مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد چهارم، شماره سوم، پاییز ۹۰
۱-۱۹
ejcp.gau@gmail.com

ارزیابی عملکرد و بهره‌وری آب در برنج تحت شرایط مدیریت مختلف آبیاری و فاصله کاشت با استفاده از مدل ORYZA2000

ابراهیم امیری[1]*، تیمور رضوی پور[2] و محمد بنایان[3]

[1]استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، [2]عضوهیات‌علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، [3]دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

به منظور بررسی تاثیر فاصله کاشت و مدیریت آبیاری بر بهره‌وری آب برنج در استان گیلان، آزمایشی در قالب کرت‌های خرد شده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ در موسسه تحقیقات برنج کشور(رشت) انجام شد. مدیریت‌های آبیاری در ٤ سطح به عنوان عامل اصلی و فاصله کاشت در ۳ سطح به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. از مدل شبیه‌سازی ORYZA2000 برای بررسی بهره‌وری آب و اجزای بیلان آب در گزینه‌های مدیریتی متقابل آبیاری و فاصله کشت استفاده گردید. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین، آزمون *t*، ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، انجام گرفت. عملکرد دانه با ریشه میانگین مربعات خطای ۱۵۰-۱۸۲ کیلوگرم در هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ٦ درصد شبیه سازی شد، که توانایی مدل ORYZA2000 را در شبیه سازی عملکرد دانه برنج نشان می‌دهد. با استفاده از عملکرد دانه اندازه‌گیری شده و اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده از مدل ORYZA2000، مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیروتعرق (WP_{ET}) حدود ۳۵ درصد کمتر از بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق (WP_T) بود. با توجه به نتایج تحقیق مدیریت آبیاری ۷۵ درصد تبخیر از سطح تشتک تبخیر و فاصله کاشت ۲۰×۲۰ سانتی‌متر به عنوان بهترین مدیریت آبیاری و فاصله کاشت انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، برنج، بیلان آب، بهره وری آب، تبخیر و تعرق، مدل ORYZA2000

* مسئول مکاتبه: eamiri57@yahoo.com

مقدمه

استان گیلان یکی از مناطق عمده تولید برنج با متوسط سطح زیر کشت حدود ۲۳۰/۰۰۰ هکتار می‌باشد که برنج در آن بصورت نشاکاری و تحت آبیاری کشت می‌شود. طی چند سال اخیر به‌علت رشد بی‌سابقه تقاضا برای مصرف آب در بخش‌های صنعتی، شرب و کاهش میزان آب قابل استفاده در بخش کشاورزی به‌علت ایجاد سد در سر شاخه‌های رودخانه سفیدرود (که تقریباً ۷۳٪ 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 کند (امیری، ۲۰۰٦). بنابراین لازم است راه‌های صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری آب برای تولید برنج مورد ارزیابی و استفاده قرار گیرد. آبیاری غرقاب دائم در شالیزار با راندمان آبیاری بسیار پایین باعث مصرف بیش از نیاز واقعی آب شده است. برای کاهش مصرف آب در آبیاری برنج، روش‌های آبیاری مختلفی به‌منظور کاهش آب ورودی به شالیزار وجود دارد، که از آن جمله می‌توان به مدیریت‌های آبیاری غیرغرقاب در دوره‌های از رشد برنج، اشاره نمود (بومن و تونگ، ۲۰۰۱). با توجه به اینکه افزایش آب مصرفی بیش از حد لازم نقشی در افزایش عملکرد نداشته صرفه جویی ناشی از کاربرد این روش در مواقع خشکسالی و کمبود آب می‌تواند راه گشای مشکلات موجود باشد (امیری، ۲۰۰٦). نتایج تحقیقات در نقاط مختلف دنیا و ایران مناسب بودن تاثیر مدیریت آبیاری غیرغرقاب بر مقدار عملکرد دانه و افزایش بهره‌وری آب برنج را ثابت نموده است (بومن و همکاران، ۲۰۰۲؛ تونگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ رضایی و همکاران، ۲۰۰٤).

بهره‌وری آب برای گیاهان، برابر میزان دانه تولید شده به ازای هر واحد مقدار آب مصرفی تعریف می‌شود (مولدن و همکاران، ۲۰۰۱). زوارت و باستیانسن (۲۰۰٤) دریافتند که متوسط بهره‌وری آب برنج بر اساس میزان تبخیر و تعرق (WP_{ET}) برابر ۱/۰۹ کیلوگرم دانه بر مترمکعب تبخیروتعرق می‌باشد، البته دامنه بهره‌وری آب برای برنج در تحقیق آنها، ۱/٦–۰/٦ کیلوگرم دانه بر مترمکعب تبخیر و تعرق بود. آنها تغییرات در مقدار این شاخص را به‌طور عمده به عوامل اقلیمی، مدیریت آبیاری و کود نسبت دادند. نتایج آنها نشان داد که بهره‌وری آب به مقدار زیادی می‌تواند در صورت کاهش مقدار آب آبیاری و اعمال تغییر روش آبیاری افزایش یابد. امیری (۲۰۰٦) با بررسی مدیریت آبیاری برنج در استان گیلان بر روی رقم‌هاشمی، مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان آبیاری (WP_I) را در محدوده ۰/۲۹–۰/۹۲ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آبیاری محاسبه نمود.

مدل ORYZA2000، رشد و نمو گیاه برنج را در شرایط عملکرد پتانسیل، محدودیت آبی و محدودیت نیتروژن، شبیه سازی می‌کند. این مدل توانایی برآورد عوامل آب‌شناختی (تبخیر، تعرق و تلفات عمقی) را در شرایط مزرعه دارد (بومن و همکاران، ۲۰۰۱). مدل ORYZA2000 جهت بررسی مقدار روزانه جذب دی‌اکسید کربن توسط کانوپی، بر اساس میزان تابش روزانه، دما و شاخص سطح برگ استفاده می‌شود. میزان جذب روزانه بر اساس ترکیب مقدار جذب دی اکسید کربن توسط برگ در طی روز و در تمامی لایه‌های برگ در کانوپی محاسبه می‌گردد که بر اساس میزان جذب، کربوهیدرات تولید شده در میان ریشه‌ها، برگ‌ها، ساقه‌ها، خوشه تقسیم می‌شود. تاثیر خشکی بر گیاه شامل: لوله‌ای شدن برگ، عقیم شدن سنبلک‌ها، کاهش توسعه برگ، تغییر الگوی تخصیص ماده خشک، افزایش عمق ریشه، تأخیر توسعه دوره رویشی، افزایش پیری برگ و کاهش میزان فتوسنتز در مدل محاسبه می‌شود. برای هر یک از این فرآیندها، عامل تنش خشکی بر اساس مکش آب و خاک محاسبه می شود. در مدل دوره رشد و نمو برنج بر اساس زمان-گرما به چهار مرحله فنولوژیک تقسیم می‌شود: ۱- دوره رشد رویشی پایه، ۲- دوره رشد حساس به نور، ۳- دوره تشکیل خوشه، ٤- دوره پرشدن دانه (بومن و همکاران، ۲۰۰۱).

محققان مختلفی از مدل ORYZA2000 برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه برنج در مدیریت‌های مختلف نظیر آبیاری، کود نیتروژن و رقم استفاده نموده‌اند. آرورا (۲۰۰٦)، امیری (۲۰۰۸) و بلدر و همکاران (۲۰۰۷) این مدل را در شرایط مدیریت آبیاری غرقاب و غیرغرقاب مورد ارزیابی قرار دادند. بولینگ و همکاران (۲۰۰۷) توانستند مدل ORYZA2000 را برای برنج نشایی و کاشت مستقیم مورد واسنجی قرار دهند، نتایج تحقیق نشان داد که ضریب تبیین (R^2) عملکرد دانه و ماده خشک کل به‌ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۸۹ می‌باشد. بومن و فان لار (۲۰۰٦) مدل را برای شرایط کمبود نیتروژن در موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج مورد ارزیابی قرار دادند. جینگ و همکاران (۲۰۰۷) و بنایان و همکاران (۲۰۰۵) از این مدل به‌منظور شبیه‌سازی مقدار ماده خشک و نیتروژن در اندام‌های مختلف و عملکرد دانه در شرایط مدیریت کود نیتروژن استفاده نمودند. امیری و رضایی (۲۰۰۹)، فنگ و همکاران (۲۰۰۷) و ژو و همکاران (۲۰۰۸) مدل ORYZA2000 را برای شرایط متقابل مدیریت کود نیتروژن و آبیاری مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج تحقیق آنها نشان داد که مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری شده ندارد. بلدر و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی از مدل ORYZA2000 به‌منظور محاسبه شاخص‌های آب در مدیریت‌های

مختلف آبیاری و کود نیتروژن در چین و فیلیپین در طی سال‌های ۲۰۰۳ – ۱۹۹۹ استفاده کردند، نتایج تحقیق آنها نشان داد که تغییر روش آبیاری از غرقاب به غیر غرقاب باعث کاهش مقدار تلفات آب از طریق تبخیر و نفوذ عمقی می شود. آرورا (۲۰۰٦) از مدل ORYZA2000 برای تخمین بهره‌وری آب (WP_{ET}) در شرایط مدیریت آبیاری در هند استفاده کرد، مقدار WP_{ET} در شرایط آبیاری غرقاب و آبیاری با تناوب ۲ روز، به‌ترتیب ۱/۰۵ و ۱ کیلوگرم دانه بر متر مکعب تبخیر و تعرق محاسبه نمود. بومن و همکارن (۲۰۰۷) در تحقیقی با استفاده از مدل ORYZA2000 نتیجه گرفتند که از کل تبخیر و تعرق سهم تبخیر ۵۵ درصد بوده است. همچنین از مقدار کل آب ورودی به شالیزار ۱۰ درصد تبخیر، ٤۵ درصد نشت و نفوذ عمقی و ٤۵ درصد صرف تعرق می‌گردد. آنها همچنین مقدار بهره‌وری آب WP_{ET} را ۱/٤ کیلوگرم دانه بر مترمکعب تبخیر و تعرق بدست آوردند.

بطور کلی هدف از این تحقیق محاسبه اجزای بیلان آب و بهره‌وری آب در مدیریت‌های مختلف آبیاری و فاصله کاشت و انتخاب روش آبیاری و فاصله کاشت مناسب در استان گیلان بر اساس ارزیابی مدل ORYZA2000 می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای: به‌منظور ارزیابی مدل ORYZA2000 و بهره‌وری آب در برنج در استان گیلان، آزمایشی در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت، بر روی رقم محلی هاشمی انجام شد. مدیریت‌های آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در ٤ سطح (I_1= آبیاری غرقاب دائم و I_2، I_3، I_4 به‌ترتیب آبیاری با ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و فاصله کاشت کپه در ۳ سطح (S_1=۲۰×۲۰، S_2=۱۵× ۱۵ و S_3=۱۰×۲۰ سانتی‌متر) در واحدهای آزمایشی به ابعاد ۳/۵× ۳ متر به‌عنوان عامل فرعی انتخاب گردید. مرزهای هر واحد آزمایشی با نایلون پوشانده شد تا از نفوذ جانبی آب جلوگیری شود. فاصله هر واحدهای آزمایشی در کرت اصلی، ۰/۵ متر بود. جهت آبیاری و اعمال تیمارهای آبیاری میزان تبخیر از تشتک کلاس A، برای دوره ۵ روزه اندازه‌گیری شد و میزان آب آبیاری براساس سطح کرت و درصد تبخیر در نظرگرفته‌شده، اعمال گردید. داده‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه در ماه‌های مورد تحقیق سال‌های مورد آزمایش در جدول (۱) آمده است. کلیه عملیات زراعی و یادداشت‌برداری‌های مورد نیاز نظیر تاریخ بذرپاشی در خزانه، نشاکاری، گلدهی و برداشت

طبق استانداردهای زراعی موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (ایری، ۱۹۹٦) برای دو سال متمادی انجام گرفت. در زمان رسیدگی مقدار عملکرد دانه بر اساس رطوبت ١٤ درصد با برداشت ۵ متر مربع پس از حذف حاشیه از هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شد. با استفاده از روش کم‌ترین اختلاف معنی‌دار (LSD)، آزمون مقایسه میانگین مقدار عملکرد دانه انجام شد.

داده‌های مورد نیاز اجرای مدل شامل: داده‌های هواشناسی (داده‌های روزانه مربوط به حداقل و حداکثر دما، مقدار بارندگی، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی)، اطلاعات خاکشناسی (تعداد و عمق هر لایه خاک، ظرفیت مزرعه‌ای، نقطه پژمردگی، عمق توسعه ریشه، هدایت هیدرولیکی اشباع) و اطلاعات مدیریتی (مقدار آبیاری و تاریخ آبیاری، تاریخ خزانه گیری و نشا، تعداد نشا در هر کپه، تعداد کپه در هر مترمربع) بود.

واسنجی مدل: شاخص‌های گیاهی برای ارقام برنج که نیاز به واسنجی دارند عبارتند از: سرعت توسعه فنولوژیک، شاخص‌های تفکیک ماده خشک، سرعت رشد نسبی سطح برگ، سطح ویژه برگ، سرعت مرگ برگ و کسر ذخیره ساقه. در شرایط مدیریت آبیاری مدل نیاز به شاخص‌های آب‌شناختی معادله ون گنوختن (معادله ۱) لایه‌های خاک دارد، که با کمک مدل RETC شاخص‌های α، n و λ (ون گنوختن و همکاران، ۱۹۹۲) و اندازه‌گیری واقعی رطوبت در نقاط اشباع (θ_{sat})، ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{FC})، نقطه پژمردگی دایم (θ_{PWP})، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat}) و مقدار نشت و نفوذ عمقی محاسبه شد (امیری، ۲۰۰۸). در جدول ۲ خصوصیات فیزیکی و آب‌شناختی لایه‌های مختلف خاک ارائه شده است.

$$\theta = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{(1+|ah|^{n})^{1-\frac{1}{n}}} \qquad (۱)$$

که دراین معادله، θ_{sat} مقدار رطوبت در نقطه اشباع (سانتی مترمکعب درسانتی مترمکعب)، θ_{res} مقدار آب باقیمانده در حالت بسیار خشک (سانتی‌مترمکعب در سانتی‌متر مکعب) و α (سانتی‌متر) و n(-) ضریب تجربی شکل هستند

جدول ۱- مجموع بارندگی و ساعت آفتابی ماهانه و متوسط حداکثر و حداقل ماهانه درجه حرارت سال‌های ۸۱-۱۳۸۰.

سال	ماه	دمای کمینه (سانتی‌گراد)	دمای بیشینه (سانتی‌گراد)	دمای متوسط (سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	ساعات آفتابی (hr)
۱۳۸۰	اردیبهشت	۱۰/۸	۱۹/٤	۱۵/۱	۲۹/۲	٤
	خرداد	۱۵	۲٤/۳	۱۹/۷	۱۱۱	۵/٤
	تیر	۱۸/۲	۲۷/۸	۲۳	٦/۳	۹/٦
	مرداد	۲۰/۷	۲۹/۹	۲۵/۲	۲۹	٦/۳
	شهریور	۲۱/۲	۳۱/۹	۲٦/٦	۸۵/۵	۷/۵
۱۳۸۱	اردیبهشت	۱۰/٤	۱٦/۱	۱۳/۲	۱۲۱	٤/۲
	خرداد	۱۳/٤	۲۰/۸	۱۷/۱	۸۲/٤	۵/۳
	تیر	۱۸/۸	۲۷/٦	۲۳/۲	۱/۵	۹/۵
	مرداد	۲۱/۳	۳۱/٦	۲٦/٤	۱۷/٦	٦/۹
	شهریور	۲۲/۱	۳۰/۸	۲٦/۵	۱۱۹/۵	۷/٦

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شاخص‌های ون گنوختن لایه‌های خاک مزرعه آزمایش.

عمق (سانتی‌متر)	لوم (درصد)	شن (درصد)	چگالی‌ظاهری (گرم در سانتی متر)	θ_{PWP} (-)	θ_{FC} (-)	K_{sat} (سانتی‌متر در روز)	θ_{SAT} (-)	α (سانتی متر)	n
۰-۱۰	۳۹	۱٤	۱/۱	۰/۲۷	۰/٤	۵۷/۵٤	۰/٦۵	۰/۰۳	۱/۲۳
۱۰-۲۰	۳۹	۱۷	۱/۲	۰/۳	۰/٤	۳۰/۸	۰/٦۲	۰/۰۳	۱/۲
۲۰-۳۰	٤٤	۹	۱/۳۲	۰/۳	۰/٤۱	۰/٤	۰/٦۲	۰/۰٦	۲/۹۹
۳-٤۰	٤۲	۱۱	۱/۳۱	۰/۳	۰/٤۲	۱۱/٤	۰/٦	۰/۲٦	۱/۱۷

θ_{SAT}: رطوبت در نقاط اشباع، θ_{FC}: ظرفیت مزرعه‌ای، θ_{PWP}: نقطه پژمردگی دایم، K_{sat}: هدایت هیدرولیکی اشباع، α و n: شاخص‌های آب‌شناختی معادله ون گنوختن

معیارهای ارزیابی نتایج مدل: به منظور ارزیابی نتایج شبیه سازی مدل ORYZA2000 از ترکیب روش‌های گرافیکی و آماری استفاده شد، به‌صورت گرافیکی مقایسه مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه برای مدیریت آبیاری و فاصله کاشت با تعیین ضریب تبیین (R^2) و مقایسه نسبت به خط ۱:۱ انجام گردید، جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی مدل از آزمون t و متغیرهای آماری زیر استفاده شد (بومن و فان لار، ۲۰۰٦):

$$RMSE = (\sum_{I=1}^{n} (Y_S - Y_o)^2 / n)^{0.5} \quad (۲)$$

$$RMSE\ Normalised = 100(\sum_{I=1}^{n} (Y_S - Y_o)^2 / n)^{0.5} / \overline{Y}_o \quad (۳)$$

که در این روابط: Y_S = مقدار عملکرد دانه شبیه سازی شده، Y_o = مقدار عملکرد دانه اندازه گیری شده، n = تعداد اندازه‌گیری، $\overline{Y}_o$ = میانگین مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده، RMSE[1]: ریشه میانگین مربعات خطا، $RMSE_n$ [2]: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، می‌باشد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در حالت مطلوب یا حالتی که مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشد برابر با صفر می‌باشد. اگر مقدار نتیجه آزمون t بیشتر از ۰/۰۵ باشد بدان مفهوم است که مقادیر شبیه‌سازی عملکرد دانه در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه اندازه واقعی عملکرد دانه می‌باشد (بومن و همکاران، ۲۰۰۱).

بیلان و بهره‌وری آب : در این تحقیق معادله بیلان آب در طول فصل زراعی به‌صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$I + R = E + T + D + \Delta W \quad (٤)$$

که اجزای آن شامل I: آبیاری، R: بارندگی، E: تبخیر واقعی، T: تعرق واقعی، D: نشت و نفوذ عمقی و ΔW: تغییرات آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه، می‌باشد. مقدار آبیاری برای هرکرت اندازه‌گیری شد، مقدار بارندگی نیز از ایستگاه هواشناسی رشت دریافت شد، سایر اجزای معادله بیلان آب با استفاده از مدل ORYZA2000 محاسبه گردید، در مدل ORYZA2000 مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از معادله پرسیتلی تیلور محاسبه شد.

برای محاسبه اجزای بهره‌وری آب از روابط زیر استفاده شد (سینگ و همکاران، ۲۰۰٦):

$$WP_T = \frac{Yg}{T} \quad (٥)$$

$$WP_{ET} = \frac{Yg}{E + T} = \frac{Yg}{ET} \quad (٦)$$

$$WP_I = \frac{Y_g}{I} \quad (٧)$$

$$WP_I = \frac{Y_g}{I + R} \quad (٨)$$

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

در روابط فوق WP_I، WP_{ET} و WP_T اجزای بهره‌وری آب، Y_g: مقدار عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، T: مقدار تعرق واقعی (مترمکعب)، E: مقدار تبخیر واقعی(مترمکعب)، I: مقدار آبیاری (مترمکعب) و R: مقدار بارندگی می‌باشد.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل: متغیرهای آماری که برای ارزیابی (واسنجی و اعتبارسنجی) توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج در طول ۲ سال زراعی مدنظر بود، در جدول ۳ ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد که ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱، در محدوده ۱۸۲-۱۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ در محدوده ٦-۷ درصد بدست آمد. محققان مختلف نشان داده‌اند که مدل ORYZA2000 مقدار عملکرد دانه را با دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کند: زو و همکاران (۲۰۰۸)، جینگ و همکاران (۲۰۰۷) و بومن و فان لار (۲۰۰٦)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مقدار عملکرد دانه را برای شرایط واسنجی ۱۲٤، ۱۱ و ۱۳ درصد بدست آوردند. همچنین در شرایط اعتبارسنجی مدل نتایج ژیو و همکاران (۲۰۰۸)، فنگ و همکاران (۲۰۰۷)، بولینگ و همکاران (۲۰۰۷)، بلدر و همکاران (۲۰۰۷) و بومن و فان لار (۲۰۰٦)، نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مقدار عملکرد دانه به‌ترتیب ۱۱، ۱۳، ۱٦ و ۱۹ درصد می‌باشد. نتایج آزمون t نشان می دهد که مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده مدل در شرایط مدیریت آبیاری و فاصله کاشت‌های مختلف در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه مقادیر عملکرد دانه اندازه‌گیری می‌باشد (جدول ۳). در شکل ۱، مقایسه مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در سال‌های مختلف ارائه شده است، نتایج نشان می‌دهد که با تغییر مدیریت آبیاری و کاهش مقدار آب آبیاری مقدار عملکرد دانه واقعی کم می‌شود، مدل نیز افت مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد (شکل ۱).

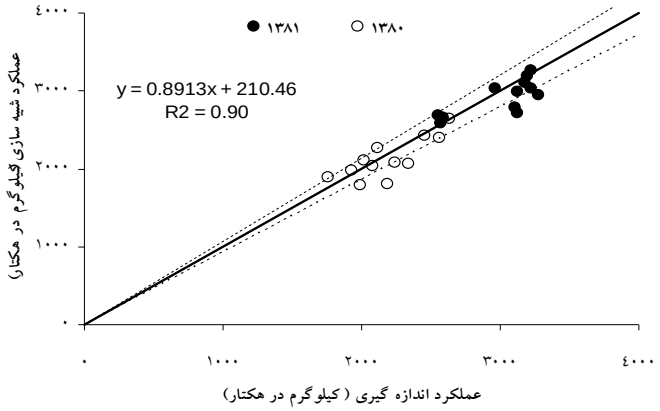
جدول ۳- ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شاخص‌های گیاهی مدل ORYZA2000 در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی.

سال		تعداد نمونه	R^2	P(t)	RMSE	$RMSE_n$ (%)
				واسنجی		
۱۳۸۰	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	۱۲	۰/۷۱	۰/۲۹	۱۵۰	۷
				اعتبارسنجی		
۱۳۸۱	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	۱۲	۰/٦۳	۰/۲۰	۱۸۲	٦

شکل ۱- مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده سال‌های ۸۰ و ۸۱ در مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت

S_1، S_2 و S_3 به ترتیب فاصله کاشت ۲۰×۲۰، ۱۵×۱۵ و ۱۰×۲۰ سانتی متر و I_1= آبیاری غرقاب دائم و I_2، I_3 ٪۱۰۰، ٪۷۵ و I_4 ٪۵۰ تبخیر از سطح تشتک تبخیر

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی (شکل ۲) بین مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده ۲ سال آزمایش نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R^2) برابر ۰/۹۰ است، همچنین ۷۵ درصد از نقاط در محدوده خط ۱:۱ و +/- خطای استاندارد (SE=١٦٧) عملکرد دانه اندازه‌گیری شده می‌باشد. با توجه به مقادیر ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده خصوصیات مورد ارزیابی مدل ORYZA2000، در شرایط مدیریت آبیاری و فاصله کاشت، می‌توان نتیجه گرفت که مدل توانایی شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج با دقت مناسب را دارد، که می‌توان از این مدل در برنامه‌ریزی آبیاری و فاصله کاشت برنج استفاده نمود.



شکل ۲- مقایسه عملکرد دانه شبیه سازی و اندازه‌گیری شده سال‌های ۸۰ و ۸۱ نسبت به خط ۱:۱.

بیلان آب

در جدول ٤، مقادیر متغیرهای بیلان آب در منطقه توسعه ریشه برای مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت در طول دو سال آزمایش نشان داده شده است. شاخص‌های تبخیر واقعی، تعرق واقعی، نشت و نفوذ عمقی و تغییرات آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه بر اساس نتایج مدل ORYZA2000 بدست آمده است. با ملاحظه اعداد و ارقام اجزای بیلان آب در مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت مشاهده می‌گردد، که در مدیریت‌های غرقاب، میزان تبخیر بیشتر از مدیریت‌های غیر غرقاب است، که به‌علت وجود آب در سطح زمین در طول دوره رویش و اشباع بودن سطح خاک از آب می‌باشد. از آنجا که در مدیریت آبیاری ۵۰٪ تبخیر از سطح تشتک تبخیر به‌علت عدم وجود آب در سطح زمین در دوره بیشتری از رشد

نسبت به سایر مدیریت‌های آبیاری، میزان تبخیر کمتر می‌باشد. کاهش فاصله بین کپه‌ها منجر به افزایش رشد برگ، افزایش جذب نور و کاهش انتقال نور به سطح آب و خاک می‌شود که منجر به کاهش مقدار تبخیر می‌گردد، نتایج تحقیق نشان داد که فاصله کاشت (S_1) بیشترین مقدار تبخیر را دارد (جدول ٤). مقدار تعرق در دوره رشد، تحت تاثیر شرایط و وضعیت رطوبتی خاک، کم آبی و میزان پوشش گیاهی قرار گرفت. بررسی مقدار تعرق در مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت نشان داد که مقدار تعرق در محدوده ۱۷۲–۳٦۹ میلی‌متر متغیر است، همچنین نتایج تحقیق نشان داد که تغییر روش آبیاری از غرقاب به غیرغرقاب و کاهش فاصله کاشت منجر به افزایش مقدار تعرق می‌شود (جدول ٤).

مقدار تبخیر و تعرق در طول دوره رویش در سال‌های مورد بررسی در محدوده ۳۱۲–٤٦۲ میلی‌متر متغیر می‌باشد. بررسی مقادیر تبخیر و تعرق نشان می‌دهد که با تغییر روش آبیاری غرقاب به غیر غرقاب از مقدار تبخیر و تعرق کاسته می‌شود. آرورا (۲۰۰٦) نیز در تحقیقی در هند با استفاده از مدل ORYZA2000، گزارش کرد، تغییر روش آبیاری از غرقاب به آبیاری با تناوب ۲ روز منجر به کاهش تبخیر و تعرق از ٦۲۸ به ۵۹۱ میلی‌متر می‌شود. دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) مقدار تبخیر و تعرق گیاه برنج را در محدوده ٤۵۰–۷۰۰ میلی‌متر گزارش کردند. با تغییر مدیریت آبیاری از غرقاب به غیر غرقاب از فشار هیدرواستاتیکی آب در سطح زمین کاسته می‌شود که منجر به کاهش میزان تلفات آب از طریق نفوذ عمقی می‌شود (بومن و همکاران، ۱۹۹٤). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان می‌دهد که تغییر در مدیریت آبیاری غرقاب، میزان تلفات عمقی را کم می‌کند به‌طوری‌که بررسی نتایج مقدار نفوذ عمقی در دوره مورد مطالعه نشان داد که حداکثر مقدار تلفات آب از طریق نفوذ عمقی در مدیریت غرقاب مشاهده شد (جدول ٤). بلدر و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی با استفاده از مدل ORYZA2000، در یافتند که با تغییر مدیریت آبیاری از غرقاب به غیرغرقاب مقدار تبخیر و نفوذ عمقی کاهش و مقدار تعرق افزایش می‌یابد. نتایج این آزمایش نشان داد که با تغییر روش آبیاری از غرقاب به غیرغرقاب مقدار آبیاری کاسته می‌شود (جدول ٤)، بطور متوسط مقدار ٦، ۲۳ و ۳٦ درصد از میزان آبیاری به‌ترتیب در مدیریت‌های آبیاری با ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ تبخیر از سطح تشتک تبخیر کاهش می‌یابد، که با تحقیق تونگ و همکاران (۲۰۰۵)، شی و همکاران (۲۰۰۲) و رضایی و همکاران (۲۰۰٤) هم‌خوانی دارد.

بهره‌وری: به‌منظور تخمین اجزای بهره‌وری آب (WP_I، WP_{I+R}، WP_{ET} و WP_T) برای مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت از اجزای بیلان آب (جدول ٤) و مقدار عملکرد دانه اندازه‌گیری شده واقعی، استفاده گردید.

جدول ٤- اجزای بیلان آب در شرایط آبیاری و فاصله کاشت در سال‌های آزمایش.

سال	مدیریت آبیاری و فاصله کاشت	اجزای بیلان آب						
		تبخیر (میلی‌لیتر)	تعرق (میلی‌لیتر)	تبخیر وتعرق (میلی‌لیتر)	آبیاری (میلی‌لیتر)	نفوذعمقی (میلی‌لیتر)	بارندگی (میلی‌متر)	ذخیره ΔW (میلی‌لیتر)
۱۳۸۰	$I_1 \times S_1$	۱۸۳	۱۹۷	۳۸۰	۳۷۵	۲۰۳	۱۱۹	۸۹
	$I_1 \times S_2$	۱٤٥	۲۷۸	٤۲۳	۳۷۵	۱٦٤	۱۱۹	۹۳
	$I_1 \times S_3$	۱۵۲	۲٦۰	٤۱۲	۳۷۵	۱۷٤	۱۱۹	۹۲
	$I_2 \times S_1$	۱۷۵	۱۹۱	۳٦٦	۳٤۲	۱۹٤	۱۱۹	۹۹
	$I_2 \times S_2$	۱۳٤	۲٦٤	۳۹۸	۳٤۲	۱۷۰	۱۱۹	۱۰۷
	$I_2 \times S_3$	۱٤۰	۲۵۰	۳۹۰	۳٤۲	۱۷٦	۱۱۹	۱۰۵
	$I_3 \times S_1$	۱٤٦	۱۸۱	۳۲۷	۲۵۱	۱٤۱	۱۱۹	۹۸
	$I_3 \times S_2$	۱۲۰	۲۳۸	۳۵۸	۲۵۱	۱۱٦	۱۱۹	۱۰٤
	$I_3 \times S_3$	۱۲۳	۲۳۰	۳۵۳	۲۵۱	۱۲۲	۱۱۹	۱۰۵
	$I_4 \times S_1$	۱٤۰	۱۷۲	۳۱۲	۱۹۵	۱۱۳	۱۱۹	۱۱۱
	$I_4 \times S_2$	۱۱۵	۲۲٤	۳۳۹	۱۹۵	۹۳	۱۱۹	۱۱۸
	$I_4 \times S_3$	۱۱۸	۲۱٤	۳۳۲	۱۹۵	۹۸	۱۱۹	۱۱٦
۱۳۸۱	$I_1 \times S_1$	۱۵٦	۲٤۲	۳۹۸	٤۳۰	۲۳٦	۷۱	۱۳۳
	$I_1 \times S_2$	۱۱۲	۳۳۵	٤٤۷	٤۳۰	۲۰۳	۷۱	۱٤۹
	$I_1 \times S_3$	۱۱۸	۳۱۹	٤۳۷	٤۳۰	۲۱۱	۷۱	۱٤۷
	$I_2 \times S_1$	۱۷۱	۲۳٦	٤۰۷	٤۱۷	۱٦۸	۷۱	۸۷
	$I_2 \times S_2$	۱۱۹	۳۳۳	٤۵۲	٤۱۷	۱۳۸	۷۱	۱۰۲
	$I_2 \times S_3$	۱۲٦	۳۱۷	٤٤۳	٤۱۷	۱٤٦	۷۱	۱۰۱
	$I_3 \times S_1$	۱۰۲	۳۳۹	٤٤۱	۳٦۷	۱۱۰	۷۱	۱۱۳
	$I_3 \times S_2$	۹۲	۳٦۹	٤٦۱	۳٦۷	۹۰	۷۱	۱۱۳
	$I_3 \times S_3$	۸۸	۲۷٤	٤٦۲	۳٦۷	۹۱	۷۱	۱۱۵
	$I_4 \times S_1$	۱٤۱	۲۵۸	۳۹۹	۳۱۸	۱۳۷	۷۱	۱٤۷
	$I_4 \times S_2$	۹٦	۳۳۱	٤۲۷	۳۱۸	۱۱٤	۷۱	۱۵۲
	$I_4 \times S_3$	۱۰۷	۳۱۸	٤۲۵	۳۱۸	۱۱۵	۷۱	۱۵۱

S_1, S_2 وS_3 به‌ترتیب فاصله کاشت ۲۰×۲۰، ۱۵× ۱۵ و ۲۰×۱۰ سانتی‌متر

I_1= آبیاری غرقاب دائم و I_2، ۱۰۰٪، I_3، ۷۵٪ و I_4 ۵۰٪ تبخیر از سطح تشتک تبخیر

نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که با کاهش مقدار آبیاری، مقدار بر اساس آبیاری (WP_I) و آب ورودی (WP_{I+R}) افزایش می یابد، مقدار بهره‌وری آب WP_I در محدوده ۰/۷ (مدیریت آبیاری غرقاب)

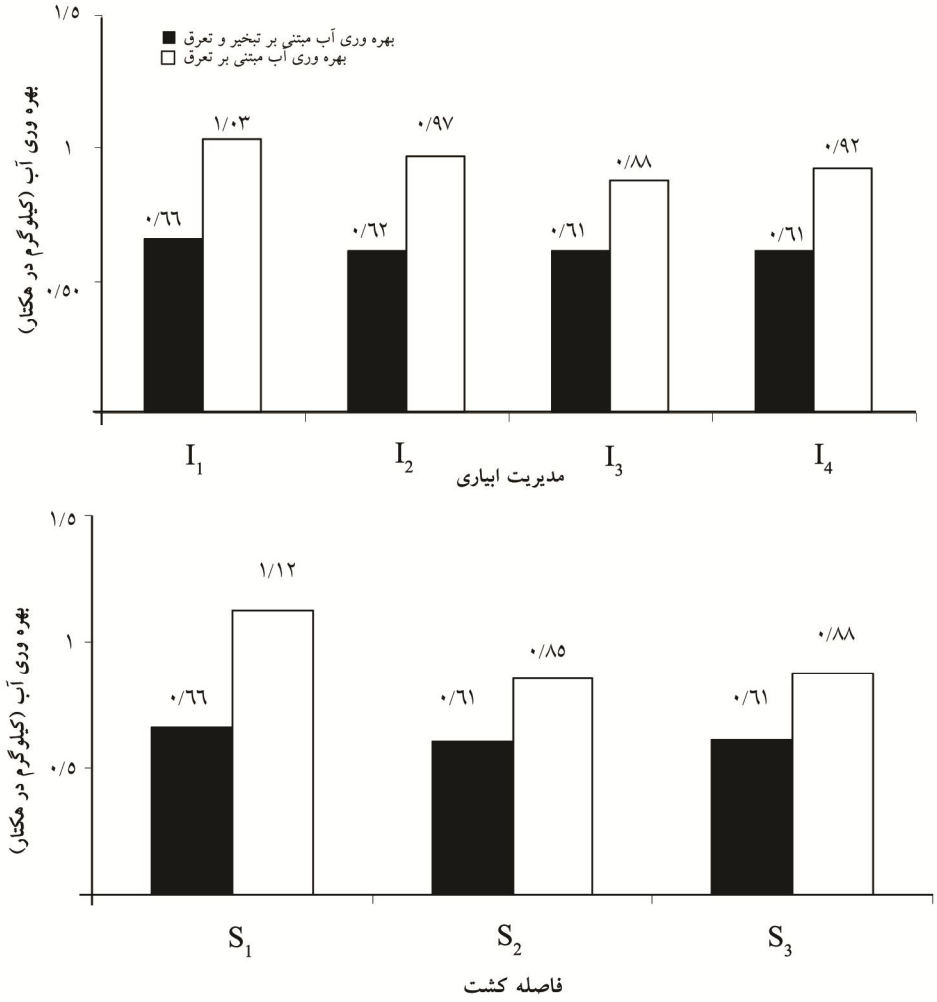
- ۰/۹ (مدیریت آبیاری I_4) کیلوگرم دانه به ازای هر متر مکعب آبیاری متغیر می‌باشد. مصرف آب نشان دهنده استفاده مفید از آن برای تولید دانه می‌باشد یعنی می‌توان با میزان ورودی آب کمتر، مقدار عملکرد دانه بیشتری را از مقدار مشخصی آب بدست آورد. بلدر و همکاران (۲۰۰٤) دریافتند که با تغییر روش آبیاری غرقاب به غیر غرقاب در گیاه برنج مقدار بهره‌وری آب افزایش می‌یابد. بومن و تانگ (۲۰۰۱) مقدار WP_{I+R} برای برنج را ۱/۱-۰/۲ کیلوگرم دانه به ازای هر متر مکعب آب ورودی (مجموع آبیاری و بارندگی) محاسبه کردند. بررسی نتایج مقدار آب ورودی در طول دو سال آزمایش نشان می‌دهد که مقدار آن در محدوده ۱/۲۸-۰/۷٤ کیلوگرم دانه به ازای هر متر مکعب تعرق متغیر می‌باشد. عملکرد دانه فیزیولوژیکی متغیر گیاه برنج در مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت و شرایط محیطی متغیر، منجر به نیازهای تعرق مختلف شده و متعاقب آن مقدار تعرق در گیاه تغییر می‌کند، گزارش شده WP_T برای گیاه برنج، متغیر قابل سنجش می باشد که به شرایط بوم-آب‌شناختی بستگی دارد (سینگ و همکاران، ۲۰۰٦).

جدول ۵- عملکرد دانه و اجزای بهره‌وری آب برنج در شرایط آبیاری و فاصله کاشت در سالهای زراعی ۸۱-۱۳۸۰

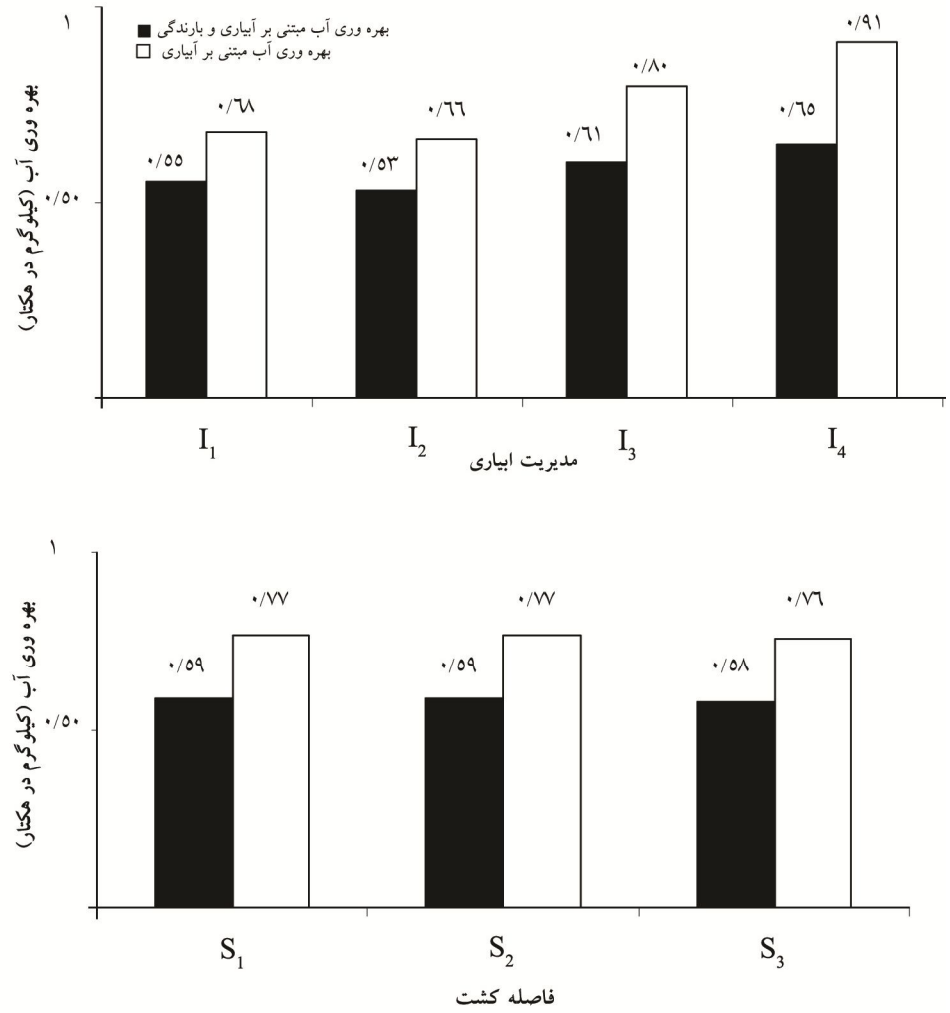
مدیریت آبیاری و فاصله کاشت	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		WP_{I+R}		WP_I		WP_{ET}		WP_T	
	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۰	۱۳۸۱
$I_1 \times S_1$	۲٤۳۲ b	۲۹۵۰c	۰/٤۹	۰/۵۹	۰/٦۹	۰/۵۹	۰/٦٤	۰/۷٤	۱/۲۳	۱/۲۲
$I_1 \times S_2$	۲٦٤۵ a	۲۸۹۳ c	۰/۵٤	۰/۵۸	۰/٦۷	۰/۵۸	۰/٦۳	۰/٦۵	۰/٦۵	۰/۸٦
$I_1 \times S_3$	۲۳۹۷ bc	۳۱۹۳ a	۰/٤۹	۰/٦٤	۰/۷٤	۰/٦٤	۰/۵۸	۰/۷۳	۰/۹۲	۱/۰۰
$I_2 \times S_1$	۲۰٦۳ d	۳۰۳۲bc	۰/٤۵	۰/٦۲	۰/۷۳	۰/٦۲	۰/۵٦	۰/۷۵	۱/۰۸	۱/۲۸
$I_2 \times S_2$	۲۰٤۳de	۳۱۵۸ab	۰/٤٤	۰/٦۵	۰/۷٦	۰/٦۵	۰/۵۱	۰/۷۰	۰/۷۷	۰/۹۵
$I_2 \times S_3$	۲۲۷۲ c	۲٦٤۱d	۰/٤۹	۰/۵٤	۰/٦۳	۰/۵٤	۰/۵۸	۰/٦۰	۰/۹۱	۰/۸۳
$I_3 \times S_1$	۲۰۷۳ d	۳۱٤۹ab	۰/۵٦	۰/۷۲	۰/۸٦	۰/۷۲	۰/٦۳	۰/۷۱	**۱/۱۵**	**۰/۹۳**
$I_3 \times S_2$	۲۱۱۵ d	۲۷۳۱d	۰/۵۷	۰/٦۲	۰/۷٤	۰/٦۲	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۸۹	۰/۷٤
$I_3 \times S_3$	۱۷۸٤ f	۲۹٦۵c	۰/٤۸	۰/٦۸	۰/۸۱	۰/٦۸	۰/۵۱	۰/٦٤	۰/۷۸	۰/۷۹
$I_4 \times S_1$	۱۸۰٤ f	۲۷۱۵d	۰/۵۷	۰/۷۰	۰/۸۵	۰/۷۰	۰/۵۸	۰/٦۸	۱/۰۵	۱/۰۵
$I_4 \times S_2$	۱۸۹۸ ef	۲۷۰۲d	۰/٦۰	۰/٦۹	۰/۸۵	۰/٦۹	۰/۵٦	۰/٦۳	۰/۸۵	۰/۸۲
$I_4 \times S_3$	۱۹۸۳de	۲٦۸۱d	۰/٦۰	۰/٦۹	۰/۸٤	۰/٦۹	۰/٦۰	۰/٦۳	۰/۹۳	۰/۸۷
LSD	۱٤۳	۱٤۱								

WP_I: بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری، WP_{I+R}: بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری و بارندگی، WP_{ET}: بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق، WP_T: بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق، S_1, S_2 و S_3 به‌ترتیب فاصله کاشت ۲۰×۲۰، ۱۵× ۱۵ و ۲۰×۱۰ سانتی‌متر، I_1= آبیاری غرقاب دائم و I_2، ۱۰۰٪ I_3، ۷۵٪ و I_4 ۵۰٪ تبخیر از سطح تشتک تبخیر.

کمبود اجتناب ناپذیر تلفات آب به علت تبخیر خاک، منجر به کاهش بهره‌وری آب از بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق به بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق می‌شود، نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق در محدوده ٠/٦٩-٠/٥٧ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب تبخیر و تعرق متغیر می‌باشد، به‌طور متوسط مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق دراین تحقیق ٠/٦٣ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب تبخیر و تعرق محاسبه گردید.



شکل ٣- مقایسه بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق در مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت



شکل ٤- مقایسه بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری و بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری و بارندگی در مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت.

بومن و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق را ۱/٤ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب تبخیر و تعرق محاسبه کردند. زو و همکاران (۲۰۰۸) حداکثر مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق را در مدیریت‌های آبیاری و کود نیتروژن در چین ۱/٤٥ کیلوگرم

دانه به ازای هر مترمکعب تبخیر و تعرق بدست آوردند. در شکل‌های ۳ و ٤ متوسط مقدار اجزای بهره‌وری آب، بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری ، بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری و بارندگی، بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق در طول دو سال آزمایش، برای مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت نشان داده شده است. بررسی مقادیر بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری و بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری و بارندگی نشان می‌دهد که تغییر روش آبیاری غرقاب منجر به افزایش مقادیر آنها می‌شود در حالی که فاصله کاشت هیچ‌گونه تأثیری بر آنها ندارد. بررسی اجزای بهره‌وری آب، بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق در طول دو سال آزمایش، نشان‌دهنده از تاثیر مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت بر مقادیر آنها دارد. همچنین مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق، به‌طور متوسط ۳۵ درصد کمتر از مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تعرق محاسبه شد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل ORYZA2000 از توانایی و دقت قابل قبولی(خطای کمتر از ۱۰ درصد) برای شبیه‌سازی عملکرد دانه گیاه برنج در شرایط مدیریت‌های آبیاری و فاصله کاشت برنج در شرایط آب و هوایی رشت برخوردار می باشد. از این مدل می‌توان به‌عنوان یک ابزار مدیریتی در زمینه انتخاب مدیریت آبیاری و فاصله کاشت مناسب استفاده نمود. نتایج نشان داد که به‌منظور بهبود بخشیدن به بهره‌وری آب برنج، کاهش تبخیر از میزان تبخیر و تعرق کل برنج حائز اهمیت است. تمایل تبخیر زیاد به علت غرقاب مداوم منجر به افزایش تبخیر در طول فصل زراعی می‌شود که با تغییر روش آبیاری، مقدار تبخیر کاهش می‌یابد و بر بهره‌وری آب افزوده می‌شود. با اعمال مدیریت‌های آبیاری غیر غرقاب و مقدار فاصله کاشت مناسب می‌توان بهره وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق (WP_{ET}) را با کاهش تلفات آب از طریق تبخیر، افزایش داد. نتایج این پژوهش نشان داد که در بین مدیریت‌های اعمال شده، با توجه به اجزای بهره‌وری آب، مدیریت آبیاری ۷۵٪ تبخیر از سطح تشتک تبخیر از نظر آبیاری و فاصله کاشت ۲۵×۲۵ سانتی‌متر از نظر فاصله کاشت با دارا بودن مقدار متوسط عملکرد دانه دو ساله ۲٦۱۱ کیلوگرم در هکتار و متوسط مقدار اجزای بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری، آبیاری و بارندگی، تبخیر و تعرق و تعرق (WP_I، WP_{I+R}، WP_{ET} و WP_T) به‌ترتیب ۰/۸٤، ۰/٦٤، ۰/٦۷ و ۱/۰٤ کیلو گرم دانه به ازای هر متر مکعب، با کاهش ۱۰ درصد عملکرد دانه و

صرفه جویی ۲۵ درصد میزان آبیاری نسبت به شرایط غرقاب دائم، بهترین گزینه برای اعمال مدیریت آبیاری و فاصله کاشت در شرایط استان گیلان می‌باشد.

منابع

Amiri, E. 2006. Investigation of water balance and rice yield under irrigation management whit model, (modeling and field experiments). Ph.D Thesis. Islamic Azad University, Tehran Science & Research Branch, Iran. 181 pp. (In Persian).

Amiri, E. 2008. Evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under water management. Asian J. Plant Sci. 7:3. 291-297.

Amiri, E. and Rezaei, R. 2009. Testing the modelling capability of ORYZA2000 under water–nitrogen limit conditions in northern Iran. World Appl. Sci J. 6:8. 1113-1122.

Anongmous. 1996. Standard Evaluation System for Rice. IRRI. 4th Edition. Manila Philippines.

Bannayan, M., Kobayashi, K., Kim, H., Lieffering, M., Okada, M. and Miura, M. 2005. Modeling the interactive effects of atmospheric CO_2 and N on rice growth and yield. Field Crop Res. 93: 237–251.

Arora, V.K. 2006. Application of a rice growth and water balance model in an irrigated semi-arid subtropical environment. Agri Water Manage. 83: 51–57.

Belder, P., Bouman, B.A.M., Cabangon, R., Lu, G., Quilang, E.J.P., Li, Y., Spiertz, J.H.J. and Tuong, T.P. 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. Agri. Water Manage. 65:3. 193–210.

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

Boling, A. A., Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., Murty, M.V.R. and Jatmiko, S.Y. 2007. Modelling the effect of groundwater depth on yield increasing interventions in rainfed lowland rice in Central Java. Indonesia. Agri Syst. 92: 115–139.

Bouman, B.A.M., Wopereis, M.C.S., Kropff, M.J., Berge, H.F.M. and Tuong, T.P. 1994. Understanding the water use efficiency of flooded rice fields. II. Percolation and seepage losses. Agri Water Manage. 26: 291-304.

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. 235 pp.

Bouman, B.A.M., Hengsdijk, H., hardy, B., Bindraban, PS., Tuong, TP. and Ladha, J.K. 2002. Water-wise rice production. Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production, 8-11 April 2002, Los Banos, Philippines. IRRI. 356 pp.

Bouman, B.A.M. and Tuong, T.P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agri Water Manage. 49:1. 11-30.

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

Bouman, B.A.M., Feng L., Tuong, T.P., Lu, G., Wang, H. and Feng, Y. 2007. Exploring options to grow rice under water-short conditions in northern China using a modelling approach. II: Quantifying yield, water balance components, and water productivity. Agri Water Manage. 88: 23-33.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, Italy. 193 pp.

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. Agric Water Manage. 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. Eur. J. Agron. 26: 166–177.

Molden, D., Murry-Rust, H., Sakthivandival, R. and Makin, I. 2001. A water productivity framework for understanding and action. Workshop on Water Productivity. Wadduwe, Sri Lanka, 12 -13 November.

Rezaei, M. and Nahvi, M. 2004. Effects interval irrigation on rice. Proceedings of the 11th seminar of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 10-12 Dec.Tehran. Iran. 689 pp. (In Persian).

Shi, Q., Zeng, X., Li, M., Tan, X. and Xu, F. 2002. Effects of different water management practices on rice growth. Proceedings of a Thematic Workshop on Water-Wise Rice Production, 8-11 April, IRRI, Los Banos, Philippines.

Singh, R., Van Dam, J.C. and Feddes, R.A. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. Agri Water Manage. 82: 253-278.

Tuong, T.P., Bouman, B.A.M. and Mortimer, M. 2005. More rice, less water–integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. Plant Prod. Sci. 8:3. 229-239.

Van Genuchten, M.T., Leij, F.J. and Yates, S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions for unsaturated soils. U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California. 85 pp.

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 Sci. 26: 459-474.

Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agri. Water Manage. 69: 115-133.

EJCP., Vol. 4 (3): 1-19
ejcp.gau@gmail.com

Evaluation of yield and water productivity in rice under irrigation management and plant density with use ORYZA2000 model

[*]E. Amiri[1], T. Razavipour[2] and M. Bannayan[3]
[1]Assistant Prof. Islamic Azad University, Lahijan branch, [2]Scientific Member of Rice Research Institute of Iran (RRII), Rasht, Iran, [3]Associate Prof. Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture, Mashhad, Iran

Abstract

In order to investigation of irrigation management and plant density effects on water productivity of rice, a field experiment was conducted in the Rice Research Institute of Iran (Rasht) during 2001 and 2002. The study was carried out in a split plot design with four different irrigation regimes as main plots and three plant densities as subplots. In this experiment, ORYZA2000 model was used to quantify water productivity, and water balance components of alternate for irrigation and plant density interactions in rice. Evaluation simulated and measured yield by adjusted coefficient of correlation; T test of means; and by absolute and normalized root mean square errors (RMSE). Results showed that the yield was simulated with an RMSE of 150–182 kg ha^{-1} and a normalized RMSE of 6%. In order to model the various water productivity components, ORYZA2000 model was used. Using the actual yield and simulated water balance (ORYZA2000), the calculated average WP_{ET} was lower than the average WP_T: 35%. The results showed that the irrigation by 75% evaporation from pan evaporation and 20cm×20cm plant density is the optimum irrigation method and crop density management.

Keywords: Irrigation; Rice; Water balance; Water productivity; Evapotranspiration; ORYZA2000 model.

[*] Corresponding author: E-mail address: eamiri57@yahoo.com