University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Simulation of Rice Leaf Area, Yield, and Nitrogen Content in Different Nitrogen Utilization Management via the ORYZA2000 Model

Elham Modiri[1] | Davood Barari Tari[2]✉ | Ebrahim Amiri[3] | Yousef Niknejad[4] | Hormoz Fallah Amoli[5]

1. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. E-mail: Elham.Modiri@iau.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. E-mail: Davood.Barari@iau.ac.ir
3. Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: Ebrahim.Amiri@iau.ac.ir
4. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. E-mail: Yousef.Niknejad@iau.ac.ir
5. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. E-mail: Hormoz.Falah@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 18 May 2022
Received in revised form 17 April 2024
Accepted 30 April 2024
Published online 12 June 2024

Keywords:
Leaf area
Simulation
Splitting of nitrogen fertilization
Validation
Yield

ABSTRACT

Objective: In order to simulate yield, leaf area, and nitrogen content in rice plant by using the ORYZA2000 model under different nitrogen fertilizer amounts and various splitting approaches, a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was carried out at a research farm located in the Mazandaran Province (Babol) during 2017-18.

Methods: The first factor comprised four nitrogen fertilizer rates (50, 90, 130, and 170 Kg n ha^{-1}, supplied as urea) and the second factor comprised various fertilizer splitting appraoches (T_1: 70% basal+ 30% in tillering stage; T_2: 33.33% basal+ 33.33% in tillering stage+ 33.33% in panicle initiation stage; T_3: 25% basal+ 50% in tillering stage+ 25% in panicle initiation stage; T_4: 25% basal+ 25% in tillering stage+ 50% in panicle initiation stage).

Results: The results demonstrated that the model successfully simulated grain yield, biomass, grain nitrogen, and total nitrogen with RMSEn of four, four, nine, and six percent in calibration, and five, four, four, and eight percent in validation, respectively. The mean square error for the leaf area index was 0.5 and 0.4 in the model's calibration and validation, respectively.

Conclusion: Based on the results obtained, the ORYZA2000 model can be used as a suitbale simulation model for selecting the best strategy for enhancing rice yield under different nitrogen fertilizer management in the rice-rich regions of northern Iran.

Cite this article: Modiri, E., Barari Tari, D., Amiri, E., Niknejad, Y., & Fallah Amoli, H. (2024). Simulation of Rice Leaf Area, Yield, and Nitrogen Content in Different Nitrogen Utilization Management via the ORYZA2000 Model. *Journal of Crops Improvement*, 26 (2), 235-252. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.343268.2711

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.343268.2711

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

شبیه‌سازی سطح برگ، عملکرد و مقدار نیتروژن برنج در مدیریت مختلف مصرف نیتروژن با استفاده از مدل ORYZA2000

الهام مدیری[۱] | داود براری تاری[۲]✉ | ابراهیم امیری[۳] | یوسف نیک‌نژاد[۴] | هرمز فلاح آملی[۵]

۱. گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، واحد آیت‌اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. رایانامه: Elham.Modiri@iau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، واحد آیت‌اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. رایانامه: Davood.Barari@iau.ac.ir

۳. گروه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: Ebrahim.Amiri@iau.ac.ir

۴. گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، واحد آیت‌اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. رایانامه: Yousef.Niknejad@iau.ac.ir

۵. گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، واحد آیت‌اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. رایانامه: Hormoz.Falah@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

کلیدواژه‌ها:
اعتبارسنجی
تقسیط کود نیتروژن
سطح برگ
شبیه‌سازی
عملکرد

چکیده

هدف: به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد، سطح برگ و مقدار نیتروژن گیاه برنج با استفاده از مدل ORYZA2000 در مقادیر مختلف کود نیتروژنه و شیوه‌های متفاوت تقسیط کود، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی واقع در استان مازندران (بابل) طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

روش پژوهش: عامل اول شامل چهار سطح کود نیتروژنه (۵۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار، از منبع اوره) و عامل دوم شیوه‌های متفاوت تقسیط کود (T_1: ۷۰ درصد پایه+ ۳۰ درصد پنجه‌زنی، T_2: ۳۳/۳۳ درصد پایه+ ۳۳/۳۳ درصد پنجه‌زنی+ ۳۳/۳۳ درصد ظهور خوشه آغازین، T_3: ۲۵درصد پایه+ ۵۰ درصد پنجه‌زنی+ ۲۵ درصد ظهور خوشه آغازین، T_4: ۲۵ درصد پایه+ ۲۵ درصد پنجه‌زنی+ ۵۰ درصد ظهور خوشه آغازین) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مدل، عملکرد دانه، زیست‌توده، نیتروژن دانه و نیتروژن کل (مجموع دانه، ساقه و برگ) را به‌ترتیب با ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده چهار، چهار، نه و شش درصد در مرحله کالیبراسیون و پنج، چهار، چهار و هشت درصد در مرحله اعتبارسنجی به‌خوبی شبیه‌سازی نمود. میانگین مربعات خطا برای شاخص سطح برگ به میزان ۰/۵ و ۰/۴ به‌ترتیب در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مدل ORYZA2000 می‌تواند به‌عنوان یک مدل شبیه‌سازی مطلوب برای انتخاب مناسب‌ترین استراتژی جهت بهبود عملکرد برنج در مدیریت مختلف کود نیتروژن در مناطق برنج‌خیز شمال کشور استفاده شود.

استناد: مدیری، الهام؛ براری تاری، داود؛ امیری، ابراهیم؛ نیک‌نژاد، یوسف و فلاح آملی، هرمز (۱۴۰۳). شبیه‌سازی سطح برگ، عملکرد و مقدار نیتروژن برنج در مدیریت مختلف مصرف نیتروژن با استفاده از مدل ORYZA2000. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۲)، ۲۵۲-۲۳۵.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.343268.2711

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) نقش حیاتی در امنیت غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان را دارد (گوتاکر[1] و همکاران، ۲۰۲۰). در ایران این گیاه به‌عنوان دومین غذای اصلی با سطح زیر کشت حدود ۶۳۷ هزار هکتار که بیش از ۷۰ درصد سطح زیر کشت آن در استان‌های شمالی مازندران، گیلان و گلستان است شناخته می‌شود (وزارت کشاورزی[2]، ۲۰۲۲). با توجه به نقش برنج در سبد غذایی مردم جهان ازجمله ایران، توجه به فاکتورهای مؤثر در جهت افزایش تولید این محصول بسیار دارای اهمیت است.

مدیریت مصرف عناصر ضروری ازجمله مهم‌ترین عواملی است که باعث بهبود عملکرد گیاه برنج می‌گردد. با توجه به نقش ویژه نیتروژن بین عناصر غذایی در این گیاه، تعیین بهترین میزان و نحوه مصرف این عنصر ضروری است. استفاده از کود نیتروژن در زمان و به مقدار مناسب سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه برنج، مقاومت در برابر آفات، تجمع ماده خشک، ارتقای جذب مواد غذایی شده و درنتیجه به افزایش عملکرد دانه کمک می‌کند (ژائو[3] و همکاران، ۲۰۲۰). بیش‌تر مطالعاتی که درزمینه نیتروژن در گیاه برنج صورت پذیرفته بر روی کارایی مصرف، تأثیر بر عملکرد و اجزای عملکرد متمرکز شده است (اقبال[4] و همکاران، ۲۰۱۴؛ امیری[5] و همکاران، ۲۰۱۴). تعیین مقدار مطلوب استفاده از نهاده‌های کشاورزی مانند آب و کود و یا به‌عبارتی حرکت به سمت کشاورزی پایدار به‌عنوان یکی از چالش‌های جدی مدیریت کشاورزی نیازمند پژوهش‌های گسترده بوده که استفاده از مدل‌های رشد برای محصولات کشاورزی یکی از رویکردهای مؤثر برای دستیابی به این هدف است.

مدل‌سازی و تجزیه‌وتحلیل سامانه‌های گیاهی به ابزار مهمی در پژوهش‌های کشاورزی مدرن تبدیل شده‌اند و یکی از روش‌های نوین و مناسب جهت برآورد نیاز تغذیه‌ای گیاهان است. مدل فرایندهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی گیاه را در معادلات ریاضی ترکیب می‌کند. شکافی که بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی به‌وسیله کاربرد مدل‌ها و هم‌چنین داده‌های محاسبه‌شده واقعی حاصل می‌شود کارایی و اعتبار آن مدل را نشان می‌دهد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

مدل‌های گیاهی مختلفی از قبیل ORYZA2000، CropSyst، CERES-Rice، Infocrop، APSIM-ORYZA و AquaCrop برای شبیه‌سازی گیاه برنج وجود دارند (آرتاچو[6] و همکاران، ۲۰۱۱). این مدل‌ها برای مطالعه طیف گسترده‌ای از موارد مانند کشت مخلوط، پتانسیل تولید، شیوه‌های مدیریت جایگزین، پیش‌بینی عملکرد و ارزیابی اثر تغییر اقلیم مورداستفاده قرار می‌گیرند. مدل ORYZA2000 یکی از مدل‌های شبیه‌سازی گیاه برنج که به‌عنوان یک پروژه مشترک در زمینه تجزیه‌وتحلیل کمی سامانه رشد گیاه برنج توسط دانشگاه واخنینگن هلند[7] و مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج[8] معرفی شد و از یک طرح محاسباتی روزانه برای میزان تولید ماده خشک اندام‌های گیاهی و نرخ رشد فنولوژیکی پیروی می‌کند (بومن[9] و همکاران، ۲۰۰۱). مدل ORYZA2000 توسط پژوهش‌گران مختلفی در گیاه برنج موردارزیابی قرار گرفت که در اکثر موارد نتایج

1. Gutaker
2. Agricultural Ministry
3. Zhao
4. Iqbal
5. Amiri
6. Artacho
7. Wageningen University
8. International Rice Research Institute
9. Bouman

رضایت‌بخشی از شبیه‌سازی فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی را گزارش نمودند (لی[1] و همکاران، ۲۰۱۳؛ امیری[2] و همکاران، ۲۰۱۴؛ ژانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۵؛ کائو[4] و همکاران، ۲۰۱۷؛ ماجومدر[5] و داس[6]؛ ۲۰۱۸). امیری[7] و همکاران (۲۰۱۴) در مورد سه مدل ORYZA2000، CERES-Rice و AquaCrop گزارش نمودند که مدل ORYZA2000 عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده را با دقت پایین‌تری نسبت به مدل CERES-Rice و AquaCrop شبیه‌سازی نمود درحالی‌که در پژوهش دیگری مدل ORYZA2000 ضمن شبیه‌سازی مطلوب عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی توانست نیتروژن دانه و نیتروژن کل گیاه را با $RMSE_n$ به‌ترتیب نُه و ۱۲ درصد شبیه‌سازی نماید (لیمودهی[8] و همکاران، ۲۰۱۴).

تجزیه‌وتحلیل کمی نیتروژن با روش‌های شبیه‌سازی در برنج به‌ویژه استفاده از مدل ORYZA2000 تحت شرایط مختلف مدیریت مصرف نیتروژن در مناطق برنج‌خیز شمال ایران به میزان محدودی صورت پذیرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر باهدف کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل ORYZA2000 در میزان و شیوه مختلف مصرف نیتروژن با داده‌های تجربی در زمین‌های زراعی شمال ایران (مازندران) صورت پذیرفت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل ORYZA2000، آزمایشی در سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی زراعت کشت در استان مازندران (بابل) واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ارتفاع محل از سطح دریا ۲۹/۸ متر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل مقادیر مصرف کود نیتروژن از منبع کود اوره در چهار سطح (۵۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۷۰ کیلوگرم اوره در هکتار) و فاکتور دوم شامل شیوه تقسیط کود در چهار سطح (T_1: ۷۰ درصد پایه+ ۳۰ درصد پنجه‌زنی، T_2: ۳۳/۳۳ درصد پایه+ ۳۳/۳۳ درصد پنجه‌زنی+ ۳۳/۳۳ درصد ظهور خوشه آغازین، T_3: ۲۵ درصد پایه+ ۵۰ درصد پنجه‌زنی+ ۲۵ درصد ظهور خوشه آغازین، T_4: ۲۵ درصد پایه+ ۲۵ درصد پنجه‌زنی+ ۵۰ درصد ظهور خوشه آغازین) در نظر گرفته شد. براساس آمار هواشناسی ده‌ساله، منطقه مورد آزمایش دارای میانگین بارندگی سالیانه برابر ۷۲۴/۵ میلی‌متر، میانگین بیشینه دما برابر با ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد، میانگین کمینه دما برابر ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی سالانه برابر ۷۹ درصد و تعداد روزهای بارانی برابر با ۱۱۵ روز می‌باشد. خصوصیات خاک و هم‌چنین آب‌وهوای منطقه در طول اجرای آزمایش در جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شد. برای کالیبراسیون از داده‌های سال ۱۳۹۶ و جهت اعتبارسنجی از داده‌های سال ۱۳۹۷ استفاده گردید.

جدول ۱. مشخصات خاک مزرعه آزمایشی در سال‌های زراعی انجام آزمایش

سال زراعی	بافت	PH	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	نیتروژن خاک (درصد)
۱۳۹۶	لوم	۶/۲۱	۲۱	۴۴	۳۵	۱۴۷	۱۷	۱/۳۲
۱۳۹۷	لوم	۶/۳۷	۲۷	۴۳	۳۰	۱۴۳	۱۲	۱/۳۷

1. Li
2. Amiri
3. Zhang
4. Cao
5. Majumder
6. Das
7. Amiri
8. Limoudehi

جدول ۲. پارامترهای آب‌وهوایی منطقه مورد آزمایش در سال‌های زراعی انجام آزمایش

سال زراعی		متوسط سرعت باد ماهانه (کیلومتر بر ساعت)	متوسط بارندگی ماهانه (میلی‌متر)	حداکثر دمای روزانه در ماه (درجه سانتی‌گراد)	حداقل دما روزانه در ماه (درجه سانتی‌گراد)	متوسط ساعات آفتابی ماهانه (ساعت در روز)
فروردین	۱۳۹۶	۲/۱	۰/۳	۲۰/۹	۹/۷	۴/۹
	۱۳۹۷	۱/۵	۰/۴	۲۱/۹	۸/۸	۵/۱
اردیبهشت	۱۳۹۶	۲/۴	۰/۱	۲۷/۴	۱۷/۱۹	۶/۹
	۱۳۹۷	۲/۱	۰/۴	۲۳/۰	۱۴/۸۷	۴/۱
خرداد	۱۳۹۶	۲/۲	۰/۵	۲۷/۴	۱۹/۳۲	۷/۹
	۱۳۹۷	۱/۳	۰/۸	۲۹/۱	۲۰/۸	۵/۰۱
تیر	۱۳۹۶	۱/۲	۱/۲	۳۰/۰۱	۲۱/۹	۸/۳
	۱۳۹۷	۱/۱	۰/۲	۳۲/۶	۲۱/۳	۹/۱
مرداد	۱۳۹۶	۱/۸	۱/۴	۳۵/۷	۲۰/۹	۹/۳
	۱۳۹۷	۱/۹	۱/۹	۳۴/۶	۲۲/۹	۸/۲۳
شهریور	۱۳۹۶	۲/۰	۰/۸	۲۷/۸	۲۱/۰۱	۸/۲۶
	۱۳۹۷	۲/۱	۱/۹	۲۷/۳	۲۰/۹	۷/۳۲

اندازه هر کرت ۱۲ مترمربع بود. رقم طارم محلی در این پژوهش مورداستفاده قرار گرفت. تاریخ‌های نشاکاری در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌ترتیب ۵ اردیبهشت‌ماه و ۱۲ اردیبهشت‌ماه بود. سن نشا در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌ترتیب ۳۰ و ۲۸ روز بود. فاصله کاشت در هر دو سال ۲۵×۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از تداخل آب و کودهای مصرفی بر روی مرزهای کرت‌ها از پوشش نایلونی استفاده گردید. برای مبارزه با علف‌های هرز از وجین دستی و علف‌کش بوتاکلر استفاده شد و عملیات داشت طبق الگوی معمول منطقه انجام شد. در طول مرحله رشد گیاه تاریخ‌های بذرپاشی، نشاکاری، شروع خوشه‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی ثبت گردید. جهت برآورد مقدار زیست‌توده، یک مترمربع از هر کرت پس از رسیدگی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای کف‌بر و به‌مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۷۲ درجه سانتی‌گراد آون قرار داده شد و سپس مورد توزین قرار گرفت. برای تعیین نیتروژن دانه و نیتروژن کل اندام هوایی (برگ، ساقه و دانه) از بافت موردنظر مقداری انتخاب گردید (در مرحله رسیدگی) و سپس در آون به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و بعد از آسیاب یک گرم از نمونه آسیاب‌شده انتخاب و پس از رقیق‌کردن، عصاره‌ای از آن تهیه‌شده و غلظت نیتروژن به‌روش میکروکجلدال حاصل شد. جهت بررسی شاخص سطح برگ، تعداد چهار بوته از هر کرت (با حذف اثر حاشیه‌ای) در آغاز مرحله زایشی کف‌بر و با جداسازی برگ‌ها و قراردادن آن‌ها در دستگاه تعیین سطح برگ (LI-COR-Lincoln, NB, USA) میزان آن تعیین گردید. برای تعیین عملکرد پس از حذف حاشیه، ۵۰ کپه از هر کرت انتخاب و پس از برداشت خرمن‌کوبی‌شده، سپس توزین و عملکرد کیلوگرم در هکتار برحسب رطوبت ۱۴ درصد محاسبه گردید.

۳. ۱. مدل ORYZA2000

مدل ORYZA2000 یک مدل فیزیولوژیکی است که رشد و نمو برنج را تحت شرایط تولید بالقوه، محدودیت آب و محدودیت نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند (بومن[1] و همکاران، ۲۰۰۱). شرایط مساعد نور، دما و ویژگی‌های واریته‌ای برای فرایندهای بیولوژیکی و فیزیولوژیکی جزو عوامل اصلی تعیین‌کننده سرعت رشد یک محصول هستند. مدل

1. Bouman

ORYZA2000 از یک طرح محاسباتی روزانه برای میزان تولید ماده خشک اندام‌های گیاهی پیروی می‌کند. داده‌های حاصل در طول زمان تولید ماده خشک و مراحل رشد شبیه‌سازی می‌شود. این مدل افزایش ماده خشک روزانه در اندام‌های گیاه و روند توسعه آن را شبیه‌سازی می‌کند.

براساس ویژگی‌های فتوسنتزی هر برگ (تک‌برگ) نرخ لحظه‌ای جذب CO_2 در سه زمان در طول روز و در سه عمق کانوپی گیاه محاسبه می‌شود. نرخ خالص رشد روزانه با کسر میزان تنفس رشد به‌دست می‌آید. هنگامی‌که کانوپی هنوز به‌طور کامل بسته نشده است سطح برگ به‌صورت نمایی به‌عنوان تابعی از دما رشد می‌نماید. تعداد خوشچه در هنگام گلدهی از زیست‌توده انباشته‌شده بین شروع گلدهی و خوشه‌دهی حاصل می‌گردد. پتانسیل نیاز روزانه نیتروژن از وزن خشک، سرعت رشد و غلظت نیتروژن هر اندام گیاه محاسبه می‌شود. فرض مدل بر این مبناست که محصول تلاش می‌کند تا حداکثر غلظت نیتروژن را در برگ و ساقه حفظ نماید.

نیاز اندام‌های رویشی به نیتروژن از طریق جذب نیتروژن گیاه برآورده می‌شود که توسط سرعت جذب گیاه و مقدار موجود نیتروژن در خاک محدود می‌شود. نیاز خوشه به نیتروژن از طریق انتقال این عنصر از اندام‌های رویشی برآورد می‌شود و باید به این نکته نیز اشاره داشت که در این مدل مراحل تغییرات بیوشیمیایی نیتروژن شبیه‌سازی نمی‌شود. به‌طورکلی در مورد ORYZA2000 دوره رشدونمو برنج براساس درجه حرارت روز رشد به چهار مرحله فنولوژی شامل دوره رشد رویشی پایه، دوره رشد حساس به نور، دوره تشکیل خوشه و دوره پرشدن دانه تقسیم‌بندی می‌شود.

۳. ۲. کالیبراسیون مدل

پارامتر مدل ORYZA2000 برای رقم طارمی محلی براساس روش بومن[1] و ون لار[2] (۲۰۰۶) موردارزیابی قرار گرفت. مراحل نمو با استفاده از تاریخ‌های سبزشدن، شروع خوشه، گلدهی، رسیدگی فیزیولوژیکی و درجه حرارت هوا در سال اول آزمایش محاسبه گردید. سطح ویژه برگ با مقدار مشاهده‌شده شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ محاسبه شد (بولینگ[3] و همکاران، ۲۰۰۷). فاکتورهای تخصیص ماده خشک در ابتدا توسط محاسبه زیست‌توده برگ‌ها، ساقه و خوشه‌ها در مرحله رسیدگی اندازه‌گیری و در ادامه مقدار اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده شاخص سطح برگ در انتهای مرحله رویشی و زیست‌توده گیاه موردارزیابی قرار گرفت. با استفاده از یافته‌های بومن[4] و ون لار[5] (۲۰۰۶) و لی[6] و همکاران (۲۰۰۹)، جهت برآورد پارامترهای سرعت توسعه فنولوژیکی، فاکتورهای تفکیک ماده خشک، سرعت رشد نسبی سطح برگ، سطح ویژه برگ، سرعت زوال برگ و کسر ذخیره ساقه از برنامه DRATES مدل استفاده گردید که نتیجه آن محاسبه مقادیر سرعت توسعه فنولوژیکی در چهار فاز بود. بعد از اجرای برنامه DRATES برنامه PARAM اجرا و سایر پارامترهای موردنظر از قبیل سرعت رشد نسبی سطح برگ (RGRLMX)، کسر ذخیره ساقه (FSTR)، سرعت مرگ برگ در طول دوره رشد ($DRLVT, (DAY)^{-1}$)، سطح ویژه برگ در طول دوره رویش (SLA, ha/kg) و فاکتور تفکیک ماده خشک بین برگ (FLV)، ساقه (FST) و خوشه (FSO)) در طول دوره رویش به‌وسیله آن محاسبه گردید.

1. Bouman
2. Van Laar
3. Boling
4. Bouman
5. Van Laar
6. Lee

۳.۳. ارزیابی مدل

مقایسه مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای هر تیمار با تعیین ضریب تبیین (R^2) و خط ۱:۱ انجام گردید. جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی از آزمون P(t) و پارامتر آماری زیر استفاده شد.

رابطه ۱) ریشه میانگین مربعات خطا

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

رابطه ۲) ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده

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

که در این روابط، P_i برابر با مقدار پیش‌بینی‌شده، O_i نشان‌دهنده مقدار اندازه‌گیری‌شده (مشاهده‌شده)، n نشان‌دهنده تعداد نمونه‌های به‌کاررفته و $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده بود. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطاهای نرمال‌شده در حالت مطلوب یعنی حالتی که مقدار شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده مساوی باشد برابر صفر است. چنانچه مقدار نتیجه آزمون t بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد بدان مفهوم است که مقادیر شبیه‌سازی پارامتر در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری‌شده ندارد. چنانچه مقدار میانگین مربعات خطای نرمال‌شده کم‌تر از ۱۰، بین ۲۰-۱۰، بین ۳۰-۲۰ و بیش‌تر از ۳۰ باشد به‌ترتیب نشان‌دهنده حالت عالی، خوب، متوسط و ضعیف شبیه‌سازی می‌باشد (امیری[1] و همکاران، ۲۰۱۴).

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از شبیه‌سازی شاخص سطح برگ با استفاده از مدل ORYZA2000 نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب برابر با ۰/۵ و ۰/۴ بود. هم‌چنین ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل تحت شرایط مقادیر و تقسیط مختلف کود نیتروژن به‌ترتیب برابر ۱۶ و ۱۰ بود (جدول ۳). نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی بین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نشان داد که ضریب تبیین (R^2) برای داده‌های کالیبراسیون مدل برابر ۰/۵۸ و برای داده‌های اعتبارسنجی مدل برابر ۰/۵ بود (جدول ۳). دامنه تغییرات شاخص سطح برگ بین مقادیر مشاهده‌شده در کالیبراسیون مدل بین ۳/۱۲ الی ۵/۱ بود، درحالی‌که دامنه تغییرات این شاخص بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده در کالیبراسیون مدل بین ۲/۷ الی ۴/۹۴ بود (جدول ۴).

جدول ۳. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبار سنجی داده‌ها با استفاده از مدل ORYZA2000 در مدیریت مختلف مصرف نیتروژن

	صفات	تعداد نمونه	Omean	Pmean	R^2	P(t)	RMSE	$RMSE_n$ (%)
کالیبراسیون	نیتروژن دانه	۱۷	۹۹	۹۸	۰/۷۸	۰/۴۸	۱۰	۹
	نیتروژن کل اندام هوایی (برگ، ساقه و دانه)	۱۷	۱۳۳	۱۳۴	۰/۹۰	۰/۴۱	۹	۶
	شاخص سطح برگ	۱۷	۴	۳	۰/۵۸	۰/۰۴	۰/۵	۱۶
	زیست‌توده	۱۷	۱۳۵۶۴	۱۳۳۹۹	۰/۸۴	۰/۴۳	۶۴۶	۴
	عملکرد دانه	۱۷	۶۴۷۵	۶۷۲۹	۰/۷۹	۰/۱۴	۴۰۳	۴
اعتبارسنجی	نیتروژن دانه	۱۷	۱۰۲	۱۰۱	۰/۸۲	۰/۳۸	۵	۴
	نیتروژن کل اندام هوایی (برگ، ساقه و دانه)	۱۷	۱۳۶	۱۳۸	۰/۸۶	۰/۱۳	۱	۸
	شاخص سطح برگ	۱۷	۱۳۹	۱۳۳	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۴	۱۰
	زیست‌توده	۱۷	۱۴۱۱۱	۱۳۶۷۹	۰/۸۵	۰/۲۶	۸۸۳	۴
	عملکرد دانه	۱۷	۶۷۵۱	۶۸۹۷	۰/۸۱	۰/۲۹	۴۱۴	۵

$RMSE_n$= ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده، RMSE= ریشه میانگین مربعات خطا، P(t)= آزمون t، P_{mean}= میانگین مقادیر پیش‌بینی‌شده، O_{mean}= میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده.

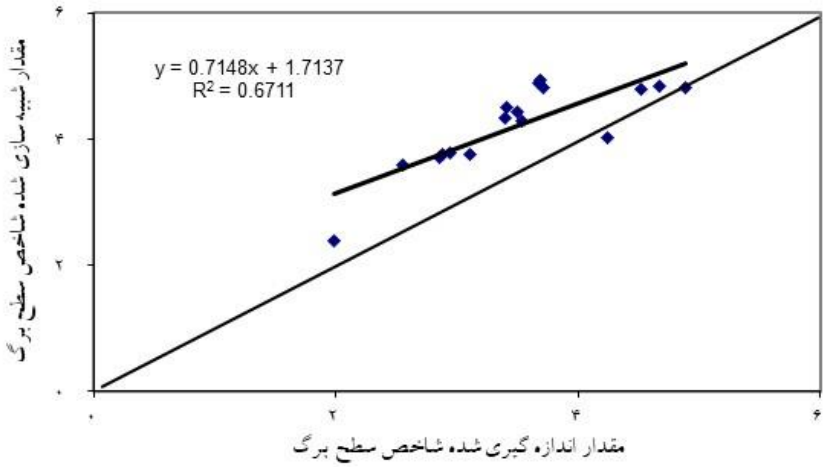
1. Amiri

جدول ٤. نتایج حاصل از مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

کالیبراسیون (۱۳۹٦)				اعتبارسنجی (۱۳۹۷)		
مقدار	تقسیط	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای مدل	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای مدل
N_1	T_1	۳/۴۲	۲/۸	۳	۳/۳۹	۲/۹۱	۲
N_1	T_2	۳/۴۵	۲/۸	۶	۳/۴۲	۲/۷۸	۶
N_1	T_3	۳/۱۲	۲/۷	۵	۳/۳۴	۲/۵۶	۱۰
N_1	T_4	۳/۲۱	۳/۱	۰	۳/۱۴	۳/۵۳	−۷
N_2	T_1	۳/۸۷	۳	۱۰	۳/۲۴	۳/۳۸	−۳
N_2	T_2	۴/۱۲	۳	۱۰	۴/۰۱	۳/۳۵	۵
N_2	T_3	۳/۲۵	۲/۸۹	۱۰	۳/۱۲	۳/۲۶	−۳
N_2	T_4	۴/۱۹	۳/۲	۱۹	۴/۳۴	۳/۷۱	۱۱
N_3	T_1	۵/۱	۳/۱۱	۲۷	۵/۱۴	۳/۵۴	۱۸
N_3	T_2	۵/۰۸	۳/۰۹	۳۱	۵/۱۷	۳/۵۲	۲۱
N_3	T_3	۵/۰۳	۳/۰۱	۲۱	۵/۱۳	۳/۴۲	۲۰
N_3	T_4	۴/۱۳	۳/۲۴	۶	۴/۲۷	۳/۸۲	۵
N_4	T_1	۴/۱۵	۳/۲	۹	۴/۱۹	۳/۶۶	۱
N_4	T_2	۴/۵۶	۳/۱۹	۸	۴/۳۴	۳/۶۴	۴
N_4	T_3	۴/۸۷	۳/۱۱	۹	۴/۱۵	۳/۵۴	۳
N_4	T_4	۴/۹۸	۴/۹۴	۱	۴/۴۵	۴/۸۸	−۲

N_4, N_3, N_2, N_1: به‌ترتیب برابر با مصرف ۵۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره.

T_1: مصرف به‌صورت ۷۰ درصد پایه+ ۳۰درصد پنجه‌زنی، T_2: مصرف به‌صورت ۳۳/۳۳ درصد پایه+ ۳۳/۳۳ درصد پنجه‌زنی+ ۳۳/۳۳ درصد ظهور خوشه آغازین، T_3: مصرف به‌صورت ۲۵درصد پایه+ ۵۰ درصد پنجه‌زنی+ ۲۵ درصد ظهور خوشه آغازین، T_4: مصرف به‌صورت ۲۵ درصد پایه+ ۲۵ درصد پنجه‌زنی+ ۵۰ درصد ظهور خوشه آغازین.

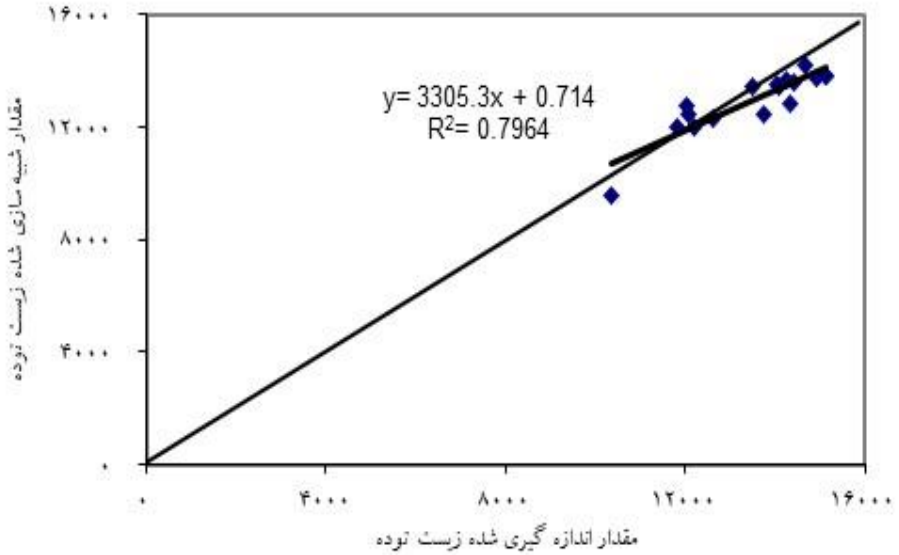


شکل ۱. مقایسه شاخص سطح برگ شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به خط ۱:۱ در اعتبارسنجی مدل

میانگین مقادیر مشاهده‌شده شاخص سطح برگ در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب برابر ۴/۱۶ و ۴/۰۵ بود و میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب به مقدار ۳/۱۵ و ۳/۴۷ حاصل شد (جدول ۳). بیش‌ترین خطا در کالیبراسیون مدل (۳۱) و اعتبارسنجی مدل (۲۱) در تیمار ۱۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط T_2 حاصل گردید (جدول ۴).

۴. ۲. شبیه‌سازی زیست‌توده

نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده گیاه برنج در روز برداشت با استفاده از مدل ORYZA2000 نشان داد که مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در کالیبراسیون مدل به‌ترتیب ۶۴۶ کیلوگرم در هکتار و ۴ درصد بود، درحالی‌که این مقادیر در اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب برابر ۸۸۳ کیلوگرم در هکتار و ۴ درصد حاصل گردید (جدول ۳). نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر زیست‌توده روز برداشت شبیه‌سازی‌شده در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری‌شده نداشت. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی بین مقادیر زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نشان داد که ضریب تبیین برای داده‌های واسنجی مدل برابر ۰/۸۴ و برای داده‌های اعتبارسنجی مدل برابر ۰/۸۵ بود (جدول ۳). هم‌چنین ضریب تبیین برای مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در سال ۱۳۹۷ به میزان ۰/۷۹ در شبیه‌سازی زیست‌توده حاصل شد (شکل ۲). با توجه به معادله رگرسیون حاصل‌شده به ازای هر کیلوگرم از زیست‌توده برداشت‌شده معادل ۷۰۰ گرم به مقدار شبیه‌سازی اضافه می‌شود.



شکل ۲. مقایسه زیست‌توده روز برداشت شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به خط ۱:۱ در اعتبارسنجی مدل

جدول (۵) نشان داد که بیش‌ترین مقدار بیوماس روز برداشت محاسبه‌شده در مصرف ۱۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط T_4 به میزان ۱۵۱۲۴ کیلوگرم در هکتار طی کالیبراسیون مدل حاصل گردید. هم‌چنین این صفت بیش‌ترین مقدار خود را در مقادیر مشاهده‌شده در اعتبارسنجی مدل نیز در همین تیمار نشان داد. بیش‌ترین مقدار شبیه‌سازی‌شده بیوماس روز برداشت در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط T_3 در کالیبراسیون و واسنجی مدل با مقادیر به‌ترتیب ۱۵۱۵۹ و ۱۶۱۹۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). بیش‌ترین خطا در کالیبراسیون مدل (۱۰-) در تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت T_1 حاصل شد، درحالی‌که بیش‌ترین خطای مدل در اعتبارسنجی (۱۰) در تیمار ۵۰ کیلوگرم مصرف کود نیتروژن در هکتار به‌صورت T_2 به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵. نتایج حاصل از زیست‌توده روز برداشت شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

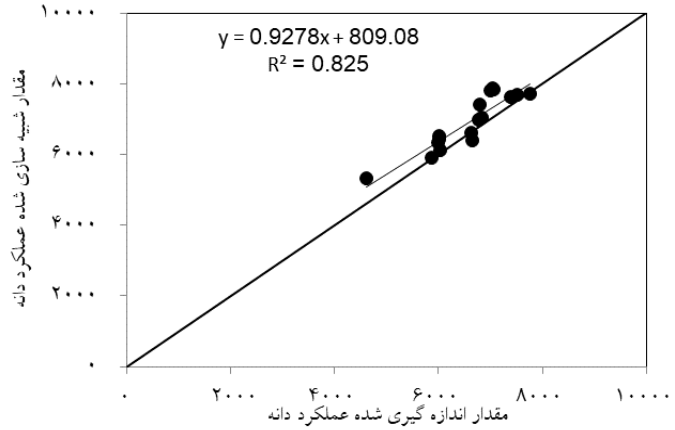
کالیبراسیون (۱۳۹۶)				اعتبارسنجی (۱۳۹۷)		
مقدار	تقسیط	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای مدل	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای مدل
N_1	T_1	۱۱۶۲۰	۱۱۸۷۵	−۱	۱۲۱۲۲	۱۲۲۵۵	−۳
N_1	T_2	۱۲۵۲۷	۱۱۷۱۳	۷	۱۲۸۲۵	۱۱۴۶۳	۱۰
N_1	T_3	۱۱۳۱۲	۱۱۷۳۱	−۴	۱۱۳۴۵	۱۱۳۲۷	۱
N_1	T_4	۱۲۰۱۱	۱۱۶۲۴	۲	۱۰۹۱۰	۱۰۸۷۱	۸
N_2	T_1	۱۲۰۷۶	۱۳۲۸۶	−۱۰	۱۲۷۴۷	۱۳۷۳۸	−۸
N_2	T_2	۱۴۰۶۰	۱۳۳۱۷	۵	۱۴۶۱۹	۱۳۶۹۴	۷
N_2	T_3	۱۳۳۸۳	۱۳۳۳۵	۱	۱۴۲۸۱	۱۳۷۸۹	۴
N_2	T_4	۱۴۰۴۱	۱۳۳۳۱	۵	۱۵۰۹۸	۱۳۴۸۳	۹
N_3	T_1	۱۴۲۶۸	۱۴۲۸۱	−۱	۱۵۰۹۳	۱۴۷۱۸	۲
N_3	T_2	۱۴۱۵۳	۱۴۳۶۱	−۱	۱۴۷۵۹	۱۴۸۰۹	۰
N_3	T_3	۱۵۰۴۸	۱۴۴۹۷	۴	۱۵۷۸۵	۱۴۸۶۶	۶
N_3	T_4	۱۵۱۲۴	۱۴۳۱۴	۵	۱۶۰۹۷	۱۴۸۴۷	۷
N_4	T_1	۱۴۳۵۸	۱۴۷۷۶	−۳	۱۴۸۵۶	۱۵۵۴۱	−۴
N_4	T_2	۱۴۸۱۲	۱۵۱۱۶	−۱	۱۵۳۶۷	۱۵۷۲۷	−۲
N_4	T_3	۱۴۲۷۸	۱۵۱۵۹	−۶	۱۵۸۹۴	۱۶۱۹۳	−۲
N_4	T_4	۱۴۵۷۵	۱۵۱۵۳	−۴	۱۵۱۸۴	۱۵۶۷۷	−۱

N_4, N_3, N_2, N_1: به‌ترتیب برابر با مصرف ۵۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره.

T_1: مصرف به‌صورت ۷۰ درصد پایه+ ۳۰ درصد پنجه‌زنی، T_2: مصرف به‌صورت ۳۳/۳۳ درصد پایه+ ۳۳/۳۳ درصد پنجه‌زنی+ ۳۳/۳۳ درصد ظهور خوشه آغازین، T_3: مصرف به‌صورت ۲۵درصد پایه+ ۵۰ درصد پنجه‌زنی+ ۲۵ درصد ظهور خوشه آغازین، T_4: مصرف به‌صورت ۲۵ درصد پایه+ ۲۵ درصد پنجه‌زنی+ ۵۰ درصد ظهور خوشه آغازین.

۴. ۳. عملکرد دانه

نتایج شبیه‌سازی عملکرد به‌وسیله مدل ORYZA2000 نشان داد که در کالیبراسیون مدل ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده به‌ترتیب ۴۰۳ کیلوگرم در هکتار و ۴ درصد بود، درحالی‌که مقادیر این فاکتورها در اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب به میزان ۴۱۴ کیلوگرم در هکتار و ۵ درصد حاصل گردید (جدول ۳). نتایج نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی‌شده عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری‌شده نداشت. هم‌چنین تجزیه رگرسیون خطی بین مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده طبق داده‌های دوساله نشان داد که ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۸۲ بود که نشان از مناسب‌بودن مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه بود (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به خط ۱:۱ در اعتبارسنجی

دامنه تغییرات عملکرد در مقادیر مشاهده‌شده طی کالیبراسیون مدل بین ۵۶۶۷ کیلوگرم در هکتار الی ۷۲۸۴ کیلوگرم در هکتار و در اعتبارسنجی مدل بین ۵۷۲۱ کیلوگرم در هکتار و ۷۹۱۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۸). بیش‌ترین مقدار عملکرد شبیه‌سازی‌شده در کالیبراسیون مدل (۷۲۷۸ کیلوگرم در هکتار) در مصرف ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط T_1 حاصل شد و هم‌چنین در همین تیمار کودی نیز بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده (۷۸۶۶ کیلوگرم در هکتار) در اعتبارسنجی مدل به‌دست آمد (جدول ۶).

جدول ٦. نتایج حاصل از عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

کالیبراسیون (۱۳۹٦)				اعتبارسنجی (۱۳۹۷)		
مقدار	تقسیط	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای مدل	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای مدل
N_1	T_1	۵۷۵۳	۶۰۵۹	−۴	۶۰۹۸	۶۱۰۹	−۱
N_1	T_2	۵۸۷۶	۶۱۱۶	−۳	۶۱۴۲	۶۰۳۹	۱
N_1	T_3	۵۶۶۷	۶۰۶۹	−۶	۶۰۷۸	۶۱۱۰	−۲
N_1	T_4	۶۰۰۵	۶۰۰۹	−۲	۵۷۲۱	۵۵۸۶	۱
N_2	T_1	۶۰۱۷	۷۱۳۶	−۱۵	۶۲۳۱	۷۰۳۸	−۱۰
N_2	T_2	۶۶۷۹	۶۷۴۳	−۱	۶۸۶۶	۷۱۸۶	−۱
N_2	T_3	۶۷۲۸	۶۷۱۷	۰	۷۹۱۹	۷۱۳۶	۳
N_2	T_4	۶۶۷۸	۶۵۶۲	۱	۶۸۶۸	۶۷۱۲	۱
N_3	T_1	۶۵۴۴	۷۲۳۹	−۹	۶۷۳۱	۷۷۹۷	−۱۱
N_3	T_2	۶۷۸۸	۷۰۵۶	−۴	۷۱۷۷	۷۳۷۷	−۲
N_3	T_3	۷۲۸۴	۷۱۲۷	۱	۷۶۳۹	۷۳۵۶	۳
N_3	T_4	۷۲۴۵	۷۰۹۳	۳	۷۶۴۴	۷۱۱۴	۶
N_4	T_1	۶۶۷۸	۷۲۷۸	−۸	۷۵۹۴	۷۸۶۶	−۴
N_4	T_2	۷۰۱۶	۷۲۴۹	−۴	۷۲۷۷	۷۶۵۳	−۶
N_4	T_3	۷۰۲۱	۷۱۸۷	−۳	۷۱۵۷	۷۶۹۷	−۴
N_4	T_4	۶۶۴۸	۷۰۹۸	−۵	۶۸۳۷	۷۳۶۹	−۷

N_4, N_3, N_2, N_1: به‌ترتیب برابر با مصرف ۵۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره.

T_1: مصرف به‌صورت ۷۰ درصد پایه+ ۳۰ درصد پنجه‌زنی، T_2: مصرف به‌صورت ۳۳/۳۳ درصد پایه+ ۳۳/۳۳ درصد پنجه‌زنی+ ۳۳/۳۳ درصد ظهور خوشه آغازین، T_3: مصرف به‌صورت ۲۵ درصد پایه+ ۵۰ درصد پنجه‌زنی+ ۲۵ درصد ظهور خوشه آغازین، T_4: مصرف به‌صورت ۲۵ درصد پایه+ ۲۵ درصد پنجه‌زنی+ ۵۰ درصد ظهور خوشه آغازین.

دامنه تغییرات عملکرد در مقادیر شبیه‌سازی‌شده طی کالیبراسیون مدل بین ۶۰۰۹ کیلوگرم در هکتار الی ۷۲۷۸ کیلوگرم در هکتار و در اعتبارسنجی مدل بین ۵۵۸۶ کیلوگرم در هکتار و ۷۸۶۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۶). بیش‌ترین درصد خطای مدل در کالیبراسیون مدل (۱۵− درصد) در تیمار ۹۰ کیلوگرم مصرف کود نیتروژن به‌صورت T_1 به‌دست آمد و این در حالی بود که بیش‌ترین درصد خطای مدل در اعتبارسنجی مدل (۱۱− درصد) در مصرف ۱۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط کودی T_1 حاصل شد.

۴. ۴. شبیه‌سازی نیتروژن کل اندام هوایی (برگ، ساقه و دانه)

در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل ORYZA2000 مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در بررسی مقدار نیتروژن کل

به‌ترتیب برابر ۹ و ۱ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در کالیبراسیون مدل برابر ۶ درصد و در اعتبارسنجی مدل برابر ۸ درصد بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان جذب نیتروژن کل گیاه اندازه‌گیری‌شده (۱۷۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و شبیه‌سازی‌شده (۱۷۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) در کالیبراسیون مدل در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار طی تقسیط T_4 حاصل گردید، درحالی‌که بیش‌ترین مقدار اندازه‌گیری‌شده (۱۷۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و شبیه‌سازی‌شده (۲۰۱ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) نیتروژن جذب‌شده در گیاه در اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب در تیمار مصرف ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌صورت تقسیط T_4 و تیمار مصرف ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در تقسیط T_3 به‌دست آمد (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج حاصل از مقادیر نیتروژن کل اندام هوایی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

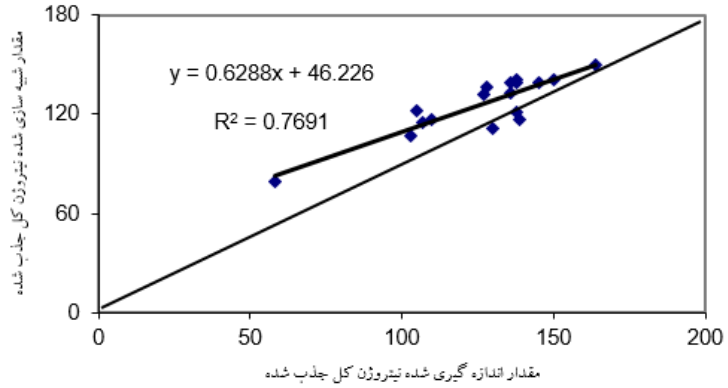
کالیبراسیون (۱۳۹۶)				اعتبارسنجی (۱۳۹۷)		
مقدار	تقسیط	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی شده	خطای مدل	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی شده	خطای مدل
N_1	T_1	۹۰	۹۳	−۳	۹۳	۹۵	−۴
N_1	T_2	۹۸	۹۶	۳	۹۸	۹۷	۰
N_1	T_3	۹۸	۹۸	۱	۹۹	۹۹	۰
N_1	T_4	۱۰۲	۹۹	۳	۱۰۲	۹۸	۲
N_2	T_1	۱۳۶	۱۱۷	۱۴	۱۴۴	۱۱۸	۱۸
N_2	T_2	۱۲۳	۱۲۴	۱	۱۳۷	۱۲۵	۹
N_2	T_3	۱۳۷	۱۲۵	۸	۱۴۱	۱۲۶	۹
N_2	T_4	۱۳۰	۱۲۶	۳	۱۳۹	۱۲۴	۱۱
N_3	T_1	۱۴۱	۱۳۹	۱	۱۳۷	۱۴۱	−۳
N_3	T_2	۱۳۴	۱۴۸	−۱۱	۱۳۶	۱۵۱	−۹
N_3	T_3	۱۴۸	۱۴۹	۰	۱۵۳	۱۵۴	۰
N_3	T_4	۱۴۷	۱۵۳	−۴	۱۵۵	۱۵۵	۰
N_4	T_1	۱۶۰	۱۶۰	۰	۱۵۴	۱۶۴	−۶
N_4	T_2	۱۵۳	۱۷۱	−۱۱	۱۵۲	۱۷۴	−۱۰
N_4	T_3	۱۶۴	۱۷۵	−۶	۱۷۱	۲۰۱	−۱۶
N_4	T_4	۱۷۳	۱۷۹	−۳	۱۷۲	۱۸۱	−۶

N_4, N_3, N_2, N_1: به‌ترتیب برابر با مصرف ۵۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره.

T_1: مصرف به‌صورت ۷۰ درصد پایه+ ۳۰ درصد پنجه‌زنی، T_2: مصرف به‌صورت ۳۳/۳۳ درصد پایه+ ۳۳/۳۳ درصد پنجه‌زنی+ ۳۳/۳۳ درصد ظهور خوشه آغازین، T_3: مصرف به‌صورت ۲۵ درصد پایه+ ۵۰ درصد پنجه‌زنی+ ۲۵ درصد ظهور خوشه آغازین، T_4: مصرف به‌صورت ۲۵ درصد پایه+ ۲۵ درصد پنجه‌زنی+ ۵۰ درصد ظهور خوشه آغازین.

نتایج آزمون t نشان داده است که مقدار نیتروژن کل اندام هوایی شبیه‌سازی‌شده در مدیریت‌های مختلف مقدار و تقسیط کود نیتروژن با مقدار بیش از ۰/۰۵ در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری‌شده نداشت. ضریب تبیین مدل برای داده‌های واسنجی مدل برابر ۰/۹۰ و برای داده‌های اعتبارسنجی مدل برابر ۰/۸۶ بوده که بالابودن نسبی R^2 بیانگر پراکندگی پایین داده‌ها بود (جدول ۳). ضریب تبیین مدل برای داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در سال ۱۳۹۷ برابر با ۰/۷۶ بود (شکل ۴).

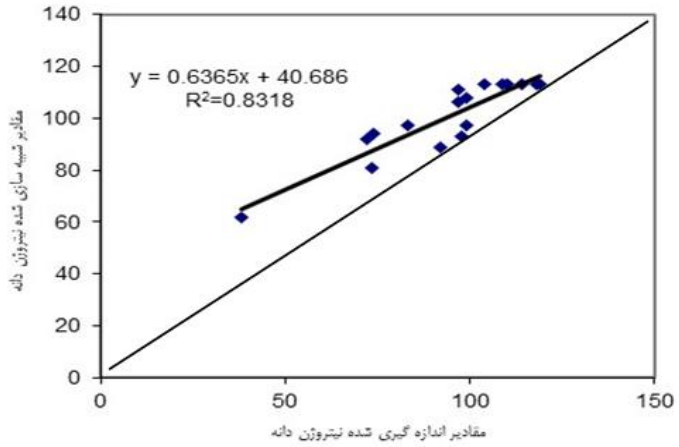
کم‌ترین مقدار اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده نیتروژن جذب‌شده در کالیبراسیون و واسنجی مدل در تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط T_1 حاصل شد (جدول ۷). بیش‌ترین خطای مدل در مقدار مصرف ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط T_1 در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل به‌دست آمد (جدول ۷).



شکل ٤. مقایسه جذب کل نیتروژن کل شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به خط ۱:۱ در اعتبارسنجی مدل

۴. ۵. شبیه‌سازی نیتروژن دانه

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیتروژن دانه با استفاده از مدل ORYZA2000 نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در کالیبراسیون مدل به‌ترتیب ۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۹ درصد بود، درحالی‌که در اعتبارسنجی مدل مقدار ریشه میانگین مربعات خطا ۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده ۴ درصد بود (جدول ۳). نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر نیتروژن دانه شبیه‌سازی‌شده در مدیریت مختلف کود نیتروژن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری‌شده ندارد. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی بین مقادیر نیتروژن دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نشان داد که ضریب تبیین (R^2) برای داده‌های کالیبراسیون مدل برابر با ۰/۷۸ و برای داده‌های اعتبارسنجی مدل برابر با ۰/۸۲ بود (جدول ۳).



شکل ۵. مقایسه جذب کل نیتروژن دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به خط ۱:۱ در اعتبارسنجی مدل

دامنه مقادیر مشاهده‌شده در میزان نیتروژن دانه در کالیبراسیون مدل (۱۳۹۶) بین ۷۳ و ۱۱۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار درحالی‌که دامنه تغییرات این صفت در اعتبارسنجی مدل (۱۳۹۷) بین ۷۳ و ۱۱۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود (جدول ۸). در کالیبراسیون مدل بیش‌ترین خطای مدل (۲۲-) در تیمار مصرف ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار

به‌صورت تقسیط T_1 حاصل گردید (جدول ۸). بیش‌ترین مقدار نیتروژن دانه شبیه‌سازی‌شده در کالیبراسیون مدل در تیمار مصرف ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌صورت مصرف سطح تقسیط T_2 به‌دست آمد (جدول ۸).

جدول ۸. نتایج حاصل از مقادیر نیتروژن دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

کالیبراسیون (۱۳۹٦)				اعتبارسنجی (۱۳۹۷)		
مقدار	تقسیط	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای مدل	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای مدل
N_1	T_1	۷۱	۷۳	−۳	۵۸	۷۳	−۲۵
N_1	T_2	۶۳	۷۵	−۱۹	۸۰	۷۹	۴
N_1	T_3	۶۴	۷۶	−۲۰	۷۲	۷۹	−۱۰
N_1	T_4	۷۹	۷۸	۲	۸۴	۷۸	۸
N_2	T_1	۹۷	۹۵	۲	۱۰۱	۹۵	۵
N_2	T_2	۱۰۱	۹۶	۴	۱۰۳	۱۰۰	۳
N_2	T_3	۱۰۲	۹۸	۶	۹۷	۱۰۰	−۳
N_2	T_4	۱۰۵	۱۰۲	۹	۱۰۴	۹۸	۵
N_3	T_1	۱۰۶	۱۰۲	۰	۱۱۸	۱۱۴	۴
N_3	T_2	۱۱۹	۱۱۶	۹	۱۱۷	۱۱۴	۳
N_3	T_3	۹۶	۹۳	۱۲	۱۱۱	۱۱۳	−۲
N_3	T_4	۱۱۲	۱۰۹	۲	۱۱۲	۱۰۹	۴
N_4	T_1	۹۴	۱۰۹	−۲۲	۱۲۱	۱۱۸	۲
N_4	T_2	۱۲۸	۱۱۷	۸	۱۱۸	۱۱۷	۲
N_4	T_3	۱۲۲	۱۱۶	۴	۱۱۳	۱۱۶	−۲
N_4	T_4	۱۲۴	۱۱۳	۸	۱۱۱	۱۱۱	۰

N_4, N_3, N_2, N_1: به‌ترتیب برابر با مصرف ۵۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره.

T_1: مصرف به‌صورت ۷۰ درصد پایه+ ۳۰ درصد پنجه‌زنی، T_2: مصرف به‌صورت ۳۳/۳۳ درصد پایه+ ۳۳/۳۳ درصد پنجه‌زنی+ ۳۳/۳۳ درصد ظهور خوشه آغازین، T_3: مصرف به‌صورت ۲۵ درصد پایه+ ۵۰ درصد پنجه‌زنی+ ۲۵ درصد ظهور خوشه آغازین، T_4: مصرف به‌صورت ۲۵ درصد پایه+ ۲۵ درصد پنجه‌زنی+ ۵۰ درصد ظهور خوشه آغازین.

کم‌ترین مقدار نیتروژن شبیه‌سازی‌شده در کالیبراسیون مدل در تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط T_1 حاصل شد. در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌صورت مصرف در سطح تقسیط T_1 بیش‌ترین مقدار نیتروژن دانه شبیه‌سازی‌شده و در تیمار ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌صورت T_1 کم‌ترین مقدار نیتروژن دانه شبیه‌سازی‌شده در اعتبارسنجی مدل به‌دست آمد (جدول ۸). بیش‌ترین خطای مدل در اعتبارسنجی مدل (۲۵−) در تیمار ۵۰ کیلوگرم مصرف کود نیتروژن در سطح تقسیط T_1 حاصل شد (جدول ۸).

۵. بحث

با توجه به یافته‌های شبیه‌سازی مدل، بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ در داده‌های مشاهده‌شده طی اعتبارسنجی مدل در تیمار مصرف ۱۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌صورت سطح تقسیط T_2 به مقدار ۵/۱۷ حاصل شد، درحالی‌که که این فاکتور درداده‌های شبیه‌سازی‌شده طی اعتبارسنجی مدل به میزان ۴/۸۸ در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در سطح تقسیط T_4 به‌دست آمد. علت این مورد را می‌توان به میانگین پایین خطای مدل در تیمار مصرف ۱۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار مصرف ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار طی اعتبارسنجی مدل مرتبط دانست. نتایج نشان‌دهنده آن است که دقت مدل در برآورد شبیه‌سازی حداکثر شاخص سطح برگ به میزان برآورد

شبیه‌سازی دیگر فاکتورهای موردبررسی در این پژوهش نمی‌باشد که نتایج حاصل‌شده با یافته‌های آذرپور[1] و همکاران (۲۰۱۴) و ساندهاراجان[2] و سادهیر[3] (۲۰۱۳) در زمینه توانایی ضعیف مدل ORYZA2000 جهت شبیه‌سازی شاخص سطح برگ مطابقت داشت. طایفه[4] و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که مدل، شاخص سطح برگ را بیش‌تر از مقدار اندازه‌گیری‌شده در تیمارهای مختلف مصرف نیتروژن شبیه‌سازی نمود. مقدار پایین مصرف کود نیتروژن منجر به کاهش سطح ویژه و کاهش سطح برگ می‌شود و با توجه به ضریب ثابت سطح ویژه برگ به‌کارگیری‌شده در مدل ORYZA2000 قابلیت شبیه‌سازی شاخص سطح برگ پایین بود که در یافته‌های سایلاجا[5] و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان شد که در مقادیر کم مصرف نیتروژن مدل ORYZA2000 شاخص سطح برگ را به‌خوبی عملکرد شبیه‌سازی ننمود و مقادیر شبیه‌سازی‌شده در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری‌شده داشت.

ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده بیوماس روز برداشت در مطالعات صورت‌پذیرفته در زمینه کارایی شبیه‌سازی مدل ORYZA2000 توسط طایفه[6] و همکاران (۲۰۱۳) به‌ترتیب ۷۸۲ کیلوگرم در هکتار و ۱۰/۱ درصد بود که نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش شبیه‌سازی صفت بیوماس روز برداشت توسط مدل را با دقت بهتری صورت داد. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در پژوهش‌ها بررسی مدل ORYZA2000 توسط ویکارمپاپراهارن[7] و کوسیتساکولچای[8] (۲۰۱۰) و لیمودهی[9] و همکاران (۲۰۱۴) به‌ترتیب ۸/۶۸ و ۱۲ درصد به‌دست آمد. تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده بیوماس روز برداشت در تیمارهای مختلف نیتروژن نشان داد که مدل به‌خوبی توانست این صفت را شبیه‌سازی کند که نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج پژوهش‌های ابراهیمی‌راد[10] و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت داشت. تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده عملکرد دانه و هم‌چنین درصد خطای نسبی مدل ORYZA2000 را در تیمارهای مختلف نیتروژن طی دو سال زراعی نشان داد که مدل به‌خوبی عملکرد را شبیه‌سازی نمود که نتایج حاصله با پژوهش‌های آذرپور[11] و همکاران (۲۰۱۴) و گالریو[12] و ملینتسکو[13] (۲۰۱۴) در زمینه بررسی توانمندی مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی صفات زراعی و عملکرد گیاه برنج مطابقت داشت. امیری لاریجانی[14] و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش‌های خود بر روی کارایی مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی خصوصیات فنولوژیکی برنج، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده را در کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل به میزان ۱۲ و ۱۶ درصد برآورد نمودند که از دقت کم‌تری نسبت به پژوهش حاضر برخوردار بود. در تحقیقات لی[15] و همکاران (۲۰۱۳) دقت بسیار بالایی در شبیه‌سازی عملکرد دانه حاصل گردید که نشان از توانمندی بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد در محیط‌های مختلف رشد بود.

نتایج به‌دست‌آمده در برآورد صفت نیتروژن اندام هوایی در این پژوهش نشان‌دهنده شبیه‌سازی مطلوب مدل

1. Azarpour
2. Soundharajan
3. Sudheer
4. Tayefe
5. Sailaja
6. Tayefe
7. Wikarmpapraharn
8. Kositsakulchai
9. Limoudehi
10. Ebrahimirad
11. Azarpour
12. Galeriu
13. Melintescu
14. Amiri Larijani
15. Li

ORYZA2000 بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی بود که با نتایج به‌دست‌آمده توسط طایفه[1] (۲۰۱۳) و لیمودهی[2] و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت داشت. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در این آزمایش، نتایج شبیه‌سازی نیتروژن کل جذب‌شده با دقت بیش‌تری نسبت به پژوهش آرتاچو[3] و همکاران (۲۰۱۱) برآورد گردید. تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نیتروژن کل اندام هوایی و هم‌چنین درصد خطای نسبی در تیمارهای مختلف نیتروژن نشان داد که مدل به‌خوبی این صفت را شبیه‌سازی نمود.

بالابودن خطای مدل در برخی از تیمارهای با مصرف مقادیر پایین نیتروژن نشان‌دهنده عدم تعیین دقیق پارامترهای مدل در ارتباط بین خاک و شرایط محیطی در این مقادیر مصرف بود به‌گونه‌ای که پارامترهای مدل برای صحت نتایج شبیه‌سازی در مقادیر بالاتر مصرف نیتروژن به طرز دقیق‌تری برآورد را صورت داده و اندازه‌گیری‌های مرتبط به ورودی داده‌ها با دقت و صحت بالا انجام شد. میانگین ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در پژوهش‌ها برآورد مدل ORYZA2000 توسط طایفه[4] (۲۰۱۳) به میزان ۱۵ درصد، تاری[5] و همکاران (۲۰۱۷) به میزان ۱۱ درصد و آرتاچو[6] و همکاران (۲۰۱۱) به میزان ۳۸ درصد به‌دست آمد که در نتایج حاصل‌شده این پژوهش، صفت نیتروژن دانه به گونه مطلوب‌تری در مدیریت مختلف کود نیتروژن توسط مدل شبیه‌سازی شد. جدول (۴) تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نیتروژن دانه در تیمارهای مختلف مدیریت نیتروژن را نشان داده و بیانگر آن است که مدل توانسته به‌طور مناسبی آن را شبیه‌سازی کند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی عملکرد دانه، جذب نیتروژن گیاه برنج و مقدار زیست‌توده در رقم طارم محلی تحت مدیریت مختلف کود نیتروژن با ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده کم‌تر از ۱۲ درصد در استان مازندران از دقت قابل‌قبولی برخوردار است. مهم‌ترین عامل برای پشتیبانی از دقت کالیبراسیون مدل، اندازه‌گیری و مشاهده دقیق ویژگی‌های خاص یک محصول در مزرعه است. ارزیابی شبیه‌سازی مدل در این پژوهش تأیید نمود که عملکرد بالقوه در منطقه مازندران در زمینه رقم موردمطالعه می‌تواند به حدود ۷۹۰۰ کیلوگرم در هکتار برسد که از طریق بهبود شیوه‌های مدیریت زراعی، زمینه برای افزایش عملکرد وجود دارد. هیچ معیار مطلقی برای تشخیص کیفیت مدل وجود ندارد. با این‌حال، انجام آزمایش‌های مقایسه‌ای مکرر بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل و اندازه‌گیری‌شده تجربی، اطمینان به مناسب‌بودن یک مدل برای یک هدف خاص را افزایش می‌دهد. با توجه به نتایج این پژوهش، مدل ORYZA2000 می‌تواند با توجه به شرایط منطقه برنج‌خیز شمال برای پشتیبانی ارزیابی شیوه‌های مدیریت کود نیتروژن مورداستفاده قرار گیرد. هرچند برای دستیابی به نتایج کامل و ایجاد مدل عملی برای ارقام برنج در مدیریت مختلف کود نیتروژن آزمایش‌های طولانی‌مدت در زمینه میزان و نحوه مصرف کود نیتروژن در شالیزارهای مازندران مورد نیاز است.

1. Tayefe
2. Limoudehi
3. Artacho
4. Tayefe
5. Tari
6. Artacho

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت‌اله آملی بابت حمایت و همکاری در اجرای رساله، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

ابراهیمی‌راد، حسن؛ بابازاده، حسین، امیری، ابراهیم و صدقی، حسین (۱۳۹۸) ارزیابی بیلان و بهره‌وری آب برنج تحت مدیریت‌های آبیاری و تراکم کاشت با استفاده از مدل‌های Ceres-Rice و ORYZA2000. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۱)، ۱۶۵-۱۷۶.

References

Agricultural Ministry. (2022). *Report of Agricultural Ministry*. Iran Data Portal. *https://irandataportal.syr.edu/ministry-of-agriculture*.

Amiri, E., Rezaei, M., Rezaei, E. E., & Bannayan, M. (2014). Evaluation of Ceres-Rice, Aquacrop and Oryza2000 models in simulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. *Journal of Plant Nutrition*, *37*(11), 1749-1769.

Artacho, P., Meza, F., & Alcalde, J. A. (2011). Evaluation of the Oryza2000 rice growth model under nitrogen-limited conditions in an irrigated Mediterranean environment. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *71*(1), 23.

Azarpour, E., Moraditochaee, M., & Bozorgi, H. R. (2014). Assessment examine of the modeling ability of ORYZA2000 for rice cultivars in Guilan province (Iran). *Journal of Biodiversfity and Environmental Sciences*, *4*(2), 195-204.

Boling, A. A., Bouman, B. A. M., Tuong, T. P., Murty, M. V. R., & Jatmiko, S. Y. (2007). Modelling the effect of groundwater depth on yield-increasing interventions in rainfed lowland rice in Central Java, Indonesia. *Agricultural Systems*, *92*(1-3), 115-139.

Bouman, B. A. M., & Van Laar, H. H. (2006). Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. *Agricultural Systems*, *87*(3), 249-273.

Bouman, B. A. M., Kropff, M. J., Tuong, T. P., Wopereis, M. C. S., ten Berge, H. F. M., & Van Laar, H. H. (2001). *ORYZA2000: Modeling Lowland Rice*. Los Banos: International Rice Research Institute.

Cao, B., Hua, S., Ma, Y., Li, B., & Sun, C. (2017). Evaluation of ORYZA2000 for simulating rice growth of different genotypes at two latitudes. *Agronomy Journal*, *109*(6), 2613-2629.

Ebrahimirad, H., Babazadeh, H., Amiri, E., & Sedghi, H. (2019). Evaluation of water balance and water productivity in rice under water-management and different plant density with use Ceres-Rice and ORYZA2000 models. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *13*(1), 165-176. (In Persian).

Galeriu, D., & Melintescu, A. (2014). Carbon-14 dynamics in rice: an extension of the ORYZA2000 model. *Radiation and Environmental Biophysics*, *53*(1), 187-202.

Gutaker, R. M., Groen, S. C., Bellis, E. S., Choi, J. Y., Pires, I. S., Bocinsky, R. K., Slaton, R. A., Wilkins, O., Castillo, C. C., Negrao, S., Oliveira, M. M., Fuller, D. Q., Gueds, J. A., Lasky, J. R & Purugganan, M. D. (2020). Genomic history and ecology of the geographic spread of rice. *Nature Plants*, *6*(5), 492-502.

Iqbal, M., Alom, M. A. M. S. F., & Rana, M. M. (2014). Response of modern and hybrid rice varieties to different levels of nitrogen under rice–rice cropping pattern. *Eco-friendly Agriculture Journal*, *7*(10), 105-109.

Larijani, B. A., Sarvestani, Z. T., Nematzadeh, G. H., Manschadi, A. M., & Amiri, E. (2011). Simulating phenology, growth and yield of transplanted rice at different seedling ages in northern Iran using ORYZA2000. *Rice Science*, *18*(4), 321-334.

Li, T., Raman, A. K., Marcaida III, M., Kumar, A., Angeles, O., & Radanielson, A. M. (2013). Simulation of genotype performances across a larger number of environments for rice breeding using ORYZA2000. *Field Crops Research*, *149*, 312-321.

Limoudehi, M. E., Amiri, E., Rezaei, M., & Hoseini, A. (2014). Rice growth and yield simulation under irrigation and N fertilizer regimes by ORYZA2000 model. *Agrochimica Research*, *58*(1s), 30-40.

Majumder, D., & Das, L. (2018). Simulating the yield attributes of Boro rice under nitrogen and irrigation management at Mohanpur, West Bengal using ORYZA2000. *Journal of Agrometeorology*, *20*(1), 72-74.

Sailaja, B., Voleti, S. R., Subrahmanyam, D., Nathawat, M. S., & Rao, N. H. (2013). Validation of Oryza2000 model under combined nitrogen and water limited situations. *Indian Journal of Plant Physiology*, *18*(1), 31-40.

Soundharajan, B., & Sudheer, K. P. (2013). Sensitivity analysis and auto-calibration of ORYZA2000 using simulation-optimization framework. *Paddy and Water Environment*, *11*(1), 59-71.

Tari, D. B., Amiri, E., & Daneshian, J. (2017). Simulating the impact of nitrogen management on rice yield and nitrogen uptake in irrigated lowland by ORYZA2000 Model. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *48*(2), 201-213.

Tayefe, M. (2013). Calibration and evaluation of ORYZA2000 model under different N options in irrigated rice in Iran. *Journal of Biodivers Environment Science*, *3*, 77-82.

Tayefe, M., Amiri, E., Nasrollahzade, A., & Hashemi, S. A. (2013). Testing the modeling capability of ORYZA2000 under nitrogen limit conditions in Northern Iran. *International Journal of Biosciences (IJB)*, *3*(11), 1-7.

Wikarmpapraharn, C., & Kositsakulchai, E. (2010). Evaluation of ORYZA2000 and CERES-Rice models under potential growth condition in the Central Plain of Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*, *43*(1), 17-29.

Zhang, J., Feng, L., Zou, H., & Li Liu, D. (2015). Using ORYZA2000 to model cold rice yield response to climate change in the Heilongjiang province, China. *The Crop Journal*, *3*(4), 317-327.

Zhao, L., Meng, B., & Feng, X. (2020). Mercury methylation in rice paddy and accumulation in rice plant: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *195*, 110462.