

شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در شهرستان گنبد

علی راحمی کاریزکی^۱، کوروش ثنائی^۱، نبی خلیلی اقدم^{۲*}

۱- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

۲- گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

هدف از انجام این مطالعه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید و عملکرد گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) در شهرستان گنبد در جهت سازگاری و بهبود عملکرد برای شرایط اقلیمی آینده است. در این مطالعه سناریوهای افزایش دما به میزان دو، چهار و شش درجه سانتی‌گراد، افزایش غلظت CO₂ به میزان دو برابر وضعیت کنونی (۴۰۰ پی‌پی‌ام) و کاهش بارندگی به میزان دو درصد (نسبت به دوره پایه سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۱۷) به صورت تنها و ترکیب با همدیگر در سه تاریخ کاشت مختلف (۱۵ آذر، ۱۵ دی و ۱۵ بهمن) برای شرایط دیم و آبی با استفاده از مدل شبیه‌سازی SSM-iLegume-Chickpea مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد افزایش دما به تنهایی سبب زودرس شدن و عدم برخورد گیاه با تنش خشکی انتهای فصل شده و افزایش عملکرد را در شرایط دیم به میزان ۲۳/۹ درصد را به دنبال دارد. اما در شرایط آبی به علت کاهش طول دوره رشد در شرایط عدم محدودیت آب سبب کاهش محصول نخود می‌شود. افزایش غلظت CO₂ به تنهایی به دلیل نقش مؤثر آن در فتوسنتز، کاهش تعرق و افزایش کارآیی مصرف آب تولید دانه را در شرایط دیم ۲۳/۹ درصد و در شرایط آبی ۱۲/۳ درصد افزایش می‌دهد اما تحت سناریوهای اثر ترکیبی در شرایط دیم، دما در ترکیب با سطوح مختلف دی‌کسیدکربن باعث افزایش تولید دانه شده ولی در شرایط آبی سبب خنثی شدن افزایش تولید ناشی از افزایش غلظت CO₂ می‌شود. مقایسه تاریخ‌های کاشت نیز نشان داد که تاریخ کاشت آذرماه نسبت به تاریخ‌های دی و بهمن ماه عملکرد بالاتری در هر دو شرایط دیم و آبی داشت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، تاریخ کاشت، دما، مدل، نخود

مقدمه

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). مطالعه اثرات تغییر اقلیم به معنای افزایش درجه حرارت و غلظت CO₂ و تغییر در بارندگی بر سیستم‌های کشت می‌تواند به گسترش استراتژی‌های سازگاری موردنیاز کمک کند. در نتیجه، این استراتژی‌ها می‌توانند عملکرد بیشتر و پایداری را تولید کنند (Gholipour and Soltani, 2009). مدل‌های اقلیم جهانی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی تغییر اقلیم و ارائه اطلاعات لازم برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی هستند (Jones and Thornton, 2003). آزمایش‌های مزرعه‌ای که یکی از راه‌های رسیدن به شناخت اثرات تغییر اقلیم است عموماً بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند، بنابراین استفاده از مدل‌های آزمون شده و به کارگیری آمارهای درازمدت هواشناسی، راه جایگزین خوبی برای ارزیابی راهبردهای مختلف مدیریت زراعی و به‌نژادی می‌باشد (Akram and Soltani, 2007). تغییرات آب‌وهوایی، محصولات گیاهی و تولیدات دامی، توازن هیدرولوژی، نهاده‌های ورودی و دیگر اجزای نظام‌های کشاورزی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Apata *et al.*, 2009). همچنین پیش‌بینی می‌شود، اگر میانگین دمای جهانی دو درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، به احتمال بسیار، در سراسر جهان تولید محصولات

نخود (*Cicer arietinum* L.) یک گیاه خودکشن و دیپلوئید است. نخود سومین محصول مهم حبوبات در جهان پس از لوبیا و نخودفرنگی است (Parthasarathy *et al.*, 2010). اگرچه نخود یک محصول مناطق معتدله است اما کشت آن به تدریج در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری گسترش زیادی یافته است. نخود در مقیاس وسیعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان کشت می‌شود. حدود ۹۰ درصد نخود در جهان تحت شرایط دیم کشت می‌شود (Kumar and Abbo, 2001) در حالی که در ایران حدود ۹۹ درصد کشت نخود به صورت دیم می‌باشد (Agricultural Statistics, 2018). نخود علاوه بر نقش آن در تغذیه فواید بسیار زیادی در افزایش تولید و موفقیت محصولات بعدی، به خصوص 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). از مهم‌ترین مسائلی 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). به طوری 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

کاشت‌های زودتر جهت سازگاری با شرایط جدید پیشنهاد شده است (Gholipour and Soltani, 2009). نتایج یک مطالعه در اراضی پایین‌دست سد طالقان نیز نشان داد که دو درجه سانتی‌گراد افزایش دما و ۱۵ میلیمتر کاهش بارندگی ناشی از تغییر اقلیم به‌صورت تلفیقی، سبب افزایش عملکرد جو، ذرت، چغندر و یونجه به ترتیب به میزان ۱۷/۱۹، ۴/۱۴، ۱/۹ و ۱۳/۰ درصد و کاهش عملکرد گندم، گوجه‌فرنگی و کلزا به ترتیب به میزان ۱۶/۲۱، ۵/۴ و ۲۶/۲ درصد شده است (Parhizkari, 2019). نتایج مطالعه‌ای در شهرستان شیراز روی گندم نشان داد، مناطق با اقلیم معتدل در آینده عملکرد و تولید بالاتری خواهند داشت و تأثیر دی‌اکسیدکربن و دما در این مناطق در مقایسه با مناطق سرد یا گرم‌تر بیشتر خواهد بود و دلیل اصلی این موضوع را بالاتر بودن سطح برگ، دوام سطح برگ، سرعت جذب و شاخص برداشت در آینده دانستند که همه این شاخص‌ها همبستگی معنی‌داری با بیوماس و عملکرد دانه دارند (Qorani et al., 2019). بررسی‌های صورت‌گرفته روی نتایج اعتبارسنجی مدل SSM-iLegum-Chickpea 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). بنابراین باتوجه‌به اینکه اثرات تغییر اقلیم، سبب تغییر در عملکرد محصول نخود در آینده خواهد شد مطالعه روی تغییرات اقلیمی و واکنش رشد و نمو نخود به این تغییرات جهت برنامه‌ریزی کشت

کشاورزی کاهش خواهد یافت (Easterling, 2007). در مطالعه‌ای که (Corobov, 2002) در خصوص اثرات تغییر اقلیم بر تولید حبوبات در مالدیو انجام داد؛ نتیجه گرفت که تغییر اقلیم که باعث افزایش گرمای جهانی شده، منجر به وقوع خشکی در طول دوره‌های رشد گیاه خواهد شد. نتایج یک مطالعه فراتحلیلی روی داده‌های مطالعات مختلف صورت‌گرفته مناطقی از آمریکا، ایتالیا، ژاپن و سوئیس نشان داده است که شرایط اقلیمی آینده بر تولید گندم، ریگراس چندساله، برنج و سورگوم به ترتیب به میزان ۳۱، ۳۱، ۲۵ و ۳۱ درصد دارای اثرات کاهشی است (Kimbal et al., 2002). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن همچنین باعث کم‌شدن خسارات ناشی از خشک‌سالی در گیاهان زراعی می‌گردد که آن را می‌توان به علت کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش اتلاف آب برگ از طریق روزنه‌ها و افزایش کارایی مصرف آب توسط گیاه نسبت داد (Donnelly et al., 2000). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن باعث افزایش 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 است (Hatfield et al., 2018). نتایج مطالعه شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم و بررسی تولید نخود در پنج منطقه ایران، نشان داد که پایداری تولید نخود در اغلب نقاط مورد بررسی افزایش خواهد یافت و به دنبال آن اصلاح ارقام نخود در جهت مقاومت به گرما و از روش‌های زراعی، تاریخ

و توسعه این محصول در شهرستان گنبد ضروری به نظر می‌رسد. هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول نخود در شهرستان گنبد و انتخاب تاریخ کاشت مناسب در شرایط اقلیم آینده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود از مدل SSM-iLegum-Chickpea استفاده شد. در این مدل، واکنش فرایندهای رشد گیاه به عوامل 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. این مطالعه برای شهرستان گنبد کاووس واقع در شرق استان گلستان با موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۵۲ متر از سطح دریا که از مناطق مهم تولید نخود در استان گلستان است انجام شد. در گنبد زمستان‌ها نسبتاً ملایم هستند و میانگین بارندگی سالانه بر طبق آمار ۲۵ ساله ۴۶۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. ابتدا اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گنبد از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۵ (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 (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 شش درجه سانتی‌گراد، افزایش غلظت CO₂ به میزان دو برابر و کاهش بارندگی به میزان دو درصد و ترکیبی از حالات فوق که در کل نه سناریو نسبت به دوره پایه سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۱۷ می‌باشد. در 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 CO₂ و سناریوی افزایش دوبرابری غلظت CO₂، جهت بررسی تأثیر مستقیم این افزایش، به صورت جداگانه بررسی شدند. سناریوهای تغییر اقلیم نیز که شامل ترکیبی از افزایش دوبرابری غلظت CO₂، 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 باتوجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه، پاییزه و نوع رقم آزاد انتخاب شد. شبیه‌سازی برای هر کدام از شرایط دیم و آبی، سه تاریخ کاشت مختلف (۱۵ آذر، ۱۵ دی و ۱۵ بهمن) انتخاب و شبیه‌سازی‌ها برای ۲۵ سال (۱۹۹۳-۲۰۱۷) انجام شد. مقدار آب موجود در خاک برای کاشت ۱۵ میلی‌متر (حد ظرفیت

شرایط آبی و کمترین عملکرد مربوط به تیمار کاهش دو درصدی بارندگی نسبت به شاهد در شرایط دیم با میزان ۱۷۶ گرم بر مترمربع بدست آمد. عملکرد دانه با افزایش دما به میزان دو و چهار درجه سانتی‌گراد برای هر دو شرایط دیم کمی افزایش و برای شرایط آبی کاهش نشان داد، اما تغییر معنی‌دار نبود. افزایش دما به میزان شش درجه نسبت به شاهد، سبب افزایش ۷/۶٪ عملکرد دانه در شرایط دیم و کاهش ۶/۴٪ عملکرد در شرایط آبی شد. تأثیر مستقیم دوبرابر شدن غلظت CO₂ بر عملکرد دانه به ترتیب باعث افزایش عملکرد به میزان ۲۳/۹ و ۱۲/۳ درصدی در شرایط دیم و آبی شد. اثر ترکیبی دوبرابر شدن غلظت CO₂ همراه با کاهش دو درصدی بارندگی و افزایش دمای دو، چهار و شش درجه سانتی‌گراد برای شرایط دیم به ترتیب سبب افزایش ۲۸/۸٪، ۳۰/۹٪ و ۲۹/۷٪ و برای شرایط آبی سبب افزایش ۱۱٪، ۹/۳٪ و ۶/۵٪ در عملکرد دانه گردید (شکل ۱).

تغییر تاریخ کاشت از آذرماه به دی و بهمن‌ماه به ترتیب سبب کاهش ۱۵/۳٪ و ۴۲/۲٪ در شرایط دیم و ۴/۲٪ و ۱۱/۴٪ در شرایط آبی گردید و مقایسه تاریخ کاشت‌های مختلف نشان داد بیشترین میزان عملکرد دانه در تاریخ کاشت آذرماه به ترتیب دیم و آبی، ۲۳۷۰ و ۲۹۱۰ کیلوگرم بر هکتار و کمترین میزان عملکرد دانه در تاریخ کاشت بهمن‌ماه به ترتیب دیم و آبی ۱۶۶۰ و ۲۶۱۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۲). در مطالعه‌ای گزارش شد افزایش عملکرد از طریق تغییر تاریخ کاشت به علت

مزرعه) در نظر گرفته شد. تراکم بوته برای کشت آبی نخود، ۳۵ بوته و کشت دیم ۲۵ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. با اجرای مدل شبیه‌سازی، میزان عملکرد بیولوژیک (گرم) و عملکرد دانه (گرم)، شاخص برداشت (عملکرد اقتصادی (دانه، گرم) بر عملکرد بیولوژیک (گرم)) و کارآیی مصرف آب (نسبت کل ماده خشک تولیدی (گرم) بر بر میزان آب مصرف شده (میلیمتر)) در شرایط دیم و آبی و تاریخ کاشت‌های ۱۵ آذر، ۱۵ دی و ۱۵ بهمن از خروجی مدل ثبت شدند. تجزیه واریانس با استفاده از برنامه SAS (نسخه ۹/۴) (Soltani, 2007) و به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد که در آن، سال‌ها تکرار و سناریوها تیمار در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین صفات نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در شرایط دیم و آبی اثر سناریوهای تاریخ کاشت و تغییر اقلیم بر روی تمام صفات اعم از عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار است. اما اثر متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم تنها بر روی عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد.

عملکرد دانه: با مقایسه سناریوهای تغییر اقلیم بیشترین عملکرد دانه در شرایط دو برابر شدن غلظت CO₂ به میزان ۳۰۲ گرم بر مترمربع در

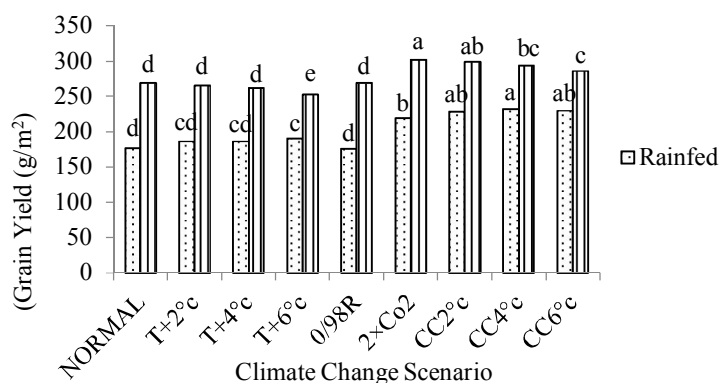
باتوجه به نتایج مقایسه میانگین می توان بیان داشت که سناریوهای افزایش دما در شرایط دیم بر روی عملکرد دانه اثر مثبت و در شرایط آبی اثر منفی دارد. در واقع افزایش دما در شرایط معمول (بدون محدودیت آب) با توجه به کاهش دوره رشد

تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد است که در اثر تغییر اقلیم جابه جا شده است. در این شرایط اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد به ویژه در طول دوره پرشدن دانه که باعث کاهش شاخص برداشت می شود، کاهش خواهد یافت (Hajarpoor et al., 2012).

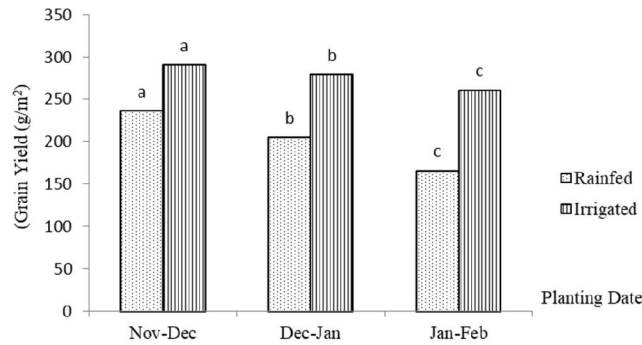
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به عملکرد نخود در شرایط دیم و آبی شهرستان گنبد

نوع کاشت	منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	کارایی مصرف آب
دیم	سال	۲۴	۸۰۲۰/۸۵**	۳۲۴۲۱/۴۳**	۰/۰۱۰۶**	۰/۰۹۲۶۰۰۷۲**
	تاریخ کاشت	۲	۲۸۸۶۹۶/۶۲**	۱۱۷۸۶۲۱/۴۱**	۰/۰۴۸۷**	۰/۵۱۵۴۴۵۳۷۸**
	تغییر اقلیم	۸	۴۲۶۴۶/۸۹**	۲۴۹۳۰/۰۶**	۰/۰۱۵۵**	۰/۵۲۱۸۳۳۳۳**
	اقلیم × تاریخ کاشت	۱۶	۹۶۰/۸۸ ^{ns}	۴۶۳۰/۴۳*	۰/۰۱۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۵۹۴۲۱۱ ^{ns}
	خطا	۶۲۴	۱۰۹۳/۹۱	۲۶۴۵/۹۴	۰/۰۰۱۱	۶/۷۷۹
	ضریب تغییرات (%)	-	۱۶/۳۰	۱۰/۲۲	۸/۳۸	۱۷/۶۳
آبی	سال	۲۴	۸۰۲۷/۰۹**	۳۸۶۰۸/۴۱**	۰/۰۰۱۳**	۰/۲۷۷۴۳**
	تاریخ کاشت	۲	۵۰۶۱۰/۵۲**	۳۹۸۵۳/۳۶**	۰/۰۰۷۱**	۱/۶۴۰۸**
	تغییر اقلیم	۸	۲۳۸۹۳/۷۳**	۲۶۶۳۶/۱۸**	۰/۰۱۳۸**	۲/۲۶۹۹۷**
	اقلیم × تاریخ کاشت	۱۶	۸۲۲/۹۴ ^{ns}	۵۶۶۸/۵۵**	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۲۳۶۳ ^{ns}
	خطا	۶۲۴	۵۵۱/۹۱	۱۵۷۸/۲۶	۰/۰۰۰۴	۱۰/۲۸۸
	ضریب تغییرات (%)	-	۸/۴۶	۶/۳۴	۴/۴۴	۹/۱۴

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.



شکل ۱- اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر عملکرد دانه در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد (NORMAL، شبیه سازی در شرایط داده های هواشناسی موجود T+2°C: افزایش ۲ درجه ای دما، T+4°C: افزایش ۴ درجه ای دما، T+6°C: افزایش ۶ درجه ای دما، 0.98R: کاهش دودرصدی بارندگی، 2xCO₂: دوبرابر شدن غلظت دی اکسید کربن، CC2°C: افزایش ۲ درجه ای دما+ دوبرابر شدن غلظت دی اکسید کربن+ کاهش دودرصدی بارندگی، CC4°C: افزایش ۴ درجه ای دما+ دوبرابر شدن غلظت دی اکسید کربن+ کاهش دودرصدی بارندگی، CC6°C: افزایش ۶ درجه ای دما+ دوبرابر شدن غلظت دی اکسید کربن+ کاهش دودرصدی بارندگی).



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

عملکرد در اثر افزایش دی‌اکسید کربن، در شرایط دیم بیشتر از شرایط آبی است. در مطالعه‌ای دیگر نیز اعلام شده است که بیشترین اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن زمانی حاصل می‌شود که محدودیت رطوبت وجود داشته باشد (Manderscheid and Weigel, 2007). افزایش ۲۶/۱۷٪ در متوسط عملکرد محصول نخود دیم را در شمال غرب ایران به دلیل کاهش دوره رشد گیاه و زودرس تر شدن آن و در نتیجه انطباق بهتر رشد گیاه در شرایط دیم با ذخیره آبی خاک و کاهش دوره تنش انتهایی فصل رشد گزارش شده است (Barzegar and Soltani, 2007).

عملکرد بیولوژیک: با توجه به نتایج مقایسه میانگین تیمارها، تغییرات عملکرد بیولوژیک نسبت به کاهش بارندگی به میزان دو درصد در هیچ‌کدام از شرایط دیم و آبی و تاریخ‌های کاشت آذر، دی و بهمن‌ماه نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. بیشترین عملکرد بیولوژیک برای شرایط دیم و آبی در سناریوی ترکیبی افزایش دمای دو درجه سانتی‌گراد، کاهش دودرصدی بارندگی و افزایش دوبرابری غلظت CO₂ در تاریخ کاشت آذرماه به ترتیب ۶۵۴/۸، ۷۷۹/۸

رویشی و ذخیره کمتر زیست‌توده برای انتقال مواد غذایی در دوره زایشی باعث کاهش عملکرد خواهد شد، اما در شرایط دیم به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک و دارای خشکی انتهایی فصل باعث زودرس شدن نخود و فرار از خشکی آخر فصل در شرایط دیم شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد می‌شود. البته این افزایش و کاهش در نتایج، اختلاف چندانی با شرایط نرمال ندارد، بلکه سناریوهای افزایش دی‌اکسید کربن است که نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه ایفا می‌کند. افزایش غلظت CO₂ به تنهایی باعث افزایش عملکرد در اغلب گیاهان زراعی خواهد شد. با این وجود به نظر می‌رسد افزایش دما و کاهش میزان بارندگی، تأثیر سودمند افزایش غلظت CO₂ را خنثی می‌کند (Koocheki *et al.*, 2001). در شرایط آبی، 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 (Fulco and Menzel *et al.*, 2006; Senthold, 2006). همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش

گرم بر مترمربع و کمترین عملکرد بیولوژیک
برای شرایط دیم در تیمار کاهش دودرصدی

بارندگی در تاریخ کاشت بهمن‌ماه به میزان
۳۸۰/۲ گرم بر مترمربع و برای شرایط آبی مربوط

جدول ۲- اثرات متقابل تاریخ کاشت و تغییر اقلیم در شرایط دیم و آبی نخود در شهرستان گنبد
عملکرد بیولوژیک (گرم بر مترمربع)

نوع کاشت	تغییر اقلیم	۱۵ بهمن	۱۵ دی	۱۵ آذر
دیم	NORMAL	۳۸۵/۶ ^b	۴۶۴/۲ ^c	۵۳۵/۲ ^d
	T+2°C	۳۸۵/۶ ^b	۴۶۴/۲ ^c	۵۳۵/۲ ^d
	T+4°C	۳۸۲/۲ ^b	۴۶۴/۵ ^c	۴۹۴ ^e
	T+6°C	۳۸۰/۲ ^b	۴۴۸/۲ ^c	۵۲۵ ^d
	0.98R	۴۸۵/۵ ^a	۶۵۲/۱ ^b	۶۵۱/۵ ^a
	2xCO ₂	۴۸۷/۹ ^a	۵۷۵/۹ ^{ab}	۶۵۴/۸ ^a
	CC2°C	۴۷۸ ^a	۵۸۸/۷ ^a	۶۲۹/۵ ^b
	CC4°C	۴۸۰/۳ ^a	۵۶۹/۱ ^{ab}	۵۹۳/۳ ^c
	CC6°C	۵۵۰/۸ ^a	۵۹۹/۴ ^a	۶۴۵/۴ ^a
	LSD %5	۱۶/۵۷	۲۳/۱۶	۲۱/۶۱
آبی	NORMAL	۵۴۲/۳ ^c	۵۹۳/۳ ^d	۶۲۴/۶ ^e
	T+2°C	۵۴۲/۳ ^c	۵۹۳/۳ ^d	۵۹۴/۱ ^f
	T+4°C	۵۱۷/۹ ^d	۵۵۲/۸ ^e	۵۶۳/۶ ^g
	T+6°C	۵۵۱/۴ ^c	۵۹۹/۴ ^d	۶۴۵/۴ ^e
	0.98R	۶۵۲/۸ ^a	۷۱۲/۸ ^a	۷۷۹/۸ ^a
	2xCO ₂	۶۴۲/۶ ^a	۷۰۵/۳ ^{ab}	۷۵۱/۵ ^b
	CC2°C	۶۲۲/۱ ^b	۶۹۵/۶ ^b	۷۱۱ ^c
	CC4°C	۶۱۳/۹ ^b	۶۵۶/۱ ^c	۶۹۹/۹ ^d
	CC6°C	۶۰۴/۸ ^b	۶۳۸/۲ ^c	۶۸۳/۳ ^d
	LSD %5	۱۵/۶۸	۱۷/۱	۲۰/۹۵

NORMAL، 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 ۶ 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 CO₂ هوا به دو برابر 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 CO₂ هوا به دو برابر 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 CO₂ هوا به دو برابر غلظت کنونی افزایش یافته، میزان بارندگی دودرصد کاهش یافته و دمای هوا ۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

بررسی در هندوستان به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به میزان دوبرابر باعث افزایش زیست‌توده گندم می‌شود (Aggarwal and Kalra, 1994). افزایش دما در شرایط آبی با توجه به نتایج مقایسه‌های میانگین از طریق کاهش طول دوره رشد و کاهش فتوسنتز سبب کاهش عملکرد بیولوژیک خواهد شد. در مطالعه‌ای دریافتند افزایش دما در شرایط اقلیم آینده سبب کاهش طول فصل رشد گیاه می‌شود و کاهش طول فصل رشد گیاه منجر به کاهش دریافت تشعشع فتوسنتزی و در نتیجه کاهش عملکرد بیولوژیک می‌شود (Wheeler *et al.*, 2000). در تحقیقی که روی گندم در استان فارس انجام شد، نتایج نشان داد که در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تا ۵۳۱ پی‌پی‌ام و افزایش دما بین ۲ تا ۵/۴ درجه سانتیگراد در شرایط اقلیم آینده، شاهد افزایش ۱۹/۲۴ درصدی عملکرد دانه، ۱۸/۹۱٪ زیست‌توده و ۰/۲۳٪ شاخص برداشت در گندم خواهیم بود (Qorani *et al.*, 2019). البته اگر گیاه در مراحل انتهایی فصل رشد با دمای بالا (در اثر تغییر اقلیم) مواجه شود، طول فصل رشد و بیوماس آن نیز کاهش می‌یابد و در چنین شرایطی شاخص برداشت نیز کاهش خواهد بود. نتایج همچنین نشان داده است که تغییر اقلیم بر روی نخود تحت شرایط کشت آبی اثر منفی خواهد گذاشت، در حالی که اثرات مثبتی بر روی سرعت رشد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نخود دیم خواهد داشت که منجر به عملکرد اقتصادی بیشتر این گیاه خواهد شد (Koocheki *et al.*, 2006). افزایش غلظت

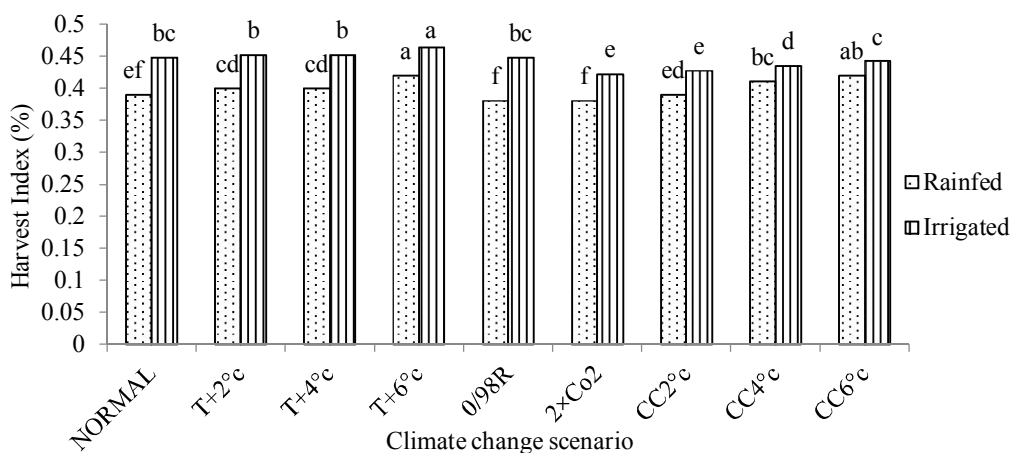
به سناریوی افزایش دما به میزان شش درجه سانتی‌گراد در تاریخ کاشت بهمن‌ماه به دست آمد. تأثیر مستقیم دوبرابر شدن غلظت CO₂ تحت شرایط دیم در تاریخ کاشت‌های آذر، دی و بهمن‌ماه به ترتیب سبب افزایش ۱۹٪، ۲۱٪ و ۲۰٪ و برای شرایط آبی در تاریخ کاشت‌های مذکور به ترتیب سبب افزایش ۱۷٪، ۱۶٪ و ۱۵٪ در عملکرد بیولوژیک شد (جدول ۲).

با توجه به نتایج بررسی مقایسه‌های میانگین مشخص شد که افزایش دما در شرایط آبی نسبت به شرایط دیم کاهش بیشتری در عملکرد بیولوژیک را سبب می‌شود. اما افزایش دی‌اکسیدکربن باعث افزایش

عملکرد بیولوژیک می‌شود که دلیل آن نقش CO₂ در افزایش فتوسنتز می‌باشد که این افزایش در شرایط دیم بیشتر از شرایط آبی است. البته در اثرات ترکیبی افزایش دما و CO₂ با افزایش دما از میزان عملکرد بیولوژیک کاسته می‌شود که این امر بیانگر این است که افزایش دما نقش مثبت افزایش غلظت CO₂ را در افزایش عملکرد بیولوژیک تا حدودی خنثی می‌کند. بین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری وجود دارد به نحوی که با افزایش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه نیز افزایش پیدا خواهد کرد. در مطالعه‌ای با شبیه‌سازی که روی محصول نخود در شرایط دیم و آبی در مراغه انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم آینده باعث افزایش عملکرد بیولوژیک خواهد شد و این افزایش در شرایط دیم بیشتر از شرایط آبی خواهد بود (Soltani and Gholipoor, 2006). در یک

شاخص برداشت: با بررسی نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳) با افزایش دما شاخص برداشت در شرایط دیم در مقایسه با شرایط آبی افزایش یافت. با توجه به اینکه شاخص برداشت، نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک می‌باشد و همان‌طور که قبلاً بحث شد در شرایط دیم عملکرد دانه نسبت به

دی‌اکسیدکربن باعث بالابردن تولید بسیاری از محصولات زراعی می‌شود؛ لذا چنین استنتاج شده است که اثرات تغییر اقلیم به صورت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در تولید گیاهان دارای اثرات مثبت، در صورت افزایش دما دارای اثرات منفی و اثرات آن بسته به زمان و میزان تغییر در مقدار بارش متغیر است (Hatfield *et al.*, 2018).



شکل ۳- اثر سناریوهای تغییر اقلیم روی شاخص برداشت در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد

(NORMAL، شبیه‌سازی در شرایط داده‌های هواشناسی موجود T+2°C: افزایش ۲ درجه‌ای دما، T+4°C: افزایش ۴ درجه‌ای دما، T+6°C: افزایش ۶ درجه‌ای دما، 0.98R: کاهش دو درصدی بارندگی، 2xCO₂: دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن، CC2°C: افزایش ۲ درجه‌ای دما+ دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن+ کاهش دودرصدی بارندگی، CC4°C: افزایش ۴ درجه‌ای دما+ دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن+ کاهش دودرصدی بارندگی، CC6°C: افزایش ۶ درجه‌ای دما+ دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن+ کاهش دودرصدی بارندگی).

درصد بارندگی و افزایش دوبرابری غلظت CO₂ در صفت شاخص برداشت همگی کاهش می‌یابند. کاهش شاخص برداشت را می‌توان نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک بیشتر در اثر افزایش غلظت CO₂ نسبت به عملکرد دانه دانست. در مطالعه‌ای شاخص برداشت و تغییرات آن را به عواملی همچون، طول دوره قبل و بعد از رشد دانه، ماده خشک کل و میانگین دما نسبت دادند و افزایش

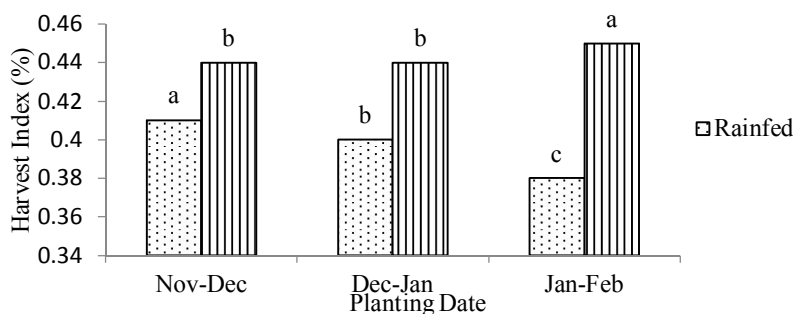
عملکرد بیولوژیک بیشتر بود پس بنابراین افزایش شاخص برداشت در شرایط دیم منطقی است. تحت سناریوی کاهش دودرصدی بارندگی در شرایط دیم و آبی، شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت و در سناریوی افزایش دوبرابری غلظت CO₂ در شرایط دیم غیرمعنی‌دار و در شرایط آبی شش درصد کاهش یافت. نتایج سناریوهای ترکیبی افزایش دما، کاهش دو

میانگین در خصوص تغییرات کارایی مصرف آب نشان داد که در شرایط دیم و آبی با افزایش دما به میزان دو و چهار درجه سانتی‌گراد به صورت مشابه کارایی مصرف آب به ترتیب ۷/۵٪ و ۳/۵٪ افزایش یافت (شکل ۵). اما با افزایش دما به میزان شش درجه سانتی‌گراد در شرایط دیم و آبی به ترتیب ۱۵/۵٪ درصد و ۶/۸٪ سبب افزایش کارایی مصرف آب در نخود نسبت به شاهد گردید. سناریوی کاهش دودرصدی بارندگی اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد؛ اما تحت سناریوی دوبرابر شدن غلظت CO₂ کارایی مصرف آب در شرایط دیم و آبی به ترتیب ۲۰٪ و ۱۵٪ افزایش یافت. تحت سناریوهای CC2°C، CC4°C و CC6°C کارایی مصرف آب در شرایط دیم به ترتیب ۲۵/۷٪، ۲۹٪ و ۳۱٪ و برای شرایط آبی ۱۹٪، ۲۰٪ و ۲۲/۵٪ افزایش یافت. دلیل افزایش کارایی مصرف آب را می‌توان نتیجه کاهش تبخیر و تعرق و افزایش عملکرد دانه دانست. طی مطالعه‌ای روی نیاز آبیاری و کارایی مصرف آب در گندم‌زارهای استان خوزستان، دریافتند که در اثر تغییر اقلیم آینده تبخیر و تعرق به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش طول فصل رشد کاهش یافته و با افزایش عملکرد دانه و همچنین با کاهش تبخیر و تعرق در شرایط تغییر اقلیم، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Deihimfard et al., 2017). در یک بررسی گزارش شده در شرایط تغییر اقلیم آینده مصرف

شاخص برداشت را نیز به کاهش طول دوره رویشی و در نتیجه شروع زودتر دوره زایشی و استفاده از رطوبت بیشتر در این دوره و افزایش طول دوره پرشدن دانه، افزایش انتقال ماده خشک به دانه‌ها و افزایش عملکرد دانه ارتباط دادند (Soltani et al., 2005). در مطالعه‌ای دیگر با شبیه‌سازی تولید گندم مشخص گردید که مهم‌ترین عامل مؤثر در افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت، ۲۰٪ کاهش زمان تا شروع پرشدن دانه (رشد رویشی) ضمن کاهش ۲۰٪ زمان تا پایان رشد دانه (عدم برخورد دوره پرشدن دانه با خشکی انتهای فصل و ۲۰٪ افزایش کارایی مصرف نور بود (khaliliaqdam et al., 2016).

با بررسی نتایج مقایسه میانگین با تأخیر در تاریخ کاشت در شرایط دیم شاخص برداشت کاهش پیدا می‌کند؛ اما در شرایط آبی تغییر تاریخ کاشت از آذر به دی‌ماه تغییری ندارد و در بهمن‌ماه ۲/۳٪ افزایش نیز دیده می‌شود (شکل ۴). گروهی از محققین تأثیر تاریخ کاشت را در پنج رقم نخود مورد بررسی قرار دادند و اظهار داشتند که تاریخ کاشت بر شاخص برداشت گیاه اثرگذار بوده و برطبق نتایج به‌دست‌آمده با تأخیر در تاریخ کاشت و مواجه‌شدن گیاهان با دمای بالاتر، شاخص برداشت کاهش یافت (Pezeshkpoor et al., 2011).

کارایی مصرف آب: بررسی نتایج مقایسه



شکل ۴- اثر تاریخ کاشت بر شاخص برداشت در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد.

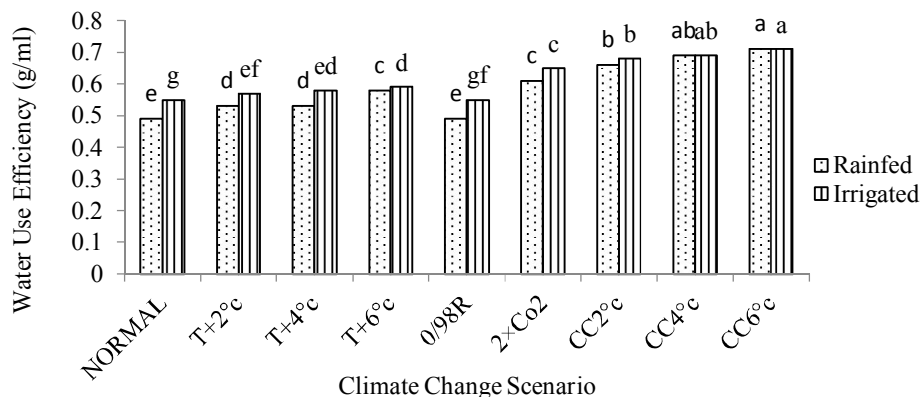
قرار گیرد در آن صورت کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد (Hatfield and Dold, 2019).

نتیجه‌گیری

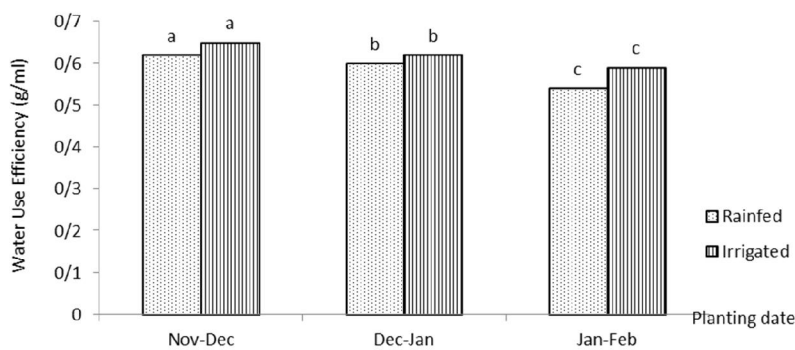
نتایج نشان داد افزایش دما سبب زودرس شدن و عدم برخورد گیاه با تنش خشکی انتهای فصل شده و اثرات کاهش عملکرد ناشی از وقوع تنش خشکی در شرایط دیم را کاهش دهد. در شرایط آبی همین عامل زودرسی (کاهش طول دوره رشد) نیز سبب کاهش محصول می‌گردد. افزایش غلظت CO₂ به دلیل نقش مؤثر آن در فتوسنتز، کاهش تعرق و افزایش کارایی مصرف آب تولید دانه را در شرایط دیم ۲۳/۹٪ و در شرایط آبی ۱۲/۳٪ افزایش می‌دهد. تحت سناریوهای اثر ترکیبی در شرایط دیم، دما باعث افزایش مضاعف تولید دانه شده؛ ولی در شرایط آبی دما باعث خنثی شدن افزایش تولید بر اثر افزایش غلظت CO₂ می‌شود. مقایسه تاریخ‌های کاشت نیز نشان داد تاریخ کاشت آذرماه نسبت به تاریخ‌های دی و بهمن‌ماه عملکرد بالاتری در هر دو شرایط دیم و آبی داشت؛ بنابراین بهترین تاریخ کاشت برای شهرستان گنبد کاووس کشت نخود در آذرماه است.

آب نخود تا ۱۵٪ کاهش می‌یابد، در حالی که کارایی مصرف آب در شرایط دیم ۳۹٪ تا ۴۲٪ و در شرایط آبی ۱۳٪ تا ۲۲٪ افزایش پیدا می‌کند (Soltani and Gholipoor, 2006). همچنین گزارش شده که کارایی مصرف آب گیاهان نسبت به گذشته افزایش یافته است، زیرا عملکرد دانه افزایش یافته در حالی که مصرف آب ثابت باقی مانده است (Basso and Ritchie, 2018).

بیشترین میزان کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت آذرماه و کمترین میزان آن در تاریخ کاشت بهمن‌ماه مشاهده شد. تغییر تاریخ کاشت از آذر به بهمن‌ماه در شرایط دیم و آبی به ترتیب ۱۴٪ و ۱۳٪ در کاهش کارایی مصرف آب اثرگذار می‌باشد (شکل ۶). دلیل تغییر کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت زودتر استفاده از دماهای مطلوب در زمان رشد رویشی و توسعه سریع سطح فتوسنتزی دانست. نتایج تحقیقی روی تاریخ کاشت نخود نشان می‌دهد، کاشت زود هنگام کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به کاشت دیر هنگام دارد (Amiri, 2018). محققین اظهار داشته‌اند افزایش غلظت CO₂ باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود تا زمانی که برگ در معرض دمای بیش از حد مطلوب (تنش گرما)



شکل ۵- اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر کارایی مصرف آب در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد (NORMAL)، شبیه‌سازی در شرایط داده‌های هواشناسی موجود T+2°C: افزایش ۲ درجه‌ای دما، T+4°C: افزایش ۴ درجه‌ای دما، T+6°C: افزایش ۶ درجه‌ای دما، 0.98R: کاهش دودرصدی بارندگی، 2xCO₂: دوبرابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن، CC2°C: افزایش ۲ درجه‌ای دما+ دوبرابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن+ کاهش دودرصدی بارندگی، CC4°C: افزایش ۴ درجه‌ای دما+ دوبرابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن+ کاهش دودرصدی بارندگی، CC6°C: افزایش ۶ درجه‌ای دما+ دوبرابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن+ کاهش دودرصدی بارندگی).



شکل ۶- اثر تاریخ کاشت بر کارایی مصرف آب در شرایط دیم و آبی محصول نخود شهرستان گنبد

منابع

- Aggarwal, P. K., and Kalra, N. 1994. Simulating the effect of climatic factors, genotype, water and nitrogen availability on productivity of wheat: II. Climatically potential yields and optimal management strategies. *Field Crops Research*. 38, 93-103.
- Agricultural Statistics, Volume I: Crops, 1976-96. 1979. Ministry of Agriculture Jihad, Deputy of Planning and Economics, Bureau of Statistics and Information Technology.
- Ahlawat, I., Ali, M., and Shivkumar, B. 2003. Cropping systems research in chickpea. Chickpea research in India (Eds Masood Ali, Shiv Kumar and NB Singh). Indian Institute of Pulses Research, Kanpur, India. 113-119.
- Akram ghaderi, F., and Soltani, A. 2007. 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.
- Amiri, S.r. 2018. Determining the optimum sowing date of chickpea in Kermanshah province using modeling approach. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(32): 130-141. (In Persian).
- Apata, T. G., Samuel, K. D., and Adeola, A. O. 2009. August. Analysis of climate change perception and adaptation among arable food crop farmers in South Western Nigeria. In Contributed paper prepared for presentation at the international association of agricultural economists' 2009 conference, Beijing, China, August 16 (Vol. 22).
- 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).
- Basso, B., and Ritchie, J. T. 2018. Evapotranspiration in high-yielding maize and under increased vapor pressure deficit in the US Midwest Agriculture Environment. *Letter*. 3:170039.
- Corobov, R. 2002. Estimation of climate change impacts crop production in the Republic of Moldova. *GeoJournal*. 57: 195-202.
- 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. *Journal of Water and Soil*, 31(4): 1015-1030. (In Persian).
- Donnelly, A., Jones, M.B., Burke, J.I., and Schnieders, B. 2000. Elevated CO₂ provides protection from O₃ induced photosynthetic damage and chlorophyll loss in flag leaves of spring wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 80: 159-168.
- Easterling, W. E. 2007. From the Cover: Climate Change and Food Security Special Feature: Climate change and the adequacy of food and timber in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104(50), 19679.
- Fulco, L., and Senthold, A. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agricultural Systems*. 90: 159-179.
- Gholipoor, M., and Soltani, A. 2009. Future climate impacts on chickpea in Iran and ICARDA. *Research Journal of Environmental Sciences*. 3: 16-28.
- Hajarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., and Sayyedi, F. 2012. Simulating of climate change on yield of chickpea, The Fourth Iranian Pluse Crops Symposium. Arak, Iran. (In Persian).

- Hatfield, J. L., and Dold, C. 2019. Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a changing Climate. *Frontiers in Plant Science*. PP: 61-74.
- Hatfield, J. L., Wright-Morton, L., and Hall, B. 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 Thornton, P.K. 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., Mir-Mahmoodi, T., and Mirab Yeganeh, S. 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).
- Kimbal, B.A., Kobayashi, K., and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy*. 77: 293–368.
- Koocheki A., Nassiri, M., and Sharifi, HR. 2001. A simulation study for growth, phenology and yield of wheat cultivars under the doubled CO₂ concentration in Mashhad conditons. *Biaban*, 6: 117-127. (In Persian).
- Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H., and Ghorbani, R. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Climate Research*. 247-253. (In Persian).
- Kumar, J., and Abbo, S. 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. *Advances in Agronomy*. 72, 107–138.
- Manderscheid, R., and Weigel, H.J. 2007. Drought stress effects on wheat are mitigated by atmospheric CO₂ enrichment. *Agronomy for Sustainable Development*. 27: 79-87.
- 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., Jatzcak, 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 Züst, A. N. A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*. 12: 1969-1976.
- Parhizkari, A. 2019. Evaluate the Effects of Climate Change Impertinence on Agricultural Production and Farmer's Income Situation in Down Lands of Taleghan Dam. *Agricultural Economics Research*, 9(4): 125-152. (In Persian).
- Parhizkari, A., Mahmoodi, A., and Shokat Fadaee, M. 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., 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, pp. 76.
- Pezeshkpoor, P., Nezami, A., Sabaghpour, S.H., and Ahmadvand, G. 2011. Goodness of autumn cultivation rather than spring cultivation of chickpea in Lorestan Province. *The 4th Iranian Conference of Pulse Crops*. Arak, Iran. 5 p. (In Persian).

- Qorani, Y., Deihimfard, R., Nouri, O., and Amiri, S.R. 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).
- Soleymani nejad, S., Dourandish, A., Sabouhi sabouni, M., and 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., and Gholipoor, M. 2006. Simulating and impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Vol 13(2): 69-79. (In Persian).
- Soltani, A., and Sinclair, T. R. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield: Cabi. PP: 340
- Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012b. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *European Journal of Agronomy*. 38: 22–31.
- Soltani, A., Torabi, B., and Zarei, H. 2005. Modeling crop yield using a modified harvest index-based approach: application in chickpea. *Field Crops Research*. 91: 273-285.
- Wheeler, TR., Craufurd, P., Ellis, R., Porter, J., and Vara Prasad, PV. 2000. Temperature variability and yield of annual crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 82: 159–167.

Simulation of climate change effects on chickpea production under rainfed and irrigated conditions in gonbad

Ali Rahemi Karizaki¹, Korosh Sanaie¹, Nabi Khaliliaqdam^{*2}

1- *PhD student, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University.*

2- *Dept. of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.*

Abstract

The purpose of this study was to identify the effects of climate change on Production and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Gonbad city in order to adapt and improve yield for future conditions. In this study scenarios of increasing temperature by 2, 4 and 6°C, increasing CO₂ concentration by twice and reducing rainfall by two percent alone and combined with each other on December 6, January 5 and February 4, planting dates for rainy and irrigated conditions rather than base period(1993-2017). Using SSM-iLegume-Chickpea simulation model were investigated. The results showed that increasing the temperature alone in future climatic conditions will significantly decrease chickpea growth, which leads to premature and non-contact with end-season drought stress and yield increase about 23.9 % in dryland conditions. However, under irrigated conditions, crop yields decrease due to reduced growth period under water limitation conditions. Increasing CO₂ concentration alone due to its effective role in photosynthesis, reduced transpiration and increased water use efficiency increased grain yield in rainfed conditions by 23.9 percent and 12.3 percent under water conditions, but under combined effects scenarios, in dryland conditions increasing of temperature caused doubly production of grain, but under irrigated conditions, increasing of temperature concluded increase in production due to increased CO₂ concentration. Comparison of planting dates also showed that December planting date had higher yield in both dryland and irrigated conditions compared to January and February.

Keywords: Chickpea, Climate change, Model, Planting date, Temperature