"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و سوم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5

بهینه‌سازی تقویم زراعت برنج (*Oryza sativa* L.) و کشت دوم سویا (*Glycine max* L. Merr) در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های دینامیکی گردش عمومی جو و مدل گیاهی DSSAT

Optimization of rice (*Oryza sativa* L.) and subsequent soybean (*Glycine max* L. Merr) cropping calendars under the climate change conditions using dynamical general circulation models (GCMs) and DSSAT crop model

علیرضا سیف زاده مومن سرایی[۱] و علی اکبر سبزی پرور[۲]

چکیده

سیف‌زاده مومن سرایی، ع.ر. و ع.ا. سبزی پرور. ۱۴۰۰. بهینه‌سازی تقویم زراعت برنج (*Oryza sativa* L.) و کشت دوم سویا (*Glycine max* L. Merr) در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های دینامیکی گردش عمومی جو و مدل گیاهی DSSAT. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۳ (۴):۳۷۲ -۳۵۷.**

تغییر اقلیم و پدیده گرمایش جهانی یکی از دغدغه‌ها و نگرانی‌های اصلی جوامع انسانی است. در این تحقیق ضمن بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد برنج به عنوان کشت اصلی در استان گیلان و سویا به عنوان کشت دوم بعد از آن، به ارائه مناسب‌ترین تقویم زراعی گیاهان یاد شده در دو پنجره زمانی برای مقابله با اثر منفی تغییرات اقلیمی پرداخته شد. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات فنولوژیکی ۱۲ ساله دو رقم برنج (هاشمی و علی‌کاظمی) و اطلاعات دو ساله دو رقم سویا (ویلیامز و هابیت) و فراسنجه‌های (پارامتر) هواشناسی ریز مقیاس شده پایگاه داده MarkSimGCM بر اساس خروجی سه مدل گردش عمومی جو در سه سناریو واداشت تابشی، اقدام به شبیه‌سازی عملکرد گیاهان یاد شده به وسیله مدل DSSAT شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه دو گیاه نسبت به دوره مشاهده‌ای کاهش داشت، به نحوی که در سناریوی RCP8.5 در دوره ۵۰-۲۰۳۶ کاهش عملکرد برنج رقم هاشمی تا ۳۱ درصد و کاهش عملکرد رقم علی‌کاظمی تا ۲۳ درصد برآورد شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با ده روز تسریع در کاشت در کلیه سناریوها و دوره‌های اقلیمی آینده، میزان عملکرد دانه بالاتری نسبت به تاریخ کاشت حاضر حاصل خواهد شد. در سناریوی RCP8.5 در دوره ۵۰-۲۰۳۶، تغییر در تاریخ کاشت، کاهش عملکرد را تا ۱۵ درصد تقلیل داد. برای گیاه سویا تاخیر در کاشت باعث بهبود عملکرد دانه خواهد شد، به طوریکه در تاریخ کاشت سوم سویا (۱۵ شهریور) در رقم ویلیامز، کاهش عملکرد تا ۲۴ درصد جبران می‌شود. در سویای رقم هابیت میزان بهبود عملکرد نسبت به تاریخ کاشت دوره حاضر، ۲۸ درصد برآورد شد. بر اساس نتایج این تحقیق، تسریع در شروع زراعت برنج به‌سمت روزهای ابتدایی سال و تاخیر در شروع زراعت سویا می‌تواند تا حد زیادی کاهش عملکرد این دو گیاه در اثر تغییرات اقلیمی را جبران نماید.

واژه‌های کلیدی: برنج، تغییرات اقلیمی، سناریوهای RCP، شبیه‌سازی عملکرد و Mark Sim-GCM

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۱/۱۸ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: swsabzi@basu.ac.ir)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

مقدمه

وقوع تغییرات اقلیمی در اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین باعث بروز نگرانی‌هایی در مورد اثر منفی این تغییرات بر تولید محصولات زراعی شده است. مطالعه اثر تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی نیاز به برآورد فراسنجه‌های (پارامتر) اقلیمی در آینده دارد. این برآوردها به وسیله مدل‌های گردش عمومی جو (General Circulation Model; GCMs) و بر اساس وضعیت‌های (سناریو) مختلف انجام می‌گیرد (IPCC, 2007). ارتباط نتایج این مدل‌ها با مدل‌های شبیه‌سازی رشد امکان پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط اقلیمی آینده فراهم می‌کند.

برنج با سطح زیر کشت حدود ۵۵۰ هزار هکتار، دومین گیاه زراعی مهم پس از گندم در ایران محسوب می‌شود. بیشترین سطح زیر کشت برنج در ایران (۷۱ درصد از سطح زیر کشت کل کشور) مربوط به استان‌های گیلان، مازندران و گلستان است (Agricultural Statistics of Crops, 2020). نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان دهنده کاهش عملکرد برنج بر اثر تغییرات آب و هوایی در مناطق شمال ایران است (Ramezanpour, 2018). جهت تامین نیاز کشور با تکیه بر منابع داخلی، بهینه سازی زراعت برنج، به‌خصوص در شرایط تغییرات اقلیمی آینده ضروری است.

تاکنون تحقیقات زیادی در باره شبیه‌سازی مراحل زراعت گیاهان زراعی از جمله برنج و سویا در داخل وخارج از کشور انجام شده است که نشان دهنده عملکرد مناسب مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی است. علی‌نژاد و همکاران (Alinejad *et al.*, 2017) با مطالعه کارایی مدل CERES-Rice در پیش‌بینی مولفه‌های بیلان نیتروژن در فصل کشت برنج و پیش‌بینی سریع و کم‌هزینه اثرات تغییرات مدیریتی و ساختاری بر سیستم‌های کشاورزی با استفاده از این مدل، عملکرد مدل DSSAT در دوره واسنجی و صحت‌سنجی با استفاده از سه آزمون آماری شاخص کارایی مدل، توافق ویلموت و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده را مورد بررسی قرار دادند. مقدار این شاخص‌ها در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، در محدوده قابل قبولی قرار داشت که نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل برای شبیه‌سازی شاخص‌های رشد و عملکرد برنج می‌باشد. ایلکایی و همکاران (Ilkaei *et al.*, 2016) با شبیه‌سازی فراسنجه‌های مهم ارقام سویا در تاریخ‌های مختلف کاشت با استفاده از مدل CROPGRO، به کارایی مناسب این مدل در شبیه‌سازی فراسنجه‌های رشد سویا بر اساس شاخص‌های RMSE، توافق ویلموت و R^2 اشاره کردند. محققان دیگری از جمله چان و همکاران (Chun *et al.*, 2016) در چین، رای و همکاران (Ray *et al.*, 2018) در هند و حسن و رحمان (Hasan and Rahman, 2019) در بنگلادش با ارزیابی مدل CERES-Rice گزارش نمودند که این مدل در پیش‌بینی و شبیه‌سازی رشد و عملکرد برنج کارایی مطلوبی دارد. با این وجود غالب این تحقیقات روی ارزیابی روش‌های مدیریت زراعی در شرایط حاضر بوده و ارتباط نتایج مدل‌های گردش عمومی با مدل‌های گیاهی مغفول مانده است و حتی در معدود پژوهش‌های انجام شده، ارزیابی تقویم زراعی به عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارهای سازگاری مقابله با تغییرات اقلیمی در نظر گرفته نشده است. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2015) در یک تحقیق با شبیه‌سازی تولید برنج در شرایط تغییرات آب و هوایی در سواحل جنوبی دریای خزر از نتایج مدل گردش عمومی جو ECHAM5 در سه سناریو a_1b، a_2 و b_1 برای افق‌های آینده (۲۰۳۲-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶) برای شهرستان رشت استفاده کردند. نتایج نشان داد که در کلیه سناریوها حداقل دما (۲/۲-۰/۷ درجه سانتی‌گراد) و حداکثر دما (۲/۳-۱/۶ درجه سانتی‌گراد) و کاهش مقدار بارندگی (تا هفت درصد در طول فصل رشد)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

افزایش داشتند. بر این اساس و با استفاده از مدل گیاهی DSSAT ، کاهش عملکرد برنج رقم هاشمی ۲۴ تا ۲۷ درصد شبیه‌سازی شد. بون‌ویچای و همکاران (Boonwichai *et al.*, 2019) عملکرد دانه و سازگاری بالقوه برنج در شیوه‌های مختلف مدیریت مزرعه در شرایط تغییرات آب و هوایی در حوضه رودخانه سونگ تایلند را ارزیابی نمودند. آنها دو سناریو تغییر آب و هوایی RCP4.5 و RCP8.5 را با استفاده از مدل DSSAT برای شبیه‌سازی عملکرد برنج و ارزیابی تغییرات آب و هوایی بر عملکرد را مورد استفاده قرار دادند. راهبردهای سازگاری مورد مطالعه آن‌ها شامل تغییر در تاریخ مصرف کود، تغییر در میزان کود و تغییر رژیم آبیاری بود. نتایج نشان داد که تغییر در تاریخ مصرف کود و تغییر در میزان مصرف کود می‌توانند عملکرد برنج در سناریوی RCP4.5 برای دهه ۲۰۸۰ را ۱۲ و ۸ درصد افزایش دهد. آن‌ها عنوان نمودند که امکان اقدامات سازگاری تا حد زیادی به منابع موجود و طرز فکر کشاورزان بستگی داشته و تحقیق بیشتر در کشف ترکیبی از راهبردهای سازگاری و برنامه‌های مدیریتی برای مقابله با اثرات سوء تغییرات آب و هوایی ضروری است. آنسر و همکاران (Anser *et al.*, 2020) پژوهشی با عنوان مدل‌سازی راهبردهای سازگاری در برابر اثر تغییرات اقلیمی در سیستم تولید گندم و برنج در پاکستان انجام دادند. آن‌ها با استفاده از پنج مدل گردش عمومی جو در دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5، با استفاده از مدل شبیه‌سازی DSSAT، مزایای روش‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی آینده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بدون انجام اقدامات سازگاری از جمله افزایش تراکم بوته، استفاده از ارقام اصلاح شده و افزایش مصرف کود نیتروژن، بر سود خالص اقتصادی خانوارهای تولیدکننده اثر منفی داشته و استفاده از مجموعه اقدامات سازگاری می‌تواند تا ۶۸ درصد از این اثر منفی را جبران نماید و باعث بهبود وضعیت معیشت و امنیت غذایی در منطقه شود.

علیرغم انجام تحقیقات متعدد در باره ارزیابی قابلیت مدل‌های گیاهی و ارزیابی اثر تغییرات آب و هوایی آینده بر عملکرد برنج، تاکنون تحقیقی در باره تعیین مناسب‌ترین تقویم زراعت برنج و کشت دوم پس از آن از طریق ارتباط دادن زراعت اصلی برنج و زراعت گیاه دوم پس از برداشت آن، انجام نشده است. تحقیق حاضر با هدف پر کردن خلاء موجود (با توجه به اینکه کشت دوم بعد از زراعت برنج دغدغه‌ای اساسی برای همه مناطق مستعد شالیکاری است) و ارائه توصیه‌های علمی مناسب برای سیاستگزاران جهت انتخاب راهبرد مناسب اجرا شد. در این پژوهش در مرحله اول اثر تغییرات اقلیمی در افق آینده بر عملکرد گیاه برنج و سویا در شهر رشت مورد بررسی قرار گرفت و در مرحله دوم نسبت به تعیین مناسب‌ترین تقویم زراعت برنج و کشت دوم پس از آن و میزان اثربخشی آن اقدام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شهرستان رشت است که از لحاظ آب و هوایی قابل تعمیم به مناطق مستعد کشت برنج در اغلب نقاط کشور می‌باشد. شهرستان رشت در ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده و دارای آب و هوای معتدل و مرطوب و شبه‌مدیترانه‌ای است. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۹۶) شامل بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا، مقدار بارش روزانه و مقدار تابش روزانه از بانک اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه هواشناسی کشاورزی شهر رشت دریافت شد. اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله و جهت ردیف‌های کاشت، تراکم بوته، کوددهی، آبیاری، بقایای گیاهی، نوع خاک‌ورزی و تاریخ برداشت بوده و اطلاعات فنولوژیکی دوازده ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۰ و ۱۳۹۶-۱۳۹۷) دو رقم برنج متوسط‌رس

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

و متداول علی‌کاظمی و هاشمی شامل تاریخ گلدهی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و تعداد دانه در خوشه و اطلاعات دو ساله (۱۳۹۱-۱۳۹۲) گیاه دوم بعد از برداشت برنج (دو رقم سویای ویلیامز و هابیت؛ به‌ترتیب زودرس و متوسط‌رس) شامل تاریخ گلدهی، تاریخ دانه‌بندی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی، زیست توده، شاخص سطح برگ در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در غلاف همراه با اطلاعات خاک (جدول ۱)، از نتایج آزمایش‌های میدانی اجرا شده در دانشگاه گیلان و موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت، دریافت شدند. جهت شبیه‌سازی کشت دوم، در بخش بقایای گیاهی که یکی از اطلاعات ورودی به مدل DSSAT است، با وارد کردن اطلاعاتی از کشت اول مانند نوع کشت و نوع محصول قبلی، تاریخ کاشت و برداشت گیاه قبلی، میزان آب آبیاری و میزان مصرف کود در زراعت قبلی، وزن ریشه گیاه قبلی، نوع (ریشه، غده، ساقه، برگ یا غیره) و مقدار بقایای گیاه قبلی و همچنین نوع و عمق خاک‌ورزی در کشت دوم، می‌توان شرایط کشت دوم و اثر کشت اول بر آن را شبیه‌سازی کرد. زراعت ارقام برنج هاشمی و علی‌کاظمی در منطقه متداول بوده و در حال حاضر ۷۰ درصد سطح زیر کشت برنج استان گیلان را رقم هاشمی تشکیل می‌دهد و از حدود ۶۰۰ هزار هکتار اراضی شالیزاری کشور، ۲۵۰ هزار هکتار آن زیرکشت برنج رقم هاشمی و ۵۰ هزار هکتار به زراعت برنج رقم علی‌کاظمی اختصاص دارد (Rezaei *et al.*, 2015). دلیل انتخاب سویا به عنوان کشت دوم پس از برنج در میان سایر گیاهان مرسوم این است که سویا کاربردی گسترده در تغذیه انسان، دام و طیور دارد و به دلیل تنوع ژنتیکی و سازگاری وسیع، در دامنه وسیعی از عرض‌های جغرافیایی کشت شده و در بین دانه‌های روغنی، مقام اول تولید در جهان را به خود اختصاص داده است. پیشینه کاشت سویا در منطقه وجود داشته و از ارزش اقتصادی خوبی نیز برخوردار است (Alizadeh *et al.*, 2018).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the experiment site

		Soil depth (cm)			عمق خاک
Soil properties	ویژگی‌های خاک	0-20	20-40	40-60	60-80
Clay (%)	رس	44	47	49	61
Silt (%)	سیلت	39	42	42	34
Loam (%)	لوم)	17	11	9	5
Θ_{fc} (%)	رطوبت ظرفیت زراعی	26.5	26.7	28.3	29.5
Θ_{pwp} (%)	رطوبت نقطه پژمردگی	15.7	15.8	16.0	17.0
EC ($dS.m^{-1}$)	هدایت الکتریکی	0.78	0.75	0.52	0.52
pH	اسیدیته	7.7	7.0	6.9	6.1
Bulk density ($g.cm^{-3}$)	جرم مخصوص ظاهری	1.2	1.3	1.3	1.2
Hydraulic conductivity ($cm.day^{-1}$)	هدایت هیدرولیکی اشباع	30.8	11.4	10.4	8.3
Organic carbon (%)	کربن آلی	1.54	0.76	0.63	0.67
K (ava.) ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب	176	161	147	195
P (ava.) ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب	7.3	3.2	2.3	2.9

مدل‌های بزرگ مقیاس گردش عمومی جو، معتبرترین ابزار برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده هستند. با توجه به اینکه خروجی مدل‌های گردش عمومی جو قابلیت لازم برای مقیاس محلی را ندارند، برای استفاده کاربردی از خروجی این مدل‌ها نیاز به اجرای فرایند ریزمقیاس

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

نمایی است. به همین منظور برای شبیه‌سازی اقلیم دوره آینده از داده‌های ریز مقیاس شده پایگاه داده MarkSimGCM بر اساس خروجی سه مدل AOGCM (Atmosphere-Ocean General Circulation Model) (HadGEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-ESM2M) که اطلاعات آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است و در سه سناریو واداشت تابشی (RCP 2.6, 4.5, 8.5 متناظر سناریوهای خوش‌بینانه، واقع بینانه و بدبینانه)، استفاده شد. پایگاه MarkSimGCM جزء گروه مشورتی تحقیقات بین‌المللی کشاورزی (CGIAR) و برنامه تحقیقاتی تغییر اقلیم، کشاورزی و امنیت غذایی (CCAFS) می‌باشد (Duko *et al.*, 2018).

جدول ۲- اطلاعات مدل‌های گردش عمومی جوی- اقیانوسی (Ishida *et al.*, 2017)

Table 2. Information of Atmospheric-Ocean General Circulation Models

مدل گردش عمومی جوی- اقیانوسی Atmosphere-Ocean General Circulation Model	موسسه ارائه دهنده مدل Model Provider Institute	قدرت تفکیک مدل Model resolution (°)
HadGEM2-ES	مرکز مطالعات محیطی جهانی هدلی، انگلستان Hadley Centre Global Environment Model, UK	1.25° × 1.875°
CSIRO-Mk3-6-0	مرکز تغییرات آب و هوایی کوئینزلند، استرالیا Queensland Centre for Climate Change Studies, Australia	1.875° × 1.875°
GFDL-ESM2M	آزمایشگاه ژئوفیزیک و دینامیک شاره‌ها، آمریکا Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), USA	2° × 2.5°

در تحقیق حاضر از ویرایش ۴,۷ مدل DSSAT استفاده شد. این بسته نرم‌افزاری شامل مجموعه‌ای از برنامه‌های مستقل است که با یکدیگر کار می‌کنند. مدل شبیه‌سازی گیاهان زراعی از جمله CERES-Rice (جهت شبیه‌سازی رشد گیاه برنج) و CROPGRO (جهت شبیه‌سازی رشد گیاه سویا) در هسته محاسباتی این نرم‌افزار قرار دارند. در مدل DSSAT ضرایب ژنتیکی به صورت پیش فرض برای گیاهان قرار دارند. جهت واسنجی مدل، با وارد کردن اطلاعات ورودی ذکر شده شامل موقعیت مکانی، اطلاعات هواشناسی، خاکشناسی، مدیریت زراعی و اطلاعات فنولوژیکی گیاه به مدل DSSAT و استفاده از افزونه GENCALC در داخل مدل، اصلاح ضرایب ژنتیکی پیش فرض داخل مدل انجام شد. در واقع پس از ثبت اطلاعات ورودی به مدل، افزونه GENCALC با سعی و خطا به صورت خودکار اقدام به اصلاح ضرایب ژنتیکی پیش فرض می‌نماید تا حداکثر انطباق بین خروجی مدل و اطلاعات فنولوژیکی ورودی به مدل انجام شود. ضرایب اصلاح شده تنها برای رقم گیاهی مورد نظر در منطقه مورد مطالعه است. بعد از اصلاح ضرایب ژنتیکی در مرحله واسنجی، جهت ارزیابی عملکرد مدل‌ها (هم مدل‌های گردش عمومی جو و هم مدل گیاهی DSSAT) شاخص‌های آماری R^2, D, RMSE, NRMSE با استفاده از روابط ۱ تا ۴ محاسبه شدند. مقدار ضریب تعیین (رابطه ۱) برای مقایسه فراسنجه شبیه‌سازی شده توسط مدل‌ها و مقادیر واقعی ثبت شده، محاسبه شد.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(S_i-\overline{S})(O_i-\overline{O})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(S_i-\overline{S})^2\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})]^2} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه ضریب تعیین (R^2) مقداری بین صفر تا یک است. معیار ضریب تعیین به تنهایی نمی‌تواند بیانگر عملکرد یک مدل در شبیه‌سازی داده‌ها باشد، زیرا حالات زیادی وجود دارند که داده‌های شبیه‌سازی شده بخوبی الگوی رفتاری داده‌های مشاهداتی را برآورد می‌کند، درحالی که اختلاف زیادی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد، بنابراین از معیارهای دیگری که بیانگر وضعیت اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است، استفاده می‌شود. برای این منظور از شاخص توافق ویلموت (رابطه ۲) و ریشه میانگین مربعات خطا (رابطه ۳) نیز به عنوان دو معیار معتبر در کنار R^2 استفاده شد (Ghorbani Dashtaki *et al.*, 2009).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

$$D-1-\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|S_i-\overline{O}|+|O_i-\overline{O}|)^2}\right] \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i-\overline{S})^2} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

S_i و O_i: i امین داده شبیه‌سازی شده توسط مدل و مشاهده‌ای (واقعی)، $\bar{O}$: میانگین کل داده‌های مشاهده‌ای $\bar{S}$: میانگین کل داده‌های شبیه‌سازی شده هستند. در شاخص توافق ویلموت مقادیر بین صفر تا یک است که مقدار یک نشان دهنده بهترین برازش می‌باشد. مقادیر RMSE کمتر از ۵ نشان دهنده برازش خوب مدل، زیر ۸ برازش مطلوب و بیشتر از ۱۰ برازش ضعیف است (Steiger, 2007). با توجه به این که مقدار RMSE متناسب با واحد اندازه‌گیری متغیر است، مقایسه مقدار آن بین دو متغیر با واحدهای متفاوت (مثلا دما بر حسب درجه سانتی‌گراد با بارش بر حسب میلی‌متر) صحیح نخواهد بود، بنابراین مطابق رابطه ۴ مقدار RMSE را به دامنه داده‌های متغیر وابسته تقسیم کرده و آن را RMSE نرمال شده (NRMSE) می‌نامند. این معیار برای مقایسه مدل‌های مختلف مناسب خواهد بود.

$$NRMSE=\frac{RMSE}{O_{i,\max}-O_{i,\min}} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

لازم به ذکر است که NRMSE زیر ۱۰ درصد، نشان دهنده دقیق بودن مدل، ۲۰-۱۰درصد مناسب بودن مدل، ۳۰-۲۰ درصد دقت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است (Bannayan and Hoogenboom, 2009). بعد از انتخاب مناسب‌ترین مدل گردش عمومی براساس شاخص‌های آماری مورد بررسی، از داده‌های خروجی آن که همان فراسنجه‌های هواشناسی است به عنوان ورودی جهت اجرای مدل گیاهی DSSAT استفاده شد.

تغییر در فراسنجه‌های هواشناسی اقلیم آینده از جمله افزایش دما بیشترین سهم را در کاهش عملکرد گیاهان زراعی دارد، بنابراین راهکارهای سازگاری با این شرایط باید به نحوی انتخاب شوند که اثر منفی این عوامل جلوگیری شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که تغییر تاریخ کاشت یکی از راهکارهای مؤثر و ساده برای جبران کاهش عملکرد گیاهان زراعی است. برای این منظور تاریخ کاشت که در آزمایش حاضر ۲۰ اردیبهشت (۱۰ می) در نظر گرفته شده است، سه دوره ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز بعد از تاریخ کاشت حاضر (به‌ترتیب متناظر با ۳۰ اردیبهشت، ۹ و ۱۹ خرداد، معادل ۲۰ می، ۳۰ می و ۹ ژوئن) و ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز قبل از تاریخ کاشت حاضر (به‌ترتیب متناظر با ۱۰ اردیبهشت، ۳۱ و ۲۱ فروردین، معادل با ۳۰ آوریل، ۲۰ آوریل و ۱۰ آوریل) که با علامت "+" و "-" در شکل‌های ۳ و ۴ بخش نتایج نشان داده شده‌اند، برای سنجش این روش سازگاری استفاده شدند. برای کاشت ارقام سویا بعد از برداشت برنج سه تاریخ کاشت در نظر گرفته شد. تاریخ اول (D_1)، یک هفته بعد از برداشت برنج (۲۸ تیر – ۱۹ جولای). تاریخ کاشت سوم (D_3) به نحوی تعیین شد تا قبل از فرا رسیدن دوره یخبندان، دوره رشد گیاه به پایان برسد، به‌همین منظور تاریخ ۱۵ شهریور (۶ سپتامبر) به عنوان آخرین تاریخ کاشت سویا در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت دوم (D_2) (۲۰ مرداد – ۱۱ آگوست) حد فاصل بین تاریخ کاشت اول و سوم در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از مقایسه برونداد سه مدل گردش عمومی جو نسبت به داده‌های مشاهده‌ای در دوره پایه ۲۰۱۰-۲۰۱۹ در جدول ۳ ارائه شده است. ارزیابی داده‌های دوره مشترک (۲۰۱۹-۲۰۱۰) با چهار آزمون آماری RMSE، NRMSE، R^2 و D نشان داد که داده‌های مدل‌سازی شده پایگاه داده MarkSimGCM برآورد بسیار مناسبی داشته و انطباق قابل قبولی با داده‌های مشاهده‌ای دارد. نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که همه مدل‌ها (به استثنای مدل CSIRO در فراسنجه بارش) نتایج مناسبی از لحاظ خطا داشتند، بطوریکه تقریباً در کلیه موارد مقادیر R^2

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

بیش از ۰/۶ و مقادیر RMSE کمتر از ۱۰ و مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد بودند. در میان مدل‌های مورد مطالعه، مدل HADGEM2 عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌های دینامیکی داشت، بطوریکه در فراسنجه دمای حداقل با مقدار R^2=0.7 و D=0.91 عملکرد بسیار مناسبی داشت (مقادیر R^2 و D هر قدر به ۱ نزدیک‌تر باشند، نشان دهنده عملکرد مناسب‌تر است). مقدار RMSE با مقداری کوچک‌تر از ۵ نیز نشان از برازش خوب مدل داشت. در فراسنجه دمای حداکثر با مقدار R^2=0.72 و D=0.88 عملکرد بسیار مناسبی مشاهده شد. مقدار RMSE با مقداری کوچکتر از ۱۰ نیز نشان از برازش مطلوب مدل دارد. برای فراسنجه بارش نیز مدل HADGEM2 با مقدار R^2=0.69 و D=0.67 و مقدار RMSE با مقداری کوچک‌تر از سایر مدل‌ها مطلوب‌ترین عملکرد را نسبت به مدل‌های CSIRO و GFDL داشت. به همین منظور از خروجی داده‌های مدل HADGEM2 برای ادامه کار استفاده شد.

جدول ۳- نتایج شاخص‌های آماری مدل‌های گردش عمومی نسبت به داده‌های مشاهده شده (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸)

Table 3. Results of statistical measures of the General Circulation Models, compared against the observed data (2010-2019)

		CSIRO-Mk3-6-0	GFDL-ESM2M	HadGEM2-ES
دمای حداقل T_{Min} (°C)	R^2	0.70	0.69	0.70
	D	0.91	0.90	0.91
	RMSE	4.67	4.70	4.60
	NRMSE (%)	12.4	12.7	11.3
دمای حداکثر T_{Max} (°C)	R^2	**0.72**	**0.71**	**0.72**
	D	0.88	0.88	0.88
	RMSE	5.64	5.67	5.62
	NRMSE (%)	14	5.3	4.2
تابش کل روزانه Radiation ($Mj.m^{-2}.day^{-1}$)	R^2	0.63	0.61	0.72
	D	0.61	0.60	0.61
	RMSE	9.94	9.93	9.81
	NRMSE (%)	6.2	9.1	3.4
بارش Rainfall (mm)	R^2	0.58	0.61	0.69
	D	0.29	0.60	0.67
	RMSE	12.87	9.95	8.92
	NRMSE (%)	9	7.1	6.5

با استفاده از اطلاعات فنولوژیکی و داده‌های مشاهده‌ای پنج سال زراعی (۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴) اقدام به واسنجی مدل DSSAT برای ارقام برنج شد. بعد از واسنجی و بدست آوردن ضرایب ژنتیکی هر دو رقم در سال‌های مورد اشاره برای ادامه کار از میانگین ضرایب ژنتیکی در این پنج سال استفاده شد. در جدول ۴ مقادیر ضرایب ژنتیکی حاصله برای دو رقم برنج ارائه شده است. واسنجی مدل DSSAT و محاسبه ضرایب ژنتیکی برای ارقام سویا در سال زراعی ۱۳۹۱ نیز انجام شد (جدول ۵).

جدول ۴- ضرایب ژنتیکی اصلاح شده برای ارقام برنج به وسیله افزونه GENCALC مدل DSSAT

Table 4. Modified genetic coefficients of the rice cultivars, derived by GENCALC of DSSAT

Rice cultivars	ارقام برنج	P_1 (°Cday)	P_2R (°Cday)	P_2O (hr)	P_5 (°Cday)	G_1	G_2 (g)	G_3	G_4
Hashemi	هاشمی	318	23	13	366	55	0.0265	1	1
Alikazemi	علی کاظمی	351	29	13.5	353	62	0.0258	1	1

P_1: دوره دمایی در مرحله رویشی گیاه، P_2O: دوره نوری که در آن حداکثر نمو گیاه انجام می‌شود، P_2R: دوره نوری در شروع خوشه‌دهی، P_5: دوره پرشدن دانه، G_1: حداکثر پتانسیل تعداد خوشه‌چه، G_2: وزن تک دانه در شرایط مطلوب رشد، G_3: ضریب جوانه‌زنی در شرایط مطلوب رشد، G_4: ضریب تحمل به دما

P_1: Thermal period at the basic vegetative phase of plant, P_2O: Critical photoperiod for maximum plant development, P_2R: Photoperiod at the panicle initiation, P_5: Grain filling duration, G_1: Potential number of spikelet, G_2: Single grain weight at ideal growth condition, G_3: Coefficient of germination at ideal growth condition, G_4: Coefficient of temperature tolerance

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

جدول ۵- ضرایب ژنتیکی اصلاح شده برای ارقام سویا به وسیله افزونه GENCALC مدل DSSAT

Table 5. Modified Genetic coefficients of the soybean cultivars, derived by GENCALC of DSSAT

ارقام سویا Soybean cultivars		ضرایب ژنتیکی Genetic coefficients
ویلیامز Williams	هابیت Hobbit	
13.5	14.3	CSDL (hour)*
0.295	0.288	PPSEN ($1.hour^{-1}$)
18.9	23	EM-FL (photothermal days)
6	7	FL-SH (photothermal days)
13.5	13	FL-SD (photothermal days)
31.3	30.7	SD-PM (photothermal days)
26	24	FL-LF (photothermal days)
1.03	1.03	LFMAX (mg $CO_2.m^{-2}$)
375	400	SLAVR ($cm^2.g^{-1}$)
200	195	SIZLF (cm^2)
1	1	XFRT
0.21	0.19	WTPSD (g)
20	23	SFDUR (photothermal days)
2.3	2.2	SDPDV
10	12	PODUR (photothermal days)

*CSDL: طول روز کوتاه که در آن رشد زایشی گیاه بدون اثر طول روز انجام می‌شود، PPSEN: شیب پاسخ نسبی گیاه به نمو در دوره نوری، EM-FL: فاصله زمانی بین ظهور گیاهچه تا گلدهی، FL-SH: فاصله زمانی بین ظهور اولین گل و اولین غلاف، FL-SD: فاصله زمانی بین اولین گل و اولین دانه، SD-PM: فاصله زمانی بین تشکیل اولین دانه و رسیدگی فیزیولوژیکی، FL-LF: فاصله زمانی بین ظهور اولین گل و گسترش نهایی برگ، LFMAX: حداکثر سرعت فتوسنتز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، SLAVR: شاخص سطح برگ در شرایط استاندارد رشد، SIZLF: حداکثر اندازه برگ کامل، XFRT: حداکثر کسری از رشد روزانه گیاه که تقسیم بر دانه به اضافه غلاف می‌شود، WTPSD: حداکثر وزن دانه، SFDUR: مدت زمان پرشدن دانه در غلاف در شرایط استاندارد رشد، SDPDV: متوسط تعداد دانه در غلاف در شرایط استاندارد رشد و PODUR: مدت زمان لازم برای رسیدن گیاه به تعداد نهایی غلاف در شرایط استاندارد رشد

CSDL: Critical Short Day Length below that reproductive development progresses with no daylength effect, PPSEN: Slope of the relative response of development to photoperiod, EM-FL: Time between seedling emergence and flowering, FL-SH: Time between first flower emergence and first pod, FL-SD: Time between first flower emergence and first seed, SD-PM: Time between first seed formation and physiological maturity, FL-LF: Time between first flower emergence and final leaf expansion, LFMAX: Maximum leaf photosynthesis rate at 30 ºC, SLAVR: Leaf area index at standard growth condition, SIZLF: Maximum size of fully expanded leaf, XFRT: Maximum fraction of daily plant growth that partitioned to seed + pod, WTPSD: Maximum weight of seed, SFDUR: Seed filling duration in pod at standard growth condition, SDPDV: Mean number of seed per pod at standard growth condition, PODUR: Time required to reach final number of pods at standard growth condition

مدل DSSAT برای دوره صحت سنجی در هفت سال زراعی (۸۹-۱۳۸۵ و ۹۷-۱۳۹۶) برای برنج و سال زراعی ۱۳۹۲ برای سویا، اجرا شد. ارزیابی عملکرد مشاهده‌ای و مدل‌سازی شده در سال‌های یاد شده نشان دهنده عملکرد مناسب مدل می‌باشد (جدول ۶). مقادیر عملکرد مشاهده‌ای و مدل‌سازی دو رقم برنج و دو رقم سویا با چهار معیار آماری R^2 , D , NRMSE , RMSE مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل DSSAT عملکرد مطلوبی در مدل‌سازی عملکرد گیاهان مورد مطالعه داشت، بطوریکه میانگین کل NRMSE برای برنج رقم هاشمی ۸/۳ درصد و برای رقم علی‌کاظمی ۹/۷ درصد (زیر ۱۰ درصد) و R^2 برای رقم هاشمی ۰/۹۳ و برای رقم علی‌کاظمی ۰/۹۷ (نزدیک به ۱) و D با مقدار ۰/۹۸ برای رقم هاشمی و علی‌کاظمی با ۰/۹۹ (نزدیک به ۱)، نشان دهنده عملکرد خوب مدل در برآورد عملکرد است. به همین ترتیب برای ارقام سویا در کشت دوم نیز آزمون‌های آماری با مقادیر NRMSE، ۷/۳ درصد برای رقم ویلیامز و ۵/۴ درصد برای رقم هابیت، مقادیر R^2، ۰/۹۲ برای ویلیامز و ۰/۹۴ برای هابیت و مقادیر D، ۰/۹۹ برای ویلیامز و ۰/۹۷ برای هابیت نشان دهنده عملکرد مناسب و مطلوب مدل DSSAT در برآورد عملکرد است.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

جدول ۶- شاخص‌های آماری در دوره صحت سنجی برای ارقام برنج و سویا

Table 6. Statistical measures within the validation periods for rice and soybean cultivars

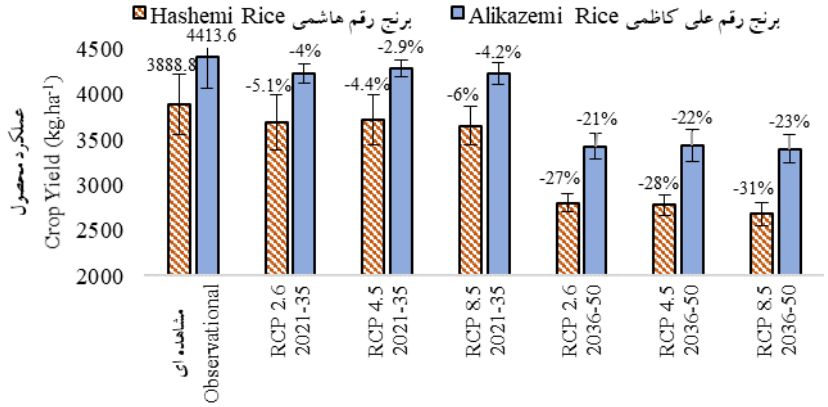
گیاه زراعی Crop	رقم Cultivar	عملکرد دانه Yield ($kg.ha^{-1}$) مشاهده شده Observational	عملکرد دانه Yield ($kg.ha^{-1}$) شبیه‌سازی شده Simulation	RMSE ($kg.ha^{-1}$)	NRMSE (%)	D	R^2
برنج Rice	هاشمی Hashemi	3952.4	4034.1	114.0	8.3	0.98	0.93
	علی‌کاظمی Alikazemi	4549.8	4507.7	191.9	9.7	0.99	0.97
سویا Soybean	ویلیامز Williams	3350.0	3419.0	35.9	7.3	0.97	0.92
	هابیت Hobbit	3400.0	3456.0	30.4	5.4	0.98	0.94

بعد از اجرای مدل DSSAT در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۳۵- ۲۰۲۱) و آینده دور (۲۰۵۰- ۲۰۳۶) در سه سناریوی مورد بررسی، مقدار عملکرد در دوره آینده در کنار دوره مشاهده‌ای برای ارقام برنج در شکل ۱ و برای ارقام سویا در شکل ۲ ارائه شده است. میزان کاهش عملکرد دوره آینده نسبت به دوره مشاهده‌ای بر حسب درصد در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. در سناریو بدبینانه RCP8.5 در دوره ۵۰-۲۰۳۶ تا ۳۱ درصد کاهش عملکرد در برنج رقم هاشمی و ۲۳ درصد کاهش عملکرد در برنج رقم علی‌کاظمی نسبت به دوره مشاهده‌ای پیش‌بینی شد. همانطور که انتظار می‌رفت، در دوره آینده دور (۲۰۵۰- ۲۰۳۶) به‌دلیل افزایش حدود ۲/۲ درجه سانتی‌گراد دما نسبت به دوره مشاهده‌ای، کاهش عملکرد شدیدتری در کلیه سناریوهای مورد بررسی در هر دو رقم برنج پیش‌بینی شد. در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۵- ۲۰۲۱) کمترین کاهش عملکرد در سناریو واقع بینانه RCP4.5 پیش‌بینی شد، در صورتی که انتظار بود این وضعیت در سناریو خوش‌بینانه مشاهده شود. این موضوع در تناسب با روند فراسنجه‌های هواشناسی در سناریوی واقع بینانه است. در سناریوی RCP4.5 در آینده نزدیک کمترین مقدار افزایش دما حتی به نسبت سناریوی خوش بینانه RCP2.6 برآورد شد. در مجموع کاهش عملکرد گیاهان مورد مطالعه از روند افزایشی دما در سناریوها و دوره‌های مورد بررسی تبعیت داشت و در هر دوره و سناریویی که افزایش دمای شدیدتری داشت، به همان نسبت کاهش عملکرد بیشتری نیز حاصل شد. کوچکی و نصیری (Koocheki and Nassiri, 2016) گزارش دادند که افزایش دما با کاهش طول دوره رسیدگی (کاشت تا برداشت) و در طول دوره پر شدن دانه در گیاهان زراعی، عامل اصلی کاهش عملکرد می‌باشد. نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که عملکرد گیاهان مورد ارزیابی به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما در طی کل دوره رشد، بین ۹ تا ۱۷ درصد کاهش می‌یابد و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و به تبع آن افزایش فتوسنتز تنها حدود ۵/۶ درصد از اثر منفی دمای بالا را جبران می‌کند.

مشابه نتایج گیاه برنج، در ارقام سویا نیز کاهش عملکرد در آینده مشاهده شد (شکل ۲). میزان کاهش عملکرد در سویای رقم ویلیامز تا ۲۷/۸ و در رقم هابیت تا ۲۷/۶ درصد نسبت به دوره مشاهده‌ای برآورد شد. نتایج در سناریوهای مورد بررسی در دو دوره آینده دور و نزدیک اندکی تفاوت داشتند که متناسب با روند دمایی در این سناریوها است. در آینده دور (۲۰۵۰- ۲۰۳۶) مطابق انتظار روند کاهش عملکرد به ترتیب در سناریوی بدبینانه، واقع بینانه (RCP4.5) و خوش بینانه بیشترین مقدار را داشت، در صورتی که در آینده نزدیک (۲۰۳۵- ۲۰۲۱) کاهش عملکرد در سناریوی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

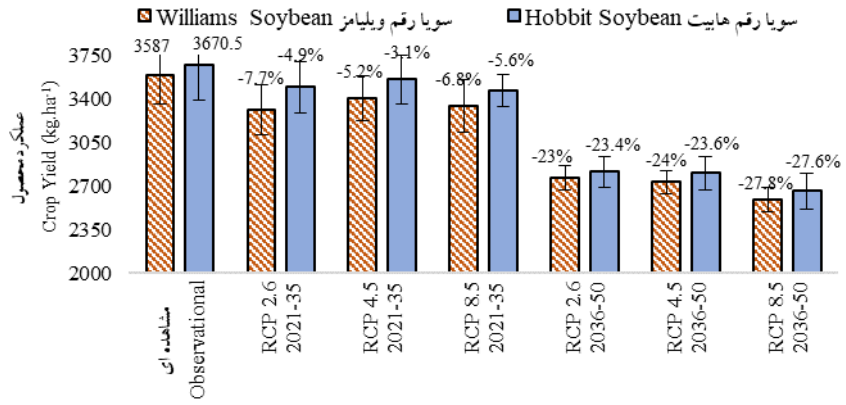
[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]



شکل ۱- میانگین عملکرد مشاهده‌ای (دوره حاضر) و شبیه‌سازی شده ارقام برنج در آینده نزدیک (۲۰۳۵-۲۰۲۱) و دور (۲۰۵۰-۲۰۳۶) در سه سناریو

Fig. 1. Mean of the observed and simulated yield of rice cultivars in the near (2021-2035) and far (2036-2050) futures in three RCP scenarios

خوش بینانه (RCP2.6) بالاتر از سناریو واقع بینانه بود.در سناریوی خوش بینانه RCP2.6 تا سال ۲۰۲۸ میلادی بیشترین مقدار دمای حداقل و حداکثر برآورد شده است. بعد از آن شیب افزایشی دما در سناریوهای واقع بینانه و بدبینانه افزایش می‌یابد. در واقع، به دلیل اینکه ماهیت سناریوهای واداشت تابشی میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن است، تاخیر زمانی اثر این گاز بر تغییرات اقلیمی باعث می‌شود تا در سال‌های ابتدایی دوره آینده بیشترین مقدار دما در سناریوی خوش‌بینانه برآورد شود. قربانی و سلطانی (Ghorbani and Soltani, 2014) نیز گزارش دادند که در دوره ۳۰ سال آینده، طول دوره‌های اولیه فنولوژی سویا، در سناریوهای اقلیمی انتشار اختلاف چندانی با دوره مشاهداتی ندارد، ولی طول دوره تا رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی برداشت در آینده حدود پنج تا ده روز کوتاه‌تر می‌شود و این اصلی‌ترین عامل کاهش زیست توده و عملکرد دانه سویا در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۲- میانگین عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ارقام سویا در آینده نزدیک (۲۰۳۵-۲۰۲۱) و دور (۲۰۵۰-۲۰۳۶) در سه سناریو

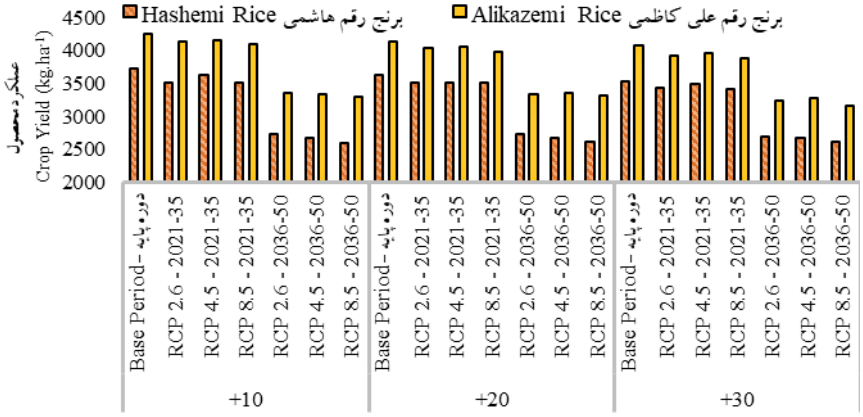
Fig. 2. Mean of the observed and simulated yield of soybean cultivars in the near (2021-2035) and far (2036-2050) futures in three RCP scenarios

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

مدل سازی عملکرد ارقام برنج در سه دوره ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز بعد از تاریخ کاشت حاضر (به‌ترتیب متناظر با ۳۰ اردیبهشت، ۹ و ۱۹ خرداد، معادل ۲۰ می، ۳۰ می و ۹ ژوئن) و ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز قبل از تاریخ کاشت حاضر (به‌ترتیب متناظر با ۱۰ اردیبهشت، ۳۱ و ۲۱ فروردین، معادل با ۳۰ آوریل، ۲۰ آوریل و ۱۰ آوریل) با علامت "+" و "-" در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تاخیر در کاشت در هیچکدام از سناریوها و دوره‌های مورد بررسی باعث بهبود عملکرد نشده و کاهش عملکرد بیشتری را نسبت به تاریخ کاشت حاضر شبیه سازی کرد (شکل ۳). بطور کلی تسریع در کاشت باعث بهبود عملکرد می‌شود. ده روز تسریع در کاشت در کلیه سناریوها و دوره‌های مورد بررسی اقلیم آینده عملکرد بالاتری را نسبت به تاریخ کاشت حاضر شبیه‌سازی کرد. در سناریوی RCP8.5 دوره ۲۰۵۰-۲۰۳۶ که بیشترین کاهش عملکرد در رقم هاشمی نسبت به دوره مشاهده‌ای ثبت شد (تا ۳۱ درصد کاهش عملکرد)، با تغییر تاریخ کاشت، به ۱۵ درصد کاهش عملکرد تقلیل یافت (شکل ۴). این مورد در رقم علی‌کاظمی نیز مشاهده شد. در رقم علی‌کاظمی در سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۵۰-۲۰۳۶ بیشترین کاهش عملکرد با ۲۳ درصد کاهش نسبت به دوره مشاهداتی رخ داد با تسریع ۱۰ روز در کاشت کاهش عملکرد به شش درصد تقلیل یافت. در سناریوها و دوره‌های اقلیمی دیگر نیز چنین وضعیتی مشاهده شد. جابه‌جایی زیاد تاریخ کاشت مجددا موجب کاهش عملکرد می‌شود. در ارقام برنج سناریوی RCP4.5 در دوره ۲۰۳۵-۲۰۲۱ بیشترین عملکرد، حتی نسبت به دوره پایه ثبت شد. سناریوی RCP4.5 در دوره ۲۰۵۰-۲۰۳۶ بیشترین عملکرد در ۲۰ روز تسریع در کاشت و RCP8.5 آینده دور، بیشترین عملکرد در ۳۰ روز تسریع در کاشت ثبت شد و کمترین عملکرد در دوره پایه شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که در صورت وقوع سناریوهای واقع‌بینانه یا بدبینانه تغییرات اقلیمی، جلو انداختن تاریخ کاشت برای بهبود عملکرد اجتناب ناپذیر است. تسریع در کاشت با افزایش عملکرد در سناریوهای بدبینانه باعث نزدیک شدن میزان عملکرد در سناریوها و دوره‌های مورد مطالعه شد.

مدل‌سازی عملکرد ارقام سویا به عنوان کشت دوم بعد از برداشت محصول برنج در سه تاریخ کاشت مورد بررسی در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تاریخ کاشت اول (۲۸ تیر – ۱۹ جولای) در رقم

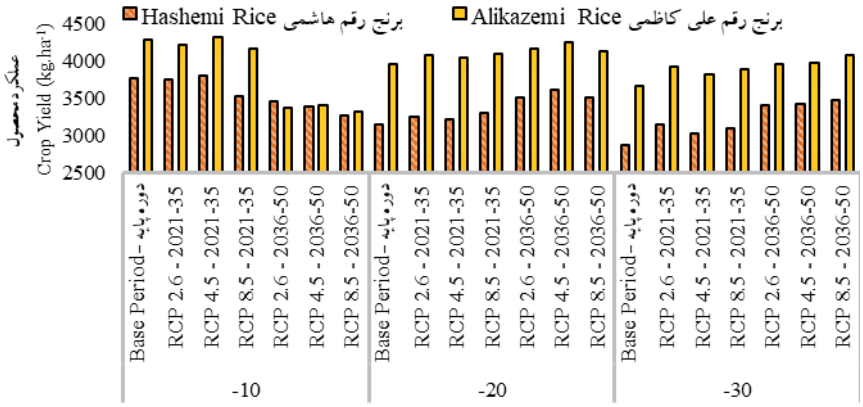


شکل ۳- عملکرد شبیه‌سازی شده ارقام برنج در دوره‌ها و سناریوهای مورد مطالعه با تاخیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روزه در کاشت نسبت به تاریخ کاشت حاضر

Fig. 3. Simulated yield of rice cultivars for periods and scenarios using delays of 10, 20 and 30 days of planting date compared to the present planting date

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

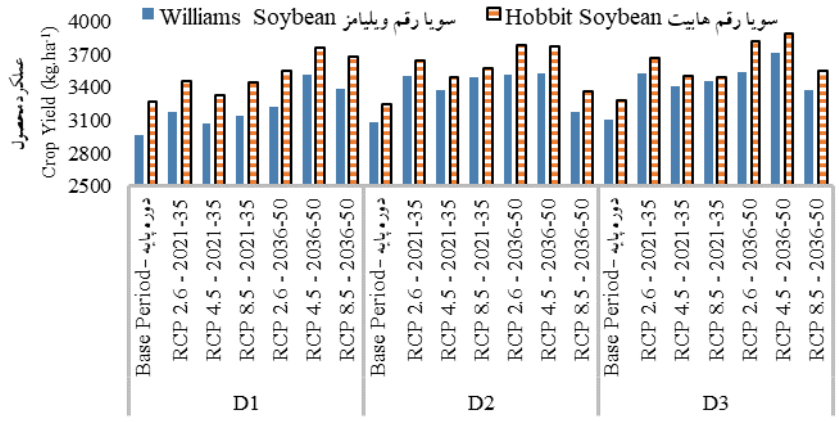
[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]



شکل ۴- عملکرد شبیه‌سازی شده ارقام برنج در دوره‌ها و سناریوهای مورد مطالعه با تسریع ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روزه در کاشت نسبت به تاریخ کاشت حاضر

Fig. 4. Simulated yield of rice cultivars for periods and scenarios, using accelerating of 10, 20 and 30 days of planting date compared to the present planting date

ویلیامز به‌طور متوسط تا ۱۶ درصد کاهش عملکرد را نسبت به تاریخ کاشت حاضر، جبران نموده و در رقم هایبت کاهش عملکرد تا ۱۹ درصد بهبود می‌یابد. میانگین عملکرد مدل‌سازی شده سویا در تاریخ کاشت دوم (۲۰ مرداد– ۱۱ آگوست) در رقم ویلیامز کاهش عملکرد را نسبت به تاریخ کاشت حاضر تا ۲۱ درصد جبران می‌کند. این بهبود عملکرد در رقم هایبت تا ۲۵ درصد برآورد شد. در تاریخ کاشت سوم (۱۵ شهریور – ۶ سپتامبر) در رقم ویلیامز کاهش عملکرد تا ۲۴ درصد جبران می‌شود. در سویای رقم هایبت میزان بهبود عملکرد نسبت به تاریخ کاشت حاضر به‌طور متوسط ۲۸ درصد برآورد شد. بیشترین عملکرد سویا در تاریخ کاشت سوم برآورد شد و در دوره آینده دور نسبت به دوره آینده نزدیک، عملکرد بالاتری ثبت شد. در واقع افزایش دما در فصل پاییز در افق‌های آینده باعث می‌شود تا تاخیر در کاشت در ارقام سویا عملکرد بهتری داشته باشند.



شکل ۵- عملکرد شبیه‌سازی شده ارقام سویا در دوره‌ها و سناریوهای مورد مطالعه در سه تاریخ کاشت نسبت به تاریخ کشت حاضر

Fig. 5. Simulated yield of soybean cultivars for periods and scenarios, using three planting dates compared to the present planting date

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه مورد مطالعه در طی دهه‌های آینده تغییر در فراسنجه‌های اقلیمی اتفاق خواهد افتاد و این تغییرات عملکرد گیاهان برنج و سویا را با کاهش قابل ملاحظه‌ای مواجه خواهد ساخت. در سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۵۰-۲۰۳۶ میلادی میزان متوسط کاهش عملکرد در برنج رقم هاشمی ۳۱ درصد و در رقم علی‌کاظمی ۲۳ درصد پیش‌بینی می‌شود. میزان کاهش عملکرد در دوره ۲۰۳۶ الی ۲۰۵۰ برای سویا رقم ویلیامز ۲۷/۸ درصد و در رقم هابیت ۲۷/۶ درصد برآورد شد. این نتایج با نتایج پژوهش‌های انجام شده کاملاً مطابقت دارد. در پژوهش آلجو (Alejo, 2020) که در فیلیپین روی برنج رقم باسماتی انجام شد، میزان کاهش عملکرد در سال ۲۰۵۰، ۵۳ درصد و در سال ۲۱۰۰، ۸۴ درصد، نسبت به پایان سال قرن ۲۱ام میلادی، گزارش شد. اگرچه عدم قطعیت‌هایی در پیش‌بینی مبتنی بر مدل‌سازی وضعیت آینده وجود دارد، اما در شرایط کنونی این مدل‌ها مناسب‌ترین ابزار برای مطالعات تغییر اقلیم محسوب می‌شوند. نتایج خروجی مدل گردش عمومی جو HADGEM2 و مدل گیاهی DSSAT نشان داد که جلو انداختن فصل زراعی به سمت روزهای ابتدایی سال می‌تواند مقدار زیادی از کاهش عملکرد حاصل از تغییرات اقلیمی را جبران و حتی در مواردی باعث افزایش عملکرد نسبت به دوره حاضر شود. ۱۰ روز تسریع (جلو انداختن) تاریخ کاشت برنج نسبت به تاریخ کاشت کنونی، کاهش عملکرد در رقم هاشمی را به ۱۵ درصد و در رقم علی‌کاظمی به شش درصد تقلیل می‌دهد و جابه‌جایی تاریخ کاشت در سویا می‌تواند موجب افزایش یک درصدی عملکرد در رقم ویلیامز و شش درصدی در رقم هابیت نسبت به تاریخ کاشت حاضر شود. در تحقیق ناصرزاده و همکاران (Naserzadeh *et al.*, 2020) نیز با مشخص کردن تاریخ وقوع دمای حداقل برای آغاز دوره رشد (صفر بیولوژیک) و دمای حداکثر برای پایان دوره رشد برنج (دمای کشنده) و همچنین تعیین تاریخ وقوع آخرین دمای بحرانی و آغاز دوره رشد و همچنین تعیین تاریخ اولین دمای بحرانی و خاتمه دوره رشد و روزشمار کردن این فاصله، طول دوره رشد برنج برای دو دوره ۲۰۵۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ محاسبه شد. نتایج پژوهش آن‌ها نیز نشان داد که جهت سازگاری با اثر سوء ناشی از تغییر اقلیم، کشت برنج می‌تواند دو تا ۲۳ روز زودتر انجام شده و در این‌صورت تعداد روزهای لازم برای رسیدگی فیزیولوژیکی بین یک تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که با راهکارهای مناسب می‌توان مدیریت تولید را با شرایط اقلیمی آینده سازگار نمود و در عین حال اجرای پژوهش‌های جدید جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و بهبود شیوه‌های مدیریتی جهت سازگاری با تغییر اقلیم و حفظ امنیت غذایی کشور، ضروری به نظر می‌رسد.

منابع مورد استفاده

References

Agricultural Statistics of Crops. 2020. Economic aspects and Agricultural statistics of Iran crops in 2018-2019 crop year. Ministry of Agriculture – jahad. (In Persian).

Alejo, L.A. 2020. Assessing the impacts of climate change on aerobic rice production using the DSSAT CERES-Rice model. J. Water. Climate. Change. 5(3): 1-13. [DOI:10.2166/wcc.2020.286].

Alinejad, H., A. Darzi-Naftchali and S.F. Saberali. 2017. Performance assessment of CERES-Rice model for predicting nitrogen balance components during rice growing season in subsurface- drained paddy fields. Iran. J. Irrig. Drain. 11(2): 263-273. (In Persian with English abstract).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

Alizadeh, M., P. Afrasiab, M.R. Yazdani, A. Liaghat and M. Delbari. 2018. Selection of appropriatedDepth and spacing of subsurface drainage and comparison of some drainage equations in rice cultivation. J. Water. Res Agric. 32(1): 159-171. (In Persian with English abstract).

Anser, M.K., T. Hina, Sh. Hameed, M.H. Nasir, I. Ahmad and M. Asad. 2020. Modeling adaptation strategies against climate change impacts in integrated rice-wheat agricultural production system of Pakistan. Int. J. Environ. Res. Publ. Health. 17(2): 1-18. [DOI:10.3390/ijerph17072522]

Bannayan, M. and G. Hoogenboom. 2009. Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. Field Crops Res. 111(7): 290-302. [DOI:10.1016/j.fcr.2009.01.007].

Boonwichai, S., S. Shrestha, M. Babel, S. Weesakul and A. Datta. 2019. Evaluation of climate change impacts and adaptation strategies on rainfed rice production in Songkhram River Basin, Thailand. Sci. Environ. 652(3): 189-201. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.10.201].

Chun, J.A., S. Li, Q. Wang, W.S. Lee, E.J. Lee, N. Horstmann, H. Park, T. Veasna, L. Vanndy, K. Pros and S. Vang. 2016. Assessing rice productivity and adaptation strategies for Southeast Asia under climate change through multi-scale crop modeling. Agric. Syst. 143(5): 14–21. [DOI:10.1016/j.agsy.2015.12.001].

Duko, C., S.J. Zwart and L. Hein. 2018. Impact of climate change on cropping pattern in a tropical. Sub Trop. Watershed. 13(3): 1-21. [DOI:10.1371/journal.pone.0192642].

Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaee, M.H. Mahdian and M. Kouchakzadeh. 2009. Site-dependence performance of infiltration models. Water Res. Manage. 3(8): 2777–2790. (In Persian with English abstract). [DOI:10.1007/s11269-009-9408-3].

Ghorbani, Kh. and A. Soltani. 2014. The effect of climate change on soybean yield in Gorgan. J. Plant Prod. Res. 21(2): 67-85. (In Persian with English abstract).

Hasan, M.M. and M.D. Rahman. 2019. Simulating climate change impacts on T. aman (BR-22) rice yield: A predictive approach using PRECIS and DSSAT models. Water. Environ. J. 6(2): 1-13. [DOI:10.1111/wej.12523].

Ilkaei, M.N., F. Paknejhad., E. Amiri., M. Zavareh., M. Ardakani and A. Kashani. 2016. Important parameters simulation in soybean cultivars (*Glycine max* L.) at different sowing dates using CROPGRO-Soybean model. J. Agron. Plant Breed. 9(3): 1-14. (In Persian with English abstract).

IPCC. 2007. Summary for policy makers climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the forth assessment report. Cambridge University Press, UK.

Ishida, K., M. Gorguner, A. Ercan, T. Trinh and M.L. Kavvas. 2017. Trend analysis of watershed-scale precipitation over northern California by means of dynamically downscaled CMIP5 future climate projections. Sci. Total Environ. 59(2): 12-24. [DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.086].

Koocheki, A. and M. Nassiri. 2016. Climate change effects on agricultural production of Iran: II. Predicting productivity of field crops and adaptation strategies. Iran. J. Field Crop Res. 14(1): 1-20. (In Persian with

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

English abstract).

Mohammadi, H., Gh. Azizi, D. Mazaheri and F. Rabbani. 2015. Simulation of rice production under climate change scenarios in the southern coasts of Caspian sea. Desert. J. 20(2): 197-206. [DOI:10.1016/s11269-007-9406-5].

Naserzadeh, M.H., B. Alijani and M. Payari. 2020. The effect of climate change on the yield of rice in the Rasht county. J. Water Soil Sci. 24(2): 41-54. (In Persian with English abstract).

Ramezanpour, M. 2018. Predicting the effect of climate change on agricultural climate indicators and rice yield - Case study: Northern regions of Iran. J. Region Plan. 8(32): 69-80 (In Persian with English abstract).

Ray, M., P.K. Roul and A. Baliarsingh. 2018. Application of DSSAT crop simulation model to estimate rice yield in Keonjhar district of Odisha (India) under changing climatic conditions. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 7(4): 659-667. [DOI:10.20546/ijcmas.2018.704.075].

Rezaei, M., A. Shahnazari, M. Raeini Sarjaz and M. Vazifedoust. 2015. Large-scale simulation of rice yield and water producrivity using CERES-RICE model. Iran. J. Irrig. Drain. 9(2): 283-291. (In Persian with English abstract).

Steiger, J.H. 2007. Understanding the limitations of global fit assessment in structural equation modeling. Personal. Indiv. Differ. 42(5): 893–898. [DOI:10.1016/j.paid.2006.09.017].

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]

Optimization of rice (*Oryza sativa* L.) and subsequent soybean (*Glycine max* L. Merr) cropping calendars under the climate change conditions using dynamical general circulation models (GCMs) and DSSAT crop model

Seifzadeh Momensaraei, A.R.[1] and A.A. Sabziparvar[2]

ABSTRACT

Seifzadeh Momensaraei, A.R. and A.A. Sabziparvar. 2022. Optimization of of rice (*Oryza sativa* L.) and subsequent soybean (*Glycine max* L. Merr) cropping calendars under the climate change conditions using dynamical general circulation models (GCMs) and DSSAT crop model. **Iranian Journal of Crop Sciences. 23 (4): 357-372. (In Persian).**

Climate change and the global warming phenomenon is one of the main concerns of human societies. In this study, the impact of climate change on rice, as the main crop in Guilan province, Iran and soybean production as the second crop was investigated. To adapt to the negative impact of climate change in future, optimal crop calendars were indentified for different rice and soybean cultivars using two periods of 2021-2035 and 2036-2050. We used a 12-year phenological dataset of two rice cultivars (Hashemi and Alikazemi) and two years data of two soybean cultivars (Williams and Hobbit). Moreover, we used downscaled meteorological parameters of MarkSimGCM data based on the output of three general circulation models (GCMs) under three different RCP scenarios. Finally, the aforementioned data were used as the inputs of the DSSAT crop model to simulate the genetic coefficients and crop yields of rice and soybeans. The results showed that yield values decreased as compared to the observation period. Rice, cv. Hashemi, yield decreased 31% under the RCP8.5 scenario within 2036-50 period and 23% for cv. Alikazemi as compared to the observation period. Model results indicated that 10 days of acceleration in planting date, in all scenarios and periods, will lead to higher crop yields than the current planting date. For the RCP8.5 scenario of 2036-50 period, changing the planting date reduced the yield by up to 15%. For soybeans unlike the rice, delaying the planting date will increase crop yield. Therefore, on the third planting date (6th of September) for soybeans cv. Williams, up to 24% reduction in seed yield will be mitigated. For cv. Hobbit, on average 28% seed yield increase was estimated as compared to the current planting date. In conclusion, shifiting the planting date for rice to the early days of growing season and delaying the planting date for second crop (soybean) can mitigate crops yield reduction due to climate change.

Key words: Climate change, Mark Sim-GCM, RCP scenarios, Rice and Yield simulation

Received: April, 2021 Accepted: February, 2022

1. PhD Student, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. Professor, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (Corresponding author) (Email: swsabzi@basu.ac.ir)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5]