



به‌زراعی کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۶

صفحه‌های ۹۰۵-۸۹۳

ارزیابی کارایی مدل DSSAT برای تخمین عملکرد بالقوه سیب‌زمینی در نظام زراعی کشت پاییزه (مطالعه موردی: منطقه جیرفت)

جواد طایب سمیرمی^{۱*}، ابراهیم امیری^۲، احمد آیین^۳، ناصر برومند^۴، مهرانگیز جوکار^۵

۱. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات و عضو پژوهشکده باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
۲. دانشیار، گروه آبیاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران
۳. استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران
۴. استادیار، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
۵. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۳

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهی یکی از پیشرفته‌ترین ابزارهایی است که امروزه به‌منظور تخمین عملکرد و بهینه کردن عملیات زراعی استفاده می‌شوند. این پژوهش به‌منظور ارزیابی کارایی مدل DSSAT در شرایط کشت پاییزه سیب‌زمینی در منطقه جیرفت در سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۳ به‌صورت دوساله اجرا شد. آزمایش مزرعه به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی تاریخ کاشت (۲۶ شهریور، ۱ مهر، ۷ مهر، ۱۳ مهر) و فاکتور فرعی ارقام سیب‌زمینی (سانته، ساتینا و بورن) بود. داده‌های سال نخست و دوم این آزمایش به‌ترتیب برای واسنجی و ارزیابی مدل استفاده شد. پایگاه داده‌های مورد نیاز مدل عبارت بودند از: ۱. داده‌های اقلیمی مربوط به دما، تشعشع، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارش؛ ۲. داده‌های گیاه زراعی حاصل از آزمایش مزرعه؛ ۳. داده‌های خاک. نتایج ارزیابی نشان داد عملکرد شبیه‌سازی شده، برازش خوبی با مقادیر مشاهده شده دارد ($R^2 > 0.90$, $pvalue < 0.05$). مقدار جذر میانگین مربعات خطا معادل ۱۹ درصد یا ۱۲۱۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد غده بود که از لحاظ آماری قابل قبول است. زیست‌توده شبیه‌سازی شده با اختلاف ۲۶۷۳/۵ کیلوگرم در هکتار و دقت پایین برآورد شد ($RMSE > 30$). برآورد مدل برای تخمین زمان غده‌زایی نیز قابل قبول نبود. به‌طورکلی، نتایج نشان داد هر چند این مدل عملکرد غده را پیش‌بینی کرده است، اما به دلیل دقت کم در تخمین مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی اعتبار کافی برای شرایط کشت پاییزه سیب‌زمینی را ندارد.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی، فنولوژی، مدل، نظام کشت پاییزه، SUBSTOR Potato

۱. مقدمه

با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی و محدودیت منابع موجود، نیاز به اطلاعات برای تصمیم‌گیری در تمام سطوح کشاورزی به سرعت در حال افزایش است [۳۲ و ۳۳]. آزمایش‌های مرسوم زراعی اغلب منحصر به مکان و یا زمان مشخصی هستند و با استفاده از آنها نمی‌توان تأثیر تغییرات محیطی و اقلیمی را بر عملکرد یا فنولوژی گیاه بررسی کرد [۳۰، ۷، ۳۴]. امروزه با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی امکان برآورد قابل قبول عملکرد در نظام‌های زراعی مختلف میسر شده [۶، ۲۷، ۳۲ و ۳۴]. در نظام‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری^۱ (DSS) نیز استفاده شده است [۲۵ و ۲۰]. این مدل‌ها قادرند از طریق اطلاعاتی که از آزمایش‌های انجام شده در ناحیه‌ای دریافت می‌کنند، اطلاعات قابل اعتمادی را برای مکان‌های دیگر با آب و هوا و شرایط خاک متفاوت شبیه‌سازی کرده و در اختیار ما قرار دهند [۶ و ۱۹].

یکی از کامل‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی، مدل^۲ DSSAT یا «نظام پشتیبانی از تصمیم برای انتقال فن آوری کشاورزی» است. این مدل در ابتدا توسط گروهی از دانشمندان بین‌المللی تدوین شد که توسط آن اجرای مدل‌های مختلف شبیه‌سازی گیاهان زراعی به صورت نظام‌مند امکان‌پذیر شد [۲۹]. توسعه مقدماتی این شیوه با تکیه بر این ایده ایجاد شد که باید معلومات موجود درباره خاک، آب و هوا، گیاهان زراعی و مدیریت را تلفیق کرد تا بتوان در انتقال فن آوری تولید از مکانی به مکان دیگر با شرایط خاک و اقلیم متفاوت تصمیم‌های بهتری اتخاذ کرد [۳۰]. پیش از ایجاد DSSAT مدل‌هایی ایجاد شده بودند که منحصر به گیاهان زراعی خاص بودند مانند مدل CERES برای ذرت [۲۵] و مدل

SOYGRO برای سویا [۳۷] و مدل PNTUGRO برای بادام زمینی [۸]. که این مدل‌ها قبل از الحاق به مجموعه نرم‌افزاری DSSAT موفقیت‌های فراوانی را کسب کرده بودند. البته این مدل‌ها از لحاظ فرمت و نوع فایل‌های ورودی مربوط به داده‌های گیاهی، خاک و اقلیم متفاوت بودند و نحوه استفاده و کار با آنها نیز یکسان نبود، بنابراین ایجاد چارچوبی مشترک برای تحلیل سیستم‌های زراعی ضروری بود. به این ترتیب برای یکسان‌سازی در فرمت داده‌های ورودی و مدیریت یکسان مدل‌ها، بسته نرم‌افزاری DSSAT طراحی شد [۱۸، ۱۹، ۳۰ و ۱۷]. در این مدل تقریباً تعداد ۲۸ مدل برای گیاهان مختلف و یک مدل هم برای آیش وجود دارد. SUBSTOR Potato مدلی تخصصی برای سیب زمینی است [۶، ۱۲، ۲۶]، که برای شبیه‌سازی رشد و نمو و تخمین عملکرد سیب زمینی در شرایط متفاوت مدل‌های مختلف استفاده می‌شود [۲۱ و ۱۰]. در مورد سیب‌زمینی مدل‌های دیگری نیز گزارش شده است، مانند: مدل SPASS برای مدل‌سازی زیست توده، جذب نیتروژن و توسعه فنولوژیک [۱۳]، شبیه‌سازی میزان تبادل گاز در گیاه سیب‌زمینی با استفاده از مدل SPUDSIM [۱۲]، تخمین نیاز آبی سیب‌زمینی با استفاده از مدل Aqua Crop [۹]، آنالیز خلاء عملکرد در سیستم‌های تولید سیب‌زمینی در زیمبابوه با استفاده از مدل LINTUL [۲۷].

برخی محققان از مدل SUBSTOR Potato برای شبیه‌سازی رشد و نمو، عملکرد و پیش‌بینی مراحل فنولوژیک در شرایط یا برنامه‌های مدیریتی مختلف استفاده کرده‌اند [۶، ۲۲، ۲۶ و ۲۸]. کارآیی این مدل در شرایط کشور آرژانتین ارزیابی شد و نتایج حاکی از بیش تخمینی این مدل برای شاخص سطح برگ بود، لذا محققان اصلاح ضرایب ژنتیکی دوره پر شدن و رشد غده را پیشنهاد کردند [۲۸]. استاتنا و همکاران پژوهشی را برای ارزیابی مدل SUBSTOR Potato و کاربرد آن در مدیریت رشد

1. Decision support system
2. Decision Support System for Agro technology Transfer

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در جنوب استان کرمان قرار دارد و براساس روش یونسکو [۳۱]، (برپایه رژیم رطوبتی، رژیم دمایی تابستانه و رژیم دمایی زمستانه) دارای اقلیم خشک با زمستان ملایم و تابستان بسیار گرم است [۱۴]. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۶۰۱ متر، و موقعیت جغرافیایی آن ۵۷ درجه ۴۸ دقیقه شرقی و ۲۸ درجه ۳۵ دقیقه شمالی است.

۱.۲. آزمایش مزرعه

آزمایش مزرعه به منظور ایجاد پایگاه داده مورد نیاز مدل شامل زمان وقوع مراحل فنولوژیک برای هر رقم، ماده خشک تولید شده در هر مرحله، عملکرد غده و زیست‌توده نهایی اجرا شد. به طوری که داده‌های برداشت شده در سال نخست برای کالیبراسیون و داده‌های سال دوم برای ارزیابی استفاده شد. آزمایش کشت پاییزه سیب‌زمینی به صورت کرت‌های خردشده، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی آموزشی ایستگاه شهید بهشتی دانشگاه جیرفت در سال‌های زراعی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ به صورت دو سال پیدرپی اجرا شد. عامل اصلی تاریخ‌های کاشت (۲۶ شهریور، ۱ مهر، ۷ مهر، ۱۳ مهر) و عامل فرعی ارقام سیب‌زمینی (ساتینه، ساتینا، بون) در نظر گرفته شد. ساتنه^۱ رقمی است نیمه زودرس، با اندازه غده متوسط و بیضی، رنگ پوست زرد کم‌رنگ، دارای مقاومت متوسط به خشکی و سرمازدگی، مقاومت بسیار زیاد به بیماری‌های ویروسی و مقاومت متوسط تا کم به برخی بیماری‌های باکتریایی است. ساتینا^۲، رقمی است نیمه ایستاده، نیمه زودرس، با اندازه غده نسبتاً بزرگ، رنگ جوانه صورتی، رنگ پوست زرد، دارای مقاومت بالا به بسیاری از بیماری‌های ویروسی و مقاومت متوسط به بیماری‌های باکتریایی بون^۳ رقمی است میان‌رس، نیمه ایستاده، متوسط

سیب‌زمینی در کشور چک انجام دادند [۲۶]. در مطالعه آن‌ها عملکرد غده به‌عنوان صفت اصلی بر اساس داده‌های مربوط به ۱۹۹۴-۲۰۰۲ برای ارزیابی مدل استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل عملکرد غده شبیه‌سازی شده توسط مدل، ارتباط تنگاتنگی با مشاهده‌ها در مزرعه داشت ($R^2=0.97$). البته این موضوع تنها برای چهار سال آزمایش (۱۹۹۷-۱۹۹۹ و ۲۰۰۲) مصداق داشت. رایماندو و همکاران کارایی SUBSTOR Potato را در ۸۷ آزمایش مختلف در شرایط محیطی گوناگون بررسی کرده و گزارش کردند این مدل توانایی پیش‌بینی عملکرد را در شرایط بررسی شده دارد [۲۲].

در مورد کاربرد DSSAT در شبیه‌سازی سیب‌زمینی در شرایط ویژه و الگوهای کشت خاص مانند کاشت پاییزه مطالعات بسیار اندکی انجام گرفته است. در منطقه جنوب استان کرمان، سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی است که سطحی معادل ۹۸۵۷ هکتار (۶/۲ درصد کل اراضی زیر کشت سیب‌زمینی کشور) را به صورت کشت پاییزه و زمستانه به خود اختصاص داده و تقریباً ۲۷۱۳۷۷ تن از سیب‌زمینی مورد نیاز کشور را در فصل زمستان و بهار یعنی دوره‌ای از سال تأمین می‌کند. [۱] که در سایر مناطق امکان آن وجود ندارد [۳]. بنابراین، استفاده از فناوری مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی برای مدیریت تولید پایدار این محصول اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به اینکه تا به حال گزارشی مبنی بر اجرای مدل SUBSTOR Potato در چنین شرایطی منتشر نشده است، پژوهش حاضر نخستین گام در راستای استفاده از این مدل شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه سیب‌زمینی در این منطقه است. بنابراین، این پژوهش به منظور ارزیابی کارایی مدل DSSAT برای شبیه‌سازی رشد و نمو و تخمین عملکرد سیب‌زمینی در کشت پاییزه اجرا شد.

1. Sante
2. Satina
3. Buren

و طول روز تعیین می شود. پارامتر ژنتیکی P_2 مربوط به اثر طول روز بر غده زایی است. پتانسیل نرخ رشد غده (پارامتر G_3) بر اساس معادلاتی تخمین زده می شود که حداکثر تولید زیست توده را در ارتباط با دما محاسبه می کند. نرخ واقعی رشد غده (پارامتر G_2) بر مبنای پتانسیل نرخ رشد غده، محدودیت آب، نیتروژن موجود در خاک، پارامتر ژنتیکی حداکثر نرخ توسعه برگ، دمای نسبی و تراکم بوته تخمین زده می شود. رشد ساقه بر مبنای ۷۵ درصد رشد برگ محاسبه شده و رشد ریشه به عنوان تابعی از رشد برگ و ریشه تخمین زده می شود [۶ و ۲۹]. مقادیر اصلاح شده این پارامترها که بر اساس آزمایش های مزرعه محاسبه شده و در جدول ۲ ارائه شد.

داده های مورد نیاز عبارت بودند از: ۱. داده های اقلیمی (۲۰ ساله): حداقل و حداکثر دمای روزانه، بارش روزانه، رطوبت نسبی هوا، تبخیر پتانسیل، ساعات آفتابی روزانه و تبخیر و تعرق حقیقی. این داده ها از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک میانه جیرفت مجاور تهیه شد؛ ۲. داده های خاک شامل بافت خاک، نقطه پژمردگی، وضعیت اشباع، ظرفیت زراعی، وزن مخصوص ظاهری، ماده آلی، شوری خاک، pH و سایر ویژگی های شیمیایی مورد نیاز بود (جدول ۱)؛ ۳. داده های گیاه زراعی شامل زمان وقوع مراحل فنولوژیک برای هر رقم، ماده خشک تولید شده در هر مرحله، عملکرد غده و زیست توده نهایی است که برای واسنجی و ارزیابی مدل به کار گرفته شد. ضمناً از صفت عملکرد نهایی سیب زمینی حاصل از نتایج گزارش شده از سایر آزمایش هایی که در منطقه انجام شده بود [۳ و ۴] برای اطمینان بیشتر از کارایی مدل استفاده شد.

رس، دارای مقاومت پایین به نماتدها، مقاومت بالا به بسیاری از بیماری های ویروسی و مقاومت متوسط به بیماری های باکتریایی. این ارقام مهمترین ارقامی هستند که در سال های اخیر بیشترین سطح زیر کشت منطقه را در کشت زمستانه پوشش داده اند [۲۴].

برای اجرای آزمایش نخست عملیات خاک ورزی و ایجاد جوی و پشته و کرت های آزمایشی با ابعاد 4×3 متر انجام شد. سپس بذر (غده مادری) سیب زمینی در عمق تقریبی ۱۵ سانتی متری خاک با فاصله ردیف ۷۵ سانتی متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی متر کشت شد. آبیاری مزرعه به صورت قطره ای اعمال شد. تغذیه گیاه بر پایه نتایج آزمون خاک مزرعه (جدول ۱) قبل از کاشت (۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات و ۱۲۰ کیلوگرم پتاس) انجام شد، همچنین در مراحل غده زایی و حجیم شدن غده، کود کامل میکرو (کلات میکرو کامل) به صورت محلول پاشی استفاده شد.

۲.۲. مدل DSSAT

این مدل شامل مجموعه ای از برنامه های مستقل بوده که با یکدیگر کار می کنند و مدل های رشد گیاهی در مرکز آن قرار دارند (شکل ۱). پایگاه های داده آب و هوا، خاک، شرایط آزمایش، اندازه گیری ها و اطلاعات ژنتیکی برای به کارگیری مدل در وضعیت های مختلف، توصیف می شود [۱۷]. در این پژوهش از DSSAT Version 4.5 استفاده شد. زیر گروه مدلی که برای شبیه سازی عملکرد و رشد و نمو سیب زمینی استفاده می شود SUBSTOR Potato نام دارد. در این مدل زمان غده زایی بر اساس هر دو عامل دما

جدول ۱. نتایج آزمون خاک مزرعه

درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	درصد نیتروژن کل (mg/kg پتاسیم)	درصد نیتروژن کل (mg/kg فسفر)	درصد کربن آلی	اسیدیته (dS/m)	هدایت الکتریکی (dS/m)	درصد آهک	درصد اشباع بازی
۱۰	۲۴	۶۶	۱۴۰	۱۰۶۳	۰/۵۳	۷/۵	۱/۵	۳۲/۵	۲۵/۷

به زراعی کشاورزی

ارزیابی کارایی مدل DSSAT برای تخمین عملکرد بالقوه سبزمینی در نظام زراعی کشت پاییزه (مطالعه موردی: منطقه جیرفت)

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2 / n \right)^{0.5} \quad (2)$$

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

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left(|S_i - \bar{M}| + |M - \bar{M}| \right)^2} \quad (4)$$

$$ME = \text{Max} \frac{100}{M} |S_i - M_i| \quad (5)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n m_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (6)$$

که در این معادلات S_i و M_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده، n تعداد مشاهدات، M میانگین مقادیر M_i است. شاخص $RMSE$ یا جذر میانگین مربعات خطا (معادله ۱)، میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و براساس درصد بیان می‌شود، چنانچه مقدار $RMSE$ کمتر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰-۲۰ درصد خوب، بین ۲۰-۳۰ درصد متوسط و بیش از ۳۰ درصد ضعیف خواهد بود [۲۳]. همچنین، می‌توان این شاخص را بر حسب کیلوگرم در هکتار نیز گزارش کرد (معادله ۲) [۲۳]. شاخص E (معادله ۳) بیانگر انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده نسبت به انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر میانگین است و مقدار آن بین $-\infty$ تا $+1$ متغیر است هر چقدر مقدار E به یک نزدیک تر باشد مدل کارایی بیشتری دارد و مقادیر شبیه‌سازی شده قابل اطمینان تر هستند [۲۵]. شاخص D (معادله ۴) پارامتری توصیفی بوده که مقدار آن بین $-\infty$ تا $+1$ تغییر می‌کند. هر چقدر مقدار آن به یک نزدیک تر باشد مدل کارتر و مقادیر شبیه‌سازی شده از اطمینان بیشتری برخوردار است [۳۸].

در آزمایش مزرعه مراحل فنولوژیک گیاه به صورت زیر ثبت شد [۹، ۱۳ و ۱۵]:

- مرحله سبز شدن: ۵۰ درصد سبز شدن گیاهان (مشاهده برگچه‌ها روی سطح خاک)؛

- شروع غده‌زایی: زمانی که قطر غده در ۵۰ درصد غده‌ها، حداقل به یک سانتی‌متر رسیده باشد؛

- شروع پیری: هنگامی است که ۵۰ درصد برگ‌های اولیه گیاه به رنگ زرد تغییر رنگ دهند.

در هر یک از مراحل فنولوژیک نمونه‌برداری از

شاخصاره، غده و ریشه ماده انجام گرفته و بعد از انتقال

نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌ها در آون فن‌دار در دمای ۶۵

درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۶ ساعت قرار گرفت، بعد از

خشک شدن کامل، وزن خشک با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱

گرم اندازه‌گیری شد. واسنجی مدل با اصلاح برخی

پارامترهای مدل و براساس متغیرهای اندازه‌گیری شده و

زمان وقوع مراحل فنولوژیکی انجام گرفت [۱۲ و ۶].

عملکرد پتانسیل اقلیمی تحت شرایط مطلوب آبیاری،

کوددهی و کنترل مناسب آفات و علف‌های هرز (به منظور

اجتناب از هر گونه تنش رطوبتی، عناصر غذایی و تنش

زیستی) و تحت تأثیر شرایط اقلیمی محل آزمایش

شبیه‌سازی شد. برای ارزیابی کارایی مدل در این پژوهش

به ترتیب از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا

برحسب درصد (معادله ۱) [۲۳]، ضریب کارایی (معادله

۲) [۲۵]، شاخص سازگاری (معادله ۳) [۳۸]، جذر میانگین

مربعات خطا برحسب کیلوگرم در هکتار یا واحد صفت

مورد بررسی (معادله ۴) [۲۳]، حداکثر خطا (معادله ۵) و

[۳۵] ضریب باقیمانده (معادله ۶) [۳۵] نیز به منظور ارزیابی

استفاده شد:

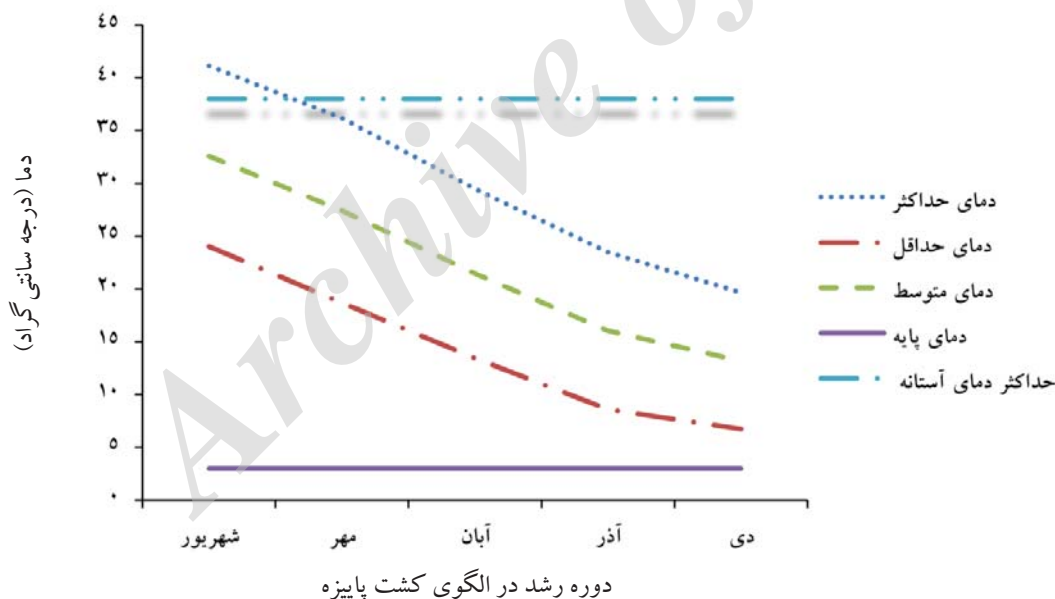
$$RMSEn = \left(\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{M}_{avr} \quad (1)$$

۳. نتایج و بحث

الگوی دوره رشد مورد مطالعه در این پژوهش شامل الگوی کشت پاییزه سیب زمینی بود. دامنه تغییرات این الگوی کشت طبق چارچوب فائو [۱۱] و بر پایه داده‌های بلند مدت ایستگاه سینوپتیک جیرفت محاسبه و در شکل (۱) ارائه شد. بر اساس این الگو، شروع دوره رشد از اواخر شهریور ماه آغاز شده که در این زمان دمای متوسط روزانه به کمتر از ۳۵ درجه سانتی گراد (آستانه تحمل گیاه سیب زمینی) [۱۵و۱۶] رسیده و تا اواخر آذر ماه و اوایل دی ماه که دمای حداقل به زیر آستانه تحمل (پنج درجه سانتی گراد) [۱۵و۱۶] تنزل یافت، ادامه پیدا کرد. بنابراین، این دوره رشد در منطقه، الگوی کشت پاییزه سیب زمینی اطلاق می‌شود.

شاخص ME (معادله ۵) بیانگر حداکثر خطا بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده است و هرچه مقدار آن کمتر باشد مدل کارایی بهتری دارد [۳۵]. شاخص CRM (معادله ۶)، بیانگر برآورد بیش از حد یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده یا مشاهدات است [۳۵]. در حالت ایده‌آل که مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند، مقدار عددی هر یک از شاخص‌های ME، RMSE و CRM برابر با صفر و مقادیر E و D برابر با یک خواهد بود [۳۵].

پس از انجام محاسبات عددی در نرم افزار Excel، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 انجام شد. شبیه‌سازی عملکرد نیز با استفاده از مدل DSSAT و زیر مدل اصلی SUBSTOR Potato صورت پذیرفت.



شکل ۱. دوره رشد سیب‌زمینی در شرایط کشت پاییزه در منطقه جیرفت. طول دوره رشد در دامنه دو آستانه دمایی حداکثر و حداقل قابل تحمل برای گیاه سیب‌زمینی قرار گرفته است. (بر اساس آمار هواشناسی بلند مدت ثبت شده در ایستگاه میانده جیرفت)

جدول ۲. نتایج حاصل از واسنجی پارامترهای مدل SUBSTOR Potato در منطقه جیرفت

پارامتر	توضیحات	رقم بورن	رقم ساتینا	رقم سانه
G ₂ (cm ² /m ² d)	سرعت توسعه سطح برگ بعد از شروع غده‌زایی	۲۳	۲۴	۲۱
G ₃ (g/m ² d)	سرعت رشد بالقوه غده	۲۰	۲۰	۲۰
PD	شاخص روز فیزیولوژیک	۰/۸	۰/۹	۰/۸
P ₂	ضریب حساسیت غده‌زایی به طول روز بلند	۰/۹	۰/۶	۰/۶
Tc (°C)	حداکثر دمای تحریک غده‌زایی	۱۷/۴	۱۶/۹	۱۷

این عملکرد شبیه سازی شده اندکی بیشتر از میزان واقعی آن تخمین زده شد (البته این تفاوت از لحاظ آماری معنادار نبود)، با این حال میزان عملکرد شبیه سازی شده، برآزش خوبی با مقادیر مشاهده شده، داشت. مقدار جذر میانگین مربعات خطا برای عملکرد غده در محدوده خوب قرار داشت و از ۲۰ درصد تجاوز نکرد، به علاوه ضریب تبیین (R^2) نیز همبستگی بالایی ($R^2 > 0.90$) بین مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر واقعی نشان داد. بر اساس نتایج به دست آمده مدل SUBSTOR Potato در شرایط پتانسیل، برآورد قابل قبولی برای زیست توده نداشت.

۲.۳. ارزیابی مدل SUBSTOR Potato برای شبیه سازی مراحل فنولوژیک سیب زمینی در الگوی کشت پاییزه

نتایج حاصل از مراحل فنولوژیک مشاهده شده در مزرعه در جدول (۴) ارائه شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان داد (جدول ۵). شبیه سازی مرحله غده‌زایی توسط مدل قابل قبول نیست، به طوری که جذر مربعات خطا بیش از ۳۰ درصد یا معادل ۱۹ روز بود که طبق استاندارد رینالدی برآورد ضعیفی از مقدار واقعی است. براساس روش رینالدی در صورتی که مقدار RMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، قدرت پیش بینی مدل عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، متوسط و اگر

۱.۳. واسنجی و ارزیابی مدل SUBSTOR potato

در شرایط الگوی کشت پاییزه سیب زمینی

براساس نتایج حاصل از آزمایش مزرعه در سال اول زراعی، پارامترهای مختلف مدل SUBSTOR Potato برای ارقام رایج سیب زمینی (سانته، ساتینا و بورن) در منطقه جیرفت (جدول ۲)، بررسی شدند. برای بهینه کردن این پارامترها، از نتایج داده‌های واقعی مربوط به ماده خشک تولید شده در مراحل غده‌زایی و رسیدگی، زمان وقوع مراحل فنولوژیک غده زایی، گلدهی و رسیدگی (جدول ۴) و میزان تولید زیست توده نهایی استفاده شد. این پارامترها بعد از اصلاح و بهینه شدن بر اساس آزمایش مزرعه‌ای نخست به منظور شبیه‌سازی عملکرد و مراحل فنولوژیک ارقام رایج سیب زمینی (سانته، ساتینا و بورن) در فایل^۱ مربوط به گیاه زراعی یا فایل ضرایب ژنوتیپ سیب زمینی^۲ در مدل قرار داده شد. بر اساس داده‌های اقلیمی در سال زراعی دوم فرآیند شبیه سازی مجدداً انجام شد و با نتایج مشاهدات در آزمایش مزرعه مقایسه شد. ارزیابی مدل بر اساس نتایج حاصل از اجرای آزمایش در سال دوم انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی برای عملکرد و زیست توده کل ارقام مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شد.

مدل SUBSTOR Potato در شرایط پتانسیل، برآورد قابل قبولی برای عملکرد داشت. نتایج نشان داد که میزان

1. PTSUB000.CUL
2. Potato Cultivar Coefficients

شرایط تنش های زنده و غیرزنده دارد، لذا توانایی مدل در پیش بینی فنولوژی گیاه بسیار مهم است [۱۳].

مراحل رشد سیب زمینی در مدل SUBSTOR Potato به مراحل کاشت تا ظهور، ظهور تا شروع گل دهی، غده زایی و رسیدگی تقسیم می شود [۲۸]. به نظر می رسد با توجه به این که در شرایط کاشت پاییزه سیب زمینی در منطقه جیرفت گل دهی اتفاق نمی افتد (کمتر از پنج درصد مزرعه)، عدم توانایی مدل در پیش بینی این مرحله در این شرایط باعث ایجاد تغییر و به هم ریختگی در سایر مراحل شد.

بالتر از ۳۰ درصد باشد، برآورد مدل ضعیف خواهد بود [۲۳]. همچنین، ضریب تبیین مدل رگرسیونی مربوط به مقادیر واقعی و شبیه سازی شده نیز بسیار کم بود (۰/۱) و مدل خطی آن نیز قابل قبول نیست ($pvalue > 0.05$). بنابراین، نمی توان در این شرایط به پیش بینی مراحل فنولوژیک توسط مدل اطمینان داشت. بر اساس نتایج شبیه سازی مدل مرحله گل دهی و گرده افشانی را پیش بینی کرد، در حالی که در شرایط مزرعه، گل دهی مشاهده نشد (جدول ۴). تعیین و پیش بینی مراحل فنولوژیک گیاهان زراعی اهمیت زیادی در مدیریت مزرعه و یا مدیریت

جدول ۴. نتایج حاصل از مراحل فنولوژیک مشاهده شده در مزرعه براساس تعداد روز پس از کاشت

برداشت	زمان شروع غده زایی (روز پس از کاشت)	زمان سبز شدن (روز پس از کاشت)	تاریخ کاشت	رقم
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۴۶	۱۹	۱۳۹۲/۶/۲۶	سانته
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۴۷	۲۱	۱۳۹۲/۶/۲۶	سانتینا
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۵۰	۲۳	۱۳۹۲/۶/۲۶	بورن
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۴۸	۲۰	۱۳۹۲/۷/۱	سانته
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۴۹	۲۲	۱۳۹۲/۷/۱	سانتینا
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۵۲	۲۵	۱۳۹۲/۷/۱	بورن
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۵۰	۲۲	۱۳۹۲/۷/۱	سانته
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۵۱	۲۳	۱۳۹۲/۷/۷	سانتینا
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۵۴	۲۶	۱۳۹۲/۷/۷	بورن
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۵۲	۲۶	۱۳۹۲/۷/۱۳	سانته
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۵۲	۲۷	۱۳۹۲/۷/۱۳	سانتینا
۱۳۹۲/۱۰/۱۲	۵۴	۲۹	۱۳۹۲/۷/۱۳	بورن

جدول ۵. نتایج حاصل از ارزیابی مدل SUBSTOR Potato برای تخمین زمان غده زایی سیب زمینی در کشت پاییزه

شاخص آماری	RMSE (dap)	RMSEn (%)	Rsqr	Slope	Intercept	Ftest
روزتا غده زایی (*dap)	۱۹	۳۸/۵	۰/۱	۰/۶۷۶	۴۷/۵	۰/۴۷۲
دقت برآورد	کم	کم	کم	se=±0.95	se=±686	غیر معنادار

* تعداد روز بعد از کاشت (days after planting)

دارد اما قابلیت آن در شرایط با دمای بالا و محیط غنی شده با دی اکسیدکربن پایین است، لذا در صورت استفاده از این مدل در شرایط تغییر اقلیم باید اصلاحات لازم انجام گیرد [۲۲]. در کشت پاییزه سیب زمینی، وجود شرایطی مانند دمای بالا در اوایل پاییز (در منطقه گرمسیری جیرفت) و وقوع طول روز کوتاه‌تر از ۱۲ ساعت از جمله عوامل مهم تسریع کننده شروع غده‌زایی و ممانعت از گل‌دهی سیب‌زمینی هستند [۴ و ۳۶]. بنابراین، به نظر می‌رسد یکی از دلایل کارایی پایین مدل SUBSTOR Potato برای تخمین مراحل فنولوژیک و میزان زیست‌توده نهایی در شرایط کشت پاییزه منطقه جیرفت، وقوع دمای بالا در دوره کاشت و غده‌زایی و عدم وقوع گل‌دهی کامل، یکی از مراحل مهم فنولوژیک در این گیاه بود. با توجه به اینکه این مدل در شرایط مناطق معتدله تدوین شده، لذا پیشنهاد می‌شود برای تعریف یا اصلاح زیربرنامه‌های جدید در مجموعه برنامه‌های مدل SUBSTOR Potato در شرایط کشت پاییزه آزمایش‌های بیشتری در مزرعه و محیط‌های کاملاً کنترل شده مانند اتاقک رشد به‌صورت توأم انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از گزارش نهایی طرح پژوهشی ۶-۹۱-۲۸۲۶ مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه جیرفت استخراج شد، لذا از دانشگاه جیرفت برای تأمین هزینه‌های این طرح تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. احمدی ک، قلی‌زاده ح، عبادزاده ح، حسین پور ر، حاتمی ف، عبدشاه ه، رضایی م، کاظمی فرد ر. و فضلی استبرق م. (۱۳۹۴) آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۳، آمار محصولات باغی. وزارت جهاد کشاورزی، تهران، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات، ۳: ۱۵۶.

در این پژوهش، کارایی زیر مدل SUBSTOR Potato از مدل DSSAT برای تخمین عملکرد و رشد و نمو سیب زمینی کشت پاییزه بررسی شد. در شرایط کشت پاییزه سیب‌زمینی، دمای محیط در دوره زمانی کاشت تا پایان غده‌زایی نسبتاً بالا است (دمای متوسط بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و از طرف دیگر مرحله گل‌دهی نیز فقط در کمتر از ۵ درصد مزرعه به‌صورت پراکنده اتفاق می‌افتد، لذا در این شرایط به نظر می‌رسد این مدل برای تخمین مراحل فنولوژیک در شرایط کشت پاییزه کارایی پایینی دارد. هرچند مدل SUBSTOR Potato یکی از مدل‌های پیچیده برای شبیه‌سازی رشد و نمو سیب زمینی است اما به دلیل اینکه این مدل توسعه فنولوژیکی را در سیب زمینی با یافته‌های مبتنی بر اثر توأم دما و طول روز را بر آغازش غده، شبیه‌سازی می‌کند [۱۲] کارایی بالا برای تخمین همه مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی و عملکرد در اقلیم‌های متفاوتی را نخواهد داشت. در پژوهشی، قابلیت مدل DSSAT در پیش‌بینی عملکرد و مراحل فنولوژیک سیب زمینی در شرایط تنش خشکی و پتانسیل در منطقه شهرکرد، بررسی شد [۲] و نتایج نشان داد که مدل DSSAT برای پیش‌بینی عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مناطق معتدله سردسیر نظیر شهرکرد با الگوی دوره رشد معمول (سبز شدن، گل‌دهی، غده‌زایی، حجیم شدن و رسیدگی) از کارایی قابل قبولی برخوردار بود [۲]. در صورتی در پژوهشی دیگر از این مدل برای تخمین عملکرد سیب‌زمینی دیم استفاده شد، نتایج این پژوهش بیانگر دقت بالا در تخمین عملکرد غده در شرایط مناسب و کارایی پایین مدل در تخمین عملکرد در سال‌هایی با بارندگی کمتر بود [۲۶]. کارایی SUBSTOR Potato در ۸۷ آزمایش مختلف در شرایط محیطی گوناگون بررسی شده و نتایج آن نشان داده است که هرچند این مدل توانایی پیش‌بینی عملکرد را در شرایط بررسی شده

- yield of groundnut. In: Proceedings of an International Symposium on Agro meteorology of Groundnut. 21/26Aug. Sahelian Center. Niamey. Niger. Patancheru. India: ICRISAT. pp. 243-254.
9. Casa A., Ovando G., Bressanini L. and Martínez J. (2013) Aqua crop model calibration in potato and its use to estimate yield variability under field conditions. *Atmospheric and Climate Sciences*. 3: 397-407.
10. Ewing E., Heym W.D., Batuti E.J., Snyder G., Ben Khedher M., Sandlan K.P. and Turner A.D. (1990) Modifications to the simulation model POTATO for use in New York. *Journal of Agricultural System*. 33: 173-192.
11. FAO. (1996) Guidelines: Agroecological zoning. FAO. Soils Bultin 73, FAO, Rome.
12. Fleisher D.H., Dennis J.T., Yang Y. and Reddy V.R. (2010) Simulation of potato gas exchange rates using SPUDSIM. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 432-442.
13. Gayler S., Wang E., Priesack E., Schaaf T. and Maidl F. (2002) Modeling biomass growth, N-uptake and phenological development of potato crop. *Geoderma*. 105: 367-383.
14. Ghaffari A. (2008) Agroclimatic zoning of Iran. Rain fed crop production areas with particular emphasis to agroecological characterization. (Annual Report) Agricultural Extension. Education and Research Organization (AEERO). Dry land Agricultural Research Institute (DARI). ICARDA Technical Report. 214.
15. Haverkort A.J. and MacKerron D.K.L. (1995) Potato Ecology and Modeling of Crops under Conditions Limiting Growth. Springer-Science Business Media. B.V. 379pp.
۲. باقری ح. (۱۳۹۵) پهنه‌بندی آگرواکولوژیک سیب زمینی در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از مدل SUBSTOR Potato و سامانه اطلاعات جغرافیایی. رساله دکتری رشته زراعت، دانشگاه رامین. اهواز، ۱۷۵ صفحه.
۳. درینی ع.، فتحی ق.ا.، قرینه م.ح.، عالمی سعید خ.، خدادای م. و سیادت س.ع. (۱۳۹۲) اثر تاریخ کاشت و کاربرد آنتی‌فریز بر عملکرد غده و برخی صفات فیزیولوژیکی ارقام سیب‌زمینی در کشت پاییزه در منطقه جیرفت. به‌زراعی نهال و بذر. ۲۹(۴): ۴۴۳-۴۵۹.
۴. نیکزاد م. (۱۳۹۳) پهنه‌بندی آگرواکولوژیک سیب‌زمینی در جنوب استان کرمان با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آگرواکولوژی. دانشگاه جیرفت. جیرفت، ۱۰۵ صفحه.
5. Abeledo L.G., Savin R. and Slafer A. (2008) Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy*. 28: 541-550.
6. Arora V.K., Nath J.C. and Singh C.B. (2013) Analyzing potato response to irrigation and nitrogen regimes in a sub-tropical environment using SUBSTOR-Potato model. *Agricultural Water Management*. 124: 69-76.
7. Bannayan M., Crout N.M.J. and Hoogenboom G. (2003) Application of the CERES-Wheat model for within-season prediction of winter wheat yield in the United Kingdom. *Agronomy Journal*. 95: 114-125.
8. Boote K.J., Jones J.W., Mishoe J.W. and Wilkerson G.G. (1986) Modeling growth and

16. Hollinger SE (2003) Agricultural climatology. University of Illinois at Urbana-Champaign. Cooperative Extension Service (Author). In: Illinois agronomy handbook (23th ed). (Pp.1-21) University of Illinois at Urbana-Champaign. College of Agriculture, Cooperative Extension Service.
17. Hoogenboom G., Wilkens P.W., Thornton P.K., Jones J.W., Hunt L.A. and Imamura D.T. (1999) Decision support system for agro technology transfer v3.5. In: Hoogenboom G, Wilkens PW, Tsuji GY, DSSAT version 3, (pp. 1 -36) University of Hawaii. Honolulu. HI.
18. Jones J.W. (2003) The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy. 18: 235-265.
19. Jones J.W., Tsuji G.Y., Hoogenboom G., Hunt L.A., Thornton P.K., Wilkens P.W., Imamura D.T., Bowen W.T. and Singh U (1998) Decision support system for agrotechnology transfer. DSSAT v3. In: Tsuji GY, Hoogenboom G, Thornton PK (Ed). Understanding Options for Agricultural Production. (pp. 157-177) Kluwer Academic Publishers Dordrecht. The Netherlands.
20. Montoya F., Camargo D., Ortega J.F., Córcoles J.I. and Domínguez A. (2016) Evaluation of Aquacrop model for a potato crop under different irrigation conditions. Agricultural Water Management. 64: 268-280.
21. Ng E. and Loomis R.S. (1984) Simulation of growth and yield of the potato crop. Simulation of potato plants. Agronomy Journal. 58: 169-177.
22. Raymundo R., Prasad R., Kleinwechter U., Concha J., Condori B., Condori B., Bowen W., Wolf J., Olesen J.E., Dong Q., Zotarelli L., Gastelo M., Alva A., Travasso M., Quiroz R., Arora V., Graham W. and Porter C. (2016) Performance of the SUBSTOR-potato model across contrasting growing conditions. Field Crops Research. In Press, 2016.
23. Rinaldy M., Losavio N.G., Flagella Z. (2003) Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. Agricultural System. 78: 17-30.
24. SASA, UNITED KINGDOM (2009) https://www.europotato.org/display_source.php?datasource=13.
25. Singh A.K., Tripathy R. and Chopra U.K. (2008) Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. Agricultural Water Management. 95: 776-786.
26. Šťastná M., Toman F. and Dufkova J. (2010) Usage of SUBSTOR model in potato yield prediction. Agricultural Water Management. 97: 286-290.
27. Svuburea O., Struik P.C., Haverkort A.J. and Steyn J.M. (2015) Yield gap analysis and resource footprints of Irish potato production systems in Zimbabwe. Field Crops Research. 178: 77-90.
28. Travasso M.I. (1996) Yield prediction using the SUBSTOR-potato model under Argentinian conditions. Potato Research. 39(2): 305-312.
29. Uehara G. and Tsuji G.Y. (1998) Overview of IBSNAT. In: Tsuji GY, Hoogenboom G, Thornton PK, (Eds). Understanding Options for Agricultural Production, (pp.1-7) Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. 392pp.
30. Uehara G., (1998) Synthesis. In: Tsuji G.Y., Hoogenboom G., Thornton P.K., (Eds.), Understanding Options for Agricultural Production, (pp.389-392) Kluwer academic publishers, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. 392pp.
31. UNESCO, (1979) Map of the world distribution of arid regions, Map at Scale 1:25,000,000 with Explanatory Note. UNESCO, Paris.

32. Van Ittersum M.K., Leffelaar P.A., Van Keulen H., Kropff M.J., Bastiaans L. and Goudriaan J. (2003) On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*. 18: 201-234.
33. Van Wart J., Kersebaum K.C., Peng S., Milnera M. and Cassman K.G. (2013) Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*. 143: 34-43.
34. Van Wart J., Van Bussel L.G.J., Wolf J., R., Grassini P., Nelson A., Boogaard H., Gerber J., Mueller N.D., Claessens L., Van Ittersum M.K. and Cassman K.G. (2013) Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*. 143: 44-55.
35. Walpole R.E., Myers R.M. and Myers S.L. (1998) *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. (6th ed) New Jersey: prentice Hall International.
36. Wheeler R.M. and Tibbetts T.W. (1986) Utilization of potatoes for life support systems in space: I-Cultivar-photoperiod interactions. *American Potato Journal*. 63: 315-323.
37. Wilkerson G.G., Jones J.W., Boote K.J., Ingram K.T. and Mishoe J.W. (1983) Modeling soybean growth for crop management. *Transactions of the ASAE*. 26: 63-73.
38. Willmott C.J. (1982) Some comments on the evaluation of model performance. *American Meteorology Society*. 63: 1309-1313.



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 19 ■ No. 4 ■ Winter 2017

Evaluation of DSSAT model for potential yield prediction of potato (*Solanum tuberosum*) under autumn cropping system (Case study: Jiroft, Iran)

Javad Tabei Semirani^{1*}, Ebrahim Amir², Ahmad Aeei³, Naser Borumand⁴, Mehrangiz Jowkar¹

1. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran
2. Associate Professor, Department of Irrigation, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran
3. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran
4. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

Received: October 24, 2016

Accepted: February 1, 2017

Abstract

Crop Simulation Models are advanced tools to estimate crop yield and optimizing of crop management practices. This study was conducted in order to evaluate DSSAT model under autumn cropping system condition in Jiroft, Iran, 2012-2014. The field experiment which repeated in two sequential years and three replications were performed as randomized complete block design in split plots. The main factor was planting date (17th, 23th, 29th September and 5th October) and its subfactor was potato cultivars (*Sante*, *Satina* and *Boren*). Data of first and second years of field experiment was applied respectively for calibration and evaluation of model. Data-base requirement for model was created from 1. climatic data includes: temperature, radiation, relative humidity, wind and precipitation; 2. crop data attained from field experiment, 3. soil data. Results of statistical evaluation of model showed the good fitness of simulated and actual yield performance. Simulated tuber yields were similar to their observed value with RMSE of 19% (1210 kg/ha) and high correlation between observed and simulated tuber yield ($R^2 > 0.9$). Simulated biomass had 2673.5 kg/ha difference to its observed value that showed low estimation precision (RMSE > 30%). This model couldn't predict tuber initiation stage correctly (RMSE > 30%). Therefore, it was concluded that DSSAT model predicted potato yield correctly but due to weak precision in estimation of phenological stage, had low assurance for use in autumn cropping system of potato under autumn cropping system in Jiroft region.

Keywords: autumn cropping system, model, phenology, simulation, substor-potato.