Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The effect of climate change on phenological traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed and irrigated conditions in Gonbad

Ali Rahemi Karizaki[1*], Korosh Sanaie[2], Ali Nakhzari Moghaddam[3], Ebrahim Gholamalipour Alamdari[4], Sara Pirdehghan[5], Leila Habibian[6]

[1] Assistant Professor, Department of plant Production, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: alirahemi@yahoo.com
[2] MSc Graduated in Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: korosh_sanaie@yahoo.com
[3] Assistant Professor, Department of plant Production, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: a_nakhzari@yahoo.com
[4] Assistant Professor, Department of plant Production, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: ebrahim_19730@yahoo.com
[5] MSc Student of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: sarapirdehghan@yahoo.com
[6] PhD Student of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: h_leyla9257@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2021/08/17
Revised: 2022/01/15
Accepted: 2022/02/12

Keywords:
Future climate
Planting dates
SSM-iLegume-Chickpea
Temperature

ABSTRACT

Background and objectives: Chickpea is the third most important cereal crop in the world after beans and peas. European scientists found that studying 542 plant species in 26 European countries, including 125,000 time series, found that in 78% of the time between 1971 and 2000, the rate of development increased due to rising temperatures and shorter stages. The shortening of the growth period caused by the increase in temperature in most crops reduces yield because it absorbs less radiation and has less time for dry matter accumulation. The purpose of this study was to identify the effects of climate change on phenological traits of chickpea in Gonbad city in order to adapt and improve yield for future conditions.

Materials and Methods: First, meteorological data from the Dome Synoptic Weather Station from 1993 to 2017, and then processed and converted to DOY using the Srad -calc program. Solar radiation was calculated based on sunny hours and days of the year. Then, new changes were made to the meteorological data based on climate change scenarios. The SSM-iLegume-Chickpea model was implemented for both rain and water conditions and each scenario. Planting type was selected according to the climatic conditions of the region, autumn and the type of free cultivar. Simulations For each rainfed and irrigated condition, three different planting dates (December, January and February) were selected and simulations were performed for 25 years (1993-2017).

Results: Planting date and climate change scenarios were significant at 1% level for all phenological traits in both rainfed and irrigated conditions, while the interaction effects of planting date and climate change except day to emergence were significant at 1% level. As the temperature rises in the future climate, the length of the phenological stages, ranging from day to flowering, day to pod start, day to physiological maturity, and day to harvest maturity will be reduced compared to normal conditions.

Maximum decrease in phenology length was related to increase in temperature of 6°C and combined effects of doubling CO_2 concentration, two percent decrease in precipitation and increase of 6°C under normal conditions, and minimum decrease in temperature increase scenario by 2°C. CO_2 is a two percent decrease in recipitation and an increase of two degrees Celsius in both rainfed and irrigated conditions. Therefore, due to unchanged phenological stages under CO_2 doubling scenarios and 2% reduction in rainfall compared to normal conditions, and reduction in phenological stages under the influence of temperature rise scenarios and similarity of the results of the temperature rise scenarios alone compared to the combined effects of CO_2 doubling and 2% decrease in precipitation and an increase in temperature can be deduced that only an increase in temperature reduces the length of the phenological stages.

Conclusion: Simulation results in Gonbad city showed that increasing CO_2 concentration in both rainfed and irrigated conditions and different planting dates had no effect on the phenological stages of chickpea but increasing temperature would significantly decrease the chickpea growth period, although this decrease in the length of chickpea growth is greater in the vegetative growth stage. As a result, the chickpea plant enters the reproductive stage faster, enjoys better temperature and humidity conditions in the reproductive stages, and causes premature and eventually evaporation of drought and late-season heat, and ultimately increases yield under conditions that will be dry. But delay in chickpea planting will shorten the chickpea growth period, depletion of available resources such as radiation, optimum humidity and temperature, dealing with end-season heat and drought, and ultimately yield loss.

Cite this article: Rahemi Karizaki, A., Sanaie, K., Nakhzari Moghaddam, A., Gholamalipour Alamdari, E., Pirdehghan, S., Habibian, L. 2022. The effect of climate change on phenological traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed and irrigated conditions in Gonbad. *Crop Production*, 15 (1), 57-72.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJCP.2022.19074.2423
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

اثر تغییر اقلیم بر صفات فنولوژیک نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت شرایط دیم و آبی در شهرستان گنبد

علی راحمی‌کاریزکی[۱*]، کوروش ثنائی[۲]، علی نخ زری مقدم[۳]، ابراهیم غلامعلی پورعلمداری[۴]، سارا پیردهقان[۵]، لیلا حبیبیان[۶]

[۱] استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، رایانامه:alirahemi@yahoo.com

[۲] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد در رشته کشاورزی اکولوژیک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، رایانامه:korosh_sanaie@yahoo.com

[۳] استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، رایانامه:a_nakhzari@yahoo.com

[۴] استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، رایانامه:ebrahim_19730@yahoo.com

[۵] دانشجوی کارشناسی ارشد در رشته کشاورزی اکولوژیک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، رایانامه:sarapirdehghan@yahoo.com

[۶] دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، رایانامه:h_leyla9257@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

واژه‌های کلیدی:
اقلیم آینده
دما، روزهای کاشت
مدل SSM-iLegume-Chickpea

چکیده

سابقه و هدف: نخود سومین محصول مهم حبوبات در جهان پس از لوبیا و نخودفرنگی است. تعدادی از دانشمندان اروپایی با مطالعه ۵۴۲ گونه گیاهی در ۲۶ کشور اروپا که شامل ۱۲۵ هزار سری زمانی بود دریافتند که در فاصله سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ میلادی در ۷۸ درصد موارد سرعت نمو به دلیل بالا رفتن دما افزایش یافته و طول مراحل کوتاه‌تر شده است. کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد ناشی از افزایش دما در اغلب گیاهان زراعی باعث کاهش عملکرد می‌شود، زیرا تابش کم‌تری جذب شده و زمان کم‌تری برای تجمع ماده خشک در اختیار گیاه خواهد بود. هدف از انجام این مطالعه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر صفات فنولوژیک گیاه نخود در شهرستان گنبد، در جهت سازگاری و بهبود عملکرد برای شرایط آینده است.

مواد و روش‌ها: ابتدا اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گنبد از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ میلادی جمع‌آوری و پس از پردازش و تبدیل ایام به روز از سال میلادی (DOY) با استفاده از برنامه Srad-calc میزان تشعشع خورشیدی بر اساس ساعات آفتابی و روز از سال محاسبه شد. سپس با تغییر در داده‌های هواشناسی بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم داده‌های جدیدی ایجاد شد. مدل SSM-iLegume-Chickpea برای شرایط دیم و آبی و هر کدام از سناریوها اجرا شد. نوع کاشت با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، پاییزه و نوع رقم آزاد انتخاب شد. شبیه‌سازی برای هر کدام از شرایط دیم و آبی، سه تاریخ کاشت مختلف (آذر، دی و بهمن) انتخاب و شبیه‌سازی‌ها برای ۲۵ سال (۲۰۱۷-۱۹۹۳) انجام شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج تجزیه واریانس، سناریوهای تاریخ کاشت و تغییر اقلیم روی تمام صفات فنولوژیک مورد بررسی در هر دو شرایط دیم و آبی در سطح یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم، به استثنای روز تا سبز شدن، بر روی سایر صفات در سطح یک درصد

معنی‌دار بود. با افزایش دما در اقلیم آینده طول مراحل فنولوژی اعم از روز تا شروع گلدهی، روز تا شروع غلاف‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و روز تا رسیدگی برداشت نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت. بیش‌ترین کاهش طول مراحل فنولوژی مربوط به سناریوی افزایش دمای ٦ درجه سانتی‌گراد و اثرات ترکیبی دو برابر شدن غلظت CO_2، کاهش دو درصدی بارندگی و افزایش دمای ٦ درجه سانتی‌گراد نسبت به شرایط کنونی بود. کم‌ترین کاهش طول مراحل فنولوژیک به ترتیب در سناریوی‌های افزایش دما به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد، اثرات ترکیبی دو برابر شدن غلظت Co_2، کاهش دو درصدی بارندگی و افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد دما در هر دو شرایط دیم و آبی مشاهده گردید. بنابراین، به دلیل عدم تغییر مراحل فنولوژیک تحت سناریوهای دوبرابر شدن Co_2 و کاهش دو درصدی بارندگی نسبت به شرایط کنونی و از طرفی به علت کاهش طول مراحل فنولوژیک تحت تأثیر سناریوی افزایش دما و همچنین به دلیل مشابه بودن نتایج سناریوهای افزایش دما به تنهایی در مقایسه با اثرات ترکیبی دوبرابر شدن CO_2 و کاهش دو درصدی بارندگی و افزایش دما، می‌توان فهمید که تنها افزایش دما باعث کاهش طول مراحل فنولوژیک می‌شود.

نتیجه‌گیری: نتایج شبیه‌سازی‌ها در شهر گنبد نشان داد افزایش غلظت CO_2 در هر دو شرایط دیم و آبی و تاریخ کاشت‌های مختلف تأثیری روی مراحل فنولوژیک گیاه نخود ندارد، اما افزایش دما به‌طور قابل ملاحظه‌ای دوره رشد محصول نخود را کاهش خواهد داد. در نتیجه گیاه نخود سریع‌تر وارد مرحله زایشی شده، هم از شرایط دمایی و رطوبتی مطلوب‌تری در مراحل زایشی برخوردار شده و هم باعث زودرسی و در نهایت فرار از خشکی و گرمای آخر فصل و در نهایت افزایش عملکرد در شرایط دیم خواهد شد. اما تأخیر در کاشت نخود باعث کوتاه‌تر شدن دوره رشد نخود، عدم بهره‌وری از منابع موجود و در نهایت کاهش عملکرد خواهد شد.

استناد: راحمی کاریزکی، ع.، ثنائی، ک.، نخ زری مقدم، ع. غلامعلی پورعلمداری، ا.، پیردهقان، س.، حبیبیان، ل. (١٤٠١). اثر تغییر اقلیم بر صفات فنولوژیک نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت شرایط دیم و آبی در شهرستان گنبد. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۱)، ۷۲-۵۷.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19074.2423

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

نخود سومین محصول مهم حبوبات در جهان پس از لوبیا و نخودفرنگی است (۲٤). نخود در مقیاس وسیعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان کشت می‌شود. حدود ۹۰ درصد نخود در جهان تحت شرایط دیم کشت می‌شود (۱۷). در حالی که در ایران حدود ۹۹ درصد کشت نخود به‌صورت دیم می‌باشد (۱). نخود علاوه بر فواید بسیار زیاد آن در تغذیه نقش مهمی در افزایش تولید و موفقیت محصولات بعدی، به‌خصوص غلات و شکستن چرخه زندگی آفات و بیماری‌های غلات ناشی از نظام‌های تک کشتی دارد و از این جهت پایداری و سودآوری سیستم‌های تولید را ارتقا می‌بخشد (۲، ۲۲). با این حال سهم بسیار ناچیزی از سطح زیرکشت کشور (۰/۸۵ درصد) به کشت حبوبات اختصاص یافته که از این میزان سهم نخود ٦۲/۸ درصد می‌باشد (۱). سطح زیرکشت نخود در استان گلستان ٤۲۰ هکتار با میزان ۳۹۲ تن است. نخود به لحاظ ارزش تناوبی بالا، یکی از محصولات ارزشمند در شهرستان گنبد بالاخص اراضی دیم می‌باشد بنابراین توسعه کشت این محصول امری اجتناب‌ناپذیر است. مطابق تحقیقات و ارزیابی‌های انجام شده در طرح توانمندسازی تغییر آب و هوا تحت نظر کنوانسیون تغییر آب و هوای سازمان ملل متحد و با استفاده از سناریوهای مطرح شده توسط IPCC اگر میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰ دو برابر شود، دمای متوسط ایران به میزان ۱/۵ – ٤/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و میانگین بارش کشور حدود ۱۰ درصد (تقریباً ۲۵ میلی‌متر) کاهش خواهد یافت که این مسأله اگر چه بر همه بخش‌های اقتصادی کشور تأثیرگذار است، اما شرایط تولید در بخش کشاورزی را با محدودیت‌های اساسی روبرو می‌سازد (۱٤، ۱۸). طی سال‌های اخیر، وقوع تنش‌های غیرزیستی در اثر تغییر اقلیم به عنوان یک چالش برای رشد و نمو گیاهان مطرح شده است (٤). گیاهان توانایی جابجایی به مناطق مساعدتر در شرایط تنش را ندارند، به همین دلیل فرآیند های رشد و نمو آن‌ها تحت تأثیر محیط قرار گرفته و ناگزیر باید با تغییرات محیطی، سازگار شوند (۵، ۷). بنابراین، ضمن شناخت و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم آینده روی گیاه نخود راهکار مناسبی جهت سازگاری این گیاه با شرایط اقلیمی جدید شناسایی شود. مدل‌های اقلیم جهانی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی تغییر اقلیم و ارائه اطلاعات لازم برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی رشد تحت سناریوهای مختلف اقلیمی هستند. همچنین، رهیافت مدل‌سازی و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی را یکی از راه‌های کم هزینه برای اندازه‌گیری اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی دانسته‌اند (۲۰).

امنیت غذایی دنیا و تولیدات کشاورزی تحت تأثیر گرمایش جهانی واقع شده است (۳۲). دما به عنوان یکی از مهم‌ترین و تعیین کننده‌ترین عناصر اقلیمی، شاخص مناسبی برای ردیابی تغییرات اقلیم به شمار می‌رود (۱۵). مطابق گزارش‌ها و مدل‌های پیش‌بینی، رایط محیطی گرم و خشک در بسیاری از مناطق در حال گسترش است تنش گرما یکی از مشکلات کشاورزی در دنیا محسوب می‌شود (۱٦). که باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی به دلیل گستردگی پاسخ گیاهان به تغییرات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی می‌شود (۳۵). آزمایشات نشان می‌دهد که مهم‌ترین پیآمد افزایش دما، تسریع مراحل فنولوژی در گیاهان است. تعدادی از دانشمندان اروپایی با مطالعه ۵٤۲ گونه گیاهی در ۲٦ کشور اروپا که شامل ۱۲۵ هزار سری زمانی بود دریافتند که در فاصله سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ میلادی در ۷۸ درصد موارد سرعت نمو به‌دلیل بالا رفتن دما افزایش یافته و طول مراحل کوتاه‌تر شده است

کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد ناشی از افزایش دما در اغلب گیاهان زراعی باعث کاهش عملکرد می‌شود زیرا تابش کم‌تری جذب شده و زمان کم‌تری برای تجمع ماده خشک در اختیار گیاه خواهد بود (۱۷، ۳۶). در مطالعه‌ای دیگر با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و نیاز آبی گیاهان گندم و ذرت در ساحل شرقی دریای مدیترانه در ترکیه نتیجه گرفتند که بالا رفتن درجه حرارت باعث افزایش سرعت رشد فیزیولوژیکی هر دو گیاه می‌شود و این خود باعث زودرس‌شدن این محصولات و در نتیجه کاهش دوره رشد می‌شود (۳۳). در تحقیقی دیگر با بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیب زمینی در اروپای شمالی به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم باعث طولانی‌شدن فصل رشد سیب زمینی در این منطقه خواهد شد (۱۲). در تحقیقی که روی عملکرد محصول نخود در شمال غرب ایران انجام گرفت افزایش ۲۶/۱۷ درصدی در متوسط عملکرد محصول نخود دیم به دلیل کاهش دوره رشد گیاه و زودرس‌تر شدن آن و در نتیجه انطباق بهتر رشد گیاه در شرایط دیم با ذخیره آبی خاک و کاهش دوره تنش انتهای فصل رشد گزارش شد (۳). ژئوفری و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل پیش‌بینی عملکرد ذرت بر اساس داده‌های آب و هوایی فصلی در شرق آفریقا عنوان کردند که تأخیر در کاشت ذرت منجر به کاهش عملکرد بر طبق پیش‌بینی می‌شود (۱۰). پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به شمار می‌رود. عملکرد در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی با زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود (۲۶). هدف از انجام این مطالعه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر صفات فنولوژیک گیاه نخود تحت شرایط دیم و آبی در شهرستان گنبد، در جهت سازگاری و بهبود عملکرد برای شرایط آینده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تغییرات مراحل فنولوژیک نخود از مدل SSM-iLegum-Chickpea استفاده شد. مدل SSM برای شبیه‌سازی گیاهان‌زراعی مختلف تهیه شده است. با استفاده از این مدل می‌توان تولید گیاهان‌زراعی و محدودیت‌های ژنتیکی، محیطی و مدیریتی در تولید آن‌ها را تجزیه و تحلیل کرد. شبیه‌سازی فنولوژی و تولید ماده خشک در مدل SSM به دلیل استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های متفاوت و جدید در ساختار مدل (به‌منظور بیان گسترش و پیرشدن برگ‌ها و همچنین توزیع ماده خشک) نسبت به سایر مدل‌ها ساده‌تر بوده و نیاز به پارامترهای ورودی کم‌تری دارد. در این مدل، واکنش فرآیندهای رشد گیاه به عوامل محیطی شامل نور، طول روز، دما و قابلیت دسترسی به آب منظور شده است. این مدل برای شبیه سازی روزانه به اطلاعات آب و هوایی، خاکی و مدیریتی نیاز دارد. مدل مراحل فنولوژیک را به عنوان تابعی از دما، طول روز و تنش کمبود آب پیش‌بینی می‌کند. گسترش و پیرشدن سطح برگ تابعی از دما، مواد فتوسنتزی فراهم برای رشد برگ، تراکم بوته و انتقال مجدد نیتروژن می‌باشد (۸، ۳۰).

موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه: این مطالعه در شهرستان گنبدکاوس انجام شد. این شهرستان واقع در شرق استان گلستان با موقعیت جغرافیایی ۳۷/۱۵ درجه شمالی و ۵۵/۱۰ درجه شرقی و ارتفاع ۵۲ متر از سطح دریا می باشد. گنبد از مناطق مهم تولید نخود در ایران است. در گنبد زمستان‌ها نسبتاً ملایم هستند و میانگین بارندگی سالانه برطبق آمار ۲۵ ساله ۴۶۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.

سناریوهای تغییر اقلیم: ابتدا اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گنبد از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ میلادی شامل داده‌های روزانه دماهای حداکثر و

حداقل، ساعات آفتابی و مقدار بارندگی جمع‌آوری و پس از پردازش و تبدیل ایام به روز از سال میلادی (DOY) با استفاده از برنامه Srad-calc (۲۹) میزان تشعشع خورشیدی بر اساس ساعات آفتابی و روز از سال محاسبه شد. سپس با تغییر در داده‌های هواشناسی بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم داده‌های جدیدی ایجاد شد.

سناریوها شامل ۱- افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد دمای هوا، ۲- افزایش ٤ درجه سانتی‌گراد دمای هوا، ۳- افزایش ٦ درجه سانتی‌گراد دمای هوا، ٤- افزایش دو برابری غلظت CO_2، ٥- کاهش دو درصدی بارندگی، ٦- افزایش دو برابری غلظت CO_2 + کاهش دو درصدی بارندگی + افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد دمای هوا، ۷- افزایش دو برابری غلظت CO_2 + کاهش دو درصدی بارندگی+ افزایش ٤ درجه سانتی‌گراد دمای هوا ۸- افزایش دو برابری غلظت CO_2 + کاهش دو درصدی بارندگی + افزایش ٦ درجه سانتی‌گراد دمای هوا و ۹- شبیه‌سازی در شرایط داده‌های هواشناسی موجود، بودند که در کل ۹ سناریو در نظر گرفته شد. جهت سناریوهای افزایش دما، میزان تغییرات به درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه افزوده شد. برای بارندگی نیز میزان دو درصد از بارندگی واقعی کم شد، اما تعداد بارندگی ثابت ماند. فایده این روش این است که اثر هر کدام از سناریوها به‌صورت انفرادی و در شرایط اثر متقابل بررسی می‌شود.

به‌این ترتیب سناریوهای افزایش دما و کاهش بارندگی جهت بررسی اثرات غیرمستقیم افزایش غلظت CO_2 و سناریوی افزایش دو برابری غلظت CO_2 جهت بررسی تأثیر مستقیم آن، به صورت جداگانه بررسی شدند. سناریوهای تغییر اقلیم نیز که به‌صورت ترکیبی از افزایش دو برابری غلظت CO_2، افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی بودند، جهت بررسی اثر ترکیبی و متقابل این عوامل، شبیه‌سازی شدند.

شبیه سازی‌ها: مدل SSM-iLegume-Chickpea برای شرایط دیم و آبی و هر کدام از سناریوها اجرا شد. نوع کاشت با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، پاییزه و نوع رقم آزاد انتخاب شد. شبیه‌سازی برای هر کدام از شرایط دیم و آبی، سه تاریخ کاشت مختلف (اول آذر، اول دی و اول بهمن) انتخاب و شبیه‌سازی‌ها برای ۲۵ سال (۲۰۱۷-۱۹۹۳) انجام شد. مقدار آب موجود در خاک برای کاشت ۱۵ میلی‌متر (حد ظرفیت مزرعه) درنظر گرفته شد. تراکم بوته برای کشت آبی نخود، ۳۵ بوته و کشت دیم ۲۵ بوته در متر مربع درنظر گرفته شد. نیتروژن اولیه در محلول خاک ۳ گرم بر مترمربع، آلبیدوی خاک ۰/۱۳، حد رطوبت قابل جذب ۰/۱۳ میلی‌متر انتخاب شد. تجزیه واریانس با استفاده از برنامه SAS (نسخه ۹/٦) (۲۸) و به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی اجرا شد که در آن، سال‌ها تکرار و سناریوها تیمار درنظرگرفته شدند. مقایسه میانگین صفات نیز با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس سناریوهای تاریخ کاشت و تغییر اقلیم روی تمام صفات فنولوژیک در هر دو شرایط دیم و آبی در سطح یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم به استثنای روز تا سبز شدن بر روی سایر صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس مراحل فنولوژیک نخود.

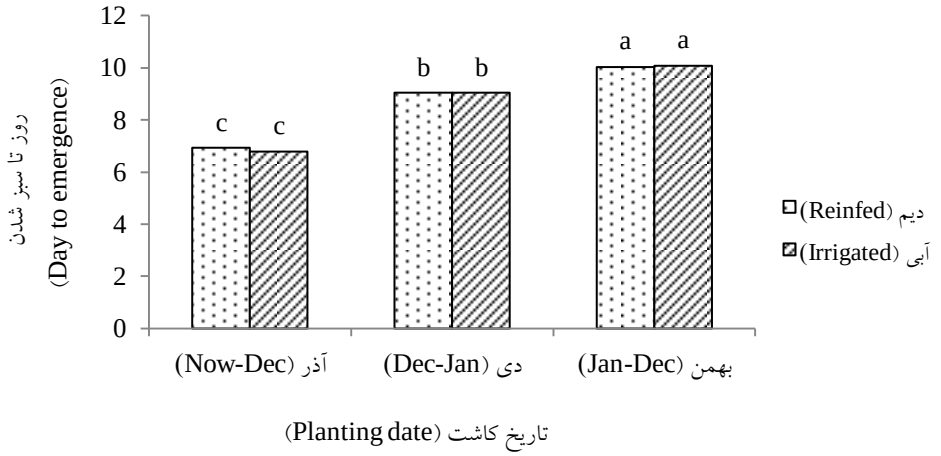
Table 1 - Analysis of chickpea phenology variance.

شرایط کاشت (Planting conditions)	منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	روز تا سبز شدن (Day to green)	روز تا شروع گلدهی (Day to flowering)	روز تا شروع غلاف‌دهی (Day to pods)	روز تا شروع پرشدن دانه (Day to grain filling)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (Day to physiological maturity)	روز تا رسیدگی برداشت (Day to harvest)
دیم (Reinfed)	سال (Year)	24	51.39**	595.83**	538.36**	507.53**	395.78**	413.57**
	تاریخ کاشت (Planting date)	2	581.8**	48452.14**	60100.32**	64980.8**	89651.56**	91934.14**
	تغییر اقلیم Climate(change)	8	326.15**	11554.49**	123118.75*	123.77.07*	11174.42**	10668.69**
	PD×CC	16	11.01ns	362.09**	358.84**	345.8**	297.01**	270.83**
	خطا(Error)	622	9.71	22.12	19.85	18.89	14.84	15.56
	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	35.88	5.21	4.37	3.99	2.81	2.73
آبی (Irrigated)	سال (Year)	24	50.86**	586.11**	532.27**	517.83**	382.21**	363.99**
	تاریخ کاشت (Planting date)	2	632.16**	43895.75**	54677.83**	58744.03**	74712.52**	75431.05**
	تغییر اقلیم Climate(change)	8	328.01**	11580.21**	12333.15**	12482.98**	12313.92**	12164.88**
	PD×CC	16	11.72ns	509.16**	509.86**	494.81**	438.12**	435.29**
	خطا (Error)	622	9.68	21.90	19.53	18.72	14.18	14.06
	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	36	5.22	4.33	3.99	2.71	2.55

ns، * و** : به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

PD و CC به‌ترتیب: تاریخ کاشت و تغییر اقلیم.

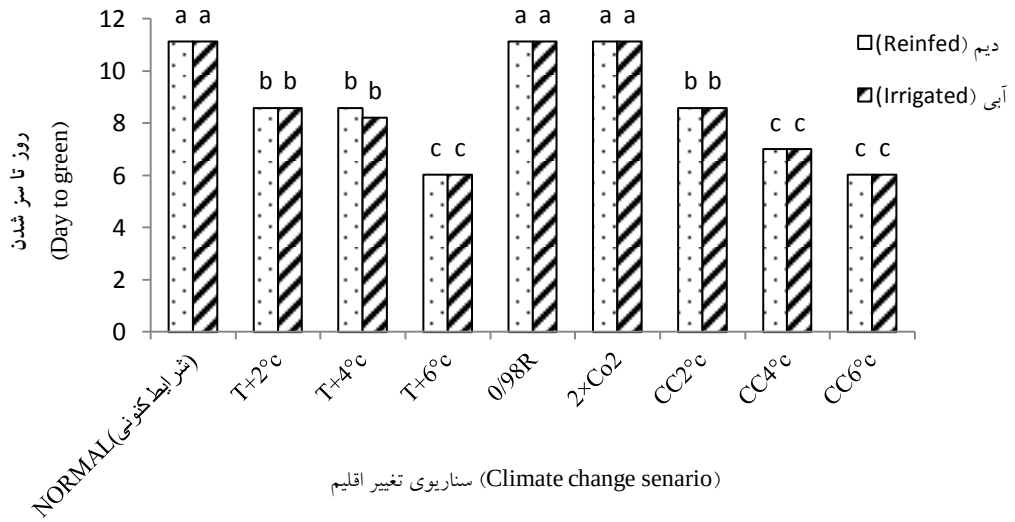
ns, * &**: no Significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.
PD and CC: Planting date and Climate change, Respectively.



شکل ۱- اثر تاریخ کاشت در مرحله کاشت تا سبزشدن در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد.

Figure 1- Effect of planting date on planting stage to green in rainfed and irrigated conditions of chickpea crop in gonbad city.

تاریخ کاشت‌های مختلف از نظر تعداد روز از کاشت تا سبزشدن اختلاف معنی‌داری داشتند که این امر به علت تفاوت در میانگین دما در تاریخ کاشت‌های مختلف بود. مرحله روز تا سبز شدن در تاریخ کاشت آذرماه در هر دو شرایط دیم و آبی در کم‌ترین زمان و در تاریخ کاشت بهمن ماه در هر دو شرایط دیم و آبی در بیش‌ترین زمان صورت گرفته است (شکل ۱). علت مشابه بودن طول این مرحله در شرایط دیم و آبی این است که کاشت نخود در هر دو شرایط دیم و آبی در خاک با رطوبت حد ظرفیت مزرعه انجام شده است.



شکل ۲- اثر سناریوهای تغییر اقلیم در مرحله کاشت تا سبزشدن در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد (شرایط کنونی: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایط داده‌های هواشناسی موجود، T+2°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا دو درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، T+4°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا چهار درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، T+6°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا ٦ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، 0.98R: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که بارندگی دو درصد کاهش یافته است، CC2°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که Co_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا دو درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، CC4°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که Co_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا چهار درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، CC6°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که Co_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا ٦ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است).

Figure 2 - Effect of Climate Change Scenarios on Planting Stage to Green in rainfed and irrigated Conditions of Chickpea crop in Gonbad city (NORMAL, Simulation of chickpea production in terms of available meteorological data, T + 2°C: Simulation chickpea production when the air temperature has risen two degrees Celsius, T + 4°C: Simulation chickpea production as the air temperature rises four degrees Celsius, T + 6°C: Simulation chickpea production when the air temperature is raised to 6°C, 0/98R: Simulation of chickpea production in which rainfall decreased by 2%, CC2°C: Simulation of chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, precipitation decreased by 2% and air temperature increased by 2°C, CC4°C: Simulation of chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, precipitation decreased by 2% and air temperature increased by 4°C, CC6°C: Simulation chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, decreased precipitation by 2%, and increased air temperature by 6°C).

با توجه به شکل ۲ از نظر روز تا سبزشدن، بین سناریوی افزایش دوبرابری غلظت CO_2 و کاهش دو درصدی بارندگی نسبت به شرایط کنونی تفاوتی مشاهده نمی‌شود. به عبارتی، بیش‌ترین تأخیر در سبزشدن در این سه سناریو مشاهده می‌شود. از طرفی، با افزایش دما از ۲ به ٦ درجه سانتی‌گراد چه به صورت ترکیبی با افزایش و کاهش بارندگی و یا تنها افزایش دما، زمان سبزشدن تقریباً در هر دو

شرایط دیم و آبی به نصف کاهش می‌یابد. زمان سبزشدن یک عامل مهم در فنولوژی، رشد و عملکرد دانه و یک مرحله بحرانی در چرخه حیاتی گیاهی است (٦). زمان سبز شدن اغلب تعیین‌کننده موفقیت یک گیاه در رقابت با علف هرز، موجودات گیاه‌خوار و جلوگیری از آلودگی گیاه به بیماری و در نهایت تولید کل و عملکرد در پایان فصل رشد است (۱۹). در مطالعه‌ای که روی گندم انجام شد گزارش کردند که تاریخ کشت اثر معنی‌داری بر روز تا سبز شدن ارقام مختلف گندم در منطقه گرگان دارد به طوری که بیش‌ترین تعداد روز تا سبز شدن به دلیل دمای پایین‌تر هوا مربوط به تاریخ کشت‌های دی و بهمن‌ماه بود (۲۳). در تحقیقی که روی نخود انجام شد گزارش کردند که زمان کاشت تا سبزشدن با افزایش دما کاهش یافت (۳٤).

با تغییر تاریخ کاشت از آذر به دی و بهمن‌ماه در هر دو شرایط دیم و آبی مراحل فنولوژی کوتاه‌تر و در نتیجه دوره رشد و نمو نخود کوتاه‌تر شد، اما در عین حال با احتساب تاریخ کاشت و زمان رسیدگی نخودی که در آذرماه کشت می‌شود در مقایسه با نخود کشت شده در بهمن‌ماه سریع‌تر برداشت خواهد شد و برخورد کم‌تری با تنش‌های گرما وخشکی انتهای فصل خواهد داشت.

جدول ۲- اثرات متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم روی مراحل فنولوژی نخود در شرایط دیم شهرستان گنبد.

Table 2- Interaction effects of planting date and climate change on phenological stages of chickpea in rainfed conditions of Gonbad city.

تاریخ کاشت (Planting date)	تغییر اقلیم (Climate change)	روز تا شروع گلدهی (Day to flowering)	روز تا شروع غلاف‌دهی (Day to pods)	روز تا شروع پرشدن دانه (Day to grain filling)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (Day to physiological maturity)	روز تا رسیدگی برداشت (Day to harvest)
آذر (December)	(شرایط کنونی) NORMAL	121.4a	135.8a	142.6a	172.4a	179.9a
	T+2°C	105.8b	120.5b	127.8b	159/2b	167.3b
	T+4°C	92.3c	106.3c	113.4c	146.3c	154.8c
	T+6°C	80.7d	94d	100.9d	133.3d	141.5d
	0.98R	121.4a	135.8a	142.6a	172.4a	179.7a
	$2xCO_2$	121.4a	135.8a	142.6a	173a	180.6a
	CC2°C	105.8b	120.5b	127.8b	159.6b	167/9b
	CC4°C	92.3c	106.3c	113.4c	146.3c	154.8c
	CC6°C	80.7d	94d	100.9d	133.5d	141.8d
	LSD 5% (حداقل اختلاف معنی‌دار)	1.43	1.20	1.05	1.25	1.35
دی (January)	(شرایط کنونی) NORMAL	104.6a	116.7a	123.1a	149.8a	157a
	T+2°C	93.3b	105.6b	111.9b	139.4b	146.7b
	T+4°C	83.2c	95.5c	101.8c	129.9c	137.7c
	T+6°C	74.5d	86d	92.1d	۱۲۰/۲d	127.9d
	0.98R	104.6a	116.7a	123.1a	149.7a	156.8a
	$2xCO_2$	104.6a	116.7a	123.1a	150.5a	157.9a
	CC2°C	93.3b	105.6b	112b	140b	147.5b
	CC4°C	83.2c	95.5c	101.8c	129.9c	137.7c
	CC6°C	74.5d	86d	92.1d	120.8d	128.9d
	LSD 5% (حداقل	0.92	0.76	0.74	1.09	1.22

	اختلاف معنی‌دار)					
	(شرایط کنونی) NORMAL	84.1a	95.5a	101.2a	126b	132.6a
	T+2°C	75.7b	86.5b	92.2b	117/7c	124.6d
	T+4°C	68.6c	79c	84.5c	110.6d	117.9e
بهمن (February)	T+6°C	62.2d	72.4d	78d	103.2e	110.4f
	0.98R	84.1a	95.5a	101.2a	125.8b	132.6d
	$2xCO_2$	84.1a	95.5a	101.3a	126.7a	133.6a
	CC2°C	75.7b	86.5b	92.4b	118.3c	125.6c
	CC4°C	68.6c	79c	84.5c	110.6c	117.9e
	CC6°C	62.2d	72.4d	78d	103.7e	111.2f
	%5 LSD	0.62	0.58	0.62	0.72	0.81

شرایط کنونی: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایط داده‌های هواشناسی موجود، T+2°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا دو درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، T+4°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا چهار درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، T+6°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا ٦ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، 0/98R: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که بارندگی دو درصد کاهش یافته است، CC2°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که Co_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا دو درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، CC4°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که Co_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا چهار درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، CC6°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که Co_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا ٦ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

NORMAL: Simulation of chickpea production in terms of available meteorological data, T + 2°C: Simulation chickpea production when the air temperature has risen two degrees Celsius, T + 4°C: Simulation chickpea production as the air temperature rises four degrees Celsius, T + 6°C: Simulation chickpea production when the air temperature is raised to 6°C, 0/98R: Simulation of chickpea production in which rainfall decreased by 2%, CC2°C: Simulation of chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, precipitation decreased by 2% and air temperature increased by 2°C, CC4°C: Simulation of chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, precipitation decreased by 2% and air temperature increased by 4°C, CC6°C: Simulation chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, decreased precipitation by 2%, and increased air temperature by 6°C.

با افزایش دما در اقلیم آینده طول مراحل فنولوژی اعم از روز تا شروع گلدهی، روز تا شروع غلاف‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و روز تا رسیدگی برداشت نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت. بیش‌ترین کاهش طول مراحل فنولوژی مربوط به افزایش دمای ٦ درجه سانتی‌گراد و اثرات ترکیبی دوبرابر شدن غلظت CO_2، کاهش دو درصدی بارندگی و افزایش ٦ درجه سانتی‌گراد نسبت به شرایط کنونی و کم‌ترین کاهش در سناریوی افزایش دما به میزان دو درجه سانتی‌گراد اثرات ترکیبی دوبرابر شدن غلظت CO_2، کاهش دو درصدی بارندگی و افزایش دو درجه سانتی‌گراد دما در هر دو شرایط دیم و آبی می‌باشد (جدول‌های ٢ و ٣). با این حال بین شرایط کنونی و سناریوی کاهش دو درصدی بارندگی و دوبرابر شدن غلظت CO_2 در آینده بین مراحل فنولوژیک در هر دو تاریخ کاشت و هر دو شرایط دیم و آبی تفاوتی مشاهده نشد، به عبارتی بیش‌ترین دوره رشد و نمو نخود در این سه حالت اتفاق می‌افتد.

بنابراین، به دلیل عدم تغییر مراحل فنولوژیک تحت سناریوهای دوبرابر شدن CO_2 و کاهش دو درصدی بارندگی نسبت به شرایط عادی و کاهش طول مراحل فنولوژیک تحت تأثیر سناریوهای افزایش دما و همچنین، مشابه بودن نتایج سناریوهای افزایش دما به تنهایی در مقایسه با اثرات ترکیبی دوبرابر شدن CO_2 و کاهش دو درصدی بارندگی و افزایش دما می‌توان چنین استنباط کرد که تنها افزایش دما باعث کاهش طول مراحل فنولوژیک می‌شود. اولین کاهش

تحت سناریوهای افزایش دما مربوط به مرحله روز تا شروع گلدهی بوده و در سایر مراحل نیز تداوم یافته است با این حال این کاهش بعد از گلدهی در طول این مراحل نبوده و فقط زمان رسیدن به این مراحل کوتاه‌تر شده است. بررسی نتایج مقایسه‌های میانگین بیان‌گر این نکته است که بیش‌تر کاهش طول دوره رشد و نمو نخود مربوط به کاهش دوره رشد رویشی در اثر افزایش دما می‌باشد. تغییر تاریخ کاشت از آذر به دی و بهمن‌ماه طول تمام مراحل فنولوژیک را در نخود کاهش داد.

در مطالعه‌ای که روی نخود در استان زنجان انجام شد به این نتیجه رسیدند که کاهش طول دوره رشدی گیاه و عدم برخورد با دماهای فوق مطلوب در هنگام پر شدن دانه، توزیع آب بین فاز رویشی و زایشی در اثر کم شدن دوره رشد رویشی و فرار از تنش خشکی آخر فصل به علت منطبق شدن دوره رشدی گیاه با فصل رشد از جمله دلایل افزایش عملکرد نخود در شرایط به کارگیری راهکارهای سازگاری می‌باشند (۱۱).

جدول ۳– اثرات متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم روی مراحل فنولوژی نخود در شرایط آبی شهرستان گنبد.

Table 3- Interaction effects of planting date and climate change on phenological stages of chickpea in irrigated conditions of Gonbad city.

تاریخ کاشت (Planting date)	تغییر اقلیم (Climate change)	روز تا شروع گلدهی (Day to flowering)	روز تا شروع غلاف‌دهی (Day to pods)	روز تا شروع پرشدن دانه (Day to grain filling)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (Day to physiological maturity)	روز تا رسیدگی برداشت (Day to harvest)
آذر (December)	شرایط کنونی NORMAL	121.4a	135.8a	142.6a	174.6a	182.8a
	T+2°C	105.8b	120.5b	127.8b	160.6b	168.9b
	T+4°C	92.4c	106.4c	113.4c	146.8c	155.3c
	T+6°C	80.8d	94.1d	101d	133.9d	142.3d
	0.98R	121.4a	135.8a	142.6a	174.6a	182.8a
	$2xCO_2$	121.4a	135.8a	142.6a	174.6a	182.8a
	CC2°C	105.8b	106.4c	127.8b	160.6b	168.9b
	CC4°C	92.4c	106.4c	113.4c	146.8c	155.3c
	CC6°C	80.8d	94.1d	101d	133.9d	142.3d
	%5 LSD	1.46	1.86	1.03	0.84	0.78
دی (January)	شرایط کنونی NORMAL	104.6a	116.7a	123.4a	153.1a	161.2a
	T+2°C	93.3b	105.6b	112b	142b	150.1b
	T+4°C	83.2c	95.3c	101.7c	131.4c	139.6c
	T+6°C	74.5d	86d	92.1d	121.7d	129.9d
	0.98R	104.6a	116.7a	123.4a	153.1a	161.2a
	$2xCO_2$	104.6a	116.7a	123.4a	153.1a	161.2a
	CC2°C	93.3b	105.6b	112b	142b	150.1b
	CC4°C	83.2c	95.3c	101.7c	131.4c	139.6c
	CC6°C	74.5d	86d	92.1d	121.7d	129.9d
	%5 LSD	0.92	0.76	0.71	0.61	0.59
بهمن (Febrary)	شرایط کنونی NORMAL	84.2a	95.6a	101.4a	129.9a	138a
	T+2°C	75.8b	86.6b	92.5b	121.2b	129.3b

T+4°C	68.8c	79c	84.6c	113.1c	121.4c
T+6°C	62.3d	72.4c	78.1d	106.3d	114.6d
0.98R	84.1a	95.6a	101.4a	129.9a	138a
$2xCO_2$	84.2a	95.6a	101.4a	129.9a	138a
CC2°C	75.8b	86.6b	92.5b	121.2b	129.3b
CC4°C	68.8c	79c	84.6c	113.1c	121.4c
CC6°C	62.3d	72.4c	78.1d	106.3d	114.6d
%5 LSD	0.62	0.59	0.59	0.51	0.58

شرایط کنونی: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایط داده‌های هواشناسی موجود، T+2°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا دو درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، T+4°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا چهار درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، T+6°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا ٦ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، 0.98R: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که بارندگی دو درصد کاهش یافته است، CC2°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که Co_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا دو درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، CC4°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که CO_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا چهار درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، CC6°C: شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که CO_2 هوا به دوبرابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دو درصد کاهش یافته و دمای هوا ٦ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است)

NORMAL: Simulation of chickpea production in terms of available meteorological data, T + 2°C: Simulation chickpea production when the air temperature has risen two degrees Celsius, T + 4°C: Simulation chickpea production as the air temperature rises four degrees Celsius, T + 6°C: Simulation chickpea production when the air temperature is raised to 6°C, 0/98R: Simulation of chickpea production in which rainfall decreased by 2%, CC2°C: Simulation of chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, precipitation decreased by 2% and air temperature increased by 2°C, CC4°C: Simulation of chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, precipitation decreased by 2% and air temperature increased by 4°C, CC6°C: Simulation chickpea production as Co_2 increased twice the current concentration, decreased precipitation by 2%, and increased air temperature by 6°C).

دانشمندان با مطالعه روی ٥٤٢ گونه گیاهی در فاصله سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ در ٢٦ کشور اروپایی دریافتند که در ۷۸ درصد موارد سرعت نمو به دلیل بالا رفتن دما افزایش یافته و طول مراحل کوتاه‌تر شده است (۲۱). در سایر مطالعات نیز دما را عامل تسریع رشد و کوتاه شدن مراحل نموی معرفی نمودند (۲۵، ۳۱). در مطالعه‌ای که در منطقه بهشهر انجام شد مشاهده کردند طول دوره رشد گندم زمستانه بین ٤ تا ١٤ روز کوتاه‌تر خواهد شد (۲۷). در مطالعه‌ای که در استان چهارمحال و بختیاری روی کلزا انجام شد طول مراحل فنولوژیک کلزا کاهش یافته و دوره روزت افزایش خواهد یافت و دلیل آن را تأمین زودتر نیاز حرارتی در اثر افزایش دما دانستند (۱۳). در مطالعه‌ای که روی نخود انجام شد کاهش طول دوره روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی را تنها ناشی از افزایش دما گزارش کردند (۹). معینی راد و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که مدل SSM_Wheat به خوبی عملکرد بیولوژیک را پیش‌بینی نمود. ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا در این آزمایش به‌ترتیب ۰/۷٤ و ۲۳۰۵/٦۲ پیش بینی گردید (۲۲).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج شبیه‌سازی‌ها در شهر گنبد نشان داد افزایش غلظت CO_2 در هر دو شرایط دیم و آبی و تاریخ کاشت‌های مختلف تأثیری روی مراحل فنولوژیک گیاه نخود ندارد، اما افزایش دما به‌طور قابل ملاحظه‌ای دوره رشد محصول نخود را کاهش خواهد داد که البته این کاهش طول دوره رشد بیش‌تر در مرحله رشد رویشی است در نتیجه گیاه نخود سریع‌تر وارد مرحله زایشی شده، هم از شرایط دمایی و رطوبتی مطلوب‌تری در مراحل زایشی برخوردار شده و هم باعث زودرسی و در نهایت فرار از خشکی

و گرمای آخر فصل و در نهایت افـزایش عملکـرد در شرایط دیم خواهد شد. امـا تـأخیر در کاشـت نخـود باعث کوتاه‌تر شدن دوره رشد نخود، عدم بهره‌وری از منابع موجود اعم از تشعشع، رطوبت و دمای مطلوب، برخورد با گرمـا و خشـکی آخـر فصـل و در نهایـت کاهش عملکرد خواهد شد.

منابع

1. Agricultural Statistics, Volume I: Crops, 1976-96. 1979. Ministry of Agriculture Jihad, Deputy of Planning and Economics, Bureau of Statistics and Information Technology.
2. Ahlawat, I., Ali, M. and Shivkumar, B. 2003. Cropping systems research in chickpea. Chickpea research in India (EdsMasood Ali, Shiv Kumar and NB Singh). Indian Institute of Pulses Research, Kanpur, India. P: 113-119.
3. Barzegar, A.B. and Soltani, A. 2007. Effect of future climate change on yield of rainfed-chickpea in northwest of Iran. Proceedings of 2 national symposium of Agroecology. 16-17 Oct, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
4. Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. and Courchamp, F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity Ecological. Letter. 15: 4. 365-377.
5. Bindi, M. and Olesen, J.E. 2011. The responses of agriculture in Europe to climate change. Region Environ Change. 11: 1. 151-158.
6. Boifin, J., Durr, C., Fleury, A., Marinlafleche, A. and Maillet, I. 1992. Analysis of the variability of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) growth during the earlystages.1. influence of various conditions on crop establishment. Agron. 12: 515-525.
7. Dadrasi, A. and Torabi, B. 2016. Predict the growth and yield of corn in Hamedan. Iranian J. of Field Crop Sci. 47: 4. 595-610. (In Persian)
8. 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)
9. Gholipoor, M. and Soltani, A. 2009. Future climate impacts on chickpea in Iran and ICARDA. Res J Environ Sci. 3: 16-28. (In Persian)
10. Geoffrey, E.O., Wietse, H.P., Iwan, S., Omondi, P. and Ronald, W.A. 2018. Probabilistic maize yield prediction over East Africa using dynamic ensemble seasonal climate forecasts. J. Agri Forest Meteorol. 250: 2. 243-261.
11. Hajarpoor, A., Meghdadi, N., Soltani, A. and Kamkar, B. 2016. Assessment of the adaptation strategiesin rainfed chickpea in response to future climate change in Zanjan province. J Agroecol. 8: 2. 169-181. (In Persian)
12. Haverkort, A.J. and Verhagen, A. 2008. Climate change and its repercussions for the potato supply Chain. Potato Res. 51: 223-237. (In Persian)
13. Heydaribeni, M., Yazdanpanah, H.A. and Mehnatkesh, A. 2018. Impacts of climate change on rapeseed yield and phenological stages (Case study: Chaharmahal va Bakhtiari province). J Nat Geogr. 50: 2. 373-389. (In Persian)
14. IPCC. 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers. Paris: WMO/UNEP.
15. Jalali, M. and Kargar, H. 2011. Statistical analysis and simulation of temperature in Boshehr station (1951-2005). J Geogr Space. 33: 149-173. (In Persian)
16. Jha, U.C., Bohra, A. and Singh, N.P. 2014. Heat stress in crop plants: its nature, impacts and integrated breeding strategies to improve heat tolerance. Plant Breed. 133: 6. 679-701.
17. Kumar, J. and Abbo, S. 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. Adv Agron. 72: 107-138.
18. Khaliliaqdam, N., Mir Mahmoodi, T. and Mirabe Yeganeh, S. 2016. Simulation climate change effect on wheat production in rain-fed condition of

Urmia. J of Agri Sci Sustain Prod. 26: 3. 201-214. (In Persian)
19. Malézieux, E. 2012. Designing cropping systems from nature. Agron Sustain Dev. 32: 15-29.
20. Manschadi, A.M., Soufizadeh, S. and Deihimfard, R. 2010. The role and importance of simulation modelling in improving crop production in Iran. In Proceedings in the 11th Iranian Crop Science Congress, 24th-26th July, Tehran, Iran. pp. P:234-247. (Key paper)
21. Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kubler, K., Bissolli, P., Braslavska, O.G., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Mage, F., Mestre, A., Nordli, O., Penuelas, J., Pirinen, P., Remisova, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A.J.H., Wielgolaski, F.E., Zach, S. and Zust, A.N.A. 2006. European phonological response to climate change matches the warming pattern. Glob Change Biol. 12: 1969-1976.
22. Moeinirad, A., Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S. and Yeganehpoor, F. 2017. Investigation of SSM-wheat model to forecast of growth and yield of wheat in response to fertilizer nitrogen in order to decrease pollution environmental and diseases. Int J. Adv Biolol Biomed Res. 5: 2. 73-78.
23. Panahi, M.H., Zeinali, A., kalateh Arabim, M. and nehbandani, A. 2014. Modeling the response of wheat cultivars to temperature in field conditions. J Seed Res. 4: 2. 61-70. (In Persian)
24. Parthasarathy, P., Birthal, P.S., Bhagvatula, S. and Bantilan, M.C.S. 2010. Chickpea and pigeonpea economies in Asia: Facts, trends and outlook. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India. 76 p.
25. 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: 3. 1-13.
26. 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: 1. 101-108.
27. Soleymani Nanadegani, M., Parsinejad, M., Araghinejad, Sh. and Massah Bavani, A. 2011. Study on climate change effect on net irrigation requirement and yield for rainfed wheat. J Water Soil. 25: 2. 389-397. (In Persin)
28. Soltani, A. 2007. Application of SAS software in statistical analysis. Mashhad University Press. 182 p. (In Persian)
29. Soltani, A. and Sinclair, T. R. 2012a. Modeling physiology of crop development, growth and yield: Cabi. 340 p.
30. Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2012b. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. Eur J Agron 38: 22-31.
31. Torriani, D.S., Calanca, P., Schmid, S., Beniston, M. and Fuhrer, J. 2007. Potential effects of changes in mean climate and climate variability on the yield of winter and spring crops in Switzerland. Clim Res. 34: 59-69.
32. Wu, W. and Ma, B. 2018. Assessment of canola crop lodging under elevated temperatures for adaptation to climate change. Agric For Meteorol. 248: 329-338.
33. Yano, T., Aydin, M. and Haraguchi, T. 2007. Impact of climate change onirrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. Sensors (Basel). 7: 2297-2315.
34. Yousefi, M., Soltani, A., Zeinali, E. and Sarparast, R. 2006. Effect of temperature and sowing depth on emergence of chickpea. J Agric Sci Nat Resour. 13: 2. 12-21. (In Persian)
35. Zandalinas, S.I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V. and Gómez Cadenas, A. 2018. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. Physiol Plant. 162: 1. 2-12.
36. Zarakhani, F., Kamali, G.A., and Chiziari, A. 2014. The effect of climate change on the economy of rain fed wheat (a case study in Northern Khorasan). J. of Agroecol. 6: 2. 301-310.