



شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت سطوح مختلف نیتروژن با استفاده از مدل DSSAT

فرزاد پاک‌نژاد^{۱*}، شیدا معیری پور^۲، فیاض آقاییاری^۳ و محمدنبی ایلکایی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۳/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۸

چکیده

مدل DSSAT می‌تواند رشد، نمو و عملکرد گیاه را که در یک سطح یکنواخت کشت شده باشد تحت شرایط مدیریت‌های مشخص مشتمل بر تغییرات در میزان آب خاک، کربن خاک، نیتروژن خاک و آب‌شویی نیتروژن شبیه‌سازی کند. این مطالعه به منظور بررسی اثرات نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت رقم ۷۰۴ با مدل، و کالیبراسیون مدل CERES-Maize تحت ۴ سطح کود نیتروژن N₁: ۲۵٪ کمتر از توصیه شده (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، N₂: توصیه شده (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، N₃: ۵۰٪ کمتر از توصیه شده (۲۶۰ کیلوگرم در هکتار) و N₄: ۵۰٪ بیشتر از توصیه شده (۳۱۰ کیلوگرم در هکتار)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج اجرا شد. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مدل در صفات عملکرد بلال، بیوماس، شاخص سطح برگ و ماده خشک ساقه، صورت گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بیوماس نشان داد که، در هر چهار سطح کودی RMSE به ترتیب در محدوده ۲۴۹۶/۴۸، ۲۱۵۹/۲۴، ۲۳۰۲/۴۳ و ۳۲۸۹/۱۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمدند. در عملکرد بلال بالاترین میزان ضریب تبیین R²=۰/۹۸ مربوط به N₄: ۵۰٪ بیشتر از توصیه شده بود. در حقیقت این تیمار توسط مدل از بالاترین دقت جهت پیش‌بینی عملکرد بلال برخوردار بود. برای شاخص سطح برگ نیز، دامنه تغییرات ضریب d که در محدوده بین ۰/۹۴-۰/۷۷ است، نشان‌دهنده آن است که مدل در پیش‌بینی روند تغییرات شاخص سطح برگ موفق بوده است. بنابراین، مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی فرایندهای رشد و نمو و عملکرد ذرت در ۴ سطح نیتروژن داشته است. لذا می‌توان بعد از واسنجی و بررسی صحت کارکرد مدل، آن را برای اهداف پژوهشی مورد نظر در شرایط اقلیمی منطقه کرج به کار برد.

واژگان کلیدی: ذرت، عملکرد، شبیه‌سازی، نیتروژن.

۱- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. (* نگارنده‌ی مسئول Farzadpaknejad@yahoo.com)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

مقدمه

کاربرد مدل‌های کامپیوتری در کشاورزی با سرعت زیادی در حال گسترش است. مدل‌های رشد گیاهی ابزاری مفید جهت فهم بهتر نحوه تغییرات عملکرد تولید بر اساس تغییرات نهادها و عوامل محیطی می‌باشند. میزان عملکرد محصول نتیجه برهمکنش بین عوامل خاک، آب، گیاه و اتمسفر به‌عنوان یک سیستم پیوسته می‌باشد. در علوم زراعی مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی دانش انسان درباره‌ی جنبه‌های مختلف علمی شامل هواشناسی کشاورزی، فیزیک خاک، شیمی خاک، فیزیولوژی گیاهان زراعی، اصلاح گیاهان و زراعت را به‌وسیله روابط ریاضی برای پیش‌بینی رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی امکان‌پذیر ساخته است. از این رو مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به‌عنوان ابزار اصلی انتقال علوم زراعی به عصر اطلاعات شناخته می‌شوند (Lopez-Cedron *et al.*, 2008). با پیشرفت در فیزیولوژی و اکولوژی گیاهان زراعی و روش‌های محاسباتی، مدل‌سازی گیاهان زراعی نیز در طول ۳۰ الی ۴۰ سال گذشته تکامل یافته است. مدل‌ها در حال حاضر به درجه قابل قبولی از پذیرش رسیده‌اند. دو جنبه مهم از فعالیت مدل‌سازی گیاهان زراعی در آینده عبارتند از: ۱- به کارگیری مدل‌ها به عنوان ابزار کارگشا جهت پشتیبانی تحقیقات علمی، تسهیل در تصمیم‌گیری‌های مدیریت زراعی و کمک به آموزش. فعالیت مدل‌سازی در این جنبه به سطوح بالاتر سازمانی یعنی سیستم‌های زراعی و مسایل زیست محیطی و جنبه‌های اکولوژیک تولید گیاهان زراعی گسترش خواهد یافت (Binder *et al.*, 2008). ۲- نقش موثر مدل‌های گیاهان

زراعی در درک و پیشرفت تنظیم ژنتیکی کارکرد گیاهان و اصلاح آنها است. تحلیل فیزیولوژیک و مدل‌سازی صفات راهی ایجاد می‌کند که توسط آن مدل‌سازی گیاهان زراعی می‌تواند در ارتقای تلفیق روش‌های ژنتیک مولکولی در اصلاح گیاهان زراعی مشارکت کند. مدل DSSAT یکی از معروف‌ترین و پر استفاده‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است (برای بیش از ۲۰ گیاه زراعی مختلف) و برنامه‌های کامپیوتری در یک بسته نرم افزاری به منظور تسهیل در کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در تحقیقات و تصمیمات جمع شده‌اند (Soltani and Hoogenboom, 2007). مدل DSSAT از CERES-Wheat و CROPSIM-Wheat مشتق شده است (Jones *et al.*, 2003). بیش از ۱۲۰ مطالعه انجام شده توسط مدل DSSAT در کل دنیا، از شمال آمریکا تا آفریقا را لیست کرده‌اند. در این مطالعات مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی DSSAT برای تعیین عملیات مطلوب مدیریت محصولات، مدیریت کود، مدیریت آبیاری، کشاورزی دقیق، مدیریت آفات، تنوع و تغییر اقلیم، آلودگی محیط و آموزش استفاده شد (Soltani and Hoogenboom, 2007). مدل CERES، مدل نسبتاً ساده‌ای است که توسعه، رشد و عملکرد ذرت را شبیه‌سازی می‌کند. از انواع این مدل‌ها می‌توان مدل CERES-Maize را نام برد (Binder *et al.*, 2008). این مدل اولین بار توسط جونز و کینیری معرفی و بعد از سال‌ها توسعه پیدا کرد و به‌عنوان یک مدل در نرم‌افزار DSSAT-CSM¹ قرار گرفت (Hoogenboom *et al.*, 2003). این

¹ Decision Support System for Agrotechnology Transfer - Crop Simulation Model

شد که آب‌شویی نیترات به علت زهکشی ضعیف خاک کمتر از مقدار واقعی برآورد گردید. بنایان و همکاران (Bannayan *et al.*, 2003) در چهار منطقه انگلستان برای پیش‌بینی عملکرد گندم در طول فصل رشد به کمک مدل CERES-Wheat آزمایشی را انجام دادند و بیان نمودند که $RMSE^1$ عملکردهای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای اولین مرحله ۰/۹۵ و برای آخرین مرحله ۰/۶۸ تن در هکتار می‌باشد و بر این اساس نتیجه گرفتند که مدل عملکرد نهایی را در مراحل مختلف رشد گیاه در حد قابل قبولی پیش‌بینی می‌نماید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در اردیبهشت ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد واحد کرج با موقعیت ۳۵ درجه و ۵ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه طول جغرافیایی با ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا اجرا شد. منطقه ماهدشت کرج دارای اقلیم نیمه خشک با میانگین بارندگی سالانه ۲۴۳ میلی‌متر می‌باشد. این منطقه با داشتن ۱۸۰-۱۵۰ و گاهی ۲۰۰ روز خشکی، و زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزء مناطق نیمه خشک محسوب می‌شود. پراکنش بارندگی در این منطقه معمولاً از اواخر مهرماه تا اواسط بهار می‌باشد. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل ۴ تیمار کود نیتروژن N_1 : (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، N_2 : (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، N_3 : (۲۶۰ کیلوگرم در هکتار) و N_4 : (۳۱۰ کیلوگرم در هکتار) بود. در این آزمایش از رقم ۷۰۴ استفاده شد. ردیف‌های کاشت به طول ۵ متر و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. فاصله

مدل رشد ذرت را به صورت روزانه در واکنش به آب و هوا، خاک، شرایط محیطی، میزان کود، استراتژی‌های مدیریت مزرعه و همچنین توسعه فنولوژیکی، تجمع و تسهیم زیست توده کل و در نهایت عملکرد شبیه‌سازی می‌کند (Jones *et al.*, 2003). مدل CERES- Maize همچنین برای شبیه‌سازی اثرات رقم، تراکم کاشت، آب و هوا، رطوبت خاک و نیتروژن روی رشد، نمو و عملکرد گیاه ذرت طراحی شده است و طوری توسعه یافته است که می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد، سطح مزرعه و منطقه مفید باشد. این اهداف تا حدی سطوح جزئیات مدل را ترسیم می‌نماید (Nouna *et al.*, 2000). همچنین، این مدل برای مطالعات پیش‌بینی عملکرد، مدیریت آب و نیتروژن به‌طور وسیعی در دنیا مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج حاکی از دقت خوب مدل در پیش‌بینی عملکرد تحت سناریوهای مختلف محیطی و مدیریتی می‌باشد (Lin *et al.*, 2000). پاک نژاد و همکاران (Paknejad *et al.*, 2012) نیز در بررسی شبیه‌سازی عملکرد دانه ۵ رقم گندم در شرایط تنش خشکی انتهای فصل توسط مدل CERES-Wheat نتایج رضایت‌بخشی را گزارش کردند. اسدی و کلمنت (Asadi and Clemente, 2003) مدل CERES-Maize از بسته نرم‌افزاری DSSAT v3.5 را برای شبیه‌سازی آب‌شویی نیترات، مقدار محصول و ظرفیت رطوبت خاک در شرایط آب و هوایی مرطوب ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که مقدار محصول دانه در بعضی تیمارها بیش از مقدار واقعی تخمین زده شد. به‌طور کلی، جذب نیتروژن بیش از مقدار واقعی پیش‌بینی شده و مقدار نیتروژن آب‌شویی شده و مقدار رطوبت خاک کمتر از واقعیت به‌وسیله مدل شبیه‌سازی گردید. همچنین، در تحقیق مذکور نتیجه گرفته

1- Root Mean Square Error

نتایج شبیه‌سازی با استفاده از شاخص‌های آماری زیر مورد ارزیابی قرار گرفت:

۱- شاخص توافق ویلموت:

این شاخص دارای مقادیری بین صفر و یک است که مقادیر نزدیک به یک بیانگر برازش بهتر می‌باشند (Soler et al., 2007).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_i| + |O_i - O_i|)^2}$$

۲- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)

چنانچه در نتایج شبیه‌سازی توسط مدل مقدار RMSE به دست آمده از فرمول زیر کمتر از ۱۰ درصد میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده باشد، مبین توانایی خوب مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی می‌باشد، که P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده، n : تعداد مشاهدات است (Aggarwal et al., 1994)

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5}$$

۳- ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (RMSEn):

$$RMSEn = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n \bar{O}} \right]^{0.5}$$

که P_i : مقادیر پیش‌بینی شده، O_i : مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{O} : میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n : تعداد نمونه می‌باشد. اگر مقدار RMSEn کمتر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی بسیار خوب، اگر RMSEn بیش‌تر از ۱۰ درصد و کم‌تر از ۲۰ درصد باشد شبیه‌سازی خوب، اگر RMSEn بیش‌تر از ۲۰ درصد و کم‌تر از ۳۰ درصد شبیه‌سازی نسبتاً خوب و RMSEn بالای ۳۰ درصد شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (Cedron et al., 2005).

بوته روی ردیف ۱۳ سانتی‌متر و هر کرت شامل ۶ خط کاشت بود. میزان کود مصرفی با توجه به اندازه‌گیری عناصر غذایی موجود در خاک نمونه‌برداری شد. کودهای فسفر (۱۱۰ کیلوگرم در هکتار)، پتاس (۸۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت پیش کاشت و نصف کود نیتروژن به هنگام کاشت به روش خاکی و نصف دیگر کود نیتروژن در مرحله ۸-۶ برگی به صورت سرک مصرف شد.

از خاک قطعه زمین مورد کشت تعداد ۵ نمونه در سه عمق متفاوت تهیه شد و در نهایت یک نمونه ۱ کیلوگرمی جهت آنالیز به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل گردید. نتایج تجزیه خاک منطقه مورد آزمایش به شرح جدول ۱ می‌باشد. خاک محل اجرای آزمایش دارای بافت لومی-رسی-سنی بوده و پتاسیم و فسفر قابل جذب آن در حد متوسط می‌باشد، ضمناً از لحاظ میزان نیتروژن، خاکی بسیار ضعیف به حساب می‌آید (جدول ۱).

نرم افزار DSSAT به اطلاعات ورودی مربوط به هوا، خاک، مدیریت زراعی و رقم زراعی نیاز دارد. قبل از اجرای مدل، لازم است این ورودی‌ها در اختیار مدل قرار گیرند.

اطلاعات هواشناسی: داده‌های روزانه مربوط به دمای حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی و مقدار بارندگی.

اطلاعات خاک‌شناسی: بافت خاک، ساختمان خاک، تعداد و عمق هر یک از لایه‌ها، وزن مخصوص ظاهری، عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری، نقطه پژمردگی، عمق نفوذ ریشه، میزان هدایت الکتریکی و pH هر لایه.

مدیریت زراعی: نوع رقم و تیپ بهاره یا پاییزه، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله خطوط، تراکم کاشت، تاریخ‌های آبیاری و مقدار آبیاری.

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، مدل روند تولید بیوماس را در هر ۴ سطح کودی به خوبی ارزیابی کرد، و در هر چهار سطح کودی RMSE به ترتیب در محدوده ۲۴۹۶/۴۸، ۲۱۵۹/۲۴، ۲۳۰۲/۴۳ و ۳۲۸۹/۱۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمدند (جدول ۲). همچنین، RMSE کمتر از ۲۰٪ میانگین داده‌های مشاهده شده در هر چهار سطح کودی بود. بنیان و همکاران (Bannayan et al., 2003) میزان عملکرد را با MBE ۲/۵ و RMSD ۳/۲ که در حدود ۲۰٪ میانگین داده‌های مشاهده شده (۱/۷۶ تن در هکتار) بوده، گزارش کردند. شبیه‌سازی تولید ماده خشک احتمالاً بخش مرکزی هر مدل شبیه‌سازی گیاهان زراعی است که خود تحت تاثیر مدل‌سازی نمو فنولوژیک و تغییرات سطح برگ نیز قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی توزیع ماده خشک نیز اهمیت دارد چون نتیجه توزیع ماده خشک، عملکرد دانه را مشخص می‌کند (Soltani et al., 2006). پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad et al., 2012) نیز در بررسی شبیه‌سازی عملکرد دانه ۵ رقم گندم در شرایط تنش خشکی انتهای فصل توسط مدل CERES-Wheat نتایج رضایت بخشی را گزارش کردند.

عملکرد بلال

مطابق جدول شبیه‌سازی عملکرد بلال، در تیمار N₄ (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف نیتروژن) دامنه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۳۵۳/۱۹ بود، همچنین دامنه تغییرات ضریب کارایی مدل (d) نیز با ۰/۹۸ محاسبه شد (جدول ۳ و شکل ۲). مطابق نتایج به دست آمده (جدول ۳) بالاترین میزان ضریب تبیین R²=۰/۹۸ مربوط به N₄ (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف نیتروژن) بود. در حقیقت این تیمار توسط مدل از بالاترین دقت جهت پیش‌بینی عملکرد بلال

۴- آزمون T-test

برای مقایسه تفاوت بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی از آزمون t استفاده شد. در این روش فرض بر این است که توزیع Y و X نرمال دو متغیره بوده و رابطه‌ی آنها خطی می‌باشد. نمونه‌ای n تایی از جفت‌های (X_i, Y_i)، در نظر گرفته می‌شود. ضریب همبستگی نمونه‌ای (r) برآوردی از ضریب همبستگی جامعه (ρ) است (Soltani et al., 2006).

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}) (\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n})}}$$

آماره‌ی آزمون به صورت زیر تعریف می‌شود،

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

نتایج و بحث

با بررسی ضریب تبیین (R²) حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر بیوماس اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در ذرت، ضریب تبیین در محدوده ۰/۹۶-۰/۹۸ است که نشان دهنده دقت مدل در شبیه‌سازی بیوماس است (جدول ۲). روند تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده بیوماس در هر چهار سطح کود نیتروژن در ذرت توسط مدل CERES در منطقه کرج با توجه به جدول ۲ و شکل ۱ دامنه تغییرات ضریب d که در محدوده بین ۰/۹۷-۰/۹۸ است نشان‌دهنده آن است که مدل در پیش‌بینی روند تغییرات بیوماس در ۴ سطح کود نیتروژن موفق بوده است. با بررسی ضریب تبیین (R²) حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر بیوماس اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ضریب تبیین ۰/۹۸ است که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی بیوماس در سطوح N₁: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و N₂: ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار دارد.

بسته به منطقه در دامنه‌ای بین ۸۹۸۵ تا ۹۸۸۴ کیلوگرم در هکتار طی سال‌های مختلف متغیر بود. مجیدی‌فخر و همکاران (Majidi Fakhr *et al.*, 2012) نیز در بررسی شبیه‌سازی عملکرد دانه ۵ رقم گندم در شرایط تنش خشکی انتهایی فصل توسط مدل CERES-Wheat نتایج رضایت بخشی را گزارش کردند. در مطالعات، تیمسینا و همفریس (Timsina and Humphreys, 2006) در شبیه‌سازی رشد گندم با استفاده از مدل CERES-Wheat تحت محدودیت آب و نیتروژن در شرایط آب و هوایی هند، نپال، بنگلادش و استرالیا مقدار RMSEn یا نرمال شده را به ترتیب از ۱۷-۱۵٪ برای ماده خشک و ۱۷-۷٪ برای عملکرد دانه گزارش نمودند. در بررسی سدرون و همکاران (Cedron *et al.*, 2005) مشاهده نمودند که اختلاف اندکی نسبت به مقادیر مشاهداتی عملکرد دانه را شبیه‌سازی می‌کند. پاندا و همکاران (Ma *et al.*, 2004) در بررسی خود گزارش دادند که مدل RZWQM-CERES-Maize با کارایی بالا قادر است عملکرد دانه و ماده خشک ذرت را شبیه‌سازی کند. یانگ (Yang *et al.*, 2009) نیز در بررسی مدل CERES-Maize بر روی ۴۹ هیبرید مختلف در منطقه شمال کارولینا دریافت که مدل توانایی بالایی برای شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد.

شبیه‌سازی شاخص سطح برگ

مطابق جدول (۴) و شکل (۳) با بررسی ضریب تبیین (R^2) حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر شاخص سطح برگ مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در ۴ سطح کود نیتروژن، ضریب تبیین در محدوده ۰/۹۲-۰/۱۶ است که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ دارد. البته در برخی از

برخوردار بود. به‌طور کلی، می‌توان دریافت که مدل عملکرد بلال را در هر چهار سطح کود نیتروژن با دامنه دقت قابل قبول و مطلوبی شبیه‌سازی نموده است. پایین‌ترین دقت شبیه‌سازی عملکرد بلال به N_3 : ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار مصرف نیتروژن اختصاص داشت. در این تیمار میزان RMSE برابر ۰/۹۲ و ۲۱۹۸/۳۴ و ضریب کارایی مدل نیز برابر ۰/۹۲ بود. به‌طور کلی، در تمامی ۴ سطح نیتروژن دامنه تغییرات ضریب تبیین بین ۰/۹۳-۰/۹۸ متغیر بود که نشان‌دهنده دامنه تغییرات بسیار خوب همبستگی قابل قبول و مطلوب مقدار شبیه‌سازی در مقایسه با مقدار اندازه‌گیری شده در این صفت در منطقه کرج می‌باشد. در ارزیابی مدل در هر چهار سطح نیتروژن RMSE عملکرد بلال در محدوده ۱۳۵۳/۱۹-۲۳۰۷/۴۲ کیلوگرم در هکتار بود که تقریباً کمتر از ۲۰٪ میانگین داده‌های مشاهده شده بود. تیمسینا و همفریس (Timsina and Humphreys, 2006) بیان داشتند که شبیه‌سازی رشد محصول با مدل CERES-Wheat تحت شرایط بدون تنش آب و نیتروژن در مناطق نیمه مرطوب هند، نپال، بنگلادش و استرالیا ضریب تغییراتی در محدوده ۷ تا ۱۷ درصد برای عملکرد دارد. غفاری و همکاران (Ghaffari *et al.*, 2001) به‌منظور ارزیابی راهکارهای مدیریتی مختلف و تعیین راهکارهای بهینه با استفاده از مدل CERES-Wheat گزارش کردند که عملکرد دانه بین ۶/۹ تا ۷/۸ تن در هکتار بسته به راهکارهای مختلف متغیر و تفاوت بین عملکردهای شبیه‌سازی شده با واقعی ۰/۲۴ تن در هکتار (کمتر از ۱۰ درصد میانگین عملکردهای واقعی) بود. همچنین، آنها با استفاده از مدل CERES-Wheat، پتانسیل عملکرد شش منطقه را پیش‌بینی نموده و نشان دادند که عملکرد گندم

بسیار بالای مدل در پیش‌بینی شاخص سطح برگ در گرده افشانی باشد. زوی و همکاران (Xevi *et al.*, 1996) مدل CERES-Maize را با مدل SWATRER-SUCROS در عملکرد، شاخص سطح برگ، محتوای رطوبت خاک و زیست توده کل بالای سطح زمین یک رقم ذرت مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این محققان نشان داد که مدل CERES-Maize محتوای رطوبت خاک، سطح برگ و زیست توده کل بالای سطح زمین را با درجه اطمینان ۹۵٪ نسبت به داده‌های مشاهده شده، شبیه‌سازی کرد. پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad *et al.*, 2012) نیز در بررسی شبیه‌سازی شاخص سطح برگ ۵ رقم گندم در شرایط تنش خشکی انتهای فصل توسط مدل CERES-Wheat نتایج رضایت بخشی را گزارش کردند.

شبیه‌سازی وزن خشک ساقه

مطابق جدول ۵ شبیه‌سازی وزن خشک ساقه در چهار سطح نیتروژن میزان دامنه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بین ۱۱۸۰/۴۶-۶۵۶/۱۲ در نوسان بود همچنین، دامنه تغییرات ضریب کارایی مدل (d) نیز به میزان ۰/۹۶-۰/۹۸ محاسبه شد. با بررسی ضریب تبیین (R^2) حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر شاخص سطح برگ مشاهده و شبیه‌سازی شده در ۴ سطح کود نیتروژن، ضریب تبیین در محدوده ۰/۹۷-۰/۹۸ است که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی وزن خشک ساقه دارد. البته در برخی از تیمارها مانند N_3 : (۲۶۰ کیلوگرم در هکتار) همبستگی ضعیف‌تر از سایر تیمارها (۰/۹۱) بوده است ولی روند تغییرات وزن خشک ساقه را به خوبی نشان داده است. روند تغییرات شبیه‌سازی شده وزن خشک ساقه در شرایط هر چهار سطح

تیمارها مانند N_1 : ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار همبستگی ضعیف (۰/۶) بوده است ولی روند تغییرات شاخص سطح برگ را به خوبی نشان داده است. روند تغییرات شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ در شرایط هر چهار سطح کود نیتروژن توسط مدل CERES در منطقه کرج با توجه به جدول ۴ و دامنه تغییرات ضریب d که در محدوده بین ۰/۷۷-۰/۹۴ است نشان‌دهنده آن است که مدل در پیش‌بینی روند تغییرات شاخص سطح برگ موفق بوده است. همچنین، RMSE با کمتر از ۳۰ درصد میانگین داده‌های مشاهده شده به‌دست آمد که با نتایج آرورا و همکاران (Arora *et al.*, 2007) در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در طول فصل رشد بر روی گندم (جذر میانگین مربعات خطا ۰/۵ متر مربع بر مترمربع با ۳۵ درصد میانگین سطح برگ مشاهده شده و ضریب همبستگی ۰/۸۸) مطابقت دارد. پراکنش شاخص سطح برگ شبیه‌سازی و مشاهده شده از خط به طرف بالا منحرف شده است. یک دلیل برای این انحراف این است که مقدار شاخص سطح برگ دقیقاً در تاریخ گرده‌افشانی از خروجی مدل به عنوان پیش‌بینی استخراج شده، حال آنکه ممکن است در مزرعه سطح برگ دقیقاً در تاریخ گرده افشانی اندازه‌گیری نشده و با یک یا چند روز فاصله (زودتر یا دیرتر) اندازه‌گیری شده باشد. دلیل دیگر می‌تواند عدم دقت در اندازه‌گیری سطح برگ توسط محقق در آزمایشگاه باشد زیرا ممکن است برگ‌ها زرد و یا تاخوردگی باشد که این باعث عبور نور از حاشیه برگ‌ها می‌شود که این عوامل باعث خطا در اندازه‌گیری شاخص سطح برگ مشاهده شده می‌شود. مجموعه این دلایل و احتمالاً روش مورد استفاده در مدل برای شبیه‌سازی شاخص سطح برگ می‌تواند دلیل عدم دقت

مدل تولید ماده خشک را در حد قابل قبولی شبیه سازی می‌نماید. با توجه به نتایج مدل، LAI را بیشتر از مقدار به‌دست آمده شبیه‌سازی کرده است، علت این امر می‌تواند وجود محدودیتی در مرزعه بوده که به مدل معرفی نشده است و در مراحل اولیه رشد، میزان شاخص سطح برگ مشاهده شده بیشتر از میزان شبیه‌سازی شده است. همچنین، علت وجود این خطا در شبیه سازی، عدم دقت در اندازه‌گیری سطح برگ توسط محقق در آزمایشگاه باشد، زیرا ممکن است برگ‌ها زرد و یا تا خورده باشد که این باعث عبور نور از حاشیه برگ‌ها می‌شود. قابلیت پیش‌بینی تغییرات سطح برگ نیز در مدل‌های زراعی دارای اهمیت است. پیش‌بینی شاخص سطح برگ برای تخمین میزان تشعشع دریافت شده و تولید ماده خشک مورد نیاز است و همچنین پیش‌بینی آن در تعیین نسبت تبخیر به تبخیر تعرق دارای اهمیت است.

کود نیتروژن توسط مدل CERES در منطقه کرج با توجه به جداول ۴-۵ و دامنه تغییرات ضریب d در ارقام مختلف که در محدوده بین ۰/۸۹ - ۰/۹۸ است (شکل ۴)، نشان‌دهنده آن است که مدل در پیش‌بینی روند تغییرات وزن خشک ساقه موفق بوده است.

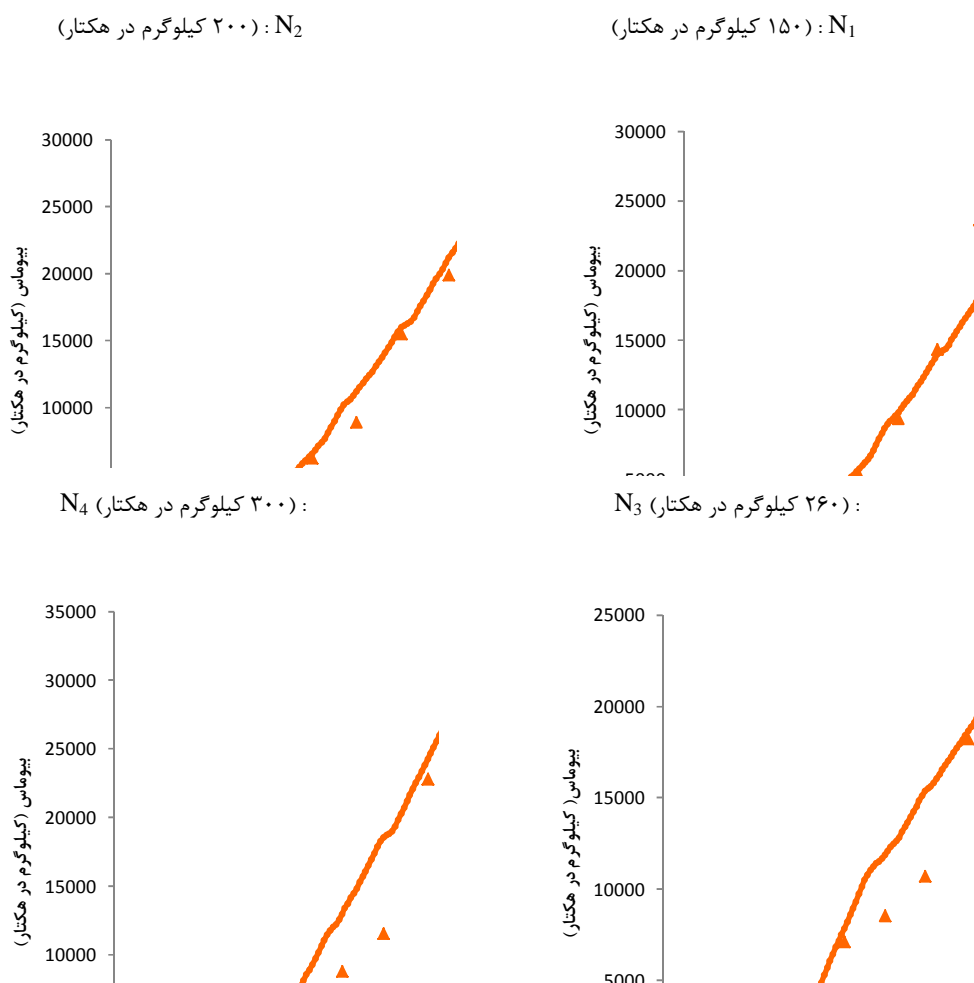
نتیجه‌گیری کلی

کاهش میزان دقت شبیه‌سازی می‌تواند در اثر ایجاد شرایط دور از حد پتانسیل در دوره رشد، خطاهای اندازه‌گیری و عدم تطابق مقادیر پارامترهای تعریف شده در مدل با هر منطقه باشد و نیاز به مدیریت لازم برای کاهش این عوامل ایجاد کننده خطا می‌باشد. البته مدل در بعضی موارد ماده خشک را بیشتر از مقادیر مشاهده شده و در بعضی موارد نیز کمتر از مقادیر مشاهده شده شبیه‌سازی می‌کند، هر چند تفاوت‌ها در دامنه قابل قبول کارکرد مدل قرار داشته‌اند. به‌طور کلی،

جدول ۱- مشخصات خاک نمونه‌برداری شده

Table 1- Sampled soil characteristics

عمق نمونه برداری Sampled depth	رطوبت اشباع % Saturation moisture	بافت خاک Soil texture	شن % Sand %	سیلت % Silt %	رس % Clay %	K ppm	P ppm	Total N %	ماده آلی % OC %	اسید پته pH	هدایت الکتریکی EC ds/m
0-20	36	لوم رسی	55	18	27	196.35	17	0.09	0.9	7.44	3.33
20-40	36	لوم رسی	57	17	26	147	11	0.06	0.63	7.86	3.75
40-60	36	لوم رسی	56	16	28	140.6	8.4	0.05	0.47	7.81	4.91



شکل ۱- روند بیوماس (کیلوگرم در هکتار). خط: مقادیر پیش بینی شده و : مقادیر مشاهده شده در ۴ سطح نیتروژن
Figure 1- The biomass trend ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), line: predicted data, and observed data in 4 nitrogen levels

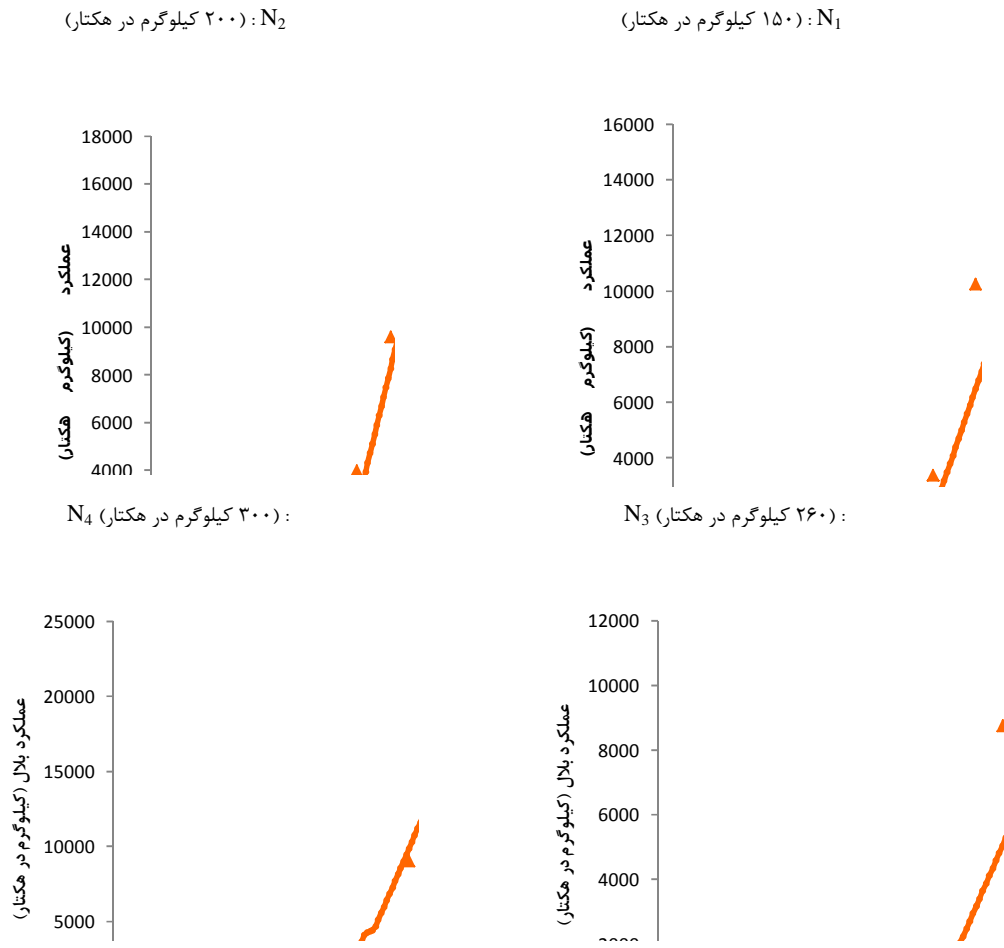
جدول ۲- ارزیابی نتایج از پیش بینی بیوماس (kg/ha) در ۴ سطح نیتروژن

Table 2- Evaluation of biomass predicted ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) results in 4 levels of nitrogen

تیمارها Treatments	O_i	P_i	T-test	RMSEn	RMSE	R^2	d
(150 kg/ha) : N_1	9341.2	7201.8	0.44	4	2496.48	0.98	0.977
(200 kg/ha) : N_2	9264	10938	0.32	7	2159.24	0.98	0.983
(260 kg/ha) : N_3	8514	10348	0.32	10	2302.43	0.96	0.975
(360 kg/ha) : N_4	9932	12586	0.32	10	3289.19	0.96	0.972

O_i و P_i به ترتیب میانگین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده، d شاخص توافق ویلموت، R^2 : ضریب تبیین، RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا، RMSEn: مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده.

Oi and Pi, respectively observed and predicted means, d: Wilmot's agreement index, R^2 : Explanation coefficient, RMSE: Root mean squared error. RMSEn: Root mean squared error normalized.



شکل ۲- روند عملکرد بلال (کیلوگرم در هکتار). خط: مقادیر پیش بینی شده و : مقادیر مشاهده شده در ۴ سطح نیتروژن

Figure 2- The ear yield trend ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), line: predicted data, and observed data in 4 nitrogen levels

جدول ۳- ارزیابی نتایج شبیه سازی عملکرد بلال ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) در ۴ سطح نیتروژن

Table 3- Evaluation of ear yield simulation ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) results in 4 levels of nitrogen

تیمارها Treatments	O _i	P _i	T-test	RMSEn	RMSE	R ²	d
(150 kg/ha) : N ₁	6762	4956	0.33	13	2307.42	0.968	0.938
(200 kg/ha) : N ₂	6237	6298	0.43	13	1353.19	0.934	0.979
(260 kg/ha) : N ₃	5271	3845	0.35	16	2198.34	0.943	0.918
(360 kg/ha) : N ₄	6160	7535	0.39	9	1628.05	0.984	0.979

جدول ۴- ارزیابی نتایج شبیه سازی شاخص سطح برگ ($m^2.m^{-2}$) در ۴ سطح نیتروژن

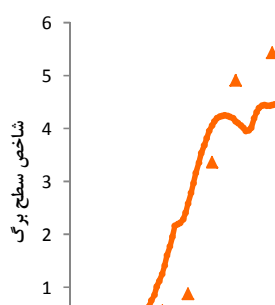
Table 4- Evaluation of leaf area index simulation ($kg.ha^{-1}$) results in 4 levels of nitrogen

تیمارها Treatments	O _i	P _i	T-test	RMSEn	RMSE	R ²	d
(150 kg/ha) : N ₁	2.71	2.58	0.36	20	1.02	0.66	0.77
(200 kg/ha) : N ₂	3.51	3.18	0.30	15	1.17	0.79	0.82
(260 kg/ha) : N ₃	2.93	3.07	0.5	19	1.02	0.6	0.87
(360 kg/ha) : N ₄	3.43	4	0.22	13	0.74	0.92	0.94

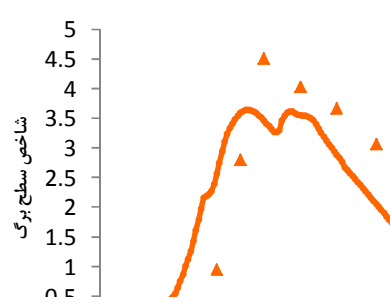
O_i و P_i به ترتیب میانگین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده، d: شاخص توافق ویلموت، R²: ضریب تبیین، RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا. RMSEn: مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده.

O_i and P_i, respectively observed and predicted means, d: Wilmot's agreement index, R²: Explanation coefficient, RMSE: Root mean squared error. RMSEn: Root mean squared error normalized.

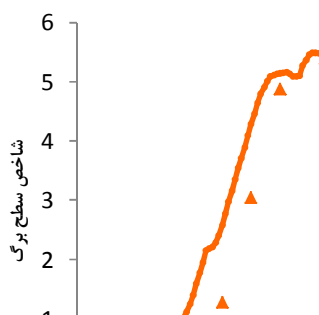
(۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) : N₂



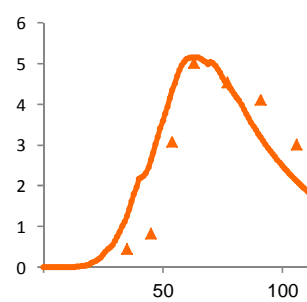
(۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) : N₁



(۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) : N₄

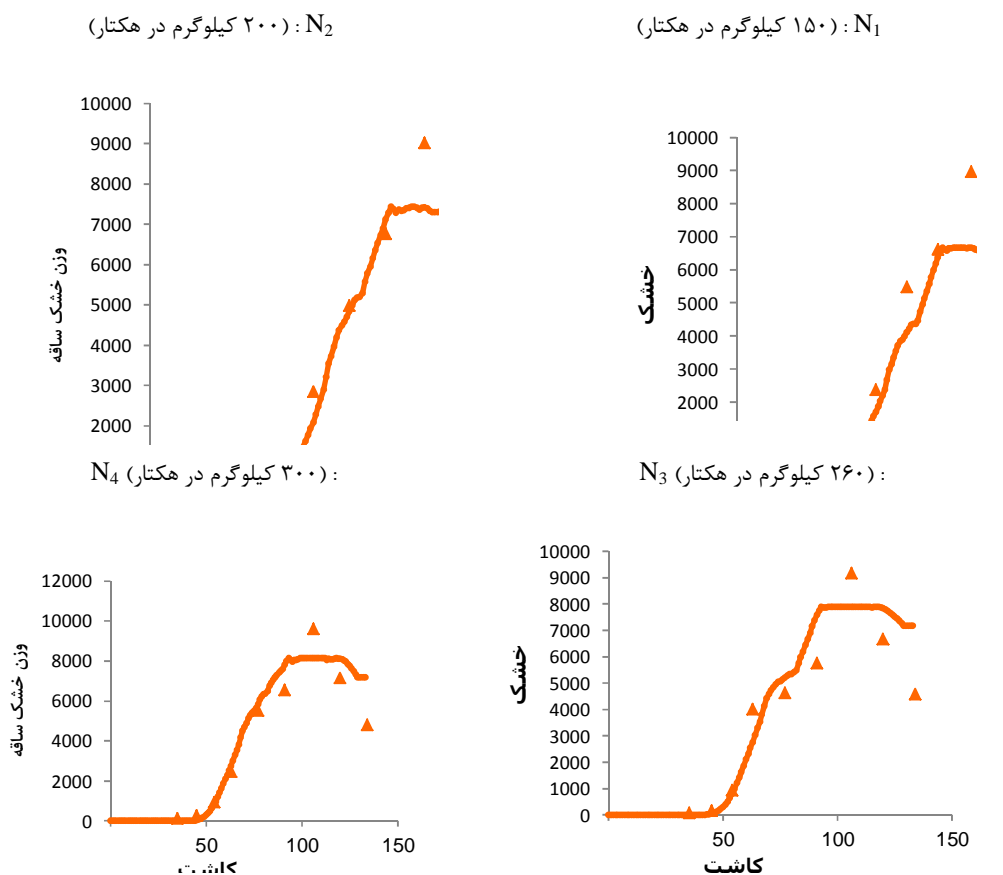


(۲۶۰ کیلوگرم در هکتار) : N₃



شکل ۳- روند شاخص سطح برگ (مترمربع در مترمربع)، خط مقادیر شبیه سازی شده و مقادیر اندازه گیری شده ذرت در ۴ سطح نیتروژن

Figure 3- The leaf area index trend ($kg.ha^{-1}$), line: predicted data, and observed data in 4 nitrogen levels



شکل ۴- روند وزن خشک ساقه ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). خط: مقادیر پیش بینی شده و : مقادیر مشاهده شده در ۴ سطح نیتروژن

Figure 4- The stem dry weight trend ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), line: predicted data, and observed data in 4 nitrogen levels

جدول ۵- ارزیابی نتایج شبیه سازی وزن خشک ساقه (kg/ha) در ۴ سطح نیتروژن

Table 5- Evaluation of stem dry weight simulation ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) results in 4 levels of nitrogen

تیمارها Treatments	O_i	P_i	T-test	RMSEn	RMSE	R^2	d
(150 kg/ha) : N_1	4069	3190	0.32	9	1180.46	0.973	0.963
(200 kg/ha) : N_2	3947	3602	0.45	5	656.12	0.973	0.989
(260 kg/ha) : N_3	3930	4022	0.41	8	1018.436	0.906	0.974
(360 kg/ha) : N_4	4083	4190	0.42	3	792.815	0.948	0.986

O_i و P_i به ترتیب میانگین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده، d: شاخص توافق ویلموت، R^2 : ضریب تبیین، RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا. RMSEn: مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده.

Oi and Pi, respectively observed and predicted means, d: Wilmot's agreement index, R^2 : Explanation coefficient, RMSE: Root mean squared error. RMSEn: Root mean squared error normalized.

References

منابع مورد استفاده

- Aggarwal, P.K., N. Karla, A.K. Singh, and S.K. Sinha. 1994. Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype and water and nitrogen availability on productivity of wheat I. The model description, parameterization and validation, *Field Crops Research*. 38: 73-91.
- Arora, V.K., H. Singh, and B. Singh. 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model. *Agricultural Water Management*. 94: 22-30.
- Asadi, M.E., and R.S. Clemente. 2003. Evaluation of CERES-Maize of Dssat model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content tropical condition. *Journal of food, Agriculture & Environment*. 1(3& 4): pp. 270-276.
- Bannayan, M., N.M.J. Crout, and G. Hoogenboom. 2003. Application of the CERES-wheat model for within season prediction of winter wheat yields in the United Kingdom. *Agronomy Journal*. 95: 114-125.
- Binder, J., S. Graeff, J. Limk, W. Claupein, M. Liu, M. Dai, and P. Wang. 2008. Model-based approach to quantify production potentials of summer maize and spring maize in the North China plain. *Agronomy Journal*. 100: 863-873.
- Cedron, F.X.L., K.J. Boot, B.R. Nogueira, and F. Sau. 2005. Testing CERES Maize versions to estimate maize production in a cool environment. *European Journal of Agronomy*. 23: 89-102.
- Dejonge, K. 2011. Evaluation improvement of CERES-Maize evapotranspiration simulations under full and limited irrigation treatments in northern Colorado. Department of Civil and environmental Engineering, Colorado State University.
- DSSAT Training Workshop. 2008. Cultivar coefficients in the cereal model, ppt. Training Program on DSSAT the University of Georgia, ICASA.
- Ghaffari. A., H.F. Cook, and H.C. Lee. 2001. Simulating winter wheat yields under temperate conditions: exploring different management scenarios. *European Journal of Agronomy*. 15: 231-240.
- Hoogenboom, G.J., J.W. Jones, P.W. Wilkens, W.D. Batchelor, W.T. Bowen, L.A. Hunt, N. Pickering, U. Singh, D.C. Godwin, B. Baer, K.J. Boote, J.T. Ritchie, and J.W. White. 2003. Crop models. pp. 95-242. In G.Y. Tsuji, G. Uehara, and S. Balas (ed.) DSSAT v3. Vol. 2-2. Univ. of Hawaii, Honolulu
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman, and J.T. Ritchie. 2003. The CERES-WHEAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*. 18: 235-265.

- Lopez-Cedron, F.X., K.J. Boot, J. Pineiro, and F. Sau. 2008. Improving the CERES-Maize model ability to simulate water deficit impact on maize production yield components. *Agronomy Journal*. 100: 297-307.
- Ma, L., G. Hoogenboom, L.R. Ahuja, J.C. Ascough, and S.A. Sanseendran. 2006. Evaluation of the RZWQM-CERES-Maize hybrid model for maize production. *Agricultural Systems*. 87: 274-295.
- Majidi Fakhr, F., F. Paknejad, M.N. Ilkaee, M. Nasri, and A. Pazoki. 2012. Simulation of wheat cultivar response to irrigation treatments using of CERES-Wheat model. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 7 (2): 135-142.
- Nouna, B.B., N. Katerji, and M. Mastorilli. 2000. Using the CERES-Maize model in semi-arid mediterranean environment. Evaluation of model performance. *European Journal of Agronomy*. 13: 309-322.
- Paknejad, F., F. Majidi Fakhr, and S.M. Mirtaheri. 2012. Validation of the ceres-wheat for prediction of wheat varieties in irrigation and terminal drought stress. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 7 (2): 180-185.
- Soltani, A., M.J. Robertson, Y. Mohammad-Nejad, and A. Rahemi-Karizaki. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Research*. 99: 14-23.
- Soltani, A., and G. Hoogenboom. 2007. Assessing crop management with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crop Research*. 103: 198-207.
- Soler, C.M.T., P.C. Sentelhas, and G. Hoogenboom. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting data evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in subtropical environment. *European Journal Agronomy*. 27: 165-177.
- Timsina, J., and E. Humphreys. 2006. Performance of CERES-Rice and CERES-Wheat models in rice-wheat systems: A review. *Agricultural Systems*. 90: 5-31.
- Xevi, E., J. Gilley, and J. Feyen. 1996. Comparative study of two crop yield simulation models. *Agric. Water Manage*. 30: 155- 173.
- Yang, Z., G.G. Wilarkson, G.S. Buol, and R.W. Heinger. 2009. Estimating genetic coefficients for the CSM-CERES-Maize model in North Carolina environments. *Agronomy Journal*. 101: 1276-1285.

Simulation of Maize Yield with Different Levels of Nitrogen by Using DSSAT Model

Farzad Paknejad^{1*}, Sheida Moayeri por², Fayaz Aghayari³, and Mohammad Nabi Ilkaei³

Received: June 2016, Revised: 17 June 2017, Accepted: 1 November 2017

Abstract

Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) model is able to simulate plant growth, development, and yield that are grown on a uniform surface under simulated management conditions, including changes in soil water, soil carbon, soil nitrogen contents and nitrogen leaching. This study was aimed to investigate the effects of nitrogen on yield and yield components of maize variety SC704 by using this model, and to calibrate CERES-Maize model under 4 levels of nitrogen fertilizer: N1: 25% less than the recommended level, N2: recommended level (200 kg/ha), N3: 50% less than recommended level (260 kg/ha), and N4: 50% more than the recommended level (310 kg/ha). To evaluate the applicability of this model an experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted during 2013 at the Research Field of Agriculture Faculty of Islamic Azad University – Karaj Branch. The measured traits, and their simulated values for ear and biomass yields, leaf area index (LAI) and stem dry matter content were compared. The results of the biomass simulation showed that Root Mean Square Error (RMSE) of the four fertilizer levels ranged 2496.48, 2159.24, 2302.43, and 3289.19 kg/ha respectively. For the ear yield, the highest coefficient of determination ($R^2 = 0.98$) was obtained by N₄. In fact, this treatment provided highest accuracy for predicting the yield of maize by the model. For leaf area index, the Willmott Agreement Index (d) varied between 0.77-0.94. This indicates that the model has successfully predicted the variation of leaf area index. Therefore, the model is considered appropriate for simulating growth, development and yield of maize under 4 levels of nitrogen fertilizer. In this case, it is recommended that the model is calibrated and verified, and then, it is applied for research purposes in Karaj climatic conditions.

Key words: CERES-Maize Model, Maize, Nitrogen, Yield.

1- Associate Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

2- MS.c. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

* Corresponding Author: farzadpaknejad@yahoo.com

