

## بررسی اثر تغییر اقلیم و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت بر عملکرد سویا

سیده طیبه حسینی، مجتبی خوش روش<sup>۱\*</sup> و میرخالق ضیاءتبار احمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

tayyeb.hosseini@gmail.com

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

khoshraresh\_m24@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

mzahmadi@yahoo.com

### چکیده

تغییر اقلیم باعث تغییراتی در الگوهای بارش و دما و مقدار آن‌ها می‌شود و این تغییرات می‌تواند عملکرد گیاهان را تحت تاثیر قرار دهد. در این پژوهش با استفاده از مدل AquaCrop به شبیه‌سازی مقدار عملکرد دانه و زیست توده گیاه سویا تحت اقلیم آینده، در تیمارهای مختلف آبیاری و تاریخ‌های کشت مختلف به‌عنوان یک راهکار سازگاری، پرداخته شد. به این منظور، از داده‌های تولیدی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی مدل ریز مقیاس نمایی آماری LARS-WG با استفاده از مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تحت سناریوهای انتشار A2 و B1، در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۸، ۲۰۳۹-۲۰۶۶ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷ استفاده شد. مدل AquaCrop قبل از استفاده، توسط داده‌های مزرعه‌ای جمع‌آوری شده در منطقه، واسنجی و صحت‌سنجی شد. سپس مقادیر عملکرد دانه و زیست توده در دوره‌های آبی، برای شش تاریخ کشت مختلف و برای تیمارهای ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۵٪ نیاز آبی گیاه، شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج، تحت سناریوهای انتشار A2 و B1 در تاریخ کشت ۲۷ خرداد، برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۸ نسبت به دوره پایه، مقادیر زیست توده و عملکرد دانه شبیه‌سازی شده به‌ترتیب بین ۵ تا ۱۱/۵ درصد و ۸/۳ تا ۱۳/۷ درصد کاهش، برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۶ بین ۱۸/۶ تا ۲۴ درصد و ۱۶ تا ۲۴/۴ درصد افزایش و برای دوره ۲۰۹۴-۲۰۶۷ بین ۹ تا ۲۱/۸ درصد و ۷/۲ تا ۲۱/۲ درصد افزایش نشان داد. همچنین با انتخاب تاریخ کشت ۳۰ خرداد، بیشترین افزایش برای مقادیر زیست توده و عملکرد دانه برای دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۸، ۲۰۳۹-۲۰۶۶ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷، تحت سناریوهای A2 و B1 شبیه‌سازی شد. این نتایج برای برنامه‌ریزی آینده آبیاری در شهرستان گرگان مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، مدل AquaCrop، مدل LARS-WG.

۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

\* - دریافت: فروردین ۱۳۹۴ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۴

## مقدمه

آب مهمترین عنصر برای تولید پایدار محصولات کشاورزی است، کاهش سرمایه‌گذاری در مسایل زیربنایی آبیاری، رقابت برای بدست آوردن آب را افزایش می‌دهد. نیاز آبی تابع عوامل متعدد نظیر رقم، اقلیم و حتی نوع کشت است (شمس نیا و پیرمردیان، ۱۳۹۳). از سوی دیگر محدودیت منابع آب و رقابت بخش‌های مختلف در استفاده از این منابع و همچنین افزایش سطح اراضی فاریاب، اهمیت بهره‌برداری بهینه از این منابع را ضروری می‌سازد. در بسیاری از کشورهای درحال توسعه، کشاورزی بنیاد اقتصاد را تشکیل می‌دهد و منبع اصلی امرار معاش می‌باشد و در عین حال از جمله آسیب پذیرترین بخش‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی به حساب می‌آید (روستایی و همکاران، ۱۳۹۱). نگرانی درباره تغییر اقلیم ابعاد جهانی گرفته و تلاش‌های بین المللی از دهه گذشته برای حل این مساله آغاز شده است. مطابق داده‌های ثبت شده اقلیمی، متوسط درجه حرارت سطح زمین تا پایان قرن بیستم، نزدیک به ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده که بیشترین گرمایش از ۱۹۱۰ تا ۱۹۴۵ و از ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ اتفاق افتاده است (سرافروزه و همکاران، ۱۳۹۱). با ادامه روند گرمایش زمین، سرعت تغییرات محیط احتمالی سابقه خواهد بود. تعداد و شدت بیشتر بارندگی‌ها، افزایش دما، خشکسالی و انواع دیگر مخاطرات آب و هوایی مورد انتظار، بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد (هاتفیلد و همکاران، ۲۰۱۱). معتبرترین ابزار، جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جوی-آقیانوسی می‌باشد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). سلول‌های محاسباتی این مدل‌ها بزرگ‌تر از وسعت منطقه مورد مطالعاتی می‌باشند که برای فایق آمدن بر این مشکل، لازم است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و مقایسه با داده‌های مشاهداتی

ریزمقیاس شوند (اشرف و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی آماری مانند LARS-WG<sup>1</sup> برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف جهان معمول است. با توجه به اثرات وسیع تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی، از سال‌ها قبل تحقیقات گسترده‌ای در مناطق مختلف جهان در خصوص سازگاری کشاورزی با این پدیده آغاز شده و لازم است چنین پژوهش‌هایی در ایران نیز انجام شود تا بر اساس یافته‌های آن‌ها، برنامه‌ریزی‌های کلان مدیریتی اعمال شود. با توجه به اینکه نتایج حاصل از مولدهای وضع هوا صرفاً در نواحی آزمون از اعتبار لازم برخوردار است، بنابراین کاربرد آن‌ها در دیگر نواحی، مستلزم آزمون و اعتبارسنجی مجدد، متناسب با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه می‌باشد (بذرافشان و همکاران، ۱۳۸۸).

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی، می‌توان از مدل‌های گیاهی استفاده کرد (حجاریپور و همکاران، ۱۳۹۲). با تولید داده‌های روزانه سال‌های آینده می‌توان خروجی این مدل‌های ریزمقیاس‌کننده را به عنوان ورودی مدل‌های گیاهی لحاظ و میزان عملکرد محصولات کشاورزی را تحت تغییرات اقلیمی دهه‌های آتی برآورد کرد. یکی از مدل‌های جدیدی که برای شبیه‌سازی رشد محصول با استفاده از سری‌های طولانی داده‌های اقلیمی گذشته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، مدل AquaCrop است (نصیری اردلی و همکاران، ۱۳۹۳).

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های جدید گیاهی است که در مناطق مختلف جهان از جمله ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مطلوبی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های صحرایی داشته است (پیرمردیان و شمس نیا، ۱۳۹۳). مدل مذکور ضمن استفاده از تعداد نسبتاً اندکی از پارامترهای معین که مستقیماً قابل اندازه‌گیری هستند، دارای توازن مناسبی بین سادگی و دقت و

1. Long Ashton Research Station-  
Weather Generator

برای درجه حرارت ۱/۸ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۰۵۰ و چهار درجه سانتی‌گراد تا پایان قرن افزایش و برای بارش ۰/۱۱٪ و ۰/۲۴٪ کاهش داشت. این تحقیق برای سه دوره، ۱۹۶۱-۱۹۹۰، ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ صورت گرفت. مقدار RMSE برای عملکرد و زیست توده به ترتیب، ۰/۱۷ و ۰/۴۹ تن در هکتار و شاخص توافق برابر ۰/۹۳ و ۰/۹۴ بدست آمد. گرایش به سمت افزایش بازده در پایان قرن برای اکثر مدل های آب و هوا، به ویژه در غرب یونان و شمال یونان مشاهده شد.

مقدادی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد نخود و تولید نقشه‌های عملکرد در شرایط دیم استان زنجان پرداختند. سناریوهای مورد بررسی شامل سناریوی شاهد، که شرایط جاری را شبیه‌سازی کرد و سناریوی تغییر اقلیم شامل اثر مستقیم افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن هوا (از ۳۵۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول) و اثر غیرمستقیم آن (کاهش ۱۰ درصدی بارندگی و افزایش ۴ درجه سانتی‌گرادی دما)، بودند. طبق نتایج این مطالعه، شرایط اقلیمی آینده، به‌طور میانگین در استان زنجان موجب افزایش ۳۳/۴ درصدی تولید نخود نسبت به شرایط فعلی خواهد شد (افزایش از ۷۱۷ به ۹۵۷ کیلوگرم در هکتار). دلیل افزایش عملکرد، اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر فتوسنتز و کاهش تعرق ناشی از آن بود؛ همچنین بررسی نتایج مشخص کرد عاملی که نوسانات تولید در سال‌های مختلف را افزایش می‌دهد، افزایش دما خواهد بود.

ژانگ و نیرینگ (۲۰۰۵) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی مقادیر فرسایش خاک، مقدار رواناب و عملکرد گندم زمستانه پرداختند. در این مطالعه، با استفاده از نتایج حاصل از مدل گردش عمومی HADCM3 تحت سناریوهای تغییر اقلیم A2a، B2a و GGal مقدار تغییر در مقادیر فرسایش، رواناب و عملکرد گندم زمستانه را تحت شرایط مدیریتی برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ شبیه‌سازی نموده و برای عملکرد گندم تحت سناریو B2a حدود پنج درصد کاهش و تحت سناریو GGal حدود پنج درصد

همچنین دارای توانایی بالا در شبیه‌سازی است (بافکار، ۱۳۹۲). با استفاده از این مدل‌ها، اثر سناریوهای مختلف کم آبیاری بر تولید محصول تعیین و با توجه به منابع آب بهترین برنامه کم آبیاری استنتاج می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۰۷).

روستایی و همکاران (۱۳۹۱) به تحلیل ریسک عملکرد زیست‌توده گیاه ذرت در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی در مزرعه‌ای واقع در پاکدشت تحت تاثیر عدم قطعیت ناشی از مدل‌های جفت شده جوی-آقیانوسی (AOGCM) پرداختند. به این منظور سناریوهای تغییر اقلیم حاصل از نه مدل AOGCM-AR4 تحت سناریوی انتشار A2 در دو دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و ۲۰۳۹-۲۰۱۰ برای منطقه مورد مطالعه محاسبه و با برازش تابع بتا وزن‌دهی کردند و مدل آماری LARS-WG را برای ریزمقیاس نمایی داده‌ها در سطح مزرعه به‌کار بردند. در مرحله آخر با معرفی مقادیر دما و بارش منطقه در سه سطح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ به مدل AquaCrop، مقادیر زیست‌توده ذرت در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان‌دهنده روند نزولی زیست‌توده، در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری بود، به‌طوری‌که در سطح ریسک ۵۰ درصد، ۱/۲۱ و ۱/۴۲ تن بر هکتار کاهش در زیست‌توده به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری، پیش‌بینی شد.

ردریگز و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل-سازی نیاز آب آبیاری، افزایش نزدیک به ۱۵ تا ۲۰ درصد نیاز آبی فصلی گیاهان زراعی در دهه ۲۰۵۰ را در اثر تغییر اقلیم پیش‌بینی نمودند. آن‌ها در تحقیق خود بیان کردند که این افزایش، وابسته به مکان و الگوی کشت است. ولودکیس و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر تغییرات آب و هوایی در عملکرد پنبه در هفت ایستگاه محصولات زراعی اصلی در یونان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از مدل AquaCrop به عنوان ابزار شبیه‌سازی رشد محصول تحت هشت مدل آب و هوایی و بر اساس سناریو انتشار IPCC، A1B استفاده کردند. مقدار میانگین کل مدل‌ها

آب آبیاری و برای تاریخ‌های کشت مختلف، با استفاده از مدل AquaCrop در شهرستان گرگان پرداخته شد.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت مورد مطالعه

موقعیت مورد مطالعه در این پژوهش، شهرستان گرگان می‌باشد شکل (۱). این موقعیت از نظر اقلیمی (با توجه به مدل تعیین اقلیم دومارتن) به‌عنوان اقلیم نیمه مرطوب کشور محسوب می‌شود. مشخصات ایستگاه مذکور شامل طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی، ارتفاع ۵/۵ متر از سطح دریا می‌باشد. در این ایستگاه، متوسط میزان بارندگی سالانه ۵۲۷/۴ میلی‌متر و میانگین بیشترین و کمترین درجه حرارت روزانه به ترتیب ۳۲/۵ و ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اندازه‌گیری‌های میدانی، در ایستگاه کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ انجام شد.

#### شبیه‌سازی اقلیم آینده توسط مدل LARS-WG5

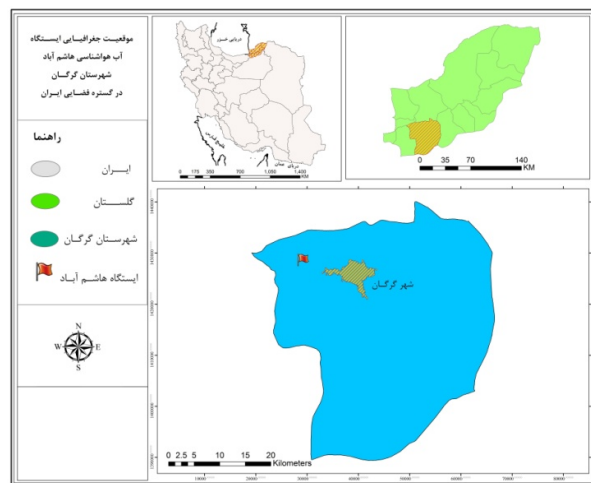
جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 از مدل LARS-WG استفاده شد که برای تولید داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی در این ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به‌کار می‌رود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲). نسخه اولیه این مدل توسط راسکو و همکاران در سال ۱۹۹۱ در بوداپست مجارستان به‌عنوان بخشی از پروژه ریسک‌های کشاورزی ابداع شد و سپس توسط سمنوف و بارو (۱۹۹۷) بازنگری و تعدیل شد. این مولد داده برای شبیه‌سازی وضع هوا احتیاج به مقادیر روزانه بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش خورشید دارد. به‌طورکلی تولید داده توسط مدل LARS-WG5 در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از: واسنجی داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی

افزایش را پیش‌بینی نمودند که تغییر عملکرد گندم زمستانه راه معلول برهمکنش اثر منفی افزایش دما و اثر مثبت افزایش غلظت CO2 دانستند. اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از میانگین طولانی مدت پارامترهای هواشناسی در منطقه کرمانشاه، عملکرد گیاه سویا با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد گیاهی AquaCrop را بررسی نمودند. سپس با استفاده از مدل LARS-WG تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 پارامترهای هواشناسی پیش‌بینی و عملکرد محصول سویا در حالت پتانسیل در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۰ در چهار تاریخ کشت مختلف بر اساس مدل AquaCrop را برآورد نمودند. بر اساس نتایج مدل LARS-WG، هر سه سناریو، افزایش دمای هوا به میزان یک تا دو درجه را پیش‌بینی نموده و با توجه به نتایج به‌دست آمده عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک سویا در شرایط آینده در منطقه کرمانشاه کاهش خواهد یافت.

قربانی و سلطانی (۱۳۹۳) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در گرگان با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد سویا (SSM) و بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم پرداختند و از مدل LARS-WG برای تولید داده‌های هواشناسی بارش و دما در دوره ۳۰ سال آینده استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا با مدل SSM، بیانگر آن است که در دوره ۳۰ سال آینده، طول دوره‌های اولیه فنولوژی سویا، تحت تاثیر سناریوهای اقلیمی انتشار اختلاف چندانی با دوره مشاهداتی ندارد ولی طول دوره تا رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی برداشت در آینده تا حدود پنج روز کوتاه‌تر می‌شود و برای گیاهانی که دیرتر کشت می‌شوند به بیش از ۱۰ روز خواهد رسید. عملکرد زیست توده و عملکرد دانه نیز برای کشت آبی، اندکی کاهش ولی در کشت دیم در مزارعی که زودتر کشت می‌شوند، افزایش می‌یابد. در این پژوهش به بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر مقادیر عملکرد دانه و زیست توده گیاه سویا در دوره‌های ۲۰۳۸-۲۰۱۱، ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷ در تیمارهای مختلف

نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 با استفاده از سناریوهای انتشار A2 و B1 تایید شده توسط IPCC اقدام به شبیه‌سازی نمود و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور تولید شد. در جدول ۱، خصوصیات مدل HADCM3 و سناریوهای تغییر اقلیم A2 و B1، نشان داده شده است. بدین ترتیب مدل LARS-WG5 اجرا شده و مقادیر روزانه داده‌های اقلیمی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی برای سه دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۱، ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷ شبیه‌سازی شد. سپس میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی بر اساس داده‌های روزانه خروجی مدل LARS-WG5 محاسبه شد. لازم به ذکر است که میانگین ماهانه داده‌های اقلیمی دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۸۱) نیز جهت مقایسه و درک بهتر تغییرات اقلیمی آینده، نشان داده شده است.

برای دوره آتی. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می-باشد. بر این اساس برای اجرای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۲۸ ساله ۲۰۰۸-۱۹۸۱ به عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز مدل، شامل مقادیر روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان گرگان وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، در این دوره آماری پردازش و مرتب‌سازی شد و فایل‌های ورودی مدل برای دوره پایه تهیه شد و بدین ترتیب مرحله واسنجی به پایان رسید. در مرحله بعد اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه شد. در مرحله سوم شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی برای سه دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۱، ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷ انجام شد. در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریز مقیاس



شکل ۱- موقعیت مزرعه مورد مطالعه

جدول ۱- ویژگی‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و سناریوهای تغییر اقلیم

خصوصیات مدل	طراح مدل	متغیرها
	مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی- بریتانیا	دما، مولفه‌های افقی سرعت باد، فشار سطح، ظرفیت آب مایع، آب مایع موجود
	قدرت تفکیک	عرض جغرافیایی ۲/۷۵ و طول جغرافیایی ۳/۷۵ درجه
خصوصیات سناریوی تغییر اقلیم A2	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان	
خصوصیات سناریوی تغییر اقلیم B1	همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد (کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و موثر)	

۱۵، ۲۲، ۲۷ و ۳۰ خرداد، در دوره‌های آتی پرداخته شد. پیش‌بینی عملکرد محصول سویا در اثر تغییرات اقلیمی آتی، در شش تاریخ کشت مختلف بررسی و در نهایت تاریخی که بیشترین عملکرد را دارد با عملکرد محصول در شرایط گذشته مقایسه شد. تیمارها شامل سه سطح  $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$  به ترتیب ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۵٪ آب موردنیاز گیاه می‌باشند. جهت بررسی نتایج حاصل از مدل و نتایج مشاهده‌ای در سطح مزرعه و صحت‌یابی نتایج و ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل، از شاخص‌های ارزیابی مزرعه‌ای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص توافق (d) و ضریب راندمان (E)، استفاده شد که به صورت زیر محاسبه شدند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2} \quad (1)$$

که در آن:

$S_i$  و  $M_i$  مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده و  $n$  تعداد مشاهدات است.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)^2} \quad (2)$$

که در آن:

$\bar{M}$  میانگین  $n$  مقدار اندازه‌گیری شده است. هر دو شاخص برای نقاط داده‌های جمع‌آوری شده در طی فصل برای هر تیمار است.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \quad (3)$$

### نتایج و بحث

#### ریز مقیاس نمایی داده‌های شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی

در این پژوهش، با استفاده از محاسبه ضریب تعیین و شاخص‌های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا RMSE و میانگین خطای مطلق MAE، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده با استفاده از مدل LARS-WG5 و داده‌های مشاهده شده موجود در دوره پایه شد که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.

#### مدل شبیه‌سازی عملکرد گیاه AquaCrop

مدل AquaCrop یکی از کاراترین و جدیدترین مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) ارایه شده است. این مدل را می‌توان به‌عنوان ابزاری جهت ارزیابی تنش آبی و میزان محصول در منطقه، ارزیابی محصول کشت دیم در طولانی مدت، برنامه‌ریزی کم آبیاری و آبیاری تکمیلی و ... به کار برد (حیدری نیا و همکاران، ۱۳۹۱). این مدل بیان آب را به صورت روزانه محاسبه کرده و استودتو و همکاران (استودتو و همکاران، ۲۰۰۷) گزارش کردند که مدل AquaCrop از معادله پیشین دورنباس و همکاران (دورنباس و کسام، ۱۹۷۹) با تفکیک نمودن تبخیر تفرق به تبخیر از سطح خاک و تفرق پوشش گیاهی توسعه یافته است.

برای محاسبه تولید روزانه زیست توده از پارامتر بهره‌وری آب نرمالیزه شده، استفاده می‌شود که پارامتری ثابت برای آب و هوا و گیاه معین، در نظر گرفته می‌شود تا مدل قادر به شبیه‌سازی در مکان‌ها، فصول مختلف و همچنین برای سناریوهای تغییر اقلیم باشد. داده‌های ورودی مدل به چهار دسته تقسیم می‌شوند: داده‌های هواشناسی (شامل دمای کمینه و بیشینه، بارش و تبخیر تفرق)، داده‌های گیاهی (داده‌های تبخیر تفرق، پوشش گیاهی، تنش آبی، تنش خشکی و...)، داده‌های خاک (خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی لایه‌های خاک) و داده‌های مدیریتی (مدیریت آبیاری شامل زمان، مقدار و شیوه آبیاری و مدیریت مزرعه مانند استفاده از خاکپوش و...).

داده‌های شبیه‌سازی شده دوره آینده توسط مدل تولید داده LARS-WG به همراه مقادیر محاسباتی تبخیر تفرق، به‌عنوان ورودی مدل AquaCrop به کار گرفته شد. از داده‌های سال ۱۳۹۰ برای واسنجی مدل گیاهی استفاده شد. پس از پردازش اولیه داده‌ها، به بررسی شبیه‌سازی مقدار عملکرد دانه و زیست توده گیاه سویا، تحت تیمارهای مختلف آبیاری و برای تاریخ‌های کشت ۱، ۸

جدول ۲- شاخص‌های آماری ارزیابی مدل LARS-WG5

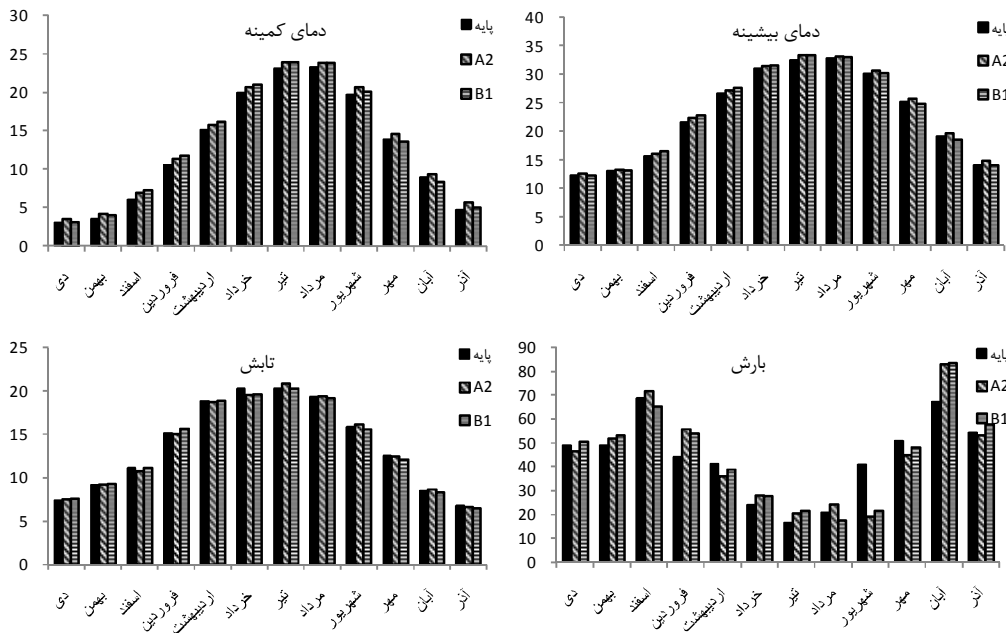
پارامتر	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
دمای کمینه	-۰/۹۹۹۴	۰/۱۸۸۹	-۰/۱۴۵۰
دمای بیشینه	-۰/۹۹۹۴	۰/۲۵۱۴	-۰/۲۱۰۸
تابش	-۰/۹۹۷۸	۰/۲۳۵۶	-۰/۱۶۳۳
بارش	-۰/۸۸۹۸	۵/۵۰۶۹	۴/۰۵۵۸

جدول ۳- مقایسه مقادیر میانگین دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و بارش ماهانه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG

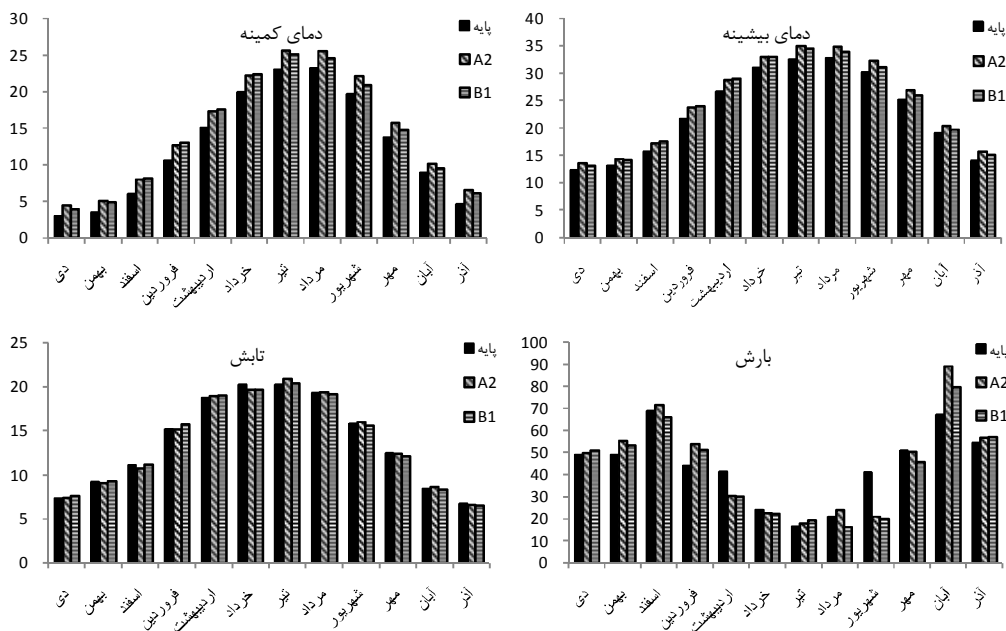
ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین مشاهداتی	۳/۰	۳/۵	۶/۰	۱۰/۶	۱۵/۱	۱۹/۹	۲۳/۱	۲۳/۲	۱۹/۷	۱۳/۸	۸/۹	۴/۷
میانگین شبیه‌سازی	۳/۱	۳/۴	۶/۳	۱۰/۷	۱۵/۱	۱۹/۹	۲۳	۲۳/۱	۱۹/۸	۱۳/۸	۸/۶	۵/۲
آزمون t	-۰/۱۵۶	-۰/۳۶۹	-۱/۲۴۳	-۰/۷۶۸	-۰/۳۳۸	۰/۴۶۷	۰/۷۲۱	۰/۷۱	-۰/۶۲۳	-۰/۰۵۴	۱/۲۸۲	-۱/۶۹
احتمال	۰/۸۷۷	۰/۷۱۴	۰/۲۱۸	۰/۴۴۵	۰/۷۳۶	۰/۶۴۲	۰/۴۷۳	۰/۴۸	۰/۵۲۵	۰/۹۵۷	۰/۲۰۴	۰/۰۹۵
میانگین مشاهداتی	۱۲/۳	۱۳/۱	۱۵/۷	۲۱/۷	۲۶/۷	۳۱/۱	۳۲/۶	۳۲/۹	۳۰/۲	۲۵/۳	۱۹/۲	۱۴/۱
میانگین شبیه‌سازی	۱۲/۱	۱۲/۸	۱۵/۷	۲۱/۷	۲۶/۶	۳۰/۶	۳۲/۴	۳۲/۵	۳۰	۲۵	۱۹/۰	۱۴/۴
آزمون t	۰/۷۳۲	۱/۰۵۱	۰/۰۱۲	-۰/۰۷۷	-۰/۱۲۳	۱/۶۵۸	۰/۶۱۷	۱/۴۴۳	۱/۰۲۶	۱/۰۲۷	۰/۴۲۹	-۱/۰۴
احتمال	۰/۴۶۶	۰/۲۹۷	۰/۹۹	۰/۹۳۹	۰/۹۰۲	۰/۱۰۱	۰/۵۳۹	۰/۱۵۳	۰/۳۰۸	۰/۳۰۷	۰/۶۶۹	۰/۳۰۲
میانگین مشاهداتی	۷/۴	۹/۲۱	۱۱/۱۳	۱۵/۲	۱۸/۱۱	۲۰/۳۱	۲۰/۲۶	۱۹/۳۴	۱۵/۸۸	۱۲/۵۳	۸/۴۹	۶/۷۶
میانگین شبیه‌سازی	۷/۴۵	۹/۲	۱۰/۹۵	۱۵/۱۸	۱۸/۹۷	۱۹/۸۴	۲۰/۷	۱۹/۳۱	۱۵/۹۶	۱۲/۵۱	۸/۹۱	۶/۶۸
آزمون t	-۰/۳۱۸	-۰/۰۲	۰/۴۶	-۰/۳۵۵	-۰/۳۵۵	۰/۶۷۶	-۰/۱۸۶	-۰/۰۵۸	-۰/۲۲۷	-۰/۰۵۹	-۱/۸۵۷	-۰/۵۳۹
احتمال	۰/۷۵۱	۰/۹۸۴	۰/۶۴۷	۰/۹۶۹	۰/۷۲۴	۰/۵۰۱	۰/۳۹	۰/۹۵۴	۰/۸۲۱	۰/۹۵۳	۰/۰۶۷	۰/۵۹۱
میانگین مشاهداتی	۴۹/۱	۴۹/۱۶	۶۸/۹۴	۳۴/۲۲	۴۱/۴۲	۳۴/۱۸	۱۶/۶۲	۲۱	۴۱/۰۶	۵۰/۸۷	۶۷/۲	۵۴/۴۱
میانگین شبیه‌سازی	۵۱/۱۸	۵۱/۲۲	۶۵/۹۴	۴۹/۸۴	۳۷/۴۶	۲۵/۰۹	۲۱/۳۲	۲۳/۹۹	۲۶/۰۸	۴۹/۶۲	۷۳/۵۸	۵۵/۱۵
آزمون t	-۰/۳۷۸	-۰/۳۲۹	۰/۴۶۶	-۰/۹۱۷	۰/۶۳۲	-۰/۱۸۷	-۰/۵۶۱	-۰/۵۶۱	۲/۱۵۱	۰/۱۹۷	-۰/۵۶۴	-۰/۱۰۴
احتمال	۰/۷۰۶	۰/۷۴۳	۰/۶۴۲	۰/۳۶۲	۰/۵۲۹	۰/۸۵۲	۰/۳۷۵	۰/۵۷۶	۰/۰۳۶	۰/۸۴۵	۰/۵۷۴	۰/۹۱۷

ارزیابی نشان داد که مدل LARS-WG با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش بوده اما در شبیه‌سازی بارش نسبت به دیگر پارامترها خطای بیشتر ولی در حد قابل قبول ارائه می‌دهد. شکل‌های (۲) تا (۴) نتایج حاصل از اجرای مدل LARS-WG5 برای پارامترهای دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)، دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) بارش (میلی-متر) و تابش خورشیدی بر مبنای سناریوهای انتشار A2 و B1 در مقایسه با دوره پایه و به ترتیب برای دوره‌های ۲۰۳۸-۲۰۱۱، ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷ را نشان می‌دهند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، در طول دوره پایه در تولید داده توسط مدل، به ترتیب مربوط به بارندگی و دمای کمینه می‌باشد. همچنین نتایج آزمون t مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه در تمام ماه‌ها و برای بارش به جز در ماه سپتامبر، بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار مقادیر مشاهداتی با مقادیر شبیه‌سازی شده در سطح احتمال پنج درصد است. نتایج حاصل از آزمون t مدل، به ترتیب برای متغیرهای دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و بارش در جدول (۳) ارائه شده است. به طور کلی نتایج

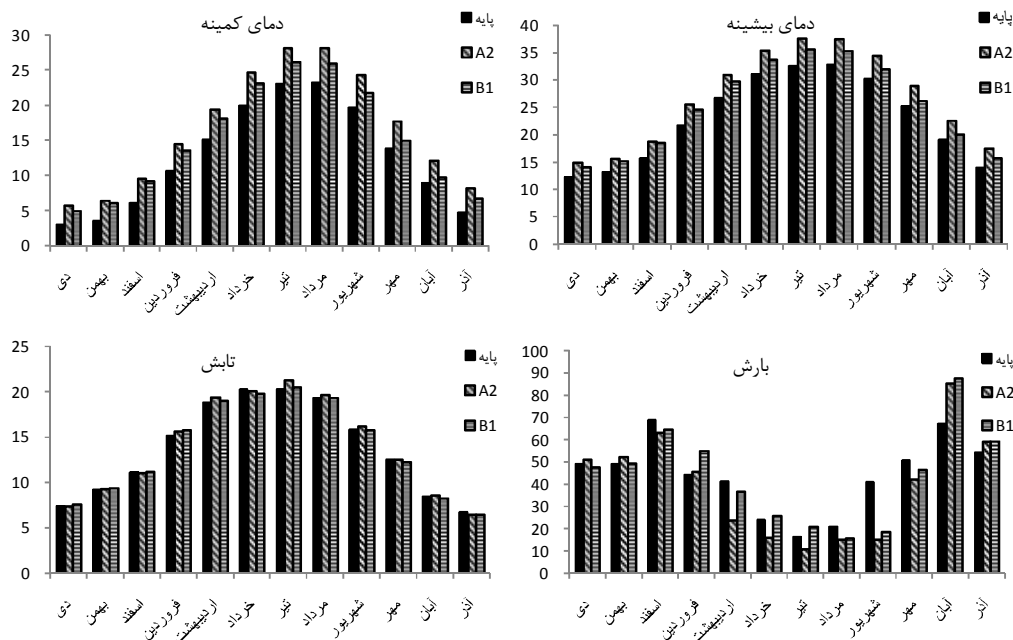


شکل ۲- میانگین ماهانه متغیرهای مختلف در دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۱ تحت سناریوهای انتشار A2 و B1



شکل ۳- میانگین ماهانه متغیرهای مختلف در دوره ۲۰۶۶-۲۰۳۹ تحت سناریوهای انتشار A2 و B1





شکل ۴- میانگین ماهانه متغیرهای مختلف در دوره ۲۰۹۴-۲۰۶۷ تحت سناریوهای انتشار A2 و B1

شکل (۳) مقادیر دمای کمینه و بیشینه شبیه‌سازی شده برای هر دو سناریو نسبت به دوره پایه و برای تمام ماه‌ها افزایش نشان خواهد داد که بیشترین افزایش دمای کمینه و بیشینه در این دوره، به ترتیب برابر  $۲/۵۴۸$  و  $۲/۴۷۵$  درجه سانتی‌گراد، برای ماه جولای و تحت سناریوی A2 می‌باشد. بیشترین اختلاف تابش نسبت به پایه در این دوره، تحت سناریوی A2 و در ماه جولای است که در آن تابش افزایش نشان داده است. میانگین ماهانه بارش در این دوره تحت سناریوهای A2 و B1 در ماه‌های مه، ژوئن، سپتامبر و اکتبر، کمتر از دوره پایه و برای ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، جولای، نوامبر و دسامبر مقداری بیشتر از دوره پایه را نشان می‌دهند. در شکل (۴) نیز مشاهده می‌شود که مقادیر دمای کمینه و بیشینه شبیه‌سازی شده برای هر دو سناریو نسبت به دوره پایه و برای تمام ماه‌ها افزایش نشان خواهد داد که بیشترین افزایش دمای کمینه و بیشینه در این دوره، به ترتیب برابر  $۵/۰۷۵$  و  $۵/۰۴۹$  درجه سانتی‌گراد، برای ماه جولای و تحت سناریوی A2 می‌باشد. بیشترین اختلاف تابش نسبت به پایه در این دوره، تحت سناریوی A2 و در ماه جولای است که در آن تابش افزایش نشان داده، همچنین میانگین ماهانه بارش

در شکل (۲) مشاهده می‌شود که مقادیر دمای کمینه شبیه‌سازی شده برای هر دو سناریو نسبت به دوره پایه برای تمام ماه‌ها بجز در ماه‌های اکتبر و نوامبر مربوط به سناریوی B1 افزایش نشان خواهد داد که حداکثر افزایش در این دوره، به میزان  $۱/۲۵۳$  درجه سانتی‌گراد برای ماه آوریل و تحت سناریوی B1 می‌باشد. همچنین دمای بیشینه شبیه‌سازی شده برای هر دو سناریو نسبت به دوره پایه برای تمام ماه‌ها بجز در ماه‌های ژانویه، اکتبر و نوامبر مربوط به سناریوی B1 افزایش نشان خواهد داد که بیشترین افزایش در این دوره نیز به میزان  $۱/۱۶۳$  درجه سانتی‌گراد، برای ماه آوریل و تحت سناریوی B1 می‌باشد. بیشترین اختلاف تابش نسبت به پایه در این دوره، تحت سناریوی A2 و در ماه ژوئن است که در آن تابش کاهش یافته است. میانگین ماهانه بارش در بیشتر ماه‌های سال در دوره آتی نسبت به دوره پایه دچار تغییرات شده است. البته این تغییرات در ماه‌های آتی منظم نیست به طوری که تحت سناریوهای A2 و B1 در ماه‌های مه، سپتامبر و اکتبر، مقدار بارش کمتر از دوره پایه و برای ماه‌های فوریه، آوریل، ژوئن، جولای و نوامبر مقداری بیشتر از دوره پایه را نشان می‌دهند. با توجه به

شرایط مختلف مدیریت آبیاری شبیه‌سازی و با عملکرد واقعی مقایسه شد. از داده‌های سال ۱۳۹۰ برای واسنجی و از داده‌های سال ۱۳۹۱ برای صحت‌سنجی مدل AquaCrop استفاده شد. داده‌های گیاهی مربوط به مراحل فنولوژیکی گیاه سویا در جدول (۴) آمده است. جدول (۵) پارامترهای واسنجی شده مدل AquaCrop برای گیاه سویا تحت شرایط مختلف کم آبیاری را ارائه می‌دهد. پس از وارد نمودن تمامی اطلاعات مورد نیاز، مدل اجرا شد.

در این دوره تحت سناریوهای A2 و B1 در ماه‌های مارس، مه، آگوست، سپتامبر و اکتبر، کمتر از دوره پایه و برای ماه‌های فوریه، آوریل، نوامبر و دسامبر مقداری بیشتر از دوره پایه را نشان می‌دهند.

#### واسنجی مدل AquaCrop

با استفاده از اطلاعات دو ساله مزرعه مورد مطالعه، داده‌های ورودی مورد نیاز تهیه و واسنجی مدل AquaCrop انجام شد. به‌منظور صحت‌سنجی مدل، با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده، عملکرد محصول در

جدول ۴- داده‌های گیاهی مربوط به مراحل فنولوژیکی گیاه سویا

سال	تاریخ کشت	تراکم کشت (بوته در هکتار)	سبز شدن	گلدهی	شروع بیری پوشش گیاهی	رسیدگی فیزیولوژیکی	حداکثر عمق ریشه (متر)
اول	۱۳۹۰/۳/۲۷	۱۶۶۶۶۷	۷	۴۶	۹۴	۱۳۰	۱/۵
دوم	۱۳۹۱/۳/۱۲	۱۶۶۶۶۷	۷	۵۸	۱۱۸	۱۵۰	۱/۵

جدول ۵- پارامترهای واسنجی شده مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه سویا

Description	Value	Units
Base temperature	۵	°C
Cut-off temperature	۳۵	°C
Canopy cover per seedling at 90% emergence (CC <sub>0</sub> )	۰/۸۳	%
Canopy growth coefficient (CGC)	۱۹/۲	%/day
Maximum canopy cover (CC <sub>x</sub> )	۹۸	%
Canopy decline coefficient (CDC) at senescence	۳	%/day
Leaf growth threshold (p <sub>upper</sub> )	۰/۱۵	-
Leaf growth threshold (p <sub>lower</sub> )	۰/۶۵	-
Leaf growth stress coefficient curve shape	۳	-
Stomatal conductance threshold (p <sub>upper</sub> )	۰/۵۹	-
Stomata stress coefficient curve shape	۳	-
Senescence stress coefficient (p <sub>upper</sub> )	۰/۷	-
Senescence stress coefficient curve shape	۳	-
Normalized water productivity	۱۵	gr/m <sup>2</sup>
Reference harvest index (HI <sub>0</sub> )	۴۰	%

روز به‌دست آوردند که در این پژوهش برابر ۱۹/۲ به- دست آمده است. در جدول (۶) مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و زیست توده توسط مدل برای هر یک از تیمارهای آبیاری، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار زیست توده و عملکرد دانه مربوط به سال ۱۳۹۱ بوده و به‌ترتیب ۱۲/۳۸۹ و ۴/۸۱۸ تن بر هکتار به دست آمد.

خوش روش و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای عملکرد سویا را با استفاده از مدل AquaCrop تحت تاثیر تیمارهای مختلف کم آبیاری و نیتروژن، شبیه‌سازی کردند. نتایج واسنجی مدل نشان داد که مقادیر اکثر پارامترها به ویژه فاکتور تخلیه آب خاک برای توسعه برگ‌ها، با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. همچنین ضریب افزایش پوشش گیاهی را برابر ۱۱/۹ درصد در

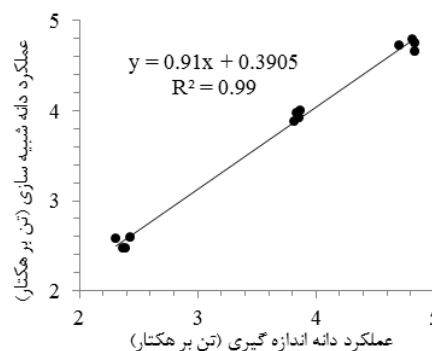
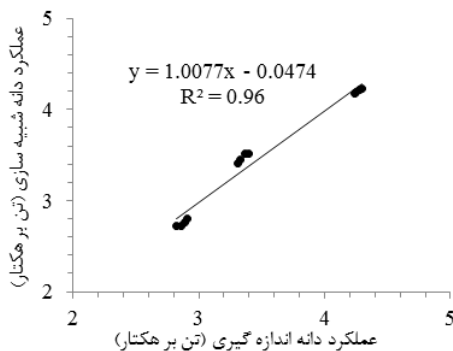
جدول ۶- مقادیر زیست توده و عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف آب آبیاری

سال	تیمار	زیست توده (تن بر هکتار)			عملکرد (تن بر هکتار)		
		اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	خطا (%)	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	خطا (%)
۱۳۹۰	%۱۰۰	۹/۹۴۳	۱۰/۳۳۹	۳/۹۸	۴/۲۷۹	۴/۲۱۴	-۱/۵۲
	%۷۵	۸/۰۹۸	۸/۵۵۹	۵/۶۹	۳/۳۰۸	۳/۴۱۳	۳/۱۷
	%۵۵	۶/۵۴۷	۷/۱۳۶	۸/۹۹	۲/۸۲۳	۲/۷۲۳	-۳/۵۴
۱۳۹۱	%۱۰۰	۱۲/۳۸۹	۱۲/۲۰۲	-۱/۵۱	۴/۸۱۸	۴/۷۹۳	-۰/۵۲
	%۷۰	۹/۵۴۴	۱۰/۱۳۸	۶/۲۲	۳/۸۲۱	۳/۸۸	۱/۵۴
	%۳۵	۶/۱۱۹	۷/۰۴۲	۱۵/۰۸	۲/۴۳	۲/۵۹۷	۶/۸۷

آبیاری و در سال ۱۳۹۱ است که برابر ۱۵/۰۸ درصد به- دست آمد. شکل (۵) مقایسه مقادیر عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop را برای سال اول و دوم کشت نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل توانست با همبستگی بالایی مقدار عملکرد دانه را شبیه‌سازی کند. مقدار ضریب همبستگی برای سال‌های اول و دوم کشت به‌ترتیب برابر ۰/۹۶ و ۰/۹۹ به‌دست آمد.

نتایج آماری جدول (۷) نشان می‌دهد که مدل AquaCrop توانست مقدار عملکرد دانه و زیست توده را با دقت بالایی شبیه‌سازی کند. نتایج هر دو سال کشت نشان می‌دهد که مقدار RMSE به‌خصوص برای عملکرد دانه در حد پایین می‌باشد. مقدار شاخص سازگاری (d) بیشتر از ۹۷ درصد به‌دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری روند کاهش عملکرد محصول با کاهش مقدار آب آبیاری در مدل نسبت به روند عملکرد محصول اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه می‌باشد. مقدار بازده (E) نیز برای مزرعه مورد مطالعه بیشتر از ۸۸ درصد به‌دست آمد.

با کاهش مقدار آب آبیاری، رشد گیاه کاهش یافته و در نتیجه مقدار زیست توده کاهش یافت. خطای پیش‌بینی مقدار عملکرد دانه و زیست توده برای تیمار آبیاری کامل، کمتر از تیمارهای کم آبیاری به‌دست آمد. با کاهش مقدار آب آبیاری، رشد گیاه کاهش یافته و در نتیجه مقدار زیست توده کاهش یافت. خطای پیش‌بینی مقدار عملکرد دانه و زیست توده برای تیمار آبیاری کامل، کمتر از تیمارهای کم آبیاری به‌دست آمد. با کاهش مقدار آب آبیاری، درصد خطای مدل افزایش یافت. برای تیمارهای تنش آبیاری، خصوصیات آب خاک یک اثر بحرانی دارد و این عامل می‌تواند باعث ایجاد خطا در مجموعه داده‌های آزمایشی و در نتیجه ایجاد خطای شبیه‌سازی شود. هنگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که مدل AquaCrop مقدار زیست توده و عملکرد را در شرایط آبیاری کامل، بسیار خوب پیش‌بینی می‌کند. با مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده زیست توده و عملکرد دانه، ملاحظه می‌شود که درصد خطای پیش‌بینی مدل کم‌تر از ۱۵ درصد است. بیشترین خطای پیش‌بینی مربوط به تیمار ۳۵٪ آب



شکل ۵- مقایسه مقادیر عملکرد دانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای سال اول (سمت چپ) و سال دوم کشت (سمت راست)

جدول ۷- شاخص‌های آماری ارزیابی مدل برای واسنجی و صحت‌سنجی

۱۳۹۱			۱۳۹۰			پارامتر
d	E	RMSE	d	E	RMSE	
۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۱۲۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۱۰۷	عملکرد دانه
۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۶۳۷	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۴۷۲	زیست توده

## شبیه‌سازی رشد سویا در دوره‌های آتی

نتایج زیست توده و عملکرد دانه شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop، برای دوره‌های ۲۰۳۸-۲۰۱۱، ۲۰۳۹-۲۰۶۶ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷، تحت سناریوهای A2 و B1، همچنین مقادیر مشاهداتی زیست توده و عملکرد دانه در سه سطح ۱۰٪، ۷۵٪ و ۵۵٪ آب موردنیاز گیاه در جدول (۸) آورده شده است. لازم به ذکر است که مقادیر آبیاری در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۳۷۳، ۲۸۰ و ۲۰۵ میلی‌متر در سال ۲۰۱۱ بوده است که این مقادیر برای شبیه‌سازی‌های مربوط به دوره‌های آتی نیز ثابت در نظر گرفته شد.

با توجه به جدول (۸)، در دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۱ تحت سناریو A2 و برای تیمار I<sub>1</sub> با ۹/۷۲ و ۳/۸۳ تن بر هکتار، کمترین مقدار زیست توده و عملکرد دانه را نشان داد، به طوری که میزان کاهش زیست توده و عملکرد دانه در این دوره به ترتیب حدود شش و نه درصد خواهد بود. مقادیر زیست توده و عملکرد دانه سویا در دوره ۲۰۹۴-۲۰۶۷ تحت سناریو B1 و برای تیمار I<sub>1</sub> با ۱۲/۳۹ و ۴/۹۳ تن بر هکتار، بیشترین اختلاف را با شرایط کنونی (۱۰/۳۴ و ۴/۲۱ تن بر هکتار) نشان داد. به طوری که میزان افزایش زیست توده و عملکرد دانه در این دوره به ترتیب حدود ۲۰ و ۱۷ درصد خواهد بود.

جدول ۸- مقادیر زیست توده و عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در سه دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۱، ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷ تحت سناریوهای A2 و B1 برای تاریخ کشت ۲۷ خرداد

عملکرد دانه (تن بر هکتار)			زیست توده (تن بر هکتار)			پارامتر	سناریو
I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>		
۲/۷۲	۳/۴۱	۴/۲۱	۷/۱۴	۸/۵۶	۱۰/۳۴	مشاهداتی	
۲/۳۵	۳/۰۲	۳/۸۳	۶/۳۲	۷/۸۵	۹/۷۲	۲۰۱۱-۲۰۳۸	
۳/۳۹	۴/۰۸	۴/۹۳	۸/۸۴	۱۰/۳۷	۱۲/۳۶	۲۰۳۹-۲۰۶۶	A2
۲/۹۲	۳/۶۹	۴/۵۸	۷/۷۹	۹/۵۲	۱۱/۶	۲۰۶۷-۲۰۹۴	
۲/۳۶	۳/۰۴	۳/۸۶	۶/۳۵	۷/۹۲	۹/۸۲	۲۰۱۱-۲۰۳۸	
۳/۲۹	۴/۰۱	۴/۸۸	۸/۶۳	۱۰/۲۳	۱۲/۲۶	۲۰۳۹-۲۰۶۶	B1
۳/۳	۴/۰۳	۴/۹۳	۸/۶۹	۱۰/۳۱	۱۲/۳۹	۲۰۶۷-۲۰۹۴	

عملکرد دانه تحت سناریوهای A2 و B1، برای تمام تیمارهای آبیاری نسبت به دوره مشاهده‌ای، افزایش نشان خواهد داد.

## ارزیابی تغییر تاریخ کاشت به عنوان راهکار سازگاری برای بهبود عملکرد محصول سویا

انتخاب تاریخ کشت مناسب در دوره‌های ۲۰۳۸-۲۰۱۱، ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷ موجب بهره‌گیری بهینه از عوامل اقلیمی نظیر درجه حرارت، رطوبت و طول روز می‌شود. مقادیر مربوط به بارندگی و دمای میانگین در طول دوره رشد گیاه سویا، در این سه دوره و برای تاریخ‌های ۱، ۸، ۱۵، ۲۲ و ۳۰ خرداد، به ترتیب در

نتایج شبیه‌سازی شده مقادیر زیست توده و عملکرد دانه تحت سناریوهای A2 و B1، برای تمام تیمارهای آبیاری در دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۱ نسبت به شرایط کنونی اقلیم گرگان کاهش نشان داد. قربانی و سلطانی (۱۳۹۳) نیز به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در گرگان با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد سویا (SSM) و بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم پرداختند و از مدل LARS-WG برای تولید داده‌های هواشناسی بارش و دما در دوره ۳۰ سال آینده استفاده کردند و گزارش کردند که زیست توده و عملکرد دانه برای کشت آبی، اندکی کاهش می‌یابد. برای دوره‌های ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷ نیز مقادیر زیست توده و

کاهش و میزان بارندگی بجز برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۸، افزایش نشان خواهد داد که هر دو عامل اثر مثبتی بر روی عملکرد محصول خواهند داشت.

جدول‌های (۹) و (۱۰) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تحت سناریوهای A2 و B1، با تغییر تاریخ کاشت از یک خرداد به ۳۰ خرداد، مقدار دمای میانگین، برای تمام دوره‌های شبیه‌سازی بین چهار تا شش درصد

جدول ۹- مقدار بارندگی شبیه‌سازی شده برای دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۸، ۲۰۳۹-۲۰۶۶ و ۲۰۶۷-۲۰۹۴ برای تاریخ‌های مختلف کشت

سناریو	بارندگی (میلی‌متر)	۱ خرداد	۸ خرداد	۱۵ خرداد	۲۲ خرداد	۳۰ خرداد
A2	۲۰۱۱-۲۰۳۸	۵۳/۵	۳۷/۱	۲۵/۴	۲۵/۴	۲۰/۷
	۲۰۳۹-۲۰۶۶	۱۲۸/۳	۱۳۴/۷	۱۴۰/۶	۱۴۶/۷	۱۷۶/۹
	۲۰۶۷-۲۰۹۴	۸۲/۲	۸۷/۵	۹۲/۴	۹۷/۶	۱۲۵
B1	۲۰۱۱-۲۰۳۸	۵۴/۴	۲۵/۵	۲۳/۳	۲۳/۳	۱۸/۳
	۲۰۳۹-۲۰۶۶	۱۰۶/۶	۱۱۱/۵	۱۱۶/۳	۱۲۱/۶	۱۴۸/۷
	۲۰۶۷-۲۰۹۴	۱۰۴/۸	۱۰۸/۸	۱۱۳/۲	۱۱۸/۶	۱۴۷/۴

جدول ۱۰- مقدار دمای میانگین شبیه‌سازی شده برای دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۸، ۲۰۳۹-۲۰۶۶ و ۲۰۶۷-۲۰۹۴ برای تاریخ‌های مختلف کشت

سناریو	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	۱ خرداد	۸ خرداد	۱۵ خرداد	۲۲ خرداد	۳۰ خرداد
A2	۲۰۱۱-۲۰۳۸	۲۷/۱۶۶	۲۷/۰۲۳	۲۶/۷۵۷	۲۶/۴۲۴	۲۶/۰۰۶
	۲۰۳۹-۲۰۶۶	۲۹/۰۸۹	۲۸/۸۷۶	۲۸/۶۰۹	۲۸/۰۶۲	۲۷/۳۴۶
	۲۰۶۷-۲۰۹۴	۳۱/۵۳	۳۱/۳۰۳	۳۱/۰۱۳	۳۰/۴۴۴	۲۹/۷۰۳
B1	۲۰۱۱-۲۰۳۸	۲۷/۱۰۹	۲۶/۹۶۱	۲۶/۶۹۲	۲۶/۳۵	۲۵/۹۱۷
	۲۰۳۹-۲۰۶۶	۲۸/۵۱۳	۲۸/۳۳۱	۲۷/۹۸۲	۲۷/۹۴	۲۶/۶۶۲
	۲۰۶۷-۲۰۹۴	۲۹/۴۵۷	۲۹/۲۵۷	۲۸/۸۸۲	۲۸/۳۱۳	۲۷/۴۹۹

۲۰۱۱-۲۰۳۸، ۲۰۳۹-۲۰۶۶ و ۲۰۶۷-۲۰۹۴ به ترتیب در جدول‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) ارایه شده است.

نتایج مربوط به شبیه‌سازی زیست توده و عملکرد دانه تحت سناریوهای A2 و B1 برای تاریخ‌های کشت ۱، ۸، ۱۵، ۲۲ و ۳۰ خرداد، در دوره‌های زمانی

جدول ۱۱- عملکرد دانه و زیست توده شبیه‌سازی شده در تاریخ‌های کشت مختلف با استفاده از مدل AquaCrop برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۸

سناریو	مشاهداتی	زیست توده (تن بر هکتار)			عملکرد دانه (تن بر هکتار)		
		I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
A2	۱ خرداد	۹/۲	۷/۶۷	۶/۳۷	۳/۵۹	۲/۹۲	۲/۳۳
	۸ خرداد	۹/۰۸	۷/۴۶	۶/۰۹	۳/۵۵	۲/۸۴	۲/۲۴
	۱۵ خرداد	۹/۲۵	۷/۴۷	۶/۱	۳/۶۳	۲/۸۶	۲/۲۵
	۲۲ خرداد	۹/۴۳	۷/۶۱	۶/۱۵	۳/۷	۲/۹۲	۲/۲۸
	۳۰ خرداد	۹/۸۹	۷/۹	۶/۳۶	۳/۹۱	۳/۰۴	۲/۳۷
	۱ خرداد	۹/۳۴	۷/۷۹	۶/۴۷	۳/۶۴	۲/۹۶	۲/۳۷
B1	۸ خرداد	۹/۱۹	۷/۵۴	۶/۱۷	۳/۵۹	۲/۸۷	۲/۲۶
	۱۵ خرداد	۹/۳۵	۷/۵۵	۶/۱۶	۳/۶۶	۲/۸۸	۲/۲۷
	۲۲ خرداد	۹/۵۲	۷/۶۸	۶/۱۸	۳/۷۴	۲/۹۴	۲/۲۹
	۳۰ خرداد	۹/۹۹	۷/۹۶	۶/۴۱	۳/۹۴	۳/۰۶	۲/۳۸
	۱ خرداد	۹/۳۴	۷/۷۹	۶/۴۷	۳/۶۴	۲/۹۶	۲/۳۷
	۸ خرداد	۹/۱۹	۷/۵۴	۶/۱۷	۳/۵۹	۲/۸۷	۲/۲۶

جدول ۱۲- عملکرد دانه و زیست توده شبیه‌سازی شده در تاریخ‌های کشت مختلف با استفاده از مدل AquaCrop برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۶ (تن بر هکتار)

عملکرد دانه (تن بر هکتار)			زیست توده (تن بر هکتار)			پارامتر	سناریو
I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>		
۲/۷۲	۳/۴۱	۴/۳۱	۷/۱۴	۸/۵۶	۱۰/۳۴	مشاهداتی	A2
۲/۶۷	۳/۲۵	۳/۹۹	۶/۹۸	۸/۳۳	۱۰/۰۶	۱ خرداد	
۲/۸۲	۳/۴۳	۴/۱۸	۷/۳۶	۸/۷۴	۱۰/۵۱	۸ خرداد	
۲/۹۷	۳/۵۹	۴/۴۱	۷/۷۳	۹/۱۷	۱۱/۰۸	۱۵ خرداد	B1
۳/۲	۳/۸۷	۴/۷۲	۸/۳۵	۹/۸۴	۱۱/۸۳	۲۲ خرداد	
۳/۵۲	۴/۲۳	۵/۱۱	۹/۱۹	۱۰/۷۶	۱۲/۷۹	۳۰ خرداد	
۲/۶۳	۳/۲۵	۴	۶/۹۲	۸/۳۵	۱۰/۱	۱ خرداد	B1
۲/۷۹	۳/۴۲	۴/۱۸	۷/۳۱	۸/۷۵	۱۰/۵۳	۸ خرداد	
۲/۹۱	۳/۵۶	۴/۳۹	۷/۶۱	۹/۱۱	۱۱/۰۵	۱۵ خرداد	
۳/۱۳	۳/۸۱	۴/۶۹	۸/۱۹	۹/۷۴	۱۱/۷۶	۲۲ خرداد	B1
۳/۴۱	۴/۱۴	۵/۰۶	۸/۹۳	۱۰/۵۶	۱۲/۶۸	۳۰ خرداد	

جدول ۱۳- عملکرد دانه و زیست توده شبیه‌سازی شده در تاریخ‌های کشت مختلف با استفاده از مدل AquaCrop برای دوره ۲۰۶۷-۲۰۹۴

عملکرد دانه (تن بر هکتار)			زیست توده (تن بر هکتار)			پارامتر	سناریو
I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>		
۲/۷۲	۳/۴۱	۴/۳۱	۷/۱۴	۸/۵۶	۱۰/۳۴	مشاهداتی	A2
۲/۳۶	۲/۹۶	۳/۷	۶/۲۹	۷/۷	۹/۴۲	۱ خرداد	
۲/۴۹	۳/۱۴	۳/۹	۶/۶۳	۸/۱۴	۹/۹	۸ خرداد	
۲/۵	۳/۲۲	۴/۰۵	۶/۶۶	۸/۳۲	۱۰/۲۷	۱۵ خرداد	B1
۲/۷۸	۳/۴۹	۴/۳۴	۷/۴	۹/۰۱	۱۰/۹۸	۲۲ خرداد	
۳/۰۳	۳/۸۳	۴/۷۸	۸/۰۸	۹/۸۶	۱۲/۰۹	۳۰ خرداد	
۲/۶۵	۳/۲۷	۴/۰۱	۶/۹۸	۸/۴۲	۱۰/۱۵	۱ خرداد	B1
۲/۸	۳/۴۳	۴/۲۲	۷/۳۵	۸/۸۱	۱۰/۶۳	۸ خرداد	
۲/۸۶	۳/۵۵	۴/۳۸	۷/۵	۹/۰۹	۱۱/۰۳	۱۵ خرداد	
۳/۱۱	۳/۸۲	۴/۶۹	۸/۱۸	۹/۷۶	۱۱/۸	۲۲ خرداد	B1
۳/۴۱	۴/۱۷	۵/۱	۸/۹۸	۱۰/۶۶	۱۲/۸۲	۳۰ خرداد	

پایه (مشاهده‌ای) برای تیمار I<sub>1</sub> (۵/۱۱ تن بر هکتار)، I<sub>2</sub> (۴/۲۳ تن بر هکتار) و I<sub>3</sub> (۳/۵۲ تن بر هکتار) به ترتیب برابر ۲۱/۲، ۲۴ و ۲۹/۳ درصد و در تاریخ کشت ۳۰ خرداد، تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۶ و بیشترین کاهش عملکرد دانه برای تیمار I<sub>1</sub> (۳/۵۵ تن بر هکتار)، I<sub>2</sub> (۲/۸۴ تن بر هکتار) و I<sub>3</sub> (۲/۲۴ تن بر هکتار) به ترتیب برابر ۱۵/۸، ۱۶/۸ و ۱۷/۷ درصد و در تاریخ کشت هشت خرداد، تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۱ شبیه‌سازی شد.

زینعلی و همکاران (۱۳۸۲) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات تاریخ‌های مختلف کاشت، بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام سویا به صورت کرت‌های خرد

با توجه به نتایج، بیشترین افزایش زیست توده شبیه‌سازی شده در شرایط تغییر اقلیم آینده نسبت به سال پایه (مشاهده‌ای) برای تیمار I<sub>1</sub> برابر ۲۳/۹ درصد و مربوط به تاریخ کشت ۳۰ خرداد، تحت سناریوی B1 در دوره ۲۰۶۷-۲۰۹۴ و برای تیمار I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> به ترتیب، برابر ۲۵/۷ و ۲۸/۸ درصد و مربوط به تاریخ کشت ۳۰ خرداد، تحت سناریو A2 برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۶ و بیشترین کاهش زیست توده در تیمارهای I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> به ترتیب، برابر ۱۲/۲، ۱۲/۹ و ۱۴/۶ درصد در تاریخ کشت هشت خرداد و تحت سناریوی A2 برای دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۱ شبیه‌سازی شد. همچنین بیشترین افزایش عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در شرایط تغییر اقلیم آینده نسبت به سال

### نتیجه گیری

در این پژوهش اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر عملکرد دانه و زیست توده گیاه سویا در دوره‌های زمانی ۲۰۳۸-۲۰۱۱، ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و ۲۰۹۴-۲۰۶۷، تحت سناریوهای A2 و B1 مورد بررسی قرار گرفت و به ارزیابی تغییر تاریخ کاشت به عنوان راهکار سازگاری برای بهبود عملکرد محصول سویا پرداخته شد. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل LARS-WG5 با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش بوده اما در شبیه‌سازی بارش نسبت به دیگر پارامترها خطای بیشتر ولی در حد قابل قبول نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار عملکرد دانه و زیست توده برای تیمارهای آبیاری I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> تحت سناریوی A2 مربوط به دوره ۲۰۶۶-۲۰۳۹ و تاریخ کشت ۳۰ خرداد و همچنین سناریوی B1 مربوط به دوره ۲۰۹۴-۲۰۶۷ و تاریخ کشت ۳۰ خرداد توسط مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد.

شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گرگان پرداختند و نتیجه گرفتند که تاریخ کاشت به طور معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه در واحد سطح و همچنین ارتفاع بوته تاثیر گذاشت.

بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت و کمترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۳ تیر به دست آمد. بلوک آذری و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و تبخیر تعرق گندم در دوره آبی را مورد بررسی قرار دادند. آنها به منظور تولید پارامترهای اقلیمی منطقه در سال‌های آبی، داده‌های سناریوی A2 مدل HADCM3 در سطح دشت هشتگرد، در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰، با روش تناسبی کوچک مقیاس نمودند. نتایج نشان داد که در دوره‌های آبی، درجه حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایش خواهد داشت و تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، طول دوره رشد گیاه، کوتاه‌تر شده و تبخیر تعرق گیاه در طول فصل رشد افزایش می‌یابد.

### فهرست منابع

۱. آبابایی، ب.، سهرابی، ت.، میرزایی، ف.، وردی نژاد، ر و کریمی، ب. ۱۳۸۹. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان). مجله دانش آب و خاک. جلد ۲۰، شماره ۳، ص ۱۵۰-۱۳۵.
۲. آبکار، ع. ج.، حبیب نژاد، م.، سلیمانی، ک و نقوی، ه. ۱۳۹۲. بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. جلد ۱۴، ص ۱۷-۱.
۳. اسمعیلی، م.، فرهادی، ب و قبادی، م. ۱۳۹۲. برآورد عملکرد محصول سویا در منطقه کرمانشاه تحت سناریوهای اقلیمی با استفاده از مدل AquaCrop. اولین همایش ملی جغرافیا و پایداری محیط، ۱۴ اسفند، دانشگاه رازی.
۴. اشرف، ب.، عزیززاده، ا.، موسوی بایگی، م و بنایان اول، م. ۱۳۹۳. صحت‌سنجی داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط اجرای منفرد و گروهی پنج مدل AOGCM برای منطقه شمال شرق ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۲، ص ۲۶۶-۲۵۳.

۵. بافکار، ع. ۱۳۹۲. بررسی عملکرد سیب‌زمینی با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد گیاهی (AquaCrop) (مطالعه موردی شهرستان اسلام‌آباد غرب). دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان.
۶. بذرافشان، ج.، خلیلی، ع.، هورفر، ع.، ترابی، ص و حجام، س. ۱۳۸۸. بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل (LARS-WG و ClimGen) در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران. تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۴۴، ص ۷-۱.
۷. بلوک آذری، س.، مساح بوانی، ع.، زبر دست، س و میر صانع، م. س. ۱۳۹۰. تاثیر تغییر اقلیم و تغییر زمان کاشت بر طول دوره رشد و نیاز آبی گندم پاییزه (مطالعه موردی: هشتگرد). همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه.
۸. حجارپور، ا.، سلطانی، ا.، زینعلی، ا و سیدی، ف. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در شرایط دیم و آبی کرمانشاه. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، جلد ۲۰، شماره ۲، ص ۲۳۵-۲۵۲.
۹. حیدری نیا، م.، ناصری، ع و برومند نسب، س. ۱۳۹۱. بررسی امکان کاربرد مدل AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز. مجله مهندسی منابع آب، جلد ۵، ص ۳۷-۵۰.
۱۰. روستایی، م.، سهرابی، ت.، مساح بوانی، ع و احدی، م. ص. ۱۳۹۱. ارزیابی ریسک عملکرد زیست‌توده گیاه ذرت تحت تاثیر تغییر اقلیم. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۴، ص ۴۳۸-۴۲۵.
۱۱. زینلی، ا.، اکرم قادری، ف.، سلطانی، ا و کشیری، ح. ۱۳۸۲. تاثیر تاریخ کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه سه سویا در گرگان. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱، شماره ۱، ص ۹۲-۸۱.
۱۲. سرافروزه، ف.، جلالی، م.، جلالی، ط و جمالی، ا. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر مصرف آب محصول گندم در تبریز. فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، جلد ۳۷، ص ۸۱-۹۶.
۱۳. شمس نیا، ا و پیرمردیان، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی بهره‌وری آب بر اساس دوره‌های خشک، تر و نرمال با استفاده از شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و مدل AquaCrop در کشت گندم دیم (مطالعه موردی: شیراز، استان فارس). دومین همایش ملی بحران آب، دانشگاه شهرکرد.
۱۴. علیجانی، ف.، کرباسی، ع و مظفری مسن، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم آبی ایران. اقتصادکشاورزی و توسعه، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، پرتال جامع علوم انسانی، جلد ۷۶، ص ۱۶۶-۱۴۳.
۱۵. قربانی، خ. و سلطانی، ا. ۱۳۹۳. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در منطقه گرگان. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، جلد ۲۱، ص ۸۵-۶۷.
۱۶. مقدادی، ن.، سلطانی، ا.، کامکار، ب و حجارپور، ا. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در استان زنجان. نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد ۷، ص ۲۲-۱.



۱۷. نصیری اردلی، ش.، شمس نیا، ا و افلاطونی، م. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی عملکرد محصول در کشت گندم دیم با استفاده از مدل AquaCrop (مطالعه موردی: چهارمحال و بختیاری: مناطق شهرکرد، بروجن). دومین همایش ملی بحران آب، دانشگاه شهرکرد.
18. Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage paper no.33. FAO, Rome.
  19. Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson A. M. and Wolfe, D. 2011. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal*, 103: 351-370.
  20. Heng, L. K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T. and Steduto, P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*, 101: 488-498.
  21. Khoshravesh, M., Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M. and Kiani, A. R. 2013. AquaCrop model simulation under different irrigation water and nitrogen strategies. *Water Science and Technology*, 67(1): 232-238
  22. Racsko, P., Szeidl, L. and Semenov, M. A. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 1 (57): 27-41.
  23. Rodriguez, J., Weatherhead, J. Knox W. and Camacho, E. 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environmental Change*, 7: 149-159.
  24. Semenov, M. A. and Barrow, E. M. 2002. LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User's Manual.
  25. Semenov, M. A. and Barrow, E. M. 1997. Use of a stochastic Weather Generator in the development of Climate Change Scenarios. *Climatic Change*, 35: 397-414.
  26. Steduto, P., Hsiao, T. C. and Fereres, E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*, 25: 189-207.
  27. Steduto, P., Raes, T., Hsiao, T. C. Fereres, E., Heng, L., Izzi, G. and Hoogeveen, J. 2009. AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions. *Options Mediterranennes*, 80: 285-292.
  28. Voloudakisa. D., Karamanosa, A., Economoua, G., Kalivasb, D., Vahamidisa, P., Kotoulasa, V., Kapsomenakisc, J. and Zerefosc, C. 2014. Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis. *Agricultural Water Management*, 147: 116-128.
  29. Zhang, X. C. and Nearing, M. A. 2005. Impact of climate change on soil erosion, runoff, and wheat productivity in central Oklahoma. *Catena*, 61: 185-195.