Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Simulating the yield and some physiological characteristics of maize in different nitrogen conditions using the CERES-Maize model

Farzad Dehpouri[1], Davood Barari Tari[2*], Yousof Niknejad[3], Hormoz Fallah Amoli[4], Ebrahim Amiri[5]

[1]Agronomy Ph.D Student, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran, Email: farzad_dehpouri@yahoo.com
[2]Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran, Email: davoodbarari@yahoo.com
[3]Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran, Email: yousofniknejad@gmail.com
[4]Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran, Email: hormozfalah@yahoo.com
[5]Professor, Department of Agriculture, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran, Email: eamiri57@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022-12-19
Revised:
Accepted: 2023-11-17

Keywords:
Biomass
Calibration
Simulation
Validation
Yield

ABSTRACT

Background and objectives: A new dimension in agricultural science has been opened up by the rapid development of computer-based information systems. Physiological processes of plant growth and development can be represented mathematically with a plant simulation model. Many studies have used simulation models to quantitatively analyze the effects of different environmental and management factors on the processes of agricultural plants due to the capability to simulate different processes. Since there is limited data on the ability of CERES-Maize to simulate maize under different nitrogen management treatments in Mazandaran, On the basis of graphical representations and statistical analyses of CERES-Maize performance and physiological traits, the model was recalibrated in Qaemshahr.

Material and methods: In order to simulate the physiological traits of maize using CERES-Maize model in different nitrogen treatments, an experiment was carried out in Qarakhil, a research farm in Mazandaran Agricultural Research Center, during 2017 and 2018 as randomized completely block design in four replications. The 10 treatments used in this research included: N_1: not use of nitrogen (control), N_2: use of 60 kg n ha^{-1} before planting, N_3: use of 120 kg n ha^{-1} before planting, N_4: use of 180 kg n ha^{-1} before planting, N_5: Use of 60 kg n ha^{-1} in two stages (50% before planting + 50% in stage R_1), N_6: Use of 120 kg n ha^{-1} in two stages (50% before planting + 50% in R_1), N_7: use 180 kg n ha^{-1} in two stages (50% before planting + 50% in R_1), N_8: 60 kg n ha^{-1} in 3 stages (one third before planting + one third in stage R_1 + one third in stage R_3), N_9: 120 kg n ha^{-1}in 3 stages (one third before planting + one third in stage R_1 + one third in stage R_3), N_{10}: 180 kg n ha^{-1}in 3 stages (One third was before planting + one third at R_1 stage + one third at R_3 stage).

Results: It was shown that the model had an acceptable accuracy in simulating the yield, biomass and nitrogen level of a shoot at harvest time. It has also been shown that the trait model does not accurately simulate the leaf area index as well as other traits. According to linear regression analysis, R^2 coefficients for the calibration and validation data of the model were 0.69 and 0.57, respectively,. Model validation showed a coefficient of explanation of 0.81, while calibration showed a coefficient of explanation of

0.79. Based on the two-year data, the simulated nitrogen value does not differ significantly from the measured value at 0.95 probability level. The model provided a 0.87 explanation coefficient for the difference between simulated and measured shoot nitrogen, thus indicating its accuracy in simulating total shoot nitrogen over the two-year period.

Conclusion: As a result of this research, the highest yield was achieved in the years 2017 and 2018 with 120 kg n ha^{-1} applied to the soil as 50% of the base + 50% in R_1 stage. In view of the obtained results, the CERES-Maize model can be used as a suitable simulation model to find the optimal nitrogen fertilizer management strategy for maize. For generalizable results, this model can also be applied to interpreting climate data in the northern region of the country in terms of potential production, limitations, and reduction of long-term field experiments.

Cite this article: Dehpouri, F., Barari Tari, D., Niknejad, Y., Fallah Amoli, H., Amiri, E. 2023. Simulating the yield and some physiological characteristics of maize in different nitrogen conditions using the CERES-Maize model. *Crop Production Journal*, 16 (3), 33-48.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.20778.2548
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

شبیه‌سازی عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ذرت در مدیریت مختلف کود نیتروژن با استفاده از مدل CERES-Maize

فرزاد دهپوری[۱]، داود براری تاری[۲*]، یوسف نیک‌نژاد[۳]، هرمز فلاح آملی[۴]، ابراهیم امیری[۵]

[۱] دانشجوی دکتری زراعت، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: farzad_dehpouri@yahoo.com
[۲] استادیار، گروه اگروتکنولوژی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: davoodbarari@yahoo.com
[۳] استادیار، گروه اگروتکنولوژی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: yousofniknejad@gmail.com
[۴] استادیار، گروه اگروتکنولوژی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: hormozfalah@yahoo.com
[۵] استاد، گروه کشاورزی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران، رایانامه: eamiri57@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۸
تاریخ ویرایش:
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۶

واژه‌های کلیدی:
اعتبارسنجی
زیست‌توده
شبیه‌سازی
عملکرد
کالیبراسیون

چکیده

سابقه و هدف: گسترش سریع سیستم‌های اطلاعاتی مبتنی بر کامپیوتر بعد جدیدی در علوم کشاورزی فراهم آورده است. مدل شبیه‌سازی گیاهی، نمایش ریاضی فرایندهای مختلف فیزیولوژیک رشد و نمو گیاهان است. با توجه به قابلیت شبیه‌سازی فرایندهای مختلف گیاهان زراعی، مدل‌های شبیه‌سازی در مطالعات بسیاری که هدف از انجام آن‌ها آنالیز کمی اثر پارامترهای مختلف محیطی و مدیریتی بوده است بکار برده شده‌اند. ازآنجایی‌که اطلاعات محدودی در زمینه توانمندی مدل CERES – Maize در شبیه‌سازی خصوصیات ذرت تحت تیمارهای مختلف مدیریت نیتروژن در منطقه مازندران موجود است، این مطالعه به منظور پارامتریابی مدل CERES – Maize در شبیه‌سازی عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی این گیاه به دو شکل گرافیکی و آماری در شهرستان قائم‌شهر صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی شبیه‌سازی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه ذرت با استفاده از مدل CERES – Maize در شرایط مختلف مصرف نیتروژن، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی مازندران، ایستگاه قراخیل طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. ۱۰ تیمار به‌کاربرده شده در این تحقیق شامل: N_1: عدم مصرف کود (شاهد)، N_2: مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار پیش از کاشت، N_3: مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار پیش از کاشت، N_4: مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار پیش از کاشت، N_5: مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت + ۵۰ درصد در مرحله R_1)، N_6: مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت + ۵۰ درصد در مرحله R_1)، N_7: مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت + ۵۰ درصد در مرحله R_1)، N_8: ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از کاشت + یک‌سوم در مرحله R_1 + یک‌سوم در مرحله R_3)، N_9: ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از

کاشت + یک‌سوم در مرحله R_1 + یک‌سوم در مرحله R_3) N_{10}: ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از کاشت + یک‌سوم در مرحله R_1 + یک‌سوم در مرحله R_3) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مدل توانست عملکرد، زیست‌توده و میزان نیتروژن کل اندام هوایی را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کند. همچنین نتایج نشان داد که مدل صفت شاخص سطح برگ را به خوبی دیگر صفات شبیه‌سازی نمی‌کند. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی بین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان داد که ضریب R^2 به‌ترتیب برای داده‌های پارامتریابی و ارزیابی مدل برابر با ۰/٦۹ و ۰/۵۷ بود. ضریب تبیین برای داده‌های عملکرد در پارامتریابی برابر ۰/۷۹ و برای ارزیابی مدل برابر ۰/۸۱ بود. نتایج در ارتباط با داده‌های دوساله نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی‌شده نیتروژن در سطح احتمال ۰/۹۵ اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری شده ندارند. تجزیه رگرسیون خطی بین نیتروژن اندام هوایی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با ضریب تبیین ۰/۸۷ طبق داده‌های دوساله که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی نیتروژن کل اندام هوایی بود.

نتیجه‌گیری: بیشترین عملکرد در این تحقیق در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در تیمار مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت مصرف ۵۰ درصد پایه + ۵۰ درصد در مرحله R_1 حاصل گردید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مدل CERES - Maize می‌تواند به‌عنوان یک مدل شبیه‌سازی مطلوب برای انتخاب مناسب‌ترین استراتژی برای بهبود عملکرد ذرت در مدیریت مختلف کود نیتروژن استفاده شود. همچنین می‌توان در تفسیر داده‌های اقلیمی برحسب تولید بالقوه، محدودیت‌ها و کاهش آزمایش‌های درازمدت مزرعه‌ای در منطقه شمال کشور جهت حصول نتایج قابل‌تعمیم از این مدل استفاده کرد.

استناد: دهپوری، ف.؛ براری تاری، د.؛ نیک‌نژاد، ی.؛ فلاح آملی، هـ.؛ امیری، ا. (۱٤۰۲). شبیه‌سازی عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ذرت در مدیریت مختلف کود نیتروژن با استفاده از مدل CERES-Maize. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱٦ (۳)، ٤۸-۳۳.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.20778.2548

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

ذرت پس از گندم و برنج سومین محصول مهم در ایران و جهان است. این محصول به دلیل عملکرد بالا در واحد سطح و هزینه پایین تولید امروزه بسیار موردتوجه قرارگرفته است (۱). در ایران نیز ذرت دانه‌ای ازجمله گیاهان زراعی مهم به شمار می‌رود که سطح زیر کشت آن بر اساس گزارش فائو ۲۰۷ هزار هکتار و تولید آن معادل یک میلیون و چهارصد هزار تن می‌باشد که ۲/۸ درصد از کل تولید غلات در کشور را شامل می‌گردد (۱). میزان نیاز سالانه کشور به ذرت دانه‌ای حدود ۹ میلیون تن است که با توجه به اهمیت ذرت در مصارف متعدد ازجمله غذای انسان خوراک دام و تولید دارویی و صنعتی می‌توان بیان داشت که تولید داخلی جواب‌گوی مصرف نیست و بنابراین هدف اصلی در تولید این گیاه بیشتر بر افزایش عملکرد و تولید متمرکز است (۲). مدیریت زراعی نقش اساسی در فرایند تولید گیاه ذرت ایفا می‌نماید و کمیت و کیفیت محصول ازجمله عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این بین مدیریت عناصر غذایی دارای اهمیت فراوانی در تولید گیاهان ازجمله ذرت دارد و فرایندهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و فنولوژیکی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ازجمله این عوامل محدودکننده رشد گیاه ذرت عنصر نیتروژن است که نقش به سزایی در فرآیند عملکرد محصولات زراعی مختلف به‌خصوص غلات دارد (۳، ٤، ٥). کمبود نیتروژن در حال تبدیل‌شدن به بزرگ‌ترین مشکل در زمینه منابع غذایی موردنیاز گیاهان در سراسر جهان است، بنابراین کمبود نیتروژن همراه با رشد سریع جمعیت نیازمند دستورالعمل‌هایی جهت افزایش بهره‌وری نیتروژن در کشاورزی است (٦). عدم تعادل مصرف کود نیتروژن در ذرت می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بازده مصرف کود را بین ۲۹ تا ۵۰ درصد کاهش دهد؛ بنابراین وجود تکنیک‌های مدیریتی و شرایط متنوع محیطی و همچنین مطالعه اثرات آن‌ها بر قدرت باروری خاک و گیاه زراعی تبدیل به یک مسئله مهم در سیستم‌های کشاورزی است (۷). امروزه از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی برای برآورد الگوهای مدیریت زراعی در راستای استفاده مطلوب از منابع استفاده می‌شوند (۸). مدل‌های گیاهان زراعی می‌توانند اثرات کوتاه‌مدت یا بلندمدت نوسانات آب‌وهوا، خاک و شیوه‌های مدیریتی بر تعادل آب خاک، دینامیک مواد غذایی، رشد محصول و تولید محصول نهایی را به تصویر بکشند و همچنین به درک بیشتر از عملکرد سیستم‌ها در محیط‌های مختلف کمک کنند (۹). مدل‌ها باید کارایی تصمیم‌گیری برای مدیریت عناصر غذایی و آب را بهبود بخشند. مدل CERES – Maize یک مدل شبیه‌سازی رشد ذرت است که رشد ذرت را به‌صورت روزانه در واکنش به آب‌وهوا، شرایط محیطی، میزان کود، تجمع زیست‌توده کل و در نهایت عملکرد شبیه‌سازی می‌کند (۱۰). گزارش‌های متعددی در زمینه تأثیر نیتروژن بر خصوصیات زراعی ذرت و شبیه‌سازی صفات مختلف این گیاه توسط مدل CERES منتشر شده‌است (۱۱، ۱۲، ۱۳). برخی از گزارش‌ها حاکی از شبیه‌سازی مطلوب عملکرد و زیست‌توده تحت تأثیر مدیریت نیتروژن توسط مدل CERES – Maize است (١٤، ١٥، ١٦). با توجه به تفاوت مبانی محاسبات و شبیه‌سازی مدل‌های مختلف و تنوع مدل‌های موجود، برآورد کارایی مدل در شرایط مختلف زراعی گیاهان در هر منطقه ضروری است. از آنجائی که اطلاعات محدودی در زمینه توانمندی مدل CERES – Maize در شبیه‌سازی خصوصیات ذرت تحت تیمارهای مختلف مدیریت نیتروژن در منطقه مازندران موجود است، این مطالعه به منظور پارامتریابی مدل CERES – Maize در شبیه‌سازی عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی این

گیاه به دو شکل گرافیکی و آماری در شهرستان قائم‌شهر صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور پارامتریابی مدل CERES – Maize در گیاه ذرت تحت مدیریت مختلف نیتروژن، آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی در مرکز تحقیقات کشاورزی مازندران، ایستگاه قراخیل (قائم‌شهر) در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل: N_1: عدم مصرف کود (شاهد)، N_2: مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار پیش از کاشت، N_3: مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار پیش از کاشت، N_4: مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار پیش از کاشت، N_5: مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت + ۵۰ درصد در مرحله R_1)، N_6: مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت + ۵۰ درصد در مرحله R_1)، N_7: مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت + ۵۰ درصد در مرحله R_1)، N_8: ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از کاشت + یک‌سوم در مرحله R_1 + یک‌سوم در مرحله R_3)، N_9: ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از کاشت + یک‌سوم در مرحله R_1 + یک‌سوم در مرحله R_3)، N_{10}: ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از کاشت + یک‌سوم در مرحله R_1 + یک‌سوم در مرحله R_3). در این آزمایش از رقم هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد. ردیف‌های کاشت به طول ۵ متر و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. فاصله بوته روی ردیف ۱۳ سانتی‌متر و هر کرت شامل ۶ خط کاشت بود. خصوصیات خاک منطقه در طول اجرای آزمایش در جدول شماره یک نشان داده‌شده است.

قبل از کاشت بذر، مطابق با الگوی رایج منطقه کودهای پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌تمامی کرت‌ها داده شد. برای کود نیتروژن از منبع کود اوره استفاده گردید. کاشت بذور در تاریخ ۱۳۹۶/۰۲/۲۷ و ۱۳۹۷/۰۳/۰۲ در عمق ۴ سانتی‌متر و به‌صورت دستی انجام شد. در مرحله ۳ تا ۴ برگی ذرت، عملیات تنک انجام و جهت جلوگیری از رقابت با علف هرز، در طول داشت وجین و کنترل علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی و دستی صورت گرفت و عملیات داشت طبق الگوی معمول منطقه انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی در طول دوره رشد بر اساس شرایط محیطی و نیاز گیاه انجام شد که در مجموع تا زمان برداشت ۷ نوبت آبیاری صورت پذیرفت و پس از رسیدگی فیزیولوژیک برداشت در نیمه دوم شهریورماه انجام شد. تاریخ ظهور گیاهچه، گل تاجی، کاکل و مرحله شیری شدن و رسیدگی فیزیولوژیکی با بررسی و مشاهده میدانی مزرعه و با ملاک قرار دادن رسیدن ۵۰ درصد هر کرت به مرحله فنولوژیکی موردنظر برای هر کرت انجام و یادداشت‌برداری شد. نمونه‌برداری برای محاسبه زیست‌توده در سطح نیم مترمربعی (۰/۵×۱ متر) در هر کرت با کف بر نمودن نمونه‌ها انجام گردید. بعد از آن نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده‌شد و سپس با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ وزن خشک کل بوته (ساقه، برگ و بلال) توزین گردید. عملکرد نهایی با برداشت یک مترمربع از هر کرت آزمایشی در ردیف‌های میانی و پایینی با حذف نیم متر از ردیف‌های بالا و پایین و محاسبه عملکرد دانه بر مبنای کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. برای برآورد نیتروژن از بافته‌ای موردنظر (برگ و ساقه در مرحله حداکثر رشد رویشی و دانه

در مرحله رسیدگی بلال) مقداری انتخاب گردید و سپس در آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک گردید و بعد وزن و سپس آسیاب شد و سپس یک گرم از نمونه آسیاب شده توزین و میزان نیتروژن به روش کجلدال در آزمایشگاه آنالیز گیاه و خاک مازندران (بابل) به دست آمد (۱۷). همچنین برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در مرحله حداکثر پنجه دهی از وسط هر کرت ۵ بوته انتخاب و با استفاده از دستگاه تعیین سطح برگ این شاخص برآورد گردید (۱۸).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد آزمایش در سال‌های اجرای آزمایش

Table 1. Soil physiochemical characteristics of the tested area during the years of experiment

سال زراعی Crop year	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	پتاسیم قابل تبادل (میلی‌گرم در کیلوگرم) Exchangeable potassium ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر قابل تبادل (میلی‌گرم در کیلوگرم) Exchangeable phosphorous ($mg\ kg^{-1}$)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
2018	لومی Loam	6.56	30.33	48.46	21	147.33	13.16	1.09
2019	لومی Loam	6.45	31.43	48.7	19.87	148.25	14.8	1.16

مدل CERES-Maize: مدل CERES – Maize به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین و قدیمی‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی و همچنین به‌عنوان یکی از پرکاربردترین مدل‌های زیرمجموعه DSSAT شناخته می‌شود. مدل CERES در ذرت فرایندهای فیزیولوژیکی رشد، عملکرد و شاخص‌های بهره‌وری مرتبط را بررسی می‌کند (۱۵، ۱۶، ۱۹). جهت شبیه‌سازی، ضرایب ژنتیکی خاص برای تعیین رشد و نمو فیزیولوژیکی تحت شرایط خاص مانند دما، دوره نوری و تشخیص ماده خشک موردنیاز است. مدل CERES – Maize رشد گیاه را بر اساس داده‌های ورودی دقیق شبیه‌سازی می‌کند که شامل داده‌های زراعی مزرعه، ویژگی‌های خاک، داده‌های آب و هوای روزانه، ویژگی‌های رقم و داده‌های محصول است. مدل برای واریته‌های مختلف ذرت و در مناطق مختلف جهان پارامتریابی شده و ضرایب ژنتیکی به‌دست‌آمده در بانک اطلاعاتی مدل موجود می‌باشد.

برای استفاده از مدل CERES – Maize برای ذرت هیبرید رقم سینگل کراس ۷۰٤ در یک منطقه جدید مانند قائم‌شهر لازم است ابتدا ضرایب ژنتیکی این رقم تخمین زده شوند. ضرایب به‌دست‌آمده در این آزمایش برای این هیبرید در جدول شماره دو نشان داده شده است که P1 نشان‌دهنده مقدار درجه روز-رشد (GDD) از مرحله جوانه‌زنی تا انتهای فاز جوانی (براساس دمای پایه ۸ درجه سانتی‌گراد)، P2: اثر مدت روشنایی برحسب روز بر ساعت، P5: مقدار فتوپریود از زمان ابریشمی شدن تا رسیدن فیزیولوژیک برحسب درجه سانتی‌گراد، G2: حداکثر تعداد دانه در هر گیاه، G3: سرعت رشد دانه در مرحله پر شدن دانه برحسب میلی‌گرم در روز، PHINT: فاصله زمانی بین ظاهر شدن دو برگ به‌طور متوالی بر حسب درجه روز-رشد و K بیانگر ضریب خاموشی گیاه می‌باشند.

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی محاسبه شده برای ذرت رقم هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در منطقه قائم‌شهر.

Table 2. Calculated genetic coefficients for single cross hybrid corn cv. 704 in Qaemshahr region.

ضریب خاموشی K(%)	فاصله بین ظاهر شدن دو برگ (PHINT)	سرعت رشد دانه در مرحله پر شدن دانه G3(mg/day)	حداکثر تعداد دانه در گیاه G2 (Max دانه)	مقدار فتوپریود از زمان ابریشمی شدن تا رسیدن فیزیولوژیک P5 (GDD)	اثر مدت روشنایی P2 (GDD)	زمان جوانه زنی تا انتهای فاز جوانی P1 (GDD)
0.65	60	7.5	880	700	8	430

ارزیابی مدل: اطلاعات عوامل فنولوژیک، روند شاخص سطح برگ، روند عملکرد ماده خشک و عملکرد ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف که از سایر تیمارهای آزمایش که به منظور استخراج پارامتر و پارامتریابی مدل از آن‌ها استفاده نشده‌بود، استخراج گردید و برای تعیین اعتبار مدل CERES – Maize استفاده شد. شاخص‌های ارزیابی مورداستفاده در این بررسی شامل برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ($RMSE_n$) بود که از طریق روابط ذیل حاصل گردید.

$$RMSE = (\sum_{I=1}^{n} (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5} \quad (۳)$$

$$RMSEn = 100(\sum_{I=1}^{n} (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5} / \overline{O} \quad (۴)$$

که در این روابط: P_i معرف مقادیر پیش‌بینی‌شده، O_i معرف مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌شده)، n تعداد نمونه‌های به‌کاررفته و $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. چنانچه مقدار ریشه مجذور خطای نرمال شده کمتر از ۱۰، بین ۲۰ –۱۰، بین ۳۰ – ۲۰ و بیشتر از ۳۰ باشد به ترتیب نشان‌دهنده حالت عالی، خوب، متوسط و ضعیف شبیه‌سازی می‌باشد. از داده‌های سال ۱۳۹۷ برای پارامتریابی مدل و داده‌های سال ۱۳۹۸ برای ارزیابی مدل استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: نتایج بررسی متغیرهای آماری در شبیه‌سازی عملکرد دانه نشان داده‌است که ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه در شرایط پارامتریابی و ارزیابی به ترتیب ۴۱۱ و ۴۲۳ کیلوگرم در هکتار بوده است (جدول ۳). همچنین مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه در شرایط پارامتریابی و ارزیابی ۶ درصد بود (جدول ۳). نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در تیمارهای مختلف نیتروژن با مقادیر مشاهده شده در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). دامنه تغییرات عملکرد دانه در سال زراعی ۱۳۹۷ بین ۶۶۵۴ و ۹۵۵۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که این مقدار در حالت شبیه‌سازی‌شده بین ۶۸۵۴ و ۹۸۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین در سال زراعی ۱۳۹۸ مقدار عملکرد بین ۶۸۳۲ و ۸۹۷۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد درحالی‌که این مقدار در حالت شبیه‌سازی‌شده بین ۶۶۹۸ و ۸۸۲۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۴).

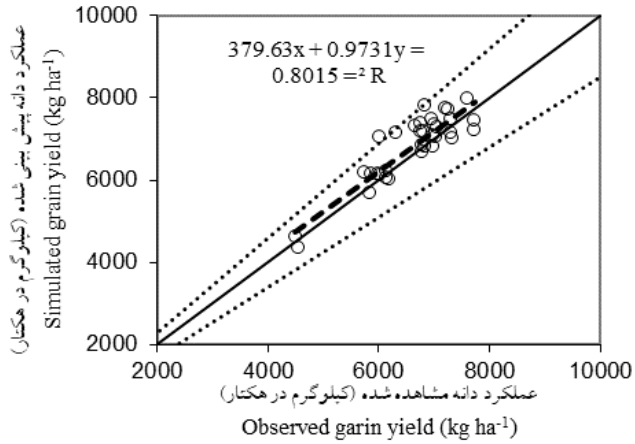
با توجه به ضریب تبیین به‌دست‌آمده حاصل تجزیه رگرسیون خطی توابع بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده (R^2=۰/۸۰)، RMSE و $RMSE_n$ پایین و همچنین خط ۱:۱ نشان‌دهنده آن است که مدل مقادیر مناسبی را از این پارامتر پیش‌بینی نموده است (شکل ۱). نتایج حاصل با گزارش‌های دجونگه و همکاران (۲۰۱۲) و منданی

و همکاران (۲۰۱۸) در زمینه قابلیت مطلوب مدل CERES در شبیه‌سازی عملکرد ذرت مطابقت داشت (۱۹ و ۱۲). عثمان و همکاران (۲۰۱٦)، روگیرا و همکاران (۲۰۲۱) و حماد و همکاران (۲۰۱۸)، نشان داده‌اند که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در مقدار عملکرد در شرایط پارامتریابی مدل CERES-Maize به‌ترتیب ٦، ۱۱ و ۱۱ درصد بود (۲۰، ۳، ۱۰).

جدول ۳- نتایج حاصل از کالیبراسیون و ارزیابی داده‌ها با استفاده از مدل CERES-Maize

Table 3. Results of data calibration and validation using the CERES-Maize model

	صفات Traits	تعداد نمونه No. sample	O_{mean}	P_{mean}	R^2	P(t)	RMSE	$RMSE_n$ (%)
کالیبراسیون مدل Model calibration	عملکرد دانه Grain yield	10	8192	8511	0.79	0.15	411	6
	زیست‌توده Biomass	10	17065	16958	0.84	0.44	671	5
	نیتروژن کل اندام هوایی Shoot total nitrogen	10	169	172	0.90	0.42	10	8
	شاخص سطح برگ Leaf area index	10	5	4	0.78	0.00	1	23
اعتبار سنجی مدل Model validation	عملکرد دانه Grain yield	10	8213	8397	0.81	0.31	423	6
	زیست‌توده Biomass	10	17167	16648	0.85	0.27	910	6
	نیتروژن کل اندام هوایی Shoot total nitrogen	10	169	175	0.86	0.5	13	9
	شاخص سطح برگ Leaf area index	10	5	4	0.94	0.14	1	17



شکل ۱- مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

(خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می‌باشد)

Figure 1. Comparison of simulated and measured grain yield in 2017 and 2018. (Continuous line represents the 1:1 line and upper and lower dashed lines represent 1:1.15 and 1:0.85 lines, respectively)

جدول ٤- نتایج حاصل از مقادیر عملکرد شبیه‌سازی و مشاهده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 4. The results of simulated and observed yield values in 2018 and 2019

2018				2019		
تیمار Treatment	مشاهده‌شده Observed	شبیه‌سازی‌شده Simulated	درصد خطای نسبی Relative error (%)	مشاهده شده Observed	شبیه‌سازی‌شده Simulated	درصد خطای نسبی Relative error (%)
N_1	6654	6854	5	6832	6698	1
N_2	8910	9177	3	8150	7066	-1
N_3	8211	8531	7	8199	7021	-3
N_4	9550	9836	2	6832	6698	-2
N_5	8694	8954	17	8322	8149	13
N_6	7232	7542	1	7142	8097	2
N_7	9654	9850	0	8970	8823	0
N_8	7920	7509	-2	8970	7213	-2
N_9	7264	8123	10	8843	8808	14
N_{10}	7921	8734	5	8298	8486	3

N_1. عدم مصرف کود (شاهد) N_2. مصرف ٦٠ کیلوگرم نیتروژن پیش از کاشت N_3. مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن پیش از کاشت N_4. مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن پیش از کاشت N_5. مصرف ٦٠ کیلوگرم نیتروژن در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت و ۵۰ درصد در مرحله R_1). N_6. مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت و ۵۰ درصد در مرحله R_1). N_7. مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در دو مرحله (۵۰٪ پیش از کاشت و ۵۰ درصد در مرحله R_1). N_8. ٦٠ کیلوگرم نیتروژن در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از کاشت + یک‌سوم در مرحله R1 + یک‌سوم در مرحله R3). N_9. ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از کاشت + یک‌سوم در مرحله R_1 + یک‌سوم در مرحله R_3). N_{10}. ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در ۳ مرحله (یک‌سوم پیش از کاشت + یک‌سوم در مرحله R_1 + یک‌سوم در مرحله R_3)

N_1. No use of fertilizer (control), N_2. Consumption of 60 kg of nitrogen before planting, N_3. Consumption of 120 kg of nitrogen before planting, N_4. Consumption of 180 kg of nitrogen before planting, N_5. Consumption of 60 kilograms of nitrogen in two stages (50% before planting and 50% in stage R1), N_6. Consumption of 120 kg of nitrogen in two stages (50% before planting and 50% in stage R1), N_7. Consumption of 180 kg of nitrogen in two stages (50% before planting and 50% in stage R1), N_8. 60 kg of nitrogen in 3 stages (one third before planting + one third in stage R1 + one third in stage R3), N_9. 120 kg of nitrogen in 3 stages (one third before planting + one third in stage R1 + one third in stage R3), N_{10}. 180 kg of nitrogen in 3 stages (one third before planting + one third in stage R1 + one third in R_3 stage)

زیست‌توده: ریشه میانگین مربعات خطای زیست‌توده در شرایط پارامتریابی و ارزیابی به‌ترتیب ٦٧١ و ۹۱۰ کیلوگرم در هکتار بود و همچنین مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیست‌توده در شرایط پارامتریابی و ارزیابی به ترتیب ۵ و ٦ درصد بود (جدول ۳). از طرفی نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در تیمارهای مختلف نیتروژن با مقادیر مشاهده‌شده در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

دامنه تغییرات زیست‌توده در سال زراعی ۱۳۹۷ بین ۱۵۸۳۰ و ۱۹۳۷۹ کیلوگرم در هکتار بود که این مقدار در حالت شبیه‌سازی‌شده بین ١٤٧٣٢ و ١٧٤٧٢ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. همچنین در سال زراعی ۱۳۹۸ مقدار زیست‌توده بین ١١٤٣٣ و ١٥١١٤ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد درحالی‌که این مقدار در حالت شبیه‌سازی‌شده بین ۱۰۹۹۲ و ١٤٩١١ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۵). ضریب تبیین به‌دست‌آمده حاصل از تجزیه رگرسیون خطی توابع بین زیست‌توده اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده برابر ۰/۸۳ بود که این مقدار به‌خوبی نشان داد که مدل مقادیر مناسبی را از این پارامتر پیش‌بینی نمود. علاوه بر آن، سایر پارامترهای آماری و

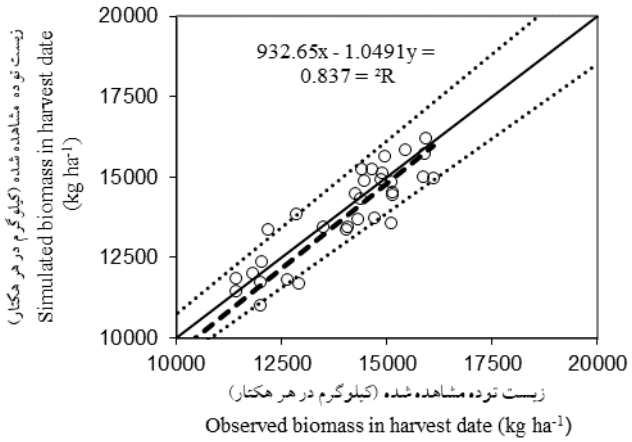
نمودار خط ۱:۱ نیز تأییدکننده مطلب فوق می‌باشد (شکل ۲).

مبین و همکاران (۱۵) در بررسی شبیه‌سازی خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت تحت تأثیر مقادیر مختلف و تقسیط کود نیتروژن، ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیست‌توده به ترتیب ٤٢١٤ و ۲۵ درصد گزارش نمودند که نتایج این تحقیق شبیه‌سازی را در ارتباط با زیست‌توده مناسب‌تر از ارزیابی مذکور برآورد نموده است (۱۵).

جدول ۵- نتایج حاصل از مقادیر زیست‌توده شبیه‌سازی و مشاهده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

Table 5. The results of simulated and observed biomass values in 2018 and 2019.

	2018			2019		
تیمار	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	درصد خطای نسبی	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	درصد خطای نسبی
Treatment	Observed	Simulated	Relative error (%)	Observed	Simulated	Relative error (%)
N_1	15830	14732	1	11433	10992	3
N_2	17638	14805	-7	12916	11674	-10
N_3	16423	14842	4	11433	11444	0
N_4	17018	14732	-2	12000	10992	-8
N_5	17187	16377	10	12858	13826	8
N_6	19071	16429	-5	14726	13705	-7
N_7	19379	17472	-1	15114	14911	-4
N_8	19050	16356	-5	12033	13574	-10
N_9	17472	17300	-1	15102	14826	-2
N_{10}	19266	14996	-7	14868	12346	-5



شکل ۲- مقایسه زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

(خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می‌باشد)

Figure 2. Comparison of simulated and measured biomass in harvest date in 2017 and 2018. (Continuous line represents the 1:1 line and upper and lower dashed lines represent 1:1.15 and 1:0.85 lines, respectively)

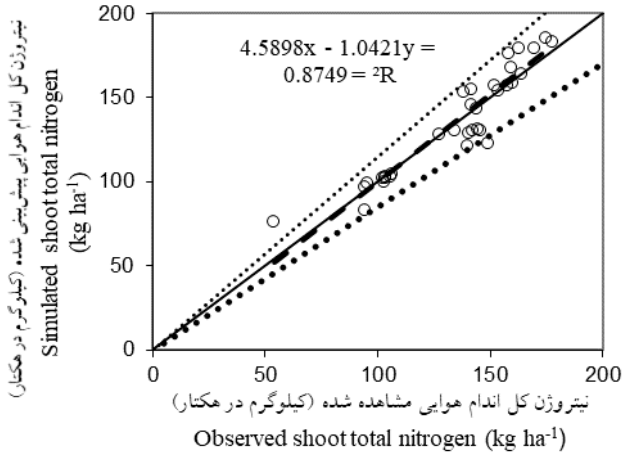
نیتروژن کل اندام هوایی: بر اساس نتایج ریشه میانگین مربعات خطا در شرایط پارامتریابی و ارزیابی به ترتیب برابر ۱۰ و ۱۳ بود. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده نیتروژن در شرایط پارامتریابی و ارزیابی به ترتیب ۸ و ۹ درصد بود (جدول ۳). از طرفی نتایج آزمون t نشان داد که

مقادیر نیتروژن کل اندام هوایی شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در تیمارهای مختلف نیتروژن با مقادیر مشاهده‌شده در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

دامنه تغییرات نیتروژن کل اندام هوایی در سال زراعی ۱۳۹۷ بین ۱۳٤ و ۱۸٤ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که این مقدار در حالت شبیه‌سازی‌شده بین ۱۲۷ و ۱۸۳ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین در سال زراعی ۱۳۹۸ مقدار نیتروژن کل اندام هوایی بین ۱٤۲ و ۱۸۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد درحالی‌که این مقدار در حالت شبیه‌سازی‌شده بین ۱۵۲ و ۱۹٦ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ٦).

مقایسه بین داده‌های نیتروژن کل اندام هوایی مشاهده شده و پیش‌بینی‌شده نشان داد که داده‌ها در دامنه ۱۵٪ از خط ۱:۱ قرار دارند که بیانگر کارایی خوب مدل می‌باشد (شکل ۳). ضریب تبیین بین این مقادیر در خصوص نیتروژن کل اندام هوایی برابر ۰/۸۷ به دست آمد (شکل ۳). لذا با توجه به جذر میانگین مربعات خطا و مقدار نرمال شده آن و ضریب تبیین بالا می‌توان بیان داشت که مدل از توانایی بالایی در پیش‌بینی نیتروژن کل اندام هوایی برخوردار است.

نتایج تحقیقاتی نشان داده است که مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال در بررسی مدیریت‌های مختلف کود نیتروژن در مقدار نیتروژن کل اندام هوایی به ترتیب برابر با ۲۰ و ۱۵ بود (۱٦). باسو و همکاران (۲۰۱٦) در مطالعات خود بر روی ذرت با استفاده از مدل CERES-Maize مقدار ریشه میانگین مربعات خطا را برای دو حالت پارامتریابی و ارزیابی برای صفت مقدار نیتروژن کل گیاه به ترتیب ۳۰ و ۲۹ گزارش کردند (۱۱). همچنین ایشان ریشه میانگین مربعات خطای نرمال در هر دو حالت پارامتریابی و ارزیابی برابر ۲۸ گزارش کردند. لذا ایشان نتیجه گرفتند که این مدل از توانایی خوبی در پیش‌بینی نیتروژن اندام هوایی گیاه برخوردار است (۱۱).



شکل ۳- مقایسه نیتروژن کل اندام هوایی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

(خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می‌باشد)

Figure 3. Comparison of simulated and measured shoot total nitrogen in 2017 and 2018. Continuous line represents the 1:1 line and upper and lower dashed lines represent 1:1.15 and 1:0.85 lines, respectively.

جدول ٦- نتایج حاصل از مقادیر نیتروژن شبیه‌سازی و مشاهده شده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 6. The results of simulated and observed nitrogen values in 2018 and 2019

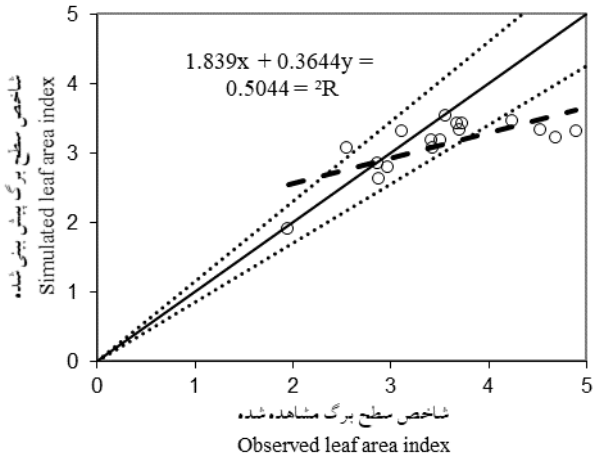
	2018			2019		
تیمار Treatment	مشاهده‌شده Observed	شبیه‌سازی‌شده Simulated	درصد خطای نسبی Relative error (%)	مشاهده‌شده Observed	شبیه‌سازی‌شده Simulated	درصد خطای نسبی Relative error (%)
N_1	134	127	3	142	152	4
N_2	143	130	-3	146	159	3
N_3	143	132	-1	143	153	5
N_4	146	133	-3	146	154	-2
N_5	180	151	-14	182	173	-18
N_6	167	158	1	182	180	-9
N_7	181	159	-8	185	181	-9
N_8	174	160	-3	185	180	-11
N_9	184	173	-1	181	196	3
N_{10}	178	183	11	189	195	9

شاخص سطح برگ: ریشه میانگین مربعات خطا در پارامتریابی و ارزیابی شبیه‌سازی حداکثر شاخص سطح برگ توسط مدل CERES- Maize برابر با یک بود. همچنین ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در پارامتریابی و ارزیابی تحت شرایط تیمارهای مختلف نیتروژن به ترتیب برابر با ۲۳ و ۱۷ بود (جدول ۳). بیشترین درصد خطای نسبی در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به ترتیب برابر با ۳۱ و ۲۱ درصد در تیمار N_9 مشاهده شد (جدول ۷). از طرفی نتایج آزمون t نشان داد که شاخص سطح برگ شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در تیمارهای مختلف نیتروژن با مقادیر مشاهده‌شده در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی بین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی و اندازه‌گیری نشان داد که ضریب تبیین (R^2) مدل برابر ۰/۵۰ بود و از طرفی تمام داده‌ها در دامنه ۱۵٪ از خط ۱:۱ قرار نگرفتند (شکل ٤). نتایج بیانگر این است که دقت مدل در برآورد شبیه‌سازی حداکثر شاخص سطح برگ به میزان برآورد دیگر صفات موردبررسی در این تحقیق نمی‌باشد. در شرایط واقعی مقدار پایین کود نیتروژن منجر به کاهش سطح ویژه و کاهش سطح برگ شده که این نتایج با مشاهدات بالدراما و همکاران (۲۰۱٦) مطابقت داشت (١٦).

جدول ۷- نتایج حاصل از شاخص سطح برگ شبیه‌سازی و مشاهده‌شده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 7. The results of simulated and observed leaf area index in 2018 and 2019

	2018			2019		
تیمار Treatment	مشاهده‌شده Observed	شبیه‌سازی‌شده Simulated	خطای نسبی درصد Relative error (%)	مشاهده‌شده Observed	شبیه‌سازی‌شده Simulated	خطای نسبی درصد Relative error (%)
N_1	4.12	3.7	3	4.12	3.56	2
N_2	4.45	3.8	6	4.42	3.78	6
N_3	4.42	3.8	5	4.34	3.91	10
N_4	4.21	4.1	0	4.14	4.53	-7
N_5	4.87	4	10	4.24	4.38	-3
N_6	5.12	4	10	5.01	4.35	5
N_7	4.25	4.2	10	4.39	4.26	-3
N_8	5.19	3.89	19	5.34	4.71	11
N_9	6.1	4.11	27	6.14	4.54	18
N_{10}	6.08	4.09	31	6.17	4.52	21



شکل ٤- مقایسه شاخص سطح برگ شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸. (خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می‌باشد)

Figure 4. Comparison of simulated and measured leaf area index in 2017 and 2018. Continuous line represents the 1:1 line and upper and lower dashed lines represent 1:1.15 and 1:0.85 lines, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی شبیه‌سازی برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه ذرت در مدیریت مختلف مصرف نیتروژن با استفاده از مدل CERES-Maize نشان داده است که مدل توانسته است عملکرد، زیست‌توده، نیتروژن کل اندام هوایی را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی می‌کند که می‌توان باملاحظه ضریب تبیین داده‌های حاصل از پارامتریابی و ارزیابی در صفات مذکور به این مورداشاره کرد. همچنین نشان داده شد که مدل CERES-Maize شبیه‌سازی صفت شاخص سطح برگ را به‌خوبی دیگر صفات انجام نداد. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی بین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R^2) برای داده‌های پارامتریابی مدل برابر ۰/٦۹ و برای داده‌های ارزیابی مدل برابر ۰/۵۷ بوده است. در حالی که R^2 برای داده‌های عملکرد در پارامتریابی مدل برابر ۰/۷۹ و برای داده‌های ارزیابی مدل برابر ۰/۸۱ بوده است. نتایج در ارتباط با داده‌های سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ نشان داده است که مقادیر شبیه‌سازی‌شده نیتروژن در سطح اطمینان ۰/۹۵ اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری شده ندارد. همچنین تجزیه رگرسیون خطی بین نیتروژن اندام هوایی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده طبق داده‌های دوساله نشان می‌دهد که ضریب تبیین R^2 برابر ۰/۸۷ بود؛ که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی عملکردی نیتروژن کل اندام هوایی دارد با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان بیان نمود که مدل CERES-Maize قادر است در برنامه‌ریزی‌های زراعی کشت ذرت و همچنین کاهش برخی از فعالیت‌های زراعی در کارهای تحقیقاتی بر روی گیاه ذرت مورداستفاده قرار گیرد. همچنین در تفسیر داده‌های اقلیمی برحسب تولید بالقوه و محدودیت‌ها و همچنین کاهش آزمایش‌های درازمدت مزرعه‌ای در منطقه شمال کشور جهت حصول نتایج قابل‌تعمیم از این مدل استفاده کرد. بیشترین عملکرد در ذرت طی شبیه‌سازی در این تحقیق طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در تیمار مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن به‌صورت ۵۰ درصد پایه + ۵۰ درصد در مرحله R_1 با مقادیر به ترتیب ۹۸۵۰ و ۸۸۲۳ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید که این میزان در مقادیر مشاهده‌شده برابر با ۹٦۵٤ و ۸۹۷۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای سال‌های

۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ بود. نتایج این بررسی نشان داد که بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های مشاهده‌شده عملکرد دانه اختلاف ناچیزی وجود داشت که نشان‌دهنده توانایی بالای مدل CERES-Maize در شبیه‌سازی عملکرد دانه در تیمارهای مختلف بود.

References

1. Abedinpour, M. (2021). The comparison of DSSAT-CERES and AquaCrop models for wheat under water–nitrogen interactions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(17), 2002-2017.
2. Fathi, A., Barari Tari, D., Fallah Amoli, H., & Niknejad, Y. (2020). Study of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions in corn production systems: influence of different tillage systems and use of fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *51*(6), 769-778.
3. Rugira, P., Ma, J., Zheng, L., Wu, C., & Liu, E. (2021). Application of DSSAT CERES-maize to identify the optimum irrigation management and sowing dates on improving maize yield in Northern China. *Agronomy*, *11*(04), 674.
4. Lu, J., Hu, T., Zhang, B., Wang, L., Yang, S., Fan, J., ... & Zhang, F. (2021). Nitrogen fertilizer management effects on soil nitrate leaching, grain yield and economic benefit of summer maize in Northwest China. *Agricultural Water Management*, *247*, 106739.
5. Hou, P., Liu, Y., Liu, W., Liu, G., Xie, R., Wang, K., ... & Li, S. (2020). How to increase maize production without extra nitrogen input. *Resources, Conservation and Recycling*, *160*, 104913.
6. Attia, A., El-Hendawy, S., Al-Suhaibani, N., Tahir, M. U., Mubushar, M., dos Santos Vianna, M., ... & Datta, A. (2021). Sensitivity of the DSSAT model in simulating maize yield and soil carbon dynamics in arid Mediterranean climate: Effect of soil, genotype and crop management. *Field crops research*, 260, 107981.
7. Tofa, A. I., Chiezey, U. F., Babaji, B. A., Kamara, A. Y., Adnan, A. A., Beah, A., & Adam, A. M. (2020). Modeling planting-date effects on intermediate-maturing maize in contrasting environments in the Nigerian Savanna: An Application of DSSAT Model. *Agronomy*, 10(6), 871.
8. Malik, W., Isla, R., & Dechmi, F. (2019). DSSAT – CERES - maize modelling to improve irrigation and nitrogen management practices under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, *213*, 298-308.
9. Jha, P. K., Ines, A. V., & Singh, M. P. (2021). A multiple and ensembling approach for calibration and evaluation of genetic coefficients of CERES-maize to simulate maize phenology and yield in Michigan. *Environmental Modelling & Software*, *135*, 104901.
10. Hammad, H. M., Abbas, F., Ahmad, A., Farhad, W., Anothai, J., & Hoogenboom, G. (2018). Predicting water and nitrogen requirements for maize under semi-arid conditions using the CSM –CERES - Maize model. *European Journal of Agronomy,* 100, 56-66.
11. Basso, B., Liu, L., & Ritchie, J. T. (2016). A comprehensive review of the CERES-wheat,-maize and-rice models' performances. *Advances in agronomy*, 136, 27-132.
12. Mondani, F. (2018). Simulation of nitrogen fertilizer effect on maize (*Zea maize*) production by CERES-Maize model under Kermanshah climate condition. *Water and Soil*, *31*(6), 1665-1678.
13. Shen, H., Xu, F., Zhao, R., Xing, X., & Ma, X. (2020). Optimization of Sowing Date, Irrigation, and Nitrogen Management of Summer Maize Using the DSSAT-CERES-Maize Model in the Guanzhong Plain, China. *Transactions of the ASABE*, *63*(4), 789-797.
14. Feleke, H. G., Savage, M. J., & Tesfaye, K. (2021). Calibration and validation of

APSIM–Maize, DSSAT CERES–Maize and AquaCrop models for Ethiopian tropical environments. *South African Journal of Plant and Soil*, *38*(1), 36-51.

15. Mubeen, M., Ahmad, A., Wajid, A., Khaliq, T., Hammad, H. M., Sultana, S. R., ... & Nasim, W. (2016). Application of CSM-CERES-Maize model in optimizing irrigated conditions. *Outlook on Agriculture*, 45(3), 173-184.
16. Balderama, O., Alejo, L., & Tongson, E. (2016). Calibration, validation and application of CERES-Maize model for climate change impact assessment in Abuan Watershed, Isabela, Philippines. *Climate, Disaster and Development Journal*, 2(1), 11-20.
17. Liu, B. Y., Lin, B. J., Li, X. X., Virk, A. L., Yves, B. N. D., Zhao, X., ... & Zhang, H. L. (2021). Appropriate farming practices of summer maize in the North China Plain: Reducing nitrogen use to promote sustainable agricultural development. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105889.
18. Ferreira, A. S., Balbinot Junior, A. A., Werner, F., Zucareli, C., Franchini, J. C., & Debiasi, H. (2016). Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. *Bragantia*, *75*, 362-370.
19. DeJonge, K. C., Ascough Ii, J. C., Andales, A. A., Hansen, N. C., Garcia, L. A., & Arabi, M. (2012). Improving evapotranspiration simulations in the CERES-Maize model under limited irrigation. *Agricultural Water Management*, 115, 92-103.
20. Osman, N. A., Helal, R., & Basha, D. (2016). Evaluating Ceres-Maize Model under Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Rate in Medial Egypt. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, *7*(9), 603-609.