



نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد هفتم، شماره چهارم، زمستان ۹۳
۱-۲۲
<http://ejcp.gau.ac.ir>



شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در استان زنجان

نسیم مقدادی^۱، افشین سلطانی^۲، بهنام کامکار^۳ و *امیر حجارپور^۴

^{۱،۲،۳،۴} دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آگرواکولوژی، استاد، دانشیار و دانشجوی دکتری اکولوژی

گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۳۰

چکیده

هدف این تحقیق بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) و تولید نقشه‌های عملکرد در شرایط دیم استان زنجان بود. سناریوهای مورد بررسی شامل سناریوی شاهد، که شرایط جاری را شبیه‌سازی کرد و سناریوی تغییر اقلیم شامل اثر مستقیم افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا (از ۳۵۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول) و اثر غیرمستقیم آن (کاهش ۱۰ درصدی بارندگی و افزایش ۴ درجه سانتی‌گرادی دما)، بودند. طبق نتایج این مطالعه، شرایط اقلیمی آینده، به‌طور میانگین در استان زنجان موجب افزایش ۳۳/۴ درصدی تولید نخود نسبت به شرایط فعلی خواهد شد (افزایش از ۷۱۷ به ۹۵۷ کیلوگرم در هکتار) اما پایداری عملکرد در سال‌های مختلف کاهش خواهد یافت (افزایش ۲۱/۲ درصدی ضریب تغییرات). دلیل افزایش عملکرد، اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر فتوسنتز و کاهش تعرق ناشی از آن بود؛ همچنین بررسی نتایج مشخص کرد عاملی که نوسانات تولید در سال‌های مختلف را افزایش می‌دهد، افزایش دما خواهد بود. شهرستان زنجان با افزایش ۴۶/۵ درصدی بیشترین افزایش عملکرد را در شرایط اقلیمی آینده داشت اما این افزایش عملکرد با کاهش ۳۷/۷ درصدی پایداری عملکرد همراه بود. شهرستان خدابنده از لحاظ کمیت تولید در شرایط آینده با عملکرد ۱۳۸۵ کیلوگرم در هکتار همچون شرایط فعلی (۱۳۰۷ کیلوگرم در هکتار) بالاترین عملکرد را خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: افزایش دما، افزایش دی‌اکسید کربن، پایداری عملکرد، سیستم اطلاعات جغرافیایی،

مدل نخود

*مسئول مکاتبه: amiragro65@gmail.com

مقدمه

در آخرین گزارش هیأت بین‌المللی تغییر اقلیم^۱ با شدت بیشتری بر تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای تأکید شده که این تولید گازهای گلخانه‌ای هم خود ناشی از فعالیت‌های انسان است (IPCC، ۲۰۰۷). با ادامه روند گرمایش زمین، سرعت تغییرات محیط احتمالاً بی‌سابقه خواهد بود. تغییر فراوانی و شدت بارندگی‌ها، افزایش دما، خشک‌سالی انواع دیگر مخاطرات آب و هوایی تبعات مورد انتظار تغییر اقلیم هستند که همگی بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی اثر می‌گذارند (هاتفیلد و همکاران، ۲۰۱۱).

یکی از گیاهان زراعی که شرایط آینده زمین می‌تواند کشت و کار آن را دستخوش تغییر کند گیاه نخود است. به‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در مکانیزاسیون، تولید و اصلاح ارقام پرمحصول، هنوز آب و هوا یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد این گیاه می‌باشد (فرجی و سلطانی، ۲۰۰۹). نخود علاوه بر تأمین غذای انسان و دام به دلیل بهبود حاصلخیزی خاک، از اجزای مهم الگوهای کشت و عامل افزایش پایداری در نظام‌های تولیدی کشاورزی به‌شمار می‌رود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). طبق آمار سازمان خوار و بار جهانی (۲۰۱۱) ایران جزء مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده نخود در جهان است. نخود در ایران از لحاظ تولید و سطح زیر کشت، رتبه اول را در میان حبوبات به خود اختصاص داده است (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۱۰). سطح زیر کشت این گیاه در ایران حدود ۷۰۰/۰۰۰ هکتار است که بیش از ۹۵ درصد آن در شرایط دیم کشت می‌شود (صباغ‌پور و همکاران، ۲۰۰۶). به‌نظر می‌رسد با افزایش جمعیت و محدود شدن دسترسی به منابع پروتئین حیوانی، اهمیت این گیاه در آینده بیشتر شود.

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 ۶۶۶/۱۶۸ هکتار زمین زراعی می‌باشد که ۷/۰۱۵ هکتار آن زیر کشت نخود دیم با میانگین عملکرد ۳۶۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۱۰).

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر به دو طریق بر تولیدات کشاورزی اثر می‌گذارد؛ یکی تأثیر مستقیم از طریق افزایش فتوسنتز و کارایی مصرف آب و دیگری تأثیر غیرمستقیم آن از طریق تغییرات

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

دما و بارندگی (کریمپ و همکاران، ۲۰۰۸). اثر مستقیم افزایش این گاز در هوا باعث افزایش غلظت دی‌اکسید کربن 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 (آسنگ و همکاران، ۲۰۰۴). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث بالا بردن تولید بسیاری از محصولات زراعی می‌شود؛ با این حال غلات گرمسیری مهمی مانند ذرت، نیشکر و سورگوم (گیاهان C_4) به‌خوبی به افزایش دی‌اکسید کربن واکنش نشان نمی‌دهند. به‌طور کلی دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن (از ۳۵۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول) باعث افزایش تقریباً ۳۰ درصد در عملکرد گیاهان C_3 و کمتر از ۱۰ درصد در گیاهان C_4 می‌شود (هاتفیلد و همکاران، ۲۰۱۱).

در حال حاضر مدل‌هایی که بر اساس روابط اکوفیزیولوژیکی موجود در گیاهان ساخته شده‌اند، به‌صورت گسترده برای شبیه‌سازی اثرات عوامل محیطی بر محصولات کشاورزی و شناخت راه کارهای سازگاری به‌کار می‌روند. در این‌گونه مطالعات ابتدا آمار هواشناسی سال‌های گذشته مطابق با پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی^۱ (GCM) برای آینده زمانی که غلظت دی‌اکسید کربن افزایش پیدا می‌کند، تغییر داده می‌شوند. سپس واکنش مدل به این آمار تغییر یافته بررسی می‌شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱؛ لودویگ و آسنگ، ۲۰۰۶؛ آبراه و ساواجی، ۲۰۰۶؛ کوچکی و همکاران، ۲۰۰۶؛ قلی‌پور و سلطانی، ۲۰۰۹؛ سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲ ب).

سلطانی و سینکلر (۲۰۱۲ ب) در مطالعه تأثیر تغییر فنولوژی نخود در تبریز و گنبد در شرایط فعلی و شرایط اقلیمی آینده (افزایش ۴ درجه سانتی‌گرادی دما، کاهش ۱۵ درصدی بارش و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به ۷۰۰ میکرومول بر مول) گزارش کردند که اقلیم آینده باعث افزایش تولید نخود خواهد شد. دلیل این امر، یکی اثر مستقیم افزایش دی‌اکسید کربن و دیگری افزایش سرعت نمو و زودرس‌تر شدن نخود در دمای بالاتر و فرار از خشکی انتهای فصل بوده است. قلی‌پور و سلطانی (۲۰۰۹) نیز با شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم و بررسی تولید نخود در ایکاردا و ۵ نقطه کشور، پیش‌بینی کردند که پایداری تولید نخود در اغلب نقاط مورد بررسی افزایش خواهد یافت. ایشان اصلاح ارقام نخود در جهت مقاومت به گرما و از روش‌های زراعی، تاریخ کاشت‌های زودتر را جهت سازگاری با شرایط جدید پیشنهاد کردند.

1- General Circulation Model

نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد هفتم (۴)، ۱۳۹۳

مطالعه اثر تغییر اقلیم به معنی افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن و تغییر در بارندگی بر روی سیستم‌های زراعی می‌تواند به نتایجی جهت دستیابی به عملکردهای پایدار در گیاهان منتهی بشود (قلی‌پور و سلطانی، ۲۰۰۹). تأثیر نهایی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و در ادامه آن تغییر آب و هوا بر گیاهان زراعی کاملاً به شرایط محیطی جاری در محل موردنظر بستگی دارد و ممکن است از محلی به محل دیگر متفاوت باشد (سلطانی و قلی‌پور، ۲۰۰۶)؛ از این‌رو مطالعات منطقه‌ای یا محلی اهمیت خاصی در مباحث تغییر اقلیم دارد، همچنین برای گسترش استراتژی‌های سازگاری و دستیابی به تولید پایدار محصولات، فهمیدن روابط متقابل جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم مانند افزایش دما یا دی‌اکسیدکربن و تغییر در بارندگی‌ها مهم است (لودویگ و آسنگ، ۲۰۰۶). هدف از این مطالعه بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد نخود و نوسانات آن تحت شرایط اقلیمی آینده (زمانی‌که غلظت CO₂ اتمسفر به دو برابر مقدار فعلی برسد)، در شرایط دیم استان زنجان بود. بخش دوم این مطالعه که تاکنون در ایران کار مشابه آن انجام نشده است، تولید نقشه‌های عملکرد شبیه‌سازی شده در استان تحت اقلیم‌های جاری و آینده از طریق رهیافت سیستم اطلاعات جغرافیایی بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این ارزیابی برای شهرستان‌های زنجان، آبیر، خداپنده، خرمدره، ماهنشان، گرماب و خیرآباد از استان زنجان انجام شد (جدول ۱).

این منطقه بر حسب پستی و بلندی‌های آن دارای اوضاع جوی و شرایط اقلیمی متغیر است (جدول ۲)، اما با توجه به زمستان‌های سرد این منطقه کشت نخود به‌طور معمول به‌صورت بهاره صورت می‌گیرد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان زنجان و تعداد سال‌های شبیه‌سازی شده.

ایستگاه	عرض (شمالی) (درجه)	طول (شرقی) (درجه)	ارتفاع (متر)	دوره زمانی مبنا (سال)	تعداد سال شبیه‌سازی شده
آبیر	۳۶/۵۶	۴۸/۵۸	۱۳۰۰	۱۹۹۹-۲۰۱۱	۱۲
خداپنده	۳۶/۷	۴۸/۳۵	۱۸۸۷	۱۹۹۴-۲۰۱۱	۱۷
خرمدره	۳۶/۱۱	۴۹/۱۱	۱۵۷۵	۱۹۸۶-۲۰۱۱	۲۵
ماهنشان	۳۶/۴۶	۴۷/۴	۶۲۰	۱۹۹۷-۲۰۱۱	۱۴
زنجان	۳۶/۴۱	۴۸/۲۹	۱۶۶۳	۱۹۶۱-۲۰۱۱	۵۱
گرماب	۳۶/۴۱	۴۸/۳۵	۱۸۷۰	۲۰۰۰-۲۰۱۱	۱۱
خیرآباد	۳۶/۰۸	۴۸/۱۳	۱۵۴۰	۱۹۹۶-۲۰۱۱	۱۵

نسبیم مقدادی و همکاران

جدول ۲- میانگین آمار توصیفی داده‌های بلندمدت هواشناسی استان زنجان.

ایستگاه	پارامتر	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)	بارندگی تجمعی (میلی‌متر)	متوسط تشعشع (گرم بر مگاژول)
آبیر	۱۱/۶۳	۲۳/۵	۲۴۵	۱۶/۸۶	
گرماب	۴/۸۵	۲۱/۰۸	۲۵۳	۱۹/۳	
خیرآباد	۲/۳۲	۱۷/۶۳	۲۶۳/۳	۱۶/۵۵	
خدابنده	۶/۲۸	۱۶/۸۶	۳۹۰/۵	۱۷/۳۳	
خرمدره	۵/۷۲	۱۸/۶۰	۲۶۸/۶	۱۷/۱۶	
ماه‌نشان	۴/۴۴	۲۱/۳۲	۲۵۴/۴	۱۷/۷۵	
زنجان	۴/۵	۱۸	۲۶۹/۸	۱۷/۹	

مدل مورد استفاده: برای شبیه‌سازی اثرات تغییرات اقلیم بر گیاه نخود از یک مدل شبیه‌سازی ساده نخود (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲ الف) 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 (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱؛ ۲۰۱۲ الف؛ وادز و همکاران، ۲۰۱۲). 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. سلطانی و سینکلر (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های مستقل که از آزمایشات مزرعه‌ای در محدوده وسیعی از شرایط محیطی به دست آمده بود، به آزمون مدل پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که در اغلب موارد، عملکرد دانه‌ی شبیه‌سازی شده مشابه با عملکرد مشاهده شده (محدوده‌ای بین ۲۰ تا ۳۷۹ کیلوگرم در هکتار) است. جذر میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) برای مقایسات ایشان برابر ۲۶ کیلوگرم در هکتار (۱۵ درصد میانگین عملکرد اندازه‌گیری شده) بود.

برای بررسی واکنش مدل به افزایش دی‌اکسید کربن نیاز به اعمال تغییراتی در آن وجود دارد (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲ ب)؛ افزایش دی‌اکسید کربن به‌طور مستقیم دو پارامتر مدل یعنی کارایی استفاده از تشعشع و ضریب کارایی تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای اعمال این تغییرات و با

1- Root Mean Square Error

توجه به منابع موجود، کارایی استفاده از تشعشع به میزان ۲۳ درصد افزایش داده شد که اساس آن گزارش سلطانی و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر افزایش ۲۳ درصدی کارایی استفاده از تشعشع در اثر دو برابر شدن دی‌اکسید کربن از ۳۵۰ به ۷۰۰ میکرومول 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 (آسنگ و همکاران، ۲۰۰۴) استفاده و کارایی تعرق به میزان ۳۷ درصد افزایش داده شد.

سناریوهای تغییر اقلیم: با توجه به این که بین مدل‌های عمومی گردش از لحاظ پیش‌بینی شرایط آینده اختلافات زیادی وجود دارد (لودویگ و آسنگ، ۲۰۰۶؛ وان ایتسام و همکاران، ۲۰۰۳)، همچنین، در حال حاضر هیچ دلیل منطقی برای برتری یک مدل بر دیگری وجود ندارد، برای شبیه‌سازی شرایط تغییر یافته‌ی اقلیمی از پیش‌بینی کریستسن و همکاران (۲۰۰۷) برای منطقه ایران استفاده شد. ایشان محدوده‌ای از تغییرات اقلیمی حاصل از پیش‌بینی ۲۱ مدل گردش عمومی برای سال‌های ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ که دی‌اکسید کربن به میزان دو برابر (۷۰۰ ppm) افزایش خواهد یافت را به‌طور خلاصه مطرح کردند که برای دما به صورت درجه سانتی‌گراد و برای بارندگی به صورت درصد بیان شده است. بنابراین، برای این ارزیابی میانه پیش‌بینی مدل‌های مختلف برای منطقه ایران، در نظر گرفته شد که برای دما افزایش ۴ درجه‌ای و برای بارندگی کاهش ۱۰ درصدی پیش‌بینی شده است.

بنابراین سناریوی تغییر اقلیم (CC) که شامل ترکیبی از افزایش دو برابری دی‌اکسید کربن و ۴ درجه‌ای دما و کاهش ۱۰ درصدی بارندگی بود، شبیه‌سازی شد که پیش‌بینی می‌شود این سناریو در سال ۲۱۰۰ میلادی اتفاق بیفتد. سناریوهای ۴ درجه افزایش دما (T+4) و کاهش ۱۰ درصدی بارندگی (0.9P)، جهت بررسی اثرات غیرمستقیم افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و سناریوی افزایش دو برابری غلظت دی‌اکسید کربن ($2 \times \text{CO}_2$) جهت بررسی تأثیر مستقیم این افزایش، به صورت جداگانه بررسی شدند. همچنین یک سناریو نیز به‌عنوان شاهد (Cur) و با توجه به داده‌های هواشناسی بلندمدت نقاط مورد بررسی در نظر گرفته شد. با اعمال تغییرات ذکر شده (افزایش دما و کاهش بارندگی) در داده‌های واقعی موجود هر ایستگاه، داده‌های هواشناسی برای شرایط آینده تولید شدند. ضرایب اصلاحی برای شرایط افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هم مطابق بخش ۲-۲ در مدل اعمال شد.

شبیه‌سازی‌ها: مدل برای شرایط دیم و تحت سناریوهای مختلف برای هر نقطه اجرا شد. اثر غیر مستقیم افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (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 (بخش ۲-۲) در مدل اعمال شد.

تاریخ کاشت برای تمام سناریوها و نقاط، ۱۵ فروردین در نظر گرفته شد که تاریخ کاشت مرسوم منطقه است. تعداد سال‌های شبیه‌سازی با توجه به آمار هواشناسی موجود برای هر ایستگاه (جدول ۱) تعیین شد. مقدار آب قابل دسترس خاک در هنگام کاشت در حد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد و از پارامترهای رقم جم (سلطانی و سینکالر، ۲۰۱۱) استفاده شد. تراکم بوته در تمامی نقاط برای شرایط ۳۰ بوته در مترمربع، نوع خاک مناطق از نوع لوم شنی با عمق ۹۰ سانتی‌متر و کسر حجمی آب قابل دسترس ۰/۱۳ 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، ۳ گرم در مترمربع در نظر گرفته شد.

تجزیه واریانس در برنامه SAS به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد که در آن سال‌ها بلوک و سناریوها تیمار در نظر گرفته شدند (سلطانی، ۲۰۰۶). میانگین صفات مربوط به سناریوهای تغییر اقلیم هم با استفاده از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

تولید نقشه: برای مشخص کردن تأثیر تغییر اقلیم بر تولید نخود در اراضی دیم استان زنجان ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی استان از سازمان‌های مربوطه تهیه شدند سپس با توجه به محدوده اراضی دیم نقشه‌های عملکرد محدوده استان زنجان با استفاده از روش اسپلاین^۱ (sp) که از روش‌های درون‌یابی مبتنی بر آمار کلاسیک می‌باشد و با توجه به داده‌های عملکرد در شرایط فعلی در نقاط مورد بررسی، درون‌یابی شدند. دقت این روش با استفاده از قرابت میانگین پیکسل‌های توزیع یافته در سطح هر شهرستان با میانگین درازمدت عملکرد واقعی هر شهرستان آزمون شد. اختلاف مقادیر درصد تغییرات عملکرد در سناریوی تغییر اقلیم (CC)، نسبت به شرایط فعلی (Cur) با تابع تفاضل^۲ محاسبه و به شکل نقشه رستری ترسیم شد. در نهایت با استفاده از تابع ادغام^۳ لایه‌های برداری نقشه تفکیک تغییر طبقات عملکرد در شرایط اقلیمی آینده (CC) در مقایسه با شرایط فعلی تهیه شد و مناطقی که تحت

1- Spline
2- Minus
3- Dissolve

تأثیر تغییر اقلیم قرار نگرفته‌اند و یا بیشترین تغییر را داشته‌اند، تفکیک شدند، و لایه‌های کاربری نقشه‌های درصد تغییر عملکرد در سناریوهای مورد بررسی ترسیم شدند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و تغییرات آن: میانگین عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در شرایط فعلی ۷۱۷ کیلوگرم در هکتار است که گرماب و خدابنده به ترتیب با ۵۵۹ و ۱۰۷۵ کیلوگرم در هکتار حداقل و حداکثر عملکرد را دارند. در شرایط اقلیمی آینده (CC)، میانگین عملکرد استان به طور متوسط با ۳۳/۴ درصد افزایش به ۹۵۷ کیلوگرم در هکتار خواهد رسید که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با شرایط فعلی دارد. میانگین عملکرد در زنجان با ۴۶/۵ درصد افزایش به ۹۶۴ کیلوگرم در هکتار و در آبر با ۱۹/۲ درصد افزایش به ۷۸۹ کیلوگرم در هکتار خواهد رسید که به ترتیب حداکثر و حداقل تغییرات را خواهند داشت. قابل ذکر است که خدابنده با ۱۳۸۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین تولید را دارا خواهد بود (جدول ۳). قلی‌پور و سلطانی (۲۰۰۹) نیز با شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم و بررسی تولید نخود در ایکاردا، سوریه و ۵ نقطه کشور، کاهش عملکرد نخود آبی و افزایش تولید نخود دیم را در تمامی این نقاط پیش‌بینی کردند.

عملکرد شبیه‌سازی شده ناشی از اثر غیرمستقیم افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از طریق افزایش دما به طور متوسط باعث کاهش ۲/۳ درصدی عملکرد شد. این اثر با کاهش ۱۳/۱ درصدی عملکرد در آبر معنی‌دار بود اما در سایر شهرستان‌ها تغییر معنی‌داری پیش‌بینی نشد (جدول ۳). کاهش عملکرد می‌تواند به دلیل افزایش دماهای نامطلوب رشد در اثر افزایش دما در کشت‌های بهاره و همچنین کاهش استفاده از منابع محیطی به علت کاهش طول دوره رشد گیاه باشد. اما زودرسی اثرات مثبتی نیز دارد و آن عدم برخورد گیاه با تنش خشکی انتهای فصل است که باعث تعدیل اثرات منفی افزایش دما و عدم معنی‌دار شدن کاهش عملکرد شده است.

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، کاهش ۱۰ درصدی بارندگی ناشی از تغییر اقلیم بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری نخواهد داشت. دلیل این امر می‌تواند مقدار بارش‌های کم در فصل بهار باشد که کاهش ۱۰ درصدی این مقدار تأثیر چندانی بر محتوای آب خاک نگذاشته است. افزایش دی‌اکسید کربن محیط در اثر تغییر اقلیم موجب افزایش ۳۶/۸ درصدی میانگین عملکرد تا ۹۸۱ کیلوگرم در هکتار خواهد شد

نسبیم مقدادی و همکاران

(جدول ۳). دی اکسید کربن یک ترکیب محدودکننده در فتوسنتز به شمار می آید و افزایش غلظت آن می تواند به افزایش فتوسنتز در گیاهان C_3 منجر شود (هاتفیلد و همکاران، ۲۰۱۱)، همچنین افزایش دی اکسید کربن محیط باعث افزایش کارایی تعرق از طریق کاهش هدایت روزنه ای برگ ها می شود (دکاچه و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین به نظر می رسد قسمت عمده افزایش عملکرد در شرایط اقلیمی آینده ای استان زنجان مربوط به اثر مستقیم افزایش غلظت دی اکسید کربن باشد. حجارپور و همکاران (۲۰۱۲) نیز با بررسی دو کشت پاییزه و بهاره نخود، نتیجه گرفتند که عمده افزایش عملکرد در کشت های بهاره مربوط به اثر مستقیم افزایش دی اکسید کربن محیط است.

جدول ۳- عملکرد دانه نخود شبیه سازی شده در شرایط فعلی (Cur) بر حسب کیلوگرم در هکتار و تأثیر افزایش 4 درجه سانتی گراد دما (T+4)، کاهش ۱۰ درصدی بارندگی (0.9P)، دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن هوا ($2 \times CO_2$) و ترکیبی از تمامی حالات (CC) بر عملکرد نخود دیم در استان زنجان.

شهرستان ها	Cur	T+4		0.9P		2xCO2		CC	
		تغییر (درصد)	مقدار	تغییر (درصد)	مقدار	تغییر (درصد)	مقدار	تغییر (درصد)	مقدار
آبیر	۶۶۲ ^c	-۱۳/۱	۶۷۱ ^c	۱/۴	۹۲۳ ^a	۳۹/۴	۷۸۹ ^b	۱۹/۲	۷۸۹ ^b
گرماب	۵۵۹ ^b	۲/۳	۵۷۳ ^b	۲/۵	۸۲۲ ^a	۴۷/۰	۷۸۷ ^a	۴۰/۸	۷۸۷ ^a
خیرآباد	۶۵۷ ^b	-۳/۵	۷۰۹ ^b	۷/۹	۸۷۲ ^a	۳۲/۷	۸۹۶ ^a	۳۶/۴	۸۹۶ ^a
خدابنده	۱۰۷۵ ^b	-۱/۲	۱۰۲۵ ^b	-۴/۷	۱۳۹۶ ^a	۲۹/۹	۱۳۸۵ ^a	۲۸/۸	۱۳۸۵ ^a
خرمدره	۷۲۹ ^b	۰/۵	۷۰۵ ^b	-۳/۳	۹۸۵ ^a	۳۵/۱	۹۶۲ ^a	۳۲/۰	۹۶۲ ^a
ماه نشان	۶۸۲ ^b	-۵/۹	۶۷۴ ^b	-۱/۲	۹۷۲ ^a	۴۲/۵	۹۱۶ ^a	۳۴/۳	۹۱۶ ^a
زنجان	۶۵۸ ^c	۵/۰	۶۷۰ ^c	۱/۸	۸۹۸ ^b	۳۶/۵	۹۶۴ ^a	۴۶/۵	۹۶۴ ^a
میانگین	۷۱۷	-۲/۳	۷۱۸	۰/۱	۹۸۱	۳۶/۸	۹۵۷	۳۳/۴	۹۵۷

* در هر ردیف، میانگین هایی که حداقل در یک حرف اشتراک دارند از لحاظ آماری اختلاف معنی دار ندارند.

بیشترین عملکرد شبیه سازی شده چه در شرایط فعلی و چه در شرایط آینده مربوط به شهرستان خدابنده بود (جدول ۳)، که این عملکرد در سناریوی تغییر اقلیم (CC) ۱۳۸۵ کیلوگرم در هکتار و در شرایط فعلی (Cur) ۱۰۷۵ کیلوگرم در هکتار بود. اما شهرستانی که بیشترین تأثیر را از تغییر اقلیم

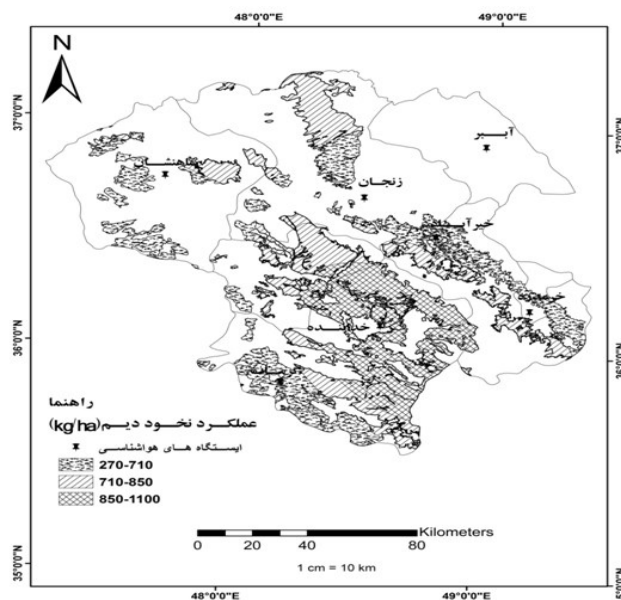
نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد هفتم (۴)، ۱۳۹۳

(CC) پذیرفت شهرستان زنجان بود؛ عملکرد این شهرستان $46/5$ درصد افزایش یافت و از 658 به 964 کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۳).

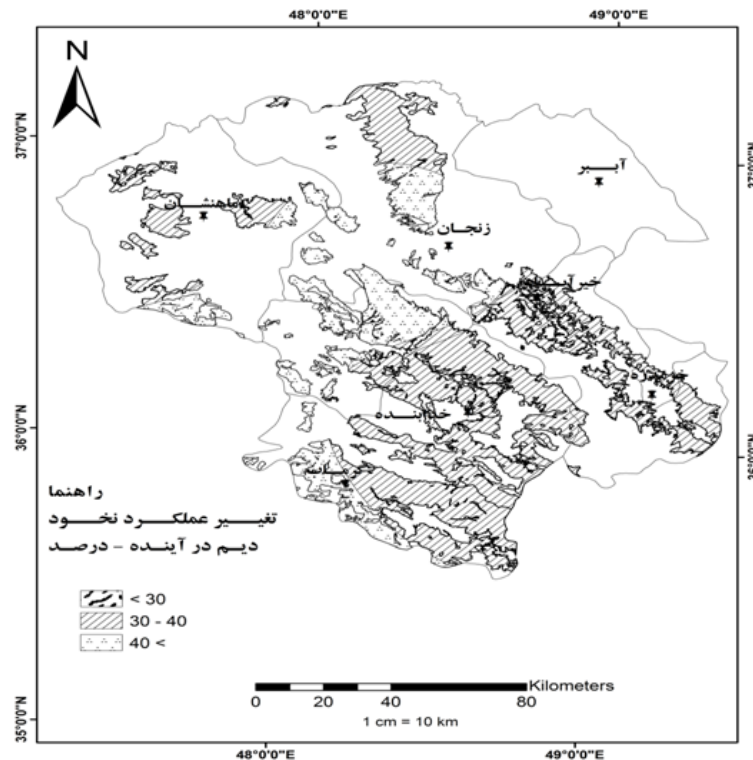
برای مشخص کردن تأثیر تغییر اقلیم بر تولید نخود در اراضی دیم استان، نقشه‌های عملکرد در شرایط فعلی (شکل ۱)، درصد تغییر عملکرد (شکل ۲) و نقشه تفکیک تغییر طبقات عملکرد (شکل ۳) تهیه شدند.

در شکل (۱) مناطق تحت کشت دیم استان زنجان بر اساس دامنه عملکرد به دست آمده در سه کلاس کمتر از میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط فعلی (710 کیلوگرم در هکتار؛ کلاس ۱)، بین 710 تا 850 کیلوگرم در هکتار (850 کیلوگرم در هکتار میانگین تولید نخود دیم جهانی است (فائو، ۲۰۱۰)؛ کلاس ۲) و بیشتر از 850 کیلوگرم در هکتار (کلاس ۳) طبقه‌بندی شدند. با توجه به اقلیم شهرستان خدابنده که بیشترین میانگین بارندگی را دارد (جدول ۲) بیشترین عملکرد در این منطقه مشاهده شده است (شکل ۱).

شکل (۲) درصد تغییر عملکرد در شرایط اقلیمی آینده نسبت به شرایط فعلی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نقشه نشان از آن دارد که تولید نخود در شرایط اقلیمی آینده در مناطق دیم استان زنجان با تغییرات مثبت عملکرد روبرو است.



شکل ۱- پهنه‌بندی استان زنجان از نظر عملکرد نخود دیم (رقم جم) شبیه‌سازی شده در شرایط اقلیمی حاضر.

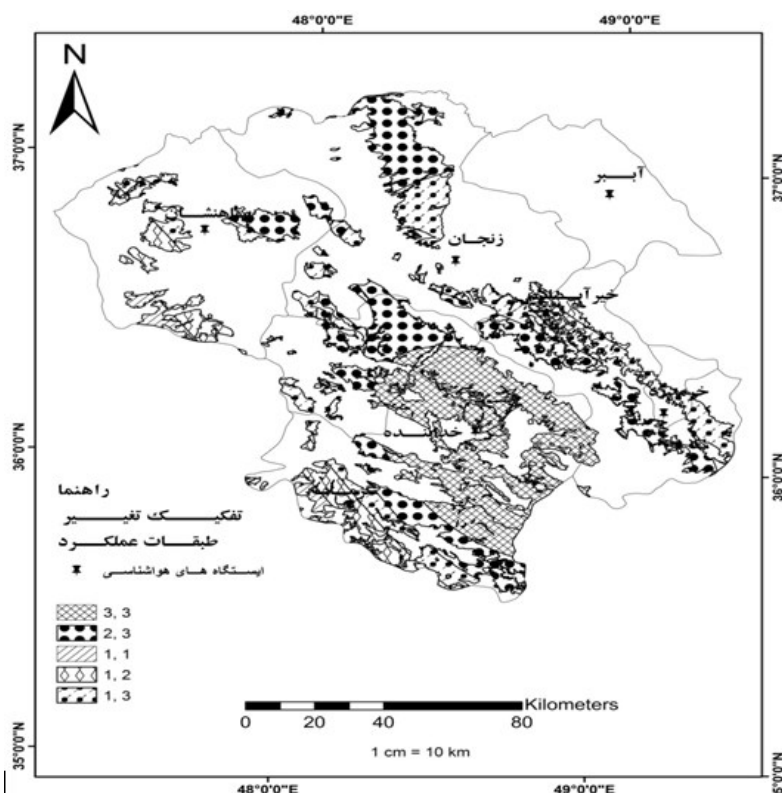


شکل ۲- درصد تغییر عملکرد نخود دیم (رقم جم) در شرایط اقلیمی آینده استان زنجان (محتمل در سال ۲۱۰۰ میلادی).

با مقایسه شکل (۱) و (۲) می‌توان نتیجه گرفت مناطقی که در شرایط فعلی عملکرد بالایی دارند، در آینده، درصد افزایش عملکرد کمتری نسبت به مناطقی دارند که در شرایط فعلی عملکرد آنها پایین است، به این معنی که در آینده مناطقی بیشتر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند که در حال حاضر عملکرد پایین‌تری دارند. شکل (۳) برای ملاحظه دقیق تغییر کلاس تولید عملکرد در مناطق دیم استان زنجان تحت شرایط اقلیمی آینده نسبت به شرایط فعلی ارائه شده است. در این شکل مناطقی که دارای کد دوگانه مشابه مثل (۳،۳) و (۱،۱) هستند در شرایط اقلیمی آینده نسبت به شرایط فعلی تغییر کلاس عملکرد نخواهند داشت و تغییرات عملکرد آنها در اثر تغییر اقلیم در محدوده تعیین شده برای آن کلاس (شکل ۱) می‌باشد به‌طور مشخص می‌توان از این دسته، به اراضی دیم محدوده شهرستان خدابنده و جنوب غرب شهرستان‌های گرماب و ماهنشان اشاره کرد. مناطق با کد

نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد هفتم (۴)، ۱۳۹۳

(۳،۱)، (۳،۲) و (۲،۱) در شرایط اقلیمی آینده به ترتیب اولویت با افزایش عملکرد روبرو خواهند شد. عدد سمت چپ نشان دهنده کلاس منطقه در شرایط فعلی و عدد سمت راست تغییر کلاس منطقه در آینده را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد اکثر اراضی دیم استان زنجان در این دسته جای می‌گیرند.



شکل ۳- نقشه تفکیک تغییر طبقات عملکرد نخود دیم (رقم جم) در شرایط اقلیمی آینده (محتمل در سال ۲۱۰۰ میلادی) در مقایسه با شرایط فعلی استان زنجان (عدد سمت چپ هر طبقه نمایانگر وضعیت فعلی با توجه به شکل ۱ و عدد سمت راست نمایانگر طبقه جدید در شرایط آینده است).

پایداری عملکرد: اگرچه نتایج این مطالعه نشان داد که شرایط اقلیمی آینده اثر افزایش‌دهنده‌ای بر عملکرد نخود دیم دارد، اما سیستم‌های کشت این گیاه ممکن است در مقابل افزایش احتمال وقوع تنش‌های دمایی و تنش خشکی انتهای فصل (هاتفیلد و همکاران، ۲۰۱۱) در معرض مخاطره قرار گیرند و

نسبیم مقدادی و همکاران

پایداری عملکرد در آن‌ها کاهش یابد. با افزایش احتمال وقوع تنش خشکی، انحراف معیار عملکرد عموماً بزرگ‌تر شده و بنابراین ضریب تغییرات (CV) افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد تغییر اقلیم در آینده (CC) به‌طور میانگین موجب افزایش ۲۱/۲ درصدی ضریب تغییرات می‌شود (جدول ۵) که ناشی از نوسانات تولید در سال‌های مختلف است. افزایش دما علاوه بر کاهش عملکرد (به‌طور میانگین ۲/۳- درصد) بیشترین نوسان را در عملکرد نخود (جدول ۵) ایجاد می‌نماید که با نتایج بذرگر و سلطانی (۲۰۰۷)، مطابقت دارد. افزایش ضریب تغییرات می‌تواند نشان دهنده کاهش پایداری تولید در آینده باشد اما دانستن این نکته ضروری است که این افزایش می‌تواند ناشی از بزرگ شدن اعداد (افزایش عملکرد نقاط) باشد؛ از این رو صحبت کردن در مورد افزایش یا کاهش پایداری در آینده باید با احتیاط صورت بگیرد.

جدول ۵- اثر افزایش ۴ درجه سانتی‌گرادی دما (T+4)، کاهش ۱۰ درصدی بارندگی (0.9P)، دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن هوا ($2 \times \text{CO}_2$) و ترکیبی از تمامی حالات (CC) بر ضریب تغییرات (CV) عملکرد نخود دیم (رقم جم) در مقایسه با شرایط اقلیمی فعلی (Cur) در استان زنجان.

شهرستان‌ها	Cur	T+4		0.9P		2xCO ₂		CC	
		تغییر مقدار (درصد)	مقدار	تغییر مقدار (درصد)	مقدار	تغییر مقدار (درصد)	مقدار	تغییر مقدار (درصد)	مقدار
آبیر	۴۳/۳	۵۰/۳	۱۶/۲	۴۷/۷	۱۰/۲	۴۲/۳	-۲/۳	۵۲/۱	۲۰/۳
گرماب	۲۱/۳	۳۳/۴	۵۶/۸	۲۶/۶	۲۴/۹	۲۲/۳	۴/۷	۳۲/۹	۵۴/۵
خیرآباد	۲۶/۷	۲۱/۷	-۱۸/۷	۲۷/۳	۲/۲	۲۷/۹	۴/۵	۲۹/۸	۱۱/۶
خدابنده	۵۴/۳	۵۸/۴	۷/۶	۵۴/۲	-۰/۲	۴۸/۶	-۱۰/۵	۵۰/۸	-۶/۴
خرمدره	۲۵/۴۶	۳۵/۵	۳۹/۴	۲۴/۱	-۵/۳	۲۷/۵	۸/۰	۳۲/۵	۲۷/۷
ماه‌نشان	۳۲/۳	۳۳/۴	۳/۴	۳۴/۱	۵/۶	۲۸/۷	-۱۱/۱	۳۳/۳	۳/۱
زنجان	۲۶/۰	۳۸/۱	۴۶/۵	۳۲/۲	۲۳/۸	۲۷/۰	-۳/۸	۳۵/۸	۳۷/۷
میانگین	۳۲/۸	۳۸/۷	۲۱/۶	۳۵/۲	۸/۷	۳۲/۰	-۰/۴	۳۸/۲	۲۱/۲

با بررسی ضریب تغییرات هر یک از عوامل اقلیمی مؤثر بر تولید (جدول ۵) با فرض ثابت ماندن سایر متغیرها و همچنین با توجه به تغییرات میزان عملکرد آن‌ها (جدول ۳) می‌توان به نکات زیر توجه کرد:

۱- با افزایش دما (T+4) عملکرد به طور میانگین تغییر چندانی نمی‌کند اما ضریب تغییرات ۲۱/۶ درصد افزایش می‌یابد که به معنی افزایش نوسانات تولید در طی سال‌های مختلف است.

۲- کاهش بارندگی (0.9P) اثری بر روی میانگین عملکرد نگذاشت اما ضریب تغییرات را ۸/۷ درصد افزایش داد که باز هم به معنی افزایش نوسانات تولید در طی سال‌های مختلف است.

۳- دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن ($2 \times \text{CO}_2$) به طور میانگین باعث افزایش عملکرد شد اما ضریب تغییرات تغییر چندانی نکرده است.

از این رو می‌توان بیان کرد افزایش ضریب تغییرات در سناریوی تغییر اقلیم (CC) ناشی از افزایش نوسانات در سناریوهای افزایش دما (T+4) و کاهش بارندگی (0.9P) بوده است و سناریوی دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن ($2 \times \text{CO}_2$) که منجر به افزایش عملکرد شده است تأثیری بر روی ضریب تغییرات نگذاشته است. تورنتون و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای که بر روی ذرت به‌عنوان کشت اول و لوبیا به‌عنوان کشت دوم در مناطق خشک و نیمه‌خشک شرق آفریقا انجام دادند، بیشترین نوسانات تولید در بین مکان‌ها و در زمان‌های مختلف را ناشی از اثر متقابل افزایش دما و تغییر در میزان و الگوی بارش‌ها در اثر تغییر اقلیم دانستند.

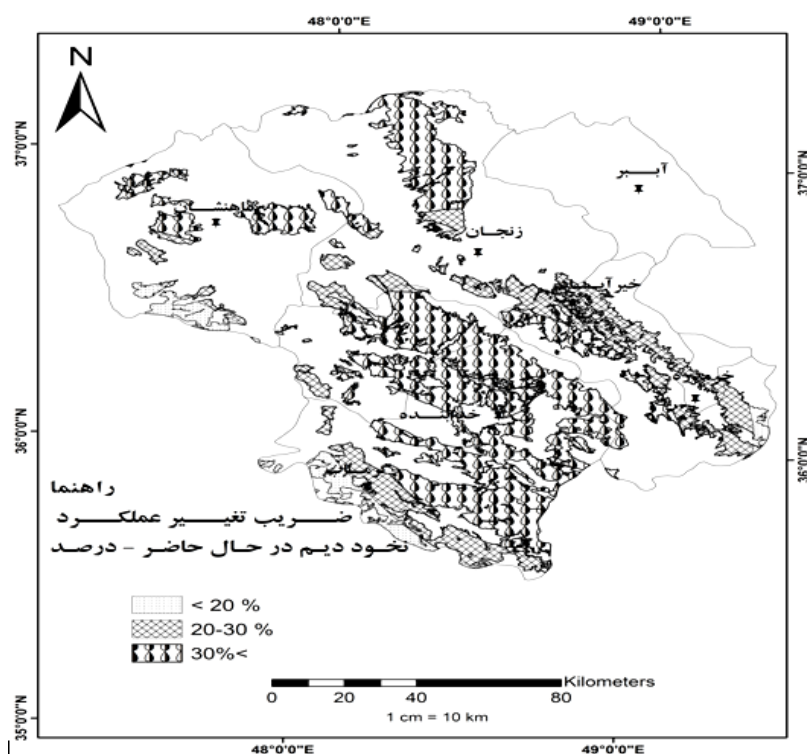
اگرچه شهرستان زنجان با افزایش ۶/۵ درصدی بیشترین افزایش عملکرد دانه را در شرایط اقلیمی آینده داشت اما این افزایش عملکرد با کاهش ۳۷/۷ درصدی پایداری عملکرد همراه بود. همچنین شهرستان گرماب با ۵۴/۵ درصد افزایش ضریب تغییرات در آینده بیشترین کاهش پایداری را نسبت به سایر شهرستان‌ها خواهد داشت (جدول ۵).

این نکته را باید مورد توجه قرار داد که اراضی تحت کشت دیم نخود در استان زنجان در حال حاضر هم در اکثر مناطق از ضریب تغییرات بالای عملکرد برخوردارند، که نوسانات بارندگی در سال‌های مختلف می‌تواند علت این امر باشد (شکل ۴). در این شکل نقشه ضریب تغییرات عملکرد نخود دیم در شرایط فعلی آورده شده است و مبین آن است که در شرایط فعلی شهرستان خدابنده با وجود داشتن حداکثر تولید، بیشترین نوسان تولید را نیز دارا است.

شکل (۵) ضریب تغییرات عملکرد در شرایط اقلیمی آینده و شکل (۶) تغییر کلاس ضریب تغییرات در شرایط اقلیمی آینده نسبت به شرایط فعلی (شکل ۴) را نشان می‌دهند. با بررسی شکل (۶) می‌توان با دقت بیشتری در مورد افزایش و یا کاهش پایداری در اراضی دیم تحت کشت نخود در

نسبیم مقدادی و همکاران

استان زنجان اظهار نظر کرد؛ مناطقی که در آن‌ها عدد سمت چپ بزرگ‌تر از عدد سمت راست است مناطقی هستند که تحت شرایط اقلیمی آینده عملکردی با پایداری بیشتر نسبت به شرایط فعلی خواهند داشت که مناطقی اندکی از غرب شهرستان ماهنشان را شامل می‌شود.

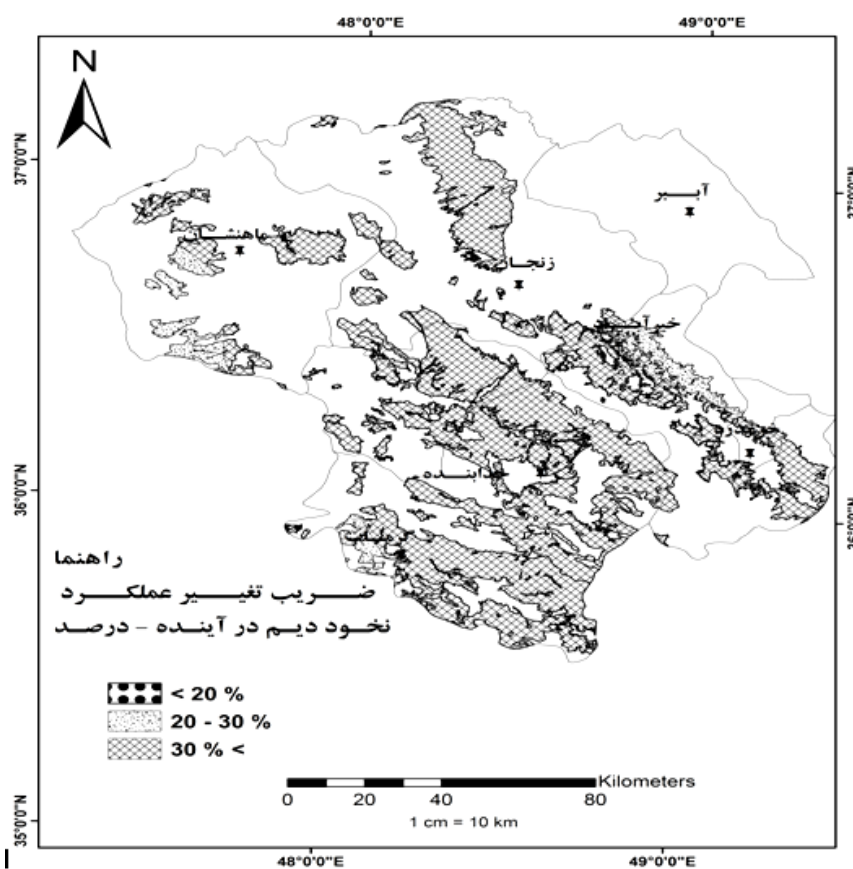


شکل ۴- پهنه‌بندی استان زنجان از نظر ضریب تغییرات عملکرد نخود دیم (رقم جم) در شرایط اقلیمی حاضر.

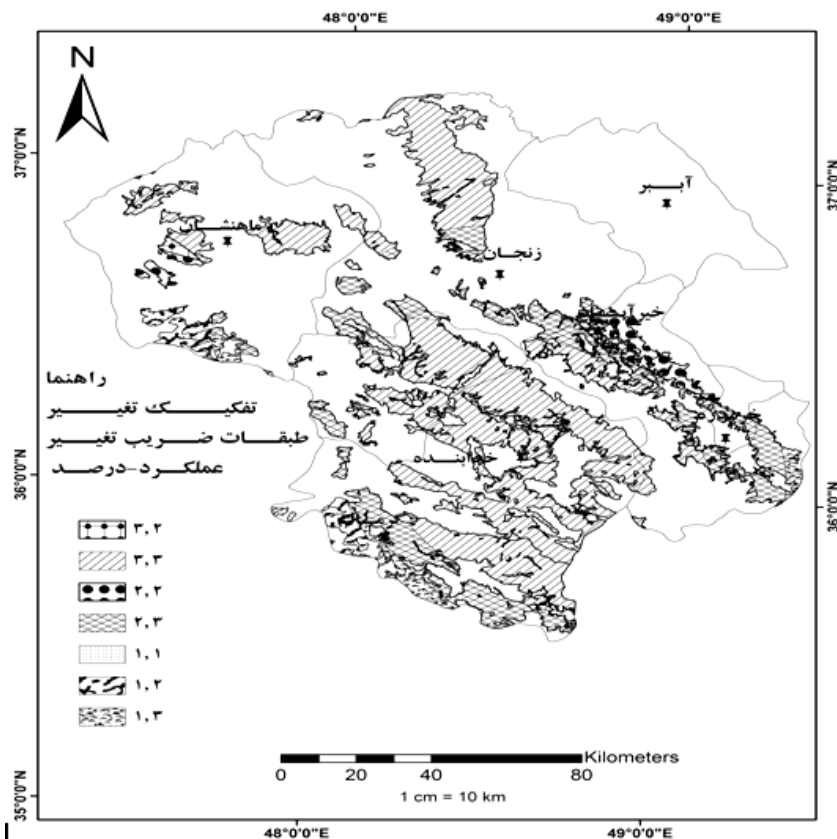
مناطقی که دارای کد دوگانه مشابه هستند از نظر پایداری عملکرد در شرایط اقلیمی آینده نسبت به شرایط فعلی اختلافی نداشته‌اند و یا به عبارتی پایداری عملکرد در این مناطق تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار نگرفته است. از این گروه به‌طور مشخص می‌توان به اراضی دیم شمال شهرستان زنجان و همچنین اراضی دیم محدوده شهرستان خدابنده اشاره کرد. لازم به ذکر است که عملکرد این‌گونه مناطق به‌طور معمول دارای ضریب تغییرات بالایی بوده است که تغییر اقلیم باعث تغییر طبقه آن‌ها

نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد هفتم (۴)، ۱۳۹۳

نشده است. مناطقی که در آن‌ها عدد سمت چپ کوچک‌تر از عدد سمت راست است مناطقی هستند که عملکرد آن‌ها تحت شرایط اقلیمی آینده پایداری کمتری نسبت به شرایط فعلی خواهند داشت. به نظر می‌رسد حداقل نیمی از اراضی جزء این گروه باشند که از آن جمله می‌توان به اراضی دیم جنوب شهرستان‌های زنجان، ماهنشان و خدابنده، اکثر اراضی شهرستان گرماب و بخش‌هایی از اراضی دیم شهرستان خیرآباد اشاره کرد.



شکل ۵- پهنه‌بندی استان زنجان از نظر ضریب تغییرات عملکرد نخود دیم (رقم جم) در شرایط اقلیمی آینده (محتمل در سال ۲۱۰۰ میلادی).



شکل ۶- نقشه تفکیک تغییر طبقات ضریب تغییرات عملکرد نخود دیم (رقم جم) در شرایط اقلیمی آینده (محتمل در سال ۲۱۰۰ میلادی) در مقایسه با شرایط فعلی استان زنجان (عدد سمت چپ هر طبقه نمایانگر وضعیت فعلی با توجه به شکل ۴ و عدد سمت راست نمایانگر طبقه جدید در شرایط آینده است).

نتیجه گیری کلی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که در آینده شاهد افزایش عملکرد نخود در شرایط دیم استان زنجان خواهیم بود اما پایداری عملکرد نسبت به شرایط فعلی کاهش می یابد. به طور کلی اراضی تحت کشت دیم نخود در استان زنجان در اکثر مناطق از ضریب تغییرات بالای عملکرد برخوردارند، که نوسان بارندگی در سالهای مختلف می تواند علت این امر باشد. همچنین در آینده با توجه به افزایش دما شدت این نوسانات بیشتر خواهد شد؛ بنابراین جهت دستیابی به تولید پایدار، لازم است

که راهکارهای سازگاری و مدیریتی در رویارویی با شرایط جدید در این مناطق جدی تر پیگیری شوند.

منابع

1. Abraha, M.G., and Savage, M.J. 2006. Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agric. Ecosyst. and Environ.*, 15: 150-160.
2. Agricultural statistic. Volume 1: Crops. 2010. Jahad ministry of Agriculture. Planning and economic affairs, office of statistics and information Technology.
3. 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 CO₂. *Field Crop. Res.*, 85: 85-102.
4. Bazrgar, A.B., and Soltani, A. 2007. Effects of climate change on the yield of chickpea under rainfed condition of the north-west of Iran. *Proceeding of 2nd National Symposium of Organic Farming, Oct 17-18, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan. Iran.*
5. Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., and Whetton, P. 2007. Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L., (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
6. Crimp, S., Howden, M., Power, B., Wang, E., and De Voil, P. 2008. Global climate change impacts on Australia's wheat crops. Report for the Garnaut Climate Change Review Secretariat, 20p.
7. Daccache, A., Weatherhead, E.K., Stalham, M.A., and Knox, J.W. 2011. Impacts of climate change on irrigated potato production in a humid climate. *Agri. Forest Meteorol.*, 151: 1641-1653.
8. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (accessed on June 2011).
9. Faraji, A., and Soltani, A. 2009. The evaluation of yield and many physiological traits in simulated varieties of chickpea under rainfed conditions of Gonbad and Gorgan. *Bulletin of Agri. Sci. Nat. Res.*, (Special for Agronomy) 1:1-13.
10. Gholipour, M., and Soltani, A. 2009. Future climate impacts on chickpea in Iran and ICARDA. *Res. J. Environ. Sci.* 3: 16-28.

11. Hajarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., and Sayyedi, F. 2012. Simulating of climate change on yield of chickpea, The Fourth Iranian Pulse Crops Symposium. Arak, Iran.
12. Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B.A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomson, A.M., and Wolfe, D. 2011. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agron. J.*, 103: 351-370.
13. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers.*
14. 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. *Clim. Res.*, 247-253.
15. Ludwig, F., and Asseng, S. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agric. Syst.*, 90: 159-179.
16. 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 J. Crop Sci.*, 1: 70-73.
17. Soltani, A. 2006. *Application of SAS in Statistical Analysis.* JDM Press. Mashhad. Iran. 182p.
18. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: Phenological development. *Field Crop Res.*, 99: 1-13.
19. Soltani, A., and Gholipoor, M. 2006. Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. *J. Agri. Sci. and Nat. Res.*, 13: 2.69-79.
20. Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crop. Res.*, 124: 252-260.
21. Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012a. *Modeling physiology of crop development, growth and yield.* CABI.
22. Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012b. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *Eur. J. Agron.*, 38:22-31.
23. Soltani, A., Gholipoor, M., and Ghassemi-Golezani, K. 2007. Analysis of temperature and atmospheric CO₂ effects on radiation use efficiency in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J. Plant Sci.*, 2: 89-95.
24. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crop Res.*, 99: 1-13.
25. Soltani, A., Khooie, F.R., Ghassemi-Golezani, K., and Moghaddam, M. 2001. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid environment. *Agric. Wat. Manage.*, 49: 225-237.

26. Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarswamy, G., and Andresen, J. 2009. Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. *Glob. Environ. Change*, 19: 54-65.
27. Vadez, V., Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012. Modelling possible benefits of root related traits to enhance terminal drought adaptation of chickpea. *Field Crop Res.*, 137: 108-115.
28. 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 CO₂, temperature and precipitation. *Agr. Ecosys. Environ.*, 97: 255-273.



EJCP., Vol. 7(4): 1-22
<http://ejcp.gau.ac.ir>



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

Simulating the impact of climate change on production of chickpea in Zanjan province

N. Meghdadi¹, A. Soltani², B. Kamkar³ and A. Hajarpoor^{*4}

^{1,2,3,4}M.Sc. Graduate of Agroecology, Professor, Associate Prof., and Ph.D. Student of Ecology,
Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
Gorgan, Iran

Received: 20-1-2014; Accepted: 8-7-2013

Abstract

Climate change due to increase atmospheric CO₂ concentration and other greenhouse gases could have considerable effects on crop production in the future. The aim of this study was climate change impacts on chickpea yield in rainfed condition and generating yield map in Zanjan province, Iran. Investigated scenarios were historical climate (control) and future climate scenario that included both direct effect of doubling CO₂ (350 to 700ppm) and its indirect effects (10% reduced rainfall, 4°C increase in temperature). Simulations were done using a simulation model of chickpea and Geographical Information System (GIS) approach was used to produce yield maps. Grain yield and its variability were evaluated in comparison to current trend. The future climate condition will increase crop yield by 33.4% (717 to 957 kg ha⁻¹ depending on location), but yield variability will increase by 21.2%. Increasing in grain yield was a result of positive effect of doubling CO₂ on photosynthesis and resultant decrease in transpiration. The results also showed that increasing temperature was the main reason of higher yield variability. Zanjan station with an increase of 46.5% in grain yield showed the greatest yield increase under the future climate but yield variability at this location was also increased by 37.7%. The highest grain yield was simulated for Khodabandeh station under both current (1307 kg ha⁻¹) and the future (1385 kg ha⁻¹) climates.

Keyword: Chickpea model, Doubling CO₂, GIS, Increased temperature, Yield stability

*Corresponding author: amiragro65@gmail.com

نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد هفتم (۴)، ۱۳۹۳
