نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 8، شماره 2، تابستان 1395، ص. 181-169

Journal of Agroecology
Vol. 8, No. 2, Summer 2016, p. 169-181

ارزیابی راهکارهای سازگاری نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) به تغییرات اقلیمی آینده در استان زنجان

امیر حجارپور[1*]، نسیم مقدادی[2]، افشین سلطانی[3] و بهنام کامکار[4]

تاریخ دریافت: 1393/03/03
تاریخ پذیرش: 1393/06/26

حجارپور، ا.، مقدادی، ن.، سلطانی، ا.، و کامکار، ب. 1395. ارزیابی راهکارهای سازگاری نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) به تغییرات اقلیمی آینده در استان زنجان. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، 8(2): 181-169.

چکیده

تغییرات بسیار اندک شرایط اقلیمی نسبت به وضع معمول بر توان تولیدی گیاهان زراعی اثرات شگرف خواهد داشت، بنابراین ارزیابی میزان کارایی راه‌های سازگاری به شرایط آینده برای توسعه پایدار یک ناحیه یا منطقه ضروری است. هدف از این مطالعه ارزیابی راهکارهای سازگاری کشت دیم گیاه نخود به شرایط تغییر اقلیم (افزایش چهار درجه سانتی‌گرادی دما، کاهش 10 درصدی بارندگی و افزایش دو برابری دی‌اکسید کربن) در استان زنجان با استفاده از مدل SSM-Chickpea بود. در شرایط اقلیمی آینده، میانگین عملکرد استان به طور متوسط با 38/4 درصد افزایش بـه 1036 کیلـوگرم در هکتار خواهد رسید که اختلاف معنی‌داری با شرایط فعلی (760 کیلوگرم در هکتار) دارد. سه روش مدیریتی (تسریع در کاشت، استفاده از ارقام زودرس و تلفیقی از زودرسی و تسریع در کاشت) جهت سازگاری با تغییرات اقلیمی آینده شبیه‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از ارقام زودرس به همراه تسریع در کاشت در شرایط آینده میانگین عملکرد استان را تا 94/5 درصد نسبت به شرایط فعلی افزایش می‌دهد و به 1452 کیلوگرم در هکتار می‌رساند. 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 افـزایش عملکـرد نخود در شرایط به کارگیری راهکارهای سازگاری می‌باشند. در این شرایط با توجه به کاهش ریسک مخاطرات محیطی در طـی سـال‌هـای مختلـف، پایداری عملکرد تا 28/4 درصد افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: افزایش دی‌اکسیدکربن، کاهش بارندگی، پایداری عملکرد، مدل نخود

مقدمه

در آخرین گزارش هیأت بین‌المللی تغییر اقلیم[5] با شدت بیشـتری بر تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای تأکید شده کـه این تولید گازهای گلخانه‌ای هم خود ناشی از فعالیت‌های انسان است (Seneviratne et al., 2012). وجود عدم قطعیت و تردیـد در مـورد تغییر اقلیم و چگونگی اثر آن بر محصـولات کشـاورزی و وابسـتگی کشورهای در حال توسعه به کشاورزی، بررسی اثـر تغییـر اقلـیم بـر زراعت آبی و دیم گیاهان زراعی را ضروری می‌کند. در طول تاریخ نیز کشاورزان، شیوه‌های زراعی خود را مطابق با تغییرات محیطی تنظیم کرده‌اند، همچنین برای سازگار شدن با تغییرات محیطی از رقم‌هـای جدید استفاده می‌کرده‌اند (CSSA, 2011).

رشد و عملکرد گیاهان زراعی در شرایط اقلیم معمول بـه میـزان زیادی به وسیله شرایط آب و هوایی در طی فصل رشد تعیین می‌شود. حتی تغییرات بسیار اندک شرایط اقلیمی نسبت به وضـع معمـول بـر توان تولیدی گیاهان زراعی اثرات شگرف خواهد داشت (Mall et al., 2004). بنابراین در آینده پیش‌بینی مقدار و الگوی بارش و عملکرد از اهمیـت بیشـتری نسـبت بـه شـرایط فعلـی برخـوردار خواهنـد بـود

1، 2، 3 و 4- به ترتیب دانشجوی دکتری اکولوژی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشـد اگرواکولوژی، استاد و دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعـی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: ahajarpoor@gau.ac.ir)

5- Intergovernmental panel on climate change

(Ludwig & Asseng, 2006).

اظهار شده است که تغییر اقلیم علاوه بر تأثیر بر روی تولید محصولات کشاورزی، با تأثیر بر منابع آب و میزان بارش، بر پایداری تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک اثر منفی بر جای خواهد گذاشت (Fuhrer, 2003) و باعث می‌شود که تعداد سال‌های با عملکرد پایین افزایش یابد (Ludwig & Asseng, 2006). از این‌رو، شناخت نوسان‌های زمانی و مکانی پارامترهای هواشناسی (نظیر دما، بارش، رطوبت نسبی و نظایر آن) و تأثیر آن بر بوم‌نظام‌های کشاورزی جهت مدیریت منابع آبی و تولیدات کشاورزی و اتخاذ راهبردهای مناسب بسیار ضروری می‌باشد (Fuhrer, 2003). زرعکانی و همکاران (Zarakani et al., 2014) طی مطالعه‌ای روی اثر تغییر اقلیم بر اقتصاد گندم دیم (مطالعه موردی خراسان شمالی) نشان دادند که رابطه معنی‌داری بین لگاریتم پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی سالانه با عملکرد گندم دیم مشاهده شد.

علاوه بر اهمیت نخود (*Cicer arietinum* L.) به عنوان یک منبع غذایی مهم برای تغذیه انسان و دام، این گیاه می‌تواند در حاصلخیزی خاک، به ویژه در مناطق خشک مؤثر باشد. به همین دلیل از اجزای مهم الگوهای کشت و عامل افزایش پایداری در نظام‌های تولیدی کشاورزی به شمار می‌رود (Soltani et al., 2006). با توجه به این‌که این گیاه نسبت به سایر حبوبات سازگاری بیشتری با شرایط اقلیمی کشور دارد و می‌تواند بخشی از نیازهای پروتئینی کشور را تأمین کند، باید بیشتر مورد توجه کشاورزان و مسئولان کشور قرار گیرد.

استان زنجان که در قسمت مرکزی و شمال‌غربی کشور، واقع شده است دارای اوضاع جوی و شرایط اقلیمی بسیار متغیر بر حسب پستی و بلندی‌های منطقه است. این استان دارای 466168 هکتار زمین زراعی می‌باشد که 7015 هکتار آن زیر کشت نخود دیم با میانگین عملکرد 366 کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Agricultural statistic, 2010).

اثرات تغییر اقلیم بر تولید نخود دیم در استان زنجان در مطالعات دیگری مورد بررسی قرار گرفته است (Meghdadi, 2012; Meghdadi et al., 2014)، اما راهکارهای سازگاری به تغیرات اقلیمی آینده و ارزیابی میزان کارایی هر یک از این راهکارها در استفاده از شرایط جدید اقلیمی در آینده برای توسعه پایدار یک ناحیه یا منطقه ضروری است (Luo et al., 2009). این راهکارها شامل ارقام جدید، تغییر در تاریخ کاشت، ایجاد تناوب‌های زراعی جدید، تغییر در تعداد سال‌های آیش جهت ذخیره‌سازی آب در خاک و همچنین معرفی گیاهان جایگزین و یا جدید در یک منطقه می‌باشد (White et al., 2011).

تاریخ کاشت به عنوان یک راهکار ساده و کم‌هزینه در مطالعات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است (White et al., 2011) که می‌تواند راه‌حلی برای سازگاری با افزایش دما در آینده باشد. همچنین تحت شرایط گرم‌تر آینده ممکن است به گیاهانی با طول دوره رشدی متفاوت از آن‌چه در حال حاضر کشت می‌شود، نیاز باشد (Soltani & Sinclair, 2012b).

بنابراین هدف از این مطالعه تکمیل مطالعات قبلی و ارزیابی راهکارهای سازگاری به شرایط تغییر اقلیم در آینده و تولید نقشه‌های عملکرد شبیه‌سازی شده برای تولید نخود دیم تحت شرایط آب و هوایی استان زنجان بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این ارزیابی در استان زنجان در شهرستان‌های زنجان، آبهر، خدابنده، خرمدره، ماهنشان، گرماب و خیرآباد انجام شد. اطلاعات ایستگاه‌های مستقر در این شهرستان‌ها در جدول 1 آورده شده است. این منطقه بر حسب پستی و بلندی‌های آن دارای شرایط جوی و اقلیمی متغیری است (شکل 1)، اما با توجه به زمستان‌های سرد این منطقه کشت نخود به طور معمول به صورت بهاره انجام می‌گیرد.

مدل مورد استفاده

برای شبیه‌سازی اثرات تغییرات اقلیم بر گیاه نخود از مدل SSM-Chickpea (Soltani & Sinclair, 2012a) استفاده شد. این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، توزیع ماده خشک، موازنه نیتروژن گیاه، عملکرد و موازنه آب خاک را دارد (Soltani & Sinclair, 2011; Soltani & Sinclair, 2012a; Vadez et al., 2013). پاسخ فرآیندهای گیاهی به عوامل محیطی مانند تابش خورشیدی، فتوپریود، دما، نیتروژن و آب قابل دسترس و تفاوت‌های ژنتیکی ارقام در مدل در نظر گرفته شده است. مدل، شبیه‌سازی را به صورت روزانه انجام می‌دهد و از اطلاعات قابل دسترس آب و هوا و خاک استفاده می‌کند. سینکلر و سلطانی (Soltani & Sinclair, 2011).

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان زنجان و تعداد سال‌های شبیه‌سازی شده

Table 1- Features of synoptic meteorological stations in Zanjan province and simulated years number

ایستگاه Station	عرض (شمالی) (درجه) Latitude (N) (degree)	طول (شرقی) (درجه) Longitude (E) (degree)	ارتفاع (متر) Elevation (m)	دوره زمانی مبنا (سال) Base period (year)	تعداد سال‌های شبیه‌سازی شده Number of Simulated years
آببر Abbar	36.56	48.58	1300	1999-2011	12
گرماب Garmab	36.7	48.35	1887	1994-2011	17
خیرآباد Kheirabad	36.11	49.11	1575	1986-2011	25
خدابنده Khodabande	36.46	47.4	620	1997-2011	14
خرمدره Khoramdare	36.41	48.29	1663	1961-2011	51
ماهنشان Mahneshan	36.41	48.35	1870	2000-2011	11
زنجان Zanjan	36.08	48.13	1540	1996-2011	15

با استفاده از داده‌های مستقل که از آزمایشات مزرعه‌ای در محدوده وسیعی از شرایط محیطی به دست آمده بود، و با مقایسه پیش‌بینی‌های مدل با واقعیت، مدل را بسیار مفید و دارای عمومیت[1] در شرایط مختلف محیطی معرفی کردند.

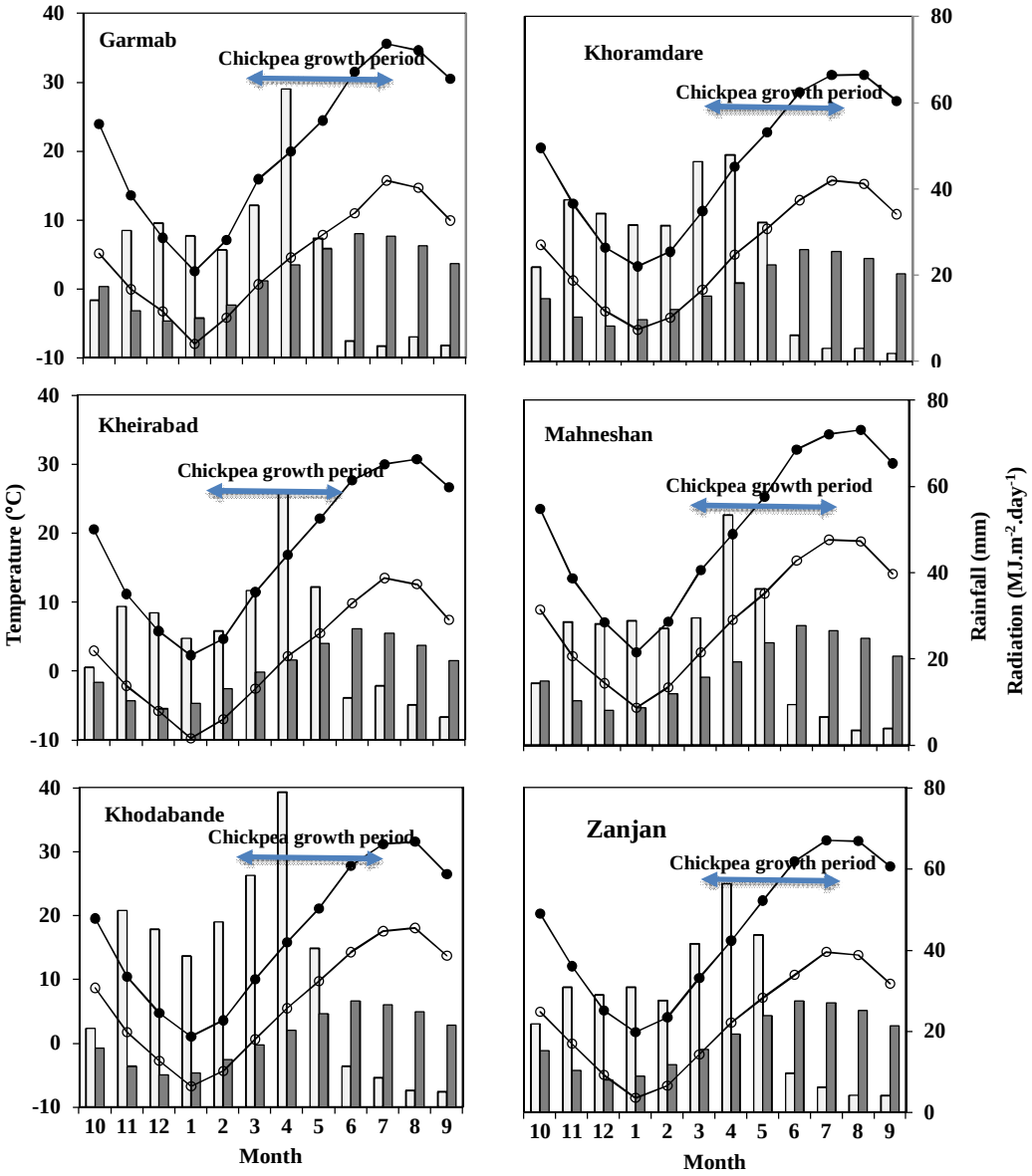
نتایج ایشان نشان داد که در اغلب موارد، عملکرد دانه شبیه‌سازی شده مشابه با عملکرد مشاهده شده (محدوده‌ای بین 20 تا 379 کیلوگرم در هکتار) است. جذر میانگین مربعات خطا[2] (RMSE) برای مقایسات ایشان برابر 26 کیلوگرم در هکتار (15 درصد میانگین عملکرد اندازه‌گیری شده) بود. ایشان پارامترهای مورد استفاده در مدل را در محدوده وسیعی از شرایط محیطی تقریباً ثابت دانستند. وادز و همکاران (Vadez et al., 2013) نیز نتایج مشابهی را برای شرایط هند با عرض‌های جغرافیایی متفاوت تجربه کردند.

برای بررسی واکنش مدل به افزایش دی‌اکسیدکربن نیاز به اعمال تغییراتی در آن وجود دارد (Soltani & Sinclair, 2012b)؛ افزایش دی‌اکسیدکربن به طور مستقیم دو پارامتر مدل یعنی کارایی استفاده از تشعشع و ضریب کارایی تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای اعمال این تغییرات و با توجه به منابع موجود، کارایی استفاده از تشعشع به میزان 23 درصد افزایش داده شد که اساس آن گزارش سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2007) مبنی بر افزایش 23 درصدی کارایی استفاده از تشعشع در اثر دو برابر شدن دی‌اکسیدکربن از 350 به 700 میکرو مول بر مول بود. برای تغییر ضریب کارایی تعرق به این علت که بر روی نخود مشاهدات مستقیمی وجود نداشت از آزمایشات انجام شده بر روی گندم (*Triticum aestivum* L.) (Asseng et al., 2004) استفاده و کارایی تعرق به میزان 37 درصد افزایش داده شد.

شبیه‌سازی‌ها

مدل برای شرایط دیم و تحت سناریوهای مختلف برای هر منطقه اجرا شد. اثر غیر مستقیم افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن (تغییر در دما و بارندگی)، با تغییرات اعمال شده در داده‌های هواشناسی، خروجی‌های مدل را تحت تأثیر قرار داد؛ اثر مستقیم آن نیز با تغییر دو پارامتر مدل یعنی کارایی استفاده از تشعشع و ضریب کارایی تعرق در مدل اعمال شد. تاریخ کاشت برای تمام سناریوها و نقاط 15 فروردین در نظر گرفته شد که تاریخ کاشت مرسوم منطقه است. تعداد سال‌های شبیه‌سازی با توجه به آمار هواشناسی موجود برای هر ایستگاه (جدول 1) تعیین شد.

1- Generality
2- Root mean square error



شکل 1- میانگین ماهانه حداقل (دایره‌های روشن) و حداکثر دما (دایره‌های تاریک)، بارندگی (ستون‌های روشن) و تشعشع خورشیدی (ستون‌های تاریک) ایستگاه‌های سینوپتیک استان زنجان بر اساس دوره زمانی مبنا

Fig. 1- Long-term monthly mean of maximum (filled circles) and minimum (open circles) temperature, monthly total rainfall (light bars) and radiation (dark bars) in synoptic meteorological stations of Zanjan province

ماه‌ها بر اساس میلادی و علامت پیکان نشان‌دهنده دوره رشد نخود در منطقه است.

Note that x-axis starts with November (month 10) and arrows indicate the growing period of chickpea.

مقدار آب قابل دسترس خاک در هنگام کاشت در حد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد و از پارامترهای رقم جم (Soltani & Sinclair, 2011) در مدل استفاده شد. تراکم بوته در تمامی نقاط برای شرایط دیم 30 بوته در مترمربع، نوع خاک مناطق از نوع لوم-شنی با عمق 90 سانتی‌متر و کسر حجمی آب قابل دسترس 0/13 سانتی‌متر بر سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. مقدار نیتروژن خاک هم

که در اول فصل قبل از فعال شدن تثبیت زیستی نیتروژن قابل جذب است، سه گرم در مترمربع در نظر گرفته شد.

در این مطالعه دو سناریوی شرایط فعلی[1] (Cur) و شرایط تغییر اقلیم[2] (CC) به عنوان شاهد شبیه‌سازی شدند. شرایط فعلی با توجه به داده‌های هواشناسی بلندمدت هر ایستگاه و شرایط تغییر اقلیم که پیش‌بینی می‌شود در سال 2100 میلادی اتفاق بیافتد (Seneviratne et al., 2012)، با افزایش چهار درجه سانتی‌گرادی دما، کاهش 10 درصدی بارندگی و افزایش دو برابری دی‌اکسیدکربن شبیه‌سازی شدند. همچنین سه راهکار سازگاری (تسریع در کاشت، استفاده از ارقام زودرس و تلفیقی از زودرسی و تسریع در کاشت) شبیه‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

تسریع در کاشت[3] (es): در مطالعات مختلف تغییر تاریخ کاشت به عنوان یک راهکار ساده و کم‌هزینه مورد تأکید قرار گرفته است (Van Ittersum et al., 2003; Luo et al., 2009)؛ بنابراین تغییر در تاریخ کاشت (15 روز تسریع در کاشت) در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت.

استفاده از ارقام زودرس[4] (ec): برای غلبه بر شرایط خشک‌تر در آینده احتمالاً به ارقام زودرس‌تر احتیاج باشد (Luo et al., 2009). بنابراین راهکار دیگری که برای سازگاری به کار گرفته شد، کاهش 20 درصدی روز بیولوژیک مورد نیاز از سبز شدن تا گلدهی بود. یک روز بیولوژیکی برابر با یک روز تقویمی است که در آن فتوپریود، دما و آب خاک در حد مطلوب باشد (Soltani & Sinclair, 2011). کاهش روز بیولوژیک مورد نیاز برای مراحل نموی مختلف ساده‌ترین راه برای شبیه‌سازی ارقامی با سرعت رشدی سریع‌تر است (Hajarpoor et al., 2014b)، که این ارقام باید از طریق بهبود ژنتیکی حاصل شوند. همچنین بیان این نکته ضروری است که در این مطالعه ارقام دیررس نیز مورد بررسی قرار گرفتند، اما به این علت که موجب کاهش عملکرد شد از بحث راجع به آن صرف‌نظر شد.

تلفیق زودرسی و تسریع در کاشت (ec+es): سومین شیوه سازگاری که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت، برهمکنش اثر ترکیبی زودرسی و تسریع در کاشت بود.

تجزیه واریانس در برنامه SAS 9.3 به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد که در آن سال‌ها بلوک و شهرستان‌ها تیمار در نظر گرفته شدند (Soltani, 2006). میانگین عملکرد مربوط به روش‌های مدیریتی مختلف سازگاری به همراه شرایط فعلی و تغییر اقلیم با استفاده از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار[5] (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تغییر اقلیم

میانگین عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در شرایط فعلی برای استان 760 کیلوگرم در هکتار بود که گرماب و خدابنده به ترتیب با 490 و 1151 کیلوگرم در هکتار حداقل و حداکثر عملکرد را دارند.

در شرایط اقلیمی آینده (CC) و در شرایط استفاده از همان رقم و تاریخ کاشت، میانگین عملکرد استان به طور متوسط با 38/4 درصد افزایش به 1036 کیلوگرم در هکتار خواهد رسید. میزان عملکرد در این شرایط به جز شهرستان آبر در سایر شهرستان‌ها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با شرایط فعلی داشت (جدول 2). در این شرایط گرماب بیشترین درصد افزایش را داشته و میانگین عملکرد در این شهرستان با 63/4 درصد افزایش به 801 کیلوگرم در هکتار رسیده است. حداقل تغییرات عملکرد نخود در شهرستان آبر با 16/2 درصد افزایش خواهد بود و عملکرد در این شهرستان به 847 کیلوگرم در هکتار خواهد رسید. قابل ذکر است که خدابنده با 1474 کیلوگرم در هکتار بیشترین تولید را دارا خواهد بود (جدول 2). دلیل افزایش عملکرد نسبت به شرایط حاضر، تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر افزایش فتوسنتز و کاهش تعرق است (Meghdadi et al., 2014)؛ همچنین افزایش درجه حرارت، علاوه بر تعدیل دماهای پایین در هنگام گلدهی (Clarke & Siddique, 2004)، باعث کاهش طول دوره رشدی گیاه شده و احتمال برخورد گیاه با تنش خشکی انتهای فصل کاهش خواهد یافت (Hajarpoor et al., 2014a) که مجموع این عوامل می‌تواند به افزایش عملکرد نخود منجر شود. قلی‌پور و سلطانی (Gholipoor & Soltani, 2009) نیز با شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم و بررسی تولید نخود در ایکاردا، سوریه و پنج نقطه کشور، کاهش عملکرد نخود آبی و افزایش تولید نخود دیم را در تمامی این نقاط پیش‌بینی کردند.

1- Current
2- Climate change
3- Early sowing
4- Earlier maturity cultivars
5- Least significant difference

جدول ۲- مقایسه عملکرد نخود دیم رقم جم تحت راهکارهای سازگاری مختلف در استان زنجان در مقایسه با شرایط فعلی (Cur) و شرایط اقلیمی محتمل (CC) در سال ۲۱۰۰

Table 2- Yield comparison between rainfed chickpea Var. Jam based on the various adaptation strategies in the current (Cur) and also possible climatic condition (CC) in 2100 for Zanjan province

ایستگاه Station	Cur	CC		CC+es			CC+ec			CC+es+ec		
	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield ($kg.ha^{-1}$)	تغییر ۱ (درصد) Change1 (%)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield ($kg.ha^{-1}$)	تغییر ۱ (درصد) Change 1 (%)	تغییر ۲ (درصد) Change 2 (%)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield ($kg.ha^{-1}$)	تغییر ۱ (درصد) Change 1 (%)	تغییر ۲ (درصد) Change 2 (%)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield ($kg.ha^{-1}$)	تغییر ۱ (درصد) Change 1 (%)	تغییر ۲ (درصد) Change 2 (%)
آببر Abbar	729^{d*}	847^{d}	16.2	1166^{b}	59.9	37.6	1002^{c}	37.5	18.3	1385^{a}	90	63.5
گرماب Garmab	490^{e}	801^{b}	63.4	880^{ab}	79.5	9.9	1026^{a}	109.2	28.1	1048^{a}	113.9	30.9
خیرآباد Kheirabad	726^{d}	1023^{c}	40.9	1152^{bc}	58.7	12.6	1220^{ab}	68	19.2	1397^{a}	92.5	36.6
خدابنده Khodabande	1151^{d}	1474^{c}	28.1	1732^{b}	50.5	17.5	1566^{c}	36	6.2	1870^{a}	62.4	26.8
خرمدره Khoramdare	807^{e}	1089^{d}	35.1	1413^{b}	75.1	29.6	1244^{c}	54.2	14.2	1561^{a}	93.6	43.3
ماهنشان Mahneshan	722^{d}	978^{c}	35.7	1263^{b}	75	29	1196^{b}	65.8	22.2	1410^{a}	95.4	44
زنجان Zanjan	699^{d}	1043^{c}	49.3	1273^{b}	82.3	22.1	1233^{a}	76.5	18.2	1491^{a}	113.5	43
میانگین Average	760	1037	38.4	1268	68.7	22.6	1212	63.9	18.1	1452	94.5	41.2

سناریوهای سازگاری شامل تسریع در کاشت (CC+es)، استفاده از رقم زودرس (CC+ec) و تلفیقی از تسریع در کاشت و زودرسی در شرایط آینده (CC+es+ec) می‌باشند.

Adaptation scenarios included by earlier sowing (CC+es), earlier maturity and (CC+es) a combination of both earlier sowing and earlier maturity (CC+es+ec).

* در هر ردیف، میانگین‌های عملکردی که حداقل در یک حرف اشتراک دارند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار ندارند.

* The numbers with different letters indicate significant differences at 5% level of probability in each column.

درصد تغییر ۱، اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده با شرایط فعلی (Cur) و درصد تغییر ۲، اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده با شرایط تغییر اقلیم (CC) را بیان می‌کند.

Change 1, is the percent of differences between simulated yields with current situation and change 2, is the percent of differences between simulated yields with climate change situation.

جدول ۳- مقایسه ضریب تغییرات (CV) عملکرد در سناریوهای سازگاری نخود دیم رقم جم تحت سناریوی تسریع در کاشت در شرایط آینده (CC+es)، استفاده از رقم زودرس‌تر (CC+ec)، تلفیقی از تسریع در کاشت و زورسی (CC+es+ec) با شرایط اقلیمی فعلی (Cur) و شرایط تغییر اقلیم (CC) در استان زنجان

Table 3- Comparison of coefficient variation (CV) of yield between rainfed chickpea Var. Jam based on the various adaptation strategies included by earlier sowing (CC+es), earlier (CC+ec) maturity and a combination of both earlier sowing and earlier maturity (CC+es+ec) in the current (Cur) and also possible climatic condition (CC) in Zanjan Province

ایستگاه Station	Cur	CC		CC+es			CC+ec			CC+es+ec		
	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	تغییر ۱ (درصد) Change 1 (%)	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	تغییر ۱ (درصد) Change 1 (%)	تغییر ۲ (درصد) Change 2 (%)	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	تغییر ۱ (درصد) Change 1 (%)	تغییر ۲ (درصد) Change 2 (%)	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	تغییر (درصد) Change 1 (%)	تغییر ۲ (درصد) Change 2 (%)
آببر Abbar	53.9	55.5	3	49.6	-8	-10.6	48.8	-9.5	-12.1	40.5	-24.9	-27
گرماب Garmab	47.5	46.9	-1.3	31.3	-34.1	-33.3	38.2	-19.6	-18.6	27.7	-41.7	-40.9
خیرآباد Kheirabad	37.3	37.4	0.2	34	-8.9	-9.1	31.7	-15.1	-15.2	31.2	-16.4	-16.6
خدابنده Khodabande	48.2	42.8	-11.2	34.7	-28	-18.9	31.3	-35.1	-26.9	25.1	-47.9	-41.4
خرمدره Khoramdare	27.9	33.1	18.6	30.6	9.7	-7.6	30.5	9.3	-7.9	26.7	-4.3	-19.3
ماهنشان Mahneshan	39	39	0	30.4	-22.1	-22.1	25.9	-33.6	-33.6	26.4	-32.3	-32.3
زنجان Zanjan	34.4	41.2	19.8	36.9	7.3	-10.4	34.4	0	-16.5	32.3	-6.1	-21.6
میانگین Average	41.2	42.3	4.2	35.4	-12	-16	34.4	-14.8	-18.7	30	-24.8	-28.4

درصد تغییر ۱، اختلاف بین عملکرد مشاهده شده با شرایط فعلی (Cur) و درصد تغییر ۲، اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده با شرایط تغییر اقلیم (CC) را بیان می‌کند.

Change 1, is the percent of differences between simulated yields with current (Cur) situation and change 2, is the percent of differences between simulated yields with climate change (CC) situation.

تسریع در کاشت

میانگین عملکرد نخود در شرایط اقلیمی آینده زمانی که کاشت 15 روز زودتر انجام شود، به طور متوسط برابر 1268 کیلوگرم در هکتار برآورد شد که نسبت به تاریخ کاشت معمول در شرایط تغییر اقلیم، 22/6 درصد و نسبت به شرایط فعلی، 68/7 درصد افزایش خواهد یافت. دامنه عملکرد شهرستان‌ها از 880 کیلوگرم در هکتار در گرماب تا 1732 کیلوگرم در هکتار در خدابنده متغییر بود (جدول 2). حداقل افزایش عملکرد نسبت به شرایط فعلی در خدابنده (50/5 درصد) و نسبت یه شرایط تغییر اقلیم در گرماب (9/9 درصد) و حداکثر آن نسبت به شرایط فعلی در زنجان (82/3 درصد) و نسبت به شرایط تغییر اقلیم در آببر (59/9 درصد) پیش‌بینی می‌شود. با توجه به این نکته که محدودیت کشت زود هنگام در بهار به علت بارندگی و یخ‌زدگی زمین در آینده کاهش خواهد یافت، بنابراین به نظر می‌رسد که تسریع در کاشت یک راهکار مؤثر سازگاری جهت کسب منفعت از شرایط تغییریافته اقلیمی باشد (Luo et al., 2009). افزایش عملکرد از طریق تغییر تاریخ کاشت به علت تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد است که در اثر تغییر اقلیم جا به جا شده است. در این شرایط اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد به ویژه در طول دوره پر شدن دانه که باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود، کاهش خواهد یافت (Hajarpoor et al., 2013)؛ همچنین به دلیل وجود دماهای پایین‌تر در طی مراحل رشدی گیاه، کارایی تعرق افزایش خواهد یافت (Soltani & Faraji, 2006). فرار از تنش خشکی انتهای فصل در شرایط تسریع در کاشت نیز از دیگر دلایل افزایش عملکرد خواهد بود (Hajarpoor et al., 2014b).

لازم به ذکر است که تحت این شرایط افزایش عملکرد همراه با افزایش 12 درصدی پایداری عملکرد نسبت یه شرایط فعلی (کاهش ضریب تغییرات عملکرد از 41/2 به 35/4 درصد) و 16 درصدی نسبت به شرایط تغییر اقلیم (کاهش ضریب تغییرات عملکرد از 42/3 به 35/4 درصد) خواهد بود (جدول 3). دلیل افزایش پایداری می‌تواند کاهش خطر وقوع تنش‌های خشکی آخر فصل می‌باشد که باعث کاهش نوسانات عملکرد در سال‌های مختلف شده است.

استفاده از ارقام زودرس

نتایج نشان داد که کاهش 20 درصدی روز بیولوژیک مورد نیاز از سبز شدن تا گلدهی برای شبیه‌سازی رقم زودرس‌تر در شرایط اقلیم آینده به طور متوسط با 18/1 درصد افزایش منجر به عملکرد 1212 کیلوگرم در هکتار شد که نسبت به شرایط فعلی این افزایش 63/9 درصد است (جدول 2). دامنه عملکرد از 1002 تا 1565 کیلوگرم در هکتار در تغییرات دارد (جدول 2) که به ترتیب مربوط به آببر و خدابنده می‌شوند. حداقل افزایش عملکرد نسبت به شرایط فعلی و شرایط تغییر اقلیم در خدابنده به ترتیب با 36 و 6/2 درصد و حداکثر آن در گرماب به ترتیب با 109/2 و 28/1 درصد پیش‌بینی می‌شود.

علی‌رغم این‌که به نظر می‌رسد در شرایط تغییر اقلیم که افزایش دما باعث تسریع رشد و کوتاه شدن مراحل نموی گیاهان می‌شود، به گیاهانی با طول دوره رشد بیشتر (ارقام دیررس) نیاز می‌باشد (Van Ittersum et al., 2003; Torriani et al., 2007)، اما به علت وجود تنش خشکی آخر فصل در مناطق کشت نخود دیم، ارقام با طول دوره رشد رویشی کوتاه‌تر باز هم عملکرد بالاتری خواهند داشت (Soltani & Sinclair, 2012b)، این امر مؤید این نکته است که ارقام رایج فعلی نخود نسبت به شرایط فعلی دیررس‌تر هستند. می‌توان نتیجه گرفت که اصلاح ارقام در جهت زودرسی با کاهش دوره رشد رویشی می‌تواند باعث مصرف کمتر آب در طول دوره رویشی و ذخیره آن جهت استفاده در مراحل زایشی و پر شدن دانه شود. سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2012b) نیز بیان کردند که زودرسی از طریق کاهش روز بیولوژیک از سبز شدن تا گلدهی باعث افزایش عملکرد دانه در شرایط حال و آینده می‌شود.

افزایش عملکرد همراه با افزایش 14/8 درصدی میزان پایداری عملکرد نسبت به شرایط فعلی و 18/7 درصدی نسبت به شرایط تغییر اقلیم هم خواهد بود (جدول 3). دلیل افزایش پایداری عملکرد نیز کاهش احتمال برخورد با دماهای بالا و همچنین وجود رطوبت بیشتر در خاک در طی دوره پر شدن دانه می‌باشد. سینگ و همکاران (Singh et al., 2014) نیز با شبیه‌سازی ارقام جدید نخود به این نتیجه رسیدند که ارقام با طول دوره رشدی بیشتر به علت برخورد با دماهای بالای انتهای فصل و همچنین تقلیل رطوبت خاک در مرحله استقرار و پر شدن دانه‌های آن‌ها، دارای عملکرد پایین‌تری نسبت به ارقام استاندارد فعلی هستند.

برهمکنش تسریع در کاشت و زودرسی

نتایج این بررسی همچنین نشان داد که برهمکنش 15 روز تسریع در کاشت و رقم زودرس‌تر در شرایط آینده باعث افزایش

میانگین عملکرد استان تا 1452 کیلوگرم در هکتار می‌شود که به طور متوسط معادل 94/5 درصد افزایش نسبت بـه شـرایط فعلـی و 41/2 درصد افزایش نسبت به شرایط تغییر اقلـیم اسـت (جـدول 2). دامنـه عملکرد از 1048 کیلوگرم در هکتار در گرماب تـا 1870 کیلـوگرم در هکتار در خدابنده تغییرات داشت (جدول 2). حداقل افـزایش عملکـرد نسبت به شرایط فعلی و شرایط تغییر اقلیم در خدابنده بـه ترتیـب بـا 62/4 و 26/8 درصد و حداکثر آن در گرماب با 113/9 درصد افزایش نسبت به شرایط فعلی و در آببر با 63/5 درصـد افـزایش نسـبت بـه شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی شـد. سـلطانی و سـینکلر (Soltani & Sinclair, 2012b) نیز با بررسی راهکارهای سـازگاری نخـود در دو شهر تبریز و گنبد بیان کردند که استفاده از رقم زودرس‌تر در تلفیق با کشت زود هنگام در شرایط آینده، به عملکردهای بالاتری نسبت بـه استفاده از ارقام و تاریخ کشت‌های معمول منجر خواهد شد.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با استفاده از روش‌های سـازگاری، پایداری عملکرد به طور متوسط 24/8 درصد نسبت به شرایط فعلی و 28/4 درصد نسبت به شرایط تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت (جدول 3). در این شرایط با توجه بـه کـاهش ریسـک مخـاطرات محیطـی (کاهش احتمال برخورد گیاه با دماهای بالا در طی دوره پر شدن دانه، کاهش احتمـال وقـوع تـنش خشـکی انتهـای فصـل و ...) در طـی سال‌های مختلف، پایداری عملکرد افزایش یافته است.

تنش خشکی به مراتب مهمتـرین تـنش محیطـی در کشـاورزی است و تلاش‌های بسیاری در جهت بهبود تولیـد گیاهـان زراعـی بـا وجود محدودیت فراهمی آب صورت گرفته است (Cattivelli et al., 2008). بر اساس مطالعات صـورت گرفتـه بـر روی نخـود، خشـکی انتهای فصل مهمترین عامل محدودکننده عملکـرد در اکثـر منـاطق تولید نخود در کشور می‌باشد (Soltani et al., 2005; Sabaghpour et al., 2006; Soltani et al., 2006; Hajarpoor et al., 2014a; Soltani & Sinclair, 2012b). بنـابراین بـا تسـریع در کاشـت و استفاده از ارقـام زودرس مـی‌تـوان دوره رشـدی گیـاه را بـه بخـش مرطوب‌تر سال انتقال داد. همچنین این عمل باعث تقسیم بهتـر آب موجود بین فازهای رشد رویشی و زایشی خواهد شـد کـه نتیجـه آن افزایش عملکرد است.

نتیجه‌گیری

در شرایط اقلیمی آینده، میانگین عملکرد استان به طور متوسط با 38/4 درصد افزایش به 1036 کیلـوگرم در هکتـار خواهـد رسـید. بـا استفاده از راهکارهای سازگاری می‌توان منفعت بیشتری از این شرایط تغییر یافته اقلیمی کسب کرد به طوری‌که میانگین عملکرد نخـود در شرایط اقلیمی آینده در شرایطی که کاشت 15 روز زودتر انجام شـود، به طور متوسط نسبت به تاریخ کاشت معمول در شرایط حاضر 68/7 درصد افزایش خواهد یافت و عملکرد بـه 1268 کیلـوگرم در هکتـار خواهد رسید. همچنین کاهش 20 درصدی روز بیولوژیک مورد نیاز از سبز شدن تا گلدهی به طور متوسط منجر به عملکرد 1212 کیلوگرم در هکتار شد که نسبت به شرایط فعلی این افزایش 63/9 درصد است. با تلفیق دو روش تسریع در کاشت و رقم زودرس در آینده نسبت بـه استفاده از ارقام و تاریخ کشت‌های فعلی میانگین عملکرد اسـتان بـه 1452کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافـت کـه بـه طـور متوسـط معادل 94/5 درصد افزایش نسبت به شرایط فعلی است. کاهش طول دوره رشدی گیاه و عدم برخورد با دماهای فوق مطلوب در هنگام پـر شدن دانه، توزیع آب بین فاز رویشی و زایشی در اثر کم شـدن دوره رشد رویشی و فرار از تنش خشکی آخر فصل به علت منطبـق شـدن دوره رشدی گیاه با فصل رشد از جمله دلایل افزایش عملکرد نخـود در شرایط به کارگیری راهکارهای سازگاری می‌باشـند. همچنـین در این شرایط و با توجه به دلایل ذکر شده، پایداری عملکـرد تـا 28/4 درصد افزایش خواهـد یافـت کـه علـت آن همـان کـاهش ریسـک مخاطرات محیطی در طی سال‌های مختلف می‌باشد. بنابراین در آینده برنامه‌های اصلاحی و مدیریتی باید در جهت تاریخ‌های کاشت زودتر و استفاده از ارقام با طول دوره رشدی کوتاه‌تر به ویـژه در فـاز رشـد رویشی باشند. در این مطالعه سایر روش‌های مدیریتی مانند حفظ بقایا در سطح خاک و شخم حفاظتی و ... در جهت افزایش و یا حفـظ آب خاک مد نظر قرار نگرفته‌اند. بنابراین توصیه می‌شود در مطالعات آینده برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی، تأثیر این گونه فاکتورها نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

Agricultural Statistic. Volume 1: Crops. 2010. Jihad Ministry of Agriculture. Planning and Economic Affairs, Office of Statistics and Information Technology. (In Persian)

Asseng, S., Jamieson, P.D., Kimball, B., Pinter, P., Sayre, K., Bowden, J.W., and Howden, S.M. 2004. Simulated

wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO_2. Field Crops Research 85: 85-102.

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A., and Stanca, A.M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research 105: 1-14.

Clarke, H.J., and Siddique, K.H.M. 2004. Response of chickpea genotypes to low temperature stress during reproductive development. Field Crops Research 90: 323-334.

CSSA, 2011. Position Statement on Crop Adaptation to Climate Change. Crop Science Society of America, Madison, WI.

Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO_2, ozone, and global climate change. Agriculture, Ecosystems and Environment 97: 1-20.

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. 2014. Potential benefits from adaptation to climate change in chickpea. Agriculture Science Developments 3: 230-236.

Hajarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., and Sayyedi, F. 2014. Simulating climate change impacts on production of chickpea under water-limited conditions. Agriculture Science Developments 3: 209-217.

Hajarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., and Sayyedi, F. 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 with English Summary)

Ludwig, F., and Asseng, S. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. Agricultural Systems 90: 159-179.

Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., and Wang, E. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in south Australia: Analysis of management and breeding strategies. Agriculture, Ecosystems and Environment 129: 261-267.

Mall, R.K., Lal, M., Bhatia, V.S., Rathore, L.S., and Singh, R. 2004. Mitigating climate change impact on soybean productivity in India: a simulation study. Agricultural and Forest Meteorology 121: 113-125.

Meghdadi, N. 2012. Simulating the effect of climate change on chickpea in Zanjan province. MSc thesis. University Agriculture and Natural Resources of Gorgan. (In Persian with English Summary)

Meghdadi, N., Soltani, A., Kamkar, B., and Hajarpoor, A. 2014. Simulating the impact of climate change on production of chickpea in Zanjan province. Electronic Journal of Crop Production. In Press. (In Persian with English Summary)

Sabaghpour, S.H., Mahmodi, A.A., Saeed, A., Kamel, M., and Malhotra, R. 2006. Study on chickpea drought tolerance lines under dryland condition of Iran. Indian Journal of Crop Science 1: 70-73.

Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., and Rahimi, M. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment: An overview of the IPCC SREX report. EGU General Assembly Conference Abstracts p. 12566.

Soltani, A. 2006. Application of SAS in statistical analysis. JDM Press. Mashhad. Iran 182 pp. (In Persian)

Soltani, A., and Faraji, A. 2006. Determine phenology and growth rate of chickpea under rainfed conditions favorable for the dome of Gorgan. Journal of Food Science and Technology 20(7): 49-57.

Soltani, A., Gholipoor, M., and Ghassemi-Golezani, K. 2007. Analysis of temperature and atmospheric CO_2 effects on radiation use efficiency in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Plant Sciences 2: 89-95.

Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: Phenological development. Field Crops Research 99: 1-13.

Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. Field Crops Research 124: 252-260.

Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012a. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI.

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.

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. Climate Research 34: 59-69.

Vadez, V., Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2013. Crop simulation analysis of phenological adaptation of chickpea to different latitudes of India. Field Crops Research 146: 1-9.

Van Ittersum, M.K., Howden, S.M., and Asseng, S. 2003. Sensitivity of productivity and deep drainage of wheat cropping systems in a Mediterranean environment to changes in CO_2, temperature and precipitation. Agriculture, Ecosystems and Environment 97: 255-273.

White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A., and Wall, G.W. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. Field Crops Research 124: 357-368.

Zarakani, F. Kamali, G.A., Chizari, A. 2014. The effect of climate change on the economy of rain fed wheat (a case study in Northern Khorasan). Journal of Agroecology 6(2): 301-310

Journal of Agroecology
Vol. 8, No. 2, Summer 2016, p. 169-181

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 8، شماره 2، تابستان 1395، ص. 181-169

Assessment of the Adaptation Strategiesin Rainfed Chickpea in Response to Future Climate Change in Zanjan Province

A. Hajjarpoor[1*], N. Meghdadi[2], A. Soltani[3] and B. Kamkar[4]

Submitted: 24-05-2014
Accepted: 17-09-2014

Hajjarpoor, 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. Journal of Agroecology 8(2): 169-181.

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is cultivated on alarge scale in arid and semiarid environments. Terminal drought and heat stress, among other abiotic and biotic stresses, are the major constraints of yield in most regions of chickpea production. The study of the effects of climate change could help to develop adaptation strategies to promote and stabilize crop yield. This research was aimed to assess adoption strategies in rainfed chickpea in response to Zanjan province's climate change using a crop simulation model along with providing simulated yield maps using geographical information system (GIS).

Materials and methods

To study the effects of climate change and simulation the adaptation strategies, the model of Soltani and Sinclair (Soltani & Sinclair, 2011) was used. This model simulates phenological development, leaf development and senescence, mass partitioning, plant nitrogen balance, yield formation and soil water balance. For each location, a baseline period of daily weather data was available (Table 1). Investigated scenarios were historical climate (control) and future climate scenarios that included both direct effects of doubling CO_2 (350 to 700 ppm) and its indirect effects (10% reduced rainfall, 4ºC increase in temperature). The crop model was performed for the different years of baseline period for current and future climate under typical management and cultivar and also under three adaptation strategies in the future climate including Management adaptation (M), Genetic adaptation (G) and a combination of both Management and Genetic adaptation (M & G) as described below (Table 2):

Management – In various studies changing the planting dates as the simplest and least-cost adaptation strategy has been emphasized (Luo et al., 2009); hence a shift in planting dates i.e. sowing 15 days in advance was explored in this study to reduce the risk of the late season drought.

Genetics – Changes in genotype have been suggested to be the most promising adaptation option in the world. Earlier maturity cultivars may be needed to match future drier conditions. Thus alternative genotype was a cultivar with 20% lesser of the required biological day from emergence to flowering.

M & G – The third adaptation practice was an attempt to combine both earliness and early sowing date (15 days).

A randomized complete-block design was used for data analysis in which climate condition with considered treatment and years was considered as blocks. When it was necessary, mean comparison was done using a Least Significant Difference (LSD) procedure at 5% level.

Results and discussion

The results showed that in future climatic change, mean yield for Zanjan province will reach to 1036 $kg.ha^{-1}$ with 38.4% increasing which was statistically different compared to current situation (760 $kg.ha^{-1}$). The possibilities for gathering more benefits of grain yield were tested by changing traditional management and genetics of the locations in the future climate which involved three management options as adaptation strategies (Earlier Sowing, Earlier maturity Cultivars and combination of these two options). Applying earlier sowing date in comparison with conventional sowing date, increased mean yield by 67.7% (1268 $kg.ha^{-1}$). In addition, applied earlier maturity cultivar led to 1212 $kg.ha^{-1}$ (63.9% increase in comparison with current cultivar). Results

1, 2, 3 and 4- PhD Student of Ecology, MSc Graduate of Agroecology, Professor and Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: ahajarpoor@gau.ac.ir)

revealed that using earlier maturity cultivars in combination with earlier sowing date will increase mean yield up to 1452 kg.ha^{-1} (94.5% increase),whichwasthe consequence of a shift in growing season to a wetter part of the year and reduced the risk of late season drought stress. Furthermore, breeding for earliness by reducing the vegetative period would save more water to be used for grain filling. Under these circumstances, according to decreased environmental risks, yield sustainability will increase up to 28.4%.

Conclusion

The Results of this study can also be extended to water-limited regions of chickpea producing with similar climatic and edaphic conditions. New varieties should be released with shorter growth periods than current ones and their sowing dates must be advanced if possible. Other management practices such as conservation tillage or keeping residue on the soil surface in order to save and increase soil water content were not included in this study which is suggested to evaluate the effects of these factors on the yield of crops in the future climate change studies.

Keywords: Chickpea model, Doubling CO_2 concentration, Reducing rainfall, Yield stability

References

Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., and Wang, E. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies. Agriculture, Ecosystems and Environment 129: 261-267.

Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. Field Crops Research 124: 252-260.