نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۶، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۱، ص. ۲۲۹-۲۱۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 16, Apr.-May. 2022, p. 217-229

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی مدل ORYZA2000 برای پیش بینی تولید ارقام برنج تحت مدیریت آبیاری غرقاب و تنش خشکی

سید فخرالدین مومن زاده[۱]، عبدالقیوم قلی پوری[۲*]، محمدتقی آل ابراهیم[۳]، ابراهیم امیری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی مدل ORYZA2000 آزمایشی به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در موسسه بین‌المللی برنج کشور، رشت واقع در استان گیلان اجرا شد. عامل اصلی، آبیاری در سه سطح (غرقاب دائم، تنش در مرحله رویشی و تنش در مرحله زایشی) و ارقام برنج به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و زیست‌توده با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ($RMSE_n$) انجام گرفت. نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ارقام برنج در محدوده ۴-۱۶ و ۹-۱۷ درصد و زیست‌توده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ارقام برنج در محدوده ۸-۱۵ و ۹-۱۹ درصد می‌باشد. همچنین ضریب تبیین عملکرد دانه و زیست‌توده به ترتیب در محدوده ۰/۷۸-۰/۹۴ و ۰/۸۴-۰/۸۸ محاسبه گردید. نتایج تحقیق نشان داد که مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده در شرایط آبیاری غرقاب دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدیریت‌های آبیاری می‌باشد. به‌طورکلی مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده در شرایط آبیاری غرقاب و تنش در مرحله رویشی ارقام برنج از دقت مناسبی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، عملکرد دانه، کم‌آبی، مدل، واسنجی

مقدمه

تولید برنج در استان گیلان از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا استان گیلان با داشتن سطح زیر کشت ۱۹۷ هزار هکتار بعد از مازندران بیشترین سطح زیر کشت برنج در کشور را دارد، آبیاری در برنج به‌صورت غرقابی دائم می‌باشد یعنی در طول دوره رویش ۳-۵ سانتی‌متر آب روی خاک وجود دارد، اما با توجه به کاهش ورودی آب به استان گیلان از طریق رودخانه‌های منتهی به سد سفیدرود که تأمین‌کننده اصلی آب شالیزارهای گیلان می‌باشد، تغییر رویکرد تولید در برنج گیلان در حال رخ دادن می‌باشد، می‌توان گزینه‌های تغییر روش آبیاری از غرقاب به غیر غرقاب و همچنین انتخاب ارقام برنج با توجه به وجود تنش خشکی را معرفی نمود (Amiri et al, 2011).

از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی نظیر مدل ORYZA2000 می‌توان برای بررسی تأثیر آبیاری غرقاب و غیر غرقاب یا مقایسه تولید بین ارقام برنج استفاده کرد، مدل ORYZA2000، رشد و نمو گیاه برنج را در شرایط بدون تنش، تنش آبی و تنش نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند. در تمامی این شرایط، فرض بر آن است که کاهش عملکردی در برنج تحت عوامل دیگری نظیر بیماری‌ها و علف‌های هرز نداشته باشد (Bouman et al, 2001).

بسیاری از محققان از مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی رشد و نمو برنج در مدیریت‌های مختلف آبیاری، کود نیتروژن و رقم استفاده کرده‌اند. لی و همکاران از مدل ORYZA2000 برای شبیه-سازی عملکرد دانه دو رقم برنج، در طول دوره ۳۴ ساله در دلتای می‌سی‌سی‌پی آمریکا استفاده کردند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل درصد خطای عملکرد دانه را ۰ تا ۸ درصد و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ($RMSE_n$) را در محدوده ۱۱ تا ۲۳ درصد شبیه‌سازی می‌کند (Li et al, 2020). لی و همکاران ارزیابی مدل

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- استاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: gholipouria@gmail.com
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.1.17.4

ORYZA2000 را برای هند، چین و فیلیپین تحت مدیریت‌های آبیاری و کود نیتروژن انجام دادند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل زیست‌توده کل را با ضریب تبیین ۰/۹۷ و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۲۲ درصد پیش‌بینی می‌کند (Li et al, 2017). کائو و همکاران در چین از مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی زیست‌توده کل ارقام برنج استفاده کردند و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۹-۲۲ درصد و ضریب تبیین را ۰/۹۸ گزارش کردند می‌کند (Caoet al, 2017). بلدر و همکاران از ORYZA2000 برای شبیه‌سازی زیست‌توده کل را در دو کشور در شرایط آبیاری غرقاب و آبیاری متناوب برای ارقام برنج اراضی با آبیاری غرقاب و آپلند استفاده نمودند که مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیست‌توده کل برای چین و فیلیپین به ترتیب ۱۴ و ۱۹ درصد گزارش شد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تغییر روش آبیاری از غرقاب به غیر غرقاب منجر به کاهش عملکرد دانه و زیست‌توده می‌شود که مدل نیز این تغییرات را نشان می‌دهد (Belder et al, 2007). بولینگ و همکاران برای برنج تحت شرایط مدیریت آبیاری و کود، در سال‌های زراعی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ کشور اندونزی، مدل ORYZA2000 را مورداستفاده قرار دادند. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیست‌توده کل و عملکرد دانه در این آزمایش به ترتیب ۲۶ و ۱۶ به دست آمد (Boling et al, 2007). فنگ و همکاران طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ در شمال چین شرایط واسنجی مدل نشان دادند مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیست‌توده کل و عملکرد دانه در شرایط واسنجی ۲۱، ۱۱ و در شرایط اعتبارسنجی مدل ۱۲ و ۱۹ می‌باشد (Feng et al., 2007).

مطالعه ارتاکو و همکاران در شیلی با ارزیابی مدل ORYZA2000 تحت مدیریت آبیاری و نیتروژن نشان می‌دهد مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده زیست‌توده کل بسیار نزدیک به هم هستند، نتایج آن‌ها نشان داد به‌طورکلی شبیه‌سازی متغیرهای گیاه زراعی در پایان فصل رشد در مقایسه با شبیه‌سازی در طول فصل رشد از دقت بیشتری برخوردار است. در مجموع مقدار زیست‌توده کل به‌طور مناسبی شبیه‌سازی شد. مقدار $RMSE_n$ محاسبه‌شده برای زیست‌توده کل و عملکرد دانه ۲۵ محاسبه گردید (Artako et al., 2011).

امیری و رضایی مدل را برای شرایط متقابل مدیریت کود نیتروژن و آبیاری نوبتی مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری شده ندارد (Amiri and Rezaei,2010). امیری و همکاران (۱۳۹۰) مدل را برای شرایط مدیریت آبیاری و فاصله کاشت در استان گیلان استفاده نمود، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل عملکرد دانه را در شرایط واسنجی با ضریب تبیین ۰/۷۱ و در شرایط اعتبار سنجی ۰/۶۳ پیش‌بینی می‌کند. همچنین اختلاف معنی‌داری بین خروجی مدل و اندازه‌گیری واقعی، عملکرد دانه مشاهده نکردند. امیری و همکاران (۱۳۹۰) به‌منظور ارزیابی مدل ORYZA2000 در ایران، آزمایشی را بر روی رقم هاشمی طی سال‌های زراعی ۱۳۸۴، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ در موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت تحت مدیریت آبیاری تناوبی و کود نیتروژن انجام دادند. نتایج نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده بین ۱۱-۳ درصد برای عملکرد دانه، متغیر می‌باشد. اعلایی و همکاران (۱۳۹۹) مدل ORYZA2000 را برای برنج رقم هاشمی تحت مدیریت‌های آبیاری غرقاب و نوبتی در تاریخ‌های مختلف کاشت مورد ارزیابی قرار داد، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیست‌توده کل و عملکرد دانه به ترتیب ۸ و ۶ درصد می‌باشد.

این تحقیق با هدف شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده ارقام برنج مورد کاشت در استان گیلان، با استفاده از مدل ORYZA2000 تحت شرایط مدیریت آبیاری غرقاب و تنش در مراحل رشد رویشی و زایشی انجام شد.

مواد و روش

به‌منظور ارزیابی مدل ORYZA2000 در استان گیلان، آزمایشی در قالب کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی (۱۳۹۱-۱۳۹۲) در موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، بر روی ارقام برنج انجام شد. عامل اصلی در تحقیق ۳ سطح مدیریت آبیاری (غرقاب، تنش در مرحله رویشی، تنش در مرحله زایشی) و عامل فرعی ۸ رقم برنج بود. طول و عرض هر کرت آزمایشی معادل ۳ متر و فاصله کشت نشاها ۲۵ ×۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از هم یک متر در نظر گرفته شد. کلیه عملیات زراعی و ثبت تاریخ بذرپاشی در خزانه، نشاکاری، گل‌دهی و برداشت طبق استانداردهای زراعی مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) انجام شد. در زمان رسیدگی فیزیولژیکی ارقام برنج، مقدار عملکرد دانه و زیست‌توده با برداشت ۴ مترمربع از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای اندازه‌گیری شد. برای پیاده کردن پژوهش، بعد از گل خراب کردن و هموار کردن زمین، عملیات پیاده کردن نقشه‌ی طرح انجام شد، پس از انتقال نشاها به زمین اصلی، کرت‌ها به مدت ۱۰ روز تمام غرقاب دائم نگه داشته شدند تا نشاها استقرار یابند. برای اعمال مدیریت آبیاری برای هر کرت و جلوگیری از نشت جانبی آب، مرزبندی و پلاستیک کشی روی آن‌ها تا عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. کودپاشی نیز بر اساس آنالیز خاک صورت گرفت، حجم آب آبیاری به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. برای اعمال تنش در مراحل رویشی و زایشی آبیاری در دوره‌های موردنظر به‌صورت متناوب با فاصله ۱۱ روز انجام شد. در مراحل ابتدای رشد تا

زمانی که گیاه مستقر شود گیاه تحت آبیاری غرقاب گرفت، همچنین در انتهای رشد که علائم رسیدگی ارقام برنج مشاهده شد، اقدام به قطع آبیاری شد.

در اواسط دهه ۹۰ مرکز تحقیقاتی دانشگاه واگنینگن و موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج مدل ORYZA را در مورد رشد برنج در زمین‌های پست استوایی ارائه دادند. اولین مدل از این مجموعه، مدل ORYZA1 مربوط به تولید پتانسیل بود (Kropff et al, 1994)، دومین مدل ORYZA-N برای رشد محدود به نیتروژن (Drenth et al, 1994) و سپس ORYZA-W برای تولید تحت شرایط کمبود آب (Wopereis et al, 1996) معرفی شد. آخرین مدلی که ایجاد گردید مدل ORYZA2000 می‌باشد (Bouman et al, 2001). جهت شبیه‌سازی کلیه شرایط تولید، چندین شاخص با هم در ORYZA2000 جمع شده‌اند، جهت برقراری ارتباط آسان بین شاخص‌ها، کلیه شاخص‌ها در محیط شبیه‌سازی‌شده فرترن (FSE)، توسط ون کرالینگن برنامه‌ریزی شده است (Van Kraalingen, 1995). سیستم FSE، اختصاصاً جهت برنامه‌ریزی مدل‌هایی طراحی شده است که به‌صورت دینامیکی، روند رشد اکولوژیک زراعی را شبیه‌سازی می‌نماید، شبیه‌سازی در کوتاه‌ترین گام زمانی، آغاز می‌شود که معمولاً روزانه است.

مدل ORYZA2000، رشد، نمو و فنولوژی گیاه برنج غرقابی را در شرایط تولید بالقوه، محدودیت آبی، محدودیت نیتروژن و محدودیت هم‌زمان آب و نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند. شبیه‌سازی در کوتاه‌ترین فاصله زمانی که معمولاً یک روز است، آغاز می‌شود. در شرایط بالقوه تولید، سرعت رشد یک گیاه زراعی توسط تابش، دما و ویژگی‌های گیاهی برای فرآیندهای فنولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تعیین می‌شود و میزان کل روزانه فتوسنتز گیاه بر اساس میزان تابش، دما و شاخص سطح برگ محاسبه می‌شود. بر اساس ویژگی‌های فتوسنتزی تک‌برگ و بر اساس مقدار شاخص سطح برگ، فتوسنتز کل و تاج‌پوشش محاسبه می‌شود. ماده خشک تولیدشده بین بخش‌های مختلف گیاه تقسیم می‌گردد. ضرایب تخصیص نیز بر اساس توابع مربوطه که به فنولوژی گیاه بستگی دارد در مدل گنجانده می‌شود. گیاه برنج تحت تأثیر خشکی واکنش‌هایی مثل لوله شدن برگ، عقیم شدن گل، کاهش توسعه برگ، تغییر اختصاص ماده خشک، افزایش عمق ریشه دهی، تأخیر توسعه دوره رشد رویشی، افزایش پیری برگ و کاهش میزان فتوسنتز را نشان می‌دهد. مدل اثرات تنش خشکی را با توجه به اثر میزان مکش آب در خاک، بر رشد گیاه محاسبه می‌کند (Wopereis et al., 1996; Kropff et al.,1994).

به‌منظور واسنجی پارامترهای گیاهی مدل، از داده‌های اندازه‌گیری شده مدیریت آبیاری ارقام برنج در سال ۱۳۹۱ و به‌منظور اعتبار سنجی مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۹۲ استفاده شد. مدیریت کود نیتروژن در تمام تیمارهای آبی با توجه به نیاز غذایی انجام شد، به‌طوری‌که کمبود مواد غذایی برای ارقام برنج رخ نداد. داده‌ها و 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، تاریخ خزانه گیری و نشا، تعداد نشا در هر کپه، تعداد کپه در هر مترمربع.

به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل ORYZA2000 از ترکیب روش‌های گرافیکی و آماری، مقایسه مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و زیست‌توده ارقام برنج در شرایط مدیریت آبیاری استفاده شد، نمودار پراکنش داده‌های شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده و خطوط ۱:۱ نیز به‌منظور نشان دادن تناسب کلی مدل مورداستفاده قرار گرفت همچنین ضریب تبیین (R^2) رگرسیون خطی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده (P) و اندازه‌گیری شده (O) محاسبه گردید. جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی مدل از متغیرهای آماری زیر استفاده شد (Bouman and Van Laar, 2006).

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}\right]^{1/2} \quad (۱)$$

$$RMSE_n = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (۲)$$

که در این روابط:

Pi = مقدار شبیه‌سازی مدل اجزای گیاهی. Oi = مقدار اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی. n = تعداد اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی.

$\overline{O}$ = میانگین مقادیر اندازه‌گیری اجزای گیاهی.

RMSE (Root Mean Square Error)= ریشه میانگین مربعات خطا

$RMSE_n$ (Root Mean Square Error- Normalized)= ریشه میانگین مربعات خطای نرمال.

مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در حالت اپتیمم یا حالتی که مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند، برابر با صفر هستند، آشکار است هرچه مقدار این دو پارامتر به صفر نزدیک‌تر باشد مدل دقیق‌تر است. چنانچه مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر از ۱۰ درصد باشد نشان‌دهنده حالت عالی شبیه‌سازی و بین ۲۰-۱۰ درصد حالت خوب، بین ۳۰-۲۰ درصد حالت متوسط و بالای ۳۰ درصد حالت ضعیف شبیه‌سازی می‌باشد (Rinaldy et al., 2003).

نتایج و بحث

تمامی مقادیر پارامترها گیاهی مدل ORYZA2000 در فایل‌های

اطلاعاتی که به همراه نسخه اولیه مدل ارائه‌شده، وجود دارد که قادر به تغییر می‌باشند. پارامترهای گیاهی در مدل ORYZA2000 از آزمایشات صورت گرفته از گلخانه‌ها و مزارع مختلف و توسط محققان در دنیا به‌دست‌آمده است و حدود ۱۰ درصد از پارامترهای گیاهی برای هر رقم متفاوت می‌باشد و سایر پارامترها در تمامی ارقام برنج یکسان می‌باشند (Bouman and Van Laar., 2006). به‌عبارت‌دیگر اکثر پارامترهای گیاهی برای برنج شبیه به یکدیگر بوده و می‌توان برای کلیه ارقام استفاده شود، برخی پارامترها به صورتی خاص، برای رقم و محیط تحت بررسی تنظیم شده‌اند، این پارامترها عبارت‌اند از: سرعت توسعه فنولوژیکی، فاکتورهای تفکیک ماده خشک، سرعت رشد نسبی سطح برگ، سطح ویژه برگ، سرعت مرگ برگ و کسر ذخیره ساقه، که برای هر رقم برنج در تحقیق حاضر در مرحله واسنجی محاسبه شد که بر اساس کمترین خطا بین نتایج خروجی مدل برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده، این ضرایب گیاهی ارقام برنج به دست آمد.

واسنجی مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی عملکرد دانه

به‌منظور واسنجی مدل از داده‌های سال ۱۳۹۱ و جهت اعتبار-سنجی مدل از داده‌های سال ۱۳۹۲ استفاده گردید. برای هر رقم برنج و تیمار آبیاری مدل به‌طور جداگانه اجرا و مقادیر عملکرد دانه و زیست‌توده حاصل از شبیه‌سازی، با مقادیر اندازه‌گیری شده بر اساس شاخص‌های آماری RMSE، $RMSE_n$ و R^2 مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. پارامترهای آماری برای ارزیابی نتایج واسنجی مدل ORYZA2000 در پیش‌بینی عملکرد دانه ارقام برنج تحت مدیریت‌های آبیاری غرقاب، تنش رویشی و تنش زایشی، در جدول ۱ ارائه شده است، پارامترهای آماری که برای ارزیابی توانایی مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه برای مدیریت آبیاری به‌طور جداگانه برای هر رقم برنج محاسبه شد، به‌طوری‌که برای ارقام برنج در تیمارهای آبیاری، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای (RMSE) پیش‌بینی عملکرد دانه در محدوده ۱۶۰ تا ۶۲۶ کیلوگرم بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مدل ($RMSE_n$) در محدوده ۴ تا ۱۶ درصد به دست آمد که بر اساس پارامترهای آماری، شبیه‌سازی عملکرد دانه در مدیریت‌های آبیاری، خوب می‌باشد و بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده عملکرد دانه تطابق خوبی وجود دارد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای ارقام برنج در تیمارهای آبیاری نشان داد که ضریب تبیین (R^2) در محدوده ۰/۸۵ تا ۰/۹۹ می‌باشد که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه توسط مدل ORYZA2000 دارد (جدول ۱). عملکرد دانه اندازه‌گیری شده ارقام برنج در تیمارهای آبیاری غرقاب و تنش‌های رویشی و زایشی سال ۱۳۹۱ در محدوده ۲۲۲۴ تا ۵۹۶۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که کمترین عملکرد دانه واقعی در رقم خزر در شرایط تنش در مرحله زایشی و بیشترین آن در رقم گوهر در تیمار آبیاری غرقاب می‌باشد. درحالی‌که عملکرد دانه ارقام برنج که از مدل شبیه‌سازی شد در محدوده ۲۰۹۲ تا ۵۸۲۵ کیلوگرم در هکتار شده شبیه‌سازی بود، مقدار خطای مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه در شرایط تیمارهای آبیاری در محدوده ۲۵- تا ۵+ درصد می‌باشد (جدول ۲). کمترین خطای نسبی مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه در آبیاری غرقاب و بیشترین خطای نسبی مدل در آبیاری تنش در مرحله زایشی می‌باشد.

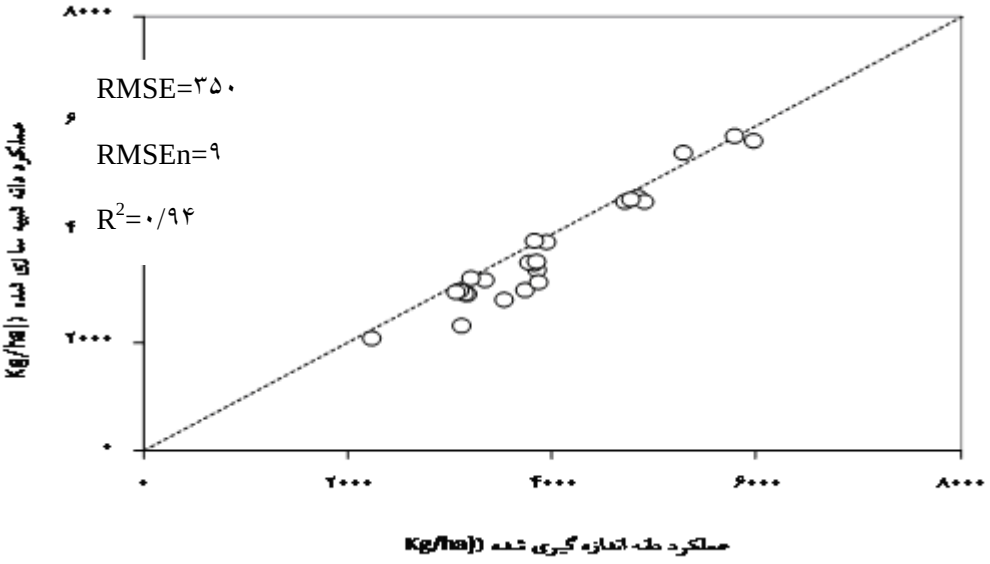
جدول ۱- ارزیابی نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام برنج، مدل ORYZA2000 در سال ۱۳۹۱

رقم	تعداد نمونه	Xobs	Xsim	RMSE	$RMSE_n$ (%)	R^2
هاشمی	۳	۴۰۵۴	۳۷۶۱	۳۲۱	۸	۰/۹۶
علی کاظمی	۳	۳۸۸۷	۳۳۳۴	۶۲۶	۱۶	۰/۹۹
سنگ جو	۳	۳۹۵۸	۳۸۰۴	۲۲۳	۶	/۹۵
سپیدرود	۳	۴۰۸۵	۳۹۲۸	۳۴۱	۸	۰/۹۷
گوهر	۳	۴۳۷۰	۴۱۲۴	۲۵۶	۶	۰/۹۹
درفک	۳	۴۲۴۶	۴۱۷۲	۱۶۰	۴	۰/۹۸
بینام	۳	۳۹۰۲	۳۵۸۶	۴۳۱	۱۱	۰/۸۵
خزر	۳	۳۰۳۸	۲۸۴۹	۲۱۳	۷	۰/۹۸

Xobs: میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، Xsim: میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، RMSEn: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده.

جدول ۲- مقادیر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی مدل ORYZA2000

رقم برنج	آبیاری	۱۳۹۱			۱۳۹۲		
		مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی
	غرقاب	۴۷۰۴	۴۶۱۲	−۲	۴۵۴۲	۴۱۹۶	−۸
هاشمی	تنش رویشی	۳۹۳۷	۳۸۶۸	−۲	۴۱۷۹	۳۹۵۰	−۵
	تنش زایشی	۳۵۲۱	۲۸۰۳	−۱۶	۳۸۳۴	۳۳۵۹	−۱۲
	غرقاب	۴۸۳۲	۴۶۹۶	−۳	۴۴۹۳	۴۰۲۲	−۱۰
علی کاظمی	تنش رویشی	۳۷۲۵	۲۹۸۲	−۲۰	۳۸۰۷	۳۷۶۴	−۱
	تنش زایشی	۳۱۰۴	۲۳۲۵	−۲۵	۳۳۴۰	۳۱۷۰	−۵
	غرقاب	۴۸۹۵	۴۶۱۲	−۶	۴۶۸۸	۴۱۹۶	−۱۰
سنگ جو	تنش رویشی	۳۸۱۸	۳۸۹۲	+۲	۴۲۵۵	۳۹۵۰	−۷
	تنش زایشی	۳۱۶۱	۲۹۰۸	−۸	۳۸۴۱	۳۳۵۹	−۱۳
	غرقاب	۵۲۷۵	۵۵۱۶	+۵	۵۳۶۵	۴۹۵۱	−۸
سپیدرود	تنش رویشی	۳۸۴۴	۳۳۵۱	−۱۳	۴۳۱۰	۴۵۴۲	+۵
	تنش زایشی	۳۱۳۶	۲۹۱۷	−۷	۳۵۱۸	۳۸۹۵	+۱۱
	غرقاب	۵۹۶۳	۵۷۳۶	−۴	۵۹۶۷	۵۴۴۹	−۹
گوهر	تنش رویشی	۳۸۱۳	۳۴۶۹	−۹	۴۷۷۸	۴۶۲۷	−۳
	تنش زایشی	۳۳۳۴	۳۱۶۶	−۵	۳۹۵۰	۳۹۲۹	−۱
	غرقاب	۵۷۷۸	۵۸۲۵	+۱	۵۵۷۴	۵۵۰۵	−۱
درفک	تنش رویشی	۳۷۶۴	۳۴۹۰	−۷	۴۶۶۳	۴۶۵۶	۰
	تنش زایشی	۳۱۹۵	۳۲۰۱	۰	۳۷۸۹	۳۹۵۵	+۴
	غرقاب	۴۷۶۲	۴۶۵۶	−۲	۴۳۸۸	۴۲۹۶	−۲
بینام	تنش رویشی	۳۸۵۹	۳۱۲۸	−۱۹	۳۸۵۰	۳۹۵۰	+۳
	تنش زایشی	۳۰۸۶	۲۹۷۳	−۴	۳۴۶۰	۳۳۵۹	−۳
	غرقاب	۳۸۳۸	۳۵۰۸	−۹	۴۵۶۰	۴۳۷۳	−۴
خزر	تنش رویشی	۳۰۵۱	۲۹۴۷	−۳	۳۶۱۵	۴۰۸۰	+۱۳
	تنش زایشی	۲۲۲۴	۲۰۹۲	−۶	۲۵۲۰	۳۴۸۰	+۳۸



شکل ۱- مقایسه عملکرد دانه شبیه سازی شده و اندازه گیری شده نسبت به خط ۱:۱ سال ۱۳۹۱

نتایج ارزیابی آماری شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام برنج توسط مدل ORYZA2000 تحت مدیریت‌های آبیاری در سال ۱۳۹۱ نشان داد (شکل ۱) که مقدار، ریشه میانگین مربعات خطای مدل (RMSE) عملکرد دانه برای کلیه داده‌های واسنجی ۳۵۰ کیلوگرم بر هکتار، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مدل ($RMSE_n$) ۹ درصد و ضریب تبیین ۰/۹۴ به دست آمد که نشان از خوب بود دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه ارقام برنج تحت مدیریت‌های آبیاری، توسط مدل ORYZA2000 در سال واسنجی دارد.

اعتبار سنجی مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی عملکرد دانه

پارامترهای آماری که برای ارزیابی توانایی مدل ORYZA2000 در پیش‌بینی عملکرد دانه ارقام برنج در سال دوم آزمایش (اعتبارسنجی) محاسبه شد، در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که برای رقم‌های برنج تحت تیمارهای آبیاری غرقاب و تنش‌ها آبی، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی عملکرد دانه در محدوده ۲۸۹ تا ۶۶۹ کیلوگرم بر هکتار و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در محدوده ۹ تا ۱۷ درصد به دست آمد. بر اساس این پارامترهای آماری، ORYZA2000 برای پیش‌بینی عملکرد دانه، در شرایط اعتبارسنجی خوب می‌باشد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای ارقام برنج در تیمارهای آبیاری نشان داد که ضریب تبیین (R^2) در محدوده ۰/۶۸ تا ۰/۹۴ می‌باشد. بالا بودن ضریب تبیین (R^2) بیانگر پراکندگی پائین داده‌ها بوده است که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد (جدول ۳).

عملکرد دانه اندازه‌گیری شده ارقام برنج در شرایط مدیریت‌های آبیاری‌های مختلف در محدوده ۲۵۲۰ تا ۵۹۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد در حالی که عملکرد دانه ارقام که از مدل به دست آمد در محدوده ۳۲۴۶ تا ۵۵۹۴ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شده و مقدار خطای مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه در شرایط مدیریت‌های مختلف آبیاری در محدوده ۱۳- تا ۳۸ درصد می‌باشد (جدول ۲). داده‌های اندازه‌گیری شده حاکی از این است که بالاترین میزان عملکرد در کلیه ارقام در شرایط غرقاب به‌دست‌آمده است. شرایط غرقاب وضعیت مساعدی را در مراحل مختلف رشد برای برنج فراهم می‌کند در حالی که در شرایط خشکی خصوصاً در مرحله زایشی، بیشتر خصوصیات وابسته به عملکرد و اجزاء عملکرد دچار کاهش نسبی می‌شوند. کمترین خطای نسبی مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه در آبیاری غرقاب دائم و بیشترین خطای نسبی مدل در آبیاری تنش رویشی می‌باشد. علت اصلی این تغییر در دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه در مدیریت‌های مختلف آبیاری به دلایل مختلفی نظیر عدم ساختار مناسب مدل‌های ریاضی مورداستفاده در مدل و خطا در اندازه‌گیری پارامترها می‌باشد؛ و همچنین واکنش ارقام مختلف برنج تحت مدیریت‌های آبیاری دانست. تغییر مدیریت آبیاری از غرقاب به غیر غرقاب منجر به کاهش عملکرد واقعی می‌شود. مدل ORYZA2000 نیز در مدیریت‌های آبیاری مختلف، عملکرد دانه را کمتر از شرایط غرقاب شبیه‌سازی کرد، به‌طوری‌که در همه ارقام برنج با اعمال تنش‌های آبی، مدل میزان عملکرد دانه را پایین‌تر از شرایط غرقاب شبیه‌سازی نمود. نتایج ارزیابی آماری شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام برنج تحت مدیریت‌های آبیاری در سال ۱۳۹۲ نشان داد (شکل ۲) که مقدار، ریشه میانگین مربعات خطای مدل (RMSE) عملکرد دانه برای کلیه داده‌های واسنجی ۳۵۹ کیلوگرم بر هکتار، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مدل ($RMSE_n$) ۹ درصد و ضریب تبیین ۰/۷۸ به دست آمد که نشان از خوب بود دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه ارقام برنج توسط مدل ORYZA2000 در سال اعتبارسنجی دارد.

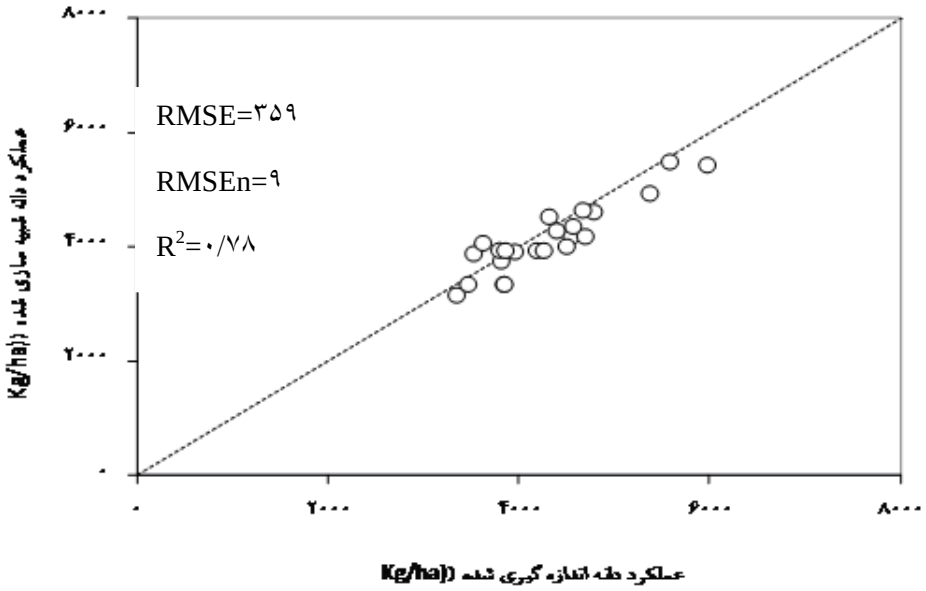
محققان مختلف نشان داده‌اند که مدل ORYZA2000 مقدار عملکرد دانه را با دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کند: ژیو و همکاران (Xue et al., 2008)، جینگ و همکاران (Jing et al., 2007) و بومن و فان‌لار (Bouman and Van Laar., 2006)، $RMSE_n$ مقدار عملکرد را برای شرایط واسنجی ۱۲، ۱۱ و ۱۳ درصد به دست آوردند. امیری و همکاران (۱۳۹۰)، نشان داد که $RMSE_n$ مقدار عملکرد دانه در مدیریت آبیاری، در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی در محدوده ۱۹- ۷ درصد می‌باشد.

بررسی داده‌های اندازه‌گیری شده حاکی از این است که بالاترین میزان عملکرد دانه برای ارقام برنج در شرایط آبیاری غرقاب و کمترین آن نیز در شرایط تنش زایشی به علت تأثیر مخرب بیشتری که تنش در مراحل زایشی روی تولید دارد، مشاهده شد. روند کاهش عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده نیز نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر تنش خشکی در مراحل رویشی و زایشی کم می‌شود که با توجه به خصوصیات ژنتیکی و مقاومت ارقام برنج به تنش خشکی متغیر بود، تنش در مرحله رویشی منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود که به‌طور متوسط برای ارقام برنج در شرایط واقعی و مدل ORYZA2000 به ترتیب ۲۱ و ۲۰ درصد می‌باشد، در حالی که در شرایط تنش در مرحله زایشی به ترتیب ۳۷ و ۳۲ درصد بود. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌ها روند کاهشی عملکرد دانه را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده است و دارای دقت خوبی در پیش‌بینی عملکرد دانه می‌باشد اما در شرایط تنش زایشی دقت مدل‌ها کمتر می‌باشد. دلایل مختلفی نظیر خواص ژنتیکی، روابط ریاضی حاکم بر مدل و خطای اندازه‌گیری موجب کاهش دقت مدل می‌شود.

جدول ۳- ارزیابی نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام برنج، مدل ORYZA2000 در سال ۱۳۹۲

رقم	تعداد نمونه	Xobs	Xsim	RMSE	RMSEn (%)	R^2
هاشمی	۳	۴۱۸۵	۳۸۳۵	۳۶۴	۹	۰/۹۳
علی کاظمی	۳	۳۸۸۰	۳۶۵۲	۲۸۹	۷	۰/۸۹
سنگ جو	۳	۴۲۶۱	۳۸۳۵	۵۶۷	۱۳	/۹۱
سپیدرود	۳	۴۳۹۸	۴۲۹۱	۵۰۴	۱۲	۰/۶۸
گوهر	۳	۴۸۹۸	۴۲۵۲	۴۷۹	۱۱	۰/۹۴
درفک	۳	۴۶۷۵	۴۲۷۰	۳۷۸	۹	۰/۹۰
بینام	۳	۳۹۰۰	۳۸۵۲	۳۷۶	۹	۰/۷۶
خزر	۳	۳۵۶۵	۳۹۰۶	۶۶۹	۱۷	۰/۷۰

Xobs: میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، Xsim: میانگین مقادیر شبیه سازی شده، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، RMSEn: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده.



شکل ۲- مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱ سال ۱۳۹۲

واسنجی مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی زیست‌توده

نتایج آماری که برای واسنجی مدل برای شبیه‌سازی زیست‌توده ارقام برنج تحت مدیریت‌های آبیاری در مرحله واسنجی مدل ORYZA2000 انجام شد، در جدول (۴) ارائه شده است، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی زیست‌توده در محدوده ۶۸۳ تا ۱۱۷۱ کیلوگرم بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای مدل ($RMSE_n$) در محدوده ۸ تا ۱۵ درصد به دست آمد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین مقادیر زیست‌توده شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای ارقام برنج در تیمارهای آبیاری نشان داد که ضریب تبیین در محدوده ۰/۸۳ تا ۰/۹۹ می‌باشد. بالا بودن ضریب تبیین بیانگر مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده دارد (جدول ۴). زیست‌توده اندازه‌گیری شده ارقام در شرایط مختلف آبیاری در محدوده ۵۳۲۷ تا ۱۰۴۶۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. در حالی که زیست‌توده ارقام که از مدل به دست آمد در محدوده ۳۸۶۲ تا ۱۰۲۲۹ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد؛ و مقدار خطای نسبی مدل در پیش‌بینی زیست‌توده در شرایط مختلف آبیاری در محدوده ۳- تا ۳۱+ درصد می‌باشد. بیشترین خطای نسبی مدل در پیش‌بینی زیست‌توده در آبیاری در شرایط تنش زایشی و کمترین خطای مدل در آبیاری غرقاب، مشاهده شد (جدول ۵). نتایج ارزیابی آماری شبیه‌سازی زیست‌توده ارقام برنج تحت مدیریت‌های آبیاری در سال ۱۳۹۱ نشان داد (شکل ۳) که مقدار، ریشه میانگین مربعات خطای مدل (RMSE) زیست‌توده برای کلیه داده‌های واسنجی ۹۶۰ کیلوگرم بر هکتار، ریشه میانگین مربعات

خطای نرمال شده مدل ($RMSE_n$) ۱۲ درصد و ضریب تبیین ۰/۸۴ به دست آمد که نشان از خوب بود دقت مدل در پیش‌بینی زیست‌توده ارقام برنج توسط مدل ORYZA2000 در سال واسنجی دارد.

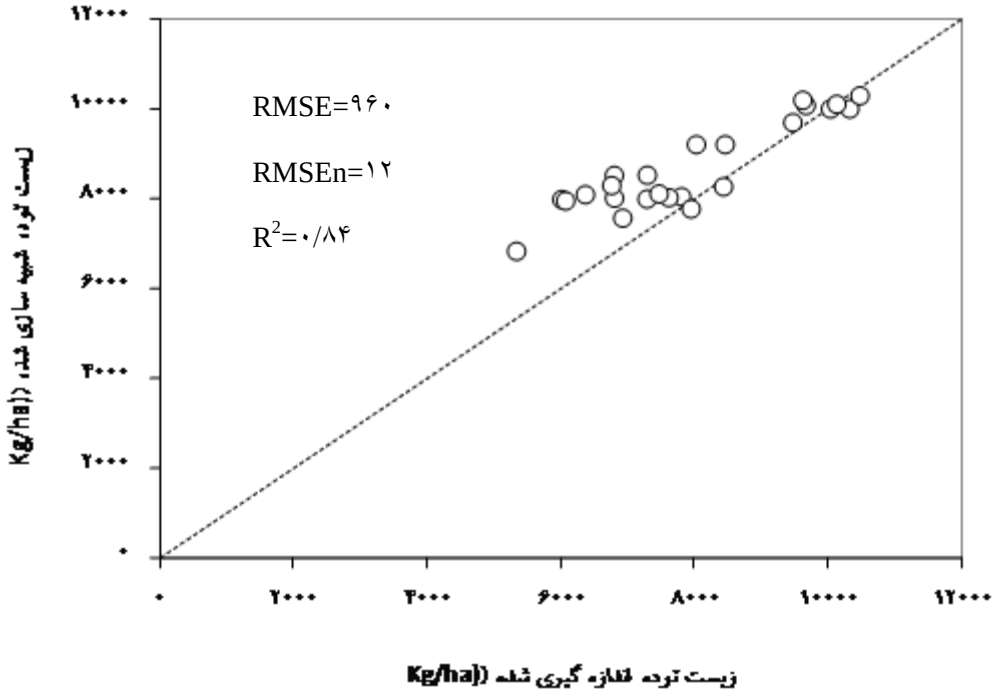
اعتبارسنجی مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی زیست‌توده

نتایج پارامترهای آماری مربوط به زیست‌توده که برای ارزیابی مدل اعتبارسنجی استفاده شده‌اند، در جدول (۶) ارائه شده است، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی زیست‌توده در محدوده ۷۴۷ تا ۱۶۲۶ کیلوگرم بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای مدل ($RMSE_n$) در محدوده ۹ تا ۱۹ درصد به دست آمد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین مقادیر زیست‌توده شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای ارقام برنج در تیمارهای آبیاری نشان داد که ضریب تبیین در محدوده ۰/۸۳ تا ۰/ ۹۸ می‌باشد. بالا بودن ضریب تبیین بیانگر پراکندگی پائین داده‌ها بوده است که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده دارد (جدول ۶).

جدول ٤- ارزیابی نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده کل ارقام برنج، مدل ORYZA2000 در سال ۱۳۹۱

رقم	تعداد نمونه	Xobs	Xsim	RMSE	RMSEn (%)	R^2
هاشمی	۳	۸۵۸۸	۹۲۷۹	۶۸۳	۸	۰/۹۷
علی کاظمی	۳	۸۰۸۴	۸۷۴۶	۷۲۵	۹	۰/۹۰
سنگ جو	۳	۸۳۷۵	۹۲۷۷	۱۱۶۳	۱۴	۰/۹۷
سپیدرود	۳	۷۷۴۱	۸۷۶۸	۱۱۷۱	۱۵	۰/۸۳
گوهر	۳	۷۸۲۰	۸۷۱۷	۱۰۸۲	۱۴	۰/۹۱
درفک	۳	۸۸۵۲	۸۸۶۵	۹۴۹	۱۲	۰/۹۶
بینام	۳	۸۰۵۱	۸۶۲۲	۹۲۷	۱۲	۰/۸۴
خزر	۳	۶۸۸۹	۷۵۸۸	۸۵۴	۱۲	۰/۹۹

Xobs: میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، Xsim: میانگین مقادیر شبیه سازی شده، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، RMSEn: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده.



شکل ۳- مقایسه زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱ سال ۱۳۹۱

جدول ۵- مقادیر زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی توسط مدل ORYZA2000

رقم برنج	آبیاری	۱۳۹۱			۱۳۹۲		
		مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی	مشاهده‌شده	شبیه‌سازی‌شده	خطای نسبی
	غرقاب	۱۰۰۲۷	۱۰۰۳۶	۰	۹۵۰۱	۱۰۴۰۶	+۱۰
هاشمی	تنش رویشی	۸۴۵۱	۹۲۴۱	+۹	۸۶۵۶	۹۲۷۰	+۷
	تنش زایشی	۷۲۸۵	۸۵۶۰	+۱۱	۷۹۲۱	۸۶۱۳	+۹
	غرقاب	۹۶۶۲	۱۰۱۱۲	+۵	۹۳۲۹	۱۰۱۴۷	+۹
علی کاظمی	تنش رویشی	۷۷۹۷	۸۰۷۹	+۴	۷۶۸۱	۹۰۰۳	+۱۷
	تنش زایشی	۶۷۹۲	۸۰۴۷	+۱۶	۷۳۰۶	۸۳۶۲	+۱۴
	غرقاب	۱۰۳۱۶	۱۰۰۳۶	−۳	۹۷۱۲	۱۰۴۰۶	+۷
سنگ جو	تنش رویشی	۸۰۱۹	۹۲۴۱	+۱۵	۸۴۷۸	۹۲۷۰	+۹
	تنش زایشی	۶۷۹۱	۸۵۵۵	+۲۳	۷۵۳۲	۸۶۱۳	+۱۴
	غرقاب	۹۶۱۳	۱۰۲۲۹	+۶	۱۰۳۹۹	۱۰۷۴۷	+۴
سپیدرود	تنش رویشی	۷۶۰۸	۸۰۵۸	+۶	۸۵۶۷	۹۵۴۲	+۱۱
	تنش زایشی	۶۰۰۳	۸۰۱۷	+۳۱	۷۴۰۳	۸۸۱۷	+۱۹
	غرقاب	۱۰۱۲۱	۱۰۱۴۰	۰	۱۱۲۸۵	۱۱۲۷۴	۰
گوهر	تنش رویشی	۷۲۸۰	۸۰۲۷	+۸	۹۲۱۱	۹۳۷۱	+۲
	تنش زایشی	۶۰۶۱	۷۹۸۵	+۲۹	۸۰۲۶	۸۷۸۲	+۹
	غرقاب	۱۰۴۶۸	۱۰۳۲۹	−۱	۱۰۶۸۰	۱۱۴۲۷	+۷
درفک	تنش رویشی	۷۴۶۰	۸۱۴۱	+۹	۹۰۲۴	۹۴۸۴	+۵
	تنش زایشی	۶۳۵۷	۸۱۲۴	+۲۲	۷۹۹۹	۸۹۰۱	+۱۱
	غرقاب	۹۴۶۳	۹۷۳۱	+۳	۹۵۰۷	۱۰۴۰۶	+۹
بینام	تنش رویشی	۷۹۴۰	۷۸۰۷	−۲	۸۷۷۱	۹۲۷۰	+۶
	تنش زایشی	۶۷۵۱	۸۳۲۹	+۲۳	۷۶۵۹	۸۶۱۳	+۱۲
	غرقاب	۸۴۲۵	۸۳۰۱	−۱	۹۰۵۹	۱۰۲۰۹	+۱۳
خزر	تنش رویشی	۶۹۱۶	۷۶۰۰	+۱۰	۷۳۷۵	۹۰۷۴	+۲۳
	تنش زایشی	۵۳۲۷	۶۸۶۲	+۲۴	۶۳۵۸	۸۴۳۰	+۳۳

زیست‌توده کل اندازه‌گیری شده ارقام برنج در شرایط مختلف مدیریت‌های آبیاری در محدوده ۶۳۵۸ تا ۱۱۲۸۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد در حالی که زیست‌توده کل ارقام که از مدل به دست آمد در محدوده ۸۴۳۰ تا ۱۱۲۷۴ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شده و مقدار خطای نسبی مدل در پیش‌بینی زیست‌توده کل در شرایط مختلف مدیریت‌های آبیاری در محدوده ۰ تا ۳۳+ درصد می‌باشد، بیشترین خطای نسبی مدل در پیش‌بینی زیست‌توده در آبیاری در شرایط تنش زایشی و کمترین خطای مدل در آبیاری غرقاب، مشاهده شد (جدول ۳). نتایج ارزیابی آماری شبیه‌سازی زیست‌توده ارقام برنج تحت مدیریت‌های آبیاری در سال ۱۳۹۲ نشان داد (شکل ۴) که مقدار، ریشه میانگین مربعات خطای مدل (RMSE) زیست‌توده برای کلیه داده‌های واسنجی ۹۸۵ کیلوگرم بر هکتار، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مدل ($RMSE_n$) ۱۱ درصد و ضریب تبیین ۰/۸۸ به دست آمد که نشان از خوب بود دقت مدل در پیش‌بینی زیست‌توده ارقام برنج توسط مدل ORYZA2000 در سال اعتبارسنجی دارد. به‌عبارت‌دیگر بالاترین میزان زیست‌توده در کلیه ارقام در شرایط غرقاب به دست آمد و با افزایش تنش آبی میزان زیست‌توده گیاه، روند کاهشی نشان داد. مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل، این مسئله را تائید کرد.

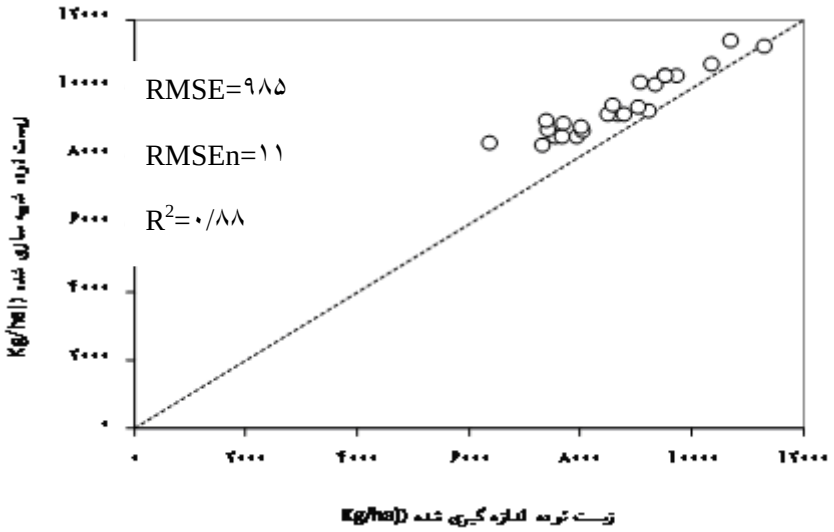
بومن و فن لار (Bouman and Van Laar, 2001) در تحقیق خود مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیست‌توده کل در شرایط مدیریت نیتروژن را در شرایط اعتبارسنجی مدل ۲۵ درصد محاسبه نمودند. ژیو و همکاران (Xue et al., 2008) نیز در شرایط تأثیر متقابل مدیریت آبیاری و کود نیتروژن، تحت شرایط اعتبارسنجی مدل ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیست‌توده ۲۱ درصد به دست آوردند. داده‌های اندازه‌گیری شده حاکی از این است که بالاترین میزان زیست‌توده اندازه‌گیری شده برای ارقام برنج در شرایط آبیاری غرقاب و کمترین آن نیز در شرایط تنش زایشی مشاهده شد. تنش در مرحله رویشی منجر به کاهش زیست‌توده می‌شود که به‌طور متوسط برای ارقام برنج در شرایط واقعی و مدل ORYZA2000 به

ترتیب ۱۸ و ۱۴ درصد می‌باشد، در حالی که در شرایط تنش در مرحله زایشی به ترتیب ۳۰ و ۳۳ درصد بود. مدل‌ها روند کاهشی زیست‌توده را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده است اما دارای دقت‌های مختلفی می‌باشند. لی و همکاران در مطالعه خود در بررسی ساختار مدل ORYZA2000نیز به بازنگری ساختار مدل جهت شبیه‌سازی رشد گیاه در شرایط مختلف دسترسی به آب را گزارش نمودند (Li et al, 2017).

جدول ٦- ارزیابی نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده کل ارقام برنج، مدل ORYZA2000 در سال ۱۳۹۲

رقم	تعداد نمونه	Xobs	Xsim	RMSE	RMSEn (%)	R^2
هاشمی	۳	۸۶۹۳	۹۴۳۰	۷۴۷	۹	۰/۹۸
علی کاظمی	۳	۸۱۰۵	۹۱۷۱	۱۰۸۴	۱۳	۰/۹۶
سنگ جو	۳	۸۵۷۴	۹۴۳۰	۱۱۴۷	۱۳	/۹۶
سپیدرود	۳	۸۷۷۰	۹۵۶۶	۱۲۶۳	۱۴	۰/۹۱
گوهر	۳	۹۵۰۷	۹۱۰۰	۸۷۰	۱۰	۰/۹۳
درفک	۳	۹۲۸۲	۸۹۶۳	۱۰۴۴	۱۲	۰/۹۷
بینام	۳	۸۶۴۶	۹۴۳۰	۱۱۰۱	۱۳	۰/۹۴
خزر	۳	۷۵۴۶	۹۳۳۵	۱۶۲۶	۱۹	۰/۸۳

Xobs: میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، Xsim: میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، RMSEn: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده.



شکل ٤- مقایسه زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱ سال ۱۳۹۲

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر برای ارزیابی ORYZA2000 برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده ارقام برنج تحت تأثیر مدیریت آبیاری غرقاب، رویشی و زایشی انجام شد، نتایج تحقیق نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای مدل برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده را در مراحل ارزیابی به ترتیب در محدوده ۳۵۰-۳۵۹، ۹۶۰-۹۸۵ کیلوگرم در هکتار، ضریب تبیین عملکرد دانه و زیست‌توده در محدوده ۰/۷۸-۰/۹۴ و ۰/۸۴-۰/۸۸ می‌باشد. مقدار خطای نسبی مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده ارقام برنج در محدوده ۲۵- تا ۳۸+ و ۳- تا ۳۳ درصد به دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده در شرایط آبیاری غرقاب دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدیریت‌های آبیاری می‌باشد. مدل کاهش مقدار عملکرد دانه و زیست‌توده ارقام برنج را تحت تنش‌های آبی در مراحل رشد را نسبت به مدیریت آبیاری غرقاب را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند، یعنی با روند کاهش عملکرد دانه و زیست‌توده مقادیر واقعی مدل نیز کاهش را نشان می‌دهد، اما دقت مدل خصوصاً در تنش در مرحله زایشی کم می‌شود. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین خطای مدل در مدیریت آبیاری تنش خشکی در مرحله زایشی مشاهده می‌شود و امکان استفاده از مدل در

شرایط تنش‌های شدید خشکی را نمی‌دهد. به‌طورکلی می‌توان از مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده ارقام برنج تحت مدیریت‌های غرقاب و تنش در مراحل رویشی در منطقه گیلان استفاده کرد و برای استفاده از مدل در شرایط تنش در مراحل زایشی باید ساختار مدل مورد بازبینی و اصلاح قرار گیرد.

منابع

اعلایی بازکیایی، پ.، کامکار، ب.، امیری، ا.، کاظمی، ح. و رضایی. م. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری تولید برنج تحت مدیریت‌های زراعی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۷(۱): ۴۹-۶۹.

امیری، ا.، رضایی، م. و بنایان، م. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل رشد گیاهی برنج ORYZA2000 در شرایط محدودیت آبیاری و کود نیتروژن (واسنجی و اعتبار یابی). نشریه آب و خاک. جلد ۵. شماره ۴. ص ۷۵۷ – ۷۶۹.

امیری، ا.، رضوی پور، ت. و بنایان، م. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد و بهره‌وری آب در برنج تحت شرایط مدیریت مختلف آبیاری و فاصله کاشت با استفاده از مدل ORYZA2000. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۴ (۳): ۱-۱۹.

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: 2459-2477.

Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A. and Bannayan, M. 2011. Effects of Crop Density and Irrigation Management onWater Productivity of Rice Production in Northern Iran: Field and Modeling Approach. Soil Science and Plant Analysis, 42: 2085–2099.

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): 23-33.

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

Boling, A.A., Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., Konboon, Y. and Harnpichitvitaya, D. 2010. Yield gap analysisand the effect of nitrogen and water on photoperiod-sensitive Jasmine rice in north-east Thailand. NJAS–Wageningen Journal of Life Sciences.

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: 249–273.

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.

Cao, B., Hua, S., Ma, Y., Li, B. and Sun, C. 2017. Evaluation of ORYZA2000 for Simulating Rice Growth of Different Genotypes at Two Latitudes. Agronomy Journal. 109: 1-17.

Drenth, H., Ten Berge. F.F.M. and Riethoven, J.J.M. .1994. ORYZA simulation modules for potential and nitrogen limited rice production SARP Research Proceedings. Wageningen, the Netherlands.

Feng, L.P., Bouman, B.A.M. Tuong, T.P., Cabangon, R.J., Li, Y.L., Lu, G.A. and Feng. Y.H. 2007. Exploring options to grow rice under water short conditions in northern China using a modeling approach. I: Field experiments and model evaluation. agricultural water management. (88): 1–13.

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: 166–177.

Kropff, M.J., van Laar, H.H. and Matthews, R.B. 1994. ORYZA1: An Ecophysiological Model for Irrigated Rice Production. Wageningen: DLO-Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility: 110.

Li, S., Fleisher, D., Timlin, D., Reddy, V.R., Wang, Z. and McClung, A. 2020. Evaluation of Different Crop Models for Simulating Rice Development and Yield in the U.S. Mississippi Delta. Agronomy. 10(12): 1905.

Li, T., Angeles, O., Marcaida, M., Manalo, E., Manalili, M.P., Radanielson, A. and Mohanty, S. 2017. From ORYZA2000 to ORYZA (v3): An improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environments. Agricultural and Forest Meteorology, 237-238: 246–256.

Rinaldy, M., Losavio, N. and Flagella, Z. 2003. Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. Agricultural Systems. 78: 17-30.

Van Kraalingen, D.W.G. 1995. The FSE system for crop simulation: version 2.1. Quantitative Approaches in Systems Analysis Report 1. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and AB-DLO, Wageningen, The Netherlands, p. 58.

Wopereis, M. C. S., Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., Ten Berge, H.F.M. and Kropff, M.J. 1996. ORYZA_W: rice growth model for irrigated and rainfed environments. SARP Research Proceedings.

Wageningen (Netherlands): IRRI/AB-DLO. 159 p.

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 (6): 459-474.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 16, Apr.-May. 2022, p. 217-229

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۶، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۱، ص. ۲۲۹-۲۱۷

The Assessment of ORYZA2000 Model in Simulating the Production of Rice Genotypes under Pond and Water Stress Management Conditions

S. F. momenzadeh[1], A. Gholipouri[2] *, M.T. Alebrahim[3], E. Amiri [4]

Recived: Nov.07, 2021 Accepted: Dec.12, 2021

Abstract

To evaluated ORYZA2000 model, a split-Plot in RCBD experiment with three replication. A two-year field experiment was conducted at the experimental farm of the Iranian Rice Research Institute in Rasht, from 2012 to 2013. The main factor was irrigation management at three levels (flooded and water stress) and sub-factors include rice genotypes. The goodness-of-fit between observed and simulated grain yield and final biomass was assessed by means of the coefficient of determination (R^2), the absolute and normalized root mean square errors (RMSE). The results indicated, the $RMSE_n$ for predicting grain yield in calibration and validation phases for rice genotypes was assessed in the range of 4 to 16 and 9 to 17 percent respectively and the $RMSE_n$ for predicting amounts of biological yield in calibration validation and phases for rice genotypes was assessed in the range of 8 to 15 and 9 to 19 % respectively. Results show that, coefficient of determination values for grain yield and biological yield, 0.78-0.94 and 0.84-0.88, respectively. Results show that, ORYZA2000 could be used successfully to support irrigation management under the pond and vegetive water stress conditions.

Key words: Calibration, Grain yield, Irrigation, Model, Water stress

1 - PhD Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agriculture sci and Natural Res, Gorgan. Iran
3 - Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4 - Professor, Department of Water Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
.(*- Corresponding Author Email: gholipouria@gmail.com)