

Modeling the yield of rainfed chickpea in dormant seeding using general circulation models in west and north western of Iran

Seyed Reza Amiri^{*1}, Hamed Eyni-Nargeseh²

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Plant Production, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan, Iran. E-mail: r.amiri@saravan.ac.ir, amiriseyedreza86@gmail.com
2. Department of Agricultural Science, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran. E-mail: hamed.eyni68@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 07.06.2022
Revised: 09.11.2022
Accepted: 10.02.2022

Keywords:
Cumulative rainfall,
Seed yield,
Sowing date,
Temperature during
growing season

ABSTRACT

Background and Objectives: According to global warming and climate change, investigating and assessing the efficiency of adaptation strategies are necessary for achieving agricultural sustainable development under future climate conditions. Change in sowing date and dormant seeding for crops can be considered as a suitable strategy to adapt with changing climate conditions. Under dormant seeding management (DSM), the seeds remain ungerminated in the soil, and germinate and emerge with the onset of warming to exploit late-winter rainfalls, and consequently decrease frost risk stress at seedling stage and increase water use efficiency. The main objective of the current study was to investigate the effect of sowing dates especially dormant seeding on the yield of rainfed chickpea in Kermanshah (West) and Tabriz (Northwest) climatic conditions.

Materials and Methods: In the current study, three general circulation models (MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR and NorESM1) were used under two emission scenarios (RCP4.5 and RCP8.5) for 2039–2069 in Kermanshah and Tabriz regions. GCM outputs were downscale by AgMIP methodology. The SSM-Chickpea model was employed to simulate the growth and development of chickpea. Five sowing dates including 21 December (DSM), 6 March, 21 March, 4 April and 21 April were considered as an adaptation strategy to possible impacts of climate change. The studied traits included leaf area index, number of days to maturity, mean temperature over the growing season, cumulative rainfall, evapotranspiration, biological yield, and grain yield.

Results: The results of model validation showed that the model was able to predict the grain yield properly ($R^2=0.92$ and $RMSE=14\%$). Overall, averaged grain yield at all sowing dates in Tabriz was 131% more than Kermanshah in the baseline. High grain yield in Tabriz compared with Kermanshah can be attributed to more leaf area index and length of growing season. At the baseline and both locations, the average grain yield in dormant seeding sowing date was 13.51, 22.30, 31.94 and 46.86% higher than in comparison to 6 March, 21 March, 4 April and 21 April sowing dates, respectively. On average (GCMs, emission scenarios and locations), dormant seeding had the highest grain yield (24.93%) than other sowing dates in future climate change conditions compared to baseline. The reasons of superiority of dormant seeding of chickpea compared to other sowing dates was due to coinciding of crop growth period with rainfall, reduction in negative effects of high temperatures on grain yield especially during grain filling, increasing transpiration efficiency due to

lower temperatures over the growing season and escaping terminal drought stress at end of growing season. Averaged grain yield (locations, sowing dates and GCMs) under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios increased by 8.97 and 14.12% compared to baseline. Increasing grain yield was due to the positive effects of boosting the carbon dioxide concentration on the photosynthesis rate of chickpea as a C₃ plant under changing climate.

Conclusion: The results indicated that the air temperature will increase under climate change, and adaptation strategies needs to be investigated to mitigate the negative effects of climate change. Under future climate change conditions, dormant seeding had the highest grain yield across all GCMs, scenarios and locations, so that in Kermanshah and Tabriz, dormant seeding compared to other sowing dates showed the highest grain yield (+43.93% and +14.86%, respectively). Therefore, it is recommended that in the baseline and future climate change, rainfed chickpea can be planted as dormant seeding, so that the highest grain yield is obtained using winter rainfall and other optimal environmental factors during the growing season.

Cite this article: Amiri, Seyed Reza, Eyni-Nargeseh, Hamed. 2023. Modeling the yield of rainfed chickpea in dormant seeding using general circulation models in west and north western of Iran. *Journal of Plant Production Research*, 30 (1), 187-208.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20360.2948

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

مدل‌سازی عملکرد نخود دیم در کشت انتظاری با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در غرب و شمال غرب ایران

سید رضا امیری^{۱*}، حامد عینی نرگسه^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، ایران. رایانامه: r.amiri@saravan.ac.ir
amirseyedreza86@gmail.com
۲. گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران. رایانامه: hamed.eyni68@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: با توجه به گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، بررسی و ارزیابی کارایی راهکارهای سازگاری در شرایط اقلیمی آینده برای توسعه پایدار ضروری است. تغییر تاریخ کشت و کشت انتظاری گیاهان می‌تواند راه‌حلی مناسب برای سازگاری با شرایط تغییر اقلیم باشد. در کشت انتظاری بذرها به‌صورت جوانه زده در خاک باقی می‌مانند و همراه با گرم شدن هوا با بهره‌گیری از بارندگی‌های زمستان جوانه زده و سبز می‌شوند و در نتیجه خطر سرمازدگی گیاهچه‌ها کاهش یافته و از آب خاک به‌طور کارآمدی استفاده می‌شود. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر تاریخ‌های کشت، به ویژه کشت انتظاری بر عملکرد نخود دیم در شرایط آب و هوایی کرمانشاه (غرب) و تبریز (شمال‌غرب) بود.
واژه‌های کلیدی: بارش تجمعی، تاریخ کاشت، دمای طول فصل رشد، عملکرد دانه	مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر سه مدل گردش عمومی (MPI-ESM-MR، MPI-ESM-LR و NorESM1-M) تحت دو سناریوهای انتشار (RCP4.5 و RCP8.5) برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۹ در دو ایستگاه کرمانشاه و تبریز استفاده شد. این مدل‌ها به عنوان مدل‌های گردش عمومی برتر معرفی شده‌اند اما هر کدام در پیش‌بینی یک متغیر نسبت به دیگری برتری داشتند به همین دلیل در پژوهش حاضر که مستقیماً با یک محصول کشاورزی مهم سر و کار دارد، از هر سه مدل استفاده شد تا اختلاف بین مدل‌ها بر عملکرد دانه نخود نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی با استفاده از روش ارائه شده توسط AgMIP انجام شد. رشد و نمو نخود با استفاده از مدل SSM-Chickpea شبیه‌سازی شد. پنج تاریخ کشت شامل ۲۰ آذر به عنوان کشت انتظاری، ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به عنوان راهکار سازگاری به اثرات احتمالی تغییر اقلیم در نظر گرفته شد. صفات مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، تعداد روز تا رسیدگی، میانگین دما در طول فصل رشد، بارش تجمعی، تبخیر-تعرق، ماده خشک و عملکرد دانه بودند.

یافته‌ها: نتایج اعتبارسنجی مدل برای عملکرد دانه نشان داد که مدل قادر به پیش‌بینی مناسب عملکرد دانه بود (ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۱۴ درصد). به طور کلی میانگین عملکرد دانه نخود در دوره پایه در تمامی تاریخ‌های کشت در تبریز ۱۳۱ درصد بیش‌تر از کرمانشاه بود. دلایل عملکرد بیش‌تر در تبریز برتری شاخص سطح برگ و طول فصل رشد بود. میانگین عملکرد دانه هر دو منطقه در دوره پایه در کشت انتظاری نسبت به تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۱۳/۵۱، ۲۲/۳۰، ۳۱/۹۴ و ۴۶/۸۶ درصد افزایش یافت. به‌طور میانگین (مدل‌های گردش عمومی، سناریوهای انتشار و مناطق) در شرایط تغییر اقلیم آینده در مقایسه با دوره پایه، کشت انتظاری بیش‌ترین افزایش (۲۴/۹۳ درصد) عملکرد را نسبت به سایر تاریخ‌های کشت داشت. تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد، کاهش اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد دانه به‌خصوص در طول پرشدن دانه و هم‌چنین افزایش کارایی تعرق به دلیل دماهای پایین‌تر در طی مراحل رشد و فرار از تنش خشکی انتهای فصل دلایل برتری کشت انتظاری نخود دیم نسبت به سایر تاریخ‌های کشت بود. میانگین عملکرد دانه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۸/۹۷ و ۱۴/۱۲ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت. افزایش عملکرد تحت شرایط تغییر اقلیم به دلیل اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر فتوسنتز نخود به عنوان یک گیاه C₃ بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که دمای هوا در شرایط تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت و برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم لازم است راهکارهای سازگاری به این شرایط بررسی شوند. در شرایط تغییر اقلیم آینده کشت انتظاری در بین تمامی مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار در مناطق مورد مطالعه، بیش‌ترین عملکرد دانه را داشت، به‌طوری‌که در کرمانشاه و تبریز بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه را در مقایسه با سایر تاریخ‌های کشت نسبت به دوره پایه به خود اختصاص داد (۴۳/۹۳+ و ۱۴/۸۶+ درصد). بنابراین به کشاورزان توصیه می‌شود در شرایط فعلی و تغییر اقلیم آینده، نخود دیم به‌صورت انتظاری کشت شود تا با بهره‌گیری از بارش‌های زمستانه و سایر عوامل بهینه محیطی طی فصل رشد، بیش‌ترین عملکرد دانه را به‌دست آورند.

استناد: امیری، سید رضا، عینی نرگسه، حامد (۱۴۰۲). مدل‌سازی عملکرد نخود دیم در کشت انتظاری با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در غرب و شمال غرب ایران. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۱۸۷-۲۰۸.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20360.2948



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

در طی سال‌های اخیر گرمایش جهانی و موضوع تغییر اقلیم بخش کشاورزی را تحت‌تأثیر قرار داده، به‌طوری‌که هر ساله پژوهش‌های مختلفی در زمینه گیاهان زراعی مختلف در سراسر کشور (۱، ۲ و ۳) و نقاط مختلف دنیا (۴ و ۵) به انجام می‌رسد. یکی از راه‌های کم‌هزینه برای اندازه‌گیری اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است (۶). با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی قابل پیش‌بینی بوده و می‌توان از طریق راهکارهای مناسب، تأثیرات منفی تغییر اقلیم بر کشاورزی را کاهش داد (۷). راهکارهای سازگاری به تغییرات اقلیمی و ارزیابی آن‌ها در شرایط اقلیمی آینده برای توسعه پایدار امری ضروری است (۸). تاریخ کشت به عنوان یک راهکار ساده و کم‌هزینه در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است (۹ و ۱۰) که می‌تواند راه‌حلی برای سازگاری با شرایط تغییر اقلیم آینده باشد. در شرایط تغییر اقلیم آینده، ارقام با دوره‌های رسیدگی مختلف نیازمند بررسی در تاریخ‌های کشت زودتر و دیرتر در مقایسه با شرایط حاضر هستند تا مشخص شود از نظر عملکرد دانه چه پاسخی خواهند داشت (۱۰). سینگ و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تحت شرایط تغییر اقلیم (دوره ۲۰۵۰) عملکرد نخود در مناطق سرد ۱۷ تا ۲۵ درصد افزایش خواهد یافت، در حالی‌که در مناطق گرم ۷ تا ۱۶ درصد کاهش عملکرد در پی خواهد داشت (۱۱). نتایج یک پژوهش دیگر در اتیوپی نشان داد که عملکرد نخود در شرایط حال و آینده در کشت زود هنگام افزایش می‌یابد (۱۲). در پژوهشی که توسط عینی نرگسه و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد، پنج تاریخ کشت ۱۶ و ۳۱ فروردین، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد به‌عنوان راهکار سازگاری به شرایط تغییر اقلیم در کشت ذرت دانه‌ای در استان کرمانشاه مورد بررسی

قرار گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که با توجه به بارش تجمعی بیش‌تر در طول فصل رشد (۵۴/۲۷ میلی‌متر) در کشت‌های زود هنگام (۱۶ و ۳۱ فروردین) و هم‌چنین افت عملکرد کم‌تر در مقایسه با دیگر تاریخ‌های کشت، می‌توان از کشت زود هنگام به عنوان راهکار سازگاری برای استفاده از بارش‌های فصلی و دستیابی به عملکرد قابل قبول استفاده کرد (۱۳).

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین حبوباتی است که با توجه به سازگاری بیش‌تر با شرایط اقلیمی ایران در مقایسه با سایر حبوبات می‌تواند بخشی از نیازهای پروتئینی کشور را تأمین کند و بنابراین باید بیش‌تر مورد توجه کشاورزان و مسئولان کشور قرار گیرد (۱۴). حبوبات (۶/۶۹ درصد) بعد از غلات (۷۱/۷۵ درصد) و گیاهان علوفه‌ای (۸/۹۲ درصد) بیش‌ترین سطح زیر کشت گیاهان زراعی را در ایران به خود اختصاص می‌دهند. طبق آخرین گزارش وزارت جهاد کشاورزی، نخود با سطحی معادل ۵۳۰ هزار هکتار بیش‌ترین سطح زیر کشت را در بین حبوبات دارا می‌باشد (۷۹ درصد) و سالانه تولیدی معادل ۳۴۸/۶۲۸ تن (۷۵ درصد از کل تولید حبوبات) در کل کشور دارد. شایان ذکر است که حدود ۹۸ درصد سطح زیر کشت نخود در کشور به‌صورت دیم بوده و تنها دو درصد به‌صورت آبی کشت می‌شود (۱۵).

کشاورزان در ایران معمولاً نخود را در اواخر زمستان تا اوایل بهار کشت می‌کنند. تحت این شرایط محصول زراعی از بارش‌های فصل زمستان استفاده مناسبی نداشته و در نتیجه کارایی مصرف آب کم بوده و مرحله زایشی گیاه با تنش گرما و خشکی مواجه می‌شود (۱۶). در نواحی سردسیر برخی از کشاورزان نخود را در اواخر پاییز و به صورت انتظاری^۱ کشت می‌کنند. در شرایط کشت انتظاری، بذرها به‌صورت جوانه نزده و خفته در خاک باقی می‌مانند تا زمانی که

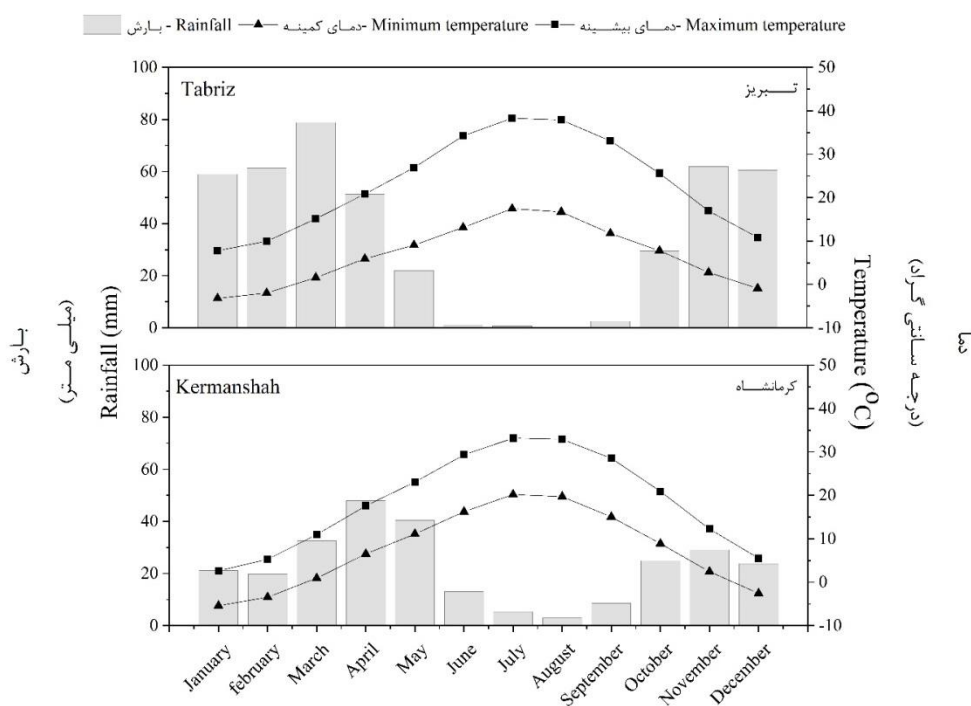
مطالعه حاضر بررسی تأثیر تاریخ‌های کشت و به‌ویژه کشت انتظاری بر عملکرد نخود دیم در شرایط آب و هوایی کرمانشاه (غرب) و تبریز (شمال غرب) بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌های آب و هوایی: پژوهش حاضر در دو ایستگاه کرمانشاه واقع در غرب (به طول جغرافیایی ۴۷/۹۰ درجه، عرض جغرافیایی ۳۴/۲۱ درجه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۸) و تبریز واقع در شمال غرب کشور (به طول جغرافیایی ۴۶/۲۵ درجه، عرض جغرافیایی ۳۸/۲۰ درجه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۰) انجام شد. اطلاعات آب و هوایی مناطق مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. استان‌های آذربایجان شرقی و کرمانشاه با بیش از ۲۱۰ هزار هکتار نخود دیم بخش مهمی از تولید سالانه این محصول ارزشمند را به خود اختصاص می‌دهند.

دما و رطوبت خاک بعد از سرمای فصل زمستان به حد بهینه برای گیاه برسد (۱۷). بذرها با شروع گرم شدن هوا به دلیل تغییرات آب و هوایی با بهره‌گیری از بارندگی‌های زمستان جوانه زده و سبز می‌شوند و در نتیجه خطر سرمازدگی گیاهچه‌ها کاهش یافته و از آب خاک به‌طور کارآمدی استفاده می‌شود. هم‌چنین محصول زراعی با اجتناب از گرما و تنش خشکی انتهای فصل و طول فصل رشد بیشتر، عملکرد دانه بیش‌تری تولید می‌کند.

بنابراین، با توجه به اهمیت کشت نخود به عنوان یک گیاه زراعی مهم و هم‌چنین تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی، لازم است تاریخ‌های کشت بهینه در شرایط تغییر اقلیم آینده بیش‌تر مورد بررسی قرار گیرند. تاکنون نیز پژوهشی مبنی بر بررسی تاریخ کشت و به‌طور خاص کشت انتظاری نخود در مناطق مختلف ایران تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از رهیافت مدل‌سازی به انجام نرسیده است. بنابراین هدف از



شکل ۱- بارش و دماهای کمینه و بیشینه ماهانه بلندمدت (۱۹۸۰-۲۰۱۰) در مناطق مورد مطالعه.

Fig. 1. Long-term (1980-2010) monthly cumulative rainfall and maximum and minimum temperatures of at study regions.

می‌کنند (۲۰). برآورد وضعیت اقلیمی آینده توسط مدل‌های اقلیمی و بیش از همه توسط مدل‌های گردش عمومی انجام می‌شود (۲۰). با توجه به این موضوع که دقت و قدرت تفکیک‌پذیری مدل‌های گردش عمومی با هم متفاوت است در این پژوهش از خروجی سه مدل MPI-ESM-LR (قدرت تفکیک‌پذیری $1/875 \times 1/9$ درجه)، MPI-ESM-MR (قدرت تفکیک‌پذیری $1/875 \times 1/9$ درجه) و NorESM1-M (قدرت تفکیک‌پذیری $2/5 \times 1/9$ درجه) استفاده شد تا مقایسه‌ای بین مدل‌های گردش عمومی از لحاظ تأثیر بر عملکرد نخود دیم انجام شود. مدل‌های گردش عمومی مذکور پیش‌تر توسط قهرمان و همکاران (۲۰۱۵) از بین ۳۷ مدل گردش عمومی ارائه شده در گروه مدل‌های پروژه CMIP5 که در پنجمین گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم مورد استناد بوده است، ارزیابی و توصیه شده‌اند (۲۱). بنابراین، این مدل‌ها از لحاظ پیش‌بینی بارش و دماهای کمینه و بیشینه بالاترین دقت را به خود اختصاص دادند (۲۲). از طرفی خروجی مدل‌های گردش عمومی به دلیل ماهانه بودن دما و بارش و همچنین بزرگ مقیاس بودن نیازمند ریزمقیاس‌نمایی هستند (۲۳) تا داده‌های آب و هوایی به صورت روزانه در مقیاس ایستگاه‌های هواشناسی به دست آیند. ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی با استفاده از روش ارائه شده توسط AgMIP (The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project) انجام شد (۲۴ و ۲۵). در این روش سناریوهای اقلیمی بر اساس داده‌های حاصل از دوره پایه (شامل تابش، بارش، دمای کمینه و بیشینه) تحلیل می‌شوند. این سناریوها با استفاده از روش سناریوی دلتا و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی که در AgMIP ارائه شده است تولید می‌شوند (۲۲، ۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷). در روش مذکور با استفاده از داده‌های بلندمدت اقلیم و بر پایه تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارش (۲۲ و ۲۷)، داده‌های روزانه اقلیمی تحت

در گام اول و به منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده مناطق مورد مطالعه، لازم بود تا متغیرهای آب و هوایی گردآوری شوند. در پژوهش حاضر داده‌های بلندمدت آب و هوایی به صورت روزانه شامل تابش (مگاژول در مترمربع در روز)، بارش (میلی‌متر)، دمای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد) از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ شد. با استفاده از برنامه WeatherMan (۱۸)، فرآیند اصلاح و بازسازی انجام شد. با توجه به این موضوع که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور تعداد ساعات آفتابی ثبت می‌شود، بنابراین با استفاده از معادله آنگستروم (رابطه ۱) تعداد ساعات آفتابی به تابش تبدیل شد (۱۹).

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N} \right) R_a \quad (1)$$

که در آن، R_s تشعشع روزانه (مگاژول در مترمربع)، n تعداد ساعات آفتابی، N حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن و R_a تشعشع فرازمینی می‌باشد. متغیرهای a و b ضرایب آنگستروم کالیبره شده محلی بر اساس موقعیت جغرافیایی منطقه هستند (۱۹).

سناریوها و مدل‌های گردش عمومی: گام دوم، شبیه‌سازی اقلیم آینده مناطق مورد بررسی با استفاده از داده‌های آب و هوایی اصلاح شده بود. با توجه به این موضوع که روند انتشار گازهای گلخانه‌ای از قطعیت کافی برخوردار نیست، برای مطالعات تغییر اقلیم از سناریوهای مختلف انتشار با طول دوره‌های مختلف استفاده می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر دو سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۳۹ استفاده شد. سناریوهای RCPs در سال ۲۰۱۰ توسط یک کمیته علمی و زیر نظر هیأت بین‌دول تغییرات اقلیمی با هدف مهیا نمودن مجموعه‌ای از اطلاعاتی که از نتایج آن بتوان عوامل اصلی تغییرات اقلیمی را ردیابی نمود و نتایج آن را بتوان برای مدل‌های اقلیمی اعمال کرد. مدل‌های اقلیمی از نتایج این سناریوها برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده

فستوزی فراهم برای رشد برگ، تراکم بوته و انتقال مجدد نیتروژن می‌باشد. تولید ماده خشک به عنوان تابعی از تابش دریافت شده و دما تخمین زده می‌شود و ماده خشک تولیدی بر اساس نمو و رابطه مبدأ-مقصد بین اندام‌های رویشی و دانه توزیع می‌شوند. موازنه آب خاک در مدل شامل رواناب، رشد ریشه و افزایش عمق مؤثر استخراج آب، تبخیر از سطح خاک، تعرق و زهکشی و نیز اثرات تنش کمبود آب بر گسترش سطح برگ و تولید ماده خشک است که به صورت روزانه ثبت گردید (۲۹).

واسنجی و پارامترسنجی مدل شبیه‌سازی: واسنجی
مدل در سه مرحله انجام شد. نخست، تعدادی از پارامترهای گیاهی شامل غلظت نیتروژن دانه، حداکثر سرعت تولید گره در ساقه اصلی در دمای مطلوب، حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن و ضریب حساسیت به طول روز، بر اساس داده‌های آزمایش مزرعه‌ای تغییر داده شدند (۳۰). این پارامترها با اجرای مکرر مدل تخمین زده شدند تا اختلاف داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده کاهش یابد (جدول ۱).

دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به دست آمدند. میانگین دما تحت سناریوی RCP4.5 تا اواسط قرن جاری به سرعت افزایش یافته و پس از آن این سرعت افزایشی کند می‌شود. در حالی که در سناریوی RCP8.5 افزایش دما از ۲۰۸۰ به بعد سریع‌تر از دوره ۲۰۳۵-۲۰۸۰ می‌باشد. اطلاعات بیش‌تر در مورد این سناریوها و سایر سناریوهای انتشار توسط موس و همکاران (۲۰۱۰) و واین (۲۰۱۳) (۲۷ و ۲۸) ارائه شده است.

توصیف مدل شبیه‌سازی: در این مطالعه از مدل SSM-Chickpea (۲۹) استفاده شد. این مدل، نمو فنولوژیک، تولید و توزیع ماده خشک، رشد و پیر شدن سطح برگ، موازنه نیتروژن در گیاه، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را شبیه‌سازی می‌کند.

هم‌چنین در مدل واکنش فرآیندهای رشد گیاه به عوامل محیطی شامل نور، طول روز، دما و قابلیت دسترسی به آب منظور شده است. مدل برای شبیه‌سازی روزانه به اطلاعات آب و هوایی، خاکی و مدیریتی نیاز دارد. مراحل فنولوژیک در مدل به عنوان تابعی از دما، طول روز و تنش کمبود آب است. گسترش و پیر شدن سطح برگ تابعی از دما، مواد

جدول ۱- پارامترهای حاصل از واسنجی مدل برای نخود رقم ILC482.

Table 1. Parameters of model calibration for chickpea variety ILC482.

ILC482	پارامتر Parameter
0.11	ضریب حساسیت به طول روز (PPSENRI) Photoperiod sensitivity coefficient
0.51	حداکثر سرعت تولید گره در ساقه اصلی در دمای مطلوب (MAXNOD، گره در روز) Maximum stem node number (node d ⁻¹)
0.02	حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن Maximum increase of harvest index rate per day at linear stage of its increase
0.043	غلظت نیتروژن دانه (GNC، میلی‌گرم بر گرم) Grain nitrogen concentration (mg g ⁻¹)
23	روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن تا گلدهی Biological day between plant emergence and flower appearance (day)
9	روز بیولوژیک مورد نیاز برای گلدهی تا غلاف‌دهی Biological day between first flower and first pod (day)
3	روز بیولوژیک مورد نیاز برای غلاف‌دهی تا شروع پر شدن دانه Biological day between first pod and initiate seed filling (day)

روز تا رسیدگی، بارش تجمعی، میانگین دما در طول فصل رشد، تبخیر-تعرق، ماده خشک و عملکرد دانه بودند. شایان ذکر است که تمامی شکل‌ها با استفاده از Origin Pro ترسیم شد.

نتایج و بحث

متغیرهای اقلیمی در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و آینده: به منظور نمایش روند تغییر اقلیم و افزایش دما در مناطق مورد بررسی، رابطه رگرسیونی میانگین دما در بلندمدت (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰) بررسی شد (شکل ۲). بر اساس نتایج این رابطه، میانگین دمای هوا در هر دو منطقه به ازای هر سال ۰/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و در هر دو منطقه بیش‌ترین میانگین دمای هوا در سال ۲۰۱۰ به ثبت رسیده است (به ترتیب برای کرمانشاه و تبریز معادل ۱۶/۹۰ و ۱۵/۳۳ درجه سانتی‌گراد) در حالی که کم‌ترین میانگین دما (۱۲/۹۹ درجه سانتی‌گراد) برای کرمانشاه در سال ۱۹۹۲ و برای تبریز (۱۰/۸۸ درجه سانتی‌گراد) در سال ۱۹۸۲ به وقوع پیوست. این بدین معناست که کرمانشاه و تبریز در طی سال‌های اخیر با افزایش دما یا به عبارتی پدیده تغییر اقلیم مواجه بوده‌اند. شایان ذکر است که میانگین بلندمدت دما در کرمانشاه و تبریز به ترتیب معادل ۱۴/۹۶ و ۱۳/۰۶ درجه سانتی‌گراد بود.

در شرایط تغییر اقلیم آینده تحت سناریوها و مدل‌های گردش عمومی، دماهای کمینه و بیشینه در مقایسه با دوره پایه افزایش یافتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که تحت سناریوی RCP4.5 بیش‌ترین افزایش در دماهای کمینه و بیشینه در هر دو منطقه مورد بررسی متعلق به مدل MPI-ESM-LR بود (جدول ۱). تحت سناریوی RCP8.5 بیش‌ترین تغییرات دمای کمینه در کرمانشاه و تبریز در مدل NorESM1-M به ثبت رسید. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، تحت سناریوی مذکور (RCP8.5) بیش‌ترین افزایش در دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در کرمانشاه مربوط به مدل MPI-ESM-LR و در تبریز مربوط به مدل NorESM1-M بود.

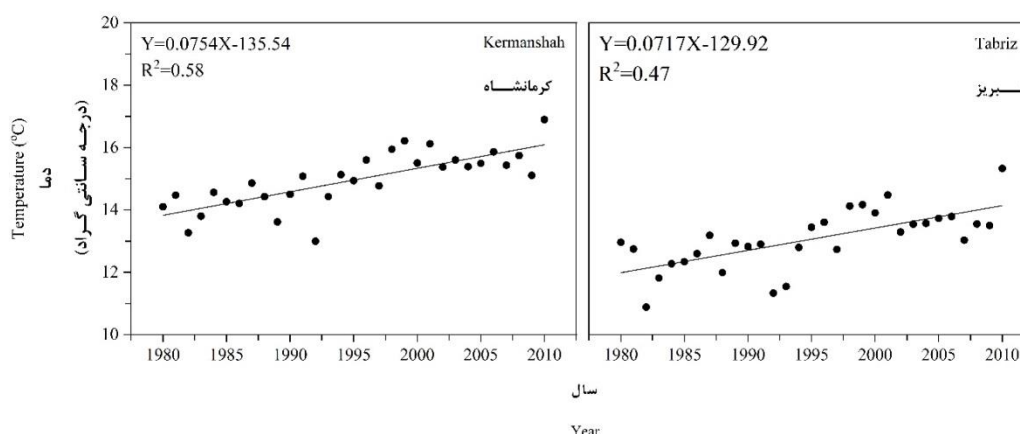
در مرحله دوم، این پارامترهای تغییر یافته برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه نخود با توجه به در دسترس بودن داده‌های آب و هوایی روزانه مورد استفاده قرار گرفتند. شبیه‌سازی‌ها از تاریخ کشت تا رسیدگی ادامه یافت. سرانجام، عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده حاصل از آزمایش‌های مختلف مزرعه‌ای در سراسر ایران به وسیله رگرسیون خطی و ریشه میانگین مربعات خطا^۱ بررسی شد. بر اساس این روش، محاسبه انحراف مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل از مقادیر اندازه‌گیری شده که توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل را ارائه می‌کند، از معادله ۲ به دست می‌آید (۳۱):

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

که در آن، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد مشاهدات است. این شاخص میانگین فاصله مقادیر پیش‌بینی شده از مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. بدیهی است که کم‌تر بودن این شاخص، دقت بالاتر مدل را در پیش‌بینی عملکرد نشان می‌دهد. چنانچه مقدار $RMSE$ کم‌تر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بیش‌تر از ۳۰ درصد شبیه‌سازی ضعیف خواهد بود (۳۱).

تیمارهای آزمایش و تجزیه و تحلیل‌ها: در گام آخر، به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم آینده (دوره ۲۰۳۹ تا ۲۰۶۹) تحت دو سناریوی انتشار (RCP4.5 و RCP8.5) و سه مدل گردش عمومی (MPI-ESM-LR، MPI-ESM-MR و NorESM1-M) بر عملکرد دانه نخود دیم (رقم ILC482)، پنج تاریخ کشت به‌عنوان راهکار سازگاری به اثرات احتمالی تغییر اقلیم در نظر گرفته شد که تاریخ‌های کشت بدین شرح است: ۲۰ آذر به عنوان کشت انتظاری (DSM)، ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت. خروجی‌های مدل شامل شاخص سطح برگ، تعداد

1- Root Mean Square Error



شکل ۲- روند تغییرات میانگین دمای سالانه در کرمانشاه و تبریز.

Fig. 2. Trend of changes in annual mean temperature in Kermanshah and Tabriz.

سناریوی RCP8.5 نیز در کرمانشاه بیش‌ترین تغییرات بارندگی در مدل NorESM1-M (+۶/۹۶ درصد) و در تبریز در مدل MPI-ESM-LR (+۸/۹۱ درصد) به ثبت رسید. میانگین مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار نشان داد که بارندگی در آینده نسبت به دوره پایه در کرمانشاه ۲/۴۳ افزایش خواهد یافت در حالی‌که در تبریز ۰/۵۳ درصد کاهش مشاهده شد.

روند تغییرات بارش در آینده نسبت به دوره پایه متفاوت بود به گونه‌ای که در برخی موارد افزایش بارندگی و در برخی موارد کاهش بارندگی نسبت به دوره پایه مشاهده شد (جدول ۲). به طور کلی براساس نتایج این پژوهش تحت سناریوی RCP4.5 در کرمانشاه بیش‌ترین تغییرات بارندگی در مدل NorESM1-M (+۱۵/۲۹ درصد) و در تبریز در مدل MPI-ESM-LR (+۶/۷۴ درصد) مشاهده شد.

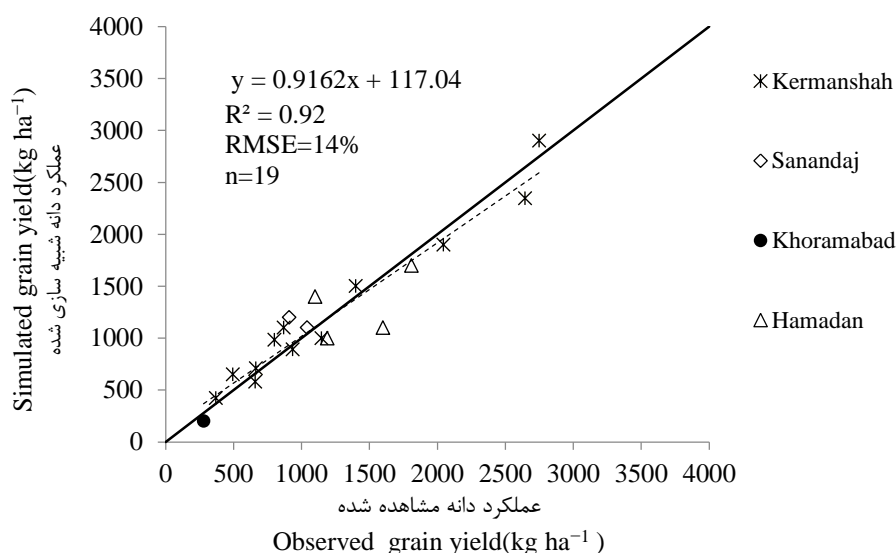
جدول ۲- تغییرات در متغیرهای اقلیمی تحت دو سناریو و سه مدل گردش عمومی در مقایسه با دوره پایه در کرمانشاه و تبریز.

Table 2. Changes in climatic parameters under two scenarios and three GCMs compared to the baseline in Kermanshah and Tabriz.

سناریو Scenario	مدل گردش عمومی GCM	کرمانشاه Kermanshah			تبریز Tabriz		
		دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) T Min (°C)	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) T Max (°C)	بارش (میلی‌متر) Rainfall (mm)	دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) T Min (°C)	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) T Max (°C)	بارش (میلی‌متر) Rainfall (mm)
Baseline	-	6.72	23.19	429.13	7.52	18.59	269.78
	MPI-ESM-LR	+31.54	+11.77	-2.72	+25.13	+13.34	+6.74
RCP4.5	MPI-ESM-MR	+23.80	+9.01	-0.03	+22.73	+11.72	-4.68
	NorESM1-M	+24.55	+7.76	+15.29	+23.27	+9.46	-3.66
	MPI-ESM-LR	+44.94	+15.30	-0.81	+37.76	+18.23	+8.91
RCP8.5	MPI-ESM-MR	+34.22	+12.97	-4.10	+31.91	+16.83	-8.33
	NorESM1-M	+45.83	+14.27	+6.96	+42.15	+18.55	-2.21

به پیش‌بینی مناسب عملکرد دانه می‌باشد. مقدار ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۱۴ درصد بود (شکل ۳). سلطانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز برای اعتبارسنجی مدل SSM-Chickpea از شاخص جذر میانگین مربعات خطا استفاده کردند. آن‌ها با مقایسه عملکردهای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ۱۰۴ آزمایش در سرتاسر ایران مقدار این شاخص را ۱۵ درصد برآورد کردند (۲۹).

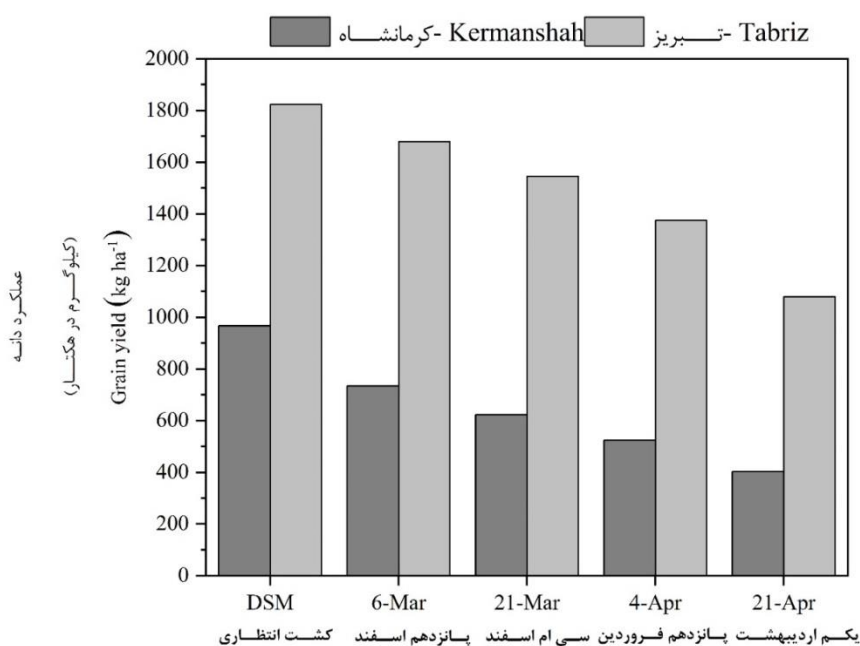
ارزیابی مدل شبیه‌سازی: در این مطالعه، تغییرات اندکی در برخی پارامترهای مدل شامل غلظت نیتروژن دانه، حداکثر سرعت تولید گره در ساقه اصلی در دمای مطلوب، حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن و ضریب حساسیت به طول روز داده شد، این پارامترها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. نتایج اعتبارسنجی مدل با استفاده از ۱۹ آزمایش مزرعه‌ای (۳۲) در مناطق تحت کشت نخود برای عملکرد دانه نشان داد که مدل قادر



شکل ۳- مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد. خط تو پر، خط ۱:۱ و نقطه چین خط رگرسیون است.
Fig. 3. Simulated and observed values of grain yield. Continuous line: 1 to 1 line; dashed line: regression line.

درصد و در تبریز ۸/۶، ۱۸، ۳۲/۷ و ۶۸/۸ درصد بیشتر بود. همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است دلیل عملکرد دانه بیش‌تر کشت انتظاری نسبت به سایر تاریخ‌های کشت در هر دو منطقه، برتری کشت انتظاری در صفات شاخص سطح برگ، طول فصل رشد، بارش تجمعی، تبخیر-تعرق و ماده خشک بود. همچنین میانگین دمای طول فصل رشد در شرایط کشت انتظاری کم‌تر از سایر تاریخ‌های کشت بود (جدول ۳).

عملکرد نخود دیم در دوره پایه: عملکرد دانه نخود دیم در تاریخ‌های کشت مورد مطالعه در هر دو منطقه کرمانشاه و تبریز با هم اختلاف داشت (شکل ۴). بر اساس نتایج شبیه‌سازی، عملکرد دانه نخود دیم در شرایط کشت انتظاری (DSM) بیش‌تر از سایر تاریخ‌های کشت بود. در شرایط آب و هوایی کرمانشاه عملکرد دانه کشت انتظاری در مقایسه با تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۳۱/۸، ۵۵/۳، ۸۴/۳ و ۱۴۰/۳



شکل ۴- عملکرد دانه نخود دیم تحت تأثیر تاریخ کشت در کرمانشاه و تبریز.

Fig. 4. Grain yield of rainfed chickpea affected by sowing date in Kermanshah and Tabriz.

جدول ۳- صفات مورد مطالعه نخود دیم تحت تأثیر تاریخ کشت در کرمانشاه و تبریز.

Table 3. Studied traits of rainfed Chickpea affected by sowing date in Kermanshah and Tabriz.

منطقه Location	تاریخ کشت sowing date	شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	بارش تجمعی (میلی‌متر) Cumulative rainfall (mm)	تبخیر-تعرق (میلی‌متر) Evapotranspiration (mm)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha ⁻¹)	دمای فصل رشد (درجه سانتی‌گراد) Temperature during growing season (°C)
کرمانشاه Kermanshah	کشت انتظاری DSM	2.14	150	207	285	394	8.03
	۱۵ اسفند 6-Mar	1.83	99	114	222	323	14.61
	۳۰ اسفند 21-Mar	1.67	87	83	199	287	16.12
	۱۵ فروردین 4-Apr	1.49	78	53	177	247	17.70
	۱ اردیبهشت 21-Apr	1.05	71	33	154	180	19.98
تبریز Tabriz	کشت انتظاری DSM	2.16	165	139	233	496	6.82
	۱۵ اسفند 6-Mar	2.05	113	106	216	461	14.51
	۳۰ اسفند 21-Mar	1.96	101	94	208	431	16.18
	۱۵ فروردین 4-Apr	1.80	90	78	192	387	17.73
	۱ اردیبهشت 21-Apr	1.60	80	58	175	324	19.78

DSM: مدیریت کشت انتظاری

DSM: Dormant seeding management

بود؛ به طوری که بیش‌ترین تغییرات عملکرد دانه متعلق به مدل NorESM1-M (۲۳/۵۸ درصد) و کم‌ترین تغییرات مربوط به مدل MPI-ESM-MR (۱۰/۴۹ درصد) بود. مدل MPI-ESM-LR نیز در مقایسه با دوره پایه ۲۲/۰۹ درصد افزایش عملکرد نشان داد (شکل ۵). عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از مدل‌های گردش عمومی متفاوت بود؛ به طوری که بیش‌ترین تغییرات عملکرد دانه نسبت به دوره پایه متعلق به مدل MPI-ESM-LR (۱۵/۸۸+ درصد) و کم‌ترین تغییرات مربوط به مدل NorESM1-M (۱/۳۸+ درصد) بود. شایان ذکر است که عملکرد نخود دیم با استفاده از مدل MPI-ESM-MR در مقایسه با دوره پایه ۱/۹۱- درصد کاهش یافت (شکل ۵). در این زیر مدل اقلیمی بارندگی تجمعی نسبت به دوره پایه کاهش یافت که منجر به کاهش عملکرد شد. تغییر در متغیرهای اقلیمی این مدل در جدول ۲ ارائه شده است.

عملکرد دانه نخود دیم تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۸/۹۷ و ۱۴/۱۲ درصد افزایش یافت (شکل ۵). در شرایط آب و هوایی کرمانشاه تحت سناریوی RCP4.5 عملکرد دانه نخود ۱۳/۱۶ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت در حالی که افزایش عملکرد دانه نخود تحت سناریوی RCP8.5 معادل ۲۴/۲۸ درصد بود (شکل ۵). بر اساس نتایج شبیه‌سازی، عملکرد دانه نخود دیم تحت سناریوهای مورد بررسی در تبریز نیز افزایش یافت (شکل ۵). تحت سناریوی RCP4.5 عملکرد دانه نخود ۴/۷۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت در حالی که افزایش عملکرد دانه نخود تحت سناریوی RCP8.5 معادل ۵/۵ درصد بود (شکل ۵). افزایش عملکرد دانه نخود تحت شرایط تغییر اقلیم می‌تواند به دلیل تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر افزایش فتوسنتز و کاهش تعرق باشد (۳۴). از طرفی

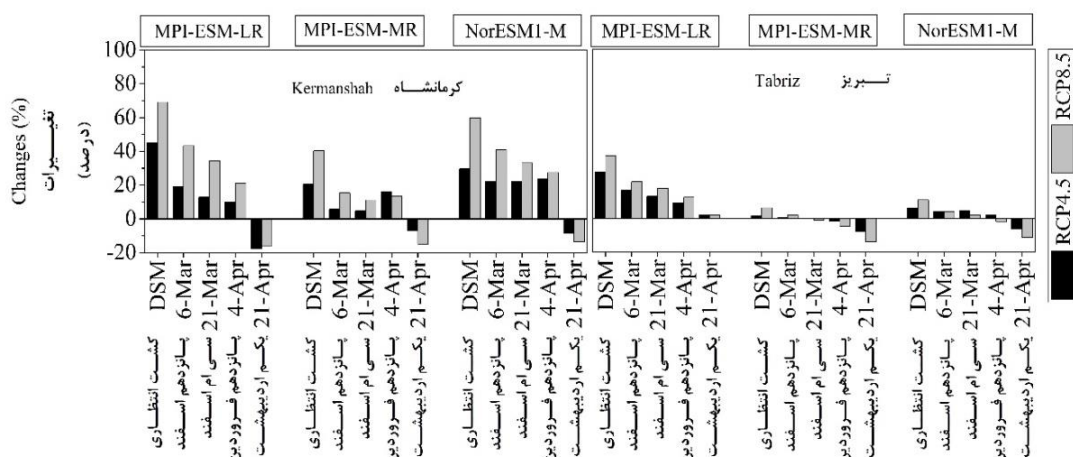
به طور کلی میانگین عملکرد دانه نخود دیم در تمامی تاریخ‌های کشت در تبریز ۱۳۱ درصد بیش‌تر از کرمانشاه بود (شکل ۴). از جمله دلایل عملکرد بیش‌تر در تبریز می‌توان به برتری شاخص سطح برگ به عنوان یک صفت مهم در تعیین عملکرد نهایی و طول فصل رشد اشاره کرد. همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، شاخص سطح برگ و طول فصل رشد نخود دیم در تبریز به ترتیب ۱۶/۹ و ۱۳/۲ درصد بیش‌تر از کرمانشاه بود. یکی دیگر از متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر عملکرد نخود میانگین دمای طول فصل رشد است که در شرایط تبریز ۱/۸۵ درصد کم‌تر از کرمانشاه بود (جدول ۳). بنابراین در شرایط آب و هوایی تبریز با میانگین دمای طول فصل رشد کم‌تر نسبت به کرمانشاه از اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد دانه به‌ویژه در طول دوره پر شدن دانه که باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود، کاسته خواهد شد (۳۳). با دقت به جدول ۳ مشاهده می‌شود که بارش تجمعی و تبخیر-تعرق نخود دیم در شرایط کشت تبریز به ترتیب ۳/۱ و ۱/۲۵ درصد کم‌تر از کرمانشاه بود، اما نکته مهم در این قسمت این است که احتمالاً عمده بارش‌های طول فصل رشد نخود در شرایط کشت کرمانشاه در ابتدای فصل رشد رخ داده در حالی که در تبریز توزیع بارش‌ها در دوره زایشی مناسب‌تر بوده و در نهایت موجب دستیابی به عملکرد دانه بیش‌تر در تبریز شده است. البته شایان ذکر است که اختلاف بارش تجمعی و تبخیر-تعرق بین کرمانشاه و تبریز آن‌قدر زیاد نبوده که بتواند تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته باشد، و عامل تأثیرگذار توزیع بارش‌ها بوده که باعث اختلاف عملکرد دانه شده است.

عملکرد دانه نخود دیم تحت شرایط تغییر اقلیم:
واکنش عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در هر دو منطقه مورد بررسی متفاوت

کشت انتظاری نخود دیم (۱۴/۸۶+ درصد) موجب دستیابی به بیش‌ترین افزایش عملکرد در مقایسه با تاریخ‌های کشت پانزدهم اسفند (۸/۰۸+ درصد)، سی‌ام اسفند (۶/۰۲+ درصد)، پانزدهم فروردین (۲/۴۹+ درصد) و یکم اردیبهشت (۵/۸۵- درصد) شد. تسریع در کشت به دلیل تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد که در اثر تغییر اقلیم جابجا شده است موجب دستیابی به عملکرد بیش‌تر می‌شود (۱۴). تحت این شرایط اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد دانه به خصوص در طول پر شدن دانه کاهش خواهد یافت (۷). هم‌چنین وجود دماهای پایین‌تر در طی مراحل رشدی گیاه باعث افزایش کارایی تعرق می‌شود (۲۸). یکی دیگر از دلایل افزایش عملکرد تحت شرایط تغییر اقلیم فرار از تنش خشکی انتهایی فصل است (۳۵). عینی نرگسه و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی عملکرد ذرت دانه‌ای در واکنش به تغییر تاریخ کشت تحت شرایط تغییر اقلیم در استان کرمانشاه گزارش کردند تاریخ‌های کشت زودتر به دلیل عدم برخورد دوره گلدهی ذرت با بیشینه دمای طول فصل رشد و شرایط محیطی مناسب‌تر برای رشد و نمو، افت عملکرد کم‌تری در مقایسه با تاریخ کشت رایج داشته و می‌توان از کشت زودهنگام به عنوان راهکار سازگاری به‌منظور استفاده از بارش‌های فصلی و دستیابی به عملکرد قابل‌قبول نام برد (۱۳). لیو و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی در جنوب استرالیا نشان دادند که جلو انداختن تاریخ کشت گندم می‌تواند به‌عنوان مؤثرترین راهکار برای سازگاری با پدیده تغییر اقلیم در نظر گرفته شود (۸).

افزایش دمای هوا در شرایط تغییر اقلیم آینده علاوه بر تعدیل دماهای پایین در زمان گلدهی، باعث کاهش طول دوره رشدی گیاه شده و احتمال برخورد گیاه با تنش خشکی انتهایی فصل را کاهش می‌دهد (۳۵) که تمامی این عوامل موجب دستیابی به عملکرد دانه بیش‌تر تحت شرایط تغییر اقلیم می‌شود. مقدادی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد نخود دیم در استان زنجان گزارش کردند که به طور میانگین عملکرد نخود تحت شرایط تغییر اقلیم ۳۳/۴ درصد افزایش خواهد یافت که دلیل این افزایش اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر فتوسنتز و کاهش تعرق ناشی از آن ذکر شد (۳۳).

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که در شرایط آب و هوایی کرمانشاه عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از هر سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در تمام تاریخ‌های کشت (به‌جز یکم اردیبهشت) نسبت به دوره پایه افزایش یافت (شکل ۵). همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، کشت انتظاری (۴۳/۹۳+ درصد) بیش‌ترین افزایش عملکرد را در مقایسه با تاریخ‌های کشت پانزدهم اسفند (۲۴/۳۳+ درصد)، سی‌ام اسفند (۱۹/۶۹+ درصد)، پانزدهم فروردین (۱۸/۶۱+ درصد) و یکم اردیبهشت (۱۲/۹۸- درصد) به خود اختصاص داد. به طور کلی و به‌طور میانگین، در شرایط آب و هوایی تبریز عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از هر سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در تمام تاریخ‌های کشت (به‌جز یکم اردیبهشت) نسبت به دوره پایه افزایش یافت (شکل ۵). طبق این شکل،

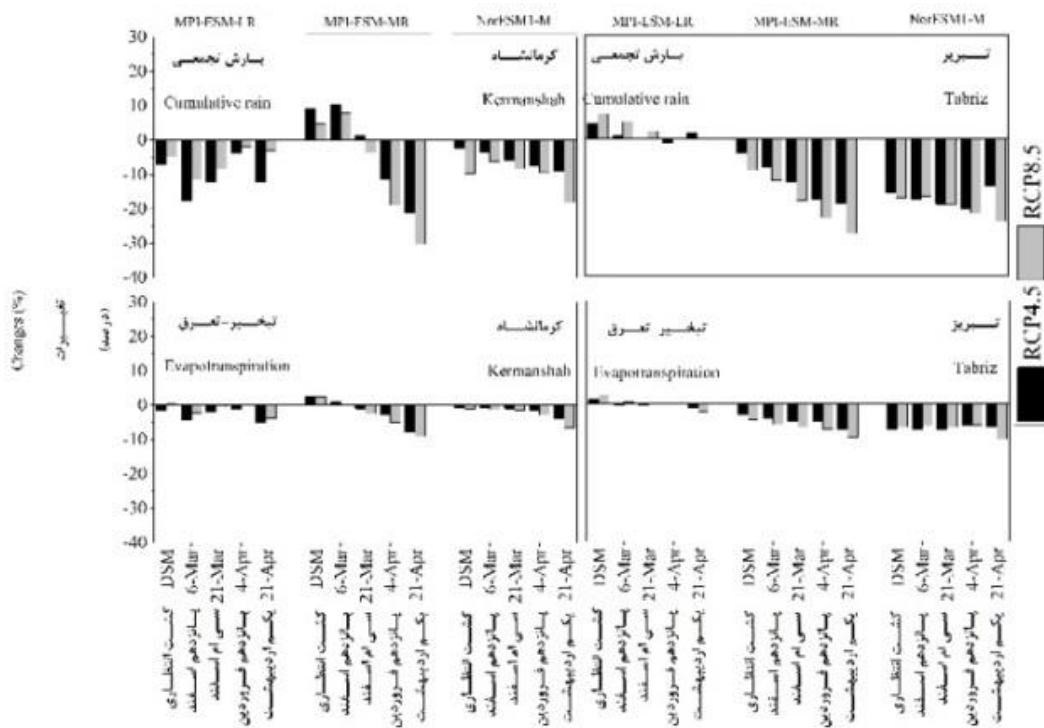


شکل ۵- تغییرات عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در آینده تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه و تبریز.

Fig. 5. Changes in seed yield of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future under Kermanshah and Tabriz climatic conditions.

انتشار افزایش بارندگی را شاهد بودیم. حال آن‌که در شکل سه مشاهده می‌شود که بارش تجمعی و تبخیر-تعرق کاهش یافته است. از طرفی نخود گیاهی C_3 بوده و در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن مقاومت روزنه‌ای بیش‌تری داشته و در نتیجه موجب کاهش تعرق می‌شود. دیهیم‌فرد و همکاران (۲۰۱۷) با مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم آینده بر عملکرد و نیاز آبی گندم آبی در استان خوزستان دریافتند که تبخیر-تعرق گندم به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش طول فصل رشد پنج درصد کاهش نشان داد (۳۶). کاهش تعرق گیاهی در نخود تحت شرایط تغییر اقلیم و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن توسط مقدادی و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است (۳۳).

بارش تجمعی و تبخیر-تعرق در شرایط آب و هوایی تبریز به ترتیب $۸/۳۷$ و $۳/۹۴$ درصد کم‌تر از کرمانشاه به‌دست آمد. به‌طورکلی شکل ۶ نشان می‌دهد صفات مذکور در آینده کاهش می‌یابند. هر چند در برخی موارد این صفات افزایش جزئی داشته‌اند. در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 بارش تجمعی $۶/۲۵$ و $۸/۰۲$ درصد و تبخیر-تعرق $۲/۸۷$ و $۳/۱۷$ درصد کاهش نشان دادند. دلیل اصلی کاهش بارش تجمعی و تبخیر-تعرق را می‌توان کاهش طول فصل رشد دانست (جدول ۵). هر چند مقدار بارندگی می‌تواند به عنوان یک متغیر تأثیرگذار نقش مهمی در تغییر این دو صفت ایفا کند اما همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شد، در برخی مدل‌های اقلیمی و سناریوهای



شکل ۶- تغییرات بارش تجمعی و تبخیر-تعرق نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار تحت شرایط آب و هوایی آینده در کرمانشاه و تبریز.

Fig. 6. Changes in cumulative rain and evapotranspiration of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future under Kermanshah and Tabriz climatic conditions.

انتظاری به دلیل رطوبت کم‌تر خاک میزان پایین‌تری داشت (۱۷).

همان‌گونه که در شرایط دوره پایه نشان داده شد، نتایج شبیه‌سازی بیانگر بیش‌تر بودن طول فصل رشد نخود دیم در تبریز (۱۰۹/۸ روز) نسبت به کرمانشاه (۹۷ روز) بود. یکی از دلایل اختلاف عملکرد بین تبریز و کرمانشاه طول فصل رشد متفاوت است. در شرایط تغییر اقلیم طول فصل رشد نخود در کرمانشاه ۹۱/۲۳ روز بود در حالی‌که در تبریز ۱۰۳ روز شبیه‌سازی شد. کاهش طول فصل رشد در هر دو منطقه و تحت سناریوها و تاریخ‌های کشت مختلف به دلیل افزایش میانگین دما بود (جدول‌های ۴ و ۵). جدول ۵ نشان می‌دهد که در تمامی تاریخ‌های کشت و سناریوهای مورد بررسی در هر دو منطقه مورد مطالعه، دما در طول فصل رشد افزایش خواهد یافت.

نتایج نشان داد بیش‌ترین بارش تجمعی در بین تاریخ‌های مختلف کشت متعلق به کشت انتظاری بود و به ترتیب ۳۷/۹۸، ۵۱/۷۴، ۶۵/۵۰ و ۷۶/۷۱ درصد بیش‌تر از تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت بود. تبخیر-تعرق نیز در کشت انتظاری نسبت به تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۱۶/۷۰، ۲۲/۸۵، ۳۰/۲۵ و ۳۹/۶۹ درصد بیش‌تر بود. واضح است که در کشت‌های زودهنگام به دلیل بارش‌های زمستانه و اوایل بهار، تبخیر-تعرق و بارش تجمعی بیش‌تری حاصل می‌شود، در حالی‌که تأخیر در کشت باعث عدم استفاده از بارش‌ها شده و خاک رطوبت کمی خواهد داشت. در پژوهشی توسط امیری و دیهیم‌فرد (۲۰۱۸) گزارش کردند تبخیر-تعرق فصلی عدس در کشت‌های دیر هنگام نسبت به کشت

تمامی تاریخ‌های کشت، مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار مورد مطالعه در هر دو منطقه کرمانشاه و تبریز کاهش نشان داد (جدول ۴). یافته‌های این پژوهش نشان داد طول فصل رشد نخود دیم در کرمانشاه و تبریز به ترتیب ۶/۰۸ و ۶/۲۸ درصد کاهش یافت. دلیل کاهش طول فصل رشد، افزایش دما در طول فصل رشد و دستیابی سریع‌تر گیاه به درجه روز رشد مورد نیاز برای تکمیل دوره رشد می‌باشد (۲۸). کاهش طول فصل رشد گیاهان مختلف از جمله نخود (۳۷)، گندم (۳۵) و ذرت (۲۵) تحت شرایط تغییر اقلیم آینده در مقایسه با دوره پایه گزارش شده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

طول فصل رشد نیز به‌طور مستقیم تحت تأثیر دما در طول فصل رشد قرار می‌گیرد. میانگین دما در طول فصل رشد نخود در شرایط کرمانشاه ۱۷/۵۲ و ۱۷/۲۲ درجه سانتی‌گراد بود که بیانگر تفاوت طول فصل رشد بین کرمانشاه و تبریز است (جدول‌های ۴ و ۵). طول فصل رشد بیش‌تر در تبریز به دلیل دوره طولانی‌تر رشد و فتوسنتز بیش‌تر موجب دستیابی به عملکرد دانه بیش‌تر شد. گزارش عینی نرگسه و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی مناطق مختلف استان فارس نشان داد مناطقی مثل آباده و اقلید که عملکرد دانه بالایی داشتند از طول فصل رشد بیش‌تری نسبت به لار و داراب برخوردار بودند (۱). طول فصل رشد در بین

جدول ۴- تغییرات (درصد) طول فصل رشد نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در آینده در کرمانشاه و تبریز.

Table 4. Changes (%) in length of growing season of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future in Kermanshah and Tabriz.

منطقه Location	تاریخ کشت Sowing date	MPI-ESM-LR		MPI-ESM-MR		NorESM1-M	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
کرمانشاه Kermanshah	کشت انتظاری DSM	-5.33	-6.00	-4.00	-6.00	-3.33	-6.66
	۱۵ اسفند 6-Mar	-6.06	-6.06	-6.06	-7.07	-5.05	-8.08
	۳۰ اسفند 21-Mar	-5.74	-5.74	-5.74	-6.89	-3.44	-6.89
	۱۵ فروردین 4-Apr	-6.41	-6.41	-3.84	-6.41	-3.84	-6.41
	۱ اردیبهشت 21-Apr	-8.45	-8.45	-5.63	-8.45	-5.63	-8.45
	کشت انتظاری DSM	-4.84	-6.66	-4.24	-6.66	-4.24	-7.27
تبریز Tabriz	۱۵ اسفند 6-Mar	-6.19	-7.96	-6.19	-7.96	-6.19	-9.73
	۳۰ اسفند 21-Mar	-5.94	-6.93	-5.94	-7.92	-5.94	-9.90
	۱۵ فروردین 4-Apr	-4.44	-6.66	-5.55	-6.66	-5.55	-8.88
	۱ اردیبهشت 21-Apr	-3.75	-3.75	-5.00	-5.00	-3.75	-5.00

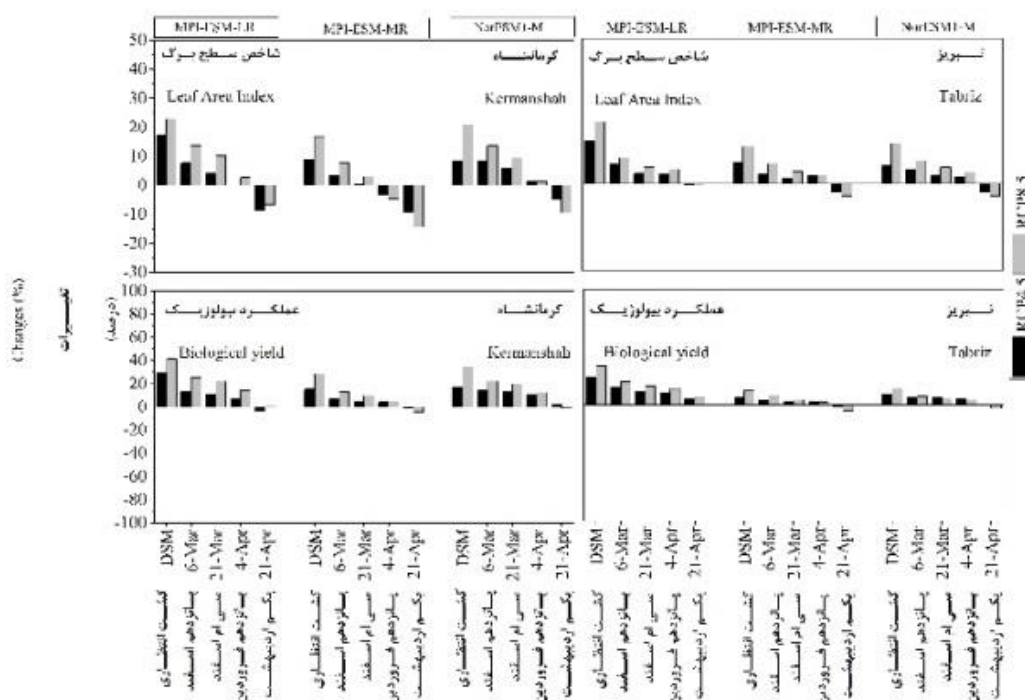
جدول ۵- تغییرات (درصد) میانگین دمای طول فصل رشد نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در آینده در کرمانشاه و تبریز.

Table 5. Changes (%) in mean temperature over growing season of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future in Kermanshah and Tabriz.

منطقه Location	تاریخ کشت sowing date	MPI-ESM-LR		MPI-ESM-MR		NorESM1-M	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
کرمانشاه Kermanshah	کشت انتظاری DSM	+30.01	+40.97	+22.79	+33.13	+21.30	+39.85
	۱۵ اسفند 6-Mar	+16.56	+22.59	+12.59	+18.28	+11.77	+21.97
	۳۰ اسفند 21-Mar	+15.07	+20.47	+11.48	+16.56	+10.73	+19.91
	۱۵ فروردین 4-Apr	+13.62	+18.64	+10.34	+15.08	+9.66	+18.14
	۱ اردیبهشت 21-Apr	+12.11	+16.47	+9.21	+13.31	+8.61	+16.02
تبریز Tabriz	کشت انتظاری DSM	+31.96	+45.60	+28.45	+40.47	+25.66	+48.53
	۱۵ اسفند 6-Mar	+15.09	+21.50	+13.44	+19.09	+12.13	+22.88
	۳۰ اسفند 21-Mar	+13.47	+19.28	+11.99	+17.12	+10.82	+20.52
	۱۵ فروردین 4-Apr	+12.30	+17.54	+10.94	+15.57	+9.87	+18.67
	۱ اردیبهشت 21-Apr	+11.02	+15.72	+9.81	+13.95	+8.85	+16.73

گردش عمومی و سناریوهای انتشار) بیشترین مقدار شاخص سطح برگ متعلق به کشت انتظاری بود و در مقایسه با تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۱۵/۰۵، ۲۲/۶۷، ۳۲ و ۴۸/۸۸ درصد بیش‌تر بود. هم‌چنین عملکرد زیستی کل در کشت انتظاری به ترتیب ۱۸/۵۲، ۲۶/۹۶، ۳۷/۰۸ و ۵۳/۵۳ درصد بیش‌تر از تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت بود.

نتایج نشان داد شاخص سطح برگ و عملکرد زیستی نخود دیم در شرایط آب و هوایی تبریز (میانگین تاریخ‌های کشت، مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار) به ترتیب ۱۳/۹۳ و ۲۸/۱۱ درصد بیش‌تر از کرمانشاه بود (شکل ۷). سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه به ترتیب ۴ و ۷/۲۱ درصد افزایش شاخص سطح برگ و ۹/۲۵ و ۳۹/۸۰ درصد افزایش عملکرد زیستی داشتند. در بین تاریخ‌های کشت (میانگین مناطق، مدل‌های



شکل ۷- تغییرات شاخص سطح برگ و عملکرد زیستی نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در آینده در کرمانشاه و تبریز.

Fig. 7. Changes in leaf area index and biological yield of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future in Kermanshah and Tabriz.

هوایی مراغه بررسی کردند نشان دادند افزایش عملکرد زیستی نخود در شرایط دیم ناشی از افزایش کارایی تعرق است (۳۸). حجارپور و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که عملکرد زیستی نخود در کرمانشاه تحت شرایط تغییر اقلیم به دلیل افزایش کارایی استفاده از تابش خورشید و همچنین کارایی تعرق افزایش یافت (۳۷).

نتیجه‌گیری کلی

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SSM-Chickpea بیانگر دقت بالای آن در شبیه‌سازی عملکرد نخود بود. نتایج نشان داد دمای هوا در کرمانشاه و تبریز (میانگین مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار) به ترتیب ۱۶/۸۴ و ۱۹/۲۰ درصد در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) افزایش نشان داد. در شرایط آب و هوایی کرمانشاه عملکرد دانه کشت انتظاری در

افزایش سطح برگ و متعاقب آن عملکرد زیستی در شرایط تغییر اقلیم می‌تواند به دلیل اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن برای نخود به عنوان یک گیاه C_3 باشد. البته باید به این موضوع توجه داشت که افزایش بیش از حد دما می‌تواند اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن را برای گیاهان سه کربنه خنثی کند. در واقع دی‌اکسیدکربن یک ترکیب محدودکننده در فرآیندها فتوسنتز به‌شمار می‌رود که افزایش غلظت آن می‌تواند موجب افزایش فتوسنتز در گیاهان C_3 شود (۱۴). همچنین افزایش دی‌اکسیدکربن محیط باعث افزایش کارایی تعرق از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای برگ‌ها شده (۹) که در نهایت ماده خشک بیش‌تری به ازای هر میلی‌متر آب تعرق یافته در فرآیند فتوسنتز تولید می‌شود. سلطانی و قلی‌پور (۲۰۰۷) در پژوهشی که اثر تغییر اقلیم را بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود تحت شرایط آب و

و تبریز کشت انتظاری بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه را در مقایسه با سایر تاریخ‌های کشت نسبت به دوره پایه به خود اختصاص داد (۴۳/۹۳+ و ۱۴/۸۶+ درصد). تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد، کاهش اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد دانه به‌خصوص در طول پر شدن دانه، افزایش کارایی تعرق به دلیل دماهای پایین‌تر در طی مراحل رشد و فرار از تنش خشکی انتهایی فصل دلایل برتری کشت انتظاری نخود دیم نسبت به سایر تاریخ‌های کشت بودند. بنابراین به کشاورزان توصیه می‌شود در شرایط فعلی و تغییر اقلیم آینده، نخود دیم به‌صورت انتظاری کشت شود تا با بهره‌گیری از بارش‌های زمستانه و سایر عوامل بهینه محیطی طی فصل رشد بیش‌ترین عملکرد دانه را به‌دست آورند.

مقایسه با تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۳۱/۸، ۵۵/۳، ۸۴/۳ و ۱۴۰/۳ درصد و در تبریز به ترتیب ۸/۶، ۱۸، ۳۲/۷ و ۶۸/۸ درصد بیش‌تر بود که دلیل آن برتری کشت انتظاری در صفات شاخص سطح برگ، طول فصل رشد، بارش تجمعی، تبخیر-تعرق و ماده خشک بود. افزایش عملکرد دانه نخود تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه در کرمانشاه بیش‌تر از تبریز بود، به طوری که در کرمانشاه و تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۳/۱۶ و ۲۴/۲۸ درصد و در تبریز به ترتیب ۴/۳ و ۵/۵ درصد افزایش عملکرد مشاهده شد. دلیل اصلی افزایش عملکرد تحت شرایط تغییر اقلیم در هر دو منطقه اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر فتوسنتز نخود به عنوان یک گیاه C₃ بود. در شرایط تغییر اقلیم آینده در کرمانشاه

منابع

- Eyni-Nargeseh, H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghghat, M. and Nouri, O. 2016. Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Electronic J. Crop Prod.* 8: 4. 203-224. (In Persian with English abstract)
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R. 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. *Agric. For. Meteorol.* 254: 1-14.
- Zeinali Mobarakeh, Z., Deihimfard, R. and Kambouzia, J. 2018. Modelling the Impacts of Climate Change on Irrigated Wheat Yield under Water Limited Conditions in Khorasan Razavi Province. *J. Agric. Sci. Sustain. Prod.* 28: 3. 155-169. (In Persian with English abstract)
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rotter, R.P., Lobell, D.B., Cammarano, D., Kimbal, B.A., Ottman, M.J., Wall, W., White, J.W., Reynolds, M.P., Alderman, P.D., Prasad, P.V.V., Aggarwal, P.K., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A.J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Izaurralde, R.D., Jabloun, M., Jounes, C.D., Kersebaum, K.C., Koehler, A.K., Muller, C., Naresh Kumar, S., Nendel, C., Leary, C.O., Olesen, J.E., Palosuo, T., Priesack, E., Eyshi Rezaei, E., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Shcherbak, I., Stocke, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P.J., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Woll, J., Zhao, Z. and Zhu, Y. 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nat. Clim. Chang.* 5: 143-147.
- Wang, B., Liu, D.L., Asseng, S., Macadam, I. and Yu, Q. 2015. Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. *Agric. For. Meteorol.* 209-210: 11-21.
- Manschadi, A.M., Soufizadeh, S. and Deihimfard, R. 2010. The role and importance of simulation modeling in improving crop production in Iran. Key paper in the 11th Iranian Crop Science Congress, pp. 234-247.

7. Tingem, M. and Rivington, M. 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: Turning on the heat. *Mitig. and Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 14: 153-168.
8. Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M. and Wang, E. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129: 261-267.
9. White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A. and Wall, G.W. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Res.* 124: 357-368.
10. Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2012. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *Eur. J. Agron.* 38: 22-31.
11. Singh, P., Nedumaran, S., Boote, K.J., Gaur, P.M., Srinivas, K. and Bantilan, M.C.S. 2014. Climate change impacts and potential benefits of drought and heat tolerance in chickpea in South Asia and East Africa. *Eur. J. Agron.* 52: 123-137.
12. Mohammed, A., Tana, T., Singh, P., Molla, A. and Seid, A. 2017. Identifying best crop management practices for chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Northeastern Ethiopia under climate change condition. *Agric. Water Manage.* 194: 68-77.
13. Eyni-Nargeseh, H., Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2017. Evaluation of yield and crop water requirement in response to change of planting date under climate change conditions in Kermanshah province. *J. Agric. Sci. Sustain. Prod.* 27: 3. 172-186. (In Persian with English abstract)
14. Hajjarpoor, A., Meghdadi, N., Soltani, A. and Kamkar, B. 2016. Assessment of the adaptation strategies in rainfed chickpea in response to future climate change in Zanzan province. *J. Agroecol.* 8: 2. 169-181. (In Persian with English Abstract)
15. MAJ [Ministry of Agriculture Jihad]. 2020. Agricultural statistics, 2019-2020, volume 1. Available at: <http://www.maj.ir/Portal/Home/>.
16. Zyaie, S.M., Nezami, A., Valizadeh, J. and Jafari, M. 2012. Evaluation of possible autumn sowing of lentil in Saravan condition. *Agron. J. (Pajouhesh Sazandegi)*. 104: 55-62. (In Persian with English abstract)
17. Amiri, S.R. and Deihimfard, R. 2018. Can the dormant seeding of rainfed lentil improve productivity and water use efficiency in arid and semi-arid conditions? *Field Crops Res.* 227: 67-78.
18. Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A. and Tsuji G.Y. (Eds). 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
19. Prescott, J.A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia.* 64: 114-118.
20. Ghahreman, N., Babaeian, I. and Tabatabaei, M. 2015. Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios. *Our Future under Climate Change.* 7th-10th July, Paris, France.
21. Ruane, A.C., Winter, J.M., McDermid, S.P. and Hudson, N.I. 2014. AgMIP Climate Datasets and Scenarios for Integrated Assessment. In: Hillel, D., Rosenzweig, C. (Eds.), *Handbook of Climate Change and Agroecosystems: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) Phase I Activities (Vol. 3).* ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation. Imperial College Press.
22. Wilby, R.L. and Wigley, T.M.L. 1997. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations. *Prog. Phys. Geogr.* 21: 530-548.
23. AgMIP. 2013a. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with R in Windows. AgMIP, URL: <http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf>.

24. AgMIP. 2013b. The coordinated climate-crop modeling project c3mp: an initiative of the agricultural model inter-comparison and improvement project. C3MP Protocols and Procedures. AgMIP, URL: <http://research.agmip.org/download/attachments/1998899/C3MP+Protocols+v2.pdf>.
25. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K.M., Kisekka, I. and Martorano, L.G. 2015. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. *Agric. For. Meteorol.* 214: 252-265.
26. Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L.O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. In: IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis.
27. Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. and Wilbanks, T. 2010. The next generation of scenarios for climate change. *Nature.* 463: 747-756.
28. Wayne, G.P. 2013. The beginner's guide to representative concentration pathways. *Skeptical Sci.*, URL: <http://www.skepticalscience.com/docs/RCP Guide>.
29. Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Res.* 124: 252-260.
30. Amiri, S.R., Deihimfard, R. and Soltani, A. 2016. A single supplementary irrigation can boost chickpea grain yield and water use efficiency in arid and semiarid conditions: a modeling study. *Agron. J.* 108: 2406-2416.
31. Wallach, D. and Gofnet, B. 1987. Mean squared error of prediction in models for studying economic and agricultural systems. *Biometrics.* 43: 561-576.
32. Soltani, A. and Faraji, A. 2006. Determine phenology and growth rate of chickpea under rainfed conditions favorable for the dome of Gorgan. *J. Food Sci. Technol.* 20: 7. 49-57.
33. Meghdadi, N., Soltani, A., Kamkar, B. and Hajarpoor, A. 2015. Simulating the impact of climate change on production of chickpea in Zanjan province. *Electronic J. Crop Prod.* 7: 4. 1-22. (In Persian with English abstract)
34. Vadez, V., Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2013. Crop simulation analysis of phenological adaptation of chickpea to different latitudes of India. *Field Crops Res.* 146: 1-9.
35. Wang, B., Liu, D.L., Asseng, S., Macadam, I. and Yu, Q. 2015. Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. *Agric. For. Meteorol.* 209-210: 11-21.
36. Deihimfard, R., Eyni-Nargeseh, H. and Farshadi, Sh. 2017. Modeling the effects of climate change on irrigation requirement and water use efficiency of wheat fields of Khuzestan province. *J. Water Soil.* 31: 4. 1015-1030. (In Persian with English abstract)
37. Hajarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E. and Sayyedi, F. 2014. Potential benefits from adaptation to climate change in chickpea. *J. Agric. Sci. Develop.* 3: 230-236.
38. Soltani, A. and Gholipoor, M. 2006. Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. *J. Agric. Sci. Natur. Res.* 13: 69-79. (In Persian with English abstract)