدکربن ۳۸۵ppm) مشاهده شد، درجایی که میزان افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در بالاترین میزان پیش‌بینی شده با مقدار ۸۱۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شده

به‌طورکلی، نتایج ارزیابی میزان عملکرد دانه در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در شرایط تغییر اقلیم نشان داد که تغییرات با گذر از دوره ۲۰۲۵ تا دوره ۲۰۸۵ دچار کاهش مشهودی شد. این کاهش عملکرد دانه تحت سناریو RCP 8.5 نیز نسبت به سناریو RCP4.5 آشکارتر و با شدت بیش‌تری همراه بود که در این میان کم‌آبیاری در مراحل آبستنی و به‌ویژه گلدهی نمود بیش‌تری بر میزان عملکرد دانه داشت. گیاهان زراعی برای گذراندن مراحل رشد و نمو، ارتباط تنگاتنگی با شرایط اقلیمی و محیط پیرامونی خود دارند. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بین سلولی نقش بسیار مهمی را در بالا بردن بهره فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش تعرق و افزایش کارایی

نشان دادند که میانگین عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندر در سال هدف در مناطق مختلف کشور به‌ترتیب ۱۸/۶، ۱۹/۱، ۶/۶ و ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت. این کاهش عمدتاً به دلیل افزایش دما بود و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تنها در حدود ۵/۶ درصد از اثرات منفی دمای بالا را جبران کرد (۳۷). قربانی و سلطانی (۱۳۹۳)، بیان کردند که تغییر اقلیم در منطقه گرگان تأثیر فراوانی بر رشد، نیاز آبی و عملکرد سویا (دیم) نخواهد داشت (۳۸). کریشان و همکاران (۲۰۱۸) بیان نمودند که 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. بنابراین اثر خالص تغییر اقلیم بر عملکرد، به اثرات متقابل بین این عوامل بستگی دارد (۳۱).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم دمای بیشینه و کمینه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در طی دوره‌های موردبررسی در مقایسه با دوره پایه افزایش یافت. این میزان افزایش با گذر از دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۸۵ و همچنین در سناریو RCP4.5 در مقایسه با سناریو RCP8.5 شدیدتر بود. میزان بارش در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت هر دو سناریو نسبت به دوره پایه روند افزایشی داشت. اما در دوره ۲۰۸۵ نتایج متفاوت بود. به‌طوری‌که تحت سناریو RCP4.5 شاهد افزایش بارش بوده و تحت سناریو RCP8.5 میزان بارش کاهش یافت. نتایج حاصل از ارزیابی کم‌آبایی بر طول دوره رشد و نمو نیز نشان داد که در دوره ۲۰۸۵ طول دوره نسبت به دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ با کوتاه‌تر شدن بیش‌تری همراه بود. که این وضعیت تحت سناریو RCP8.5 محسوس‌تر بود. همچنین بر پایه یافته‌ها، وضعیت آب

بود. درحالی‌که کم‌ترین کاهش عملکرد نسبت به فصل رشد و نمو ۲۰۲۰-۲۰۱۹، در دوره ۲۰۲۵ و تحت سناریو RCP4.5 (غلظت دی‌اکسیدکربن ۴۳۲ppm)، مشاهده شد. بنابراین می‌توان این‌گونه بیان نمود که اثرات سودمند افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در مقابل اثرات منفی افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی و کاهش میزان بارش تا حدودی بی‌اثر شد. هاتفیلد و همکاران (۲۰۱۱)، گزارش کردند که افزایش دو برابری در میزان غلظت دی‌اکسیدکربن از ۳۵۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام، افزایش عملکرد به‌ترتیب ۳۰ و ۱۰ درصدی در گیاهان C3 (گندم و برنج) و C4 (ذرت و نیسکر) را به دنبال داشت (۳۴). نتایج یانگ و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که تشدید کمبود آب و فراوانی رویداد دمای بالا در اواخر بهار (آوریل-ژوئن)، هم‌زمان با مرحله حساس پر شدن دانه در نتیجه منجر به کاهش عملکرد ۱۴ درصدی در هر دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و به‌ترتیب ۱۷ و ۲۷ درصدی، در دوره ۲۰۸۰-۲۰۵۱ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) شد (۳۵). کوکال و ایرماک (۲۰۱۸) بیان نمودند که روند تغییرات مشاهده‌شده دما برای عملکرد ذرت مفید بود، اما برای عملکرد سورگوم و سویا تأثیرات منفی برجای گذاشت و باعث کاهش عملکرد شد. این در حالی بود که روند تغییرات بارش در هر سه محصول مثبت ارزیابی شد و در نهایت عملکرد افزایش یافت (۳۶). رازا و همکاران (۲۰۱۹)، بهره‌مندی از کشاورزی هوشمند- اقلیم را تنها راه برای کاهش تأثیر منفی تغییر اقلیم بر سازگاری گیاهان پیش از این‌که بر تولید محصولات جهانی به‌شدت تأثیر بگذارد، دانستند (۱۴). بر پایه یافته‌های گانتولوکا و همکاران (۲۰۲۰)، بیشینه دما و میزان بارش تأثیر نامطلوب قابل‌توجهی بر عملکرد برنج، پنبه و بادام‌زمینی داشت. هم‌چنین کمینه دما نیز بر عملکرد برنج، پنبه و بادام‌زمینی تأثیر مثبتی داشت (۲۱). کوچکی و نصیری محلاتی (۱۳۹۵)،

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های موردنیاز از سازمان هواشناسی کشور تهران- ایران تهیه گردید. و آزمایش در روستای خاوه واقع در شهرستان ورامین در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد.

تعارض منافع

در این پژوهش، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

تمامی مراحل پژوهش توسط مؤلف مقاله انجام، تهیه و تدوین گردید

اصول اخلاقی

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده است و این موضوع مورد تأیید می‌باشد

حمایت مالی

پژوهش حاضر از سوی هیچ سازمان یا نهادی مورد حمایت مالی قرار نگرفت.

قابل‌دسترس گیاه در شرایط بدون کم‌آبیاری و هم در شرایط کم‌آبیاری در مرحله گلدهی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت هر دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5، نشان از عدم وجود تنش کم‌آبی بود و با گذر از مراحل اولیه رشد و نمو بود که گیاه با تنش کم‌آبی مواجه شد و نیاز به آبیاری از همین زمان ضروری بود. نتایج ارزیابی میزان عملکرد دانه نشان داد که کاهش عملکرد دانه تحت سناریو RCP 8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 آشکارتر و با شدت بیشتری همراه بود. و در این میان کم‌آبیاری در مراحل آبستنی و به‌ویژه گلدهی میزان عملکرد دانه را با کاهش چشمگیری مواجه ساخت. بنابراین می‌توان این‌گونه بیان نمود که مدیریت آبیاری و برنامه‌ریزی صحیح در تأمین نیاز آبی گیاه در مراحل حساس به شرایط کم‌آبی (مراحل آبستنی و گلدهی) از کاهش میزان عملکرد گندم آبی مهرگان جلوگیری کرد.

تقدیر و تشکر

از تمامی عزیزانی که در اداره آموزش و ترویج کشاورزی روستای خاوه- ورامین خدمت نموده و در انجام این پژوهش همکاری و مساعدت نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Baygi, Z., Safizadeh, S., Shirani Rad, A. M., Valadabadi, S.A., and Jafarnejad, A. 2018. Seed Yield and Yield Component of Some Spring Wheat Varieties as Affected by Different Sowing Dates in Neishabour. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11: 4. 905-922 (In Farsi)
2. Shiukhy-Soqanloo, S., Mousavi-Baygi, M., Torabi, B., and Raeini-Sarjaz, M. 2021a. The Climate Change Effect on Crop Development, Growth and Yield under Drought Stress by Using SSM Model. PhD. Agricultural Faculty, Ferdowsi University of Mashhad.
3. Austin, K.G., Beach, R.H., Lapidus, R., Salem, M.E., Taylor, N.J., Knudsen, M., and Ujeneza, N. 2020. Impacts of Climate Change on the Potential Productivity of Eleven Staple Crops in Rwanda. *Sustainability*, 12: 1-12.
4. Yang, Ch., Ferga, H., Van Leperen, W., Trindade, H., and Santos, J.A. 2019. Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal. *Climatic Change*. *Climatic Change*, 154: 159-178.

5. Xiao, D., Bai, H., and Liu, D.L. 2018. Impact of Future Climate Change on Wheat Production: A Simulated Case for China's Wheat System. *Sustainability*. 10: 1-15.
6. Shiukhy-Soqanloo, S., Mousavi-Baygi, M., Torabi, B., and Raeini-Sarjaz, M. 2021b. 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.
7. Hammer, G.L., van Oosterom, E., McLean, G., Chapman, S.C., Broad, I., Harland, P., and Muchow, R.C. 2010. Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *J. Exp. Bot.* 61, 2185e2202.
8. Tao, F., Rotter, R.P., Palosuo, T., Diaz-Ambrona, C.G.H., Ines Minguez, M., and Semenov, M.A. 2018. Contribution of crop model structure, parameters and climate projections to uncertainty in climate change impact assessments. *Global Change Biology*, 24: 3. 1921-1307.
9. Guntukula, R., and Goyari, P. 2020. Climate Change Effects on the Crop Yield and Its Variability in Telangana, India. *Studies in Microeconomics*, 8: 1. 119-148.
10. Kukal, M.S., and Irmak, S. 2018. Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great Plains Agricultural Production. *Scientific reports*, 8: 1-18.
11. Fahad, Sh., Bajwa, A., Nazir, U., Anjum, Sh.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, Sh., Nasim, W., Adkins, S., Shah Saud, Sh., Ihsan, M.Z., Alharby, H., Wu, Ch., Wang, D., and Huang, J. 2017. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. doi: 10.3389/fpls.2017.01147.
12. Wei, Y., Jin, J., Jiang, Sh., Ning, Sh., and Liu, L. 2018. Quantitative Response of Soybean Development and Yield to Drought Stress during Different Growth Stages in the Huaibei Plain, China. *Agronomy*, 9: 1-16.
13. Mehraban, A., Tobe, A., Gholipour, A., Amiri, E., Ghafari, A., and 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.). *Pol. J. Environ. Stud.* 28: 2. 739-746.
14. Raza, A., Razaq, A., Saher Mahmood, S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., and Xu, J. 2019. Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plant*, 8: 34. 1-29.
15. Saeidi, M., and 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)
16. Delghandi, M., Andarzian, B., Broomandnasab, S., Massah Bovani, A., and 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)
17. Sinclair, T.R., Soltani, A., Marrou, H., Ghanem, M., and Vadez, V. 2020. Geospatial assessment for crop genetic and management improvements. *Crop Sci.* 60(2): 700-708. <https://doi.org/10.1002/csc2.20106>.
18. Schoppach, R., Soltani, A., Sinclair, T.R., and Sadok, W. 2017. Yield comparison of simulated rainfed wheat and barley across Middle-East. *Agric. Syst.* 153: 101-108.
19. Sciarresi, C., Patrignani, A., Soltani, A., Sinclair, T., and Lollato, R.P. 2019. Plant traits to increase winter wheat yield in semiarid and subhumid environments. *Agron. J.* 111: 1-13.
20. Sinclair, T.R., Messina, C.D., Beatty, A., and Samples, M. 2010. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. *Agron. J.* 102: 2. 475-482.

21. Guiguitant, M.E., Marrou, H., Vadez, V., Gupta, P., Kumar, S., Soltani, A., Sinclair, T.R., and Guiguitant, M.E. 2017. Relevance of limited-transpiration trait for lentil (*Lens culinaris* Medik.) in South Asia. *Field Crop Res.* 209: 96-107.
22. Vadez, V., Halilou, O., Hissene, H.M., Sibiry-Traore, P., Sinclair, T.R., and Soltani, A. 2017. Mapping water stress incidence and intensity, optimal plant populations, and cultivar duration for African groundnut productivity enhancement. *Front. Plant Sci.* 8: 432.
23. Khalili, A., Bazrafshan, J., and Cheraghalizadeh, M. 2022. A Comparative study on climate maps of Iran in extended de Martonne classification and application of the method for world climate zoning. *Journal of Agricultural Meteorology*, 10(1): 3-16. DOI: 10.22125/agmj. 2022. 156309.
24. Shiukhy-Soqanloo, S., Raeini, M., and Chalavi, V. 2015. Colored plastic mulch microclimates affect strawberry fruit yield and quality. *International Journal of Biometeorology* 59: 8. 1061-1066.
25. Wayne, G.P. 2013. *The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways*. Skeptical Science, Version 10, 24pp.
26. Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crop Research*. 124: 252-26. [https://doi.org/ 10.1016/S0378-4290\(99\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00017-9).
27. Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012. *Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield*. CAB International, Wallingford, UK.
28. Mokari, M., Abedinpour, M., and Dehghan, H. 2020. The effect of drought stress and sowing date on grain yield and water use efficiency in autumn wheat in Kashmar region. *Journal of Water Research in Agriculture*. 34: 2. 167-189. (In Persian with English Summary)
29. Nah-Bandani, A.R., Soltani, A., and Darvishirad, P. 2017. The effect of end-of-season drought stress on water consumption, growth and yield of chickpeas. *Scientific Journal of Plant Ecophysiology*, 7: 23. 17-27.
30. Abdollahi, A. 2015. Investigation of the effect of sowing date and density on grain yield and yield components of bread wheat in rainfed conditions. *Iranian Journal of Rainfed Agriculture*, 4: 2. 99-114.
31. Krishnan, R., Sabin, T. P., Madhura, T. P., Vellore, R.K., Mujumdar, M., Sanjay, J., Nayak, S., and Rajeevan, M. 2018. Non-monsoonal precipitation response over the Western Himalayas to climate change. *Climate Dynamics*, 52: 4091-4109.
32. Xiao, D., Bai, H., and Liu, D.L. 2018. Impact of Future Climate Change on Wheat Production: A Simulated Case for China's Wheat System. *Sustainability*. 10: 1-15.
33. Asseng, S., Jamieson, P.D., Kimball, B., Pinter, P., Sayre, K., Bowden, J.W., and Howden, S.M. 2004. Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO₂. *Field Crop Research*, 85: 85-102.
34. Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B.A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomson, A.M., and Wolfe, D. 2011. *Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production*. *Agronomy Journal*. 103: 351-370.
35. Yang, Ch., Ferga, H., Van Leperen, W., Trindade, H., and 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.
36. Kukal, M.S., and Irmak, S. 2018. Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great Plains Agricultural Production. *Scientific reports*, 8: 1-18.
37. Koochaki, A., and 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)
38. Ghorbani, Kh., and Soltani, A. 2014. The effect of climate change on soybean yield in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, 21: 2. 67-85. (In Farsi)

