

## Evaluation of adaptation strategies to mitigate the impacts of climate change in rice planting and subsequent sowing (Soybean) in Rasht

Ali Akbar Sabziparvar<sup>1\*</sup> , Alireza Seifzadeh Momensaraei<sup>2</sup>

1. Corresponding Author, Professor in Meteorology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2. Ph.D. of Agricultural Meteorology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

---

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

**Received:** 13 June 2022

**Revised:** 24 February 2023

**Accepted:** 19 April 2023

**Keywords:**

Climate change, RCP scenarios, Rice and soybean crop yield, DSSAT Crop Model.

### ABSTRACT

Long term changes in climate parameters within the next few decades may affect the yield of many agricultural crops. In this aspect, few studies have been conducted on national scale to evaluate the proper strategies against the negative impacts of climate change for important crops. In the present study, different crop managements including changes in irrigation period, fertilizer volume and planting date in rice and soybean were simulated for two time-scale of near future (2021-2035) and far future (2036-2050) and the results evaluated as an adaptation strategy to oppose against the negative impact of climate change. We used downscaled meteorological parameters of MarkSimGCM data based on the output of three General Circulation Models (HadGEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-ESM2M) under three different RCP scenarios (RCP 2.6, 4.5, 8.5). In addition, we applied a 12-year phenological dataset of Hashemi and Alikazemi rice cultivars beside a two-year field data of Williams and Hobbit soybean cultivars and the simulations were carried out by DSSAT plant model. The results showed that changing the planting date from 10th of May to 30th of April in the RCP 8.5 scenario and Hashemi cultivar could improve the crop yield by 18.9% in the 5-day periodic irrigation, compared to flood irrigation. Moreover, the advance of planting date for 20 and 30 days will improve the crop yield, but is not effective as the 10-day acceleration. For far future window (2036-2050) and RCP 2.6 scenario, implementing the F3 fertilizer will improve the crop yield by 10.7%. Among the aforesaid strategies, the maximum yield increase was found under fertilizer managements and RCP 2.6 scenario. In general, although climate change will reduce the studied crop yields by 2050, but could compensate a part of this yield reduction, if appropriate crop managements is adopted.

---

**Cite this article:** Last Sabziparvar, A. A., & Seifzadeh Momensaraei, A. (2023). Evaluation of adaptation strategies to mitigate the impacts of climate change in rice planting and subsequent sowing (Soybean) in Rasht. Journal of Natural Environmental Hazards, 12(37), 57-74. DOI: 10.22111/jneh.2023.42621.1907



© Ali Akbar Sabziparvar Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2023.42621.1907

---

\* Corresponding Author Email: [swsabzi@basu.ac.ir](mailto:swsabzi@basu.ac.ir)

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۷، مهر ۱۴۰۲

## بررسی راهکارهای سازگاری مقابله با اثرات تغییرات اقلیمی در کاشت برنج و کشت دوم پس از آن (سویا) در رشت

علی اکبر سبزی پرور<sup>۱\*</sup>، علیرضا سیف زاده مومن سرائی<sup>۲</sup>

۱. استاد هوشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (نویسنده مسئول)

۲. دکتری هوشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰</p> <p>واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سناریوهای RCP، عملکرد محصول برنج و سویا، مدل گیاهی DSSAT.</p>	<p>تغییر در پارامترهای اقلیمی در دهه‌های آینده عملکرد بسیاری از محصولات کشاورزی را تحت تاثیر قرار خواهد داد. در این رابطه مطالعات اندکی درخصوص بررسی راهکارهای مقابله با این تغییرات اقلیمی و کاهش پیامدهای منفی احتمالی آن بر محصولات استراتژیک کشور انجام شده است. در پژوهش حاضر مدیریت‌های زراعی مختلف اعم از تغییر در حجم آبیاری و حجم کوددهی و تغییر تاریخ کاشت در زراعت محصولات برنج و سویا در دو پنجره زمانی آینده نزدیک (۲۰۳۵-۲۰۲۱) و آینده دور (۲۰۵۰-۲۰۳۶) شبیه‌سازی گردید و با هدف ارائه راهکارهای مناسب سازگاری در کاهش پیامدهای منفی تغییرات اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای هوشناسی ریز مقیاس شده بر اساس خروجی سه مدل گردش عمومی جو (AOGCM (HadGEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-ESM2M) تحت سه سناریوی واداشت تابشی (RCP 2.6, 4.5, 8.5) از پایگاه داده MarkSimGCM استخراج شد. با داشتن داده‌های میدانی فنولوژیکی ۱۲ ساله دو رقم برنج هاشمی و علی‌کاظمی و داده‌های مزرعه‌ای دو ساله دو رقم سویا ویلیامز و هابیت به شبیه‌سازی عملکرد محصولات به وسیله مدل گیاهی DSSAT اقدام شد. نتایج نشان داد تغییر تاریخ کاشت برنج رقم هاشمی از ۲۰ اردیبهشت به ۱۰ اردیبهشت (تسریع ۱۰ روزه) در سناریوی بدبینانه RCP8.5 می‌تواند موجب بهبود عملکرد ۱/۹ درصدی در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی شود. تسریع ۲۰ و ۳۰ روزه تاریخ کاشت گرچه در بهبود عملکرد محصول در مواجهه با تغییرات اقلیمی موثر بود، اما نمی‌تواند به اندازه تسریع ۱۰ روزه مفید واقع شود. برای محصول برنج رقم هاشمی در حجم کوددهی F3 در سناریوی RCP2.6 دوره آینده دور، بهبود عملکرد ۱۰/۷ درصدی برآورد می‌گردد. بیشترین افزایش عملکرد با مدیریت‌های متفاوت کوددهی تحت سناریوی RCP2.6 حاصل شد. در مجموع، گرچه کاهش عملکرد در رقم‌های مورد بررسی بر اثر تغییرات اقلیمی اجتناب ناپذیر است، اما با به کارگیری مدیریت‌های زراعی مناسب می‌توان درصد قابل ملاحظه‌ای از این کاهش عملکرد را جبران نمود.</p>

استناد: سبزی پرور، علی اکبر، سیف زاده مومن سرائی، علیرضا. (۱۴۰۲). بررسی راهکارهای سازگاری مقابله با اثرات تغییرات اقلیمی در کاشت برنج و

کشت دوم پس از آن (سویا) در رشت. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲(۳۷): ۷۴-۵۷. DOI: 10.22111/jneh.2023.42621.1907



© علی اکبر سبزی پرور\*، علیرضا سیف زاده مومن سرائی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

## مقدمه

پدیده تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی جهان است. نگرانی‌هایی در مورد اثرات بالقوه این تغییرات بر تولید محصولات کشاورزی وجود دارد. از آنجا که کشورهای در حال توسعه به شدت به کشاورزی وابسته‌اند، تأثیر تغییرات اقلیمی بر تولید محصولات کشاورزی از جنبه امنیت غذایی بسیار حائز اهمیت است. برای مطالعه تأثیر احتمالی تغییر اقلیم بر بوم نظام‌های زراعی و بر عملکرد گیاهان زراعی، پس از برآورد وضعیت اقلیمی آینده به وسیله مدل‌های گردش عمومی (GCM) در سناریوهای مختلف می‌توان با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی امکان پیش بینی عملکرد محصولات در شرایط اقلیمی آینده را فراهم کرد (ون و همکاران، ۲۰۱۳). تحقیقات زیادی در زمینه تلفیق نتایج مدل‌های گردش عمومی با مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان انجام شده است. چان و همکاران (۲۰۱۶) تحقیقی با عنوان ارزیابی عملکرد برنج و استراتژی‌های سازگاری برای کشورهای جنوب شرقی آسیا تحت تغییرات آب و هوایی از طریق مدل‌های گیاهی انجام دادند. آن‌ها در کنار ارزیابی تأثیر تغییر پارمترهای اقلیمی افق آینده (از دهه ۲۰۲۰ تا ۲۰۸۰) بر عملکرد برنج، به ارزیابی دو مدل گیاهی GLAM-Rice و CERES-Rice پرداختند و عنوان نمودند ضمن اینکه نتایج پیش‌بینی در هر دو مدل از انطباق مناسبی با نتایج مشاهده‌ای برخوردار است، مدل CERES-Rice دارای کارایی مناسب‌تری است. در این مطالعه پس از بدست آوردن تغییرات آب و هوایی در افق‌های ذکر شده به وسیله مدل HadGEM3-RA تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، نتایج حاکی از کاهش ۱۴ تا ۴۵ درصدی عملکرد برنج در کشورهای مختلف منطقه مورد مطالعه دارد. لی و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای را با موضوع ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر بهره‌وری برنج در منطقه هندوچین (شامل کشورهای تایلند، لائوس، میانمار، کامبوج و ویتنام) با استفاده از مدل گیاهی DSSAT انجام دادند. آنها پارامترهای هواشناسی اقلیم آینده را در افق ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ با استفاده از مدل HadGEM2-AO تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 بدست آوردند. نتایج نشان داد عملکرد برنج در منطقه مورد مطالعه ۳/۵ تا ۲۳/۲ درصد کاهش در افق ۲۰۲۰ و ۵/۸ تا ۲۷/۲ درصد کاهش در افق ۲۰۴۰ حاصل شد. جیانگ و همکاران (۲۰۱۸) تحقیقی را با عنوان تغییرات آبی در عملکرد برنج تحت تأثیر تغییر اقلیم در منطقه دلتای رودخانه مکونگ ویتنام انجام دادند. آن‌ها اقلیم آینده را در افق (۲۰۲۰-۲۰۵۰) بوسیله سه مدل گردش عمومی ECHAM5, CCSM3, MIROC5 تحت سناریو A2 در منطقه مورد مطالعه بررسی نمودند. سپس عملکرد برنج را با استفاده از مدل DSSAT تحت شرایط اقلیم آینده شبیه‌سازی نمودند. در این تحقیق گزارش شد عملکرد برنج در افق آینده نسبت به دوره کنونی ۳۶/۵ درصد کاهش می‌یابد در حالی که این کاهش در برنج آبیاری شده تنها ۴/۷ درصد خواهد بود. همانطور که مرور منابع نشان می‌دهد، عمده تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی ارزیابی قابلیت مدل‌های گیاهی و ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر عملکرد برنج است. در پژوهش‌های دیگری تنها به شبیه‌سازی پاسخ عملکرد محصول سویا به تغییرات اقلیمی پرداخته شده است و بررسی راهکارهای سازگاری با این تغییرات امری مغفول مانده است. همچون تحقیق پیرولی بیرانوند و ققمقامی (۲۰۲۲) که به بررسی عملکرد ارقام مختلف سویا در تغییرات آب و هوایی دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۳۰) پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود گزارش نمودند در شرایط تغییرات آب و هوایی آینده، سطح عملکرد در ارقام مورد مطالعه سویا بین ۲۰ تا ۲۵ درصد نسبت به شرایط کشت حاضر، کاهش می‌یابد. داسیلوا و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود با عنوان ارزیابی تأثیر عملکرد سویا و بهره‌وری آب در برزیل به دلیل تغییرات آب و هوایی با انجام

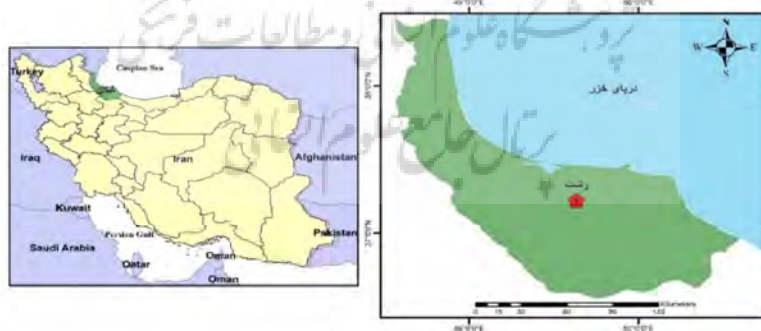
آزمایش‌هایی در سراسر کشور مدل CROPGRO را برای شرایط برزیل کالیبره نمودند. سپس با شبیه‌سازی ۴۰ سناریوی اقلیمی آینده، ارائه‌شده توسط CMIP5 برای سال ۲۰۵۰ گزارش نمودند که عملکرد سویا در سناریوهای اقلیمی آینده بین ۵ - ۴۲ درصد در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۰) کاهش می‌یابد.

با توجه به اینکه کشت دوم بعد از زراعت برنج دغدغه‌ای اساسی برای همه مناطق مستعد شالیکاری در سراسر جهان بخصوص در منطقه مورد مطالعه یعنی شهر رشت به عنوان یکی از قطب‌های تولید برنج در کشور است، انجام تحقیق حاضر با هدف شبیه‌سازی زراعت اصلی برنج و زراعت محصول دوم پس از برداشت آن در افق‌های آینده و ارزیابی راهکارهای سازگاری مقابله با تغییرات اقلیمی و بررسی میزان اثربخشی این روش‌های سازگاری می‌تواند توصیه‌های علمی مناسب و اصولی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار دهد.

## داده و روش

### منطقه مورد مطالعه:

به منظور انجام این تحقیق، اطلاعات فنولوژیکی و مدیریت زراعی دوازده ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۱ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶) دو رقم برنج علی کاظمی و هاشمی و دوساله (۱۳۹۲-۱۳۹۱) کشت دوم بعد از برنج یعنی سویا با دو رقم ویلیامز و هابیت از آزمایش‌های میدانی دانشگاه گیلان و موسسه تحقیقات برنج ایران در رشت بدست آمد. شهر رشت در محدوده بین ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه و ۴۵ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. رشت مرکز استان گیلان همچنین بزرگترین و پرجمعیت‌ترین شهر شمال ایران در بین سه استان حاشیه دریای خزر محسوب می‌شود. براساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن، شهر رشت با متوسط بارش سالانه ۱۳۳۷ میلی-متر دارای اقلیم بسیار مرطوب است (برادران و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱: موقعیت منطقه اجرای تحقیق.

ارقام هاشمی با متوسط عملکرد ۳۶۵۰-۴۰۵۰ کیلوگرم شلتوک در هکتار و علی کاظمی با متوسط عملکرد ۴۱۰۰-۴۷۰۰ کیلوگرم شلتوک در هکتار از ارقام غالب برنج در شالیزارهای منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شادپور رشتی، مریم، ۱۳۹۲). در حال حاضر ۷۰ درصد 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 از شالیزارهای کشور به کشت برنج رقم علی کاظمی اختصاص دارد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴). دلیل انتخاب سویا به عنوان کشت دوم

پس از برنج در میان سایر محصولات 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 می‌گردد و در بین دانه‌های روغنی مقام اول تولید در جهان را به خود اختصاص داده است. همچنین پیشینه کاشت آن در منطقه وجود دارد و از ارزش اقتصادی خوبی نیز برخوردار است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۵).

#### مدل‌ها:

جهت شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی اقلیم دوره آینده از داده‌های ریز مقیاس شده پایگاه داده MarkSimGCM بر اساس خروجی سه مدل<sup>۱</sup> AOGCM (HadGEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-ESM2M) تحت سه سناریو واداشت تابشی (RCP 2.6, 4.5, 8.5) متناظر سناریوهای خوش بینانه واقع بینانه و بدبینانه استفاده شد. پایگاه MarkSimGCM بخشی از گروه مشاوران برای تحقیق در زمینه کشاورزی جهانی (CGIAR<sup>۲</sup>) و برنامه تحقیقاتی بر روی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی و امنیت غذایی (CCAFS<sup>۳</sup>) می‌باشد (دوکو و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهش حاضر از ویرایش ۴،۷ مدل DSSAT استفاده شد. این بسته شامل مجموعه‌ای از برنامه‌های مستقل است که با یکدیگر کار می‌کنند. مدل شبیه‌سازی گیاهان زراعی از جمله CERES-Rice (جهت شبیه‌سازی رشد برنج) و CROPGRO (جهت شبیه‌سازی رشد سویا) در مرکز این نرم افزار قرار دارند. اطلاعات ورودی به مدل DSSAT از آزمایش‌های میدانی و نتایج مشاهده‌ای حاصل شده است. اطلاعات ورودی عبارتند از: موقعیت مکانی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا)، اطلاعات هواشناسی (بیشینه دما، کمینه دما، بارندگی و تابش بصورت روزانه)، اطلاعات خاک (درصد رس، سیلت و ماسه، رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، هدایت الکتریکی، اسیدیته، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، کربن آلی، پتاسیم و فسفر قابل جذب)، داده‌های مدیریت زراعی (شامل تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله و جهت ردیف‌ها، جمعیت گیاه، کوددهی، آبیاری، پوشش بقایای گیاهی، خاک ورزی و تاریخ برداشت) و اطلاعات فنولوژیکی گیاه (شامل تاریخ گلدهی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و تعداد دانه در خوشه برای برنج و تاریخ گلدهی، تاریخ دانه دهی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی، وزن اندام هوایی، شاخص سطح برگ در هنگام رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و تعداد دانه در غلاف برای سویا). جهت شبیه‌سازی کشت دوم در مدل، در بخش پوشش بقایای گیاهی<sup>۴</sup> که یکی از داده‌های ورودی به مدل DSSAT است با وارد کردن اطلاعاتی از کشت اول، نظیر مشخص کردن نوع کشت و نوع محصول قبلی، تاریخ کاشت و برداشت محصول قبلی، میزان آبیاری و حجم کوددهی محصول قبلی، وزن ریشه محصول قبلی، نوع (ریشه، غده، ساقه، برگ یا غیره) و مقدار بقایای محصول قبلی و همچنین نوع و عمق خاکورزی در کشت دوم، می‌توان شرایط کشت دوم و تأثیری که کشت اول بر آن می‌گذارد را شبیه‌سازی نمود.

#### روش‌ها:

#### تغییر شیوه آبیاری:

1 Atmosphere-Ocean General Circulation Model

2 Consultative Group for International Agricultural Research

3 Climate Change, Agriculture and Food Security Research Program

4 Residue applications

روش مرسوم آبیاری برنج در مناطق برنج خیز ایران، غرقابی دائم با ارتفاع مناسب آب در تمامی طول فصل رویشی است. استفاده از این روش آبیاری موجب مصرف بیش از اندازه آب و پایین آمدن کارایی مصرف آب آبیاری می‌گردد (نیاجلیلی و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین لازمه کشت آن مدیریت صحیح آبیاری می‌باشد، چرا که کمبود آب در شرایط فعلی و بحران آینده آب در ایران واقعیت انکار ناپذیری می‌باشد که تنها با اتخاذ تمهیداتی بر پایه یافته‌های علمی قابل کنترل خواهد بود. یکی از راهکارهای موجود برای کاهش مصرف آب در کشت برنج تغییر روش مرسوم آبیاری غرقابی دائم به روش آبیاری تناوبی با دور مناسب آن رقم می‌باشد. با اعمال مدیریت مناسب کاربرد آب و اعمال دور مناسبی از آبیاری می‌توان بدون ایجاد تنش آب و تبعات آن شامل کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد و یا با درصد قابل قبولی از آن به میزان زیادی در مصرف آب صرفه جویی نمود (پاسکال و همکاران، ۲۰۱۹). پژوهش‌های انجام شده در چین و فیلیپین، کاهش آب مصرفی با استفاده از روش آبیاری تناوبی را بین ۱۳ تا ۳۰ درصد عنوان نمودند. آن‌ها همچنین گزارش نمودند گرچه اجرای شیوه آبیاری تناوبی راهکاری موفقیت آمیز در افزایش راندمان مصرف آب تا ۳۵ درصد بود، اما با کاهش عملکرد دانه نیز همراه بود. دو عامل، استفاده از ارقام مناسب و مدیریت صحیح علف‌های هرز می‌تواند بخش بزرگی از این کاهش عملکرد دانه را جبران نماید (بومن و تانگ، ۲۰۰۱).

طرح آزمایشات مورد استفاده در تحقیق حاضر به صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شده است. برای محصول برنج تیمار اصلی، آبیاری (غرقابی، دور آبیاری ۵ روز، دور آبیاری ۸ روز و دور آبیاری ۱۱ روز) و تیمار فرعی، رقم (رقم هاشمی و رقم علی کاظمی) بود. برای محصول سویا تیمار اصلی، آبیاری (آبیاری کامل به طوری که رطوبت خاک در طول فصل رشد از حد ظرفیت زراعی پایین‌تر نرود، سه آبیاری تکمیلی در زمان-های گلدهی، تشکیل غلاف، پر شدن دانه و دو آبیاری تکمیلی در زمان‌های گلدهی و تشکیل غلاف) و تیمار فرعی، رقم (رقم ویلیامز و رقم هابیت) بود. در ابتدا اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد محصول در رژیم‌های مختلف آبیاری شبیه‌سازی گردید. سپس بررسی شد که تغییر تاریخ کاشت از تاریخ حاضر که ۲۰ اردیبهشت در نظر گرفته شده است به سه دوره ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز تسریع قبل از تاریخ کشت حاضر (به ترتیب متناظر با تاریخ‌های ۱۰ اردیبهشت، ۳۱ فروردین و ۲۱ فروردین) و استفاده هر چه بهتر از باران موثر در طول فصل رشد تا چند درصد کاهش اثرات تغییرات اقلیمی را در شیوه‌های متفاوت مدیریت آبیاری جبران می‌نماید و مناسب‌ترین دور آبیاری در آبیاری تناوبی را مشخص می‌کند.

#### تغییر حجم کوددهی:

گیاهان عناصر معدنی لازم را از خاک جذب می‌نمایند ولی غالباً مقادیر جذب شده از خاک کفاف رشد بهینه گیاه را نمی‌دهد. کودها بمنظور جبران عدم کفایت (توان) طبیعی خاک‌ها در تأمین نیاز غذایی محصولات مصرف می‌شوند. در تعیین حجم مناسب کوددهی به گیاه باید به عوامل فراوانی از جمله راندمان مصرف کود یعنی متناسب بودن افزایش مصرف کود با افزایش عملکرد محصول، اثرات زیست محیطی همچون آلودگی خاک، آب و مسایل اقتصادی آن توجه شود (کای و همکاران، ۲۰۲۰). در تحقیق حاضر حجم کوددهی در شرایط آزمایشی مزرعه برای محصول برنج مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره

بوده است که با تغییر حجم کوددهی به سه تیمار F1: ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفات و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره، F2: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و F3: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، میزان افزایش عملکرد محصول در شرایط تغییر اقلیم افق آینده شبیه سازی و بررسی گردید. همچنین برای محصول سویا حجم کوددهی در شرایط آزمایشی مزرعه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، فسفات و اوره بود که با تغییر حجم کوددهی به سه تیمار F4: ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، F5: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و F6: ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، فسفات و اوره میزان اثرگذاری این تغییر حجم در شرایط تغییر اقلیم آینده مورد بررسی قرار گرفت.

### واسنجی و صحت سنجی:

جهت مشاهده جزئیات روش واسنجی و صحت سنجی همچنین نتایج آن می‌توانید به مقاله سیف زاده و سبزی پرور (۱۴۰۰) مراجعه کنید و از تکرار این مبحث در مقاله حاضر خودداری شده است و تنها به ارائه خلاصه‌ای از اقدامات صورت گرفته اکتفا گردید.

جهت ارزیابی عملکرد مدل‌ها (هم مدل‌های گردش عمومی جو و هم مدل گیاهی DSSAT) از شاخص‌های آماری ضریب تعیین ( $R^2$ )، شاخص توافق ویلموت (D)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) استفاده شد. نتایج مقایسه برون‌داد سه مدل گردش عمومی جو (پارامترهای هواشناسی بیشینه و کمینه دمای روزانه، بارش و تابش کل روزانه) نسبت به داده‌های مشاهده‌ای در دوره آماری مشترک (۲۰۱۰-۲۰۱۹) نشان داد که داده‌های مدل‌سازی شده پایگاه داده MarkSimGCM برآورد بسیار مناسبی داشته و انطباق قابل قبولی با داده‌های مشاهده‌ای دارد. مدل HADGEM2 مطلوب‌ترین عملکرد را نسبت به مدل‌های CSIRO و GFDL داشت. به همین منظور از خروجی داده‌های مدل HADGEM2 برای ادامه کار استفاده شد.

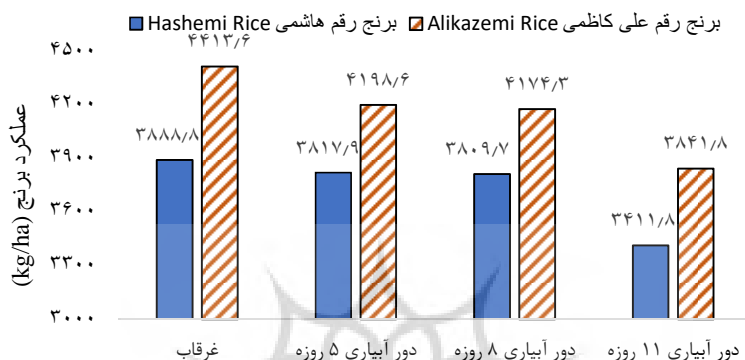
بعد از انتخاب مناسب‌ترین مدل گردش عمومی براساس شاخص‌های آماری مورد بررسی، از داده‌های خروجی آن که همان فراسنجه‌های هواشناسی است به عنوان ورودی جهت اجرای مدل گیاهی DSSAT استفاده شد. با استفاده از اطلاعات فنولوژیکی و داده‌های مشاهده‌ای پنج سال زراعی (۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴) اقدام به واسنجی مدل DSSAT برای ارقام برنج شد. واسنجی مدل DSSAT و محاسبه ضرایب ژنتیکی برای ارقام سویا در سال زراعی ۱۳۹۱ نیز انجام گردید. بعد از واسنجی و اصلاح ضرایب ژنتیکی پیش فرض محصولات مورد مطالعه به وسیله افزونه GENCALC، مدل DSSAT برای دوره صحت سنجی در هفت سال زراعی (۱۳۸۵-۸۹ و ۱۳۹۶-۹۷) برای برنج و سال زراعی ۱۳۹۲ برای سویا، اجرا شد. ارزیابی عملکرد مشاهده‌ای و مدل‌سازی شده در سال‌های یاد شده بر پایه شاخص‌های آماری مورد اشاره، نشان از عملکرد مناسب و مطلوب مدل DSSAT در برآورد عملکرد دارد.

### نتایج و بحث

عملکرد متوسط ۱۲ ساله (فصول زراعی ۸۹-۱۳۸۰ و ۹۷-۱۳۹۶) ارقام مورد مطالعه برنج در مدیریت‌های آبیاری متفاوت بررسی و نتایج آن در شکل ۲ ارائه گردید. در برنج رقم هاشمی در دور آبیاری ۵ روزه شاهد کاهش عملکرد

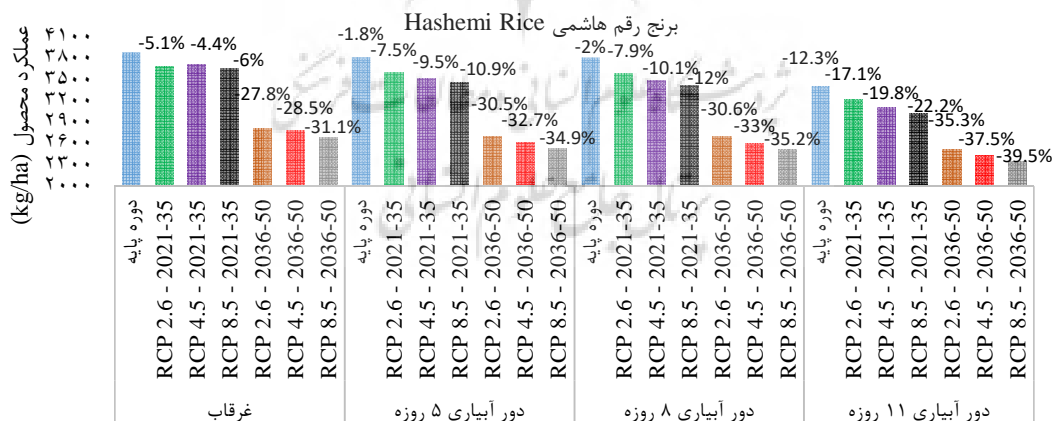


به میزان ۲ درصد نسبت به شیوه آبیاری غرقابی هستیم. این کاهش عملکرد در دور آبیاری ۸ روزه به ۳ درصد و در دور آبیاری ۱۱ روزه به ۱۳ درصد می‌رسد. برنج رقم علی کاظمی حساسیت بیشتری به افزایش طول دوره آبیاری نشان می‌دهد. به طوری که کاهش عملکرد در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی ۵ درصد است. این کاهش عملکرد در دور آبیاری ۸ روزه به ۶ درصد و در دور آبیاری ۱۱ روزه به ۱۳ درصد می‌رسد.



شکل ۲: مقایسه میانگین عملکرد برنج ارقام هاشمی و علی کاظمی در دوره مشاهده‌ای تحت مدیریت‌های آبیاری متفاوت.

در شکل شماره ۳ عملکرد برنج رقم هاشمی در تاریخ کاشت حاضر (۲۰ اردیبهشت) اما با پارامترهای هواشناسی سه سناریو و دو دوره مورد بررسی نشان داده شده است. در بالای هر ستون نمودار مقدار کاهش عملکرد در مدیریت‌های متفاوت آبیاری نسبت به حالت غرقابی در تاریخ کاشت دوره پایه (اولین ستون نمودار) به درصد نشان داده شده است. مطابق پیش بینی بیشترین درصد کاهش عملکرد در تیمار RCP8.5 دوره آینده دور و دور آبیاری ۱۱ روزه با ۳۹/۵ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار دوره پایه آبیاری غرقابی برآورد شده است.

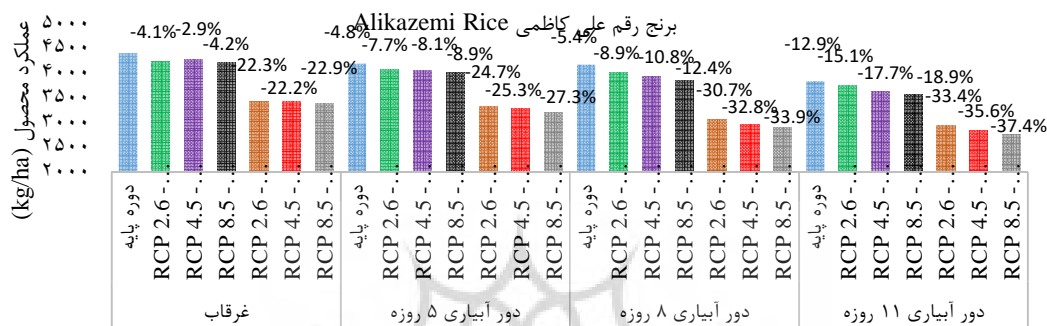


شکل ۳: میانگین عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برنج رقم هاشمی در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۳۵) و دور (۲۰۳۶-۲۰۵۰) تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تاریخ کاشت حاضر (۲۰ اردیبهشت).

در شکل شماره ۴ عملکرد برنج رقم علی کاظمی در تاریخ کاشت حاضر (۲۰ اردیبهشت) اما با پارامترهای هواشناسی سه سناریو و دو دوره مورد بررسی نشان داده شده است. در بالای هر ستون نمودار مقدار کاهش عملکرد نسبت به تیمار دوره پایه آبیاری غرقابی (اولین ستون نمودار) به درصد نشان داده شده است. مشابه رقم هاشمی در رقم علی

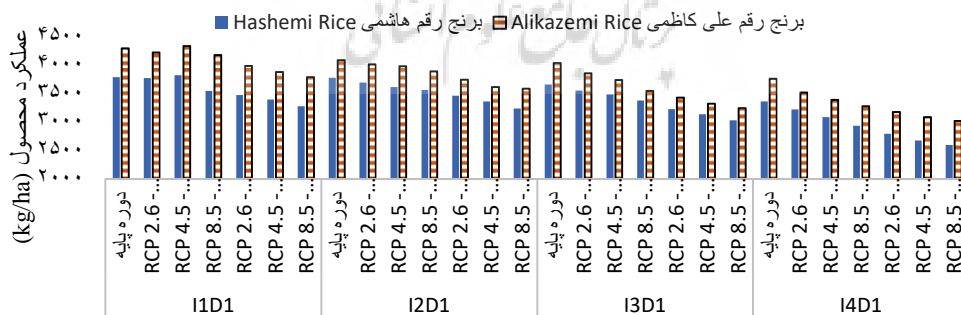


کازمی نیز بیشترین درصد کاهش عملکرد در تیمار RCP8.5 دوره آینده دور و دور آبیاری ۱۱ روزه با ۳۷/۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار دوره پایه آبیاری غرقابی برآورد شده است. این موارد با نتایج پژوهش‌های انجام شده در این راستا همخوانی دارد، به طوریکه در پژوهش آَلجو (۲۰۲۰) که در فیلپین روی برنج رقم بسمتی انجام گردید، کاهش عملکرد ۵۳ درصدی در سال ۲۰۵۰ و ۸۴ درصدی در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ میلادی گزارش شده است.



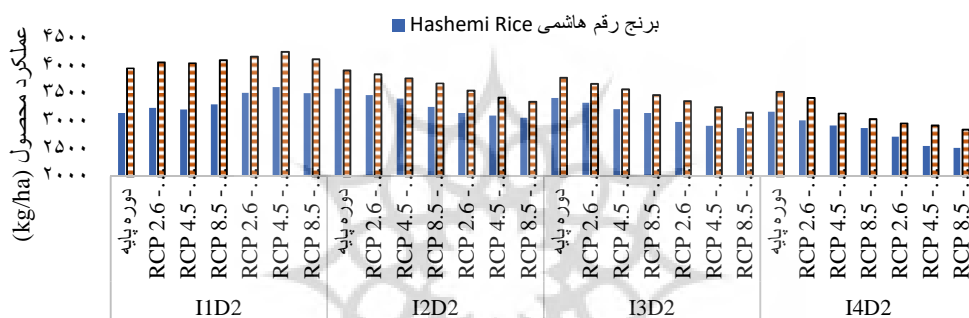
شکل ۴: میانگین عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برنج رقم علی کازمی در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۳۵) و دور (۲۰۳۶-۲۰۵۰) تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تاریخ کاشت حاضر (۲۰ اردیبهشت).

نتایج تسریع ۱۰ روزه تاریخ کاشت (۱۰ اردیبهشت، D<sub>1</sub>) در مدیریت‌های آبیاری و ارقام مورد مطالعه برنج در شکل ۵ قابل مشاهده است. تغییر تاریخ کاشت از ۲۰ اردیبهشت به ۱۰ اردیبهشت در رقم هاشمی تا ۱۶ درصد کاهش عملکرد را در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی و تاریخ کاشت دوره حاضر، جبران می‌نماید. این بهبود عملکرد در دور آبیاری ۸ روزه تا ۱۳ درصد و در دور آبیاری ۱۱ روزه تا ۶ درصد است. تسریع ۱۰ روزه تاریخ کاشت در رقم علی کازمی تا ۹ درصد کاهش عملکرد را در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی و تاریخ کاشت دوره حاضر، جبران می‌نماید. این بهبود عملکرد در دور آبیاری ۸ روزه تا ۷ درصد و در دور آبیاری ۱۱ روزه تا ۵ درصد است.



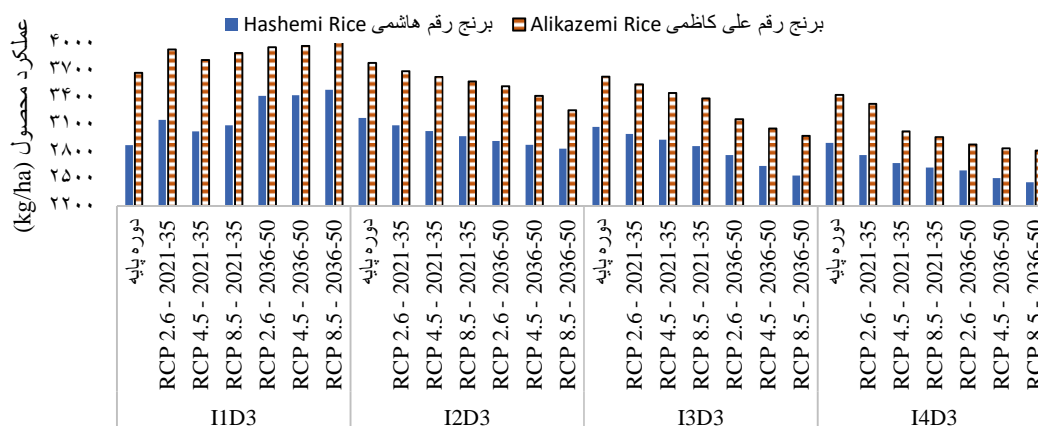
شکل ۵: میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده برنج ارقام هاشمی و علی کازمی در دوره‌های پایه، آینده نزدیک و آینده دور تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تغییر تاریخ کاشت از ۲۰ اردیبهشت به ۱۰ اردیبهشت.

نتایج تسریع ۲۰ روزه تاریخ کاشت (۳۱ فروردین،  $D_2$ ) در ارقام مورد مطالعه برنج در شکل ۶ قابل مشاهده است. تغییر تاریخ کاشت از ۲۰ اردیبهشت به ۳۱ فروردین گرچه در بهبود عملکرد محصول در مواجهه با تغییرات اقلیمی موثر بود اما نتوانسته بود به اندازه تسریع ۱۰ روزه تاریخ کاشت موثر واقع شود. به طوریکه در رقم هاشمی تا ۱۳ درصد کاهش عملکرد را در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی و تاریخ کاشت دوره حاضر، برآورد گردید. این بهبود عملکرد در دور آبیاری ۸ روزه تا ۹ درصد و در دور آبیاری ۱۱ روزه تا ۴ درصد است. تسریع ۲۰ روزه تاریخ کاشت در رقم علی کاظمی تا ۳ درصد کاهش عملکرد را در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی و تاریخ کاشت دوره حاضر، جبران می‌نماید. این بهبود عملکرد در دور آبیاری ۸ روزه تا ۵ درصد و در دور آبیاری ۱۱ روزه تا ۲ درصد است.



شکل ۶: میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده برنج ارقام هاشمی و علی کاظمی در دوره‌های پایه، آینده نزدیک و آینده دور تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تغییر تاریخ کاشت از ۲۰ اردیبهشت به ۳۱ فروردین.

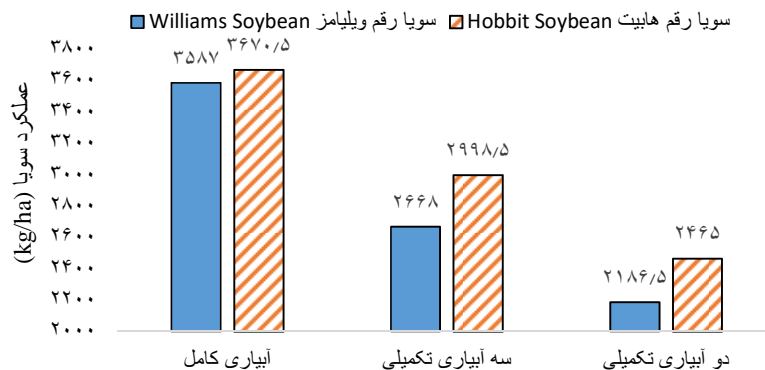
نتایج تسریع ۳۰ روزه تاریخ کاشت (۲۱ فروردین،  $D_3$ ) در ارقام مورد مطالعه برنج در شکل ۷ قابل مشاهده است. تغییر تاریخ کاشت از ۲۰ اردیبهشت به ۲۱ فروردین در آبیاری غرقابی و دور آبیاری پنج روزه، اندکی موجب بهبود عملکرد گردیده اما در دور آبیاری ۸ و ۱۱ روزه کاهش عملکرد بالاتری نسبت به تاریخ کاشت کنونی برآورد گردیده است. تسریع ۳۰ روزه کاشت در رقم هاشمی تا ۷ درصد کاهش عملکرد را در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی و تاریخ کاشت دوره حاضر، برآورد گردید. در دور آبیاری ۸ روزه تا ۳ درصد و در دور آبیاری ۱۱ روزه تا ۴ درصد کاهش عملکرد را بیشتر نیز نموده است. تسریع ۳۰ روزه تاریخ کاشت در رقم علی کاظمی تا ۱ درصد کاهش عملکرد را در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی و تاریخ کاشت دوره حاضر، جبران می‌نماید. در دور آبیاری ۸ روزه تا ۳ درصد و در دور آبیاری ۱۱ روزه تا ۵ درصد کاهش عملکرد را بیشتر نموده است.



شکل ۷: میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده برنج ارقام هاشمی و علی کاظمی در دوره‌های پایه، آینده نزدیک و آینده دور تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تغییر تاریخ کاشت از ۲۰ اردیبهشت به ۲۱ فروردین.

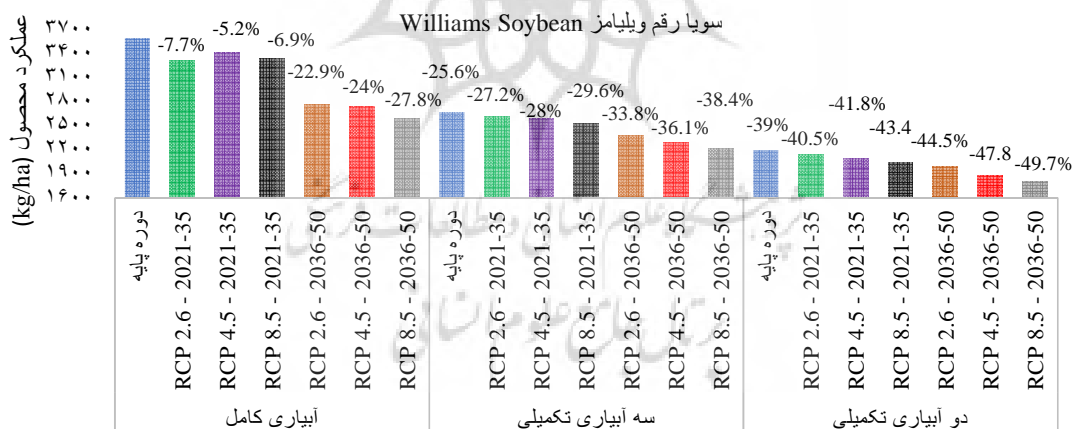
همانطور که در تصاویر ۵، ۶ و ۷ قابل مشاهده است تسریع بیشتر تاریخ کاشت در سناریو بدبینانه RCP8.5 عملکرد بهتری نسبت به سایر سناریوها دارد. در واقع در سناریوی RCP2.6 در ۲۰ و ۳۰ روز تسریع کاشت همچنین در سناریوی RCP4.5 در ۳۰ روز تسریع کاشت تا سال ۲۰۲۶ میلادی حداقل دمای بیولوژیک محصول برنج در مرحله نشاء (۱۵ درجه سانتی‌گراد) تامین نمی‌گردد و این موضوع منجر به کاهش عملکرد محصول خواهد شد. در تحقیق ناصرزاده و همکاران (۱۳۹۹) نیز با مشخص کردن تاریخ رخداد دمای حداقل برای آغاز دوره رشد (صفر بیولوژیک) و دمای حداکثر برای پایان دوره رشد برنج (دمای کشنده) همچنین تعیین تاریخ رخداد 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 اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم، کشت برنج می‌تواند ۲ تا ۲۳ روز زودتر انجام شود و تعداد روزهای لازم برای رسیدگی فیزیولوژیکی نیز بین یک تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت.

عملکرد متوسط دو ساله (فصول زراعی ۹۳-۱۳۹۲) ارقام مورد مطالعه سویا در مدیریت‌های آبیاری متفاوت بررسی و نتایج آن در شکل ۸ ارائه گردید. در سه آبیاری تکمیلی، سویا رقم ویلیامز با ۲۶ درصد کاهش عملکرد نسبت به آبیاری کامل، بیشترین کاهش عملکرد را به خود اختصاص داده است. سپس سویا رقم هابیت با ۱۸ درصد کاهش عملکرد نسبت به آبیاری کامل قرار دارند. در دو آبیاری تکمیلی بعد از رقم ویلیامز با ۳۹ درصد کاهش عملکرد، رقم هابیت با ۳۳ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار آبیاری کامل قرار دارد.



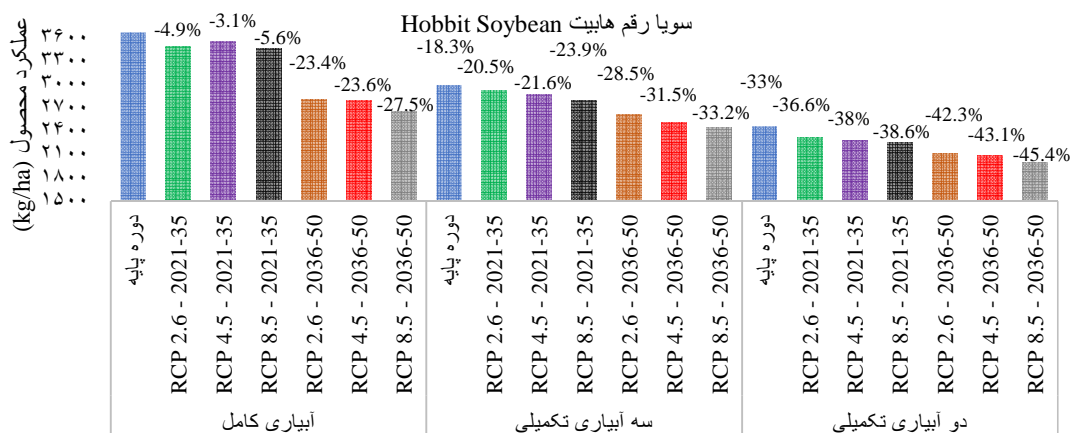
شکل ۸: مقایسه میانگین عملکرد سویا ارقام ویلیامز و هابیت در دوره مشاهده‌ای تحت مدیریت‌های آبیاری متفاوت.

در شکل ۹ عملکرد سویا رقم ویلیامز در تاریخ کاشت حاضر (۱۵ خرداد) اما با پارامترهای هواشناسی اقلیم آینده (سه سناریو و دو دوره مورد بررسی) نشان داده شده است. در بالای هر ستون نمودار مقدار کاهش عملکرد نسبت به تیمار دوره پایه آبیاری کامل (اولین ستون نمودار) به درصد نشان داده شده است. بیشترین درصد کاهش عملکرد در تیمار RCP8.5 دوره آینده دور و دو آبیاری تکمیلی با ۴۹/۷ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار دوره پایه آبیاری کامل پیش بینی شده است.



شکل ۹: میانگین عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی سویا رقم ویلیامز در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۳۵) و دور (۲۰۳۶-۲۰۵۰) تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تاریخ کاشت حاضر (۱۵ خرداد).

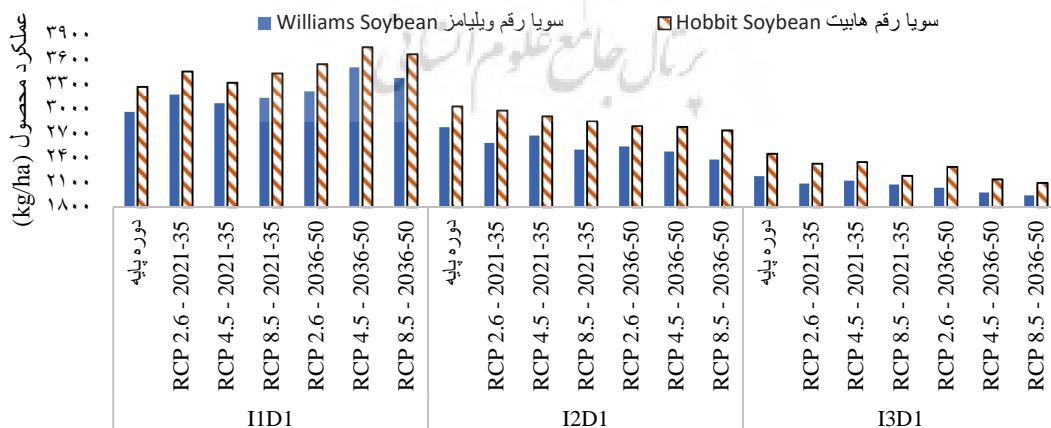
در شکل ۱۰ عملکرد سویا رقم هابیت در تاریخ کاشت حاضر (۱۵ خرداد) اما با پارامترهای هواشناسی اقلیم آینده (سه سناریو و دو دوره مورد بررسی) نشان داده شده است. در بالای هر ستون نمودار مقدار کاهش عملکرد نسبت به تیمار دوره پایه آبیاری کامل (اولین ستون نمودار) به درصد نشان داده شده است. بیشترین درصد کاهش عملکرد در تیمار RCP8.5 دوره آینده دور و دو آبیاری تکمیلی با ۴۵/۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار دوره پایه آبیاری کامل برآورد شده است.



شکل ۱۰: میانگین عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی سویا رقم هابیت در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۵-۲۰۲۱) و دور (۲۰۵۰-۲۰۲۶) تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تاریخ کاشت حاضر (۱۵ خرداد).

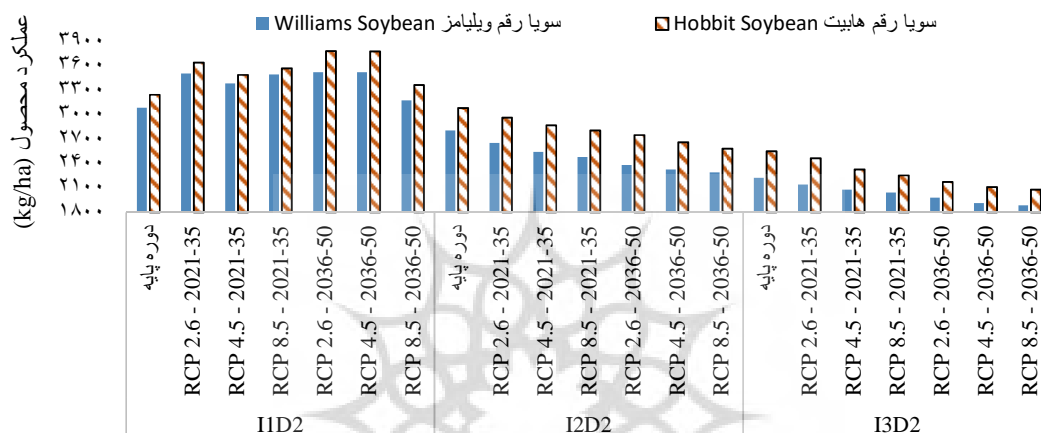
در این مطالعه سه تاریخ کاشت برای ارقام مورد مطالعه سویا بعد از برداشت برنج در نظر گرفته شد. تاریخ اول، یک هفته بعد از برداشت برنج (۲۸ تیر) تاریخ سوم به نحوی تعیین گردید تا قبل از فرا رسیدن دوره یخبندان فصل زراعی به پایان برسد به همین منظور تاریخ ۱۵ شهریور به عنوان آخرین تاریخ کاشت سویا تعیین گردید. تاریخ دوم کاشت (۲۰ مرداد) حد فاصل بین تاریخ اول کاشت و تاریخ سوم کاشت در نظر گرفته شد.

در شکل ۱۱ نتایج تغییر تاریخ کاشت اول (۲۸ تیر، D<sub>1</sub>) در ارقام مورد مطالعه سویا قابل مشاهده است. در رقم ویلیامز تا ۲۲ درصد کاهش عملکرد در آبیاری کامل نسبت به تاریخ کاشت دوره حاضر، جبران گردیده است. این بهبود عملکرد در سه آبیاری تکمیلی تا ۶ درصد و در دو آبیاری تکمیلی تا ۴ درصد است. در رقم هابیت تا ۲۷ درصد کاهش عملکرد در تیمار آبیاری کامل بهبود می‌یابد. این بهبود عملکرد در سه آبیاری تکمیلی تا ۸ درصد و در دو آبیاری تکمیلی تا ۵ درصد است.



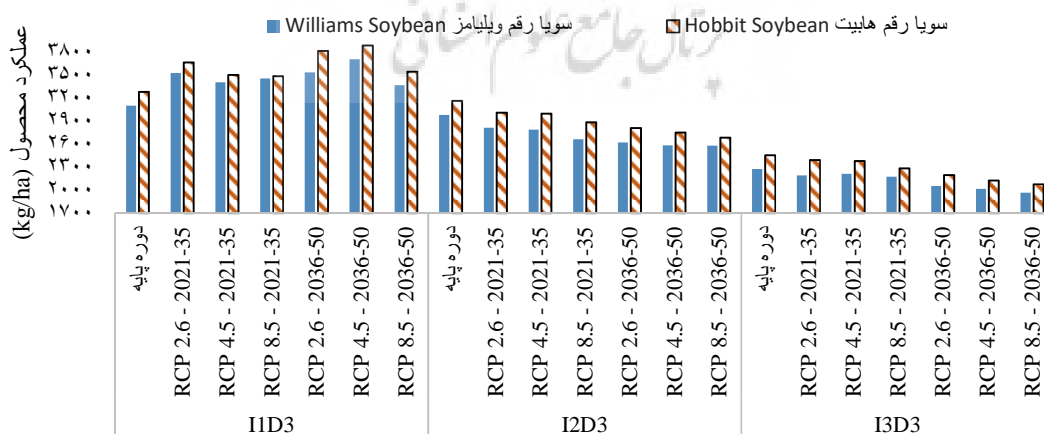
شکل ۱۱: میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده سویا ارقام ویلیامز و هابیت در دوره‌های پایه، آینده نزدیک و آینده دور تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تغییر تاریخ کاشت از ۱۵ خرداد به ۲۸ تیر.

در شکل ۱۲ میانگین عملکرد مدلسازی شده سویا در تاریخ کاشت دوم (۲۰ مرداد، D<sub>2</sub>) نشان داده شده است. در رقم ویلیامز تا ۱۶ درصد بهبود عملکرد در آبیاری کامل نسبت به تاریخ کاشت دوره حاضر، برآورد می‌گردد. این بهبود عملکرد در سه آبیاری تکمیلی تا ۳ درصد و در دو آبیاری تکمیلی تا ۲ درصد است. در رقم هابیت تا ۲۵ درصد کاهش عملکرد در تیمار آبیاری کامل جبران می‌شود. این بهبود عملکرد در سه آبیاری تکمیلی تا ۴ درصد و در دو آبیاری تکمیلی تا ۲ درصد است.



شکل ۱۲: میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده سویا ارقام ویلیامز و هابیت در دوره‌های پایه، آینده نزدیک و آینده دور تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تغییر تاریخ کاشت از ۱۵ خرداد به ۲۰ مرداد.

میانگین عملکرد مدلسازی شده سویا در تاریخ کاشت سوم (۱۵ شهریور، D<sub>3</sub>) در شکل ۱۳ قابل مشاهده است. در رقم ویلیامز تا ۲۴ درصد کاهش عملکرد در آبیاری کامل نسبت به تاریخ کاشت دوره حاضر، جبران می‌شود. این بهبود عملکرد در سه آبیاری تکمیلی تا ۱۰ درصد و در دو آبیاری تکمیلی تا ۵ درصد است. در رقم هابیت تا ۲۸ درصد کاهش عملکرد در تیمار آبیاری کامل بهبود می‌یابد. این بهبود عملکرد در سه آبیاری تکمیلی تا ۷ درصد و در دو آبیاری تکمیلی تا ۲ درصد است.

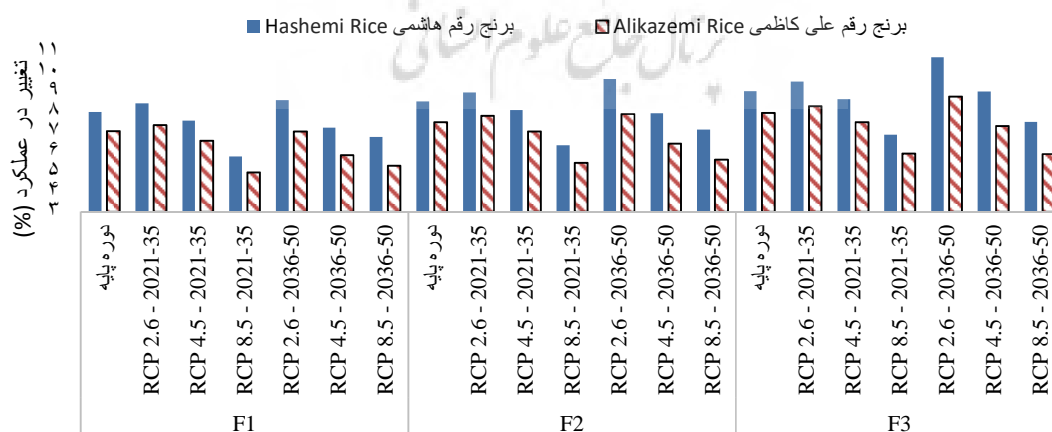


شکل ۱۳: میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده سویا ارقام ویلیامز و هابیت در دوره‌های پایه، آینده نزدیک و آینده دور تحت سه سناریوی مورد بررسی و مدیریت‌های آبیاری متفاوت در تغییر تاریخ کاشت از ۱۵ خرداد به ۱۵ شهریور.

در هر سه تاریخ کاشت مورد بررسی برای محصول سویا، دمای پایه بیولوژیک گیاه (۱۰ درجه سانتی‌گراد) تامین می‌گردد. در تاریخ‌های کشت اول و سوم دما در محدوده دمای مطلوب (۲۷-۳۴ درجه سانتی‌گراد) قرار دارد. در تاریخ کاشت دوم علی‌رغم فراتر رفتن دما از محدوده مطلوب گیاه اما در هیچ سالی از سقف دمایی محصول سویا (۴۵ درجه سانتی‌گراد) فراتر نرفت. دلیل عملکرد بهتر گیاه در تاریخ‌های کاشت اول و سوم را می‌توان به این موضوع نسبت داد.

### تغییر در حجم کوددهی:

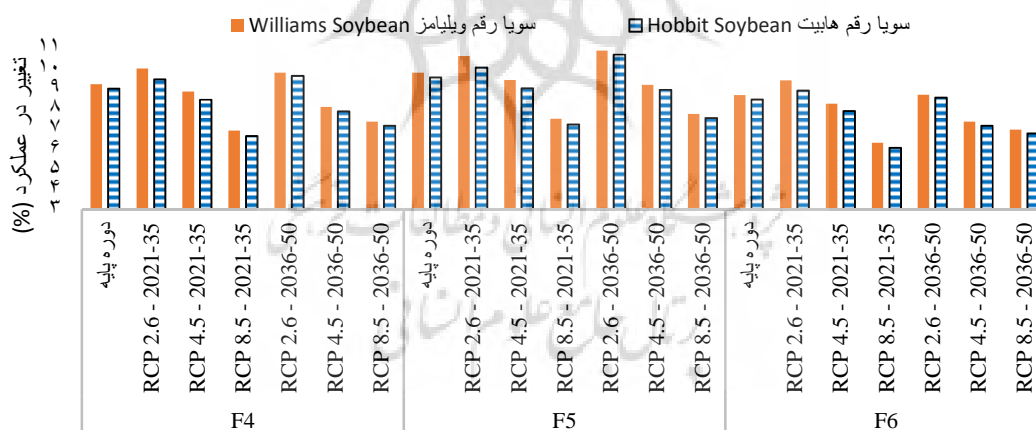
اگرچه میزان دقیق مصرف کود شیمیایی و نوع آن باید بر اساس آزمون خاک صورت گیرد اما بر اساس نتایج تجزیه خاک منطقه مورد مطالعه و میزان کربن آلی، پتاسیم قابل جذب و فسفر قابل جذب، حجم کوددهی در شرایط حاضر مدیریت زراعی مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات برای محصول برنج در نظر گرفته و اعمال شد. افزایش حجم کوددهی به عنوان یکی از راه‌های سازگاری با کاهش عملکرد حاصل از تغییرات اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۱۴ قابل مشاهده است. تغییر حجم کوددهی برای محصول برنج با سه تیمار F1: ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفات و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره، F2: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و F3: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، شبیه سازی گردید. بالاترین درصد تغییر در عملکرد محصول برنج نسبت به شرایط حاضر در حجم کوددهی F3 برآورد گردید به طوری که در تیمار RCP2.6 دوره آینده دور تا ۱۰/۷ درصد افزایش عملکرد رخ داده است. در مجموع درصد افزایش عملکرد در سناریو RCP2.6 بالاتر از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برآورد گردیده است. همچنین مقادیر افزایش درصد عملکرد در رقم هاشمی بزرگ‌تر از رقم علی‌کاضمی است و تغییر در حجم مصرف کود در رقم هاشمی اثر بیشتری در عملکرد این رقم نسبت به رقم علی‌کاضمی گذاشته است.



شکل ۱۴: درصد تغییرات در عملکرد محصول برنج در تغییر حجم کوددهی تحت سه سناریوی مورد بررسی و تاریخ کاشت حاضر (۲۰ اردیبهشت).



حجم کوددهی در شرایط حاضر مدیریت زراعی برای سویا مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات در نظر گرفته و اعمال شد. یکی از راه‌های سازگاری در مقابل کاهش عملکرد محصول سویا بر اثر تغییرات اقلیمی، افزایش حجم کوددهی است که نتایج آن در شکل ۱۵ قابل مشاهده است. تغییر حجم کوددهی برای محصول سویا به شکل ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره، پتاس و فسفات (F4)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، پتاس و فسفات (F5) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، پتاس و فسفات (F6) شبیه سازی گردید. بالاترین درصد تغییر در عملکرد محصول سویا نسبت به شرایط حاضر در حجم کوددهی F5 برآورد گردید و کمترین درصد افزایش عملکرد در حجم کوددهی F6 ثبت شده است. این موضوع نشان می‌دهد که بالاتر بردن میزان مصرف کود از حجم F5 جز اتلاف سرمایه و آلودگی زیست محیطی عایدی دیگری ندارد. بالاترین درصد افزایش عملکرد در حجم کوددهی F5 و تیمار RCP2.6 دوره آینده دور به میزان ۱۰/۸ درصد رخ داده است. مشابه محصول برنج، در محصول سویا نیز درصد افزایش عملکرد در سناریو RCP2.6 بالاتر از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برآورد گردیده است که نشان از این مورد دارد که میزان کاهش عملکرد محصول بر اثر افزایش دما به میزان افزایش محصول بر اثر تغییرات حجم کوددهی غلبه دارد. همچنین مقادیر افزایش درصد عملکرد در رقم ویلیامز بزرگ‌تر از رقم هابیت است و تغییر در حجم مصرف کود در رقم ویلیامز اثر بیشتری در عملکرد نسبت به دیگر رقم مورد مطالعه داشته است.



شکل ۱۵: درصد تغییرات در عملکرد محصول سویا در تغییر حجم کوددهی تحت سه سناریوی مورد بررسی و تاریخ کاشت حاضر (۱۵ خرداد).

### نتیجه گیری

نتایج بررسی‌ها بر پایه چهار شاخص آماری مورد مطالعه ( $R^2$ , D, RMSE, NRMSE)، نشان از دقت بالای داده‌های مدل‌سازی شده مارکسیم و شبیه‌سازی عملکرد محصولات مورد مطالعه در مدل‌های گیاهی CERES-Rice و CROPGRO-Soybean دارد. همچنین نتایج مقاله سیف زاده و سبزی پرور (۱۴۰۰) نشان داد که در منطقه مورد

مطالعه در طی دهه‌های آینده شاهد تغییرات معنی‌دار در پارامترهای اقلیمی (بیشینه دما، کمینه دما، میزان بارش) خواهیم بود و این تغییرات عملکرد محصولات زراعی مورد بررسی را با کاهش قابل ملاحظه‌ای مواجه می‌سازد. با توجه به پیش بینی کاهش میزان بارش در اقلیم آینده در منطقه مورد مطالعه، تغییر شیوه مدیریت آبیاری محصول نیز اجتناب ناپذیر است. به همین منظور و به جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب، اجرای آبیاری تناوبی به جای آبیاری غرقابی در کشت برنج و آبیاری تکمیلی به جای آبیاری کامل در کشت سویا مورد ارزیابی قرار گرفت. در شرایط حاضر دور آبیاری ۵ روزه تا ۲ درصد در رقم هاشمی و ۵ درصد در رقم علی کاظمی نسبت به آبیاری غرقابی کاهش عملکرد نشان می‌دهد. اما در شرایط اقلیمی آینده و تاریخ کاشت فعلی، کاهش عملکرد بسیار بالاتری در تغییر شیوه آبیاری برآورد گردید. بطوریکه در سناریوی بدبینانه RCP8.5 پنجره آینده دور و دوره آبیاری ۵ روزه، نسبت به آبیاری غرقابی به طور متوسط با ۳۴/۹ درصد کاهش عملکرد مواجه خواهد شد. طبق نتایج بدست آمده، تسریع در کاشت می‌تواند این کاهش عملکرد شدید حاصل از تغییر شیوه آبیاری را تعدیل نماید. بنابراین، تسریع ۱۰ روزه تاریخ کاشت (۱۰ اردیبهشت) در رقم هاشمی می‌تواند تا ۱۶ درصد کاهش عملکرد را در دور آبیاری ۵ روزه نسبت به آبیاری غرقابی و تاریخ کاشت دوره حاضر، جبران کند. این بهبود عملکرد در دوره آبیاری ۸ روزه تا ۱۳ درصد و در دوره آبیاری ۱۱ روزه تا ۶ درصد است.

همچنین در این پژوهش افزایش حجم کوددهی به عنوان یکی دیگر از راهکارهای سازگاری با کاهش عملکرد حاصل از تغییرات اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. بالاترین درصد افزایش عملکرد محصول برنج نسبت به شرایط حاضر در حجم کوددهی F3 (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات) به دست آمد به طوری که در سناریوی RCP2.6 در پنجره زمانی آینده دور تا ۱۰/۷ درصد افزایش عملکرد رخ خواهد داد. در پژوهش چان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش گردیده است که از میان عوامل تولید، افزایش عملکرد ناشی از مصرف کود به طور متوسط حدود ۲۵ درصد می‌باشد و این نشان دهنده اهمیت بالای مصرف کود در افزایش تولید می‌باشد. مشابه محصول برنج، در محصول سویا نیز درصد افزایش عملکرد در سناریوی RCP2.6 بالاتر از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برآورد گردید که تاکید بر این موضوع دارد که میزان کاهش عملکرد محصول ناشی از افزایش دما به میزان افزایش عملکرد بر اثر تغییرات حجم کوددهی غلبه دارد.

## منابع

- برادران، فاطمه؛ سلطانی محمدی، امیر؛ ایزدپناه، زهرا. (۱۳۹۶). ارزیابی مدل SIMETAW در شبیه سازی پارامترهای هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل در چهار اقلیم مختلف. مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۰، شماره ۲، صص ۲۴۹-۲۳۷. doi: [10.22055/jise.2017.13182](https://doi.org/10.22055/jise.2017.13182)
- رضایی، مجتبی؛ شاهنظری، علی؛ رائینی، محمود؛ وظیفه دوست، مجید. (۱۳۹۴). ارزیابی کارایی مدل CERES-Rice در تخمین عملکرد و بهره‌وری آب برنج در مقیاس وسیع. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، جلد ۹، صص ۲۹۱-۲۸۳. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=285816>
- سیف زاده مومن سراپی، علیرضا؛ سبزی پرور، علی اکبر. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی تقویم زراعت برنج (*Oryza sativa* L) و کشت دوم سویا (*Glycine max*) در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های دینامیکی گردش عمومی جو و مدل گیاهی DSSAT. نشریه علوم زراعی ایران، شماره ۴، جلد ۲۳، صص ۳۷۲-۳۵۷. doi: [20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5](https://doi.org/10.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5)

- شادیپور رشتی، مریم. (۱۳۹۲)؛ شبیه‌سازی عملکرد برنج رقم هاشمی تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، استاد راهنما: محمدرضا خالدیان، گیلان، دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی، گروه آموزشی علوم و مهندسی آب.
- علیزاده، مریم؛ افراسیاب، پیمان؛ یزدانی، محمدرضا؛ لیاقت، عبدالمجید؛ دلبری، معصومه. (۱۳۹۵). ارزیابی اثر فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری به منظور کشت دوم در یک مزرعه نمونه در گیلان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، شماره ۲، جلد ۳۰، صص ۱۵۹-۱۷۱. doi: [10.22092/JWRA.2016.106641](https://doi.org/10.22092/JWRA.2016.106641)
- ناصرزاده، محمدحسین؛ علیجانی، بهلول؛ پایداری، مریم. (۱۳۹۹). تاثیر تغییر اقلیم بر وضعیت عملکرد برنج در شهرستان رشت. نشریه علوم آب و خاک، سال ۲۴، شماره ۲، صص ۴۱-۵۴. doi: [10.47176/jwss.24.2.39601](https://doi.org/10.47176/jwss.24.2.39601)
- Alejo, L.A. (2020). Assessing the impacts of climate change on aerobic rice production using the DSSAT CERES-Rice model. *Journal of Water and Climate Change*, 5(3), pp 1-13. doi: [10.2166/wcc.2020.286](https://doi.org/10.2166/wcc.2020.286).
- Bouman, B.A., Tuong, T.P. (2001). Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agriculture Water Management*, 49, pp 11-30. doi: [10.1016/S0378-3774\(00\)00128-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00128-1).
- Chun, J., Li, S., Wang, Q., Lee, W., Lee, E., Horstmann, N., Park, H., Veasna, T., Vanndy, L., Pros, K., Vang, S. (2016). Assessing rice productivity and adaptation strategies for Southeast Asia under climate change through multi-scale crop modeling. *Agricultural Systems Journal*, 143, pp 14-21. doi: [10.1016/j.agsy.2015.12.001](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.001).
- Cui, N., Cai, M., Zhang, Z., Abdelhafez, A., Zhou, L., Sun, H., Chen, G., Zou, G., Zhou, SH. (2020). Runoff loss of nitrogen and phosphorus from a rice paddy field in the east of China: Effects of long-term chemical N fertilizer and organic manure applications. *Journal of Global Ecology and Conservation*, 22, pp 101-121. doi: [10.1016/j.gecco.2020.e01011](https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01011).
- Da Silva, E.H., Silva Antolin, L.A., Zanon, A.J., Andrade Junior, A.S., De Souza, A.H., Carvalho, K., Ricardo Marin, F. (2021). Impact assessment of soybean yield and water productivity in Brazil due to climate change. *European Journal of Agronomy*, 129, PP 318-332. doi: [10.1016/j.eja.2021.126329](https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126329).
- Duko, C., Zwart, S.J., Hein, L. (2018). Impact of climate change on cropping pattern in a tropical. subtropical watershed, 13(3), pp 1-21. doi: [10.1371/journal.pone.0192642](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192642).
- Jiang, Z., Srivatsan, V., Hur, J., Sun, Y., Liang, S., Nguyen, V., Pham Dang, T. (2018). Future changes in rice yields over the Mekong River Delta due to climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(3), pp 1-11. doi: [10.1007/s00704-018-2617-z](https://doi.org/10.1007/s00704-018-2617-z).
- Li, S., Wang, Q., Chun, J.A. (2017). Impact assessment of climate change on rice productivity in the Indochinese Peninsula using a regional-scale crop model. *International Journal of Climatology*, 37, pp 1147-1160. doi: [10.1002/joc.5072](https://doi.org/10.1002/joc.5072).
- Niajalili, M., Mayeli, P., Naghashzadegan, M., Haghighi Poshtiri, A. (2017). Techno-economic feasibility of off-grid solar irrigation for a rice paddy in Guilan province in Iran: A case study. *Solar Energy Journal*, 150, pp 546-557. doi: [10.1016/j.solener.2017.05.012](https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.012).
- Pascual, K., Sibayan, E., Grospe, F., Remocal, A., T-Padre, A., Tokida, T. (2019). Is alternate wetting and drying irrigation technique enough to reduce methane emission from a tropical rice paddy?. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 65, pp 203-207. doi: [10.1080/00380768.2019.1579615](https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1579615).
- Pirvali Beiranvand, J., Ghamghami, M. (2022). Yield response to climate change and reduced water use: a comparison between parent and nuclear-mutant lines of soybean. *Modeling Earth Systems and Environment*, 58, PP 132-146. doi: [10.1007/s40808-022-01429-z](https://doi.org/10.1007/s40808-022-01429-z).
- Van Wart, J., Kersebaum, K.C., Peng, S., Milner, M., Cassman, K.G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research Journal*, 143, pp 34-43. doi: [10.1016/j.fcr.2012.11.018](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.018).

## References

### References (in Persian)

- Alizadeh, M., Afrasiyab, P., Yazdani, M., Liaghat, A., Delbari, M. (2016). Evaluation of Effect of Space And Depth of Subsurface Drainage in of Paddy Field in Order To Develop Second Crop in A Pilot Farm of Guilan Province. *Iranian Journal of Water Reaserch In Agriculture*, 30(2), pp 159-172. doi: [10.22092/JWRA.2016.106641](https://doi.org/10.22092/JWRA.2016.106641). [In Persian]
- Baradaran, F., Soltani Mohammadi, A., Ezad Panah, Z. (2017). Evaluation of SIMETAW Model for Simulation of Meteorological Parameters and Potential Evapotranspiration in Four Different Climates. *Irrigation Sciences and Engineering Journal*, 40(2), pp 237-249. doi: [10.22055/jise.2017.13182](https://doi.org/10.22055/jise.2017.13182). [In Persian]
- Naserzadeh, M., Alijani, B., Payari, M. (2020). The Effect of Climate Change on The Yield of Rice in Rasht County. *Water and Soil Science Journal*, 24(2), pp 41-54. doi: [10.47176/jwss.24.2.39601](https://doi.org/10.47176/jwss.24.2.39601). [In Persian]
- Rezaei, M., Shahnazari, A., Raeini Sarjaz, M., Vazifedoust, M. (2015). Large-Scale Simulation of Rice Yield And Water Productivity Using Ceres-Rice Model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(2), pp 283-291. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=285816>. [In Persian]
- Seifzadeh Momensaraei, A., Sabziparvar, A. (2022). 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. *Iranian Journal of Crop Science*, 23(4), pp 357-372. doi: [20.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5](https://doi.org/10.1001.1.15625540.1400.23.4.5.5). [In Persian]
- Shadpour Rashti, M. (2013); Simulation of Hashemi Rice variety performance under different irrigation managements, Master's thesis, field of irrigation and drainage, Supervisor: Mohammadreza Khaledian, Guilan, University of Gilan, Faculty of Agriculture, Department of Water Science and Engineering. [In Persian]

### References (in English)

- Alejo, L.A. (2020). Assessing the impacts of climate change on aerobic rice production using the DSSAT CERES-Rice model. *Journal of Water and Climate Change*, 5(3), pp 1-13. doi: [10.2166/wcc.2020.286](https://doi.org/10.2166/wcc.2020.286).
- Bouman, B.A., Tuong, T.P. (2001). Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agriculture Water Management*, 49, pp 11–30. doi: [10.1016/S0378-3774\(00\)00128-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00128-1).
- Chun, J., Li, S., Wang, Q., Lee, W., Lee, E., Horstmann, N., Park, H., Veasna, T., Vanndy, L., Pros, K., Vang, S. (2016). Assessing rice productivity and adaptation strategies for Southeast Asia under climate change through multi-scale crop modeling. *Agricultural Systems Journal*, 143, pp 14–21. doi: [10.1016/j.agsy.2015.12.001](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.001).
- Cui, N., Cai, M., Zhang, Z., Abdelhafez, A., Zhou, L., Sun, H., Chen, G., Zou, G., Zhou, SH. (2020). Runoff loss of nitrogen and phosphorus from a rice paddy field in the east of China: Effects of long-term chemical N fertilizer and organic manure applications. *Journal of Global Ecology and Conservation*, 22, pp 101-121. doi: [10.1016/j.gecco.2020.e01011](https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01011).
- Da Silva, E.H., Silva Antolin, L.A., Zanon, A.J., Andrade Junior, A.S., De Souza, A.H., Carvalho, K., Ricardo Marin, F. (2021). Impact assessment of soybean yield and water productivity in Brazil due to climate change. *European Journal of Agronomy*, 129, PP 318-332. doi: [10.1016/j.eja.2021.126329](https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126329).
- Duko, C., Zwart, S.J., Hein, L. (2018). Impact of climate change on cropping pattern in a tropical. subtropical watershed, 13(3), pp 1-21. doi: [10.1371/journal.pone.0192642](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192642).
- Jiang, Z., Srivatsan, V., Hur, J., Sun, Y., Liang, S., Nguyen, V., Pham Dang, T. (2018). Future changes in rice yields over the Mekong River Delta due to climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(3), pp 1-11. doi: [10.1007/s00704-018-2617-z](https://doi.org/10.1007/s00704-018-2617-z).
- Li, S., Wang, Q., Chun, J.A. (2017). Impact assessment of climate change on rice productivity in the Indochinese Peninsula using a regional-scale crop model. *International Journal of Climatology*, 37, pp 1147– 1160. doi: [10.1002/joc.5072](https://doi.org/10.1002/joc.5072).
- Niajalili, M., Mayeli, P., Naghashadegan, M., Haghighi Poshtiri, A. (2017). Techno-economic feasibility of off-grid solar irrigation for a rice paddy in Guilan province in Iran: A case study. *Solar Energy Journal*, 150, pp 546-557. doi: [10.1016/j.solener.2017.05.012](https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.012).
- Pascual, K., Sibayan, E., Grospe, F., Remocal, A., T-Padre, A., Tokida, T. (2019). Is alternate wetting and drying irrigation technique enough to reduce methane emission from a tropical rice paddy?. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 65, pp 203-207. doi: [10.1080/00380768.2019.1579615](https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1579615).
- Pirvali Beiranvand, J., Ghamghami, M. (2022). Yield response to climate change and reduced water use: a comparison between parent and nuclear-mutant lines of soybean. *Modeling Earth Systems and Environment*, 58, PP 132-146. doi: [10.1007/s40808-022-01429-z](https://doi.org/10.1007/s40808-022-01429-z).
- Van Wart, J., Kersebaum, K.C., Peng, S., Milner, M., Cassman, K.G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research Journal*, 143, pp 34–43. doi: [10.1016/j.fcr.2012.11.018](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.018).