شبیه‌سازی عملکرد دانه و جذب نیتروژن در برنج تحت مدیریت آبیاری و نیتروژن

آذین نصرالله زاده

گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

نویسنده مسئول: azinnasr@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۸**

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی این مدل، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک کامل تصادفی بر روی رقم هاشمی با سه تکرار در دو سال زراعی انجام شد. عامل اصلی آزمایش شامل آبیاری در ۲ سطح (غرقاب، آبیاری نوبتی ۱۰ روز) و عامل فرعی نیتروژن در ۳ سطح (شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه، بیولوژیک، نیتروژن دانه و کل با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین، آزمون t، RMSE و RMSEn انجام گرفت. نتایج نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده بین ۸ تا ۱۳ درصد، شبیه‌سازی مقادیر ماده خشک و نیتروژن جذب‌شده در شرایط آبیاری و کود نیتروژن متغیر است. عملکرد با ریشه میانگین مربعات خطای ۲۵۴ تا ۲۶۱ کیلوگرم در هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۸ تا ۹ درصد شبیه‌سازی شد. مقادیر ضریب تبیین برای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، نیتروژن دانه و نیتروژن کل به ترتیب برابر با ۰/۸۵، ۰/۹۱، ۰/۷۹ و ۰/۸۴ بود. مدل مقدار نیتروژن دانه و کل را بیشتر از مقدار اندازه‌گیری، شبیه‌سازی نمود. نتایج تحقیق نشان داد که می‌توان از مدل ORYZA2000 برای پشتیبانی نتایج پژوهش‌های تحت شرایط محدودیت آبیاری و نیتروژن استفاده کرد.

کلمات کلیدی: آبیاری نوبتی، برنج، میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمال شده.

مقدمه

برنج بعد از گندم دومین گیاه مهم زراعی از لحاظ گستردگی سطح زیر کشت، محسوب می‌شود. محدودکننده‌ترین عنصر برای گیاه برنج، نیتروژن است. بر اساس مطالعات مختلف، عملکرد بالا در برنج با تأمین مقدار مناسب نیتروژن امکان‌پذیر بوده و صفاتی که باعث افزایش عملکرد می‌شوند نیز همبستگی خوبی با مقدار مصرف نیتروژن دارند (کاظمی پشت مساری و همکاران،۱۳۸۶). برنج از نظر میزان مصرف آب، بین تمام محصولات کشاورزی بیشترین نیاز را به خود اختصاص داده است. برنج تا رسیدن کامل به حدود ۸ تا ۱۱ هزار مترمکعب آب در هکتار احتیاج دارد و برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک به ۷۰۰ لیتر آب نیاز است (رضایی و نحوی، ۱۳۸۶). مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی دارای توانایی پیش‌بینی رشد گیاه، مصرف آب و عملکرد با اهدافی نظیر درک واکنش گیاهان زراعی به تغییرات سیستم اقلیم، گیاه و آب بوده و دارای توانایی ارزیابی صفات فیزیولوژیک جهت بهبود ژنتیکی عملکرد و کمک به تصمیم سازی‌ها جهت بهینه‌سازی استفاده از منابع قابل‌دسترس می‌باشند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای انجام مطالعات مختلف ازجمله انتخاب گیاه و رقم مناسب، تعیین خصوصیات مطلوب گیاهی، تعیین بهترین مدیریت زراعی، پیش‌بینی اثر تنوع و تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول و تخمین عملکرد بالقوه استفاده‌شده است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۴). Bouman و همکاران (۲۰۰۷) کاربردهای مدل‌سازی را در ابعاد مختلف مورد بررسی قرار داده و این موارد را به سه گروه اصلی شامل پژوهش، مدیریت نظام‌های زراعی و سیاست گزاری اختصاص داده‌اند. بیش از ۳۰ سال است که از شبیه‌سازی رشد برنج گذشته است. در سال ۱۹۸۳ موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج، مدل RICEMOD را برای محیط‌های بارانی و تخمین پتانسیل عملکرد ارائه داد. علت عدم توجه به این مدل، دیدگاه‌های فیزیکی و فیزیولوژیکی نسبتاً ساده این مدل بیان‌شده است (McMennamy and Toole, 1983). مدل ORYZA 2000 از مدل‌های مدرسه دی ویت است که نمایه‌ای از رشد برنج در زمین‌های پست را تحت سه شرایط تولید پتانسیل، کمبود نیتروژن و کمبود آب ارائه می‌دهند و امکان شبیه‌سازی در این شرایط را امکان‌پذیر می‌سازد. در این مدل فرض می‌شود در تمامی شرایط مذکور تولید محصول در برابر بیماری‌ها، آفات و حشرات محافظت شده و هیچ کاهش محصولی روی نخواهد داد. جهت شبیه‌سازی کلیه شرایط تولید، چندین شاخص باهم در ORYZA2000 جمع شده‌اند. جهت برقراری ارتباط آسان بین شاخص‌ها، کلیه شاخص‌ها در محیط شبیه‌سازی‌شده فرترن (FSE)برنامه‌ریزی‌شده است (Van Kraalingen, 1998). Bouman و Van Laar (۲۰۰۶) در پژوهشی برای ارزیابی برنج با مدل ORYZA2000 در شرایط محدودیت نیتروژن، مقادیر RMSE را برای زیست‌توده کل در حدود ۶۹۰ تا ۱۲۸۰ کیلوگرم در هکتار و برای عملکرد در حدود ۸۴۰ تا ۸۵۰ کیلوگرم در هکتار به دست آوردند. نتایج پیش‌بینی این مدل برای ۴ رقم برنج، تحت شرایط مدیریت آبیاری و کود، در دو کشور تایلند و چین نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده شاخص سطح برگ، بیوماس کل و عملکرد دانه در شرایط واسنجی به ترتیب ۴۵، ۱۹ و ۱۳ می‌باشد (Belder et al., 2007). Jing و همکاران (۲۰۰۸) از مدل

ORYZA2000 برای پیش‌بینی واکنش سه رقم برنج به مدیریت کود نیتروژن استفاده کردند. نتایج نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ماده خشک خوشه، ماده خشک کل، بیوماس کل و عملکرد دانه در شرایط واسنجی به ترتیب ۱۶، ۱۶، ۹، ۱۱ و در شرایط اعتبارسنجی به ترتیب ۲۰، ۲۴، ۱۱ و ۱۶ محاسبه شد. امیری و رضایی (۲۰۱۰) در پژوهشی به‌منظور ارزیابی طرح آب-نیتروژن برای برنج در ایران با استفاده از مدل ORYZA 2000؛ بیان نمودند که مدل ORYZA 2000 به‌طور رضایت بخشی توانست زیست‌توده و عملکرد را در شرایط کود نیتروژن و آبیاری شبیه‌سازی نماید. عملکرد شبیه‌سازی‌شده دارای RMSE در حدود ۲۳۷ تا ۴۴۳ کیلوگرم در هکتار و RMSEn در حدود ۵ تا ۱۱ درصد داشت. امیری و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور ارزیابی مدل ORYZA 2000 در ایران، آزمایشی را بر روی رقم هاشمی طی سال‌های زراعی ۱۳۸۴، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ در موسسه تحقیقات برنج کشور، در رشت انجام دادند. نتایج نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده بین ۱۵-۵ درصد می‌باشد؛ و شبیه‌سازی مقادیر ماده خشک و نیتروژن جذب‌شده در شرایط آبیاری و کود نیتروژن متغیر است. عملکرد با ریشه میانگین مربعات خطای ۴۶۴-۱۵۵ کیلوگرم در هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۱۱-۳ درصد شبیه‌سازی شد. در پژوهشی بر برنج در دانشگاه واگنینگن مشاهده شد که مدل ORYZA 2000 دارای دقت کافی بوده و برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و جذب نیتروژن در پایان فصل مناسب است. جذب نهایی نیتروژن گیاه با RMSE در حدود ۲۰ کیلوگرم در هکتار (۱۵ درصد) و عملکرد دلنه با RMSE در حدود ۱۶۶۶ کیلوگرم در هکتار (۱۹ درصد) شبیه‌سازی شد (Artacho et al., 2011). هدف از اجرای این پژوهش، ارزیابی مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد دانه، بیوماس کل، نیتروژن دانه و کل در شرایط محدودیت آبیاری و نیتروژن بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی واکنش برنج رقم هاشمی به محدودیت نهاده‌های آب و کود، پژوهشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی موسسه برنج کشور (رشت) انجام شد. عامل اصلی پژوهش شامل آبیاری به‌صورت I1= غرقاب، I2= آبیاری نوبتی ۱۰ روز و عامل فرعی نیتروژن در سطوح N0=شاهد، N50=۵۰ و N100=۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. این آزمایش در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. در سال اول، کشت در ۲۰ خرداد و در سال دوم در ۱ خرداد انجام شد. در تمامی سال‌های مورد پژوهش فواصل نشاکاری ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد؛ به‌طوری‌که تعداد ۲۵ کپه در مترمربع زمین نشا شد. مقدار آب اختصاص داده‌شده به هر کرت با استفاده از سیستم لوله‌کشی مجهز به شیر فلکه‌های کنترل تأمین، و توسط کنتور اندازه‌گیری شد. در طول فصل رشد برای مبارزه با علف‌های هرز اقدام به سه نوبت وجین دستی شد. در جدول (۱) خصوصیات فیزیکی مزرعه تحقیقاتی مشاهده می‌شود.

به‌عنوان معیار ارزیابی نتایج مدل ترکیبی از مقادیر آماری و نمایش گرافیکی در نظر گرفته شـد. از نمودار پراکنش داده‌های شـبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده و خطوط ۱:۱ نیز به‌منظور نشـان دادن تناسـب کلی مدل (کارایی کلی مدل) اسـتفاده شد. به‌صورت گرافیکی مقایسه مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده بیوماس کل، عملکرد دانه، نیتروژن دانه و نیتروژن کل برای هر مدیریت آبیاری با تعیین ضـریب تبیین (R2) انجام گردید (Kobayashi and Salam, 2000). جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی مدل از آزمون (P(t)) و پارامترهای آماری زیر استفاده شد (رابطه ۱ و ۲):

رابطه(۱)
$$RMSE = (\sum_{I=1}^{n} (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5}$$

رابطه(۲)
$$RMSE \;\; Normalised = 100 (\sum_{I=1}^{n} (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5} / \overline{O}$$

که در این روابط: pi = مقدار شـبیه‌سـازی مدل اجزای گیاهی، *Oi* = مقدار اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی، n = تعداد اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی، $\overline{O}$ = میانگین مقادیر اندازه‌گیری اجزای گیاهی.RMSE[1]: مقدار ریشـه میانگین مربعات خطا وRMSEn[2] : ریشـه میانگین مربعات خطای نرمال شـده می‌باشـد. چنانچه مقدار نتیجه آزمون t بیشـتر از ۰/۰۵ باشـد، بدان مفهوم اسـت که مقادیر شـبیه‌سـازی پارامتر در سـطح اطمینان ۹۵ درصـد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری شـده ندارد. چنانچه مقدار RMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بیشتر از ۳۰ درصد ضعیف خواهد بود (Bouman et al., 2001).

معرفی مدل ORYZA2000

مدل ORYZA2000 برای بهینه‌سازی فنولوژیک برنج از مرحله کاشـت تا گلدهی و با هدف دسـتیابی به عملکرد بالقوه در محیط‌های مختلف، استفاده می‌شود. نیاز بالقوه روزانه برای نیتروژن از سرعت‌های رشد و نیتروژن اندام گیاهی محاسبه می‌شود. نیاز نیتروژنی برگ‌ها و ساقه‌ها از تفاوت بین مقدار نیتروژن واقعی و بیشینه در بیوماس موجود و تازه شکل‌گرفته است. محتوای نیتروژن بیشـینه برگ‌ها با مرحله نموی تغییر می‌کند. مدل ORYZA2000 توانایی شـبیه‌سـازی رشـد و نمو برنج را در شـرایط تولید بالقوه، محدودیت آبی، محدودیت نیتروژن و محدودیت هم‌زمان آب و نیتروژن را بر عهده دارد. در شـرایط تولید، سـرعت رشـد یک گیاه زراعی توسـط نور، حرارت و خصـوصـیات گیاهی برای فرایندهای فنولوژیک، مورفولوژی و فیزیولوژیک تعیین می‌شود. تنش خشکی روی رشـد و توسعه برنج تأثیر می‌گذارد و موجب فرایندهایی مانند: لول شـدن برگ، عقیم شـدن سـنبله،

[1] Root Mean Square Error
[2] Root Mean Square Error-Normalised

کاهش توسعه برگ، تغییر تقسیم‌بندی جذب، افزایش عمق ریشه، تأخیر توسعه دوره رویشی، افزایش پیری برگ وکاهش فتوسنتز می‌شود (Bouman et al., 2006).

به‌منظور واسنجی پارامترهای گیاهی مدل، از داده‌های اندازه‌گیری شده مدیریت آبیاری (غرقاب و تناوب۱۰ روز) و کود نیتروژن (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سال ۱۳۹۷و به‌منظور اعتبار سنجی مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۹۸ استفاده شد. اطلاعات موردنیاز برای اجرای مدل: الف) داده‌های هواشناسی: داده‌های روزانه مربوط به حداقل و حداکثر دما، مقدار بارندگی، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی. ب) اطلاعات خاکشناسی: تعداد و عمق لایه‌های خاک، ظرفیت مزرعه‌ای، نقطه پژمردگی، عمق توسعه ریشه، هدایت هیدرولیکی اشباع. ج) اطلاعات مدیریتی: مقدار آبیاری و تاریخ آبیاری، مقدار کود نیتروژن، تاریخ‌مصرف، تاریخ خزانه‌گیری و نشا، تعداد نشا در هر کپه، تعداد کپه در هر مترمربع بود.

نتایج و بحث

برای واسنجی پارامترهای گیاهی مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده تحت شرایط تولید پتانسیل استفاده گردید. ابتدا برنامه DRATES اجرا گردید؛ که نتیجه آن محاسبه مقادیر سرعت توسعه فنولوژیکی است. سرعت توسعه فنولوژیکی در چهار فاز رویشی پایه ($DVRJ=0.000576(°C\times day)^{-1}$)، حساسیت به نور ($DVRI=0.000758(°C\times day)^{-1}$)، شکل‌گیری پانیکول ($DVRP=0.000795(°C\times day)^{-1}$) و فاز پر شدن دانه ($DVRR=0.01900\ (°C\times day)^{-1}$) است. سپس برنامه PARAM اجرا می‌گردد که سایر پارامترها برای واسنجی پارامترهای گیاهی مانند حداکثر سرعت رشد نسبی سطح برگ ($RGRLMX=0.007(°C\times day)^{-1}$) و کسر ذخیره ساقه ($FSTR=0.20(°C\times day)^{-1}$) محاسبه می‌گردد. سرعت مرگ در طول دوره رویش برگ (DRLVT,(day) 1)، سطح ویژه برگ در طول دوره رویش (SLA,hakg-1)، فاکتور تفکیک زیست‌توده بین برگ (-)FLV، ساقه (-)FST و خوشه (-)FSO در طول دوره رویش نشان داده‌شده است (جدول ۲).

واسنجی و اعتبارسنجی مدل ORYZA2000

متغیرهای آماری برای ارزیابی واسنجی و اعتبارسنجی توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج در طول دو سال زراعی در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۲۵۴ و ۲۶۱ کیلوگرم در هکتار است. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۸ و ۹ درصد به دست آمد. نتایج آزمون t نشان داد بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده در سال واسنجی و اعتبارسنجی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱ و ۲). Xue و همکاران (۲۰۰۸) و Jing و همکاران (۲۰۰۷)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد دانه را در شرایط واسنجی ۱۲ و ۱۱ درصد

گزارش نموده‌اند. Belder و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Bouman و Van Laar (۲۰۰۶) RMSE را به ترتیب ۱۶ و ۱۹ درصد گزارش نموده‌اند.

جدول ۱: برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی محل اجرای آزمایش

رس (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر خاک (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم قابل‌جذب (میلی گرم در کیلوگرم)
۹	۵۴	۳۶	۰/۳۵	۰/۰۹	۵۴	۲۱۵/۵

جدول ۲: پارامترهای واسنجی

زیست‌توده خوشه	زیست‌توده ساقه	زیست‌توده برگ	سطح ویژه برگ در طول دوره رویش		سرعت مرگ در طول دوره رویش برگ	
FSO(-)	FST(-)	FLV(-)	.DVS	SLA(ha/kg)	DVS	$DRLVT(day)^{-1}$
۰/۰۰۰	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۰۰	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰
۰/۰۰۰	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۰۰۴۵	۰/۱۶	۰/۰۰
۰/۰۰۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۰/۷۵	۰/۰۰۳۳	۰/۳۳	۰/۰۱۵
۰/۲۰۰	۰/۸۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰۳۰	۰/۶۵	۰/۰۲۵
۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۲۰	۰/۰۰۲۵	۰/۷۹	۰/۰۵۰
۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۵۰	۰/۰۰۲۳	۲/۱۰	۰/۰۵۰

جدول ۳ : واسنجی نتایج شبیه‌سازی پارامترهای گیاهی مدل ORYZA2000 در سال۱۳۹۷.

پارامترهای گیاهی	تعداد نمونه	O_{mean}	P_{mean}	R2	P(t)	RMSE	RMSEn (%)
عملکرد دانه	۶	۳۶۵۷	۳۶۲۳	۰/۹۱	۰/۳۵	۲۵۴	۸
عملکرد بیولوژیکی	۶	۷۸۴۱	۷۸۶۴	۰/۹۳	۰/۵۱	۲۹۸	۹
نیتروژن دانه	۶	۵۸	۵۵	۰/۸۴	۰/۴۴	۱۱	۱۳
نیتروژن کل	۶	۷۹	۸۶	۰/۸۲	۰/۳۰	۱۴	۱۱

O_{mean}: مقادیر مشاهده‌شده یا اندازه‌گیری شده و P_{mean}: مقادیر پیش‌بینی‌شده.

جدول ۴: اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی پارامترهای گیاهی مدل ORYZA2000 در سال۱۳۹۸.

پارامترهای گیاهی	تعداد نمونه	O_{mean}	P_{mean}	R2	P(t)	RMSE	RMSEn (%)
عملکرد دانه	۶	۳۵۱۸	۳۴۸۵	۰/۸۱	۰/۳۴	۲۶۱	۹
عملکرد بیولوژیکی	۶	۷۷۴۱	۷۹۳۸	۰/۸۴	۰/۵۰	۶۰۱	۸
نیتروژن دانه	۶	۵۰	۵۲	۰/۷۷	۰/۲۷	۸	۵
نیتروژن کل	۶	۸۱	۹۰	۰/۸۳	۰/۱۲	۱۱	۱۱

O_{mean}: مقادیر مشاهده‌شده یا اندازه‌گیری شده و P_{mean}: مقادیر پیش‌بینی‌شده.

شبیه‌سازی عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی (شکل ۱) بین مقادیر حداکثر عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R^2) برای داده‌ها ۰/۸۵ است. ریشه میانگین مربعات خطا در حدود ۲۱۲ کیلوگرم از عملکرد دانه در هکتار است. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده حداکثر عملکرد دانه ۹ درصد به دست آمد. همچنین بالا بودن

نسبی R^2 بیانگر پراکندگی پایین داده‌ها بوده است. بر اساس آزمون t مشاهده شد که بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد وجود ندارد. درصد خطای نسبی بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده بسیار پایین بود. امیری و همکاران (۲۰۱۱)، Jing و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Bouman و Van Laar (۲۰۰۶) ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مقدار عملکرد دانه را برای شرایط واسنجی به ترتیب ۷، ۱۳ و ۱۱ درصد به دست آوردند. امیری لاریجانی و همکاران (۲۰۱۱) ضریب تبیین (R^2) را برای تخمین عملکرد دانه در شرایط واسنجی ۰/۷۸ درصد گزارش کردند. مقدار عملکرد دانه اندازه‌گیری شده در طول تحقیق سال ۱۳۹۷ در محدوده ۴۳۱۲-۲۶۵۱ کیلوگرم در هکتار بود و عملکرد دانه شبیه‌سازی در محدوده ۴۳۶۷-۲۳۶۴ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد، به‌طوری‌که مدل درصد خطا را ۱۱- درصد کمتر از واقعیت و ۲+ درصد بیشتر از واقعیت برآورد نمود که درصد خطای نسبی در کل عدد ۲- درصد را به خود اختصاص داد که مقدار پایینی بود و از طرفی اختلاف معنی‌داری بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی مشاهده نشد. همچنین تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و واقعی در تیمارهای مختلف میزان عملکرد دانه را نشان می‌دهد که مدل با کمترین درصد خطا این افزایش را پیش‌بینی می‌کند (جدول ۵). مقدار عملکرد دلنه لندازه‌گیری شده در طول تحقیق سال ۱۳۹۸ در محدوده ۴۱۲۵-۲۶۹۷ کیلوگرم در هکتار بود و عملکرد دانه شبیه‌سازی در محدوده ۴۰۸۹-۲۶۰۵ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد، به‌طوری‌که مدل درصد خطا را ۷- درصد کمتر از واقعیت و ۹+ بیشتر از مدل برآورد می‌کند (جدول ۵). بیشترین مقدار عملکرد دانه در تیمار آبیاری و سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در هر دو سال زراعی مشاهده شد و کمترین مقدار به تیمار آبیاری غرقاب و تیمار عدم مصرف کود نیتروژن مشاهده شد. Belder و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Bouman و Van Laar (۲۰۰۶) نشان داند که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مقدار عملکرد دانه به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد است. عملکرد دانه شبیه‌سازی در پژوهشی بر برنج دارای RMSE و RMSEn به ترتیب برابر با ۱۶۶۶ کیلوگرم در هکتار و ۱۹ درصد بود (Artacho et al., 2011). امیری و رضایی(۲۰۱۰) بیان نمودند که عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده دارای RMSE و RMSEn به ترتیب ۲۳۷ تا ۴۴۳ کیلوگرم در هکتار و ۵ تا ۱۱ درصد است.

شبیه‌سازی عملکرد بیولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی (شکل ۲) بین مقادیر حداکثر عملکرد بیولوژیک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R^2) برای داده‌ها ۰/۹۱ است؛ که بالا بودن نسبی R^2 بیانگر پراکندگی پایین داده‌ها بوده است. نتایج آزمون t نشان داد که بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده در سطح احتمال ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. ریشه میانگین مربعات خطا در حدود ۴۴۱ کیلوگرم از عملکرد بیولوژیک در هکتار است. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده حداکثر بیوماس ۹ درصد به دست آمد. امیری و رضایی (۲۰۰۹) نشان دادند که مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد بیولوژیکی در شرایط واسنجی و اعتبار سنجی در محدوده ۲۸-۹ درصد متغیر است و در این پژوهش

در حدود ۷ درصد به دست آمد. امیری لاریجانی و همکاران (۲۰۱۱) ضریب تبیین (R^2) را برای تخمین بیوماس در شرایط اعتبارسنجی ۰/۷۸ درصد گزارش کرد. امیری و رضایی (۲۰۰۹) ضریب تبیین (R^2) برای تخمین بیوماس را در محدوده ۰/۹۳ محاسبه کردند. تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده در تیمارهای مختلف میزان عملکرد بیولوژیک و همچنین درصد خطای نسبی مدل ORYZA2000 را در طی سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی این عملکرد را نشان می‌دهد و اختلاف معنی‌داری بین نتایج مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر واقعی وجود ندارد (جدول ۶). مقدار عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شده در ۱۳۹۷ در محدوده ۸۹۰۴-۵۵۷۸ کیلوگرم در هکتار بود و عملکرد بیولوژیک شبیه‌سازی در محدوده ۹۱۰۵ -۵۴۲۹ کیلوگرم در هکتار (بیشترین عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده در تیمار آبیاری و سطح کودی ۱۰۰ و کمترین مقدار را تیمار آبیاری غرقاب و عدم مصرف کود نیتروژن) تخمین زده شد، به‌طوری‌که مدل درصد خطا را ۳- درصد کمتر از واقعیت در تیمار آبیاری و سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم و ۳+ بیشتر از واقعیت در تیمار آبیاری تناوبی و عدم مصرف کود برآورد می‌کند (جدول ۶). مقدار عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شده در طول تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۸ در محدوده ۹۳۸۷-۵۵۹۷ کیلوگرم در هکتار بود و عملکرد دانه شبیه‌سازی در محدوده ۹۰۷۵-۵۹۷۴ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد، به‌طوری‌که مدل درصد خطا را ۴- درصد کمتر از واقعیت در تیمار آبیاری غرقاب و کود ۱۰۰ کیلوگرم و ۷+ بیشتر از واقعیت در آبیاری غرقاب و عدم مصرف کود برآورد می‌کند. همچنین تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و واقعی در تیمارهای مختلف میزان عملکرد بیولوژیک را نشان می‌دهد که مدل با کمترین درصد خطا این افزایش را پیش‌بینی می‌کند. به‌طورکلی در هر دو سال زراعی در مقادیر واقعی و شبیه‌سازی، با افزایش مقادیر کودی، افزایش عملکرد بیولوژیک مشاهده شد (جدول ۶). Bouman و Van Laar (۲۰۰۶) ، Belder و همکاران (۲۰۰۷)، Jing و همکاران (۲۰۰۸) و Xue و همکاران (۲۰۰۸) مقدار جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده بیوماس را ۷، ۱۹، ۹ و ۱۱ درصد و در شرایط اعتبار سنجی مدل ۹، ۱۳، ۱۱ و ۱۱ درصد به دست آوردند. مقدار RMSE و RMSEn برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب برابر با ۴۲۱۴ کیلوگرم در هکتار و ۲۵ درصد بود (Artacho et al., 2011).

شبیه‌سازی نیتروژن دانه

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی (شکل ۳) بین مقادیر حداکثر نیتروژن دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R2) برای داده‌ها ۰/۷۹ است. ریشه میانگین مربعات خطا در حدود ۸ کیلوگرم از نیتروژن دانه در هکتار است. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده حداکثر نیتروژن دانه ۷ درصد به دست آمد. همچنین بالا بودن نسبی R2 بیانگر پراکندگی پایین داده‌ها بوده است. در این پژوهش مدل مقدار نیتروژن کل را در نهایت ۱۱ درصد بیشتر از واقعیت شبیه‌سازی نمود که با نتایج امیری و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد که این محققین علت شبیه‌سازی مقادیر بالاتر از واقعی را در شبیه‌سازی بیشتر شاخص سطح برگ و ماده خشک کل بیان نمود. مشاهده می‌شود با افزایش مقدار کود نیتروژن و

تغییر مدیریت آبیاری بازهم مدل، نیتروژن کل را به‌خوبی شبیه‌سازی نمی‌کند. تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده در تیمارهای مختلف میزان نیتروژن دانه و همچنین درصد خطای نسبی مدل ORYZA2000 را در طی سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی مقدار نیتروژن دانه را نشان می‌دهد (جدول ۷). مقدار نیتروژن دانه اندازه‌گیری شده در طول تحقیق در محدوده ۴۰-۶۸کیلوگرم در هکتار (کمترین مقدار نیتروژن دلنه در تیمار آبیاری غرقاب و عدم مصرف کود و بیشترین مقدار در تیمار آبیاری غرقاب و کود ۱۰۰ کیلوگرم) بود و نیتروژن دانه شبیه‌سازی در محدوده ۳۷-۶۹ کیلوگرم در هکتار (بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن دلنه‌به ترتیب در تیمار آبیاری غرقاب و کود ۱۰۰ کیلوگرم و آبیاری غرقاب و عدم مصرف کود نیتروژن) تخمین زده شد، به‌طوری‌که مدل درصد خطا را ۱۱- درصد کمتر از واقعیت و ۴+ درصد بیشتر از مدل برآورد می‌کند (جدول ۷). مقدار نیتروژن دانه اندازه‌گیری شده در طول تحقیق ۵۴ کیلوگرم در هکتار بود و نیتروژن دانه شبیه‌سازی ۵۳ کیلوگرم در هکتار (بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب در تیمار آبیاری غرقاب و کود ۱۰۰ کیلوگرم و آبیاری غرقاب و عدم مصرف کود) تخمین زده شد، به‌طوری‌که مدل درصد خطا را ۳ درصد کمتر از واقعیت برآورد می‌کند. همچنین تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و واقعی در تیمارهای مختلف میزان عملکرد بیولوژیکی را نشان می‌دهد که مدل با کمترین درصد خطا این افزایش را پیش‌بینی می‌کند. به‌طورکلی در مقایسه بین سطوح کودی مشاهده شد که با افزایش میزان کود در هر دو آبیاری غرقاب و تناوبی مشاهده شد که به نیتروژن دانه افزوده شد (جدول ۷). مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مقدار نیتروژن دانه به ترتیب برابر با ۵ کیلوگرم در هکتار و ۹ درصد بود (امیری و همکاران، ۲۰۱۱).

شبیه‌سازی نیتروژن کل

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی (شکل ۴) بین مقادیر حداکثر نیتروژن دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R^2) برای داده‌ها ۰/۸۴ است. ریشه میانگین مربعات خطا در حدود ۱۴ کیلوگرم از نیتروژن کل در هکتار است. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده حداکثر نیتروژن کل ۱۸ درصد به دست آمد. همچنین بالا بودن نسبی R^2 بیانگر پراکندگی پایین داده‌ها بوده است که در شکل مشاهده می‌شود. تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده در تیمارهای مختلف میزان نیتروژن دانه و همچنین درصد خطای نسبی مدل ORYZA2000 را در طی سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی این عملکرد را نشان می‌دهد (جدول ۸). مقدار نیتروژن کل اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۹۷در محدوده ۶۲-۱۱۲ کیلوگرم در هکتار بود و نیتروژن کل شبیه‌سازی در محدوده ۵۷-۱۱۸ کیلوگرم در هکتار (بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن کل به ترتیب در تیمار آبیاری تناوبی و کود ۱۰۰ و آبیاری غرقاب و عدم مصرف کود) تخمین زده شد، به‌طوری‌که مدل درصد خطا را ۱۲- درصد کمتر از واقعیت و ۹+ بیشتر از مدل برآورد می‌کند. مقدار نیتروژن کل اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۹۸ در محدوده ۵۹-۱۱۴ کیلوگرم در هکتار بود و نیتروژن کل شبیه‌سازی در محدوده ۶۱-

۱۱۹ کیلوگرم در هکتار (بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن کل به ترتیب در تیمار آبیاری تناوبی و کود ۱۰۰ و آبیاری غرقاب و عدم مصرف کود) تخمین زده شد، به‌طوری‌که مدل درصد خطا را در این صفت بیشتر از واقعیت تخمین زد که دامنه این تخمین بین ۱۰+ تا ۱- درصد بود. بررسی مقایسه بین سطوح نیتروژن نشان داد که در هر دو تیمار آبیاری با افزایش مقدار کود نیتروژن به مقدار نیتروژن کل افزوده شد و این افزایش در تیمار آبیاری غرقاب بیشتر بود (جدول ۸). در این پژوهش مدل مقدار نیتروژن کل را در نهایت ۵ درصد بیشتر از واقعیت شبیه‌سازی نمود که با نتایج امیری و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد که این محققین علت شبیه‌سازی مقادیر بالاتر از واقعی را در شبیه‌سازی بیشتر شاخص سطح برگ و ماده خشک کل دانست، مشاهده می‌شود با افزایش مقدار کود نیتروژن و تغییر مدیریت آبیاری باز هم مدل، نیتروژن کل را به‌خوبی شبیه‌سازی نمی‌کند، زیرا در شرایط مدیریت غیر غرقاب در تأثیر متقابل با کود نیتروژن، مقدار تفکیک ماده خشک بین اجزای گیاهی، سطح ویژه برگ، جذب نیتروژن از خاک و مقدار بازیافت نیتروژن در اجزای گیاهی در طول فصل زراعی، متغیر است، درحالیکه پارامترهای فوق در مدل در طول فصل ثابت در نظر گرفته و مدل توانایی آنکه در شرایط تأثیر متقابل بتواند تغییرات ناشی از مدیریت‌های آبیاری و نیتروژن را ایجاد کند را ندارد. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مقدار نیتروژن کل به ترتیب ۱۴ و ۱۸ درصد بود. جذب نیتروژن کل در پژوهشی شبیه‌سازی‌شده و مقدار RMSE در حدود ۲۰ کیلوگرم در هکتار را به خود اختصاص داد (Artacho et al., 2011).

نتیجه‌گیری

نتایج مدل نشان می‌دهد که مدل ORYZA2000 توانایی شبیه‌سازی عملکرد دانه، بیوماس کل، نیتروژن دانه و نیتروژن کل را برای رقم هاشمی با درصد خطای زیر ۱۰ درصد (شبیه‌سازی عالی به دلیل RMSEn پایین‌تر از ۱۰ درصد) و نیتروژن کل زیر ۲ درصد (شبیه‌سازی خوب به دلیل RMSEn بین ۱۰ تا ۲۰ درصد)، دارا است و ازنظر آماری و در سطح احتمال ۵ درصد، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین نتایج مدل و واقعیت وجود ندارد. دامنه خطای نسبی برای عملکرد دانه، بیوماس کل، نیتروژن دلنه و کل به ترتیب برابر با ۱۱- تا ۹، ۴- تا ۷، ۱۱- تا ۸ و ۱۲- تا ۱۰ بود. مدل ORYZA2000 می‌تولند به ابزاری کارآمد و دقیق در انتخاب راهکار مناسب قبل از انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای ازجمله آزمون‌های سازگاری و انتخاب ارقام و یافتن تیپ ایده آل برای اقلیم‌ها و مناطق مختلف برنج‌کاری کشور مورداستفاده قرار گیرد. بعلاوه؛ از این مدل می‌توان به‌عنوان یک ابزار مدیریتی استفاده نمود که در زمینه انتخاب مدیریت آبیاری و کود نیتروژن در آزمایش‌های مزرعه‌ای بسیار مهم و کارآمد خواهد بود. همچنین به‌منظور رسیدن به نتایج بهتری از مدل در شبیه‌سازی نیتروژن در طول فصل زراعی در اندام‌های گیاهی و نیتروژن کل، نیاز به توسعه مدل در زیر بخش شبیه‌سازی نیتروژن است.

جدول ۵: مقایسه عملکرد دانه مشاهده و شبیه‌سازی‌شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی مدل

تیمار	۱۳۹۷			۱۳۹۸		
	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی
	(کیلوگرم بر هکتار)		(درصد)	(کیلوگرم بر هکتار)		(درصد)
I1N0	۲۶۵۱	۲۳۶۴	-۱۱	۲۶۹۷	۲۷۰۴	۰
I1N50	۴۰۰۴	۳۸۵۰	-۴	۴۰۱۲	۳۹۵۰	-۲
I1N100	۴۳۱۲	۴۳۶۷	۱	۴۱۲۵	۴۰۸۹	-۱
I2N0	۲۹۰۷	۲۸۱۹	-۳	۲۸۱۴	۲۶۰۵	-۷
I2N50	۳۸۴۱	۳۷۹۱	-۱	۳۷۵۱	۳۹۴۰	۵
I2N100	۴۱۱۵	۴۲۱۷	۲	۳۶۴۵	۳۹۶۴	۹
متوسط	۳۶۳۸	۳۵۶۸	-۲	۳۵۰۷	۳۵۴۲	۱

جدول ۶ : مقایسه عملکرد بیولوژیک مشاهده و شبیه‌سازی‌شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی مدل

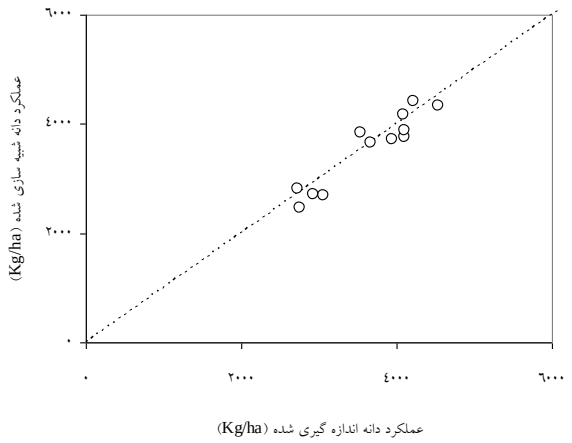
تیمار	۱۳۹۷			۱۳۹۸		
	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی
	(کیلوگرم بر هکتار)		(درصد)	(کیلوگرم بر هکتار)		(درصد)
I1N0	۵۶۴۱	۵۷۴۱	۲	۶۴۹۸	۶۸۴۹	۵
I1N50	۸۴۶۵	۸۳۹۷	-۱	۸۹۵۱	۸۷۹۴	-۲
I1N100	۸۹۰۴	۹۱۰۵	۲	۹۳۸۷	۹۰۷۵	-۳
I2N0	۵۵۷۸	۵۴۲۹	-۳	۵۵۹۷	۵۹۷۴	۷
I2N50	۸۳۲۸	۸۴۲۸	۱	۸۱۹۷	۷۹۰۸	-۴
I2N100	۸۸۱۸	۹۰۴۹	۳	۹۱۱۸	۸۹۶۴	-۲
متوسط	۷۶۲۲	۷۶۹۱	۱	۷۹۵۸	۷۹۲۷	۰

جدول ۷: مقایسه میزان نیتروژن دانه مشاهده و شبیه‌سازی‌شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی مدل

تیمار	۱۳۹۷			۱۳۹۸		
	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی
	(کیلوگرم بر هکتار)		(درصد)	(کیلوگرم بر هکتار)		(درصد)
I1N0	۴۱	۳۹	-۵	۴۲	۳۹	-۷
I1N50	۵۷	۵۱	-۱۱	۶۱	۵۸	-۶
I1N100	۶۸	۶۹	۱	۶۷	۶۶	-۱
I2N0	۴۰	۳۷	-۸	۳۸	۴۱	۸
I2N50	۵۶	۵۸	۴	۵۳	۵۵	۴
I2N100	۶۷	۶۴	-۴	۶۴	۶۳	-۲
متوسط	۵۴	۵۳	-۳	۵۴	۵۳	-۱

جدول ۸ : مقایسه میزان نیتروژن کل مشاهده و شبیه‌سازی‌شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی به‌وسیله‌ی مدل.

تیمار	۱۳۹۷			۱۳۹۸		
	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی
	(کیلوگرم بر هکتار)		(درصد)	(کیلوگرم بر هکتار)		(درصد)
I1N0	۶۵	۵۷	-۱۲	۶۲	۶۸	۱۰
I1N50	۷۹	۸۰	۱	۹۱	۹۰	-۱
I1N100	۱۱۲	۱۱۸	۵	۱۱۴	۱۱۹	۴
I2N0	۶۲	۵۹	-۵	۵۹	۶۱	۳
I2N50	۸۶	۸۷	۱	۸۴	۹۲	۱۰
I2N100	۱۰۵	۱۱۴	۹	۱۱۰	۱۱۴	۵
متوسط	۸۴	۸۵	۱	۷۸	۸۹	۵

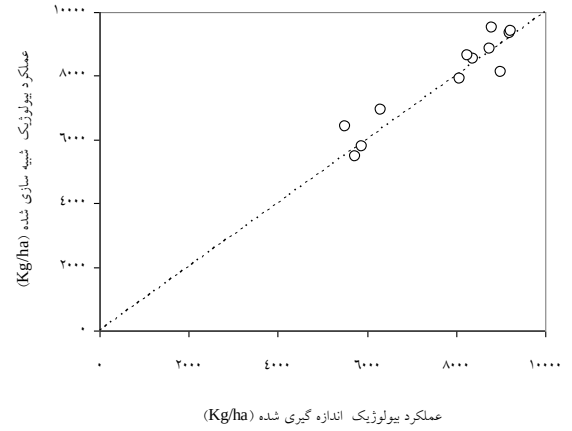


RMSE= ۲۱۲ کیلوگرم در هکتار

RMSEn= ۹

R2= ۰/۸۵

شکل ۱: مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱

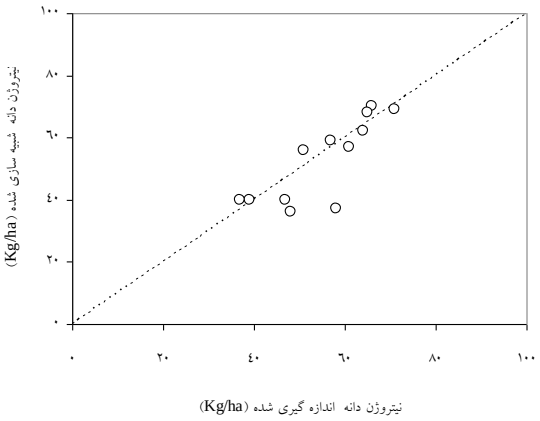


RMSE= ۴۴۱ کیلوگرم در هکتار

RMSEn= ۹

R2= ۰/۹۱

شکل ۲: مقایسه عملکرد بیولوژیک شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱

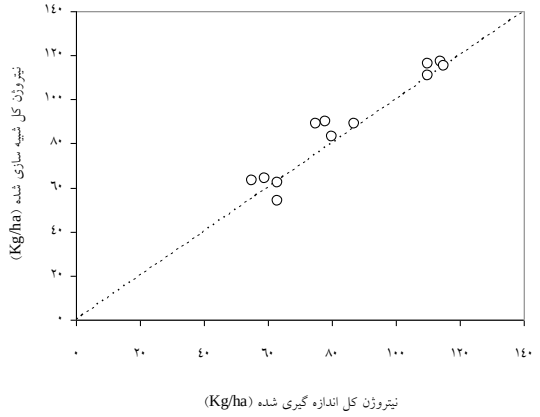


RMSE= ۸ کیلوگرم در هکتار

RMSEn= ۷

R2= ۰/۷۹

شکل ۳: مقایسه نیتروژن دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱



RMSE= ۱۴ کیلوگرم در هکتار

RMSEn= ۱۸

R2= ۰/۸۴

شکل ۴: مقایسه نیتروژن کل شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱

منابع

امیری، ا.، رضـــایی، م. و بنلیان اول، م. (۱۳۹۰). ارزیابی مدل رشـــد گیاهی برنج ORYZA 2000 در شـــرایط محدودیت آبیاری و کود نیتروژن (واسنجی و اعتبار یابی). نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). دوره ۲۵، شماره ۴، ص ۷۶۹-۷۵۷.

رضایی،م .و نحوی، م. (۱۳۸۶). بررسی تأثیر دور آبیاری در خاک‌های رسی بر کارایی مصرف آب و برخی از صفحات دو رقم برنج محلی در استان گیلان. پژوهشنامه علوم کشاورزی، دوره یک، شماره ۹، ص۲۴- ۱۶.

کاظمی پشت مساری، ح.، پیر دشتی، ه. ا.، بهمنیار، م. ع. و نصیری، م. (۱۳۸۶). مطالعه تأثیر مقادیر و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف برنج. پژوهش و سازندگی. دوره ۲۰، شماره ۲. ص ۷۷-۶۸.

Amiri, E. and Rezaei, M. (2009). Testing the modeling capability of ORYZA2000 under water-nitrogen limit condition in northern Iran. World Applied Sciences Journal, 6, pp: 1113-1122.

Amiri, E. and Rezaei, M. (2010). Evaluation of Water–Nitrogen Schemes for Rice in Iran, Using ORYZA2000 Model. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41, pp: 2459-2477.

Artacho, P., Meza, F. and Alcado, 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), pp: 23-33.

Belder, P., Bouman, B. A. M. and Spiertz, J. H. J. (2007). Exploring options for water savings in lowland rice using a modelling approach. Agricultural System, 92, pp: 91–114.

Bouman, B. A. M., Kropff, M. J., Tuong, T. P., Wopereis, M. C. S., Ten Berge, H. F. M. and Van Laar, H. H. (2001). ORYZA2000: modeling lowland rice. IRRI. Los Banos

Bouman, B. A. M. and Van Laar, H. H. (2006). Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. Agricaltural System, 87, pp: 249–273.

Bouman, B. A. M., Feng, L., Tuong, T. P., Wang, G. and Feng, H. (2007). Exploring options to grow rice under watershort conditions in northern China using a modelling approach. II. Quantifying yield, water balance components, and water productivity. Agricultural Water Management, 88, pp: 23-33.

Jing, Q., Bouman, B. A. M., Hengsdijk, H., Van Keulen, H. and Cao, W. (2007). Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China. European Journal of Agronomy, 26, pp: 166–177.

Jing, Q., Bouman, B. A. M., Van keulen, H., Hengsdijk, H., Cao, W. and Dai, T. (2008). Disentangling the effect of environmental factors on Yield and nitrogen uptake of irrigated rice in Asia. Agricultural System, 98, pp: 177-188.

Kobayashi, K. and Salam , M. U. (2000). Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. Agronomy Journal, 92, pp: 345-352.

McMennamy, J. A. and Toole, J. C. O. (1983). RICEMOD: a physiologically based rice growth and yield model. IRRI Research Paper Series 87. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute, 33 pp.

Soltani, A., Meinke, H. and De Voil, P. (2004). Assessing linear interpolation to generate daily radiation and temperature data for use in crop simulations. European Journal of Agronomy, 21, pp: 133-148.

Soltani, A., Robertson, M. J., Mohammad-Nejad, Y. and Rahemi-Karizaki, A. (2006). Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence, Field Crops Research, 99, pp: 14-23.

Van Kraalingen, D. W. G. (1995). The FSE System for Crop Simulation: Version 2.1 (Quantitative Approaches in Systems Analysis Report No. 1). C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

Xue, C., Yang, X., Bouman, B. A. M. , Deng, W., Zhang, Q., Yan, W., Zhang, T., Rouzi, A. and Wang, H. (2008) Optimizing yield, water requirements, and water productivity of aerobic rice for the North China plain. Irrigation Science, 26, pp: 459-474.

Simulating rice grain yield and nitrogen uptake under irrigation and nitrogen managment

Azin Nasrollahzadeh[1]

1) Department of Food Science and Technology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

***Corresponding author: azinnasr@yahoo.com**

Received Date: 2021. 04. 15 **Accepted Date: 2021. 08. 19**

Abstract

To evaluated ORYZA2000 model, an split-Plot in RCBD experiment with three replication in 2018 and 2019 crop years. The main factor was rice irrigation at two level (flooded and 10 days interval) and sub-factors include nitrogen at three levels (0, 50 and 100 Kg/ha). Simulated and measured values grain yield, biomass yield, grain nitrogen and total nitrogen were evaluated by adjusted coefficient of correlation; t-test of means; and absolute and normalized root mean square errors (RMSE). Results show that, with normalized root mean square errors (RMSEn) of 8–13%, ORYZA2000 satisfactorily simulated crop biomass and N uptake that strongly varied between irrigation and nitrogen fertilizer. Yield was simulated with an RMSE of 264–261 kg ha^{-1} and a normalized RMSE of 8–9%. Coefficient values for grain yield, biological yield, grain nitrogen and total nitrogen, respectively, 0.85, 0.91, 0.79 and 0.84. Simulated grain nitrogen and total nitrogen generally exceeded measured at low rates of nitrogen application. Results show that, ORYZA2000 could be used successfully to support N and irrigation management under the limited conditions.

Keywords: Interval Irrigation, Rice, RMSE, RMSEn.