نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۳(۶۳)، پاییز ۱۴۰۱، صفحه ۳۷۴-۳۵۷

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1902577.1695

اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق، شاخص سطح برگ و شاخص‌های رشدی نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط محیطی گنبد

علی راحمی‌کاریزکی[۱]، نبی خلیلی اقدم[۲*] و کورش ثنائی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۵/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۴

چکیده

از مهم‌ترین مسایلی که طی دهه‌های اخیر در بخش کشاورزی نمود یافته و تولید محصولات زراعی را با محدودیت مواجه ساخته است، تغییرات اقلیم می‌باشد. در این مطالعه برای شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق، شاخص سطح برگ و شاخص‌های رشدی دانه نخود در شهرستان گنبد از مدل SSM-iLegum-Chickpea در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۷۱ استفاده شد. سناریوهای مورد بررسی شامل افزایش درجه حرارت به میزان دو، چهار و ۶ درجه، افزایش غلظت CO_2 به میزان دو برابر و کاهش بارندگی به میزان دو درصد و ترکیبی از حالات فوق که در کل ۹ سناریو بودند. جهت سناریوهای افزایش دما، میزان تغییرات به درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه افزوده شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در شرایط دیم و آبی اثر سناریوهای تاریخ کاشت و تغییر اقلیم بر روی تمام صفات اعم از طول دوره پرشدن دانه، سرعت پرشدن دانه، تبخیر و تعرق، شاخص سطح برگ و نیتروژن کل دانه به استثنای شاخص برداشت نیتروژن در شرایط دیم، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. اما اثر متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم تنها بر روی صفات تبخیر و تعرق و شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد و شاخص برداشت نیتروژن در شرایط آبی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. اثر مستقیم دو برابر شدن CO_2 نیز باعث افزایش ۶/۲ درصدی شاخص برداشت نیتروژن شد. همچنین، بهترین تاریخ کشت برای نخود در شرایط آب و هوایی شهر گنبد، ابتدای آذرماه به‌دست آمد.

واژگان کلیدی: امنیت غذایی، سرعت پرشدن دانه، شاخص برداشت نیتروژن، نیتروژن دانه.

۱- استادیار دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

۲ - دانشیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) nkhaliliaqdam@pnu.ac.ir

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

مقدمه

از مهم‌ترین مسایلی که طی دهه‌های اخیر در بخش کشاورزی نمود یافته و تولید محصولات زراعی را با محدودیت مواجه ساخته است، تغییرات اقلیم می‌باشد (Parhizkari *et al*., 2017). به‌طوری که گرم شدن زمین، خشک‌سالی، سیل و تغییرات وسیع در وضعیت آب و هوا منجر به کاهش بهره‌وری محصولات کشاورزی، کاهش درآمد کشاورزان و شاغلین بخش کشاورزی و در نهایت کاهش بهره‌وری اقتصادی می‌شود و از آنجا که کشاورزی فعالیتی اقتصادی است که هدف آن تولید غذا و در نتیجه امنیت غذایی حال و آینده می‌باشد، تغییر اقلیم می‌تواند این امنیت را با مخاطره روبرو سازد (Soleymani Nejad *et al*., 2019). وقوع پدیده تغییر اقلیم در طول تاریخ مسأله‌ای طبیعی است اما انسان با دخالت‌های نابجای خود در اکوسیستم‌ها سبب برهم‌زدن تعادل بین اجزای اکوسیستم شده و این مسأله سرعت تغییر اقلیم و محیط را تشدید کرده است. تغییر اقلیم الگوی منطقه‌ای درجه حرارت، بارندگی و تبخیر را تحت تأثیر قرار داده و به تبع آن آرایش اقلیمی، هیدرولوژیک، اکولوژیک و روابط کشاورزی را دگرگون می‌سازد (Koocheki and Khajeh Hosseini, 2008). افزایش غلظت گاز کربنیک و پیرو آن اثبات نظریه اثر گلخانه‌ای که براساس آن نوع و ترکیب گازهای موجود در اتمسفر به شدت بر دمای کره زمین تأثیر می‌گذارند، حقایقی انکارناپذیر هستند که وقوع تغییرات آینده اقلیمی را محتمل ساخته‌اند (Reilly, 2002). فرآیندهای تغییر اقلیمی که به‌طور مستقیم رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شامل افزایش غلظت CO_2 اتمسفری، دما و نیز نوسان بارندگی است (Banayan *et al*., 2011). اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر به دو طریق بر تولیدات کشاورزی اثر می‌گذارد؛ یکی تأثیر مستقیم از طریق افزایش فتوسنتز و کارآیی مصرف آب و دیگری تأثیر غیرمستقیم آن از طریق تغییرات دما و بارندگی (Crimp *et al*., 2008). اثر مستقیم افزایش این گاز در هوا باعث افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بین سلولی در گیاه می‌شود که خود منجر به افزایش سرعت فتوسنتز و در عین حال کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش تعرق می‌شود (Asseng *et al*., 2004). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن باعث بالابردن تولید بسیاری از محصولات زراعی می‌شود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت اثرات تغییر اقلیم در تولید گیاهان تحت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن مثبت، با افزایش دما منفی و با زمان بارندگی و مقدار آن متغیر هستند (Hatfield *et al*., 2018). مطالعه اثرات تغییر اقلیم شامل افزایش درجه حرارت و غلظت CO_2 و تغییر در بارندگی بر سیستم‌های کشت می‌تواند به گسترش استراتژی‌های سازگاری مورد نیاز کمک کند. در نتیجه، این استراتژی‌ها می‌توانند عملکرد بیشتر و پایداری را تولید کنند (Gholipoor and Soltani, 2009). شناخت نوسان‌های زمانی و مکانی پارامترهای هواشناسی (نظیر دما، بارش، رطوبت نسبی و نظایر آن) و تأثیر آن بر بوم نظام‌های کشاورزی جهت مدیریت منابع آبی و تولیدات کشاورزی و اتخاذ راهبردهای مناسب بسیار ضروری می‌باشد (Fuhrer, 2003). یکی از این راهبردها انتخاب تاریخ کاشت مناسب است. تاریخ کاشت به‌عنوان یک راهکار ساده و کم هزینه در مطالعات بسیاری مورداستفاده قرار گرفته است (White *et al*., 2011) که می‌تواند راه حلی برای سازگاری با افزایش دما در آینده باشد. همچنین، تحت شرایط گرم‌تر آینده ممکن است

به گیاهانی با طول دوره رشـدی متفاوت از آنچه در حال حاضـر کشت می‌شود، نیاز باشد (Soltani and Sincler, 2012).

آزمایش‌های مزرعه‌ای که یکی از راه‌های رسیدن به شناخت این خصوصیات و مکانیسم آنها است عموماً بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند، لذا استفاده از مدل‌های آزمون شده و به‌کارگیری آمارهای درازمدت هواشناسی، راه جایگزین خوبی برای ارزیابی راهبردهای مختلف مدیریت زراعی و به‌نژادی می‌باشد (Soltani *et al*., 2000; Akram Ghaderi and Soltani, 2007) مدل‌های اقلیم جهانی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی تغییر اقلیم و ارایه اطلاعات لازم برای اجرای مدل‌های شبیه سازی رشد تحت سناریوهای مختلف اقلیمی هستند (Jones and Thornton, 2003).

نخود سومین محصول مهم از حبوبات در جهان پس از لوبیا و نخودفرنگی است (Parthasarathy *et al*, 2010). حدود ۹۰ درصد نخود در جهان تحت شرایط دیم کشت می‌شود (Kumar and Abbo, 2001) و در ایران حدود ۹۹ درصد کشت نخود به‌صورت دیم می‌باشد. علاوه بر اهمیت نخود در تغذیه، این گیاه فواید بسیار زیادی 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 (Ahlawat *et al*., 2003; Soltani and Sincler, 2012 b).

شهرستان گنبد در شرق استان گلستان واقع شده و این شهرستان از لحاظ اراضی مزروعی بیشترین سطح زیرکشت محصولات زراعی را در استان دارا است و نخود به لحاظ ارزش تناوبی بالا، یکی از محصولات ارزشمند در شهرستان گنبد بالاخص اراضی دیم می‌باشد، بنابراین با توجه به اینکه اثرات تغییر اقلیم، سبب تغییر در تولید محصول نخود در آینده خواهد شد مطالعه روی تغییرات اقلیمی و واکنش رشد و نمو نخود به این تغییرات جهت برنامه‌ریزی کشت و توسعه این محصول در شهرستان گنبد امری ضروری است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر شاخص‌های رشدی دانه نخود از مدل SSM-iLegum-Chickpea استفاده شد. در این مدل، واکنش فرآیندهای رشد گیاه به‌عوامل محیطی شامل نور، طول روز، دما و قابلیت دسترسی به آب منظور شده است. همچنین، تولید عملکرد بر اساس روش بهبود یافته افزایش در شاخص برداشت، مدل SSM را به گزینه مناسبی تبدیل کرده است. بررسی‌های صورت گرفته روی نتایج اعتبارسنجی این مدل نشان داده است که این مدل توانایی مناسبی در پیش‌بینی عملکرد دارد و می‌توان از آن در تحقیقات مربوط به تجزیه و تحلیل عملکرد نخود استفاده کرد (Soltani and Sincler, 2012 a). این مطالعه برای 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 می‌باشد. در گنبد زمستان‌ها نسبتاً ملایم هستند و میانگین بارندگی سالانه برطبق آمار ۲۵ ساله ۴۶۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. ابتدا اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گنبد از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ به عبارتی از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۵ 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 (Soltani and Sincler, 2012) 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 افزایش درجه حرارت به میزان دو، چهار و ۶ درجه، افزایش غلظت CO_2 به میزان دو برابر و کاهش بارندگی به میزان دو درصد و ترکیبی از حالات فوق که در کل ۹ سناریو می‌باشد. 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. به این 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 این افزایش، به‌صورت جداگانه بررسی شدند. سناریوهای تغییر اقلیم نیز که شامل 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. 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. شبیه سازی برای هر کدام از شرایط دیم و آبی، سه تاریخ کاشت مختلف (آذر، دی و بهمن) انتخاب و شبیه‌سازی‌ها برای ۲۵ سال (۲۰۱۷-۱۹۹۳) پس آزمون نرمال بودن دادها 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 مترمربع در نظر گرفته شد. با اجرای مدل شبیه سازی، طول مراحل فنولوژیک، میزان عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه، میزان تبخیر و تعرق، شاخص سطح برگ، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب در شرایط دیم و آبی و تاریخ کاشت‌های آذر، دی و بهمن از خروجی مدل ثبت شدند. تجزیه واریانس با استفاده از برنامه SAS (نسخه ۹/۶) (SAS, 2001) و به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد که در آن، سال‌ها تکرار (به‌عنوان عامل تصادفی) و سناریوها، تیمار در نظرگرفته شدند. مقایسه میانگین صفات نیز با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در شرایط دیم و آبی اثر سناریوهای تاریخ کاشت و تغییر اقلیم بر روی تمام صفات اعم از طول دوره پرشدن دانه، سرعت پرشدن دانه، تبخیر و تعرق، شاخص سطح برگ و نیتروژن کل دانه به استثنای شاخص برداشت نیتروژن در شرایط دیم، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. اما اثر متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم تنها بر روی صفات تبخیر و تعرق و شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد و شاخص برداشت نیتروژن در شرایط آبی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). اما برای شرایط آبی فقط در سناریوی افزایش چهار درجه سلسیوس نسبت به شرایط نرمال اختلاف معنی‌داری داشت. برای شرایط دیم بیشترین طول دوره پرشدن دانه مربوط به سناریوی ترکیبی دوبرابر شدن غلظت CO_2، کاهش دو درصدی بارندگی و افزایش دما به میزان چهار درجه سلسیوس و کمترین طول دوره پرشدن دانه تحت سناریوی کاهش دو درصدی

بارندگی اتفاق افتاد (شکل ۱). برای شرایط آبی نیز بیشترین طول دوره پرشدن دانه تحت سناریوی افزایش دما به میزان چهار درجه سلسیوس و کمترین طول دوره پرشدن دانه در سناریوی کاهش دو درصدی بارندگی بود. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد شرایط اقلیم آینده در شرایط دیم اثر بیشتری روی افزایش طول دوره پرشدن دانه خواهد داشت. در تحقیقی که روی گندم در ارومیه انجام شد دلیل افزایش دوره پرشدن دانه را به کاهش دوره رشد رویشی و افزایش طول دوره زایشی نسبت دادند (Khaliliaqdam *et al.*, 2016). با تغییر تاریخ کاشت از آذر به دی و بهمن‌ماه در هر دو شرایط دیم و آبی به تدریج از طول دوره پرشدن دانه کاسته می‌شود. به‌طوری‌که، بیشترین طول دوره پرشدن دانه در آذرماه و کمترین طول دوره پرشدن دانه در بهمن‌ماه است (شکل ۲). گزارش شده که در کاشت‌های دیرهنگام، تنش خشکی انتهای فصل همراه با افزایش درجه حرارت در مرحله رسیدگی که اغلب به بیش از ۳۰ درجه سلسیوس می‌رسد باعث تأثیر نامطلوب روی دوره پرشدن دانه نخود می‌شود (Mousavi and Pezeshkpoor, 2006).

سرعت پرشدن دانه در شرایط دیم با افزایش دما تغییری نمی‌کند اما در شرایط آبی کاهش می‌یابد. اما با افزایش غلظت CO_2 سرعت پرشدن دانه افزایش می‌یابد (شکل ۳). افزایش غلظت CO_2 سرعت فتوسنتز خالص را افزایش و سرعت تنفس نوری در گیاهان C_3 که نخود یکی از آنها است، کاهش می‌دهد. دلایل آن هم به خوبی مشخص است. آنزیم روبیسکو که با CO_2 وارد واکنش می‌شود میل ترکیبی بالایی با اکسیژن هم دارد، به‌عبارتی در شرایط معمول بخشی از آنزیم روبیسکو با اکسیژن واکنش نشان می‌دهد و فسفوگلیکولات تولید می‌کند و در نهایت CO_2 در تنفس نوری آزاد می‌شود. دوبرابر شدن غلظت CO_2 روبیسکو را اشباع و تنفس نوری را بسیار کاهش می‌دهد که به این ترتیب فتوسنتز خالص ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد و سرعت عرضه آسمیلات به دانه افزایش می‌یابد. از طرفی بسیاری از مطالعات نشان داده است که در گیاهان C_3، فتوسنتز خالص با افزایش درجه حرارت تا حد مطلوب افزایش می‌یابد و تقریباً در حدود ۴۰ درجه سلسیوس متوقف می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که حساسیت فتوسنتز خالص به افزایش درجه حرارت به دلیل حساسیت آنزیم روبیسکو به درجه حرارت می‌باشد. یکی از اثرات مهم افزایش درجه حرارت تسریع بلوغ و پیرشدن برگ است که به این ترتیب دوام فتوسنتز فعال را کاهش می‌دهد (Koocheki and Hosseyni, 2006). سرعت پرشدن دانه تحت تأثیر تغییر تاریخ کاشت در شرایط آبی تغییر چندانی ندارد (شکل ۴) اما در شرایط دیم بیشترین سرعت پرشدن دانه در آذرماه و کمترین در بهمن‌ماه مشاهده می‌شود که این امر نیز به‌دلیل زیاد بودن حجم زیست توده در تاریخ کاشت زودتر است که منجر به افزایش سرعت انتقال مواد غذایی می‌شود. به عبارتی چون در شرایط دیم هر چه به انتهای فصل رشد نزدیک شویم، تنش خشکی انتهای فصل افزایش می‌یابد، لذا فرصت گیاه برای بهره‌وری از طول فصل رشد در تاریخ کاشت‌های تأخیری کمتر می‌شود.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش دما تبخیر و تعرق در شرایط دیم و آبی در تمام تاریخ‌های کاشت کاهش یافت و این کاهش برای شرایط آبی بیشتر بود. بیشترین کاهش در شرایط دیم در سناریوی افزایش ۶

درجه‌ای دما و تاریخ کاشت آذرماه، کاهش ۱۹ درصدی در میزان تبخیر و تعرق بود و برای شرایط آبی در سناریوی افزایش ۶ درجه‌ای دما در تاریخ کاشت آذرماه به میزان ۲۲ درصد مقدار تبخیر و تعرق را کاهش داد. با کاهش دو درصدی بارندگی تغییر معنی‌داری در مقدار تبخیر و تعرق برای شرایط دیم و آبی و تاریخ کاشت‌های مختلف نسبت به شاهد حادث نشد. در شرایط دیم افزایش غلظت CO_2 به میزان دو برابر تنها باعث کاهش ۹ درصدی تبخیر و تعرق نسبت به شاهد در تاریخ کاشت آذرماه شد در حالی‌که در سایر تاریخ کاشت‌ها کاهش معنی‌داری مشاهده نشد. اما برای شرایط آبی و تاریخ کاشت‌های آذر، دی و بهمن‌ماه به‌ترتیب ۶، ۷ و ۸ درصد مقدار تبخیر و تعرق را نسبت به شاهد کاهش داد. بیشترین کاهش در اثرات ترکیبی افزایش دما و دو برابر شدن غلظت CO_2 و کاهش دو درصدی بارندگی نیز مربوط به اثرات ترکیبی به همراه افزایش دما به میزان ۶ درجه سلسیوس در تاریخ کاشت آذرماه بود که برای شرایط دیم و آبی به‌ترتیب ۲۲ و ۲۷/۵ درصد کاهش در میزان تبخیر و تعرق را درپی داشت. البته با افزایش دما می‌بایست تبخیر و تعرق افزایش یابد که دلیل کاهش میزان تبخیر و تعرق را می‌توان به کوتاه شدن طول دوره رشدی نخود در شرایط اقلیم آینده ارتباط داد؛ همچنان‌که در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که تبخیر و تعرق گیاه در طول فصل رشد افزایش می‌یابد، اما در مجموع تبخیر و تعرق کل فصل رشد گیاه به‌دلیل کوتاه‌تر شدن دوره رشد کاهش خواهد یافت (Soleymani Nanadegani *et al*., 2011). البته در تحقیقی دیگر دلیل افزایش عملکرد اقلیم آینده را نسبت به شرایط حاضر، تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر افزایش فتوسنتز و کاهش تعرق دانسته‌اند (Hajarpour *et al*., 2013). در تحقیقی که روی تبخیر و تعرق گندم در اثر تغییر اقلیم انجام دادند دلیل کمتربودن تبخیر و تعرق در گندم دیم نسبت به گندم آبی را تفاوت محصولات دیم و آبی در تبخیر و تعرق دانستند (Yaghoobzadeh *et al*., 2017). همچنین، اثر مستقیم افزایش غلظت CO_2 در هوا باعث افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بین سلولی در گیاه می‌شود که خود منجر به افزایش سرعت فتوسنتز و در عین حال کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش تعرق و افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود (Asseng *et al*., 2004). در تحقیقی دیگر دلیل افزایش عملکرد نسبت به شرایط حاضر، تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر افزایش فتوسنتز و کاهش تعرق عنوان کردند (Meghdadi *et al*., 2015). نتایج نشان داد که افزایش دما در هر دو شرایط دیم (جدول ۳) باعث افزایش شاخص سطح برگ به‌طور تقریباً یکسان شد و این افزایش در تاریخ کاشت آذرماه بیشتر بود. بیشترین مقدار شاخص سطح برگ تحت سناریوهای افزایش دما مربوط به شرایط آبی و تاریخ کاشت آذرماه تحت سناریوی افزایش دما به ۶ درجه سلسیوس به مقدار ۳/۸۶۵ است. در سناریوی کاهش دو درصدی بارندگی برای شرایط دیم و آبی و تاریخ کاشت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد. افزایش دو برابری غلظت CO_2 نیز در افزایش میزان شاخص سطح برگ تأثیرگذار بود که در ترکیب با افزایش دما به‌صورت مضاعفی شاخص سطح برگ افزایش یافت. در شرایط اثر اقلیم آینده بیشترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به شرایط آبی و تاریخ کاشت آذرماه به مقدار ۳/۹۰۹ می‌باشد. افزایش شاخص سطح برگ تحت اثر ترکیبی افزایش دوبرابری غلظت CO_2،

افزایش دما به میزان ۶ درجه سلسیوس نسبت به شاهد و کاهش بارندگی به میزان دو درصد برای شرایط دیم و تاریخ کاشت‌های آذر، دی و بهمن‌ماه به ترتیب ۱۸/۵، ۲۰ و ۱۷ درصد افزایش و برای شرایط آبی به‌ترتیب ۱۸، ۱۹ و ۱۶ درصد افزایش یافت. شاخص سطح برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رشد گیاه می‌باشد که به‌عنوان معیاری جهت اندازه‌گیری سیستم فتوسنتزی به کار می‌رود و افزایش این شاخص باعث افزایش میزان عملکرد در گیاه می‌شود (Singh *et al*., 2008). نتایج تحقیقی نشان داد حداکثر سطح برگ در آینده به‌طور میانگین ۱۵/۲۵ درصد نسبت به گذشته افزایش می‌یابد و این افزایش در سناریوها و دوره‌های اقلیمی آینده متفاوت خواهد بود (Qorani *et al*., 2019). در مطالعه‌ای گزارش شده است که در شرایط تغییر اقلیم، کسب یک شاخص سطح برگ مطلوب در طی دوره رویشی به همراه افزایش دوره پرشدن دانع و بهبود کارایی نور در گیاه گندم، از مهم‌ترین عوامل افزایش عملکرد گندم به‌شمار می‌آید (Khaliliaqdm, 2008). با توجه به اینکه برگ اندام اصلی فتوسنتز به‌شمار می‌آید با افزایش سطح برگ، گیاه می‌تواند نور و دی‌اکسیدکربن بیشتری جذب کرده و در نتیجه میزان فتوسنتز افزایش یافته و عملکرد بیشتر می‌شود (Deihimfard *et al*., 2017). در شبیه‌سازی دیگری که روی نخود در شهرستان گنبد انجام شد به این نتیجه رسیدند که در شرایط تغییر اقلیم آینده شاخص سطح برگ افزایش خواهد یافت (Soltani and Sincler, 2012 b). با توجه به نتایج تجزیه واریانس در شرایط دیم (جدول ۴)، سناریوی تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم معنی‌دار نشد اما اثر تغییر اقلیم روی شاخص برداشت نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اما برای شرایط آبی سناریوهای تاریخ کاشت و تغییر اقلیم در سطح احتمال یک درصد و سناریوی اثر متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، بنابراین این صفت برای شرایط دیم و آبی به‌صورت جداگانه بحث می‌شود. شاخص برداشت نیتروژن یک نسبت بین نیتروژن انباشته شده در دانه به نیتروژن انباشته شده در زیست توده است. شاخص برداشت نیتروژن یک شاخص مهم در تعیین عملکرد محصول است زیرا با عملکرد دانه همراه است. همچنین، میزان این شاخص به‌وسیله ژنوتیپ‌ها و شرایط محیطی کنترل می‌شود (Fageria, 2014). بررسی مقایسه میانگین در شرایط دیم (شکل ۵) نشان می‌دهد اثر دما و کاهش دو درصدی بارندگی تفاوت معنی‌داری با شرایط نرمال ندارد. اما اثر مستقیم دوبرابر شدن CO_2 باعث افزایش ۶/۲ درصدی شاخص برداشت نیتروژن شد. سناریوهای اثرات ترکیبی نیز به‌دلیل عدم تأثیر افزایش دما و کاهش دو درصدی بارندگی تفاوت معنی‌داری با اثر دوبرابر شدن غلظت CO_2 نداشت. در شرایط آبی (جدول ۴) افزایش دما اثر کاهشی بر روی شاخص برداشت نیتروژن داشت به‌نحوی که بیشترین کاهش در افزایش دما به میزان ۶ درجه سلسیوس به مقدار ۷/۲ درصد در تاریخ کاشت آذرماه مربوط است.

سناریوی کاهش دو درصدی بارندگی در تاریخ کاشت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. اثر مستقیم دوبرابر شدن غلظت CO_2 نیز فقط در تاریخ کاشت آذرماه ۲/۸ درصد افزایش نشان داد و در سایر تاریخ‌های کاشت اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد. سناریوی اثر ترکیبی افزایش دوبرابری غلظت CO_2

و افزایش دما به میزان دو درجه سلسیوس و کاهش دو درصدی بارندگی در تاریخ کاشت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند. سناریوی اثر ترکیبی با افزایش دما به میزان چهار درجه سلسیوس در تاریخ کاشت آذرماه ۲/۷ درصد کاهش و در تاریخ کاشت دی‌ماه و بهمن‌ماه با وجود کاهش، اختلاف معنی‌داری نداشت. در سناریوی اثر ترکیبی با افزایش دما به میزان ۶ درجه سلسیوس، شاخص برداشت نیتروژن در تاریخ کاشت آذرماه ۴/۹ درصد، دی‌ماه ۲/۳ درصد و بهمن‌ماه ۱/۸ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت. این امر بیانگر این است که شاخص برداشت نیتروژن در شرایط آبی تنها با افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن و تاریخ کاشت به‌هنگام افزایش می‌یابد و در شرایط افزایش دما و یا اثر ترکیبی افزایش دما و غلظت CO_2 این شاخص کاهش می‌یابد. بنابراین، با توجه به اینکه در شرایط اقلیم آینده در کنار افزایش غلظت CO_2 دما نیز افزایش خواهد یافت، شاخص برداشت نیتروژن نیز تحت شرایط آبی کاهش خواهد یافت، البته تحت شرایط دیم شاخص برداشت نیتروژن افزایش خواهد یافت و با توجه به اینکه شاخص برداشت نیتروژن ارتباط مستقیمی با میزان نیتروژن دانه دارد کاهش یا افزایش این شاخص را می‌توان به میزان نیتروژن کل دانه و همچنین انتقال بیشتر نیتروژن از زیست توده به دانه‌ها ارتباط داد. با توجه به نتایج مقایسه‌های میانگین سناریوی کاهش دو درصدی بارندگی در شرایط دیم و آبی (شکل ۶) تغییری در نیتروژن کل دانه نسبت به شاهد ایجاد نکرد. افزایش دما در شرایط دیم باعث افزایش نیتروژن کل دانه و در شرایط آبی سبب کاهش این صفت شد. افزایش دوبرابری غلظت CO_2 در هر دو شرایط دیم و آبی به‌ترتیب سبب افزایش ۲۳/۹ و ۱۲/۳ گرم بر مترمربع در نیتروژن کل دانه شد. سناریوهای ترکیبی اثرات تغییر اقلیم (CC2°C، CC4°C، CC6°C) در هر دو شرایط دیم و آبی باعث افزایش نیتروژن دانه نسبت به شاهد شدند. این امر نشانگر این موضوع است که در شرایط دیم افزایش غلظت CO_2 و افزایش دما به‌صورت مضاعف نیتروژن کل دانه را افزایش داده ولی در شرایط آبی افزایش دما اثر مثبت افزایش غلظت CO_2 را خنثی می‌کند. این نتایج مشابه نتایج عملکرد بیولوژیک و شاخص سطح برگ نیز می‌باشد که تحت تأثیر افزایش دما و CO_2، عکس‌العمل مشابهی با نیتروژن کل دانه داشتند. بیشترین مقدار نیتروژن کل دانه در شرایط آبی به میزان ۱۲/۹۸ گرم بر مترمربع تحت سناریوی دوبرابر شدن غلظت CO_2 و کمترین مقدار آن تحت سناریوی کاهش دو درصدی بارندگی در شرایط دیم به میزان ۷/۵۷ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. اما بیشترین تغییرات در شرایط دیم تحت سناریوی ترکیبی دوبرابر شدن غلظت CO_2، کاهش دو درصدی بارندگی به همراه افزایش دمای ۶ درجه سلسیوس به میزان ۳۰/۸ درصد افزایش یافت. رشد در شرایط بیش‌بود CO_2 تنفس نوری را کاهش می‌دهد و این امر ممکن است منجر به انحراف کمتر نیتروژن به آنزیم‌های مسیر تنفس نوری شود.

تغییر تاریخ کاشت در شرایط دیم از آذر به دی و بهمن‌ماه سبب کاهش ۱۵/۳ و ۴۲/۲ درصد در نیتروژن کل دانه شد و با تغییر تاریخ کاشت در شرایط آبی از آذر به دی و بهمن‌ماه به‌ترتیب ۴/۲ و ۱۱/۴ درصد میزان نیتروژن کل دانه کاهش یافت (شکل ۷). کاهش بیشتر در شرایط دیم به دلیل دریافت تشعشع کمتر در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام است. بخش عمده نیتروژن دانه از طریق

انتقال مجدد از برگ‌ها و ساقه‌ها تأمین می‌شود بنابراین هر چقدر درصد نیتروژن دانه بیشتر باشد انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها و در نتیجه پیرشدن برگ‌ها با سرعت بیشتری رخ می‌دهد و این امر به کاهش عملکرد منتهی می‌شود (Akram Ghaderi and Soltani, 2008). نتایج تحقیقی نیز نشان داد که مقدار نیتروژن جذب شده در اندام‌های رویشی به‌خصوص در برگ‌ها با عملکرد دانه و نیتروژن دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (Bakhshandeh *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج شبیه‌سازی‌ها در شهر گنبد نشان داد در شرایط اقلیم آینده اثر افزایش دما سبب بهبود صفات دوره پرشدن دانه، تبخیر و تعرق و شاخص سطح برگ شده و روی صفات سرعت پرشدن دانه و شاخص برداشت نیتروژن در شرایط دیم بی‌تأثیر و در شرایط آبی اثر منفی خواهد داشت و روی نیتروژن کل دانه نیز تأثیری نخواهد داشت. افزایش دو برابری غلظت CO_2 باعث افزایش تمام صفات مورد بررسی خواهد شد که این افزایش برای دوره پرشدن دانه کمتر و در سایر صفات بیشتر نمود خواهد داشت. به‌طورکلی، تغییرات اقلیم آینده برای تمام صفات مورد بررسی در نخود به استثنای شاخص برداشت نیتروژن در شرایط آبی در جهت مثبت ارزیابی می‌شود. همچنین، در شبیه‌سازی که صورت گرفت برای شرایط آب و هوایی شهر گنبد بهترین تاریخ کاشت، اول آذرماه می‌باشد.

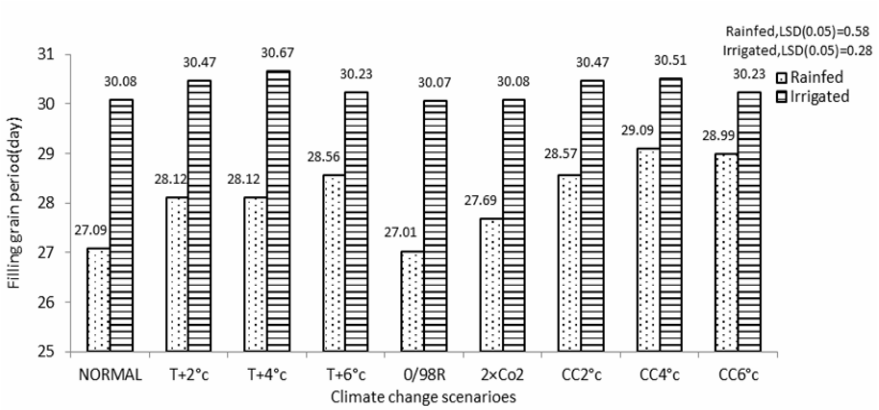
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مربوط به عملکرد نخود در شرایط دیم و آبی شهرستان گنبد

Table 1- Results of analysis of variance of mean squres of chickpea yield traits in rainfed and irrigated conditions of Gonbad city

نوع کاشت Planting kind	منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	طول دوره پر شدن دانه Length of grain filling period	سرعت پر شدن دانه Grain filling speed	تبخیر و تعرق تجمعی Cumulative evapotranspiration	حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index	شاخص برداشت نیتروژن Nitrogen harvest index	نیتروژن کل دانه Total grain nitrogen
دیم Rainfed	سال Year	24	132.51**	8.635**	5725.74**	0.2273**	199.98^{ns}	14.896**
	تاریخ کاشت Planting date	2	2054.11**	83.53**	34642.12**	52.31**	31.560^{ns}	515.08**
	تغییر اقلیم Climate change	8	42.46**	40.31**	19293.67**	2.7958**	309.32**	78.907**
	PD×CC	16	4.354^{ns}	1.85^{ns}	1574.35**	0.0606**	29.065^{ns}	1.766^{ns}
	خطا Error	624	7.92	1.16	403.25	0.0115	32.300	2.024
ضریب تغییرات C.V. (%)		-	10	15.01	7.84	4.41	8.12	16.3
آبی Irrigated	سال Year	24	41.13**	17.88**	15424.41**	0.2965**	62.70**	14.824**
	تاریخ کاشت Planting date	2	1034.5**	10.39**	9110.86**	75.46**	1875.42**	93.57**
	تغییر اقلیم Climate change	8	3.69**	26.48**	47392.96**	3.73**	203.68**	44.21**
	PD×CC	16	2.38^{ns}	1.53^{ns}	3419.95**	0.16**	12.63*	1.53^{ns}
	خطا Error	624	2.43	1.08	1046.46	0.012	7.11	1.01
ضریب تغییرات C.V. (%)			5.14	11.29	10.68	4.05	3.55	8.46

^{ns} *و** : به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، PD و CC به‌ترتیب: تاریخ کاشت و تغییر اقلیم.

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

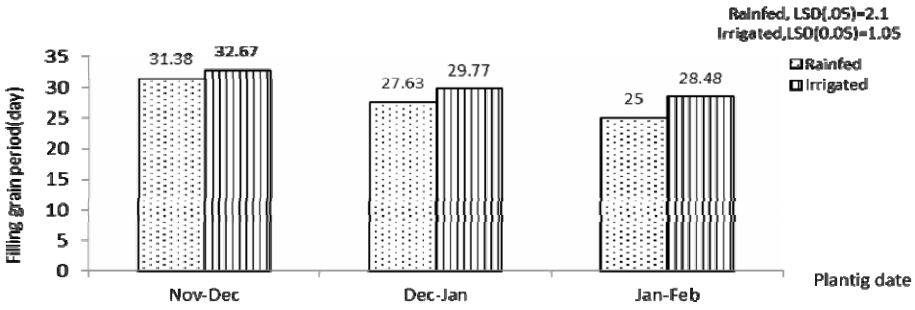


شکل ۱- اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر طول دوره پرشدن دانه در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد

Figure 1- Effect of climate change scenarios on length of grain filling period in rainfed and irrigated conditions on chickpea crop in Gonbad city

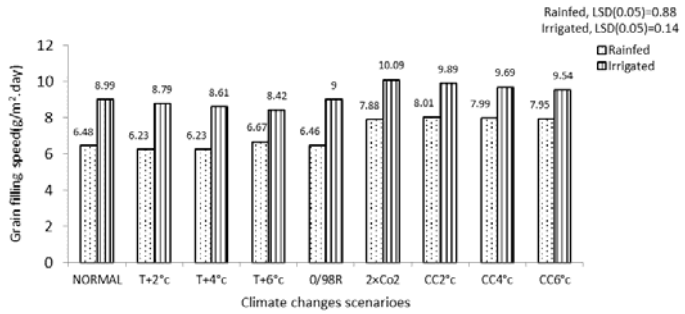
NORMAL، شبیه‌سازی تولید نخود در شرایط داده‌های هواشناسی موجود.
T+2°C، شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا دو درجه سلسیوس افزایش یافته است.
T+4°C، شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا چهار درجه سلسیوس افزایش یافته است.
T+6°C، شبیه‌سازی تولید نخود در شرایطی که دمای هوا ۶ درجه سلسیوس افزایش 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 سلسیوس 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 سلسیوس 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 ۶ درجه سلسیوس 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.



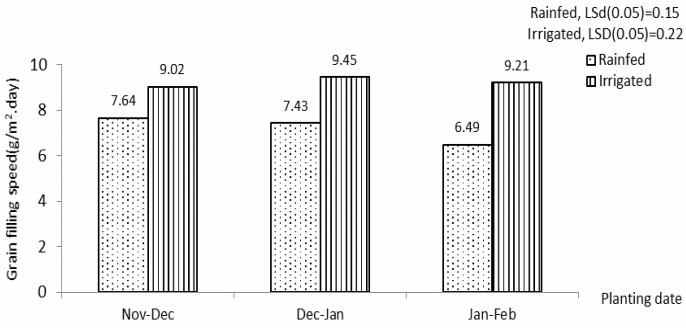
شکل ۲- اثر تاریخ کاشت بر طول دوره پرشدن دانه در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد

Figure 2- Effect of planting date on length of grain filling period in rainfed and irrigated conditions on chickpea crop in Gonbad city



شکل ۳- اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر سرعت پرشدن دانه در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد

Figure 3- The effect of climate change scenarios on grain filling speed in rainfed and irrigated conditions on Chickpea crop in Gonbad city



شکل ۴- اثر تاریخ کاشت بر سرعت پرشدن دانه در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد

Figure 4- Effect of sowing date on grain filling speed in rainfed and irrigated conditions of Gonbad chickpea

جدول ۲- اثرات متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم بر صفت تبخیر و تعرق در شرایط دیم و آبی نخود در شهرستان گنبد

Table 2- Interaction effects of planting date and climate change on evapotranspiration in rainfed and irrigated conditions on chickpea in Gonbad city

نوع کاشت Planting Date	تغییر اقلیم Climate Change	تبخیر و تعرق Evapotranspiration (mm)		
		آذر December	دی January	بهمن February
دیم Rainfed	NORMAL	294.84	273.9	254.48
	T+2°C	277.32	263.32	246.88
	T+4°C	277.32	263.32	246.88
	T+6°C	238.24	242.84	236.64
	0.98R	293.36	272.52	252.32
	2xCO2	268.08	268.84	249.36
	CC2°C	267.16	256.36	238.76
	CC4°C	245.4	245	234.24
	CC6°C	229.32	230.92	227.12
	LSD %5	6.84	6.37	5.94
آبی Irrigated	NORMAL	341.5	335.4	331.3
	T+2°C	309.6	316.37	321.48
	T+4°C	282	316.37	321.48
	T+6°C	266	280	304.28
	0.98R	338.8	335	330.6
	2xCO2	320.36	310.64	304.32
	CC2°C	292.6	296.48	293.6
	CC4°C	265.56	280.48	288.56
	CC6°C	247.64	256.32	283.68
	LSD %5	11.55	12.72	11.57

برای توضیح سناریوها به شکل ۱ مراجعه شود.

For explanation of scenarios referral to Figure 1.

جدول ۳- اثرات متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم بر صفت شاخص سطح برگ در شرایط دیم و آبی نخود در شهرستان گنبد

Table 3- Interactions between planting date and climate change on leaf area index in rainfed and irrigated conditions on chickpea in Gonbad city

نوع کاشت Planting Date	تغییر اقلیم Climate Change	حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index		
		آذر December	دی January	بهمن February
دیم Rainfed	NORMAL	2.64	2.16	1.79
	T+2°C	2.89	2.37	1.93
	T+4°C	2.89	2.37	1.93
	T+6°C	3.20	2.65	2.13
	0.98R	2.64	2.16	1.80
	2xCO2	2.70	2.22	1.84
	CC2°C	2.94	2.43	1.97
	CC4°C	3.14	2.60	2.07
	CC6°C	3.24	2.69	2.16
	LSD %5	0.04	0.03	0.04
آبی Irrigated	NORMAL	3.195	2.645	2.214
	T+2°C	3.490	2.884	2.362
	T+4°C	3.730	2.884	2.362
	T+6°C	3.865	3.216	2.580
	0.98R	3.195	2.645	2.216
	2xCO2	3.254	2.704	2.263
	CC2°C	3.544	2.939	2.410
	CC4°C	3.781	3.143	2.514
	CC6°C	3.909	3.260	2.628
	LSD %5	0.048	0.034	0.033

برای توضیح سناریوها به شکل ۱ مراجعه شود.

For explanation of scenarios referral to Figure 1.

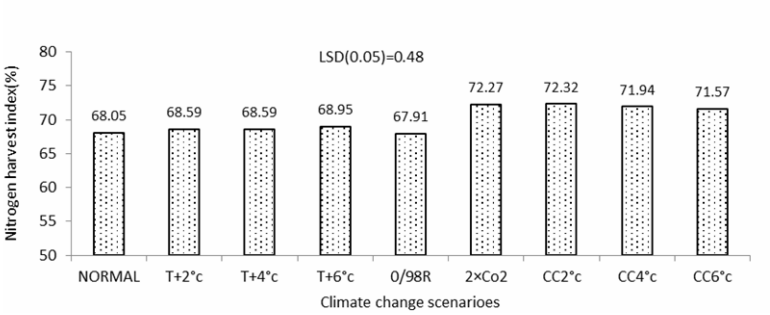
جدول ۴- اثرات متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم بر صفت شاخص برداشت نیتروژن در شرایط دیم و آبی نخود در شهرستان گنبد

Table 4- Interactions between planting date and climate change on nitrogen harvest index in rainfed and irrigated conditions on chickpea in Gonbad city

تغییر اقلیم Climate Change	شاخص برداشت نیتروژن Nitrogen harvest index		
	آذر December	دی January	بهمن February
NORMAL	73.53	76.55	78.59
T+2°C	71.79	74.35	77.63
T+4°C	69.74	74.35	77.63
T+6°C	68.55	72.80	74.80
0.98R	73.53	76.55	78.49
2xCO2	75.61	77.53	79.41
CC2°C	73.94	76.34	78.37
CC4°C	71.58	75.57	77.78
CC6°C	70.09	74.79	77.23
LSD %5	1.50	1.28	1.12

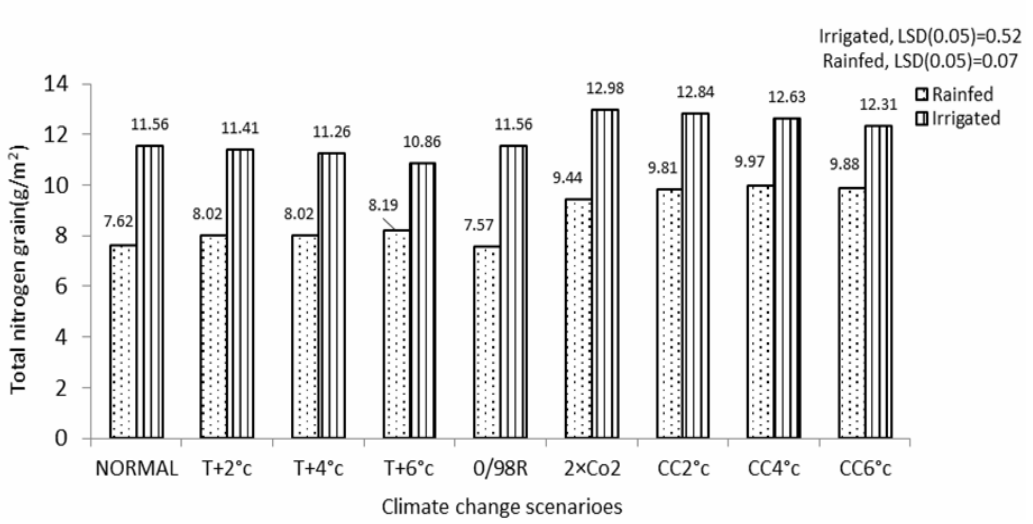
برای توضیح سناریوها به شکل ۱ مراجعه شود.

For explanation of scenarios referral to Figure 1.



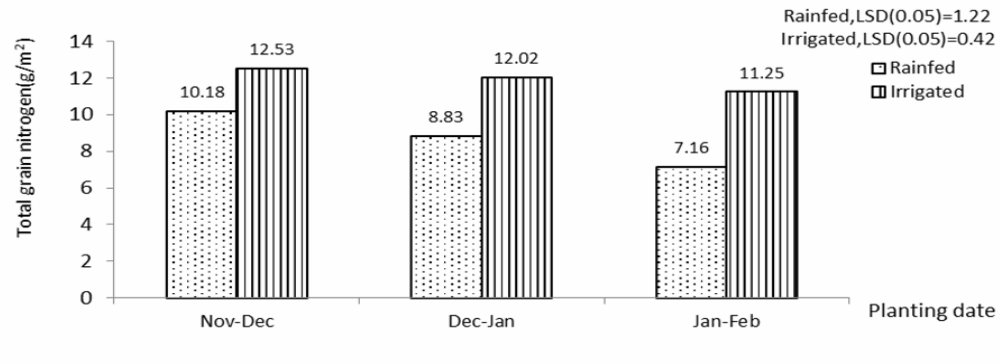
شکل ۵ – اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر شاخص برداشت نیتروژن در شرایط دیم محصول نخود شهرستان گنبد

Figure 5- The effect of climate change scenarios on nitrogen harvest index in rainfed and irrigated conditions on chickpea crop in Gonbad city



شکل ۶– اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر نیتروژن کل دانه در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد

Figure 6- The effect of climate change scenarios on grain filling rate in rainfed and irrigated conditions on chickpea crop in Gonbad city



شکل ۷– اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر نیتروژن کل دانه در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد

Figure 7- The effect of climate change scenarios on total grain nitrogen in rainfed and irrigated conditions on chickpea crop in Gonbad city

References منابع مورد استفاده

- Ahlawat I., M. Ali, and B. Shivkumar. 2003. Cropping systems research in chickpea. Chickpea research in India (Eds M. Ali, S. Kumar and N.B. Singh). Indian Institute of Pulses Research, Kanpur, India. 113-119.
- Akram ghaderi, F., and A. Soltani. 2008. Determination of optimal plant traits for chickpea under irrigated conditions of Gorgan and Gonbad using simulation. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(5): 200-210. (In Persian).
- Anonymus. 2001. SAS Institute Inc., SAS user' guide: Statics, Version 9, 1 editions, SAS Inst., Inc., Cary, N.C.
- Asseng, S., P.D. Jamieson, B. Kimball, P. Pinter, K. Sayre, J.W. Bowden, and S.M. Howden. 2004. Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO_2. *Field Crop Research*. 85: 85-102.
- Bakhshandeh, S., A. Soltani, E. Zeinali, and R. Gadiryan. 2013. Study of dry matter and nitrogen accumulation, remobilization and harvest index in bread and durum wheat cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*. 6(1): 39-59. (In Persian).
- Bannayan, M., S. Lotfabadi, S. Sanjani, A. Mohammadian, and M. Agaalikhani. 2011. Effects of precipitation andtemperature on cereal yield variability in northeast of Iran. *International Journal of Biometeorology*. 55: 387-401.
- Crimp, S., M. Howden, B. Power, E. Wang, and P. De Voil. 2008. Global climate change impacts on Australia's wheat crops. Report for the Garnaut Climate Change Review Secretariat, 20p.
- Deihimfard, R., H. Eyni Nargeseh, and Sh. Farshadi. 2017. Modeling the effects of climate change on irrigation requirement and water use efficiency of wheat fields of Khuzestan province. *Journal of Water and Soil*. 31(4): 1015-1030. (In Persian).
- Fageria, N.K. 2014. Nitrogen harvest index and its association with crop yields. *Journal of Plant Nutrition*. 37(6): 795-810.
- Fuhrer, J. 2003. Agro ecosystem responses to combination of evaluated CO_2, ozone and global climate change. *Agriculture, Ecosystem and Environment.* 97: 1-20.
- Gholipoor, M., and A. Soltani. 2009. Future climate impacts on chickpea in Iran and ICARDA. *Research Journal of Environmental Sciences*. 3: 16-28.
- Hajarpour, A., A. Soltani, E. Zeinali, and F. Seyyedi. 2013. Simulating the impact of climate change on production of chickpea in rainfed and irrigated condition of Kermanshah. *Journal of Plant Production.* 20(2): 235-252. (In Persian).
- Hatfield, J.L., L. Wright-Morton, and B. Hall. 2018. Vulnerability of grain crops and croplands in the Midwest to climatic variability and adaptation strategies. *Climate Change*. 146: 263–275.
- Jones, P.G., and P.K. Thornton. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change.* 13: 51- 59.

- Khaliliaqdam, N. 2008. Simulation of some optimal traits related to rain-fed wheat yield at urmia conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 12(3):377-392.
- Khaliliaqdam, N., T. Mir-Mahmoodi, and S. Mirab Yeganeh. 2016. Simulation of climate change effect on wheat production in rainfed conditions of Uremia. *Sustainable Agriculture and Production Science.* 26(3): 201-214. (In Persian).
- Koocheki, A., and M. Hosseini. 2006. Climate change and global crop productivity. Ferdoesi University Press, Mashhad, 1th Ed, 556 p.
- Koocheki, A., and M. Khajeh Hosseini. 2008. Modern agronomy. 2th Ed. Jihad-e-Daneshgahi press, Mashhad, 712 p. (In Persian).
- Kumar, J., and S. Abbo. 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. *Advances in Agronomy*. 72: 107–138.
- Meghdadi, N., A. Soltani, B. Kamkar, and A. Hajarpour. 2015. Simulating the impact of climate change on production of chickpea in Zanjan province. *Electronic Journal of Crop Production*. 7(4):1-22. (In Persian).
- Mousavi, S.K., and P. Pezeshkpoor. 2006. Evaluation of Kaboli chickpea cultivars by sowing date on yield and its components of chickpea cultivars dryland condition. *Journal of Iranian Agronomic Researches*. 2: 111-128. (In Persian).
- Parhizkari, A., A. Mahmoodi, and M. Shokat Fadaee. 2017. Economic analysis of the effects of climate change on available water resources and agricultural products in the Watersheds of Shahrood. *Agricultural Economics Research*. 9(1): 23-50. (In Persian).
- Parthasarathy, P., P.S. Birthal, S. Bhagvatula, and M.C.S. Bantilan. 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, pp. 76.
- Qorani, Y., R. Deihimfard, O. Nouri, and S.R. Amiri. 2019. Growth analysis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under climate change conditions using a mechanistic model in Fars province of Iran. *Sustainable Agriculture and Production Science.* 29(1): 33-50. (In Persian).
- Reilly, J. 2002. What does climate change mean for agriculture in developing countries? A comment on Mendelsohn and Dinar. World Bank Obsever, 14: 295-30.
- Singh, A.K., R. Tripathy, and U.K. Chopra. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*. 95: 776-786.
- Soleymani Nanadegani, M., M. Parsinejad, Sh. Araghinejad, and A. Massah Bavani. 2011. Study on climate change effect on net irrigation requirement and yield for rainfed wheat. *Journal of Water and Soil*. 25: 2. 389-397. (In Persin).
- Soleymani Nejad, S., A. Dourandish, M. Sabouhi Sabouni, M. Banayan Aval. 2019. The effects of climate change on cropping pattern (Case Study: Mashhad Plain). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*. 50(2): 249-263. (In Persian).

- Soltani, A. 2007. Application of SAS software in statistical analysis. Mashhad University Press Publications. 182 pages. (In Persian).
- Soltani A., F.R. Khooie, K. Ghassemi-Golezani, and M. Moghaddam. 2000. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*. 49:225-237.
- Soltani, A., and T.R. Sinclair. 2012 a. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI Press. 340 p.
- Soltani, A., and T.R. Sinclair. 2012 b. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *European Journal of Agronomy*. 38: 22–31.
- White, J.W., G. Hoogenboom, B.A. Kimball, and G.W. Wall. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research*. 124: 357-368.
- Yaghoobzadeh, M., M. Ahmadi, H. Seyyed Kaboli, Gh.R. Zamani, and M. Amirabadizadeh. 2017. The evaluation of effect of climate change on agricultural drought using ETDI and SPI indexes. *Journal of Water and Soil Conservation*. 24(4): 43-61. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1902577.1695

The Effect of Climate Change on Evapotranspiration, Leaf Area Index and Growth Indices of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) at Gonbad Condition

Ali Rahemi Karizaki[1], Nabi Khaliliaqdam[2]* and Korosh Sanaie[3]

Received: August 2020 , Revised: 23 July 2021, Accepted: 15 August 2021

Abstract

Climate changs is one of the most important issues that has been observed in agriculture in recent decades and has limited production of crops. SSM-iLegum-Chickpea model was used to simulate the effect of climate change on evapotranspiration and leaf area index and growth indices of chickpea seed in Gonbad. First, meteorological data from the Dome Synoptic Meteorological Station from 1993 to 2017.The scenarios include increasing the temperature by two, four and six degrees, increasing the Co_2 concentration by two times, and reducing rainfall by two percent, and a combination of the above scenarios, which total 9 scenarios. For the high temperature scenarios, the maximum and minimum daily temperature changes were added. Results of analysis of variance showed that in dry and irrigated conditions the effect of sowing date and climate change scenarios on all traits such as grain filling period, grain filling speed, evapotranspiration, leaf area index and total grain nitrogen except Harvest index nitrogen (NHI) was significant at 1% level in dryland conditions. But the interaction effect of planting date and climate change was only significant on evapotranspiration and leaf area index at 1% and NHI at 5% level. Duplication of concentrations of CO2 caused increasing about 6.2 in harvest index of nitrogen. Also, the best planting date for Gonbad city is the beginning of December in the simulation conducted for Gonbad.

Key words: Food Security, Harvest Index Nitrogen, Grain Filling Period, Grain Nitrogen.

1- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
3- Master of Science, Agroecology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
**Corresponding Author:nkhaliliaqdam@pnu.ac.ir*