Arch

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹
۴۹-۶۹
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.16036.3126

ارزیابی مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری تولید برنج تحت مدیریت‌های زراعی

پویا اعلایی بازکیایی[۱]، *بهنام کامکار[۲]، ابراهیم امیری[۳]، حسین کاظمی[۴] و مجتبی رضایی[۵]

[۱]دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، [۳]استاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، [۴]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۵]مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: رشد بی‌سابقه تقاضا برای مصرف آب در بخش‌های صنعتی، شرب و کاهش میزان آب قابل‌استفاده در بخش کشاورزی موجب گردیده که استفاده از آب در تولید برنج کاهش‌یافته و این امر تولید برنج را تهدید می‌کند. از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای انجام مطالعات مختلف ازجمله انتخاب گیاه و رقم مناسب برای کاشت، تعیین بهترین مدیریت زراعی، برآورد ظرفیت تولید منطقه‌ای می‌توان استفاده نمود. هدف از این پژوهش بررسی دقت ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده و بررسی بیلان و بهره‌وری تولید برنج تحت تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی مدل ORYZA2000 و بررسی بهره‌وری تولید برنج تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بر روی رقم محلی (هاشمی) در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در مؤسسه تحقیقات برنج ایران، رشت، انجام گردید. دور آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در چهار سطح غرقاب دائمی شامل دور آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روز و تاریخ کاشت به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح (اول اردیبهشت، بیستم اردیبهشت و دهم خرداد) در نظر گرفته شدند. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی با استفاده از مؤلفه‌های ضریب تبیین، آزمون t و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ($RMSE_n$) انجام گرفت. در این پژوهش معادله بیلان آب در طول فصل زراعی در نظر گرفته شد که اجزای آن شامل آبیاری، بارندگی، تبخیر واقعی، تعرق واقعی، نشت و نفوذ عمقی و تغییرات آب ذخیره‌شده در منطقه توسعه ریشه، می‌باشند. بهره‌وری آب بر اساس میزان عملکرد دانه برنج به‌ازای میزان تعرق، تبخیر- تعرق، آبیاری و مجموع بارش و آبیاری موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: بر اساس نتایج پژوهش، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌ترتیب ۸ و ۶ درصد تعیین گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که در بین مدیریت‌های آبیاری، با توجه به اجزای بهره‌وری آب،

* مسئول مکاتبه: behnam.kamkar@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

دوره آبیاری غرقاب از نظر تعرق و مجموع تبخیروتعرق و دور آبیاری ۱۵ روزه ازنظر میزان آب ورودی به مزرعه و میزان آبیاری، بیش‌ترین بهره‌وری را داشتند. در بین تاریخ‌های کاشت، تاریخ کاشت بیستم اردیبهشت بیش‌ترین مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق و تبخیروتعرق و تاریخ کاشت یک اردیبهشت بیش‌ترین بهره‌وری آب بر مبنای آبیاری و مجموع آبیاری و بارندگی را دارا بود. در این شرایط، تاریخ کشت یک اردیبهشت و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب با میانگین ۱۳٦ و ۱۱٦ میلی‌متر، بیش‌ترین و کم‌ترین ذخیره آب را داشتند. بیش‌ترین میزان ذخیره آب طی دو سال آزمایش در دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه (به‌ترتیب ۱٤۵ و ۱٤۳ میلی‌متر) و کم‌ترین ذخیره در تیمار غرقاب (۹۲ میلی‌متر) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با در نظر گرفتن میزان عملکرد شلتوک و زیست‌توده و بهره‌وری آب و میزان مصرف آب، تیمار آبیاری پنج‌روزه در تاریخ کاشت یک اردیبهشت بهترین عملکرد شلتوک و زیست‌توده را داشته است. این تیمار با ۹ درصد کاهش مصرف آب و ٦ درصد کاهش عملکرد شلتوک، بهترین تیمار از نظر بهره‌وری و تولید برنج بوده است. با توجه به پژوهش حاضر می‌توان از مدل ORYZA2000 برای پشتیبانی نتایج آزمایش‌های تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، بیلان آب، تاریخ کاشت، مدل‌سازی

مقدمه

بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی (FAO) ایران در سال ۲۰۱٦ دارای ۵۵۷ هزار هکتار سطح زیر کشت و ۲/۳ میلیون تن تولید بوده است. واردات برنج در ایران در سال ۲۰۱٦ حدود ۱/۱ میلیون تن بوده است (۱٦). این نتایج دلالت بر آن دارد که تولید داخلی کفایت تأمین نیاز کشور را نداشته و بخشی از نیاز برنج مصرفی از طریق واردات تأمین شده است. استان گیلان بعد از مازندران بیش‌ترین سطح زیر کشت برنج (۱۹۷ هزار هکتار) را در بین استان‌های کشور دارد (۱). بنابراین، توجه به تولید برنج در این استان از اهمیت زیادی برخوردار است. میزان عملکرد برنج در استان گیلان از جنبه‌های مختلف بایستی موردپژوهش و تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد تا بتوان راهکارهای بهبود آن را یافت و با به‌کارگیری سیاست‌های حمایتی و خدمات فنی کشاورزی بر عملکرد آن افزود. از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای انجام مطالعات مختلف ازجمله انتخاب گیاه و رقم مناسب برای کاشت، تعیین بهترین مدیریت زراعی، برآورد ظرفیت تولید منطقه‌ای، تعیین خط‌مشی برای به‌نژادی، تعیین اولویت‌های تحقیقاتی، انتقال فناوری، طبقه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم استفاده شده است (۲۷). مدل ORYZA2000، رشد و نمو گیاه برنج را در شرایط مطلوب، محدودیت آبی و محدودیت نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند. شبیه‌سازی در کوتاه‌ترین فاصله زمانی که معمولاً یک روز است، آغاز می‌شود. در تمامی این شرایط، فرض بر آن است که گیاه در برابر بیماری‌ها و علف‌های هرز محافظت‌شده و هیچ کاهش عملکردی از این عوامل در نظر گرفته نمی‌شود (۱۰). ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی و مقایسه مدل‌های CERES-Rice، ORYZA2000، RCM، Model Beta و SIMRIW مشاهده کردند که ۵۰ سری از مؤلفه‌ها تنها در صورتی به افزایش دقت

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌ها کمک خواهند کرد که مدل‌ها در هر محیطی به‌خوبی واسنجی شوند. به‌عبارت‌دیگر عدم قطعیت حاصل از مؤلفه‌های مدل باید کم‌تر از خطای حاصل از ساختار مدل باشد (۳۶).

ایران کشوری نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه برابر ۲۴۰ میلی‌متر و ۰/۵۷ میلیون هکتار شالیزار می‌باشد. تقریباً آبیاری در کل مناطق کشت برنج ایران با استفاده از رژیم آبیاری غرقابی و با نگه‌داشتن ۳-۵ سانتی‌متر آب روی خاک برای فصل رشد انجام می‌شود. دو استان گیلان و مازندران ۷۰-۸۰ درصد از برنج کل ایران را تولید می‌کنند (۸). این در حالی است که رشد بی‌سابقه تقاضا برای مصرف آب در بخش‌های صنعتی، شرب و کاهش میزان آب قابل‌استفاده در بخش کشاورزی به‌علت ایجاد سد در سرشاخه‌های رودخانه سفیدرود (که تقریباً ۷۳ درصد از شالیزارهای گیلان را تحت آبیاری قرار می‌دهد)، موجب گردیده که استفاده از آب در تولید برنج کاهش یافته و این امر تولید برنج را تهدید می‌کند (۸). پژوهشگران مختلفی از مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه برنج در مدیریت‌های مختلف نظیر آبیاری استفاده نموده‌اند. امیری (۲۰۰۸) این مدل را در شرایط آبیاری غرقاب و غیرغرقاب مورد ارزیابی قرار دادند (٤). امیری و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل ORYZA2000 و آزمایش میدانی به بررسی اثر تراکم کاشت و مدیریت آبیاری روی عملکرد و بهره‌وری آب در جنوب ایران پرداختند. بر اساس نتایج، آبیاری با ۷۵ درصد تشت تبخیر و فاصله کاشت ۲۰ سانتی‌متر بهترین مدیریت در کشت برنج معرفی گردید (۷).

با توجه به بهترین عملکرد گیاهان زراعی در دامنه‌های مشخص اقلیمی و فیزیکی، شناخت این عوامل می‌توان امکانات بالقوه اقلیمی را در مناطق مختلف شناسایی کرده و از آن حداکثر بهره‌برداری را انجام داد (۳۷). تاریخ کاشت به‌دلیل تأثیر آن بر مراحل مختلف رشد و نمو و نهایتاً عملکرد دانه ازنظر بسیاری از پژوهشگران، دارای اهمیت است (۲۲). ون اوورت و همکاران (۲۰۱٦) با کمک مدل ORYZA2000، به بررسی برنج تحت آبیاری در سنگال پرداختند (۳۰). نتایج این آزمایش نشان داد که با کمک مدل می‌توان تاریخ کاشت ارقام مختلف را در تراکم‌های کاشت متفاوت تعیین نمود و قابلیت تولید برنج تحت‌تأثیر خطرات اقلیمی را بررسی نمود. امیری و همکاران (۲۰۱۱) در ارزیابی عملکرد برنج تحت مدیریت آبیاری و تراکم کاشت با استفاده از مدل ORYZA2000 مشاهده نمودند که عملکرد دانه با ریشه میانگین مربعات خطای ۱۵۰-۱۸۲ کیلوگرم در هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ٦ درصد شبیه‌سازی شد، که توانایی مدل ORYZA2000 را در شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج نشان می‌دهد (۷). امیری و رضایی (۲۰۱۰) ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مدل ORYZA2000 تحت مدیریت تلفیقی آبیاری و مصرف نیتروژن را ۵ تا ۱۱ درصد گزارش نمودند (٦). بنابراین با توجه به‌ضرورت افزایش بهره‌وری مصرف آب در کنار حصول تولید اقتصادی مطلوب، این پژوهش با هدف شبیه‌سازی عملکرد دانه، عملکرد زیستی و بررسی بیلان و بهره‌وری برنج رقم هاشمی با استفاده از مدل ORYZA2000 و تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت در استان گیلان انجام شد.

مواد و روش‌ها

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 (۱۳۹۵-۱۳۹٦) در مؤسسه تحقیقات برنج

www.SID.ir

Archive of SID

کشور بر روی رقم هاشمی انجام شد. طول و عرض هر کرت آزمایشی معادل ۳/۵ متر و فاصله کشت نشاها ۲۰ ×۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از هم یک متر در نظر گرفته شد. نقشه طرح آزمایشی در شکل ۱ ارائه شد.

تکرار اول Replication 1	تکرار دوم Replication 2	تکرار سوم Replication 3
I2D2	I3D3	I4D2
I2D1	I3D2	I4D3
I2D3	I3D1	I4D1
I3D1	I4D3	I1D3
I3D3	I4D2	I1D1
I3D2	I4D1	I1D2
I4D2	I2D2	I3D3
I4D3	I2D3	I3D1
I4D1	I2D1	I3D2
I1D1	I1D2	I2D2
I1D2	I1D1	I2D1
I1D3	I1D3	I2D3

*D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کاشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه.

*D1, D2, D3: planting date of April, 21th, May, 11th and May, 31th; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively.

شکل ۱- نقشه طرح آزمایشی اجراشده در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶.

Figure 1. The plan of implemented experimental design in 2016 and 2017.

آبیاری نوبتی به‌عنوان عامل اصلی در ٤ سطح غرقاب دائمی (I1)، دور ۵ (I2)، ۱۰ (I3) و ۱۵ روز (I4) و تاریخ کاشت در ۳ سطح (یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد) هکتار به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. همه عملیات زراعی و یادداشت‌های موردنیاز مانند تاریخ بذرپاشی در خزانه، نشاکاری، گل‌دهی و برداشت طبق استانداردهای زراعی مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) انجام گرفت. در زمان رسیدگی، مقدار عملکرد دانه و عملکرد زیستی با برداشت ۵ مترمربع از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای اندازه‌گیری شد. 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 (۱۰). 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 (۱۰). گیاه برنج تحت‌تأثیر خشکی واکنش‌هایی

www.SID.ir

Archive of SID

مثل لوله شدن برگ، عقیم شدن گل، کاهش توسعه برگ، تغییر اختصاص ماده خشک، افزایش عمق ریشه‌دهی، 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 (۳۳ و ۳٤). در این مدل میزان نیاز روزانه نیتروژن بر اساس میزان رشد و مقدار نیتروژن اندام‌های گیاهی محاسبه می‌شود و تمام نیتروژن اختصاص‌یافته به خوشه از طریق انتقال از برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها به خوشه تأمین می‌شود (۱۵). انتقال زمانی شروع می‌شود که خوشه شکل می‌گیرد. در این مدل، تمامی نیتروژن خاک اطراف ناحیه ریشه برای گیاه قابل‌دسترس در نظر گرفته شده است. جهت محاسبه حداکثر جذب نیتروژن، مقدار کود نیتروژن در مقدار بازیافت نیتروژن ضرب می‌شود، مقدار بازیافت نیتروژن در زمان انتقال نشا ۰/۳۵ و از زمان ظهور خوشه تا انتهای دوره رشد ۰/۷۵ می‌باشد. مقدار نیتروژن برگ با رابطه‌ای نمایی بر رشد سطح برگ‌ها در طی مرحله رشد تأثیر می‌گذارد (۱۵).

واسنجی و اعتبارسنجی مدل: تمامی مؤلفه‌ها مدل ORYZA2000 در ساختار اطلاعاتی که به همراه مدل ارائه‌شده وجود دارد که کاربر مدل می‌تواند آن‌ها را تغییر دهد؛ اما حدود ۱۰ درصد از مؤلفه‌های گیاهی مختص هر رقم می‌باشد و سایر مؤلفه‌ها در تمامی رقم‌های برنج یکسان می‌باشند (۱۰). مؤلفه‌های که مورد واسنجی قرار می‌گیرند عبارت‌اند از: سرعت توسعه فنولوژیکی، عوامل تفکیک ماده خشک، سرعت رشد نسبی سطح برگ، سطح ویژه برگ، سرعت مرگ برگ و کسر ذخیره ساقه. برای واسنجی مؤلفه‌های گیاهی ORYZA2000 از دو برنامه DRATES و PARAM استفاده شد که DRATES برای واسنجی سرعت توسعه فنولوژیکی و برنامه PARAM به‌منظور واسنجی وزن برگ سبز، وزن برگ مرده، و وزن ساقه و خوشه، زیست‌توده بالای سطح خاک، شاخص سطح برگ، و محتوای نیتروژن برگ که مختص به رقم است به‌کار برده شد. به‌منظور واسنجی مدل مؤلفه‌های گیاهی، داده‌های سال اول آزمایش و به‌منظور اعتبار سنجی مدل، داده‌های سال دوم آزمایش در نظر گرفته شدند. داده‌های هواشناسی موردنیاز شامل داده‌های روزانه حداقل و حداکثر دما، مقدار بارندگی، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ تهیه شد. خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی موردنیاز خاک در شرایط مدیریت آبیاری مدل شامل مؤلفه‌های هیدرولیکی حجمی معادله ون‌گنوختن لایه‌های خاک که با کمک مدل RETC (مؤلفه‌های α، n و λ) و اندازه‌گیری واقعی (رطوبت در نقاط اشباع (θ_{SAT})، ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{FC})، نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP})، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{SAT}) و مقدار نشت و نفوذ عمقی محاسبه شد (٦). هم‌چنین روز خزانه‌گیری، تعداد روز در خزانه، تعداد نشا در کپه، تعداد کپه در مترمربع، روز ظهور خوشه، مقدار و زمان آب آبیاری و در مورد برنج عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌عنوان پارامترهای مدیریتی جهت اجرای مدل در نظر گرفته شدند.

به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل ORYZA2000، از ترکیب روش‌های گرافیکی و آماری، مقایسه مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی در شرایط آبیاری نوبتی و کود نیتروژن استفاده شد، نمودار پراکنش داده‌های شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده 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 اندازه‌گیری‌شده (O) محاسبه گردید. جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی مدل از آزمون t و متغیرهای آماری زیر استفاده شد (۵ و ۹):

www.SID.ir

Archive of SID

$$RMSE=100\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$NRMSE=100\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}}/O_{mean} \quad (۲)$$

$$CRM=(\sum_{i=1}^{n}O_i-\sum_{i=1}^{n}P_i)/\sum_{i=1}^{n}O_i \quad (۳)$$

که در آن‌ها، Pi مقدار شبیه‌سازی مدل اجزای گیاهی، Oi مقدار اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی، n تعداد اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی، O_{mean} میانگین مقادیر اندازه‌گیری اجزای گیاهی، RMSE[1] ریشه میانگین مربعات خطا، RMSEn[2] ریشه میانگین مربعات خطای نرمال.

مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در حالت مطلوب یا حالتی که مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده مساوی باشند، برابر با صفر هستند، آشکار است هرچه مقدار این دو مؤلفه به صفر نزدیک‌تر باشد مدل دقیق‌تر است. چنان‌چه مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کم‌تر از ۱۰ باشد، نشان‌دهنده حالت عالی شبیه‌سازی و بین ۲۰-۱۰ حالت خوب، بین ۳۰-۲۰ حالت متوسط و بالای ۳۰ حالت ضعیف شبیه‌سازی می‌باشند (۲۳). CRM، ضریب جرم باقی‌مانده یا خطای نسبی مدل است که مقدار خطای مدل در پیش‌بینی را نشان می‌دهد. مقدار ضریب جرم باقی‌مانده منفی به این معنی است که مدل مقادیر شبیه‌سازی را بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی‌شده تخمین زده و مقدار منفی بیانگر این است که مدل مقادیر شبیه‌سازی را کم‌تر از مقادیر شبیه‌سازی‌شده تخمین زده است (۵).

بیلان و بهره‌وری آب: در این پژوهش معادله بیلان آب در طول فصل زراعی به‌صورت رابطه ٤ در نظر گرفته شد:

$$I+R=E+T+D+AW \quad (٤)$$

که اجزای آن شامل: آبیاری، R بارندگی، E تبخیر واقعی، T تعرق واقعی، D نشت و نفوذ عمقی و AW تغییرات آب ذخیره‌شده در منطقه توسعه ریشه، می‌باشند. مقدار آبیاری برای هر کرت اندازه‌گیری شد، مقدار بارندگی نیز از ایستگاه هواشناسی رشت دریافت شد، سایر اجزای معادله بیلان آب با استفاده از مدل ORYZA2000 محاسبه گردید. در این مدل مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از معادله پریستلی تیلور محاسبه شد. برای محاسبه اجزای بهره‌وری آب از روابط زیر استفاده شد (۲٦):

$$WP_T=\frac{Y_g}{T} \quad (۵)$$

$$WP_{ET}=\frac{Y_g}{E+T} \quad (٦)$$

$$WP_I=\frac{Y_g}{I} \quad (۷)$$

$$WP_{I+R}=\frac{Y_g}{I+R} \quad (۸)$$

که در آن‌ها، WP_I، WP_{ET}، WP_{I+R} و WP_T اجزای بهره‌وری آب، Yg مقدار عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، T مقدار تعرق واقعی (مترمکعب)، E مقدار تبخیر واقعی (مترمکعب)، I مقدار آبیاری (مترمکعب) و R مقدار بارندگی می‌باشند. در جدول ۱ مؤلفه‌های فیزیکی و هیدرولیکی لایه‌های مختلف خاک، در جدول ۲ اطلاعات هواشناسی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ در محل انجام طرح و در جدول ۳ نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های گیاهی مدل ORYZA2000 ارائه شده

1- Root Mean Square Error
2- Root Mean Square Error Normalized

www.SID.ir

Archive of SID

است. متوسط مقدار آب مصرفی در دو سال آزمایش در آبیاری غرقاب، دور ۵، ۱۰ و ۱۵ روز به‌ترتیب برابر ۵۸۰، ۵۲۰، ۳۹۹ و ۳۷۵ میلی‌متر و در تاریخ کشت اول تا سوم به‌ترتیب ٤٦٨، ٤٩٧ و ٤٤٢ میلی‌متر بود که با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و مؤلفه‌های ون‌گنوختن لایه‌های خاک مزرعه آزمایش.

Table 1. Physical characteristics and Van Genuchten components of soil layers of experiment farm.

عمق depth (cm)	شن silt (%)	لوم loam (%)	رس clay (%)	θ_{SAT} (–)	K_{SAT} (cm/day)	θ_{FC} (–)	θ_{PWP} (–)	n	α (cm^{-1})
0-10	14	39	47	0.65	57.54	0.4	0.27	1.23	0.03
10-20	17	39	44	0.62	30.8	0.4	0.3	1.2	0.03
20-30	9	44	47	0.62	0.4	0.41	0.3	2.99	0.06
30-40	11	42	47	0.6	12.4	0.42	0.3	1.17	0.26

*θ_{SAT}: رطوبت در نقطه اشباع، θ_{FC}: ظرفیت مزرعه‌ای، θ_{PWP}: نقطه پژمردگی دائم، K_{SAT}: هدایت هیدرولیکی اشباع، α و n: شاخص‌های آب‌شناختی معادله ون‌گنوخن.

*θ_{SAT}: Saturation Moisture, θ_{FC}: Farm Capacity, θ_{PWP}: Permanent Wilting Point, KSAT: Saturated Hydraulic Conduct, α and n: Hydrologic Indicators of the Van Genuchten Equation.

برای واسنجی مؤلفه‌های گیاهی مدل از داده‌های اندازه‌گیری‌شده تحت شرایط تولید پتانسیل (آبیاری شرایط غرقاب) استفاده گردید. ابتدا برنامه DRATES اجرا گردید که نتیجه آن محاسبه مقادیر سرعت فنولوژیکی در چهار فاز رویشی پایه (DVRJ=0.001555)، حساسیت به نور (DVRI=0.000758)، شکل‌گیری سنبلچه (DVRP=0.000795) و مرحله پر شدن دانه (DVRR=0.001994) بر اساس $^{-1}$(درجه سانتی‌گراد- روز) می‌باشد. سپس برنامه PARAM اجرا گردید و سرعت رشد نسبی برگ (RGRLMX=0.008) و کسر ذخیره ساقه (FSTR=0.068) برای واسنجی مؤلفه‌های گیاهی محاسبه گردید. تجزیه‌وتحلیل آماری بر اساس آرایش کرت‌های خردشده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS محاسبه گردید. مقایسه میانگین نیز بر اساس آزمون چنددامنه‌ای LSD انجام پذیرفت.

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ در محل انجام طرح.

Table 2. Meteorological information from year 2016 and 2017 at the site of the project.

بارش Rainfall (mm)	فشار هوا Vapor pressure (kPa)	تابش Radiation ($KJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)	سرعت باد Wind speed ($m\ s^{-1}$)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	ماه Month	سال Year
127.4	1.20	343778	1.54	18.80	9.67	April	2016
26.5	1.84	428218	1.77	24.66	14.92	May	
48.3	2.27	595321	1.59	28.75	18.44	June	
144.8	2.63	609381	1.47	31.28	20.98	July	
51.2	2.73	592162	1.34	33.09	21.43	August	
164.7	2.59	459063	1.29	31.42	20.12	September	
89.4	1.25	383139	2.41	17.96	8.75	April	2017
27.1	1.81	481220	2.00	23.91	14.34	May	
9.0	2.28	610828	1.82	28.27	18.88	June	
14.7	2.59	607252	1.59	31.08	20.68	July	
0	2.70	672293	1.61	32.85	22.14	August	
60.5	2.76	527633	1.62	32.20	21.31	September	

*آمار دما، سرعت باد، تابش و فشار هوا بر اساس میانگین ماهانه در شش ماه اول سال و بارش بر اساس مجموع بارش در هرماه ذکر گردیده است.

*The temperature, wind speed, irradiance and air pressure are based on the monthly average in the first six months of the year and precipitation based on the total rainfall in each month.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- اطلاعات گیاهی ضرایب تخصیص گیاه، سطح ویژه و سرعت مرگ برگ در مدل.

Table 3. Vegetation information. Plant allocation coefficients, specific surface and leaf death rate in the model.

عامل تفکیک اندام هوایی به سنبله aerial organs separation factor to panicle FSOTB	عامل تفکیک اندام هوایی به ساقه aerial organs separation factor to shoot FSTTB	عامل تفکیک اندام هوایی به برگ aerial organs separation factor to leaf FLVTB	تخصیص ماده خشک به اندام هوایی Allocation of dry matter to the aerial organs FSHTB	سطح ویژه برگ Special leaf area SLA(ha/kg)	سرعت مرگ برگ Death rate of leaves DRLVT(d^{-1})	مرحله رشدی گیاه Plant growth stage DVS
0.000	0.500	0.500	0.500	0.0032	0.000	0.000
				0.0025		0.330
			0.750			0.430
	0.400	0.600				0.500
					0.005	0.600
				0.002		0.650
0.000	0.550	0.450				0.700
0.200	0.700	0.100	1.000		0.045	1.000
1.000	0.000	0.000			0.050	1.600
				0.001	0.050	2.100
1.000	0.000	0.000	1.000	0.001	0.050	2.500

*در مراحل رشد DVS=0 مرحله جوانه‌زنی و DVS=2 برابر رسیدگی فیزیولوژی است.

* In the growth stages, DVS = 0 is germination stage and DVS = 2 is the physiological maturity stage.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: متغیرهای آماری که برای ارزیابی (واسنجی و اعتبارسنجی) توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج مدنظر بود، در جدول ٤ ارائه داده شده است، نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب معادل ۳۱۰ و ۲٤۸ کیلوگرم در هکتار و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده عملکرد دانه در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۱۸ و ۱۰ درصد به‌دست آمد (جدول ٤). پژوهشگران مختلف نشان داده‌اند که مدل ORYZA2000 مقدار عملکرد دانه را با دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کند. نتایج مطالعات مشابه نشان داد ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مقدار عملکرد دانه برای شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۹-۱۵، ۵-۲۰، ٦ و ٤ درصد به‌دست آمد (۳۱، ۱۳، ۲۹ و ۲۸). نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده مدل در شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت به‌علت بیش‌تر بودن مقدار آن از ۰/۰۵، در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه مقادیر اندازه‌گیری می‌باشد (جدول ٤). در جدول ۵ مقایسه مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده ارائه شده است، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دور آبیاری، عملکرد دانه واقعی کم می‌شود. تاریخ کاشت دوم بیش‌ترین عملکرد دانه را طی دو سال آزمایش داشته است (جدول‌های ۸ و ۹) که مدل نیز به‌خوبی تغییرات عملکرد دانه را طی شرایط واسنجی و اعتبارسنجی پیش‌بینی کرده است (جدول ۵). بیش‌ترین مقدار خطای مدل در تخمین عملکرد دانه در واسنجی تیمار I3D1 و در شرایط اعتبارسنجی در تیمار I4D1 مشاهده شد (به‌ترتیب برابر ۱۸ و ۱۹ درصد). شرایط توأمان آب، کود و تاریخ کاشت تأثیر پیچیده‌ای بر رشد و نمو گیاه برنج در شرایط واقعی ایجاد می‌کند، به‌نحوی‌که به‌خصوص در شرایط کم‌آبی در تاریخ کاشت اول (مدیریت آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز) شاهد، مدل در تخمین عملکرد دانه دقت کم‌تری داشت، اما به‌طور متوسط طی دو سال آزمایش درصد خطای مدل جهت تخمین عملکرد دانه کم‌تر از ۱۰ درصد بوده است (جدول ۵). بیش‌ترین مقادیر عملکرد شلتوک در تیمار آبیاری

www.SID.ir

Archive of SID

غرقاب و تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت دست آمد (جدول ۵). رگرسیون خطی بین مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده (شکل ۲) نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R^2) برای کل داده‌های دو سال آماری مدل برابر ۰/۸٤ است؛ که نشان از توان مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد. هم‌چنین بالا بودن نسبی r^2 بیانگر پراکندگی پائین داده‌ها است. در پژوهش‌های مشابه ضریب تبیین بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل ORYZA2000 و مقادیر عملکرد دانه اندازه‌گیری‌شده در شرایط اعتبارسنجی را به‌ترتیب ۰/۷۸–۰/۹۰، ۰/٦۰–۰/۸۸، ۰/۸٦، ۰/۷۰ و ۰/۹٦ و ۰/۷۸–۰/۸۷ گزارش شده است (۲، ٦، ۲۰، ۹، ۲۱ و ۲٤).

جدول ٤- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های گیاهی مدل ORYZA2000 (دو سال ۱۳۹۵-۱۳۹٦).

Table 4. Results of simulation of plant components of ORYZA2000 model (in two years of 2016-2017).

O_{mean}	P_{mean}	R^2	P(t)	RMSE	$RMSE_n$ (%)	تعداد نمونه Samples number	
واسنجی (۱۳۹۵) Validation (2016)							
3569	3627	0.71	0.49	310	8	12	عملکرد دانه (kg/ha) Grain yield (kg/ha)
9986	9797	0.74	0.19	492	5	12	عملکرد زیستی (kg/ha) Biological yield (kg/ha)
اعتبارسنجی (۱۳۹٦) Calibration (2017)							
3688	3771	0.91	0.72	248	7	12	عملکرد دانه (kg/ha) Grain yield (kg/ha)
9999	10423	0.90	0.3	615	6	12	عملکرد زیستی (kg/ha) Biological yield (kg/ha)

*RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، $RMSE_n$: ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده، P(t): آزمون t، R^2: ضریب تبیین، P_{mean}: مقادیر شبیه‌سازی‌شده، O_{mean}: مقادیر مشاهده‌شده.

*RMSE: root mean square error, RMSEn: root mean square error normalized, P (t): t test, R^2: explanatory factor, Pmean: simulated values, Omean: observed values.

جدول ۵- مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و مشاهده شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی توسط مدل.

Table 5. Simulated and observed grain yield values and relative error of simulation by model.

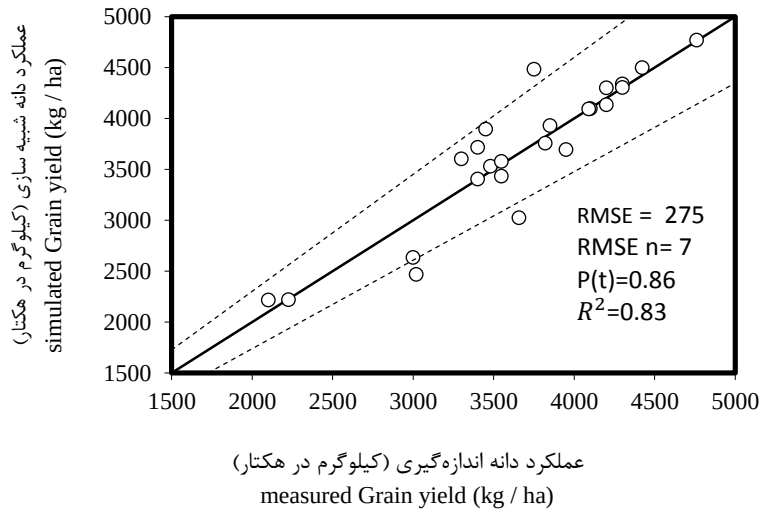
2017			2016			
خطای نسبی Relative eror (%)	شبیه‌سازی‌شده simulated (kg/ha)	مشاهده‌شده Observed (kg/ha)	خطای نسبی Relative eror (%)	شبیه‌سازی‌شده simulated (kg/ha)	مشاهده‌شده Observed (kg/ha)	Treatment
-0.11	4766	4761	1.58	4134	4200	I1D1
-0.88	4338	4300	0.12	4095	4100	I1D2
-1.66	4498	4424	-2.02	3928	3850	I1D3
-2.33	4298	4200	-1.41	3529	3480	I2D1
-0.02	4301	4300	-0.02	4091	4090	I2D2
3.29	3431	3548	-12.81	3892	3450	I2D3
6.50	3693	3950	18.29	2467	3019	I3D1
-0.13	3404	3400	17.37	3022	3657	I3D2
-5.50	2216	2100	-0.76	3575	3548	I3D3
-19.51	4482	3750	12.23	2633	3000	I4D1
-9.15	3602	3300	1.73	3754	3820	I4D2
0.30	2219	2226	-9.24	3714	3400	I4D3
-2.4	3771	3688	2.1	3570	3	Average

*D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه.

*D1, D2, D3: planting date of April, 21th, May, 11th and May, 31th; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به خطوط اطمینان ۱۵ درصد.

Figure 2. Comparison of simulated and measured grain yields compared to 15% confidence lines.

عملکرد زیستی: نتایج ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد زیستی برنج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد زیستی در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ٤٩٢ و ٦١٥ کیلوگرم در هکتار و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده آن در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۱۹ و ۱۳ درصد است (جدول ٤). پژوهشگران مختلف نشان داده‌اند که مدل ORYZA2000 مقدار عملکرد زیستی را با دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کند. در گزارش‌ها امیری و رضایی (۲۰۱۰) نشان دادند که مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد زیستی در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی در محدوده ۹-۲۸ درصد متغیر می‌باشد (٦). پژوهشگران دیگر مقدار جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد زیستی را در شرایط واسنجی ٦، ۹ تا ۱۷ (در ارقام مختلف برنج)، ۵ و ٦ درصد و در شرایط اعتبارسنجی مدل ۸، ٦ تا ۲۱ (در ارقام مختلف برنج)، ٦ و ۹ درصد به‌دست آوردند (۳، ۱۳ و ۳۲). نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده مدل در شرایط دور آبیاری و تاریخ کاشت در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری‌شده ندارد (جدول ٤). در جدول ٦ مقایسه مقدار عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر در مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت عملکرد زیستی واقعی کم یا زیاد می‌شود که مدل نیز کاهش و افزایش مقدار عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده را به‌خوبی نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار خطای مدل در تخمین عملکرد زیستی در واسنجی در تیمار I3D2 (۱۳ درصد) و در اعتبارسنجی در تیمار D2I2 (۱۲ درصد) مشاهده شد. هم‌چنین نتایج بیانگر آن بود که درصد خطای مدل متغیر بوده؛ به‌نحوی‌که در تاریخ کاشت اول در بین مدیریت‌های تاریخ کاشت و در شرایط مدیریت آبیاری با افزایش سطح خشکی قدر مطلق میزان خطا افزایش یافت (جدول ٦). به‌طور متوسط در طی دو سال مقدار درصد خطای مدل معادل ۱/۹- و ٤/٤- (درصد) است (جدول ٦). برازش رگرسیون خطی (شکل ۳) بین مقادیر عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نشان داد که ضریب تبیین (r^2) برای داده‌های مجموع دو سال آماری مدل برابر ۰/۸۱ است (شکل ۲) که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی عملکرد زیستی

www.SID.ir

Archive of SID

دارد. پژوهش‌های مشابه در اعتبارسنجی مدل ORYZA2000 ضریب تبیین را برای تخمین عملکرد زیستی معادل به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۷۷ و ۰/۹۸ گزارش نمودند (۹، ۲۰ و ۲۱). هم‌چنین بین عملکرد زیستی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده بر اساس آزمون t در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ٤).

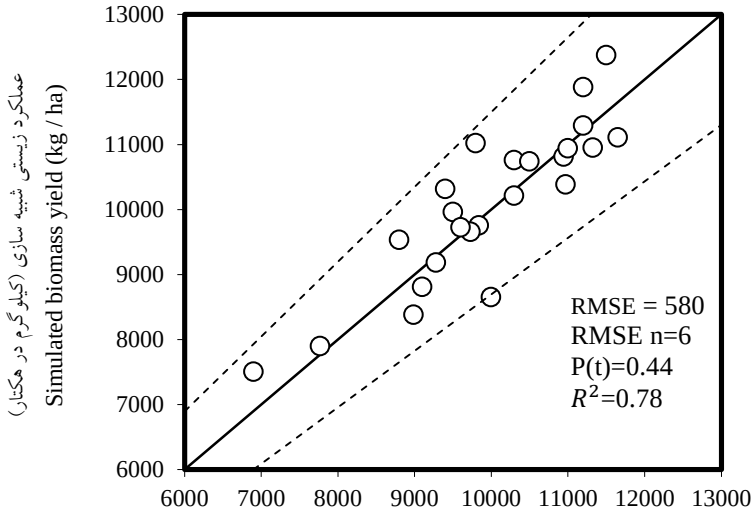
جدول ٦- مقادیر عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی توسط مدل.

Table 6. Simulated and observed biological yield values and relative error of simulation by model.

2017			2016			
خطای نسبی Relative eror (%)	شبیه‌سازی‌شده simulated (kg/ha)	مشاهده‌شده Observed (kg/ha)	خطای نسبی Relative eror (%)	شبیه‌سازی‌شده simulated (kg/ha)	مشاهده‌شده Observed (kg/ha)	تیمار Treatment
-7.62	12376	11500	1.22	10812	10945	I1D1
4.66	11107	11650	3.32	10950	11326	I1D2
-2.30	10741	10500	0.87	9756	9841	I1D3
-6.07	11880	11200	-2.22	10758	10524	I2D1
-12.45	11020	9800	0.54	10941	11000	I2D2
-3.65	9743	9400	0.76	9656	9730	I2D3
-0.80	11290	11200	6.76	8382	8990	I3D1
-4.87	9963	9500	13.47	8653	10000	I3D2
-1.67	7900	7770	0.71	9214	9280	I3D3
-7.82	11827	10969	3.20	8809	9100	I4D1
-1.29	9724	9600	0.86	10211	10300	I4D2
-8.77	7505	6900	-7.14	9428	8800	I4D3
-4.4	10423	9999	1.9	9797	9986	Average

*D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه.

*D1, D2, D3: planting date of April, 21th, May, 11th and May, 31th; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively.



شکل ۳- مقایسه عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به خطوط اطمینان ۱۵ درصد.

Figure 3. Comparison of simulated and measured biological yields compared to 15% confidence lines.

www.SID.ir

Archive of SID

بیلان آب: در جدول ۷، مقادیر متغیرهای بیلان آب در منطقه توسعه ریشه برای مدیریت‌های آبیاری و تاریخ کاشت در طول دو سال آزمایش نشان داده‌شده است. شاخص‌های تبخیر واقعی، تعرق واقعی، نشت و نفوذ عمقی و تغییرات آب ذخیره‌شده در منطقه توسعه ریشه بر اساس نتایج مدل ORYZA2000 به‌دست آمده است. نتایج مربوط به اجزای بیلان آب در مدیریت‌های آبیاری و تاریخ کاشت نشان می‌دهد که در مدیریت‌های غرقاب (با میانگین تبخیر ۲٦۷ میلی‌متر)، میزان تبخیر بیش‌تر از مدیریت‌های غیرغرقاب است که به‌علت وجود آب در سطح زمین در طول دوره رویش و اشباع بودن سطح خاک از آب می‌باشد. ازآن‌جاکه در مدیریت آبیاری غیرغرقاب شامل دور آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه با میانگین تبخیر به‌ترتیب ۲۵۱، ۲۱۹ و ۲۰۳ میلی‌متر است، به‌علت عدم وجود آب در دوره بیش‌تری از رشد در سطح زمین نسبت به آبیاری غرقاب، میزان تبخیر کم‌تر می‌باشد. مقایسه سه تاریخ کاشت نشان داد که در دو سال آزمایش، همواره در تاریخ کاشت با عملکرد بیش‌تر، میزان تبخیر بیش‌تر بوده است. به‌این‌ترتیب که در سال اول تاریخ کشت دوم (با ۲۷۱ میلی‌متر) و در سال دوم تاریخ کشت اول (با ۲٦٦ میلی‌متر) بیش‌ترین میانگین تبخیر را داشتند (جدول ۷). مقدار تعرق در دوره رشد، تحت‌تأثیر شرایط و وضعیت رطوبتی خاک، کم‌آبی و میزان پوشش گیاهی قرار گرفت. بررسی مقدار تعرق در مدیریت‌های آبیاری و تاریخ کاشت نشان داد که مقدار تعرق در محدوده ۳۵۱-۲٤٤ میلی‌متر متغیر است. هم‌چنین نتایج پژوهش نشان داد که تغییر روش آبیاری از غرقاب (۳۳۰ میلی‌متر تعرق) به غیر غرقاب (۲۸۵ میلی‌متر تعرق در دور آبیاری ۱۵ روزه) و شرایط مطلوب تاریخ کاشت مطلوب جهت افزایش عملکرد دانه، به افزایش مقدار تعرق منجر گردید، به‌طوری‌که تاریخ کشت دوم در سال اول (با ۳۰۷ میلی‌متر تعرق) و تاریخ کشت اول در سال دوم (با ۳۲۸ میلی‌متر تعرق) با بیش‌ترین میانگین عملکرد دانه، بیش‌ترین تعرق را به همراه داشتند (جدول ۷). مقدار تبخیر و تعرق در طول دوره رویش در سال‌های موردبررسی در محدوده ٦۳۸-٤۰۵ میلی‌متر متغیر می‌باشد (جدول ۷). بررسی مقادیر تبخیر و تعرق نشان داد که با تغییر روش آبیاری غرقاب به غیر غرقاب از مقدار تبخیر و تعرق (از ۵۹۸ تا ٤۸۸ میلی‌متر) کاسته می‌شود (جدول ۷). وانگ و همکاران (۲۰۱٦) در بررسی اثر برنامه‌ریزی در مصرف آب برنج مشاهده نمودند که در مقایسه با کشت برنج در غرقاب دائم، کشت در آب کم‌عمق و آبیاری تحت کنترل، به‌ترتیب سبب ۷ و ۳٦ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و ۷ و ۳٦ درصد کاهش تبخیر- تعرق می‌شود (۳۲). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که تغییر در مدیریت آبیاری غرقاب، میزان تلفات عمقی را کم می‌کند؛ به‌طوری‌که بررسی نتایج مقدار نفوذ عمقی در دوره موردمطالعه نشان داد که حداکثر مقدار تلفات آب از طریق نفوذ عمقی در مدیریت غرقاب (میانگین ۲۱۰ میلی‌متر) مشاهده شد (جدول ۷). هم‌چنین بیش‌ترین میزان ذخیره آب طی دو سال آزمایش در دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه (به‌ترتیب ۱٤۵ و ۱٤۳ میلی‌متر) و کم‌ترین ذخیره در تیمار غرقاب (۹۲ میلی‌متر) مشاهده شد (جدول ۷). ژی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی بهره‌وری آب در برنج با استفاده از مدل ORYZA2000 مشاهده نمودند که جهت استفاده بهینه از آب، می‌توان تعداد آبیاری کم‌تری را با توجه به مراحل حساس به خشکی ازجمله گلدهی استفاده نمود (۳۵). در بین تاریخ‌های کاشت بیش‌ترین نفوذ عمقی در تاریخ کاشت دوم و اول (به‌ترتیب ۲۰۰ و ۱۹۲ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار نفوذ عمقی در تاریخ کاشت سوم (۱۸۰ میلی‌متر) مشاهده شد (جدول ۷). سینگ و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۱۷) در بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر بهره‌وری و حرکت آب در برنج مشاهده نمودند که تغییر تاریخ کاشت سبب کاهش مصرف آب (تبخیر-تعرق به‌میزان ۷۵ میلی‌متر و زهکشی به میزان ٤٨ میلی‌متر) و ذخیره ١٦٤ میلی‌متر از آب آبیاری شد (۲۵). در این شرایط، تاریخ کشت اول و دوم به‌ترتیب با میانگین ١٣٦ و ١١٦ میلی‌متر، بیش‌ترین و کم‌ترین ذخیره آب را داشتند (جدول ۷). نتایج این آزمایش نشان داد که با تغییر روش آبیاری از غرقاب به غیرغرقاب از مقدار آبیاری کاسته می‌شود (جدول ۷)، به‌نحوی‌که در دوره‌های آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه نسبت به تیمار غرقاب دائم به‌طور متوسط به‌میزان ۱۲، ۳۱ و ۳۵ درصد از میزان آبیاری کاهش یافت.

جدول ۷- مقادیر متغیرهای بیلان آب در منطقه توسعه ریشه برای مدیریت‌های آبیاری و تاریخ کاشت.

Table 7. Value of water balance variables in the root development zone for irrigation management and planting dates.

ذخیره ΔW (mm)	بارش rainfall (mm)	نفوذ عمقی Deep penetration (mm)	آبیاری Irrigation (mm)	تبخیر و تعرق Evapotranspiration (mm)	تبخیر Evaporation (mm)	تعرق Transpiration (mm)	تیمار Treatment	سال Year
12	220	175	512	569	255	314	I1D1	2016
84	220	198	450	556	246	310	I2D1	
117	220	159	255	433	189	244	I3D1	
120	220	167	270	443	184	254	I4D1	
22	246	223	580	625	294	331	I1D2	
96	246	237	505	610	282	328	I2D2	
66	246	194	402	520	254	266	I3D2	
98	246	195	410	559	255	304	I4D2	
63	242	208	530	627	312	315	I1D3	
121	242	201	430	592	283	309	I2D3	
151	242	184	315	524	232	292	I3D3	
119	242	182	340	519	219	300	I4D3	
180	51	223	630	638	287	351	I1D1	2017
182	51	222	595	606	269	337	I2D1	
192	51	225	575	593	272	321	I3D1	
198	51	169	460	540	237	303	I4D1	
153	30	229	630	584	252	332	I1D2	
151	30	205	575	551	223	328	I2D2	
174	30	169	460	495	192	303	I3D2	
170	30	152	415	463	167	296	I4D2	
123	23	204	601	543	204	339	I1D3	
116	23	176	567	530	203	327	I2D3	
172	23	154	395	436	174	262	I3D3	
155	23	128	355	405	154	251	I4D3	

*D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه.

*D1, D2, D3: planting date of April, 21th, May, 11th and May, 31th; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

بهره‌وری آب: به‌منظور تخمین اجزای بهره‌وری آب (WP_I، WP_{I+R}، WP_{ET} و WP_T) برای مدیریت‌های آبیاری و تاریخ کاشت از اجزای بیلان آب (جدول ۷) و مقدار عملکرد دانه اندازه‌گیری‌شده واقعی، استفاده گردید. بیش‌ترین مقدار بهره‌وری بر اساس آبیاری و مجموع آبیاری و بارش بین تیمارهای آبیاری، در آبیاری ۱۵ روزه مشاهده شد؛ درحالی‌که با توجه به کاهش میزان عملکرد دانه، تیمار آبیاری ۵ روزه بیش‌ترین میزان بهره‌وری مبتنی بر آبیاری و مجموع آبیاری و بارش را داشت (جدول ۱۰). نتایج نشان داد که مقدار WP_I و WP_{I+R} به‌ترتیب بین ۰/۵۰ تا ۱/۳۵ و ۰/٤۷ تا ۰/۸۹ کیلوگرم دانه به‌ازای هر مترمکعب آب بوده است (جدول ۱۰). بهره‌وری تولید WP_{ET} و WP_T طی دو سال آزمایش در تیمار غرقاب، بیش‌ترین مقدار را در بین تیمارهای آبیاری داشته است. مقادیر بهره‌وری WP_T و WP_{ET} به‌ترتیب بین ۰/۸ تا ۱/۳۷ و ۰/٤۸ تا ۰/۸۱ کیلوگرم دانه به‌ازای میزان مترمکعب تبخیر و تعرق متغیر بوده است (جدول ۱۰). بین تاریخ‌های کاشت اجزای بهره‌وری تولید بر اساس آبیاری، مجموع آبیاری و بارش در تاریخ کاشت اول، تعرق و تبخیر–تعرق در تاریخ کشت دوم بیش‌ترین مقدار را داشته است (جدول ۱۰). مصرف آب نشان‌دهنده استفاده مفید از آن برای تولید دانه می‌باشد؛ یعنی می‌توان با میزان ورودی آب کم‌تر، مقدار عملکرد دانه بیش‌تری را از مقدار مشخصی آب به‌دست آورد. لمپین و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده نمودند که افزودن تناوب آبیاری و خشکی سبب بهبود کارایی روش‌های کم‌آبیاری در برنج ازنظر عملکرد دانه و بهره‌وری آب می‌شود (۱۸). جبران و همکاران (۲۰۱۵) در مقایسه آبیاری تناوبی و غرقاب نشایی و کشت مستقیم، مشاهده نمودند که بهره‌وری آب در کشت مستقیم و آبیاری تناوبی بیش از آبیاری غرقاب بوده است (۱۷). کهال و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند که بهره‌وری مصرف آب برنج در تاریخ کاشتی که نیاز تبخیر کم‌تر است، افزایش‌یافته است (١٤)؛ درحالی‌که ماهاجان و همکاران (۲۰۰۹) دلایل افزایش WPI+R را نوع رقم و افزایش عملکرد تحت‌تأثیر تاریخ کاشت عنوان کردند (۱۹). برار و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی تأثیر تاریخ کشت بر بهره‌وری آب برنج مشاهده نمودند که تغییر ۱۰ روزه تاریخ کاشت سبب تغیر بهره‌وری واقعی آب تا ۱۳ درصد می‌شود (۱۲). عملکرد دانه فیزیولوژیکی متغیر گیاه برنج در مدیریت‌های آبیاری و تاریخ کاشت و شرایط محیطی متغیر، منجر به نیازهای تعرق مختلف شده و متعاقب آن مقدار تعرق در گیاه تغییر می‌کند (٢٦). کمبود اجتناب‌ناپذیر تلفات آب به‌علت تبخیر خاک، منجر به کاهش بهره‌وری آب از بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق به بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق می‌شود. نتایج پژوهش نشان داد به‌طور متوسط مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر– تعرق در این تحقیق ۰/٦۸ کیلوگرم دانه به‌ازای هر مترمکعب تبخیر و تعرق محاسبه گردید. امیری و همکاران (۲۰۱۱) متوسط مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق را معادل ۰/٦۳ کیلوگرم دانه به‌ازای هر مترمکعب تبخیر و تعرق محاسبه نمودند (۷). بررسی اجزای بهره‌وری آب، بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق در طول دو سال آزمایش، نشان‌دهنده تأثیر مدیریت‌های آبیاری و تاریخ کاشت بر مقادیر آن‌ها است. هم‌چنین مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق، به‌طور متوسط ٤۳ درصد کم‌تر از مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق محاسبه شد (شکل ٤).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- تجزیه واریانس تأثیر آبیاری و تاریخ کاشت بر بهره‌وری آب برنج رقم هاشمی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶.

Table 8. Variance analysis of effect of irrigation and planting date on grain and biomass yield and water productivity of rice (Hashemi cultivar).

MS								
$WP(Y)_I$ (kg/m^3)		$WP(Y)_{I+R}$ (kg/m^3)		عملکرد زیست‌توده Biological yield (kg/ha)		عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)		منبع تغییرات Source of variation
2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	year
0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.002^{ns}	0.01^{ns}	2417470.00^{ns}	190806.22^{ns}	325519.11^{ns}	57987.11^{ns}	Block
0.02^{ns}	0.23**	0.026^{ns}	0.01**	7408792.01**	3905980.22^{ns}	4681437.12**	840990.22**	Irrigation
0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.005^{ns}	0.01^{ns}	18321190.3^{ns}	2397164.11^{ns}	130174.22^{ns}	36540.14^{ns}	Block*irrigation
0.02^{ns}	0.05**	0.01^{ns}	0.02^{ns}	20060877.01**	4800681.42^{ns}	3613327.23**	775419.22**	Planting date
0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.011^{ns}	0.02^{ns}	1825623.04^{ns}	299125.40^{ns}	488431.12^{ns}	180647.32^{ns}	Irrigation*planting date
0.01	0.01	0.0096	0.02	948575.13	1557750.14	325930.11	114193.41	Error
15.33	9.11	14.82	8.51	10.13	13.15	15.11	9.16	C.V (%)

*$WP(Y)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(B)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد زیستی، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد زیستی.

$WP(Y)_I$: Irrigation productivity based on paddy yield; $WP(B)_I$: Irrigation productivity based on biological yield; $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on paddy yield $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on biological yield.

جدول ۹- مقایسه میانگین تأثیر آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و زیست‌توده و بهره‌وری آب برنج رقم هاشمی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶.

Table 9. Variance analysis of effect of irrigation and planting date on grain and biomass yield and water productivity of rice (Hashemi cultivar).

Biological yield (kg/ha)	Biological yield (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)	$WP(Y)_I$ (kg/m^3)	$WP(Y)_I$ (kg/m^3)	$WP(Y)_{I+R}$ (kg/m^3)	$WP(Y)_{I+R}$ (kg/m^3)	
2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	
								Irrigation
11217^a	10704^a	4497^a	4050^a	0.72^a	0.75^c	0.69^a	0.52^b	I1
10113^{ab}	10418^a	4016^b	3673^b	0.73^a	0.79^b	0.69^a	0.52^b	I2
9490^b	9423^a	3150^c	3408^c	0.62^b	1.05^a	0.58^b	0.60^a	I3
9156^b	9400^a	3091^c	3406^c	0.74^a	1.04^a	0.69^a	0.60^a	I4
								Planting date
11217^a	9890^{ab}	4167^a	3425^b	0.74^a	0.97^a	0.68^a	0.58^a	D1
10137^b	10656^a	3825^a	3917^a	0.72^a	0.84^b	0.68^a	0.55^a	D2
8643^c	9413^b	3074^b	3562^b	0.66^a	0.92^a	0.63^a	0.56^a	D3

D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کاشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه. میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ندارند. $WP(Y)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(B)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد زیستی، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد زیستی.

* D1, D2 and D3: planting date of April 21st, May, 11th and May, 31st; I1, I2, I3 and I4: full flooding, 5, 10 and 15 days irrigation periods.

The means of the common alphabets do not have a significant difference at 1%.

$WP(Y)_I$: Irrigation productivity based on paddy yield; $WP(B)_I$: Irrigation productivity based on biological yield; $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on paddy yield $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on biological yield.

www.SID.ir

Archive of SID

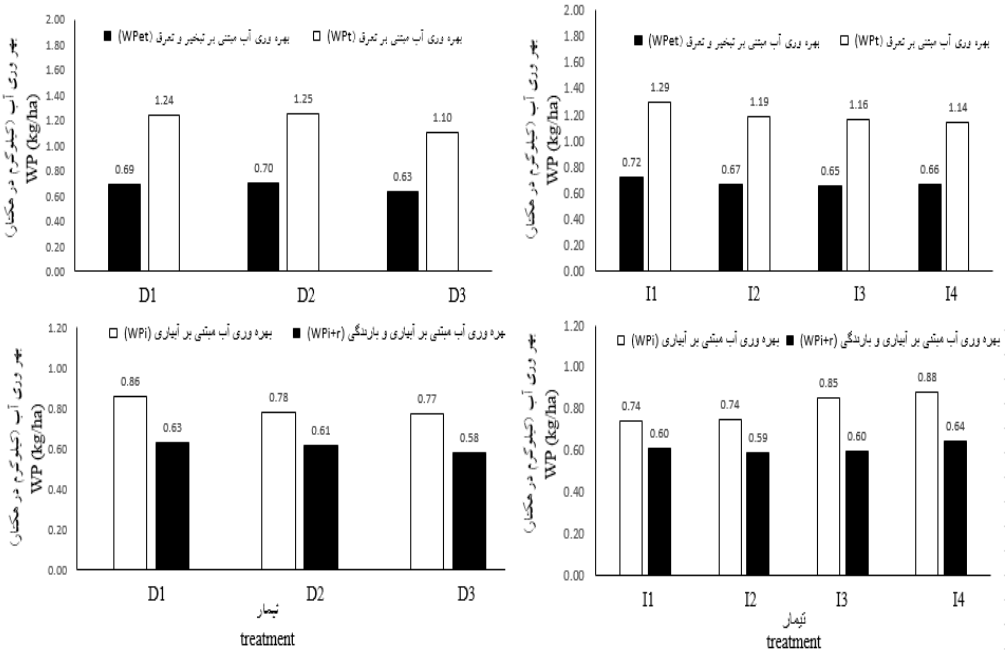
جدول ۱۰- نتایج عملکرد دانه و بهره‌وری آب تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت.

Table 10. Seed yield and water productivity of irrigation treatments and planting dates.

بهره‌وری مبتنی بر تعرق WP_T		بهره‌وری مبتنی بر تبخیر- تعرق WP_{ET}		بهره‌وری مبتنی بر آبیاری WP_I		بهره‌وری مبتنی بر آبیاری و بارش WP_{I+R}		عملکرد دانه Grain yield		مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت Irrigation and planting date
1396	1395	1396	1395	1396	1395	1396	1395	1396	1395	تیمار/سال Year/treatment
1.36	1.34	0.75	0.74	0.76	0.81	0.70	0.57	4761	4200	I1*D1
1.25	1.12	0.69	0.63	0.68	0.71	0.65	0.50	4300	4100	I1*D2
1.23	1.24	0.67	0.70	0.74	0.73	0.71	0.50	4424	3850	I1*D3
1.24	1.18	0.69	0.68	0.71	0.77	0.65	0.52	4200	3480	I2*D1
1.30	1.24	0.74	0.66	0.75	0.81	0.71	0.54	4300	4090	I2*D2
1.31	1.25	0.78	0.67	0.62	0.80	0.60	0.51	3548	3450	I2*D3
1.12	1.37	0.69	0.70	0.69	1.18	0.63	0.64	3950	3019	I3*D1
1.11	1.26	0.71	0.68	0.65	0.91	0.61	0.56	3400	3657	I3*D2
1.31	1.22	0.81	0.61	0.53	1.13	0.50	0.64	2100	3548	I3*D3
1.09	1.12	0.67	0.58	0.82	1.11	0.73	0.61	3750	3000	I4*D1
0.80	1.22	0.48	0.68	0.80	0.93	0.74	0.58	3300	3820	I4*D2
0.89	1.16	0.55	0.67	0.63	1.00	0.59	0.59	2226	3490	I4*D3

*D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه؛ WP_{I+R}، WP_I، WP_{ET} و WP_T: بهره‌وری به‌ترتیب مبتنی بر آبیاری و بارش، بارش، تبخیر- تعرق و تعرق.

*D1, D2, D3: planting date of April, 21th, May, 11th and May, 31th; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively; WP_{I+R}, WP_I, WP_{ET} and WP_T: Water productivity based on irrigation and rainfall, Rain, Evapotranspiration and transpiration, respectively.



*D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه؛ WP_{I+R}، WP_I، WP_{ET} و WP_T: بهره‌وری به‌ترتیب مبتنی بر آبیاری و بارش، بارش، تبخیر- تعرق و تعرق.

*D1, D2, D3: planting date of April, 21th, May, 11th and May, 31th; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively; WP_{I+R}, WP_I, WP_{ET} and WP_T: Water productivity based on irrigation and rainfall, Rain, Evapotranspiration and transpiration.

شکل ٤- متوسط مقدار اجزای بهره‌وری آب در تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت.

Figure 4. The average amount of water productivity components in irrigation treatments and planting dates.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل ORYZA2000 از توانایی و دقت قابل‌قبولی (۵ درصد خطا) برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه برنج در شرایط مدیریت‌های آبیاری و تاریخ کاشت برنج در شرایط آب و هوایی رشت برخوردار می‌باشد. از این مدل می‌توان به‌عنوان یک ابزار مدیریتی در زمینه انتخاب مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت مناسب استفاده نمود. نتایج این آزمایش نشان داد که جهت بهبود بهره‌وری تولید برنج، کاهش میزان آبیاری می‌تواند مؤثر باشد، درحالی‌که در تیمارهای کم‌آبیاری کاهش عملکرد، به ازای کاهش تبخیروتعرق، در کاهش میزان بهره‌وری تولید مؤثر بوده و تیمار آبیاری غرقاب بیش‌ترین بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق و تبخیر-تعرق داشته است. با اعمال مدیریت‌های آبیاری غیرغرقاب و مقدار تاریخ کاشت مناسب می‌توان بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق (WP_{ET}) را با کاهش تلفات آب از طریق تبخیر، افزایش داد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که در بین مدیریت‌های اعمال‌شده، با توجه به اجزای بهره‌وری آب، دوره آبیاری غرقاب ازنظر تعرق و مجموع تبخیر و تعرق و دور آبیاری ۱۵ روزه از نظر میزان آب ورودی به مزرعه و میزان آبیاری، بیش‌ترین بهره‌وری را داشتند. در بین تاریخ‌های کاشت، تاریخ کاشت دوم بر اساس بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق، تبخیر و تعرق و تاریخ کاشت اول بر اساس بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری و مجموع آبیاری و بارندگی، بیش‌ترین مقادیر اجزای بهره‌وری را دارا بودند. تیمار دور آبیاری ۵ روزه با کاهش ۱۰ درصد عملکرد دانه و صرفه‌جویی ۱۰ درصد میزان آبیاری نسبت به شرایط غرقاب دائم، به‌عنوان بهترین گزینه مدیریت آبیاری در شرایط کمبود آب جهت آبیاری تعیین گردید. با در نظر گرفتن میزان عملکرد شلتوک و زیست‌توده و بهره‌وری آب و میزان مصرف آب، تیمار آبیاری پنج‌روزه در تاریخ کاشت یک اردیبهشت بهترین عملکرد شلتوک و زیست‌توده را داشته است. این تیمار با ۹ درصد کاهش مصرف آب و ٦ درصد کاهش عملکرد شلتوک، بهترین تیمار از نظر بهره‌وری و تولید برنج بوده است. به‌طورکلی در این آزمایش مدل ORYZA2000 عملکرد دانه و زیست‌توده برنج رقم هاشمی را به‌خوبی پیش‌بینی نمود، اما برای رسیدن به نتایج کامل‌تر و توسعه کاربردی مدل برای ارقام برنج در شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت، آزمایش‌های طولانی‌مدتی در زمینه دور آبیاری و تاریخ کاشت در خاک‌های شالیزارهای گیلان لازم است.

منابع

1. Agricultural Statistics 2017. Volume I: Crop products. 2015-16. Office of Statistics and Information -Technology, Deputy Director of Planning and Economic Affairs. Ministry of Agricultural Jihad. 90p. (In Persian)
2. Amiri Larijani, B., Sarvestani, Z.T., Nematzadeh, G., Manschadi, A.M., and Amiri, E. 2011. Simulating phenology, growth and yield of transplanted rice at different seedling ages in northern Iran using ORYZA2000. Rice Sci. 18: 4. 321-334.
3. Amiri Larijani, B., Tahmasebi, S.Z., and Nematzade, G.A. 2013. Simulation of leaf area index, biomass and grain yield of rice cultivars at different seedling ages using ORYZA2000 model. Seed and plant production. 29: 3. 283-302.
4. Amiri, E. 2008. Evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under water managements. Asian J. Plant Sci. 7: 3. 291-297.
5. Amiri, E. 2011. Simulation of rice growth and development under irrigation constraints. Biology science. 5: 4. 1-13. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

6.Amiri, E., and Rezaei, M. 2010. Evaluation of water–nitrogen schemes for rice in Iran, using ORYZA2000 model. Commun. Soil Sci. Plan. 41: 20. 2459-2477.
7.Amiri, E., Razavipour, T., and Bannayan, M. 2011a. Evaluation of yield and water productivity in rice under irrigation management and plant density with use ORYZA2000 model. Crop production. 4: 3. 1-19. (In Persian)
8.Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A., and Bannayan, M. 2011b. Effects of crop density and irrigation management on water productivity of rice production in Northern Iran: Field and Modeling Approach. Commun. Soil Sci. Plan. 42: 17. 2085-2099.
9.Amiri, E., Rezaei, M., Rezaei, E.E., and Bannayan, M. 2014. Evaluation of Ceres-Rice, Aquacrop and Oryza2000 models in simulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. J. Plant Nutr. 37: 11. 1749-1769.
10.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. International Rice Research Institute, Los Banos. 245p.
11.Bouman, B.A.M., and Van Laar, H.H. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. Agric, Syst. 87: 3. 249-273.
12.Brar, S.K., Mahal, S.S., Brar, A.S., Vashist, K.K., Sharma, N., and Buttar, G.S. 2012. Transplanting time and seedling age affect water productivity, rice yield and quality in north-west India. Agr. Water manage. 115: 217-222.
13.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. Agron, J. 109: 6. 2613-2629.
14.Chahal, G.B.S., Sood, A., Jalota, S.K., Choudhury, B.U., and Sharma, P.K. 2007. Yield, evapotranspiration and water productivity of rice–wheat system in Punjab (India) as influenced by transplanting date of rice and weather parameters. Agr. Water Manage. 88: 1-3. 14-22.
15.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. 223p.
16.FAO. 2016. Food and Agricultural Organization of the United Nations (sited in: http://www.fao.org/ index_ en.htm/, 11/4/2018.
17.Jabran, K., Ullah, E., Hussain, M., Farooq, M., Haider, N., and Chauhan, B.S. 2015. Water saving, water productivity and yield outputs of fine-grain rice cultivars under conventional and water-saving rice production systems. Exp, Agr. 51: 4. 567-581.
18.Lampayan, R.M., Samoy-Pascual, K.C., Sibayan, E.B., Ella, V.B., Jayag, O.P., Cabangon, R.J., and Bouman, B.A.M. 2015. Effects of alternate wetting and drying (AWD) threshold level and plant seedling age on crop performance, water input, and water productivity of transplanted rice in Central Luzon, Philippines. Paddy and water Environ. 13: 3. 215-227.
19.Mahajan, G., Bharaj, T.S., and Timsina, J. 2009. Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab, India. Agr. Water Manage. 96: 3. 525-532.
20.Majumder, D., and Das, L. 2018. Simulating the yield attributes of Boro rice under nitrogen and irrigation management at Mohanpur, West Bengal using ORYZA2000. J. Agrometeorol. 20: 1. 72-74.
21.Pang, G.B., Li, Y., Xu, Z.H., and Gao, H.Z. 2014. Calibration and Evaluation of ORYZA2000 under Water and Nitrogen managements. In Applied Mechanics and Materials. 641: 246-250.
22.Pazoki, A.R., Karimi Nejad, M., and Foladi Toroghi, A.R. 2010. Effect of planting dates on yield of ecotypes of saffron (*Crocus sativus* L.) in Natanz region. Crop Physiology. 2: 8. 3-12. (In Persian)
23.Rinaldi, M., Losavio, N., and Flagella, Z. 2003. Evaluation of OIL CROP-SUN model for sun flower in southern Italy. Agric. Sys. 78: 17-30.

www.SID.ir

Archive of SID

24.Sailaja, B., Voleti, S.R., Subrahmanyam, D., Nathawat, M.S., and Rao, N.H. 2013. Validation of Oryza2000 model under combined nitrogen and water limited situations. Ind. J. Plant Physiol. 18: 1. 31-40.
25.Singh, M.C., Jain, A.K., and Jalota, S.K. 2017. Impact of Transplanting Date and Irrigation Scheduling on Water Balance, Water Productivity and Soil Moisture Movement. J. Agric. Eng. 54: 1. 28-32.
26.Singh, R., Van Dam, J.C., and Feddes, R.A. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. Agr. Water Manage. 82: 253-278.
27.Soltani, A., Rahimzadeh Khoei, F., Ghassemi-Golezani, and Moghaddam, M. 1999. Cicer: A computerized model for simulating chickpea growth and yield. Agric. Sci. 9: 3. 89-106. (In Persian)
28.Soundharajan, B., and Sudheer, K.P. 2013. Sensitivity analysis and auto-calibration of ORYZA2000 using simulation-optimization framework. Pady Water Environ. 11: 1-4. 59-71.
29.Tari, D.B., Amiri, E., and Daneshian, J. 2017. Simulating the Impact of Nitrogen Management on Rice Yield and Nitrogen Uptake in Irrigated Lowland by ORYZA2000 Model. Common. Soil Sci. Plan. 48: 2. 201-213.
30.Van Oort, P.A.J., Balde, A., Diagne, M., Dingkuhn, M., Manneh, B., Muller, B., ... and Stuerz, S. 2016. Intensification of an irrigated rice system in Senegal: Crop rotations, climate risks, sowing dates and varietal adaptation options. Eur. J. Agron. 80: 168-181.
31.Wang, W., Ding, Y., Shao, Q., Xu, J., Jiao, X., Luo, Y., and Yu, Z. 2017. Bayesian multi-model projection of irrigation requirement and water use efficiency in three typical rice plantation region of China based on CMIP5. Agr. Forest Meteorol. 232: 89-105.
32.Wang, X., Lu, W., Jun Xu, Y., Zhang, G., Qu, W., and Cheng, W. 2016. The positive impacts of irrigation schedules on rice yield and water consumption: synergies in Jilin Province, Northeast China. Int. J. Agr. Sustain. 14: 1. 1-12.
33.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 rain fed environments. SARP Research proceeding. Wageningen. The Netherlands. 164p.
34.Wopereis, M.C.S. 1993. Quantifying the impact of soil and climate variability on rainfed rice production. PhD thesis. Wageningen (Netherlands): Wageningen Agricultural University. 188p.
35.Xue, C.Y., Yang, X.G., Bouman, B.A.M., Deng, W., Zhang, Q.P., Yan, W.X., Zhang, T., Rouzi, A., and Wang, H. 2008. Optimizing yield, water requirements, and water productivity of aerobic rice for the North China Plain. Irrigation Sci. 26: 6. 459-474.
36.Zhang, S., Tao, F., and Zhang, Z. 2017. Uncertainty from model structure is larger than that from model parameters in simulating rice phenology in China. Eur. J. Agron. 87: 30-39.
37.Zolfagari, H., Farhadi, B., and Rahimi. H. 2016. Climatic Potentials in Iran for Soybean Cultivation. Geogr. Plann. 20: 56. 89-105. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(1), 2020
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.16036.3126

Evaluation of ORYZA2000 model in yield simulation and productivity of rice production under crop managements

P. Aalaee Bazkiaei[1], *B. Kamkar[2], E. Amiri[3], H. Kazemi[4] and M. Rezaei[5]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[2]Professor, Dept. of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
[3]Professor, Dept. of Water Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Iran,
[4]Associate Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[5]Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
Received: 12.15.2018; Accepted: 10.16.2019

Abstract

Background and Objectives: The unceasing growth in demand for water in the industrial sector, drinking water and reduction in the amount of water available for agricultural sector has led to a reduction of water usage in rice, which threatens its production. Crops simulation models can be used to carry out various studies such as selection of suitable cultivar and plant, determining the best agricultural management and production capacity of the area. The purpose of this study was to investigate the ORYZA2000 accuracy in simulating grain and biomass yields, and studying water balance and productivity of rice affected by irrigation and planting dates.

Materials and Methods: In order to evaluate the ORYZA2000 model and investigate the productivity of rice production under irrigation management and planting date, a split plot experiment based on a complete randomized block design with three replications was carried out on a local (Hashemi) cultivar in the years of 2016 and 2017 in the Rice Research Institute of Iran, Rasht. Irrigation interval was considered as the main factor at 4 levels including full flooding, 5, 10 and 15 days irrigation intervals and transplanting date was assigned to subplot at three levels (April 21th, May 11th and May 31th). Evaluation of simulated and observed values of grain yield and biological yield was conducted based on coefficient of determination, T-test, root mean square error (RMSE) and normalized root mean square error (RMSEn). In this research, the water balance equation throughout the growing season was considered which its components included irrigation, rainfall, actual evaporation, actual transpiration, leakage and deep penetration and changes in the water stored in the root development zone. Water productivity was investigated based on the grain yield of rice for transpiration, evapotranspiration, irrigation and total precipitation and irrigation.

Results: The results of this study revealed that normalized root means square error of the grain yield and biological yield were determined 8% and 6%, respectively. Also, the results showed that among water managements, flooding irrigation and 15-day irrigation interval had the highest water productivity regarding transpiration and evapotranspiration and the amount of input water and irrigation, respectively. Among the planting dates, the planting date of May, 11th had the highest water productivity based on transpiration, evapotranspiration and planting date of April, 21th, had the highest water productivity based on irrigation and irrigation and rainfall. In these conditions, the planting date of April, 11th and May, 21th, with an average of 136 and 116 millimeters, had the highest and lowest water reserves, respectively. The highest amount

* Corresponding Author; Email: behnam.kamkar@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

of water saving during the two years of experiment was observed in irrigation intervals of 10 and 15 days (145 and 143 mm, respectively) and the lowest was recorded in the flood treatment (92 mm).

Conclusion: Considering paddy and biomass yield of rice, water productivity and water consumption, five days irrigation treatment had the best paddy and biomass yield in April 21st planting date. This treatment was the best treatment in terms of productivity and rice production, with 9% reduction in water use and 6% reduction in paddy yield of rice. According to the present study, the ORYZA2000 model can be used to support the results of experiments under irrigation management conditions and planting dates.

Keywords: Irrigation, Modeling, Planting date, Water balance

www.SID.ir

Archi

www.SID.ir