

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تولید سیب‌زمینی در فریدون‌شهر و ارزیابی راهکارهای سازگاری (تغییر رقم و تاریخ کاشت)

ظهرباب اداوی^{۱*}، محمود رضا تدین^۲ و ابوالفضل باغبانی آرانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۹)

چکیده

به‌منظور کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم و ثبات تولید منطقه‌ای، ارزیابی استراتژی‌های افزایش سازگاری به شرایط تغییر اقلیم ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از این مطالعه شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژیک و عملکرد سیب‌زمینی در شرایط تغییر اقلیم آینده و بررسی امکان تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولید سیب‌زمینی با تغییر تاریخ کاشت و استفاده از ارقام مختلف (آگریا، آریندا و سانته) به‌عنوان راهکارهای مدیریتی در منطقه فریدون‌شهر اصفهان بود. برای این منظور، دو مدل گردش عمومی ۴ IPCM و ۳ HadCM، در سه سناریوی A₁B، B₁ و A₂ در سه دوره زمانی ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ به‌کار برده شد. برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی و ایجاد فصل رشد احتمالی برای هر دوره از مدل LARS-WG و برای شبیه‌سازی رشد سیب‌زمینی از مدل SUBSTOR-Potato در نرم‌افزار DSSAT استفاده شد. طول دوره کاشت تا گل‌دهی و عملکرد سیب‌زمینی تحت تأثیر تغییر اقلیم در بیشتر سناریوهای مورد استفاده کاهش نشان داد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که کاشت دیرهنگام سیب‌زمینی (۱۵ خرداد)، منجر به افزایش عملکرد غده در مقایسه با تاریخ کاشت رایج منطقه (۱ خرداد) در شرایط اقلیمی آینده می‌شود، در صورتی که کاشت زودهنگام (۱۵ اردیبهشت) اثرات منفی تغییر اقلیم را در بیشتر سناریوها و زمان‌های مورد بررسی، تشدید خواهد کرد. به‌ترتیب ارقام آریندا (رقم زودرس)، سانته و آگریا (رقم رایج) در تمام سناریوهای تغییر اقلیم از عملکرد بالاتری برخوردار بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده کاشت رقم آریندا در تاریخ ۱۵ خرداد به‌عنوان بهترین راهکار مدیریت زراعی در منطقه به‌منظور تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد سیب‌زمینی معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، فنولوژی، مدل گردش عمومی، DSSAT

۱. استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور

۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Z_adavi@pnu.ac.ir

مقدمه

بر اساس آخرین گزارش مجمع بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، میانگین درجه حرارت جهان تا سال ۲۰۶۰، ۲/۵-۰/۶ درجه سلسیوس و تا پایان قرن حاضر ۶/۴-۱/۱ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد و دامنه این افزایش درجه حرارت در مقیاس منطقه‌ای بسیار زیاد خواهد بود (۱۱). نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سال‌های اخیر در ایران انجام شده است همگی مؤید بروز این پدیده در کشور هستند (۱۹). البته این تحقیقات عمدتاً بر شاخص‌های اقلیمی تمرکز داشته و اثرات این تغییرات بر تولیدات کشاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر در مورد اثرات پدیده تغییر اقلیم در کشاورزی ایران، مستلزم انجام مطالعات گسترده در مقیاس منطقه‌ای و پیش‌بینی واکنش سیستم‌های تولید کشاورزی هر منطقه به این تغییرات است (۱۱). با این حال در ایران برخی مطالعات در رابطه با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی انجام شده است (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۹، ۲۰ و ۲۴). تغییر تاریخ کاشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت زراعی در سازگاری به شرایط تغییر اقلیم در آینده مطرح است (۱۱). در مطالعات مختلف تغییر اقلیم، تغییر تاریخ کاشت به‌عنوان ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راهکار سازگاری مورد تأکید قرار گرفته است (۱۵، ۱۹ و ۳۲). یکی دیگر از راهکارهای مقابله با اثرات منفی تغییر اقلیم در آینده، استفاده از ارقام مختلف گیاهان است. ارقام مختلف گیاهی با توجه به ویژگی‌های رشدی متفاوت از جمله تفاوت در طول ظهور مراحل فنولوژیک (۱۹) یا مقاومت بیشتر به درجه حرارت‌های بالا (۱۱)، پاسخ‌های متفاوتی به شرایط اقلیمی آینده می‌دهند. مقایسه ارقام زودرس، میان‌رس و یا دیررس در مطالعات تغییر اقلیم و انتخاب ارقام با سازگاری بیشتر به این تغییرات، نیز یکی از مؤثرترین و کم‌هزینه‌ترین الگوهای سازگاری به تغییر اقلیم است. بنابراین تغییر تاریخ کاشت و همچنین استفاده از ارقام مختلف در مقابله با شرایط تغییر اقلیم در آینده از جمله راهکارهای سازگاری است که مطالعاتی نیز در این زمینه در کشورمان ایران انجام گرفته است (۱۴ و ۱۹).

کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد زیرا تولید گیاهان زراعی به‌صورت مستقیم به شرایط اقلیمی وابسته است (۲۱ و ۳۰). اگرچه، کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی با اعمال تغییرات مدیریتی از جمله مدیریت‌های مربوط به آبیاری، خاک، رقم محصول، فعالیت‌ها و فناوری‌های مورد استفاده در کشت گیاهان زراعی، می‌توانند در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد (۲۵). در این راستا، تخفیف و سازگاری دو روش شناخته شده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم در آینده است (۲).

منظور از سازگاری رهیافت‌هایی است که رشدونمو گیاه طوری تنظیم شود که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی به وقوع پیوسته قرار بگیرد (۲۹). راهکارهای سازگاری بسته به سیستم کشاورزی، منطقه و سناریوهای تغییر اقلیم متفاوت است. از جمله این استراتژی‌ها می‌توان به تغییر تاریخ کاشت، تراکم کاشت (۴ و ۳۶)، استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرم‌تر، تغییر در تناوب کاشت، مدیریت آبیاری و غیره اشاره کرد (۳۳ و ۳۷). مجموع سطح زیر کشت سیب‌زمینی در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در استان اصفهان حدود ۱۷۶۰۰ هکتار گزارش شده است و تقریباً ۴۴۰ هزار تن از تولید سیب‌زمینی کشور را شامل می‌شود و منطقه فریدون‌شهر با سطح زیر کشت بیش از ۲۰۰۰ هکتار و میانگین عملکرد غده ۲۲ تن در هکتار، یکی از مهم‌ترین مناطق مستعد کشت سیب‌زمینی در کشور است (۲). کاهش میزان بارندگی و افزایش میانگین دما برای صد سال آینده در منطقه فریدون‌شهر اصفهان و همچنین تأثیر منفی این تغییرات اقلیمی بر شاخص‌های رشد، فنولوژی و عملکرد غده سیب‌زمینی مورد تأیید قرار گرفته است (۲). بنابراین هدف از این پژوهش، ارائه راهکارهای سازگاری سیب‌زمینی به تغییرات اقلیمی آینده برای منطقه فریدون‌شهر به‌عنوان قطب تولید سیب‌زمینی در استان اصفهان است. با توجه به تأیید کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی تحت تأثیر شرایط اقلیمی آینده در

مدل SUBSTOR-Potato در نرم‌افزار DSSAT نسخه ۴/۵ آن، استفاده شد. مدل SUBSTOR-Potato برای شبیه‌سازی اثر رقم، تراکم کاشت، آب‌وهوا، رطوبت خاک و نیتروژن بر رشد، نمو و عملکرد محصول در شرایط پتانسیل و محدودیت آب و عناصر غذایی طراحی شده است. این مدل یک مدل مکانیستیک است که بر اساس استانداردهای FORTRAN۷۷ طراحی و به‌راحتی در هر کامپیوتری قابل استفاده است (۸). ورودی‌های این مدل شامل عملیات مدیریتی در مزرعه (اختلافات ارقام، نوع و خصوصیات خاک و اطلاعات آب‌وهوایی) پارامترهای مدیریتی (تاریخ کاشت، تراکم، عمق کاشت، فاصله بوته‌ها، رطوبت و حاصلخیزی خاک) و جزئیات برداشت است. جزئیات مربوط به واسنجی و اعتبارسنجی مدل رشد مورد استفاده توسط ادوای (۲ و ۲۰) گزارش شده است.

به‌منظور واسنجی و اعتباردهی مدل رشد، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۲-۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تاریخ کاشت به‌عنوان کرت اصلی در سه سطح (۱۵ اردیبهشت، ۱ و ۱۵ خرداد) و ارقام مختلف سیب‌زمینی به‌عنوان کرت فرعی در سه سطح (آگریا، سانته و آریندا) بودند. تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی و عملکرد غده سیب‌زمینی به‌عنوان صفات مورد ارزیابی برای اعتبارسنجی مدل رشد سیب‌زمینی در نظر گرفته شدند (۲ و ۱۹).

مدل اقلیمی و جمع‌آوری اطلاعات

به‌منظور پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده در منطقه فریدون‌شهر داده‌های اقلیمی روزانه شامل: دمای حداقل و حداکثر، بارش و ساعات آفتابی مربوط به این منطقه در طول دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۲ جمع‌آوری شد. به‌منظور شبیه‌سازی فصل رشد احتمالی در هر دوره اقلیمی مورد بررسی، از مدل LARS-WG استفاده شده است و سپس خروجی مدل برای سال‌های مشاهده شده (مبنا) با استفاده از رفتار آب‌وهوای منطقه و سری‌های زمانی امتحان

منطقه فریدون‌شهر اصفهان (۳)، هدف از این تحقیق ارزیابی امکان استفاده از رهیافت‌های تغییر تاریخ کاشت و ارقام سیب‌زمینی به‌منظور تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولید سیب‌زمینی در منطقه فریدون‌شهر اصفهان است.

مواد و روش‌ها

مجمع بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) برای بررسی روند انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط تغییرات اقلیمی آینده، سناریوهای استاندارد بر اساس متغیرهای اقتصادی-اجتماعی، تکنولوژیکی و انرژی تعریف کرده است (۶). دو مدل گردش عمومی (HadCM۳) Hadley Centre Coupled Model (۱۸) و (IPCM۴) Institute Pierre Simon Laplace (۳۱) تحت تأثیر سه سناریوی (Special Report on Emissions Scenarios) SRES-A1B و SRES-B1, SRES-A۲ برای این تحقیق انتخاب شده است. برای تهیه پارامترهای اقلیمی به‌صورت روزانه به‌منظور شبیه‌سازی فصل رشد احتمالی در هر دوره اقلیمی مورد بررسی، از مدل LARS-WG (Long Ashton Research Station-Weather Generator) استفاده شد (۳۱).

به‌منظور بررسی شرایط اقلیمی آینده در منطقه فریدون‌شهر از پیش‌بینی دو مدل گردش عمومی HadCM۳ و IPCM۴ بر اساس سه سناریوی SRES-A1B, SRES-B1, SRES-A۲ در سه دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ (۲۰۳۰)، ۲۰۴۶ تا ۲۰۷۵ (۲۰۶۰) و ۲۰۷۶ تا ۲۱۰۵ (۲۰۹۰) به‌عنوان سال‌های هدف استفاده شد. دوره مبنا در این تحقیق از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۲ (سال ۲۰۱۲) در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است در هر دوره زمانی، داده‌های اقلیمی یک‌سال نمونه که برای هر دوره در داخل پارانز نشان داده شده است، استفاده شد. همچنین برای تهیه پارامترهای اقلیمی به‌صورت روزانه از مدل LARS-WG استفاده شد. شبیه‌سازی شرایط اقلیمی و تعیین اعتبار و نتایج آن توسط ادوای (۲) و ادوای و تدین (۳) گزارش شده است. به‌منظور شبیه‌سازی پارامترهای مختلف رشدونمو سیب‌زمینی، از

مواجه نشود. بدین منظور تأثیر دو تاریخ کاشت قبل (۱۵ اردیبهشت) و بعد (۱۵ خرداد) از تاریخ کاشت رایج آن بر کاهش اثرات تغییر اقلیم بررسی شد.

در خصوص راهکار استفاده از ارقام متفاوت، فرض بر این بود که ممکن است دوره غده‌دهی برخی از ارقام سیب‌زمینی با دمای بالا همزمان نبوده یا به شرایط تنش دمایی مقاومت متفاوتی نشان دهند. بدین ترتیب سه رقم آریندا (به‌عنوان رقم زودرس)، ساته (به‌عنوان رقم میان‌رس) و آگرا (به‌عنوان رقم دیررس) ارزیابی شد. در این آزمایش مهم‌ترین پارامترهایی که در بخش واسنجی مدل تغییر داده شد، پارامترهای مربوط به ضرایب ژنتیکی ارقام بودند. برای این منظور، دو ضریب ژنتیکی G۲ و G۳ که به‌ترتیب سرعت نمو سطح برگ (سانتی‌متر مربع بر مترمربع در روز) و سرعت رشد غده (گرم بر مترمربع در روز) هستند، با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای سال اول آزمایش محاسبه شدند. سایر ضرایب ژنتیکی ارقام سیب‌زمینی که شامل P۲ و TC (به‌ترتیب شروع غده‌دهی با فتوپریود (بدون واحد)، شروع غده‌دهی با دما (درجه سانتی‌گراد) بودند، با تغییر مقادیر این ضرایب به‌صورتی که صفات مورد اندازه‌گیری (عملکرد غده، بیشترین مقدار شاخص سطح برگ، روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی) با مقادیر شبیه‌سازی شده این صفات توسط مدل کمترین اختلاف موجود را داشته باشند، برآورد شد. ضرایب ژنتیکی مورد استفاده برای ارقام مختلف مورد استفاده در مدل در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج و بحث

تغییر تاریخ کاشت

در این مطالعه تغییر تاریخ کاشت سیب‌زمینی به‌صورت زود هنگام و دیر هنگام نسبت به کاشت رایج شبیه‌سازی شد تا میزان تأثیر آن بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد غده سیب‌زمینی به‌عنوان یک راهکار زراعی در کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم در آینده ارزیابی شود.

شد. دقت خروجی‌های مدل LARS-WG با استفاده از آزمون میانگین مربعات ریشه (Root Means Square Error) RMSE برای ایستگاه مورد نظر اعتبارسنجی شد.

تعیین اعتبار مدل اقلیمی

مقایسه بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل LARS-WG و مقادیر مشاهده شده برای پارامترهای اقلیمی شامل تابش خورشیدی، دمای حداقل و حداکثر و بارندگی توسط شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، بر اساس رابطه زیر انجام شد (۲۲). کارایی مدل (ME)، خط ۱:۱ و رگرسیون خطی برای مقایسه نتایج مدل با واقعیت استفاده شد.

$$RMSE = \frac{100}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

P_i : مقادیر پیش‌بینی شده، O_i : مقادیر اندازه‌گیری شده، n : تعداد مشاهدات، \bar{O} : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده

هر چقدر مقدار عددی RMSE کمتر باشد، نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب مدل و خطای کمتر است (۸). در این راستا، کوچکی و نصیری محلاتی (۱۱) نشان دادند که شبیه‌سازی عملکرد گندم توسط مدل استفاده شده به‌دلیل (RMSE% = ۱۶/۸) از دقت مطلوبی برخوردار است.

رهیافت‌های سازگاری

برای سازگاری سیب‌زمینی به شرایط تغییر اقلیم دو رهیافت مدیریتی در نظر گرفته شد تا اثرات منفی تغییر اقلیم بر رشد و نمو این گیاه را کاهش دهد. این رهیافت‌ها شامل تغییر تاریخ کاشت و استفاده از ارقام مختلف سیب‌زمینی بود. از آنجایی که یکی از حساس‌ترین مراحل رشد سیب‌زمینی به‌گرمای، مرحله غده‌بندی و رشد غده‌های آن است، تاریخ کاشت رایج برای سیب‌زمینی در منطقه مورد بررسی ۱ خرداد است. برای سازگاری سیب‌زمینی به گرمایش هوا، راهکارهای سازگاری به‌صورتی در نظر گرفته شد که این مرحله با بیشترین دمای هوا

جدول ۱. ضرایب ژنتیکی ارقام مختلف مورد استفاده سیب‌زمینی در مدل رشد سیب‌زمینی

ارقام	G۳	G۲	TC	P۲
آگریا	۲۰	۱۵۵۰	۱۸	۰/۴
سانته	۲۲	۱۶۰۰	۱۹	۰/۴
آریندا	۲۵	۱۸۰۰	۲۰	۰/۳

P۲، TC، G۲ و G۳ به ترتیب شروع غده‌دهی با فتوپریود (بدون واحد)، شروع غده‌دهی با دما (درجه سانتی‌گراد)، سرعت نمو سطح برگ (سانتی‌متر مربع بر مترمربع در روز) و سرعت رشد غده (گرم بر مترمربع در روز)

تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی

طول دوره کاشت تا گل‌دهی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی در این مطالعه تحت تأثیر تیمارهای مختلف تاریخ کاشت در شرایط تغییر اقلیم قرار گرفت (جدول ۲). طول این دوره از رشد گیاه از ۵۷ تا ۶۴ روز تحت شرایط تغییر اقلیم آینده متغیر بود (جدول ۲). نتایج شبیه‌سازی نشان داد که طول دوره رشد رویشی در کاشت زودهنگام سیب‌زمینی (۱۵ اردیبهشت) نسبت به کشت رایج (۱ خرداد) افزایش خواهد یافت، در صورتی که تاریخ کاشت دیرهنگام (۱۵ خرداد) در بیشتر موارد باعث کاهش طول این دوره در تمام سناریوها و تاریخ‌های کاشت مختلف نسبت به تاریخ کاشت متداول (۱ خرداد) در منطقه خواهد شد (جدول ۲). مرادی و همکاران (۱۸) نیز کاهش طول دوره رویشی گیاه ذرت را در کشت دیرهنگام و افزایش طول این دوره را در کشت زودهنگام آن در شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از مدل SERES شبیه‌سازی کردند. آنها دامنه تغییرات روز تا گل‌دهی را بین ۵۲ تا ۶۶ روز در تاریخ‌های کاشت مختلف در شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی کردند.

بر اساس پیش‌بینی مدل IPCM۴ تحت سناریوی A۲ کوتاه‌ترین طول دوره کاشت تا گل‌دهی به‌دست آمد، به‌طوری که کوتاه‌ترین طول دوره رویشی (۵۷ روز) در تاریخ کاشت ۱ و ۱۵ خرداد تحت سناریوی A۲ در سال ۲۰۹۰ شبیه‌سازی شد (جدول ۲). در هر دو مدل گردش عمومی HadCM۳ و IPCM۴ نیز سناریوی B۱ به‌طور میانگین نسبت به دو سناریوی دیگر (A۲ و A۱B) بیشترین زمان برای رسیدن به مرحله

گل‌دهی را به خود اختصاص داد و طولانی‌ترین طول دوره رشد رویشی در این سناریو و در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت در سال ۲۰۳۰ در مدل گردش عمومی IPCM۴ با ۶۴ روز مشاهده شد (جدول ۲). در بیشتر سناریوها و تاریخ‌های مختلف، با گذشت زمان در آینده، طول مرحله سبز شدن تا گل‌دهی در گیاه سیب‌زمینی کاهش خواهد یافت، به‌طوری که کمترین طول دوره رویشی در سال ۲۰۹۰ و بیشترین در سال ۲۰۳۰ شبیه‌سازی شد (جدول ۲) که احتمالاً این امر باعث بهره‌برداری کمتر از منابع در سال ۲۰۹۰ نسبت به سال ۲۰۳۰ و در نتیجه کاهش بیشتر عملکرد خواهد شد (۱۹).

در شبیه‌سازی میزان افزایش دما در منطقه فریدون‌شهر تحت سناریوهای مختلف مشاهده شد که میزان افزایش دما در سناریوی A۲ نسبت به سناریوهای دیگر بیشتر خواهد بود. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد که افزایش دما در سناریوی A۱B نیز بیشتر از سناریوی B۱ در این منطقه خواهد بود (۲) و (۳). در زمان‌ها و سناریوهایی که دمای منطقه افزایش نشان داده است، سرعت نمو گیاه افزایش یافته و در نتیجه طول دوره رویشی کاهش خواهد یافت، بنابراین، دلیل کوتاه‌تر بودن طول دوره رسیدن به مرحله گل‌دهی در سناریوی A۲ در مقایسه با دو سناریوی دیگر و همچنین سال ۲۰۹۰ نسبت به سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ را می‌توان به بالاتر بودن درجه حرارت در سناریوی A۲ و سال ۲۰۹۰ نسبت داد.

با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که در سناریوها و تاریخ‌های کاشت مشابه، اختلاف چندانی بین کاشت زودهنگام و دیرهنگام با تاریخ کاشت رایج منطقه از لحاظ زمان رسیدن

جدول ۲. روز تا زمان گل‌دهی در گیاه سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت مختلف در شرایط تغییر اقلیم آینده تحت سناریوهای مختلف

در دو مدل گردش عمومی HadCM۳ و IPCM۴

مدل گردش عمومی	سناریو	سال	تاریخ کاشت رایج (۱ خرداد)	تاریخ کاشت زودهنگام (۱۵ اردیبهشت)	تاریخ کاشت دیرهنگام (۱۵ خرداد)
A1B		۲۰۳۰	۶۲	(۱/۶۱)	۶۱
		۲۰۶۰	۶۰	(۱/۶۷)	۶۰
		۲۰۹۰	۵۹	(۱/۶۹)	۶۰
HadCM۳	A۲	۲۰۳۰	۶۰	(۱/۶۷)	۶۰
		۲۰۶۰	۶۰	(۱/۶۷)	۶۱
		۲۰۹۰	۵۸	(۱/۷۲)	۵۹
B1		۲۰۳۰	۶۰	(۱/۶۷)	۶۲
		۲۰۶۰	۶۱	(۱/۶۴)	۶۱
		۲۰۹۰	۶۱	(۱/۶۴)	۶۱
A1B		۲۰۳۰	۶۲	(۱/۶۱)	۶۱
		۲۰۶۰	۵۹	(۱/۶۹)	۶۰
		۲۰۹۰	۵۹	(۱/۶۹)	۶۰
IPCM۴	A۲	۲۰۳۰	۶۰	(۱/۶۷)	۵۹
		۲۰۶۰	۵۸	(۱/۷۲)	۵۷
		۲۰۹۰	۵۷	(۱/۷۵)	۵۸
B1		۲۰۳۰	۶۳	(۱/۵۹)	۶۲
		۲۰۶۰	۶۲	(۱/۶۱)	۶۲
		۲۰۹۰	۶۱	(۱/۶۴)	۶۱

HadCM۳ و IPCM۴ (مدل‌های گردش عمومی)، A1B، A۲ و B1 (سناریو تغییر اقلیم) و اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد تغییر نسبت به تاریخ کاشت رایج است.

رایج (۱ خرداد) آن باعث افزایش عملکرد غده و در نتیجه کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد غده می‌شود، به طوری که بیشترین افزایش عملکرد نسبت به کشت متداول در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد تحت سناریوی A۲ در مدل گردش عمومی IPCM4 در سال ۲۰۹۰ به میزان ۱۶/۱۱ درصد شبیه‌سازی شد، به عبارتی درصد بهبود عملکرد در مدل گردش عمومی IPCM۴ تحت سناریوی A۲ در سال ۲۰۹۰ به ازای هر یک روز کشت دیرهنگام برابر با ۱/۰۷ درصد خواهد بود (جدول ۳). در مدل گردش عمومی HadCM۳ نیز تاریخ کشت ۱۵ خرداد در

به مرحله گل‌دهی وجود ندارد، به طوری که بیشترین اختلاف با تاریخ کشت متداول سیب‌زمینی (۱ خرداد) با تاریخ کاشت ۱۵ خرداد (مدل گردش عمومی HadCM۳، سناریوی B1 در سال ۲۰۳۰) ۳/۳۳ درصد (اختلاف دو روز نسبت به تاریخ کشت رایج) پیش‌بینی شد (جدول ۲).

عملکرد غده سیب‌زمینی

نتایج شبیه‌سازی عملکرد غده سیب‌زمینی رقم آگریا نشان داد که کاشت دیرهنگام سیب‌زمینی (۱۵ خرداد) در مقایسه با کشت

جدول ۳. عملکرد غده سیب‌زمینی (تن در هکتار) در تاریخ‌های کاشت مختلف در شرایط تغییر اقلیم آینده تحت سناریوهای مختلف در دو مدل گردش عمومی HadCM۳ و IPCM۴.

مدل گردش عمومی	سناریو	سال میلادی	تاریخ کاشت رایج (۱ خرداد)	تاریخ کاشت زود هنگام (۱۵ اردیبهشت)	تاریخ کاشت دیر هنگام (۱۵ خرداد)
A1B		۲۰۳۰	۲۴/۱۸	(-۵/۵۹)	۲۲/۸۳
		۲۰۶۰	۲۳/۴۴	(-۵/۴۱)	۲۲/۱۷
		۲۰۹۰	۲۳/۲۳	(-۵/۳۵)	۲۱/۹۹
HadCM۳	A۲	۲۰۳۰	۲۳/۴۴	(-۵/۴۰)	۲۲/۱۷
		۲۰۶۰	۲۲/۵۲	(-۵/۱۶)	۲۱/۳۶
		۲۰۹۰	۲۱/۱۳	(-۴/۷۴)	۲۰/۱۲
B1		۲۰۳۰	۲۵/۸۸	(-۵/۹۸)	۲۴/۳۴
		۲۰۶۰	۲۵/۳۲	(-۵/۸۶)	۲۳/۸۴
		۲۰۹۰	۲۴/۴۸	(-۵/۶۶)	۲۳/۰۹
A1B		۲۰۳۰	۲۳/۶۱	(-۵/۴۵)	۲۲/۳۲
		۲۰۶۰	۲۳/۳۴	(-۵/۳۸)	۲۲/۰۸
		۲۰۹۰	۲۳/۰۶	(-۵/۳۱)	۲۱/۸۴
IPCM۴	A۲	۲۰۳۰	۲۳/۱۹	(-۵/۳۴)	۲۱/۹۵
		۲۰۶۰	۲۲/۰۹	(-۵/۰۳)	۲۰/۹۸
		۲۰۹۰	۲۰/۲۴	(-۴/۴۴)	۱۹/۳۴
B1		۲۰۳۰	۲۵/۴۸	(-۵/۸۹)	۲۳/۹۸
		۲۰۶۰	۲۴/۷۷	(-۵/۷۳)	۲۳/۳۵
		۲۰۹۰	۲۳/۹۳	(-۵/۵۳)	۲۲/۶۱

HadCM۳ و IPCM۴ (مدل‌های گردش عمومی)، A1B، A۲ و B1 (سناریو تغییر اقلیم) و اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد تغییر نسبت به تاریخ کاشت رایج است.

کشت رایج محاسبه شد، به عبارت دیگر به ازای یک روز کشت زود هنگام سیب‌زمینی عملکرد سیب‌زمینی نسبت به کشت رایج به میزان ۳۳٪ درصد کاهش خواهد یافت (جدول ۳). تغییر تاریخ کاشت برای افزایش سازگاری گیاهان با شرایط تغییر اقلیم و کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم در آینده بر عملکرد بیشتر گیاهان در مطالعات مختلف گزارش شده است. نتایج شبیه‌سازی در مورد برنج نشان داده که کاشت زودتر به مدت دو تا سه هفته در شرایط تغییر اقلیم، عملکرد گیاه را در مقایسه با تاریخ کاشت رایج، ۲۰ تا ۲۷ درصد افزایش خواهد داد (۵).

سناریوی A۲ در سال ۲۰۹۰ بیشترین افزایش عملکرد غده را در مقایسه با کشت ۱ خرداد دارا خواهد بود که میزان این افزایش ۱۴/۱۷ درصد است که معادل ۹۴٪ درصد افزایش عملکرد به ازای یک روز تأخیر در کشت در این مدل گردش عمومی است (جدول ۳). کشت سیب‌زمینی در تاریخ ۱۵ اردیبهشت (کشت زود هنگام) در تمام سناریوها و در هر دو مدل گردش عمومی باعث کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در مقایسه با کشت ۱ خرداد (کشت رایج) شد که به‌طور میانگین کاهش پنج درصدی عملکرد در این تاریخ کاشت نسبت به

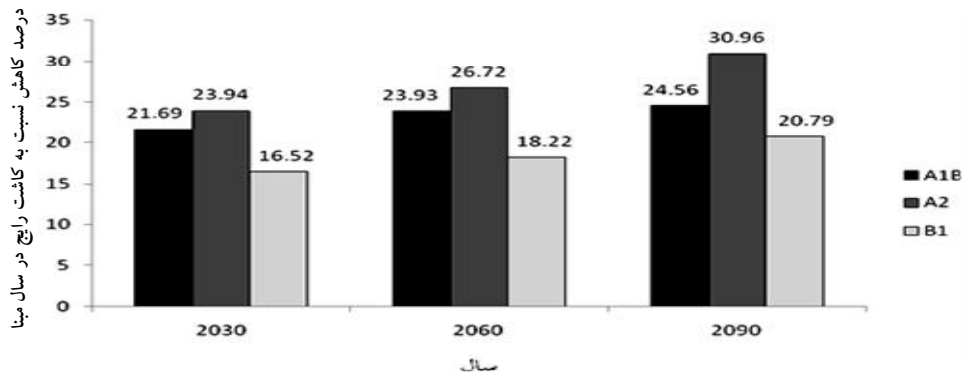
درصد کاهش عملکرد شبیه‌سازی شد (شکل ۱). نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در مدل گردش عمومی HadCM3، کشت زود هنگام سیب‌زمینی در سال ۲۰۳۰ از کمترین درصد کاهش عملکرد در مقایسه با سال ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ برخوردار خواهد بود (شکل ۱). نتایج به‌دست آمده برای مدل گردش عمومی IPCM4 نیز مشابه نتایج شبیه‌سازی شده برای مدل گردش عمومی HadCM3 بود و تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت نسبت به کشت متداول سیب‌زمینی (۱ خرداد) در تمام سناریوها تحت شرایط تغییر اقلیم آینده در منطقه فریدون‌شهر کاهش خواهد یافت (شکل ۲). در هر دو مدل گردش عمومی، بیشترین درصد کاهش عملکرد در تاریخ کشت زود هنگام (۱۵ اردیبهشت) در مقایسه با کشت رایج (۱ خرداد)، در سناریوی A2 و در سال ۲۰۹۰ (برای مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 به ترتیب ۳۰/۹۶ و ۳۳/۶۶ درصد) مشاهده می‌شود. کمترین میزان کاهش عملکرد نیز تحت سناریوی B1 در سال ۲۰۳۰ برای هر دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 به ترتیب (۱۶/۵۲ و ۱۷/۷۵ درصد) پیش‌بینی می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲).

نتایج شبیه‌سازی بر اساس تاریخ کاشت ۱۵ خرداد نیز نشان داد که تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، عملکرد غده شبیه‌سازی شده در این تاریخ نیز نسبت به کشت رایج (۱ خرداد) در دوره مبنا (۲۰۱۲-۱۹۸۸) کاهش خواهد یافت که بیشترین کاهش در بین سناریوهای مختلف در هر دو مدل گردش عمومی مربوط به سناریوی A2 و کمترین کاهش در سناریوی B1 مشاهده شد (شکل‌های ۳ و ۴). با گذشت زمان در شرایط تغییر اقلیمی آینده، میزان کاهش عملکرد در کشت دیر هنگام (۱۵ خرداد) نسبت به کشت رایج (۱ خرداد) در دوره مبنا افزایش خواهد یافت، به‌نحوی که در تمام سناریوها و در هر دو مدل گردش عمومی، سال ۲۰۹۰ از بیشترین کاهش عملکرد برخوردار خواهد بود (شکل‌های ۳ و ۴). کمترین کاهش عملکرد در تاریخ کشت ۱۵ خرداد در مقایسه با تاریخ کشت رایج (۱ خرداد) برای دوره مبنا مربوط به مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی B1 در سال ۲۰۳۰ با ۳/۹۴ درصد

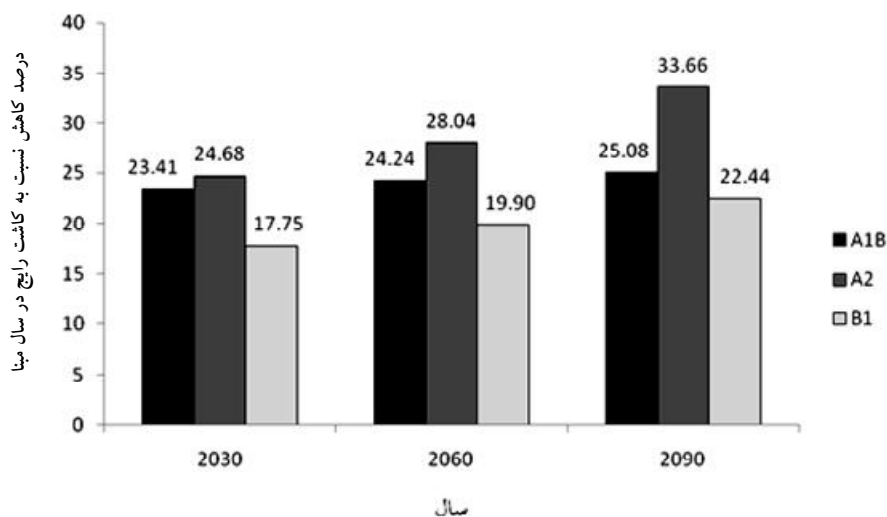
کوچکی و نصیری محلاتی (۱۱) گزارش کردند که کاشت زودتر گندم به مدت ۱۵ تا ۲۰ روز تأثیر قابل توجهی بر بهبود عملکرد در شرایط تغییر اقلیم خواهد داشت. بهبود عملکرد دانه در گیاه ذرت تحت تأثیر تغییر تاریخ کاشت نیز توسط لشکری و همکاران (۱۴) در شرایط تغییر اقلیمی آینده نیز گزارش شده است.

در این پژوهش، کمترین عملکرد غده مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت تحت سناریوی A2 در مدل گردش عمومی IPCM4 در سال ۲۰۹۰ (۱۹/۳۴ تن در هکتار) و بیشترین عملکرد غده نیز در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد تحت سناریوی B1 در مدل گردش عمومی HadCM3 در سال ۲۰۳۰ (۲۸ تن در هکتار) شبیه‌سازی شد (جدول ۳). در تمام سناریوها و تاریخ‌های کاشت، با گذشت زمان در آینده، میزان عملکرد غده کاهش خواهد یافت و کمترین مقدار آن در سال ۲۰۹۰ پیش‌بینی شد (جدول ۳). در بین سناریوهای مختلف، سناریوی B1 از بیشترین عملکرد غده برخوردار بود و سناریوی A2 نیز کمترین میزان عملکرد غده سیب‌زمینی را به خود اختصاص داد. سناریوی A1B نیز از لحاظ عملکرد غده حدواسط دو سناریوی B1 و A2 است، به‌نحوی که میزان عملکرد غده در این سناریو در تاریخ کاشت و زمان مشابه کمتر از سناریوی B1 بود و از میزان عملکرد غده بیشتری در مقایسه با سناریوی A2 برخوردار است (جدول ۳). لشکری و همکاران (۱۴) نیز در بررسی اثرات تغییر اقلیم گزارش کردند که سناریوی A2 دارای بیشترین تأثیر منفی بر عملکرد گیاهان بوده و سناریوی B1 کمترین اثر سوء بر عملکرد را دارا است. آنها همچنین کاهش عملکرد با گذشت زمان را در شرایط تغییر اقلیم آینده گزارش کردند که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه مطابقت داشت.

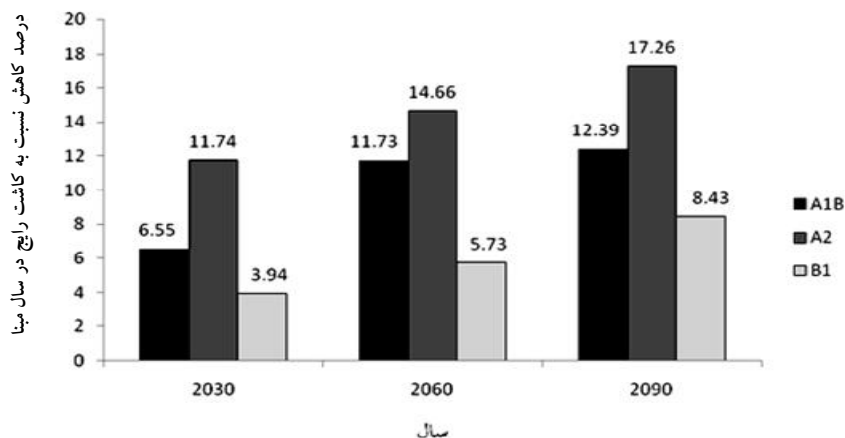
در مدل گردش عمومی HadCM3، کاشت سیب‌زمینی در تاریخ ۱۵ اردیبهشت در مقایسه با کشت رایج (در دوره مبنا (۲۰۱۲-۱۹۸۸)) در تمام سناریوها و زمان‌ها منجر به کاهش عملکرد شد که این کاهش عملکرد در سناریوی B1 از کمترین مقدار برخوردار بود در صورتی که در سناریوی A2 بیشترین



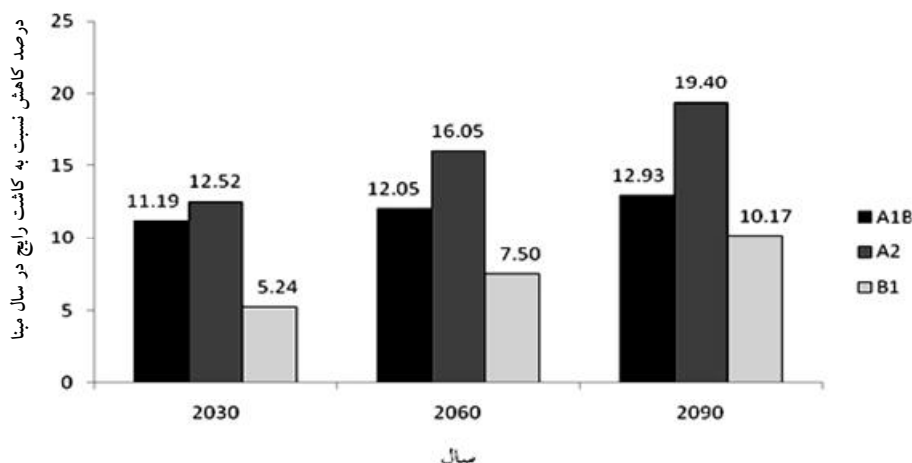
شکل ۱. درصد کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت (کاشت زودهنگام) نسبت به تاریخ کاشت رایج (۱ خرداد) در دوره مبنا (۱۹۸۸-۲۰۱۲) تحت سناریوهای مختلف در مدل گردش عمومی HadCM3



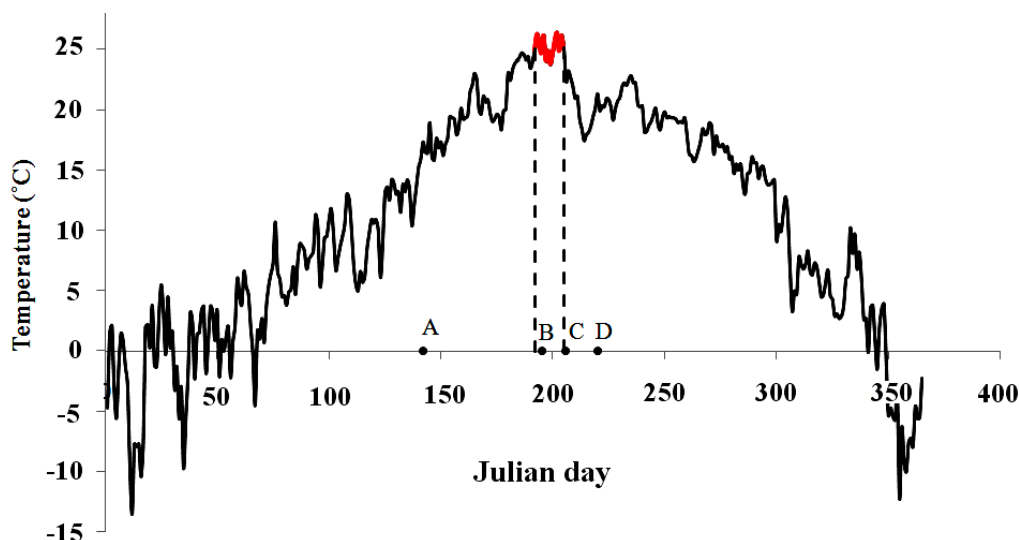
شکل ۲. درصد کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت (کاشت زودهنگام) نسبت به تاریخ کاشت رایج (۱ خرداد) در دوره مبنا (۱۹۸۸-۲۰۱۲) تحت سناریوهای مختلف در مدل گردش عمومی IPCM4



شکل ۳. درصد کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد (کاشت دیر هنگام) نسبت به تاریخ کاشت رایج (۱ خرداد) در دوره مبنا (۱۹۸۸-۲۰۱۲) تحت سناریوهای مختلف در مدل گردش عمومی HadCM3



شکل ۴. درصد کاهش عملکرد غده سیب زمینی در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد (کاشت دیرهنگام) نسبت به تاریخ کاشت رایج (۱ خرداد) در دوره مینا (۲۰۱۲-۱۹۸۸) تحت سناریوهای مختلف در مدل گردش عمومی IPCC4



شکل ۵. میانگین دمای روزانه فریدون شهر (میانگین ۲۵ سال، ۲۰۱۲-۱۹۸۸).

A, B, C و D به ترتیب تاریخ کاشت رایج (۱ خرداد)، زمان گل دهی در کشت های زودهنگام، رایج و دیرهنگام رقم آگریا

منطقه فریدون شهر (۱ خرداد، نقطه A در شکل ۵)، دوره گل دهی سیب زمینی (نقطه C در شکل ۵) تقریباً با حداکثر دمای هوا در طول فصل رشد آن مطابقت دارد. حساس ترین مرحله رشد گیاهان به گرما، مرحله گل دهی آنها است (۱۱) و در گیاه سیب زمینی نیز مرحله گل دهی و غده بندی تقریباً در یک زمان اتفاق می افتد (۱۰)، بنابراین می توان نتیجه گرفت که کشت دیرتر سیب زمینی باعث عدم انطباق گل دهی این گیاه با وقوع حداکثر دما (نقطه D در شکل ۵) شده و در نتیجه اثرات منفی

کاهش (شکل ۳) و بیشترین میزان در کاهش عملکرد غده سیب زمینی برای مدل گردش عمومی IPCC4 در سناریوی A2 در سال ۲۰۹۰ با ۱۹/۴۰ درصد کاهش پیش بینی شد (شکل ۴). با توجه به نتایج به دست آمده می توان بیان کرد که کشت دیرهنگام نسبت به کشت رایج و زودهنگام سیب زمینی راهکار مؤثرتری برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم در آینده در منطقه فریدون شهر است. بر اساس شکل ۵ مشاهده می شود که در تاریخ کاشت رایج

سانته در تمامی سناریوها و در دو مدل گردش عمومی کاهش تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی نسبت به دوره مبنا (۲۰۱۲-۱۹۸۸) در هر سه تاریخ کاشت مشاهده شد (جدول ۴). در صورتی که در رقم آریندا اختلاف زیادی بین طول دوره رشد رویشی در تاریخ کاشت رایج (۱ خرداد) با دوره مبنا مشاهده نشد، اما در کشت زودهنگام (۱۵ اردیبهشت) این رقم، زمان رسیدن به گل‌دهی در بیشتر موارد نسبت به دوره مبنا به تأخیر افتاد، دامنه این تأخیر یک تا سه روز مشاهده شد (جدول ۴). در کشت زودهنگام (۱۵ اردیبهشت) رقم آریندا، برخلاف کشت دیرهنگام (۱۵ خرداد) این رقم در بیشتر سناریوها مرحله گل‌دهی زودتر از دوره مبنا اتفاق افتاد و به عبارتی دوره گل‌دهی نسبت به دوره مبنا کاهش یافت که دامنه این کاهش از یک تا سه روز متغیر خواهد بود (جدول ۴). ماگرین و همکاران (۱۶) رشد ذرت را در شرایط کنونی و دوره اقلیمی ۲۰۵۵ بررسی و مشاهده کردند که مراحل فنولوژیک ذرت از ظهور گیاهیچه تا گل‌دهی فیزیولوژیک حدود ۱۰ تا ۱۵ روز کاهش خواهد یافت.

نتایج نشان داد رقم نیمه‌دیررس آگریا از تعداد روز تا گل‌دهی بالاتری نسبت به ارقام زودرس (آریندا) و میان‌رس (سانته) برخوردار است و رقم سانته نیز طول دوره رشد طولانی‌تری نسبت به رقم آریندا داشت (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد که در بیشتر سناریوها و سال‌ها و در هر دو مدل گردش عمومی، با گذشت زمان از دوره ۲۰۳۰ به ۲۰۹۰ طول دوره رشد رویشی ارقام مختلف سیب‌زمینی کاهش خواهد یافت (جدول ۴). افزایش درجه حرارت در سناریوها و زمان‌های آینده، منجر به تسریع در تکمیل مراحل فنولوژیک گیاهان شده و گل‌دهی زودتر آنها را منجر می‌شود (۱۷ و ۲۶).

نتایج مدل‌سازی نشان داد که تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی در ارقام مختلف سیب‌زمینی تحت تأثیر تاریخ کاشت، سناریوها و مدل‌های گردش عمومی مختلف در شرایط تغییر اقلیم آینده بین ۴۸ تا ۶۳ روز متغیر خواهد بود که بیشترین عامل ایجاد این اختلاف در زمان گل‌دهی مربوط به استفاده از ارقام مختلف است (جدول ۴). کوچکی و نصیری محلاتی (۱۱) نیز در

گرما در مرحله حساس گل‌دهی تعدیل و افزایش عملکرد را نسبت به تاریخ کاشت‌های دیگر در شرایط تغییر اقلیم آینده باعث می‌شود. اما در تاریخ کشت زودهنگام (۱۵ اردیبهشت)، روزهای بیشتری از مرحله گل‌دهی با بیشترین دمای منطقه انطباق داشته (نقطه B در شکل ۵) و در نتیجه نسبت به کشت رایج از عملکرد کمتری برخوردار بود.

به نظر می‌رسد، کاشت دیرهنگام سیب‌زمینی باعث عدم انطباق دوره گل‌دهی این گیاه با بیشترین دمای منطقه خواهد شد (شکل ۵) و به تبع آن باعث تعدیل اثرات منفی افزایش درجه حرارت ناشی از تغییرات اقلیمی بر عملکرد این گیاه می‌شود (جدول ۳). مشکلی که معمولاً در تاریخ کاشت دیرهنگام در گیاه سیب‌زمینی اتفاق می‌افتد، آن است که در کشت‌های دیرهنگام، گیاه سیب‌زمینی در انتهای فصل رشد با سرمای اوایل پاییز مواجه می‌شود اما سوزورث و همکاران (۳۴) بیان کردند که با توجه به گرمایش زمین و افزایش نسبی دما در اوایل پاییز در شرایط تغییر اقلیم آینده، کاشت دیرهنگام گیاهان دیگر با خطر سرمای آخر فصل مواجه نخواهد شد و از این لحاظ مشکلی پیش نخواهد آمد. بنابراین، کاشت دیرهنگام سیب‌زمینی در منطقه فریدون‌شهر را می‌توان به‌عنوان راهکاری مؤثر در سازگاری این گیاه به اثرات منفی گرمایش هوا و تغییرات اقلیمی در نظر گرفته و در طراحی اکوسیستم کشاورزی منطقه مدنظر قرار داد.

استفاده از ارقام مختلف

برای این منظور و با توجه به کاهش رشد سیب‌زمینی در شرایط تغییر اقلیم آینده در رقم رایج منطقه (رقم آگریا) که یک رقم نیمه‌دیررس است، از رقم سانته به‌عنوان رقم میان‌رس و رقم جدید آریندا به‌عنوان یک رقم زودرس با عملکرد بالا در این شبیه‌سازی استفاده شد.

تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی

تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی به‌عنوان یکی از مراحل مهم فنولوژیک در مدل رشد سیب‌زمینی در نظر گرفته شد. در رقم

جدول ۴. روز تا گل‌دهی در گیاه سیب‌زمینی در ارقام و تاریخ کاشت‌های مختلف در شرایط تغییر اقلیم آینده تحت سناریوهای مختلف (A1B، A2 و B1) در دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4

سانته (رقم میان‌رس)			آریندا (رقم زودرس)			آگریا (رقم رایج)		سال	سناریو	مدل گردش عمومی
کاشت رایج	زودهنگام	دیرهنگام	کاشت رایج	زودهنگام	دیرهنگام	کاشت رایج				
۶۰	۶۱	۵۹	۴۹	۵۰	۵۱	۶۵	مبنا			
۵۷	۵۸	۵۷	۵۱	۵۳	۵۰	۶۲	۲۰۳۰	A1B		
۵۷	۵۸	۵۶	۵۰	۵۱	۵۰	۶۰	۲۰۶۰			
۵۶	۵۷	۵۶	۴۹	۵۰	۴۹	۵۹	۲۰۹۰			
۵۷	۵۸	۵۶	۴۹	۵۰	۴۹	۶۰	۲۰۳۰			
۵۵	۵۶	۵۵	۵۰	۵۲	۴۹	۶۰	۲۰۶۰	A2	HadCM3	
۵۵	۵۶	۵۵	۴۸	۴۹	۴۸	۵۸	۲۰۹۰			
۵۸	۵۹	۵۸	۵۱	۵۳	۵۱	۶۰	۲۰۳۰			
۵۸	۶۰	۵۷	۵۰	۵۱	۴۹	۶۱	۲۰۳۰	B1		
۵۷	۵۸	۵۷	۵۰	۵۱	۵۰	۶۱	۲۰۶۰			
۵۷	۵۸	۵۶	۴۹	۵۰	۴۹	۶۲	۲۰۹۰	A1B		
۵۶	۵۷	۵۶	۴۹	۵۱	۴۹	۵۹	۲۰۳۰			
۵۵	۵۶	۵۵	۴۹	۵۰	۵۰	۵۹	۲۰۳۰			
۵۶	۵۷	۵۵	۵۰	۵۱	۴۹	۶۰	۲۰۶۰			
۵۵	۵۶	۵۵	۴۸	۴۹	۴۸	۵۸	۲۰۹۰	A2	IPCM4	
۵۴	۵۵	۵۴	۴۸	۴۹	۴۸	۵۷	۲۰۳۰			
۵۸	۶۰	۵۷	۵۱	۵۲	۵۰	۶۳	۲۰۳۰			
۵۷	۵۸	۵۷	۵۰	۵۲	۵۰	۶۲	۲۰۶۰	B1		
۵۶	۵۷	۵۶	۵۰	۵۱	۴۹	۶۱	۲۰۹۰			

کمترین تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی در رقم سانته در سناریوی A2 و مدل گردش عمومی IPCM4 برای دوره زمانی ۲۰۹۰ در کشت‌های رایج و دیرهنگام با ۵۴ روز مشاهده شد (جدول ۴). در رقم آریندا نیز کمترین زمان رسیدن به مرحله گل‌دهی در سناریوی A2 در کشت رایج (۱ خرداد) و دیرهنگام (۱۵ خرداد) این رقم با طول دوره رشد رویشی ۴۸ روز شبیه‌سازی شد که برای مدل گردش عمومی HadCM3 در سال

بررسی راهکارهای سازگاری به شرایط تغییر اقلیم، استفاده از ارقام مختلف را به‌عنوان راهکار مؤثری برای سازگاری گیاهان به اثرات منفی افزایش دما ارائه کردند. این محققان استفاده از ارقامی که در مرحله گل‌دهی مقاومت به گرمای بالایی نسبت به سایر ارقام دارند، را به‌عنوان ارقام مناسب برای مقابله با تغییر اقلیم در آینده پیشنهاد دادند و چنین ارقامی را با عنوان تیپ‌های ایده‌آل گیاهی برای شرایط آینده معرفی کردند.

این وجود گزارشاتی نیز در زمینه افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی در شرایط اقلیمی آینده در سایر کشورها ارائه شده‌است (۱۷ و ۲۸) ولف و وان ایژن (۳۸) افزایش عملکرد غده در گیاه سیب‌زمینی را برای سال ۲۰۵۰ در بیشتر مناطق اروپا شبیه‌سازی کردند.

ارقام سانته و آریندا در تمام سناریوهای تغییر اقلیم از عملکرد بالاتری در مقایسه با رقم رایج منطقه (آگریا) برخوردار بودند (جدول ۵). نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در هر دو رقم میان‌رس (سانته) و زودرس (آریندا) کشت زودهنگام و دیرهنگام سیب‌زمینی نسبت به کاشت رایج آن در تاریخ یک خرداد، عملکرد غده بالاتری را تولید خواهد کرد که در این میان نیز بیشترین تولید در هر دو رقم مذکور مربوط به کشت دیرتر از موعد مقرر آنها بود (جدول ۵). بیشترین عملکرد مشاهده شده در شرایط تغییر اقلیم آینده در تیمارهای رقم و تاریخ کاشت مربوط به رقم آریندا تحت سناریوی B1 و مدل گردش عمومی HadCM3 در سال ۲۰۳۰ در شرایط کشت در ۱۵ خرداد با عملکردی معادل ۳۶/۵۸ تن در هکتار شبیه‌سازی شد که نسبت به دوره مبنا (۱۹۸۸-۲۰۱۲) در این رقم (۳۷/۲۰ تن در هکتار) کاهش ناچیزی در حدود ۱/۷ درصد خواهد داشت (جدول ۵).

در رقم آریندا، نامناسب‌ترین تاریخ کاشت در شرایط کنونی و آینده در یک خرداد (تاریخ کشت رایج منطقه) است که دقیقاً گل‌دهی و اوج گرمایی در این تاریخ کاشت همزمان اتفاق می‌افتد که این موضوع سبب کاهش بیشتر عملکرد در شرایط اقلیمی آینده که درجه حرارت نیز افزایش می‌یابد، خواهد شد (شکل ۶). بنابراین، در رقم آریندا تاریخ کاشت زودتر (۱۵ اردیبهشت) و دیرتر (۱۵ خرداد) به دلیل عدم انطباق گل‌دهی با بیشترین میزان درجه حرارت منطقه (در تاریخ کشت زودهنگام گل‌دهی قبل از اوج دمایی رخ می‌دهد و در تاریخ کاشت دیرهنگام نیز گل‌دهی بعد از اوج گرمایی اتفاق می‌افتد) بهتر از تاریخ کاشت رایج عمل می‌کند (شکل ۶). از طرفی در تاریخ کاشت زودتر به دلیل اینکه گل‌دهی قبل از اوج دمایی اتفاق

۲۰۹۰ و در مدل گردش عمومی IPCM۴ در هر دو سال ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ به‌دست آمد (جدول ۴).

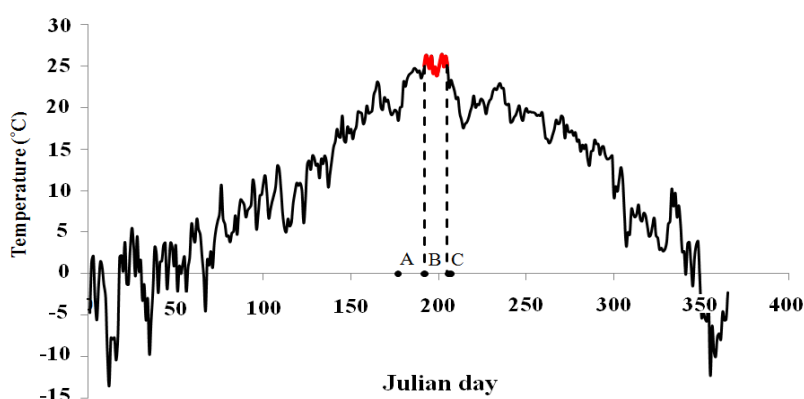
عملکرد غده سیب‌زمینی

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که پدیده تغییر اقلیم تأثیر منفی بر عملکرد غده سیب‌زمینی در ارقام مختلف آن خواهد داشت و عملکرد غده کلیه ارقام سیب‌زمینی تحت تأثیر سناریوها و مدل‌های گردش عمومی مورد بررسی در هر سه دوره زمانی و در تمام تاریخ‌های کاشت نسبت به شرایط کنونی (دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۹۸۸) کاهش خواهد یافت (جدول ۵). اثرات منفی تغییر اقلیم (افزایش درجه حرارت) بر عملکرد غده ارقام مختلف سیب‌زمینی با گذشت زمان افزایش نشان داد، به‌طوری که کمترین عملکرد غده برای تمام ارقام در دوره منتهی به سال ۲۰۹۰ برای کلیه سناریوها و مدل‌های گردش عمومی در هر سه تاریخ کاشت شبیه‌سازی شد (جدول ۵). کاهش مراحل فنولوژی و عملکرد غده سیب‌زمینی نسبت به شرایط کنونی (دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۹۸۸) در سناریوی A۲ بیشتر از دو سناریوی B1 و A1B بود (جدول ۴ و ۵) که دلیل این امر بالاتر بودن میانگین دمای هوا در سناریوی A۲ نسبت به دو سناریوی دیگر و همچنین میانگین دمای بالا در سناریوی A1B نسبت به سناریوی B1 بود (۲). این موضوع با گزارش‌های مجمع بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC (۶) مبنی بر افزایش میانگین دمای هوا تا سال ۲۱۰۰ میلادی در سناریوی A۲ (۲-۵/۴) درجه سانتی‌گراد)، در سناریوی A1B (۱/۷-۴/۴) درجه سانتی‌گراد) و B1 (۲/۹-۱/۱) درجه سانتی‌گراد) مطابقت داشت. کوتاه شدن دوره رشد گیاه سبب می‌شود زمان کمتری برای پرشدن اندام اقتصادی گیاه مهیا شده و این عامل منجر به کاهش عملکرد گیاهان در مقایسه با زمان کنونی شود (۱). مزا و همکاران (۱۷) نیز در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در کشور شیلی اظهار داشتند که تغییر اقلیم گیاهان را مجبور می‌کند تا در زمان کوتاه‌تری دوره رشد خود را کامل کرده و این موضوع باعث کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی عملکرد گیاهان نسبت به شرایط کنونی می‌شود. با

جدول ۵. عملکرد غده گیاه سیب‌زمینی (تن در هکتار) در ارقام و تاریخ کاشت‌های مختلف در شرایط تغییر اقلیم آینده

تحت سناریوهای مختلف (A1B، A2 و B1) در دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4

مدل گردش عمومی	سناریو	سال	آریندا			آگریا		
			(رقم زودرس)			(رقم رایج)		
کاشت رایج	ساته (رقم میان‌رس)		کاشت رایج	زود هنگام	دیرهنگام	کاشت رایج	زود هنگام	دیرهنگام
	زود هنگام	دیرهنگام						
HadCM3	A1B	مبنا	۲۹/۲۰	۳۱/۴۰	۳۳/۳۰	۲۹/۱۵	۳۷/۲۰	۳۶/۱۰
		۲۰۳۰	۲۴/۳۸	۲۷/۹۱	۳۰/۴۱	۲۸/۲۷	۳۲/۸۴	۳۴/۴۰
		۲۰۶۰	۲۳/۶۴	۲۷/۱۱	۲۹/۵۷	۲۷/۳۹	۳۱/۹۳	۳۳/۴۶
		۲۰۹۰	۲۳/۴۳	۲۶/۸۹	۲۹/۳۳	۲۷/۱۵	۳۱/۶۷	۳۳/۲۰
		۲۰۳۰	۲۳/۶۳	۲۷/۱۱	۲۹/۵۶	۲۷/۳۹	۳۱/۹۲	۳۳/۴۵
		۲۰۶۰	۲۲/۷۲	۲۶/۱۲	۲۸/۵۲	۲۶/۳۰	۳۰/۷۹	۳۲/۲۹
	B1	۲۰۹۰	۲۱/۳۲	۲۴/۶۲	۲۷/۵۶	۲۴/۶۴	۲۹/۰۶	۳۳/۲۰
		۲۰۳۰	۲۴/۰۸	۲۹/۴۷	۳۲/۳۶	۳۰/۳۰	۳۴/۹۵	۳۶/۵۸
		۲۰۶۰	۲۵/۵۲	۲۹/۱۴	۳۲/۷۱	۲۹/۶۴	۳۴/۲۶	۳۵/۸۶
		۲۰۹۰	۲۴/۶۷	۲۸/۳۳	۳۰/۷۵	۲۸/۶۳	۳۳/۲۱	۳۴/۷۸
		۲۰۳۰	۲۳/۸۱	۲۷/۳۰	۲۹/۷۶	۲۷/۶۰	۳۲/۱۴	۳۳/۶۸
		۲۰۶۰	۲۳/۵۳	۲۷/۰۰	۲۹/۴۵	۲۷/۲۷	۳۱/۸۰	۳۳/۳۳
IPCM4	A2	۲۰۹۰	۲۳/۲۶	۲۶/۷۱	۲۹/۱۴	۲۶/۹۵	۳۱/۴۶	۳۲/۹۸
		۲۰۳۰	۲۳/۳۹	۲۴/۸۵	۲۹/۲۹	۲۷/۱۰	۳۱/۶۲	۳۲/۱۴
		۲۰۶۰	۲۲/۲۸	۲۵/۶۵	۲۸/۰۲	۲۵/۷۸	۳۰/۲۵	۳۱/۷۳
	B1	۲۰۹۰	۲۰/۴۳	۲۳/۶۶	۲۶/۴۹	۲۳/۵۸	۲۸/۳۴	۳۰/۳۹
		۲۰۳۰	۲۵/۶۸	۲۹/۳۱	۳۱/۹۰	۲۹/۸۲	۳۳/۴۵	۳۶/۰۶
		۲۰۶۰	۲۴/۹۷	۲۸/۵۴	۳۱/۰۸	۲۸/۹۷	۳۳/۵۷	۳۵/۱۵
۲۰۹۰	۲۴/۱۳	۲۷/۶۴	۳۰/۱۳	۲۷/۹۸	۳۲/۵۴	۳۴/۰۹		



شکل ۶. زمان گل‌دهی رقم آریندا (زودرس) در منطقه فریدون‌شهر. A، B و C به ترتیب نشان‌دهنده زمان گل‌دهی کاشت‌های زود هنگام، رایج و دیرهنگام رقم آریندا

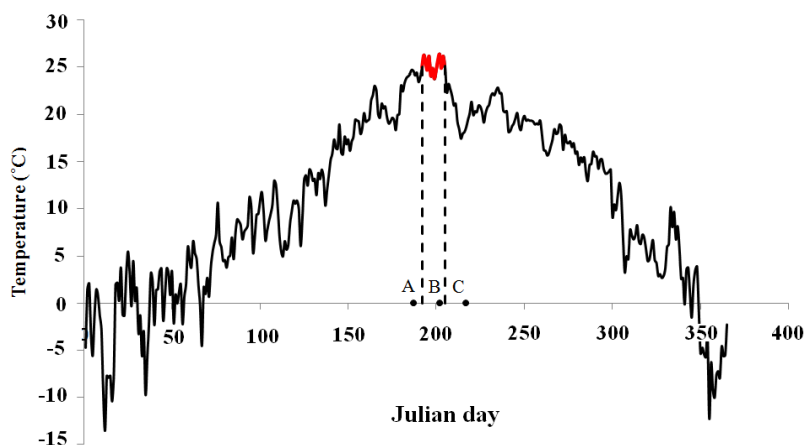
با توجه به نتایج، بهترین تاریخ کاشت برای هر دو رقم سائنه و آریندا در شرایط تغییر اقلیم آینده در کشت دیرتر از موعد این گیاه و در تاریخ ۱۵ خرداد شبیه‌سازی شد (جدول ۵)، بنابراین درصد تغییر عملکرد غده این ارقام در کشت دیرهنگام آنها با رقم رایج (آگریا) در کشت رایج (۱ خرداد) منطقه مورد مقایسه قرار گرفت که در شکل‌های ۸ تا ۱۱ مشاهده می‌شود. درصد تغییر عملکرد شبیه‌سازی شده رقم سائنه در کشت دیرهنگام (۱۵ خرداد) نسبت به رقم و کشت رایج (رقم آگریا و تاریخ کشت ۱ خرداد) منطقه از ۶/۵۰- درصد تحت تأثیر سناریوی A۲ در سال ۲۰۹۰ تا ۱۱/۰۱ درصد در سناریوی B۱ در سال ۲۰۳۰ برای مدل گردش عمومی HadCM۳ متغیر بود (شکل ۸). در مدل گردش عمومی IPCM۴ نیز دامنه تغییر عملکرد بین ۹/۱۲- تا ۹/۴۲ درصد به ترتیب برای سناریوی A۲ در سال ۲۰۹۰ و سناریوی B۱ در سال ۲۰۳۰ برای این رقم به دست آمد (شکل ۹). در رابطه با رقم آریندا در کاشت دیرهنگام (۱۵ خرداد) نیز بیشترین و کمترین درصد تغییر عملکرد غده نسبت به رقم آگریا در کشت رایج (۱ خرداد)، در هر دو مدل گردش عمومی به ترتیب مربوط به سناریوی A۲ در سال ۲۰۹۰ و سناریوی B۱ در سال ۲۰۳۰ بود (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

کشت دیرهنگام سیب‌زمینی برای رقم سائنه در بیشتر موارد باعث بهبود عملکرد غده نسبت به رقم و کشت رایج (رقم آگریا و تاریخ کشت ۱ خرداد) منطقه شد و تنها در سناریوی A۲ در سال ۲۰۹۰ برای مدل گردش عمومی HadCM۳ (شکل ۸) و سال‌های ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ برای مدل گردش عمومی IPCM۴ (شکل ۹) نسبت به رقم آگریا در تاریخ ۱ خرداد کاهش نشان داد. در صورتی که کشت ۱۵ خرداد در رقم آریندا در تمام سناریوها و زمان‌های مختلف مورد بررسی در شرایط تغییر اقلیم آینده در منطقه فریدون‌شهر و در هر دو مدل گردش عمومی منجر به افزایش و بهبود عملکرد سیب‌زمینی در مقایسه با کشت رایج منطقه در رقم آگریا خواهد شد. بنابراین، با توجه به عدم انطباق گل‌دهی در تاریخ کاشت دیرهنگام (۱۵ خرداد) با اوج گرمایی منطقه و همچنین پتانسیل بالای تولید رقم آریندا نسبت به دو رقم دیگر، می‌توان کاشت سیب‌زمینی در ۱۵ خرداد و

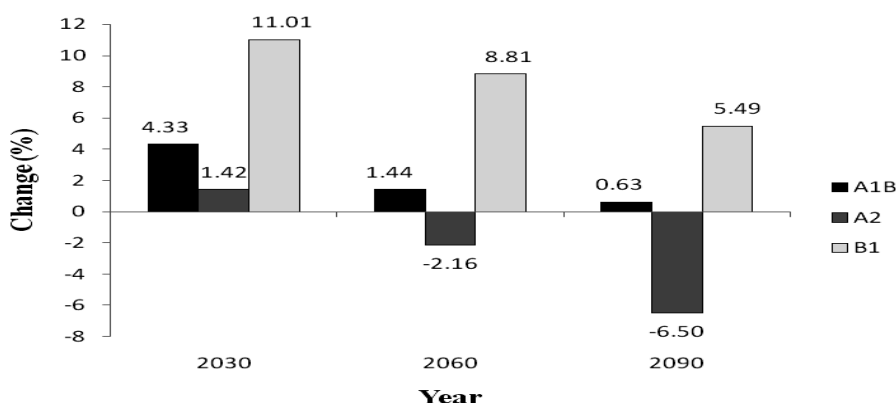
می‌افتد و در این زمان غده‌ها در حال تشکیل هستند بنابراین، احتمالاً کشت زودتر نسبت به کشت دیرتر، از افزایش دما بیشتر آسیب دیده و عملکرد کمتری نشان می‌دهد. لشکری و همکاران (۱۴) نیز در بررسی اثرات تغییر اقلیم و استفاده از رویکرد تغییر تاریخ کاشت برای فرار گیاه از تنش گرما در مرحله حساس گل‌دهی، گزارش کردند که تأخیر در کشت و به عبارتی کشت دیرتر از موعد مقرر به‌عنوان بهترین راهکار مدیریتی برای اجتناب از انطباق مراحل حساس گیاه با اوج گرما برای شرایط تغییر اقلیم آینده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی این محققان حاکی از این بود که عملکرد در تاریخ کشت دیرهنگام بالاتر از کشت زودهنگام و کشت رایج منطقه بود که با نتایج شبیه‌سازی انجام گرفته در این مطالعه مطابقت داشت.

در مورد رقم میان‌رس سائنه نیز کشت دیرتر بهترین تاریخ کشت برای این رقم است، زیرا به هیچ‌عنوان زمان گل‌دهی آن با بیشترین درجه حرارت منطقه مواجه نشده و کمترین تأثیر منفی را از افزایش دما در آینده می‌بیند (شکل ۷). در صورتی که در تاریخ کشت رایج، چند روز اول گل‌دهی مطابق با اوج دمایی منطقه است و در کشت زودتر نیز اواخر گل‌دهی به اوج گرمایی منطقه برخورد می‌کند (شکل ۷)، بنابراین در تاریخ کاشت رایج و زودهنگام عملکرد نسبت به کشت دیرهنگام بیشتر کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه احتمالاً مراحل اولیه گل‌دهی و غده‌بندی در سیب‌زمینی به تنش گرما حساسیت بیشتری در مقایسه با اواخر گل‌دهی نشان می‌دهد، بنابراین، میزان کاهش عملکرد در کاشت زودهنگام کمتر از کشت رایج است.

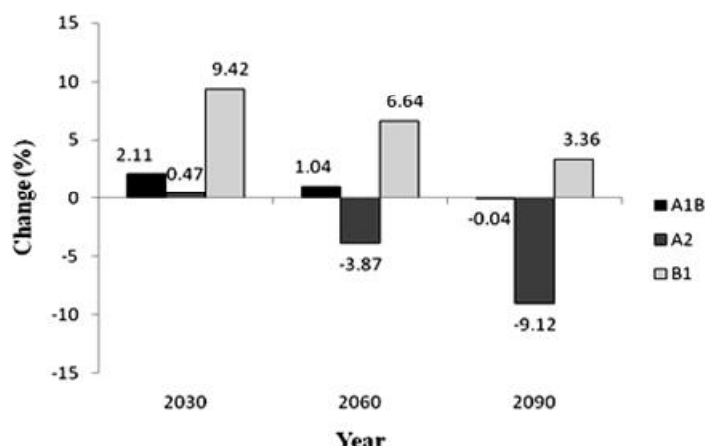
با توجه به نتایج شبیه‌سازی در این مطالعه، می‌توان انتخاب ارقام مناسب و تاریخ کشت مطلوب را به‌عنوان راهکار مؤثری برای سازگاری گیاه سیب‌زمینی در راستای تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم در آینده معرفی کرد. کومار و همکاران (۱۳) نیز در بررسی راهکارهای سازگاری به شرایط تغییر اقلیم در گیاه سیب‌زمینی، مرحله غده‌بندی آن را به‌عنوان حساس‌ترین مرحله رشد گیاه مطرح کردند و راهکار سازگاری سیب‌زمینی به افزایش درجه حرارت در شرایط تغییر اقلیم در آینده را استفاده از ارقام اصلاح شده و همچنین تغییر تاریخ کشت گزارش کردند.



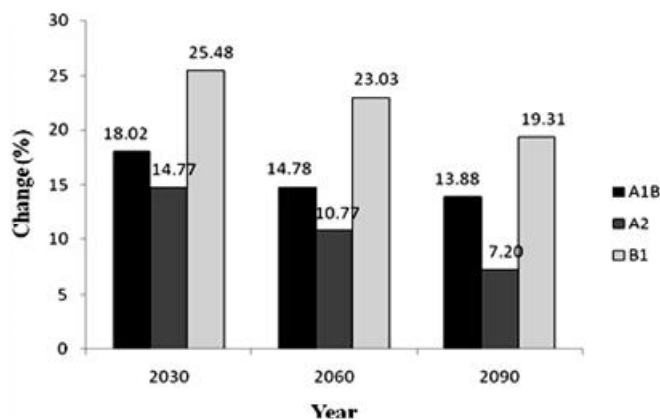
شکل ۷. زمان گل دهی رقم سانته (میانرس) در منطقه فریدون شهر. A، B و C به ترتیب نشان دهنده زمان گل دهی کاشت های زود هنگام، رایج و دیر هنگام رقم سانته



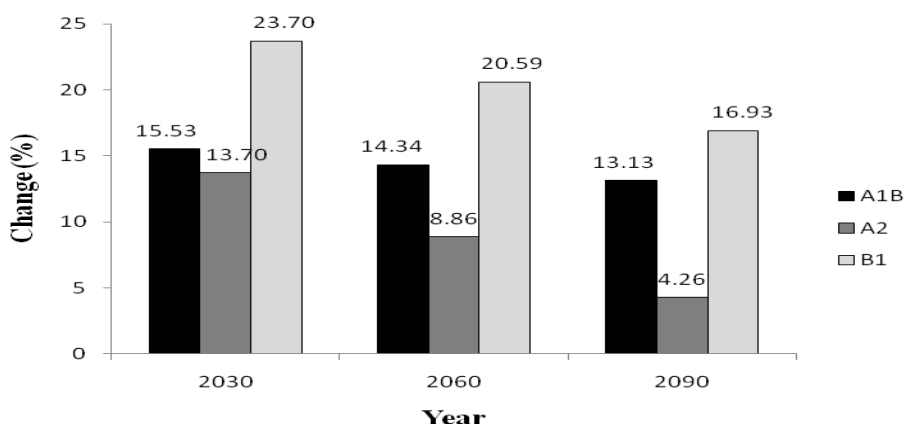
شکل ۸. درصد تغییر عملکرد غده سیب زمینی در رقم سانته (رقم میانرس) در کاشت دیر هنگام (۱۵ خرداد) نسبت به رقم رایج (آگریا) در دوره مبنا (۱۹۸۸-۲۰۱۲) تحت سناریوهای مختلف در مدل گردش عمومی HadCM3



شکل ۹. درصد تغییر عملکرد غده سیب زمینی در رقم سانته (رقم میانرس) در کاشت دیر هنگام (۱۵ خرداد) نسبت به رقم رایج (آگریا) در دوره مبنا (۱۹۸۸-۲۰۱۲) تحت سناریوهای مختلف در مدل گردش عمومی IPCM4



شکل ۱۰. درصد تغییر عملکرد غده سیب‌زمینی در رقم آریندا (رقم زودرس) در کاشت دیرهنگام (۱۵ خرداد) نسبت به رقم رایج (آگریا) در دوره مبنا (۲۰۱۲-۱۹۸۸) تحت سناریوهای مختلف در مدل گردش عمومی HadCM3



شکل ۱۱. درصد تغییر عملکرد غده سیب‌زمینی در رقم آریندا (رقم زودرس) در کاشت دیرهنگام (۱۵ خرداد) نسبت به رقم رایج (آگریا) در دوره مبنا (۲۰۱۲-۱۹۸۸) تحت سناریوهای مختلف در مدل گردش عمومی IPCM4

تغییر اقلیم آینده گزارش کرد، مطابقت نداشت.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی‌های انجام گرفته حاکی از آن است که در منطقه فریدون‌شهر، کاشت دیرهنگام سیب‌زمینی نسبت به کاشت مرسوم، به دلیل عدم برخورد مرحله حساس گل‌دهی به درجه حرارت‌های بالا، منجر به افزایش عملکرد غده در مقایسه با تاریخ کاشت رایج منطقه (۱ خرداد) در شرایط اقلیمی آینده می‌شود، در صورتی که کاشت زود هنگام اثرات منفی تغییر اقلیم را در بیشتر سناریوها و زمان‌های مورد بررسی تشدید خواهد

رقم آریندا را به‌عنوان بهترین راهکار مدیریت زراعی در منطقه به‌منظور کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم گزارش کرد که در طراحی اکوسیستم کشاورزی در این منطقه بایستی در آینده مدنظر قرار گیرد. مرادی و همکاران (۱۹) نیز استفاده از ارقام با طول فصل رشد متفاوت برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم در آینده را برای گیاه ذرت شبیه‌سازی کردند و بیان داشتند که ارقام با طول رشد کوتاه‌تر و ارقام زودرس می‌تواند راهکار سودمندی برای تعدیل اثرات مضر گرمایش آینده و سازگاری این گیاه به شرایط تغییر اقلیم مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که نتایج آنها با آزمایش تینگن و ریوینگتون (۳۵) که ارقام دیررس این گیاه را مناسب‌تر از ارقام زودرس برای شرایط

عدم انطباق گل‌دهی با بیشترین میزان درجه حرارت منطقه، بهتر از تاریخ کاشت رایج عمل می‌کند. با توجه به نتایج، بهترین تاریخ کاشت برای هر دو رقم سانه و آریندا در شرایط تغییر اقلیم آینده در کاشت دیرتر از موعد این گیاه و در تاریخ ۱۵ خرداد شبیه‌سازی شد. بنابراین به‌عنوان یک نتیجه کلی می‌توان کشت ۱۵ خرداد و رقم آریندا به‌عنوان بهترین راهکار مدیریت زراعی در منطقه برای کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم معرفی می‌شود که در مدیریت و طراحی اکوسیستم کشاورزی منطقه در شرایط تغییر اقلیم آینده بایستی مدنظر قرار داد.

کرد. بنابراین، برای سازگاری این گیاه به درجه حرارت بالا در این مرحله، راهکارهای سازگاری به‌صورتی در نظر گرفته شد که این مرحله با بیشترین دمای هوا مواجه نشود. به عبارتی می‌توان بیان کرد که کاشت دیرنگام نسبت به کشت رایج و زودنگام سیب‌زمینی راهکار مؤثرتری برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم در آینده در منطقه فریدون‌شهر است. ارقام سانه و آریندا در تمام سناریوهای تغییر اقلیم از عملکرد بالاتری در مقایسه با رقم رایج منطقه (آگریا) برخوردار بودند که این برتری در رقم آریندا که یک رقم زودرس و جدید است، بیشتر از رقم سانه بود. در رقم آریندا تاریخ کاشت زودتر و دیرتر به‌دلیل

منابع مورد استفاده

1. Abraha, M. G. and M. J. Savage. 2006. Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture Ecosystem and Environment* 115: 150-160.
2. Adavi, Z. 2014. Simulation of climate change impacts on potato production and adaptation strategies in Freydonshahr region of Esfahan using modeling approaches. PhD. Thesis, Faculty of Agriculture, Shahre-Kord University. Shahre-Kord, Iran. (In Farsi).
3. Adavi, Z. and M. R. Tadayoun. 2018. The effect of climate change on potato production in Feridonshahr region of Isfahan. *Journal of Agroecology* 9(4): 1117-1135. (In Farsi).
4. Bindi, M. and J. Olesen. 2000. Agriculture. pp: 324. In: Parry M. L. (Ed.), Assessment of Potential Effect and Adaptations for Climate Change in Europe. The Europe ACACIA Project, Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, U.K.
5. Challinor, A. J., T. R. Wheeler, P. Q. Craufurd, C. A. T. Ferro and D. B. Stephenson. 2007. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. *Agriculture Ecosystems and Environment* 119: 190-204.
6. IPCC. 2007. Summary for Policy Makers. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.
7. Hodges, T. and J. T. Ritchie. 1991. The CERES-Wheat phenology model. pp. 133-141. In: T. Hodges (Ed.) Predicting Crop Phenology. CRC Press. Boca Raton, FL.
8. Jamieson, P. D., J. R. Porter and D. R. Wilson. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research* 27: 337-350.
9. Khajehpour, M. 2006. Industrial Plants. Volume 2. University of Isfahan, Isfahan.
10. Koocheki, A. and Gh. Kamali. 2010. Climate change and dryland wheat production in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Research* 8: 508 - 520. (In Farsi).
11. Koocheki, A. and M. Nassiri-Mahallati. 2008. Impact of climate change with increasing CO₂ concentration on wheat yield in Iran and evaluation of adaptation strategies. *Iranian Journal of Agricultural Research* 6: 139 - 153. (In Farsi).
12. Koocheki, A., A. Soltani, H. Sharifi and Gh. A. Kamali. 2002. The effects of climate change on growth, development and yield of sunflower and pea Tabriz irrigated and rainfed conditions. *Agricultural Science and Technology* 15 (1): 155 - 164. (In Farsi).
13. Kumar, N. S., P. M. Govindkrishnan, D. N. Swarooparani, Ch. Nitin, J. Surabhi and P. K. Aggarwal. 2015. Assessment of impact of climate change on potato and potential adaptation gains in the Indo-Gangetic Plains of India. *International Journal of Plant Production* 9(1): 151-170.
14. Lashkari, A., A. Alizadeh and M. Bannayan-Awal. 2012. Mitigation of climate change impacts on maize productivity in northeast of Iran: a simulation study. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17(1): 1-16.
15. Ludwig, F. and S. Asseng. 2006. Impacts and adaptation to climate change in Western Australian wheat cropping systems. *Agricultural Systems* 90: 159-179.
16. Magrin, G. O., M. I. Travasso, R. Daz and R. Rodriguez. 1997. Vulnerability of the agricultural systems of Argentina

- to climate change. *Climate Research* 9: 31–36.
17. Meza, F. J., D. Silva and H. Vigil. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems* 98: 21–30.
 18. Mitchell, J. F. B., T. C. John, J. M. Gregory and S. Tett. 1995. Climate response to increasing levels of greenhouse gases as sulphate aerosols. *Nature* 376: 501-504.
 19. Moradi, R., A. Koocheki and M. Nassiri-Mahallati. 2014. Adaptation of maize to climate change impacts in Iran. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 19: 1223-1238.
 20. Moradi, R., A. Koocheki and M. Nassiri-Mahallati. 2014. Effect of climate change on maize production and shifting of planting date as adaptation strategy in Mashhad. *Sustainable Agriculture and Production Science* 23(4): 111-130. (In Farsi).
 21. Motta, R. P. and W. Baier. 2005. Impact of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions. *Climatic Change* 70: 137-164.
 22. Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282–290.
 23. Nassiri-Mahallati, M. and A. Koocheki. 2005. The effect of climate change on wheat growing areas in Iran Agri-climatic indices. *Journal of Agricultural Research* 3: 291- 303. (In Farsi).
 24. Nassiri-Mahallati, M. and A. Koocheki, Gh. Kamali and H. Marashi. 2006. Effects of climate change on agricultural climate indicators. *Journal of Agricultural Science and Technology* 20: 71- 82. (In Farsi).
 25. Ozkan, B. and H. Akcaoz. 2002. Impacts of climate factors on yields for selected crops in Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change* 7: 367–380.
 26. Parry, M., C. Rosenzweig, A. Inglesias, M. Livermore and G. Gischer. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 53–67.
 27. Peiris, D. R., J. W. Crawford, C. Grashoff, R. A. Jefferies, J. R. Porter and B. Marshall. 1996. A simulation study of crop growth and development under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 79: 271–287.
 28. Pooryay-vali, M. 2010. Potato and Out of Season Production. Publication of Nasoohi, Isfahan. (In Farsi).
 29. Rosenzweig, C. and F. N. Tubiello. 2007. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change* 12: 855–873.
 30. Salinger, M. J. 2005. Climate variability and change: past, present and future- an overview. *Climate Change* 70: 9-29.
 31. Semenov, M. K. and A. Stratonovitch. 2010. Use of multi-model ensembles from climate models for assessment of climate change impacts. *Climatic Research* 41: 1-14.
 32. Smit, B., I. Burton, R. J. T. Klein and J. Wandel. 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change* 45(1): 223–251.
 33. Smit, B. and M. W. Skinner. 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change* 7: 85–114.
 34. Southworth, J., J. C. Randolph, M. Habeck, O. C. Doering, R. A. Pfeifer, D. G. Rao and J. J. Johnston. 2007. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the Midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82: 139–158.
 35. Tingem, M. and M. Rivington. 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: Turning on the heat. *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change* 14:153–168.
 36. Trnka, M., M. Dubrovsky and Z. Ekzalud. 2004. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climate Change* 64: 227–255.
 37. Tubiello, F. N., S. Jagtap, C. Rosenzweig, R. Goldberg and J. W. Jones. 2002. Effects of climate change on US crop production from the national assessment. Simulation results using two different GCM scenarios. Part I: wheat, potato, corn, and citrus. *Climate Research* 20: 259–270.
 38. Wolf, J. and M. Van-Oijen. 2003. Model simulation of effects of changes in climate and atmospheric CO₂ and O₃ on tuber yield potential of potato (cv. Bintje) in the European Union. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94: 141–157.

Predicting the Effect of Climate Change on Potato Production in Fereidunshahr (Isfahan, Central Iran) and Evaluation of Adaptation Strategies (Adopting Cultivars and Planting Dates)

Z. Adavi^{1*}, M. R. Tadayon² and A. Baghbani- Arani¹

(Received: January 28-2017; Accepted: September 10-2018)

Abstract

Strategies to enhance local adaptation capacity are needed to mitigate climate change impacts and to maintain regional stability of food production. The objectives of this study were to simulate the climate change effects on phenology stages, potato production in the future and to explore the possibilities of employing planting dates and various varieties (Agria, Arinda and Santeh) as mitigating options to decrease the climate change impacts on potato production in Fereidunshahr, Isfahan province, Central Iran. For this purpose, we employed two types of General Circulation Models ((United Kingdom Met. Office Hadley Center: HadCM3) and (Institute Pierre Simon Laplace: IPCM4)) and three scenarios (A1B, A2 and B1) for three time periods of 2030, 2060 and 2090. LARS-WG was used to produce daily climatic parameters as one stochastic growing season for each projection period and SUBSTOR-Potato model was used to simulate potato growth. Time period from cultivation until flowering and tuber yield were reduced in a majority of the climate change scenarios. Simulation results indicated that delayed planting (5 June) alleviated the harmful effects of climate change by improving tuber yield, while early planting (5 May) in both GCMs and under all scenarios reduced tuber yield compared with the conventional planting date. Arinda (early maturing), Sante and Agria (conventional maturing) varieties had higher tuber yield in all scenarios. Selecting 5 June and Arinda as the planting date and variety of choice will alleviate negative effects of climate change and seem to be the most appropriate approach of cultural management in the studied region.

Keywords: DSSAT, GCM, Phonology, Simulation

1. Assistant Professors, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.

*: Corresponding Author, Email: Z_adavi@pnu.ac.ir