مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره شش، شهریورماه ۱۴۰۰(۱۱۲-۹۹)

شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و کارایی مصرف آب سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در اردبیل

آتوسا شفارودی [1*]

atsh1389@gmail.com

عبدالقیوم قلی پوری [2]

برومند صلاحی [3]

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۴ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۱۳**

چکیده

زمینه و هدف: تغییر اقلیم باعث تغییراتی در الگوهای بارش، دما و مقدار آن‌ها می‌شود و این تغییرات می‌تواند عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. در این مطالعه، به بررسی کارایی مدل DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد غده و کارایی مصرف آب گیاه سیب زمینی تحت تغییر اقلیم آینده، در تیمارهای مختلف کم آبیاری و رقم به عنوان یک راهکار سازگاری، پرداخته شد.

روش بررسی: به این منظور از داده‌های تولیدی بارش، دمای حداقل و حداکثر مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG5 با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 و تحت سناریوی A1B در دوره‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱، ۲۱۰۰-۲۰۷۱ و دوره پایه ۲۰۱۶-۱۹۸۸ استفاده شد. برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سیب زمینی نیز از مدل DSSAT و زیر مدل SUBSTOR-Potato استفاده شد. قبل از استفاده، توسط داده‌های مزرعه‌ای جمع‌آوری شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، واسنجی و صحت‌سنجی انجام شد. سپس مقادیر عملکرد غده و کارایی مصرف آب در دوره‌های آتی، برای این مطالعه تحت سه تیمار آبیاری کامل به عنوان تیمار شاهد (FI)، آبیاری گیاه به میزان ۱۵ درصد کمتر از تیمار شاهد (LI1) و آبیاری گیاه به میزان ۳۰ درصد کمتر از تیمار شاهد (LI2) با پنج رقم سیب زمینی (آگریا (عرف منطقه)، کایزر، ساوالان و کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ با ۳ تکرار و در دو سال زراعی ۹۵ و ۱۳۹۴ شبیه‌سازی شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج، تحت سناریوی A1B در سطوح آبیاری FI و LI1، برای دوره ۲۰۴۰ و ۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه، مقادیر عملکرد غده و کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده بیشترین درصد افزایش را نشان دادند. همچنین با انتخاب ارقام ساوالان، ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ بیشترین افزایش برای مقادیر عملکرد غده و کارایی مصرف آب برای دوره‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۷۰ شبیه سازی شد.

۱- دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.* (مسوول مکاتبات)

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- استاد، گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

بحث و نتیجه‌گیری: همانطور که نتایج نشان می‌دهد، کاهش درصد کمتر عملکرد در تیمارهای کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل، در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه مؤید امکان جایگزینی تیمار کم آبیاری (LI1) به جای تیمار آبیاری کامل (FI) می‌باشد. در نتیجه تیمار آبیاری به میزان ۱۵ درصد کمتر از آبیاری کامل، جهت آبیاری مزارع سیب زمینی با توجه به اهمیت حفظ و صرفه‌جویی منابع آب در دوره‌های آتی با تغییر اقلیم توصیه می‌گردد.

واژه های کلیدی: سناریوهای انتشار، مدل LARS-WG، مدل SUBSTOR-Potato، مدلHadCM3.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 6, September, 2021

Simulation of the Effect of Climate Change on Yield and Water Use Efficiency of Potato (Solanum Tuberosum L.) in Ardabil

Atousa Shafaroodi [1*]
atsh1389@gmail.com
Abdolghayoum Gholipouri [2]
Broomand Salahi [3]

Admission Date:June 2, 2020 Date Received: December 25, 2019

Abstract

Background and Objective: Climate change causes changes in rainfall patterns, temperatures and their amount, and these changes can affect plant performance. In this study, the efficiency of DSSAT model in simulating tuber yield and water use efficiency of potato plant under future climate change in different irrigation treatments and cultivar as an adaptation strategy was investigated.

Material and Methodology: For this purpose, the precipitation data, minimum and maximum temperatures were produced using the LARS-WG5 statistical exponential micro-scale model (Long Ashton Research Station-Weather Generator) under the HadCM3 general circulation model. The A1B scenario was applied to future periods of 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 and the basic period 1988-2016. DSSAT model and SUBSTOR-Potato model were used to simulate potato growth and yield. Prior to use, field data collected from Ardebil, Iran that were calibrated and validated. Then the values of tuber yield and water use efficiency were simulated in future periods. Three irrigation treatments were used such as full irrigation (FI), 15% less than control (LI1) and 30% less than control treatment (LI2), with five potato cultivars Agria (the conventional cultivation of the area), Caeser, Savalan, clones 397081-1, and 397082-10 with 3 replications.

Finding: According to the results, under the A1B scenario at the irrigation levels of FI and LI1, simulated values of tuber yield and water use efficiency showed the highest values for 2040 and 2070 compared to the basal period. It was also simulated by selecting Savalan cultivars, 397081-1, and 397082-10 the highest increase for tuber yield and water use efficiency values for 2040 and 2070 periods.

Discussion and Conclusion: In following, The Less reduction in percentage of yield allowed the low irrigation (LI1) to replace the full irrigation (FI) treatment in future periods compared to the baseline period. Because of the importance of conserving and saving water resources in future climate change periods, irrigation of 15% less than full irrigation is recommended for irrigation of potato fields. The results of the simulation of water use efficiency can also emphasize the use of irrigation treatment 15% less than the control.

Keywords: Emission Scenarios, HadCM3 Model, LARS-WG Model, SUBSTOR-Potato Model.

1 - PhD Student of Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran *(Corresponding Author)
2- Assistance Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3 - Assistance Professor, Department of Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم به موضوع مهمی در مجامع علمی سراسر دنیا تبدیل شده است (۱). مقدار و شدت بارندگی، افزایش دما، خشکسالی و انواع دیگر مخاطرات آب و هوایی مورد انتظار، بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد (۲). معتبرترین ابزار، جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغییرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جوی-اقیانوسی (GCM[1]) می‌باشد (۳). امروزه استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری مانند LARS-WG برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف جهان معمول است (۴). برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی نیز می‌توان از مدل‌های گیاهی استفاده کرد (۵). با تولید داده‌های روزانه سال‌های آینده می‌توان خروجی مدل‌های ریزمقیاس‌کننده را به عنوان ورودی مدل‌های گیاهی لحاظ و میزان عملکرد گیاهان زراعی را تحت تغییرات اقلیمی دهه‌های آتی برآورد کرد (۶). یکی از کامل‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی، مدل DSSAT یا نظام پشتیبانی از تصمیم برای انتقال فن‌آوری کشاورزی است (۷). SUBSTOR-Potato زیر مدلی تخصصی برای سیب زمینی است، که برای شبیه‌سازی رشد و نمو و تخمین عملکرد سیب زمینی در شرایط مختلف استفاده می‌شود (۸). استاستنا و همکاران (۲۰۱۰) پژوهشی را برای ارزیابی مدل SUBSTOR- Potato و کاربرد آن در مدیریت رشد سیب زمینی در کشور چک انجام دادند. در مطالعه آن‌ها عملکرد غده به عنوان صفت اصلی براساس داده-های مربوط به نه سال (۱۹۹۴- ۲۰۰۲) برای ارزیابی مدل استفاده شد. براساس نتایج حاصل، عملکرد غده شبیه‌سازی شده توسط مدل، ارتباط تنگاتنگی با داده‌های مشاهده‌ای در مزرعه داشت (R^2=۰,۹۷). طایی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۶) اثر تغییر اقلیم را بر فنولوژی و عملکرد گیاه سیب زمینی در منطقه مشهد با استفاده از مدل زراعی SUBSTOR و دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3 و IPCM4) تحت سه سناریوی تغییر اقلیم (A1B و A2 و B1) شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که با گذشت زمان و افزایش CO_2، بیوماس و شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد. همچنین به دلیل افزایش دمای حداقل و حداکثر، عملکرد نسبت به دوره پایه بطور تدریجی کاهش می‌یابد. از آنجایی که مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه توان پیش‌بینی عملکرد گیاه و وضعیت رطوبتی خاک را در شرایط مختلف مدیریتی دارند، سبب صرفه‌جویی در وقت و هزینه شده و ابزار مناسبی جهت مدیریت آبیاری در مزرعه می‌باشند (۷). هدف از این پژوهش بررسی شبیه‌سازی عملکرد غده و کارایی مصرف آب ارقام سیب زمینی تحت مدیریت‌های کم آبیاری در شرایط تغییر اقلیمی آینده در اردبیل به عنوان قطب تولید سیب زمینی در کشور بود.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه تحقیق و داده‌ها

جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر محصول سیب زمینی، ایستگاه اردبیل به عنوان منطقه‌ای با آمار هواشناسی ۳۰ ساله و سابقه طولانی کشت سیب زمینی در منطقه انتخاب گردید. مشخصات ایستگاه یاد شده شامل طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۳۵ متر از سطح دریا می‌باشد. اندازه‌گیری‌های میدانی، در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل در سال‌های ۹۴ و ۹۵ انجام شد.

۲-۲- شبیه‌سازی اقلیم آینده توسط مدل LARS-WG5

جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 از مدل LARS-WG استفاده شد. بر این اساس برای اجرای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۲۰۱۶- ۱۹۸۸ به عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز مدل، شامل مقادیر روزانه دمای حداقل و حداکثر، بارش و ساعت آفتابی ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل پردازش و مرتب‌سازی شد و فایل-های ورودی مدل برای دوره پایه تهیه شد و مرحله واسنجی انجام شد. شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی برای سه دوره آماری

1- General circulation model

۲۰۱۱-۲۰۴۰،۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی A1B انجام شد.

۳-۲- آزمایش مزرعه‌ای

به منظور واسنجی و اعتباردهی مدل رشد، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات (پلات‌هایی به مساحت ۶ × ۵/ ۴ متر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی همراه با سه تیمار آبیاری، کامل به عنوان تیمار شاهد (FI) (تأمین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گیاه با حجم آب مصرفی ۱۰۹۵۰ متر مکعب در هکتار)، آبیاری گیاه به میزان ۱۵ درصد کمتر از تیمار شاهد (LI1) و آبیاری گیاه به میزان ۳۰ درصد کمتر از تیمار شاهد (LI2) (آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای) با پنج رقم سیب زمینی (آگریا (عرف منطقه)، کایزر، ساوالان و کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ و سه تکرار در دو سال زراعی ۹۴ و ۹۵ انجام پذیرفت. اطلاعات مورد نیاز مدل در بخش خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Soil characteristics of experimental farm

عمق آزمایش	بافت خاک	ظرفیت مزرعه‌ای	نقطه پژمردگی	چگالی ظاهری	E.C (ds/m)	pH	O.C (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
۰-۱۵	لوم رسی	۳۰	۱۵	۱/۴	۰/۵۵۷	۷/۹۲	۰/۸۲	۰/۲۳	۲۱	۱۸۸

۴-۲- مدل شبیه سازی زراعی DSSAT

به منظور شبیه‌سازی پارامترهای مختلف رشد و نمو سیب زمینی، از مدل SUBSTOR-Potato که یکی از مدل‌های تعبیه شده در نرم‌افزار DSSAT۱ می‌باشد، استفاده گردید (۳). در این مدل، ارقام مختلف سیب زمینی دارای واکنش‌های متفاوتی به تغییرات فاکتورهای محیطی هستند و براساس ضرایب ژنتیکی[۲] که به عنوان یکی از ورودی‌های مدل می‌باشد، تنظیم می‌شوند (۳ و ۷).

۵-۲- واسنجی و اعتبارسنجی مدل زراعی

بدین منظور ضرایب گیاهی تا دستیابی به بیشترین انطباق بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده پارامترهای گیاهی با هدف حداقل نمودن خطای شبیه‌سازی براساس پارامترهای واسنجی تغییر داده شد. این ضرایب شامل ضریب G2، G3، P2، PD و TC بودند (جدول ۲). پس از واسنجی مدل با استفاده از داده‌های سال ۹۴، اعتبارسنجی مدل به منظور اثبات کارایی آن در شبیه‌سازی توسط داده‌های سال ۹۵ انجام شد. در این بررسی ارزیابی به منظور مقایسه مقادیر عملکرد تر غده و کارایی مصرف آب صورت گرفت. در این پژوهش برای ارزیابی مدل، از ریشه میانگین مربعات خطای نرمال[۳]، ریشه دوم میانگین مربعات خطا[۴]، شاخص توافق ویلموت[۵] و ضریب تبیین[۶] (R^2) استفاده شد، که جزئیات آن‌ها در مقاله لی لی و همکاران (۲۰۱۸) موجود است. با اجرای مدل نتایج خروجی برای هر سال و تحت سناریوی A1B، برای صفات عملکرد غده و کارایی مصرف آب در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری ثبت شد.

نتایج و بحث

۱-۳- ریزمقیاس نمایی داده‌های شبیه‌سازی شده در دوره آتی

با استفاده از محاسبه ضریب تبیین و شاخص‌های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا و خطای نرمال شده، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده با استفاده از مدل LARS-WG5

1- Decision Support System for Agrotechnology Transfer
2- Genetic Coffiocients

3- Normalize Root Mean Square Error
4- Root Mean Square Error
5- The Index of agreement Proposed by Willmott
6- Coefficient of determination

و داده‌های مشاهده شده موجود در دوره پایه شد که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی به دست آمده از ارقام سیب زمینی مورد بررسی در مدل DSSAT

Table 2. Genetic coefficients obtained from potato cultivars studied in DSSAT model

پارامترهای مدل	شرح	رقم‌ها				
		۱-۸۱	کایزر	آگریا	۱۰-۸۲	ساوالان
PD	شاخص رشد غده در طی دوره‌ی رشد گیاهی	۰/۷	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۴
P2	حساسیت آغاز غده‌دهی به فتوپریود	۰/۶	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۵
TC	حساسیت رشد گیاه و شروع غده‌زایی به دمای هوا	۱۹	۱۸	۱۸	۲۰	۱۹
G2	سرعت گسترش سطح برگ بعد از آغازش غده d	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۱۶۰۰	۲۰۰۰	۱۹۰۰
G3	پتانسیل سرعت رشد غده (g/m^2 d)	۱۶	۱۴	۱۴	۱۵	۱۵

جدول ۳- ارزیابی مدل اقلیمی HadCM3 در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی بر مبنای دوره پایه (۱۹۸۸-۲۰۱۶) با استفاده از شاخص‌های آماری

Table 3. Evaluation of HadCM3 climate model in simulation of meteorological parameters on base period (1988-2016) using statistical indices

مدل اقلیمی HadCM3	RMSE	NRMSE	R^2	P(t)
دمای حداقل	۰/۱۹	۵/۸۰	۰/۹۹	۰/۴۴
دمای حداکثر	۰/۲۱	۱/۳۷	۰/۹۹	۰/۵۲
بارش	۲/۰۹	۸/۱۳	۰/۹۷	۰/۵۵

ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌ها برای دمای حداقل و حداکثر ماهانه و بارش براساس داده‌های روزانه دوره پایه ۲۰۱۶-۱۹۸۸ انجام گرفت (جدول ۳). دمای حداقل و حداکثر پیش‌بینی شده توسط مدل تطابق خوبی با داده‌های مشاهده شده داشت. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای اعتبارسنجی مدل HadCM3 برای پارامتر دمای حداقل کمترین مقدار (۰/۱۹)، مقادیر NRMSE (٪) برای پیش‌بینی دمای حداکثر با کمترین درصد (۱/۳۷) محاسبه گردید. که البته نتایج پیش‌بینی سایر پارامترها با توجه به ضریب تبیین و نتایج آزمون (t) در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بیانگر دقت و اطمینان مدل در پیش‌بینی در حد مطلوب می‌باشد. در تمام پارامترهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری بین شبیه‌سازی مدل با داده‌های مشاهده شده وجود ندارد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی پیش‌بینی مدل HadCM3 نشان داد که استفاده از داده‌های پیش‌بینی شده برای شبیه‌سازی عملکرد سیب زمینی در دوره آینده قابل اعتماد می‌باشد. سی‌محمدی و همکاران (۲۰۱۷) براساس دوره پایه ۲۰۰۱-۱۹۹۱ دریافتند که دمای حداقل و حداکثر پیش‌بینی شده توسط مدل HadCM3 تطابق خوبی با داده‌های مشاهده شده داشت و مقادیر RMSE در مرحله اعتبارسنجی در محدوده ۱/۲۳ – ۰/۸۳ قرار گرفت. در این پژوهش، ابتدا وضعیت تغییر اقلیم در منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس اثر آن بر رشد و نیاز آبی گیاه سیب زمینی بررسی شد (جدول ۴). میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دماهای روزانه در تمام ماه‌های سال افزایش داشت (جدول ۴). البته افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از دیگر ماه‌های سال و همچنین دمای حداقل بیشتر از دمای حداکثر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که در دوره آماری (۲۱۰۰-۲۰۱۱) افزایش دمای حداقل نسبت به دوره مشاهداتی

(۲۰۱۶-۱۹۸۸) براساس سناریوی A1B، ۲/۳۶ درجه سلسیوس پیش‌بینی شده است. همچنین در این دوره دمای حداکثر نسبت به دوره مشاهداتی، ۲/۱۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. میانگین مجموع بارش در طول فصل رویش در دوره آتی، ۲/۸۳ میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. در مجموع از دوره اول (۲۰۴۰-۲۰۱۱) تا دوره سوم (۲۱۰۰-۲۰۷۱) روند تغییرات دمای حداقل و حداکثر نسبت به دوره پایه افزایشی خواهد بود. همچنین مجموع بارندگی در دوره ۲۰۴۰ تا ۲۱۰۰ نیز با کاهش روبرو خواهد شد. در ایران براساس نتایج طرح آشکارسازی تغییر اقلیم، در بیشتر ایستگاه‌ها روند افزایش درجه حرارت مشاهده شده است (۱۳).

جدول ۴- تغییرات داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی براساس مدل HadCM3 و سناریوی A1B در طی فصل رشد سیب زمینی در ایستگاه اردبیل

Table 4. Simulated and observed monthly mean changes of meteorological parameters based on HadCM3 model and A1B scenario during potato growing season at Ardabil station

پارامترها	سال	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	میانگین
حداقل	۲۰۱۶-۱۹۸۸	۶/۲۱	۹/۳۱	۱۱/۹۳	۱۱/۹۲	۹/۴۱	۹/۷۶
	۲۰۴۰-۲۰۱۱	۷/۱۳	۱۰/۱۲	۱۳/۰۴	۱۲/۸۰	۹/۵۰	۱۰/۵۲
	۲۰۷۰-۲۰۴۱	۸/۶۱	۱۱/۷۰	۱۴/۸۷	۱۴/۶۹	۱۰/۹۶	۱۲/۱۷
	۲۱۰۰-۲۰۷۱	۱۰/۰۱	۱۳/۳۲	۱۶/۵۷	۱۶/۲۷	۱۲/۲۹	۱۳/۶۹
حداکثر	۲۰۱۶-۱۹۸۸	۱۹/۹۲	۲۳/۹۹	۲۵/۰۳	۲۵/۶۵	۲۲/۹۵	۲۳/۵۱
	۲۰۴۰-۲۰۱۱	۲۰/۷۷	۲۴/۶۲	۲۶/۰۲	۲۵/۹۷	۲۳/۹۱	۲۴/۰۶
	۲۰۷۰-۲۰۴۱	۲۲/۳۶	۲۶/۱۹	۲۷/۷۵	۲۷/۷۳	۲۴/۳۶	۲۵/۷۳
	۲۱۰۰-۲۰۷۱	۲۳/۶۸	۲۷/۷۴	۲۹/۳۹	۲۹/۳۴	۲۵/۷۰	۲۷/۱۷
بارش	۲۰۱۶-۱۹۸۸	۳۹/۰۶	۱۷/۷۱	۷/۴۲	۶/۵۷	۹/۶۹	۱۶/۰۹
	۲۰۴۰-۲۰۱۱	۳۷/۱۵	۱۹/۶۵	۶/۶۸	۴/۸۶	۹/۰۰	۱۵/۴۷
	۲۰۷۰-۲۰۴۱	۳۳/۵۲	۱۶/۵۷	۴/۸۶	۳/۲۵	۷/۸۱	۱۳/۲۰
	۲۱۰۰-۲۰۷۱	۲۹/۱۱	۱۲/۸۷	۳/۵۷	۲/۵۸	۷/۴۰	۱۱/۱۱

۲-۳- واسنجی و ارزیابی مدل SUBSTOR-Potato

برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه از شاخص‌های آماری نظیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده بر حسب درصد (NRMSE)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین (R^2) برای ارزیابی مدل استفاده شد (جدول ۵ و ۶).

جدول ۵- مقادیر تغییرات عملکرد غده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در طول دوره رشد و مقادیر شاخص‌های آماری طی فرایند واسنجی مدل

Table 5. Values of simulated and measured tuber yield changes during growth and values of different statistical indices during model calibration process

تیمارهای آزمایشی	میانگین مشاهده شده	میانگین شبیه سازی	RMSE (ton/ha)	NRMSE (%)	d	R^2
FI	۳۲/۲	۲۶/۴۸	۵/۷۳	۷/۸۳	۰/۹۵	۰/۹۹
LI1	۲۸/۱۶	۲۳/۱۲	۶/۴	۱۰/۱۰	۰/۹۴	۰/۹۹
LI2	۲۴/۱۶	۱۹/۵۴	۴/۸۴	۱۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۹

بررسی مقادیر جدول نشان می‌دهد که برای عملکرد و کارایی مصرف آب، بهترین نتایج مربوط به تیمار آبیاری کامل (FI) است، به‌طوری‌که در این تیمار شاخص NRMSE برای عملکرد غده و کارایی مصرف آب، کمترین مقدار و به ترتیب ۷/۸۳ و ۱/۱۳ درصد به‌دست آمد. همچنین شاخص سازگاری مدل برای این تیمار مقادیر ۰/۹۵ و ۰/۹۹ محاسبه شد که نسبت به تیمارهای دیگر بیشتر است. بررسی نتایج این بخش نشان می‌دهد که با افزایش تنش آبی اختلاف بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده زیادتر شده به‌طوری که در تیمار کم آبیاری LI2، مقادیر NRMSE و d برای عملکرد غده شبیه‌سازی شده به ترتیب ۱۰/۹۴ درصد و ۰/۹۱ و برای کارایی مصرف آب، ۱/۶۰ درصد و ۰/۹۸ بیشتر از مقدار شاهد به‌دست آمد. این نتایج با نتایج (۹ و ۱۰) نیز مطابقت دارد. بر این اساس شاخص سازگاری (d) در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری به یک نزدیک بوده و مدل شبیه‌سازی خوبی داشته است.

جدول ۶- مقادیر تغییرات کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در طول دوره رشد و مقادیر شاخص‌های آماری طی فرایند واسنجی مدل

Table 6. Values of simulated and measured water use efficiency changes during growth and values of different statistical indices during model calibration process

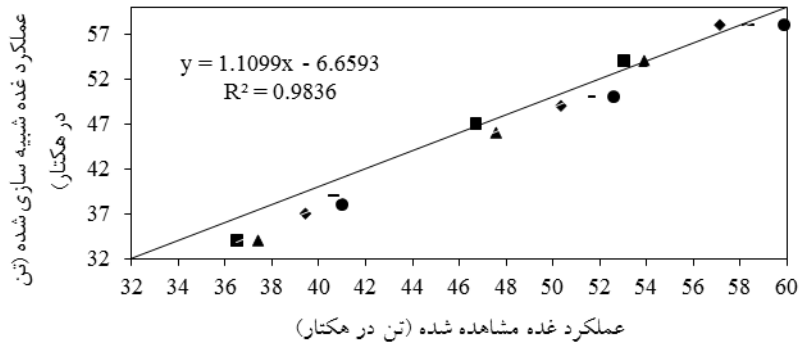
تیمارهای آزمایشی	میانگین مشاهده شده	میانگین شبیه سازی	RMSE (ton/ha)	NRMSE (%)	d	R^2
FI	۵/۳۵	۵/۴۷	۰/۰۳	۱/۱۳	۰/۹۹	۰/۹۹
LI1	۵/۳۹	۵/۴۵	۰/۰۳	۱/۱۳	۰/۹۸	۰/۹۹
LI2	۵/۰۸	۵/۱۴	۰/۰۴	۱/۶۰	۰/۹۸	۰/۹۸

مقایسه ضریب R^2 در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که مقدار این ضریب برای تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری از ۰/۹۸ تا ۰/۹۹ نوسان دارد و از آنجا که هر چه مقدار این ضریب به یک نزدیکتر باشد، دقت شبیه‌سازی بیشتر است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل قادر است با دقت بالایی هر دو صفت را تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری شبیه‌سازی کند. آرورا و همکاران (۲۰۱۳) و مالکیا و همکاران (۲۰۱۶) نیز کارایی بالای مدل SUBSTOR-Potato را در شبیه‌سازی رشد سیب زمینی به ترتیب برای شرایط آب و هوایی کشورهای پاکستان و الجزایر بیان داشتند. اداوی و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی مدل SUBSTOR-POTATO در شبیه‌سازی رشد، عملکرد سیب زمینی تحت شرایط مدیریت‌های مختلف تخصیص آب

مزرعه در منطقه اصفهان، نتیجه گرفتند که مدل توانایی بالایی در شبیه‌سازی رشد و نمو برای تغییر شرایط آب و هوایی دارد.

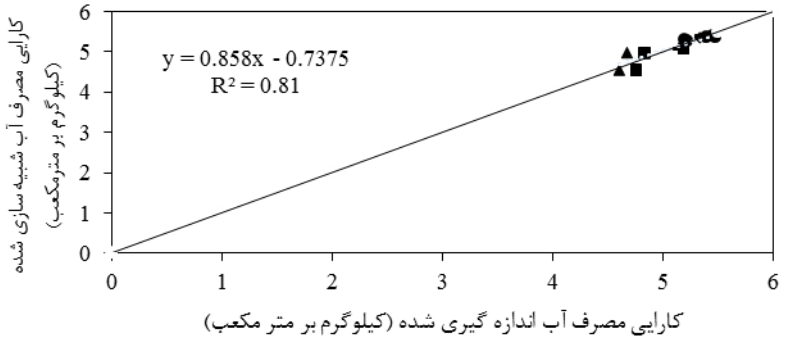
۳-۳- اعتبارسنجی مدل SUBSTOR-Potato

برای بررسی توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد غده و کارایی مصرف آب پس از واسنجی مدل، از اطلاعات سال ۹۵ برای صحت‌سنجی استفاده شد. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده صفات براساس خط ۱:۱ نیز در شکل (۱ و ۲) نشان داده شده است.



شکل ۱- اعتبارسنجی مدل برای عملکرد غده شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با استفاده از مدل SUBSTOR-Potato

Figure 1. Model validation for simulated tuber yield and observed using the SUBSTOR-Potato model



شکل ۲- اعتبارسنجی مدل برای کارایی مصرف آب غده شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با استفاده از مدل SUBSTOR-Potato

Figure 2. Model validation for simulated tuber water use efficiency and observed using the SUBSTOR-Potato model

باتوجه به ضریب تبیین بالا در هر دو صفت (۰/۹۸ و ۰/۸۱) به ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که رابطه قابل قبول و معنی‌داری بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد (۹).

۴-۳- اثر تغییر اقلیم بر عملکرد غده سیب زمینی

نتایج شبیه‌سازی براساس سناریوهای تغییر اقلیم، نشان داد که عملکرد غده در گیاه سیب زمینی تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت (جدول ۷). به‌طوری که عملکرد غده بدون در نظر گرفتن اثر تیمارهای مورد آزمایش، در دوره‌های مورد ارزیابی (۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱)، نسبت به شرایط کنونی افزایش نشان داد. میزان افزایش عملکرد غده در شرایط اقلیمی آینده نسبت به سال مبنا (۲۰۱۶-۱۹۸۸) بین ۳/۸۱ تا ۴۰/۰۵ درصد متغیر خواهد بود (جدول ۷). چرا که بین درجه حرارت‌های بالا و غلظت‌های بالای CO_2 یک برهمکنش وجود دارد. به‌طوری که در درجه حرارت‌های بالا، افزایش غلظت CO_2، تولید را بیشتر از دماهای معمول افزایش

می‌دهد (۱۶). دلیل این امر برهمکنش مثبت CO_2 و دما در فتوسنتز است. داکاچه و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تغییرات اقلیمی تا سال ۲۰۵۰ بر عملکرد سیب زمینی در انگلستان گزارش کردند که عملکرد غده در مناطق مختلف از ۲/۹ تا ۶/۲ درصد نسبت به سال مبنا افزایش خواهد یافت. همان‌طور که در جدول (۴) نشان داده شده است، دوره‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۷۰ از افزایش دمای کمتری نسبت به دوره ۲۱۰۰ برخوردار خواهند بود. این موضوع سبب افزایش عملکرد غده سیب زمینی خواهد شد (۶). اداوی و همکاران (۲۰۱۸) نیز در دوره ۲۰۹۰ کمترین عملکرد غده سیب زمینی را برای مدل HadCM3 برای شرایط اقلیمی در منطقه فریدون‌شهر پیش‌بینی کردند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار عملکرد غده در دوره پایه (۲۰۱۶) و سطوح کم آبیاری و در ارقام ساوالان و کلون-های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۸۲ کمترین درصد کاهش (۲۱/۰۵، ۱۴/۲۸ و ۲۳/۶۸ درصد) را نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) داشته‌اند. همین ارقام در دوره‌های آتی (به‌ویژه دوره ۲۰۴۰) نیز کمترین درصد کاهش عملکرد غده را در تیمارهای کم آبیاری نسبت به تیمار شاهد به ترتیب با (۲/۷۵، ۳/۰۳ و ۵/۵۵ درصد) کاهش خواهند داشت. با افزایش درجه حرارت در محدوده معین، در شرایطی که طول فصل زراعی زیاد بوده و امکان افزایش طول دوره رشد سیب زمینی فراهم باشد، می‌تواند به افزایش عملکرد غده نیز بیانجامد (۱۵ و ۱۷). بنابراین به‌نظر می‌رسد کشت ارقام ۱۰-۳۹۷۰۸۲ و ۱-۳۹۷۰۸۱ و ساوالان با طول دوره رشد بیشتر باعث عدم انطباق دوره گلدهی با دمای حداکثر در منطقه و به عبارتی فرار گیاه از مواجه شدن دوره گلدهی با اوج دمایی شده که می‌تواند در کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم سودمند باشد. محدوده بیشترین کاهش عملکرد در کم آبیاری ۳۰ درصد و ارقام آگریا و کایزر با ۱۴/۱۷ و ۱۲/۲۳ تن در هکتار در دوره ۲۱۰۰ اتفاق خواهد افتاد. آرورا و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که پاسخ گیاه به کمبود آب یا تنش آبی به گونه و یا رقم گیاهی، طول و مدت تنش خشکی، سن گیاه و مرحله نمو آن بستگی دارد. بنابراین عدم برخورد مراحل رشد سیب زمینی به دوره‌های خشکی و تنش و نیز دمای بالای هوا که از طریق اعمال مدیریت صحیح تاریخ کاشت، مدیریت آبیاری و تغذیه گیاه امکان‌پذیر است، از کاهش عملکرد جلوگیری خواهد نمود که با نتایج مالکیا و همکاران (۲۰۱۶) نیز مطابقت دارد.

جدول ۷- اثر تغییر اقلیم بر عملکرد غده سیب زمینی با استفاده از مدل HadCM3 و سناریوی A1B و مدل DSSAT تحت رژیم آبیاری

Table 7. The effect of climate change on potato tuber yield using HadCM3 model and A1B scenario and DSSAT model under irrigation regime

تیمارها	سال	۱-۳۹۷۰۸۱	کایزر	آگریا	۱۰-۳۹۷۰۸۲	ساوالان
FI	۲۰۱۶	۳۵	۳۸	۳۸	۳۴	۳۵
(LI1)		۳۰	۲۰	۲۳	۲۹	۳۰
(LI2)		۱۸	۱۲	۱۴	۱۷	۱۹
FI	۲۰۴۰	۳۹/۹۲	۳۹/۲۲	۳۹/۴۵	۳۸/۵۷	۳۹/۹۸
(LI1)		۳۴/۵۵	۲۰/۷۴	۲۳/۹۲	۳۳/۱۱	۳۴/۵۲
(LI2)		۲۰/۲۳	۱۲/۳۵	۱۴/۴۳	۱۹/۱۵	۲۱/۵۳
FI	۲۰۷۰	۳۹/۶۱	۳۸/۹۶	۳۸/۹۴	۳۸/۰۸	۳۹/۴۱
(LI1)		۳۴/۳	۲۰/۵۹	۲۳/۶۸	۳۲/۷۷	۳۳/۹۸
(LI2)		۱۹/۹۹	۱۲/۲۴	۱۴/۳۱	۱۸/۷۱	۲۰/۹۵

FI		۳۷/۸	۳۸/۸۱	۳۸/۷۳	۳۶/۵۳	۳۷/۷۶
(LI1)	۲۱۰۰	۳۲/۷۲	۲۰/۵۱	۲۳/۵	۳۱/۵۵	۳۲/۵۵
(LI2)		۱۹/۲۴	۱۲/۲۳	۱۴/۱۷	۱۷/۹۹	۲۰/۱۹
FI: تیمار آبیاری کامل (شاهد)، LI1: تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری و LI2: تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری						

جدول ۸- اثر تغییر اقلیم بر کارایی مصرف آب سیب زمینی با استفاده از مدل HadCM3 و سناریوی A1B و مدل DSSAT تحت رژیم آبیاری

Table 8. Impact of Climate Change on Potato Water Use Efficiency Using HadCM3 Model and A1B Scenario and DSSAT Model Under Irrigation Regime

تیمارها	سال	۱-۳۹۷۰۸۱	کایزر	آگریا	۱۰-۳۹۷۰۸۲	ساوالان
FI		۳/۲۳	۳/۵۰	۳/۵۰	۳/۱۳	۳/۲۳
(LI1)	۲۰۱۶	۳/۲۳	۲/۱۵	۲/۴۸	۳/۱۲	۳/۱۶
(LI2)		۲/۴	۱/۶۰	۱/۸۷	۲/۲۷	۲/۵۴
FI		۳/۶۸	۳/۶۲	۳/۶۴	۳/۴۲	۳/۵۲
(LI1)	۲۰۴۰	۳/۷۲	۲/۲۳	۲/۷۵	۳/۷۷	۳/۹۱
(LI2)		۲/۷۰	۱/۶۵	۲/۳۴	۳/۱۱	۳/۴۰
FI		۳/۶۵	۳/۵۹	۳/۶۵	۳/۶۰	۳/۵۴
(LI1)	۲۰۷۰	۳/۷۰	۲/۲۲	۲/۷۵	۳/۷۷	۳/۹۳
(LI2)		۲/۶۷	۱/۶۳	۲/۳۸	۳/۱۸	۳/۵۳
FI		۳/۴۹	۳/۵۸	۳/۰۴	۳/۱۸	۳/۲۸
(LI1)	۲۱۰۰	۳/۵۲	۲/۲۱	۲/۶۲	۳/۳۰	۳/۴۵
(LI2)		۲/۵۷	۱/۶۳	۲/۰۵	۲/۶۶	۳/۰۰
FI: تیمار آبیاری کامل (شاهد)، LI1: تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری و LI2: تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری						

۵-۳- اثر تغییر اقلیم بر کارایی مصرف آب سیب زمینی

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که، کارایی مصرف آب در دوره‌های آینده (۲۰۴۰ تا ۲۱۰۰) نسبت به دوره مبنا (۲۰۱۶) افزایش خواهد یافت (جدول ۸).

روند تغییرات شبیه‌سازی کارایی مصرف آب در دوره‌های آتی (۲۰۴۰، ۲۰۷۰ و ۲۱۰۰) نیز نسبت به دوره پایه (۲۰۱۶) مشابه بودند و افزایش این صفت در تمامی ارقام ذکر شده از تیمار آبیاری کامل به سمت ۳۰ روز قطع آبیاری کاهش قابل توجهی یافت. درصد افزایش کارایی مصرف آب در ارقام کایزر و آگریا در دوره‌های آتی نسبت به ارقام دیگر در این شرایط کمترین مقدار خواهد بود. بیشترین درصد افزایش کارایی مصرف آب در دوره ۲۰۴۰، کلون ۱-۳۹۷۰۸۱ و رقم ساوالان به ترتیب با ۱۵/۱۶ و ۱۵/۰۶ درصد افزایش در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری نسبت به شاهد به‌دست آمد. این مسئله نشان می‌دهد که هر چه عملکرد رقمی در شرایط کم آبیاری بالاتر باشد، کارایی مصرف آب بیشتری را نیز نشان خواهد داد (۸). با توجه به این‌که کارایی مصرف آب عبارتست از نسبت عملکرد محصول به تبخیر و تعرق انجام شده (۲۰)، بنابراین، دلیل افزایش کارایی مصرف آب همراه با بالا رفتن دما، می‌تواند افزایش عملکرد باشد. به‌طوری که مقایسه دوره‌ها با یکدیگر نشان می‌دهد، در دوره ۲۱۰۰ نسبت به دوره ۲۰۴۰ و ۲۰۷۰ در اغلب تیمارها، کاهش عملکرد دیده می‌شود و در نتیجه آن

کارایی مصرف آب کمتری در آن تیمارها مشاهده می‌شود. بیشترین افزایش کارایی مصرف آب در تمامی ارقام در دوره آتی ۲۰۴۰ و بعد از آن به ترتیب در دوره های ۲۰۷۰ و ۲۱۰۰ دیده خواهد شد. این امر می‌تواند در اثر تغییر تاریخ بارش‌ها یا تغییراتی باشد که در دمای دوره آتی به وجود خواهد آمد. در شرایطی که محدودیت مصرف آب وجود دارد، از نظر افزایش عملکرد در واحد حجم آب مصرفی، ارقام ساوالان، ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ با عمق آب کاربردی ۹۲۷ میلی‌متر در طی فصل کاشت، بهینه‌ترین ارقام در سیستم کم آبیاری در منطقه اردبیل خواهند بود. این نتایج نشان می‌دهد در اثر افزایش دی-اکسید کربن به ازای مصرف هر واحد آب، عملکرد بیشتری نسبت به شرایط فعلی تولید می‌شود که به‌نظر می‌رسد دلیل آن کاهش هدایت روزنه‌ای متأثر از افزایش غلظت دی‌اکسید کربن محیط (۱۹) و در نتیجه کاهش تعرق از گیاه باشد. داهال و همکاران (۲۰۱۹) بین میزان دی‌اکسید کربن جو و تنش آبی همبستگی معنی‌داری در رابطه با تأثیر بر عملکرد سیب زمینی مشاهده کرده‌اند، به‌طوری‌که در شرایط بدون تنش آب، افزایش دی‌اکسید کربن سبب افزایش ۱۰ درصدی و در شرایط تنش آب سبب افزایش ۲۰ درصد عملکرد گردید. در چنین شرایطی افزایش میزان تولید ماده خشک همراه با کاهش میزان تبخیر و تعرق روزنه‌های گیاه، سبب افزایش کارایی مصرف آب در سیب زمینی می‌شود (۲۰). افزایش کارایی مصرف آب از دیدگاه ارزیابی کارایی بوم نظام‌های کشت سیب زمینی در اردبیل، از مزایای تغییر اقلیم در آینده محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج به‌دست آمده، بیشترین مقدار عملکرد غده و کارایی مصرف آب برای تیمارهای آبیاری FI و LI1 مربوط به دوره‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۷۰ در رقم‌های ساوالان، ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ توسط مدل شبیه‌سازی شد. یکی از راهکارهای مقابله با اثرات سوء تغییر اقلیم در آینده، استفاده از ارقام مختلف گیاهی با توجه به ویژگی‌های رشدی متفاوت از جمله تفاوت در طول ظهور مراحل فنولوژیک یا مقاومت بالا به درجه حرارت‌های بالا می‌باشد، که پاسخ‌های متفاوتی به شرایط اقلیمی آینده می‌دهند. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، درصد کاهش کمتر عملکرد در تیمارهای کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل، در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه مؤید امکان جایگزینی تیمار کم آبیاری (LI1) به جای تیمار آبیاری کامل (FI) می‌باشد. در نتیجه تیمار آبیاری به میزان ۱۵ درصد کمتر از آبیاری کامل (LI1)، جهت آبیاری مزارع سیب زمینی با توجه به اهمیت حفظ و صرفه‌جویی منابع آب در دوره‌هایی آتی با تغییر اقلیم توصیه می‌گردد.

Reference

1. Luo, X., Xia, J., Yang, H., 2015. Modeling water requirements of major crops and their responses to climate change in the North China Plain. Environmental Earth Science, Vol. 74, pp. 3531-3541.
2. Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B.A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomson, A.M., Wolfe, D., 2011. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. Agronomy Journal, Vol. 103, pp. 351-370.
3. Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., 2003. Ritchie. The DSSAT cropping system model. Europian Journal Agronomy, Vol. 18, pp. 235- 265.
4. Mehan, S., Guo, T., Gitau, M.V., Flanagan, D.C., 2017. Comparative study of different stochastic weather generators for long-term climate data simulation. Journal Climate, Vol. 5, pp. 1-40.
5. Araya, A., Kisekka, I., Lin, X., Vara Prasad, P.V., Gowda, P.H., Rice, C., Andales, A., 2017. Evaluating the impact of future climate change on irrigated maize production in Kansas.

Climate Risk Management. Vol. 17, pp. 139–154.

6. Daccache, A., Weatherhead, E.K., Stalham, M.A., Knox, J.W., 2011. Impacts of climate change on irrigated potato production in a humid climate. Agriculture and Forest Meteology. Vol. 151, pp. 1641-1653.
7. Hoogenboom, G.J., Jones, W., Wilkens, P.W., Porter, C.H., Boote, K.J., Hunt, L.A., Singh, U., Lizaso, G.L., White, J.W., Uryasev, O., Royce, F.S., Ogoshi, R., Gijsman, A.J., Tsuji, G.Y., 2010. Decision support system for agro-technology transfer (DSSAT), university of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.
8. Raymundo, R., Asseng, S., Robertson, R., Petsakos, A., Hoogenboom, G., Quiroz, R., Hareau, G., Wolf, j., 2018. Climate change impact on global potato production. European Journal Agronomy, Vol. 100, pp. 87-98.
9. Stastna, M., Toman, F., Dufkova, J., 2010. Usage of SUBSTOR model in potato yield prediction. Agriculture Water Management, Vol. 2, pp. 286-290.
10. Taei Semiromi, J., Amiri, E., Aeen, A., Borumand, N., Jowkar, M., 2017. Evaluation of DSSAT model for potential yield prediction of potato (*Solanum tuberosum*) under autumn cropping system (Case study: Jiroft, Iran). Journal Agriculture Crops Production, Vol. 19, pp. 893-905. (In Persian)
11. Li-li, ZH., Shu-hua, L., Zhi-min, W., Pu, W., Ying-hua, Zh., Hai-Jun, Y., Zhen, G., Si, Sh., Xiao, L., Jia-hui, W., Shun-li, Zh., 2018. A simulation of winter wheat crop responses to irrigation management using CERES-Wheat model in the North China Plain. Journal Integrative Agriculture. Vol. 17, pp. 1181-1193.
12. Saymohammadi, S., Zarafshani, K., Tvakoli, M., Mahdizadeh, H., Amiri, F., 2017. Prediction of climate change induced temperature & precipitation: the case of Iran. Sustainable Journal, Vol. 9, pp. 1-13.
13. Ababaei, B., Sohrabi, T., and Mirzaei, F., 2014. Development and application of a planning support system to assess strategies related to land and water resources for adaptation to climate change. Climate Risk Management, Vol. 6, pp. 39-50.
14. Arora, V.K., Nath, J.C., Singh, C.B., 2013. Analyzing potato response to irrigation and nitrogen regimes in a sub-tropical environment using SUBSTOR-Potato model. Agric. Water Management. Vol. 124, pp. 69-76.
15. Malkia, R., Hartani, T., Dechmi, F., 2016. Evaluation of DSSAT model for sprinkler irrigated potato: A case study of Northeast Algeria. African Journal Agriculture Research, Vol. 11, pp. 2589-2598.
16. Adavi, Z., Moradi, R., Saeidnejad, A.H., Tadayon, M.R., Mansouri, H., 2018. Assessment of potato response to climate change and adaptation strategies. Scientia Horticulture. Vol. 228, pp. 91-102.
17. Haverkort, A. J., Franke, A.C., Engelbrecht, F.A., Steyn, J.m., 2013. Climate change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems 1. Effects on land and water use efficiencies. Potato Research. Vol. 56, pp. 31-50.

18. IPCC. 2007. (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers. Cambridge University Press, Cambridge.

19. Dahal, K., Li, X.Q., Tai, H., Creelman, A., Bizimungu, B., 2019. Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario – A current overview. Fronti in Plant Science. Vol. 10, pp. 1-16.