نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دوازدهم. شماره چهل و هشت . تابستان۱۴۰۱

ارزیابی و شبیه‌سازی تاثیر مدیریت سطح ایستابی بر عملکرد برنج و اجزای آن با استفاده از مدل DSSAT

محسن رمضانی واسوکلائی[۱]، عبداله درزی نفت‌چالی[۲]، سید فرهاد صابرعلی[۳]، شهریار کاظمی[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۰۲/۰۹
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۵/۲۵
مقاله پژوهشی

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی ابزارهای مناسبی برای پیش‌بینی اثرات سناریوهای مختلف مدیریتی و انتخاب مناسب‌ترین راهکارها در سیستم های تولید کشاورزی می‌باشند. در این تحقیق، پس از ارزیابی کارایی مدل DSSAT، اثر مدیریت سطح ایستابی بر رشد و عملکرد برنج بررسی شد. آزمایش‌های مزرعه‌ای مورد نیاز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار آبیاری و سه تکرار در طول یک فصل کشت برنج در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری متداول یا غرقابی (شاهد) با ارتفاع ۵ سانتی‌متری آب در بالای سطح خاک (I1)، کنترل سطح ایستابی در سطح خاک (I2)، کنترل سطح ایستابی در عمق ۵ سانتی‌متری (I3) و کنترل سطح ایستابی در عمق ۱۵ سانتی‌متری (I4) بودند. در طول فصل کشت برنج و در زمان برداشت، شاخص سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. از داده‌های تیمار I1 برای واسنجی و از داده‌های سایر تیمارها برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، مدل از کارایی مناسبی برای پیش‌بینی تاریخ‌های فنولوژیک، شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه برخوردار بود. در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به‌ترتیب در محدوده ۷/۶- ۰/۷ و ۷/۶-۱ درصد و شاخص توافق ویلموت به‌ترتیب در محدوده ۰/۹۹-۰/۷۸ و ۰/۹۹-۰/۸۲ قرار داشت. تیمارهای آبیاری ازنظر ارتفاع بوته، تعداد پنجه در هر کپه، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک دارای تفاوت معنی‌داری بودند. از میان تیمارهای مختلف، بیشترین عملکرد دانه (۵۵۸۴ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد بود. میزان عملکرد دانه در تیمارهای I2، I3 و I4 به‌ترتیب به میزان ۴/۷، ۴/۶ و ۳۹/۲ درصد کمتر از مقدار آن در تیمار شاهد بود. بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای I1، I2، I3 و I4 به‌ترتیب ۰/۴۸، ۰/۶۵، ۰/۸۳ و ۰/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بر اساس نتایج، جهت حفظ تولید برنج ضمن صرفه‌جویی آب، استفاده از روش کنترل سطح ایستابی در عمق ۵ سانتی‌متری سطح خاک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری غرقابی، بهره‌وری مصرف آب، شاخص سطح برگ، مدیریت سطح ایستابی.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
[۲] گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، adarzi@sanru.ac.ir ;abdullahdarzi@yahoo.com (مولف مکاتبه-کننده)
[۳] استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، خراسان رضوی، ایران.
[۴] استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران.

مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت، تأمین امنیت غذایی یکی از چالش‌های اساسی پیش روی جوامع بشری در می‌باشد (FAO, 2012). از میان محصولات مختلف کشاورزی، برنج (Oryza sativa L.) به‌عنوان غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان و اغلب مردم کشورهای درحال‌توسعه، همواره از اهمیت قابل توجهی در برنامه‌های امنیت غذایی مورد توجه محققین بوده است (Gill et al., 2014). این محصول مهم، با تولید ۱/۹۹ میلیون تن در سطح ۵۸۰ هزار هکتار از اراضی شالیزاری، ازنظر اهمیت دومین غله خوراکی بعد از گندم در ایران هست. پیش‌بینی می‌شود نیاز کشور به برنج در آینده نزدیک معادل ۴ میلیون تن باشد (Wailes and FAO, 2018; Chavez, 2012)؛ که نیاز به افزایش تولید نزدیک به دو برابری نسبت به وضعیت فعلی در کشور را نشان می‌دهد.

با توجه به وضعیت بارندگی و میزان منابع آب کشور و استفاده از آبیاری غرقابی در غالب شالیزارهای کشور، مهم‌ترین عامل محدودکننده در افزایش تولید برنج در شرایط موجود، کمبود آب است (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۳). به‌واسطه تلفات قابل توجه آب در شالیزارهای برنج، کارایی مصرف این منبع حیاتی عموما کم است (Lamm, 2003). مصرف زیاد آب درکشت مرسوم این گیاه، علاوه بر تاثیر منفی بر حاصلخیزی خاک، می‌تولند موجب بروز مشکلاتی در طول دوره رشد برنج ازجمله ایجاد شرایط احیا در اثر عدم تهویه، تجمع مواد سمی در محیط ریشه، حساسیت گیاه به آفات و بیماری‌ها و آلودگی آب و خاک و نهایتاً کاهش عملکرد می‌شود (Lin et al., 2003). در چنین شرایطی و با توجه به لزوم افزایش تولید، افزایش بهره‌وری مصرف آب در سیستم‌های تولید برنج اهمیت به سزایی دارد (نوابیان و همکاران، ۱۳۹۹).

در طول سالیان گذشته، روش‌های مختلفی برای بهبود بهره‌وری مصرف آب در اراضی شالیزاری مورد استفاده قرار گرفت که از آن جمله می‌توان به آبیاری متناوب یا خشک و مرطوب شدن متناوب (AWD) اشاره کرد که نیاز آبی گیاه را در شرایط بحرانی تأمین می‌کند (Shanmugasundram and Helen, 2015). صداقت و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که نیازی به ارتفاع زیاد آب در شالیزار نبوده و می‌توان با توجه به شرایط منطقه در صورت داشتن آب مطمئن، یکی از روش‌های آبیاری AWD و SDC (کشت نیمه‌خشک) را اعمال و در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. کاهش قابل توجه مصرف آب بدون کاهش معنی‌دار عملکرد برنج تحت روش‌های مختلف کم آبیاری در تحقیقات مختلف به اثبات رسید (Carrijo et al., 2017; Katharine et al., 2015; Roderick et al., 2011). تحت آبیاری متناوب، اکسیژن کافی در اختیار سیستم ریشه‌ای گیاه قرار می‌گیرد که این امر موجب تسریع معدنی شدن مواد آلی، تثبیت نیتروژن خاک، افزایش جذب نیتروژن و در نهایت بهبود رشد و بهره‌وری مصرف آب می‌شود (Tan et al., 2013; Dong et al., 2012; Juan et al., 2012). مدیریت یا کنترل عمق سطح ایستابی در شالیزارهای برنج، می‌تواند همانند روش‌های مذکور اثرات مثبتی بر ارتقای بهره‌وری مصرف آب و مواد غذایی داشته باشد. در این روش، می‌توان با کنترل تراز سطح ایستابی در عمق مطلوب، شرایط مناسبی را برای رشد گیاه فراهم نمود.

تعیین عمق مناسب کنترل سطح ایستابی برای ارقام مختلف برنج، مستلزم تحلیل واکنش رشد و عملکرد آنها براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌باشد. این در حالی است که زمان‌بر بودن و بالا بودن هزینه‌های میدانی از یک‌سو و عدم امکان بررسی سناریوهای متعدد از سوی دیگر، تصمیم‌گیری را با چالش مواجه می‌کند. برای رفع محدودیت‌های مرتبط، می‌توان از مدل‌های اگرو هیدرولوژی برای شناخت فرایندهای بیو فیزیکی حاکم بر سیستم خاک – گیاه – اتمسفر تحت سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده نمود (Bannayan and Hoogenboom, 2009). یکی از مدل‌های توانمند برای تحلیل‌های مرتبط، مدل DSSAT هست که تاکنون با موفقیت در تحقیقات زیادی همچون مدیریت‌های کودی و آبی، مدیریت تاریخ کشت، تناوب زراعی، تأثیر آب و هوا و تغییر اقلیم استفاده شده است (Hoogenboom et al., 2015). ابراهیمی‌راد و همکاران (۱۳۹۸) عنوان کردند مدل DSSAT می‌تواند برای تعیین این‌که چگونه شرایط محیطی، تصمیمات مدیریتی و ژنتیک گیاه با یکدیگر برهمکنش داشته و چگونه رشد و نمو گیاه برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهند مورداستفاده قرار گیرد. در تحقیقات دیگری (Mahmood et al.,2003; Jeong et al., 2014) ، دقت این مدل در شبیه‌سازی عملکرد برنج قابل قبول

ارزیابی شد. مرور منابع موجود حاکی از آن است که تاکنون تحقیقی در خصوص ارزیابی کارایی مدل DSSAT برای شبیه سازی رشد و عملکرد گیاه برنج تحت شرایط مدیریت‌های مختلف آبیاری با کنترل سطح ایستابی انجام نشده است. بنابراین، در این تحقیق برای اولین بار کارایی این مدل تحت مدیریت‌های مختلف عمق سطح ایستابی مورد بررسی قرار می‌گیرد. علاوه بر این، واکنش شاخص‌های رشد و عملکرد برنج به کنترل عمق سطح ایستابی در سطوح مختلف ارزیابی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

آزمایش مزرعه‌ای موردنیاز برای این تحقیق، در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۸ (از تاریخ ۳۱ اردیبهشت تا ۲۱ مردادماه) انجام شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵- متر است. این منطقه ازنظر اقلیمی جز مناطق معتدل و مرطوب ایران محسوب می‌شود. براساس داده‌های هواشناسی ایستگاه دشت ناز ساری، میزان متوسط رطوبت نسبی روزانه هوا در طول فصل کشت بین ۵۵ تا ۹۴ (با میانگین ۷۱/۵) درصد در نوسان بود. همچنین کمینه و بیشینه متوسط دمای روزانه هوا به ترتیب در محدوده ۲۱/۴ و ۲۹/۹ (با میانگین ۲۶/۹) درجه سانتی‌گراد در نوسان بود. مجموع بارندگی در طول فصل کشت ۶۸ میلی‌متر و مجموع تبخیر از تشتک ۴۵۷/۹ (با میانگین روزانه ۵/۵) میلی‌متر بود.

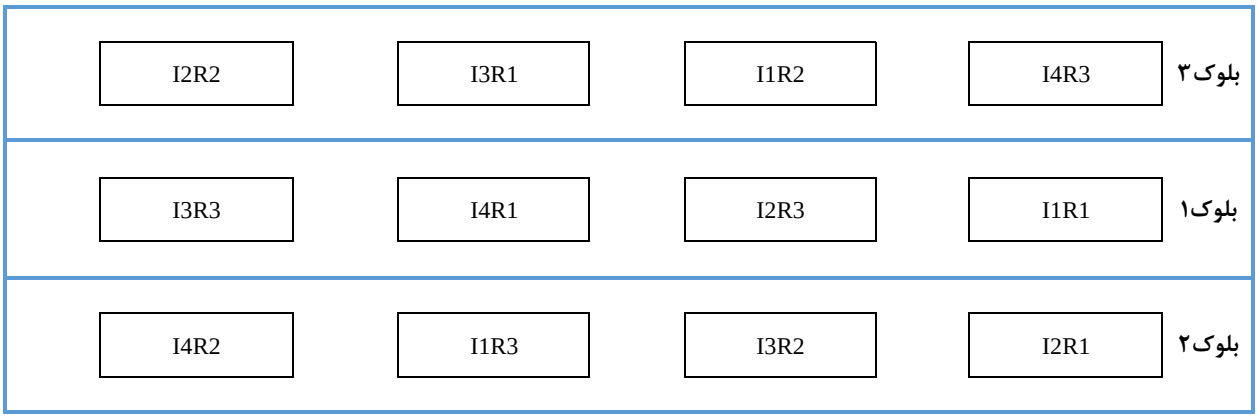
خلاصه‌ای از اطلاعات هواشناسی مربوط به دوره مطالعه در جدول (۱) ارائه شد.

جدول(۱):خلاصه‌ای از اطلاعات هواشناسی منطقه مطالعه در طول فصل کشت برنج

ماه	دما (سانتی‌گراد)		رطوبت نسبی (درصد)		بارندگی (میلی‌متر)	تبخیر (میلی‌متر)
	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه		
اردیبهشت	۱۳/۹	۲۵/۴	۵۵	۹۵	۴۴/۲	۱۲۱/۲
خرداد	۲۰/۱	۳۱/۸	۴۶	۸۶	۰/۶	۲۰۷/۴
تیر	۲۳/۱	۳۱/۹	۵۶	۹۳	۴۹/۱	۱۵۹/۹
مرداد	۲۲/۲	۳۲/۰	۵۳	۹۳	۱۸/۲	۱۴۸/۵

تیمارهای آزمایش

این آزمایش در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در کرت‌هایی به طول ۳ و عرض ۲ متر انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری متداول یا غرقابی با ارتفاع ۵ سانتی‌متری آب در بالای سطح خاک (I1)، کنترل سطح ایستابی در سطح خاک (I2)، کنترل سطح ایستابی در عمق ۵ سانتی‌متری (I3) و کنترل سطح ایستابی در عمق ۱۵ سانتی‌متری (I4) بودند. فاصله تیمارها از هم ۲ متر و فاصله هر تکرار ۱ متر رعایت گردید. شماتیک جانمایی تیمارها در مزرعه در شکل ۱ ارایه شد.



I: تیمار، R: تکرار

شکل(۱): شماتیک جانمایی تیمارها و تکرارها در مزرعه مورد مطالعه

مدیریت مزرعه

برای آماده‌سازی زمین، عملیات خاک‌ورزی و شخم اولیه در اوّل دی‌ماه و شخم دوم آن، پانزده روز قبل از نشاکاری صورت گرفت و متعاقباً عملیات تسطیح کرت‌ها و مرزبندی حدود سه روز قبل از نشاکاری به انجام رسید. با پیاده‌سازی کرت‌های ۳ × ۲ متر مربعی، به‌منظور کنترل دقیق ورود و خروج آب به کرت‌های مجاور، روی مرزها تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با پلاستیک پوشیده و برای ورود و خروج آب نیز کانال‌های آبیاری تعبیه گردید. عملیات ماله‌کشی با توجه به‌اندازه کوچک کرت‌ها، به‌صورت دستی انجام شد. در تاریخ ۳۱ اردیبهشت‌ماه عملیات نشاکاری رقم طارم هاشمی به‌صورت دستی انجام شد. جهت استقرار هر چه‌بهتر نشاها بعد از انتقال به زمین اصلی، کرت‌ها تا استقرار کامل گیاهچه‌ها به‌صورت غرقاب و ارتفاع آب در هر نوبت آبیاری آن‌ها، ۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک قرار گرفت. مقدار کود مورد نیاز بر اساس توصیه بولتن فائو و با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد (کسرائیان، ۱۳۹۲). سپس تیمارهای آبیاری (I1،I2، I3، I4) بر اساس برنامه تنظیمی (آبیاری تا ارتفاع ۵ سانتی‌متری بالای سطح خاک و کنترل سطح ایستابی با لوله‌های شاخص جهت رسیدن سطح ایستابی به‌اندازه موردنظر و آبیاری مجدد) اعمال گردید. برای پایش سطح ایستابی، از لوله‌های شاخص با قطر ۲۰ و ارتفاع ۵۵ سانتی‌متر استفاده شد. وجین علف‌های هرز در دو نوبت ۱۷ و ۳۴ روز بعد از نشاکاری صورت گرفت و کنترل آفت کرم ساقه‌خوار با استفاده از سم دیازینون ۱۰ درصد به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار بر اساس نرم‌گیری و بیولوژی آفت انجام پذیرفت. برای مبارزه با بیماری بلاست از قارچ‌کش ناتیوو به میزان ۱۶۰ گرم در هکتار در زمان ۱۰ درصد خوشه‌دهی به همراه کود مایع اومکس استفاده شد. خلاصه‌ای از فعالیت‌های مزرعه‌ای و مدیریتی انجام شده در جدول ۲ ارایه شد.

$$\text{مقدار کود موردنیاز برای هر کرت} = \frac{(\text{وسعت کرت}) \times \left(\frac{kg}{ha}\right) \text{مقدار عنصر تغذیه ای}}{100 \times \text{درصد عنصر تغذیه ای در کود}} \quad (۱)$$

جدول (۲): خلاصه‌ای از فعالیت‌های زراعی و مدیریتی در فصل کشت برنج

تاریخ	عملیات زراعی یا مدیریتی	توضیحات
۱۳۹۷/۱۰/۱۰	شخم و شیار اولیه	
۱۳۹۸/۰۲/۰۵	خزانه گیری	بذرپاشی در خزانه و شروع مدیریت خزانه
۱۳۹۸/۰۲/۱۵	پادلینگ و آماده سازی نهایی	
۱۳۹۸/۰۲/۲۳	علف‌کش بوتاکلر و لونداکس	۳/۵ لیتر در هکتار – ۱۵۰ گرم در هکتار
۱۳۹۸/۰۲/۳۰	کرت بندی بر اساس نقشه جانمایی تیمارها	
۱۳۹۸/۰۲/۳۱	نشاکاری	
۱۳۹۸/۰۳/۰۳	کوددهی پایه	۱۳ کیلوگرم در هکتار اوره-۶۹ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل-۳۰ کیلوگرم درهکتار سولفات پتاسیم
۱۳۹۸/۰۳/۱۳	پوشش پلاستیکی مرزها	
۱۳۹۸/۰۳/۱۵	نصب تجهیزات اندازه گیری آب	اعمال تیمارهای آبیاری
۱۳۹۸/۰۳/۱۷	وجین اول و کودپاشی سرک اول	۳۲ کیلوگرم در هکتار کود اوره
۱۳۹۸/۰۴/۰۳	گرانول پاشی با دیازینون ۱۰ درصد	۱۵ کیلوگرم در هکتار
۱۳۹۸/۰۴/۰۳	وجین دوم و کود پاشی سرک دوم	۴۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره
۱۳۹۸/۰۴/۱۱	نمونه برداری	مرحله اول
۱۳۹۸/۰۴/۱۵	کود پاشی سرک سوم	۴۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۳۰ کیلو گرم در هکتار کود سولفات پتاسیم
۱۳۹۸/۰۴/۱۵	سم پاشی قارچ کش ناتیوو و کود مایع	۱۶۰ گرم در هکتار و کود مایع اومکس
۱۳۹۸/۰۴/۲۵	نمونه برداری	مرحله دوم
۱۳۹۸/۰۵/۱۰	نمونه برداری	مرحله سوم
۱۳۹۸/۰۵/۲۱	برداشت	

اندازه‌گیری‌ها و آنالیز آماری

اندازه‌گیری آب مصرفی

میزان آب مصرفی از زمان نشاکاری تا رسیدگی فیزیولوژیکی در کلیه تیمارها با استفاده از کنتور سه زمانه اندازه‌گیری و ثبت شد. منبع آب آبیاری، چاه کشاورزی نیمه عمیق بود. بهره‌وری مصرف آب به‌صورت نسبت عملکرد شلتوک تولیدی (کیلوگرم در هکتار) به مجموع آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) سنجیده شد (صداقت و همکاران، ۱۳۹۳).

تعیین صفات رشد و عملکرد

برای تعیین شاخص سطح برگ (LAI) و وزن خشک گیاه، از سطحی به‌اندازه ۰/۲۵ مترمربع شامل چهار کپه پس از حذف دو خط کناری به‌عنوان حاشیه، در طول دوره رشد چهار نمونه‌برداری انجام شد. در آزمایشگاه، پس از جداسازی برگ‌ها از ساقه، تعداد ۲۰ برگ به‌صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از کاغذ شطرنجی نسبت به تعیین مساحت برگ‌های منتخب اقدام و سپس ۲۰ برگ نمونه به‌صورت جداگانه از مابقی برگ‌های هر کرت به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شد و پس از ۴۸ ساعت نسبت به توزین برگ‌های نمونه و کل برگ‌های هر کرت اقدام شد. با توجه به رابطه خطی بین سطح و وزن برگ نمونه، مساحت کل برگ در هر کرت تعیین شد و در انتها با استفاده از رابطه ۲، شاخص سطح برگ محاسبه گردید. در زمان برداشت، برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد برنج، پس از حذف حاشیه، برداشت محصول (به‌صورت کف بر) از سطحی معادل یک مترمربع در هر کرت انجام شد. میانگین ۱۰ کپه از هر کرت برای تعیین اجزای عملکرد در نظر گرفته شد. به‌این‌ترتیب، صفات تعداد پنجه در هر کپه، ارتفاع بوته (از طوقه گیاه تا نوک خوشه)، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (برحسب کیلوگرم در هکتار) بر اساس رطوبت ۱۴ درصد تعیین شد.

$$\text{شاخص سطح برگ} = \frac{\text{مجموع سطح برگ ها در واحد سطح زمین}}{\text{واحد سطح زمین}} \quad (۲)$$

داده‌های مدل DSSAT

در این تحقیق از مدل DSSAT 4.7.5 استفاده شد. داده‌های موردنیاز این مدل شامل داده‌های هواشناسی، داده‌های خاک و داده‌های مدیریت گیاه هست. داده‌های هواشناسی شامل ساعات آفتابی، کمینه و بیشینه دمای هوا و همچنین بارندگی است که از ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری تهیه شد. داده‌های خاک موردنیاز شامل درصد رس، سیلت و شن و میزان کربن آلی و درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک می‌باشد. درصد اجزای خاک برای تخمین ظرفیت نگهداری آب خاک توسط مدل استفاده شد. همچنین، داده‌های مدیریت کشت شامل نام و نوع گونه کشت‌شده، زمان کاشت، عمق و روش کاشت، فاصله و جهت کاشت، تراکم کشت، فاکتورهای مدیریت آب آبیاری شامل روش و میزان آبیاری، میزان و روش کاربرد کود و نوع کود مصرفی به مدل معرفی شد. داده‌های هواشناسی نیز از طریق نرم‌افزار رابط آب و هوایی (Weatherman) که داده‌های هواشناسی را به فرمت قابل‌استفاده مدل تبدیل می‌کند، تهیه گردید.

خصوصیات رقم با استفاده از ترکیبی از ضرایب ژنتیکی که در فایل ژنوتیپ برای هر گیاهی وجود دارد ساخته می‌شود. ضرایب ژنتیکی رقم هاشمی با استفاده از داده‌های واقعی فنولوژیکی و رشدی گیاه برآورد شد. روش تخمین به‌صورت گام‌به‌گام بوده به این صورت که با صفات فنولوژیکی شامل تاریخ گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک شروع و در ادامه با استفاده از صفات رشدی شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک و درنهایت عملکرد دانه مقدار نهایی آنها تعیین شد (Boote, 1997). مقادیر ضرایب ژنتیکی به‌دست آمده برای برنج رقم طارم هاشمی در فرایند واسنجی در جدول ۳ ارایه شد. با استفاده از داده‌های تیمار I1 به‌عنوان تیمار بدون تنش، واسنجی مدل به‌گونه‌ای انجام شد که بیشترین تطابق بین داده‌های مشاهده‌ای و نتایج شبیه‌سازی‌ها ایجاد شود. سپس از داده‌های سایر تیمارها برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد.

۲-۶. شاخص‌های ارزیابی و آنالیز داده‌ها

در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی نتایج مدل DSSAT در فرایندهای واسنجی و صحت‌سنجی، از سنجه‌های آماری جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و شاخص توافق ویلموت (d) به شرح ذیل استفاده شد:

$$NRMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right)} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۳)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|^2}\right] \quad (۴)$$

که در آن‌ها؛ Oi و Pi به ترتیب مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده در زمان i، n تعداد مشاهده‌ها، $\overline{O}$ متوسط مقادیر مشاهده‌ای و $\overline{P}$ متوسط مقادیر پیش‌بینی‌شده در طول دوره زمانی است.

NRMSE برحسب درصد بیان می‌شود و اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده به متوسط داده‌ها را نشان می‌دهد. اگر این مقدار کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار خوب، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، شبیه‌سازی خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی نسبتاً خوب و اگر بالای ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود. d شاخص آماری توافق ویلموت نامیده می‌شود که توسط ویلموت و همکاران در سال ۱۹۸۵ معرفی شد. این پارامتر دارای مقادیر بین صفر و یک است که هرچه به یک نزدیک‌تر می‌شود، بیانگر برازش مطلوب‌تر است (Soler et al., 2007). آنالیز آماری تمامی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد.

جدول (۳):ضرایب ژنتیکی رقم طارم هاشمی

ضریب	توضیحات	مقدار
P1	مدت‌زمان (بصورت درجه روز رشد) از ظهور گیاهچه است که طی این مدت گیاه برنج به تغییرات فتوپریود پاسخ نمی‌دهد.	۱۶۰/۰
P2R	محدوده نموی که در آن، افزایش هر ساعت فتوپریود بالاتر از حد P20 باعث تاخیر در آغازش پانیکول می‌شود	۵/۰
P5	طول دوره پر شدن دانه بر اساس درجه- روز از شروع دوره تا رسیدگی فیزیولوژیکی	۴۵۵/۲
P2O	طولانی‌ترین طول روزی که باعث رشد حداکثر سرعت نمو می‌شود	۱۳/۰
G1	ضریب تعداد سنبلچه بالقوه	۶۵/۰
G2	وزن تک دانه در شرایط مطلوب رشدی	۰/۰۳
G3	ضریب پنجه زنی نسبت به رقم IR64 در شرایط مطلوب رشدی	۱/۰
PHINT	فاصله زمانی (درجه -روز) برای ظهور نوک هر برگ در شرایط بدون تنش	۸۳/۰
THOT	درجه حرارت بیشینه‌ای که بالاتر از آن، باروری سنبله ها بوسیله حرارت تحت تاثیر قرار می‌گیرد	۲۸/۰
TCLDP	درجه حرارتی که پایین‌تر از آن آغازش پایکول به تاخیر می‌افتد	۱۵/۰
TCLDF	درجه حرارت که کمتر از آن، باروری سنبله ها بوسیله حرارت‌های پایین تحت تاثیر قرار می‌گیرد	۱۵/۰

نتایج و بحث

ارزیابی مدل DSSAT

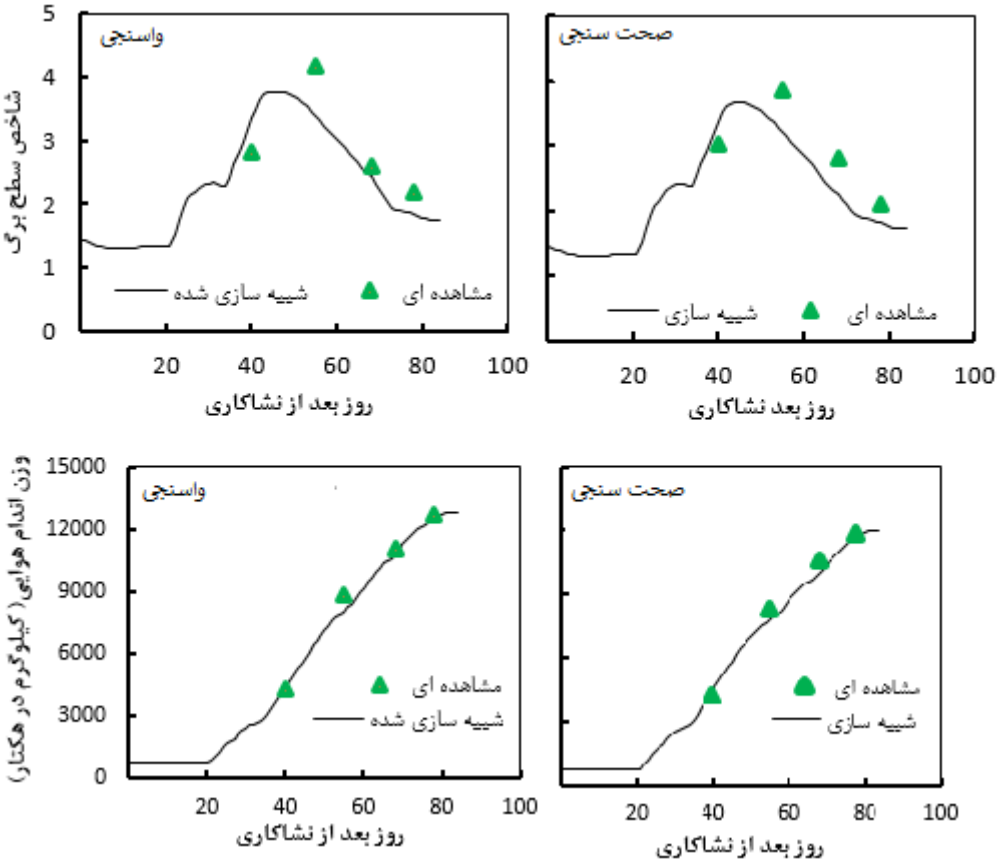
مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده تاریخ‌های فنولوژیک، حداکثر شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در فرایندهای واسنجی (تیمار I1) و صحت- سنجی (میانگین تیمارهای I2، I3 و I4) مدل به‌همراه آماره‌های ارزیابی در جدول ۴ ارایه شد. مدل DSSAT عملکرد مشابهی در شبیه‌سازی تاریخ‌های گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی در هر دو فرایند واسنجی و صحت- سنجی داشت و به‌ترتیب با ۲ و ۶ روز تاخیر، این تاریخ‌ها را پیش‌بینی نمود. مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده سایر شاخص‌ها نیز نشان دهنده عملکرد مطلوب مدل در تیمارهای واسنجی و صحت‌سنجی می‌باشد. مقادیر NRMSE در فرایندهای واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب در محدوده ۰/۷ تا ۹/۳ و ۱ تا ۷/۶ قرار داشت که حاکی از عملکرد بسیار خوب مدل می‌باشد. همچنین، شاخص توافق ویلموت در مرحله واسنجی بین ۰/۷۸ تا ۰/۹۹ و در مرحله صحت‌سنجی بین ۰/۸۲ تا ۰/۹۹ قرار داشت که مبین برازش مطلوب مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده پارامترهای مورد بررسی می‌باشد. علی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱) مقادیر NRMSE و d برای پیش‌بینی عملکرد دانه برنج را به ترتیب برابر ۲/۵ و ۰/۹۹ و برای عملکرد بیولوژیکی برابر با ۶/۱ و ۰/۹ گزارش نمودند.

جدول(۴): مقادیر مربوط به پارامترهای گیاهی و معیارهای ارزیابی در سطوح مختلف آبیاری در مدل DSSAT

پارامتر	واسنجی				صحت‌سنجی			
	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	NRMSE	d	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	NRMSE	d
AD	۵۰	۵۲	۴	-	۵۰	۵۲	۴	-
MD	۷۸	۸۴	۷/۶	-	۷۸	۸۴	۷/۶	-
LAI	۴/۲	۳/۸	۹/۳	۰/۷۸	۳/۹	۳/۷	۶/۱	۰/۸۲
TDM	۱۳۱۳۴	۱۲۸۶۴	۳	۰/۹۹	۱۱۷۷۵	۱۲۰۲۳	۲/۶	۰/۹۹
GY	۵۵۸۴	۵۵۷۴	۰/۷	۰/۹۹	۴۶۸۰	۴۶۹۶	۱	۰/۹۹

AD: تاریخ گل‌دهی (روز بعد از نشاکاری) ، MD: تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی (روز بعد از نشاکاری)، LAI: حداکثر شاخص سطح برگ، TDM: عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)، GY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، NRMSE: جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده، d: شاخص توافق ویلموت

روند تغییرات مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ و وزن اندام هوایی در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی در شکل ۲ ارایه شد. مدل DSSAT روند تغییرات این شاخص‌ها را به‌خوبی پیش‌بینی نمود و تنها در برخی موارد، اندکی بیش یا کم برآورد داشت. این انحرافات جزیی می‌تواند ناشی از عدم تشریح دقیق خصوصیات مزرعه و توانمندی مدل در فهم شرایط واقعی باشد (علی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل (۴): شاخص سطح برگ و اندام هوایی واقعی و شبیه‌سازی‌شده در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی

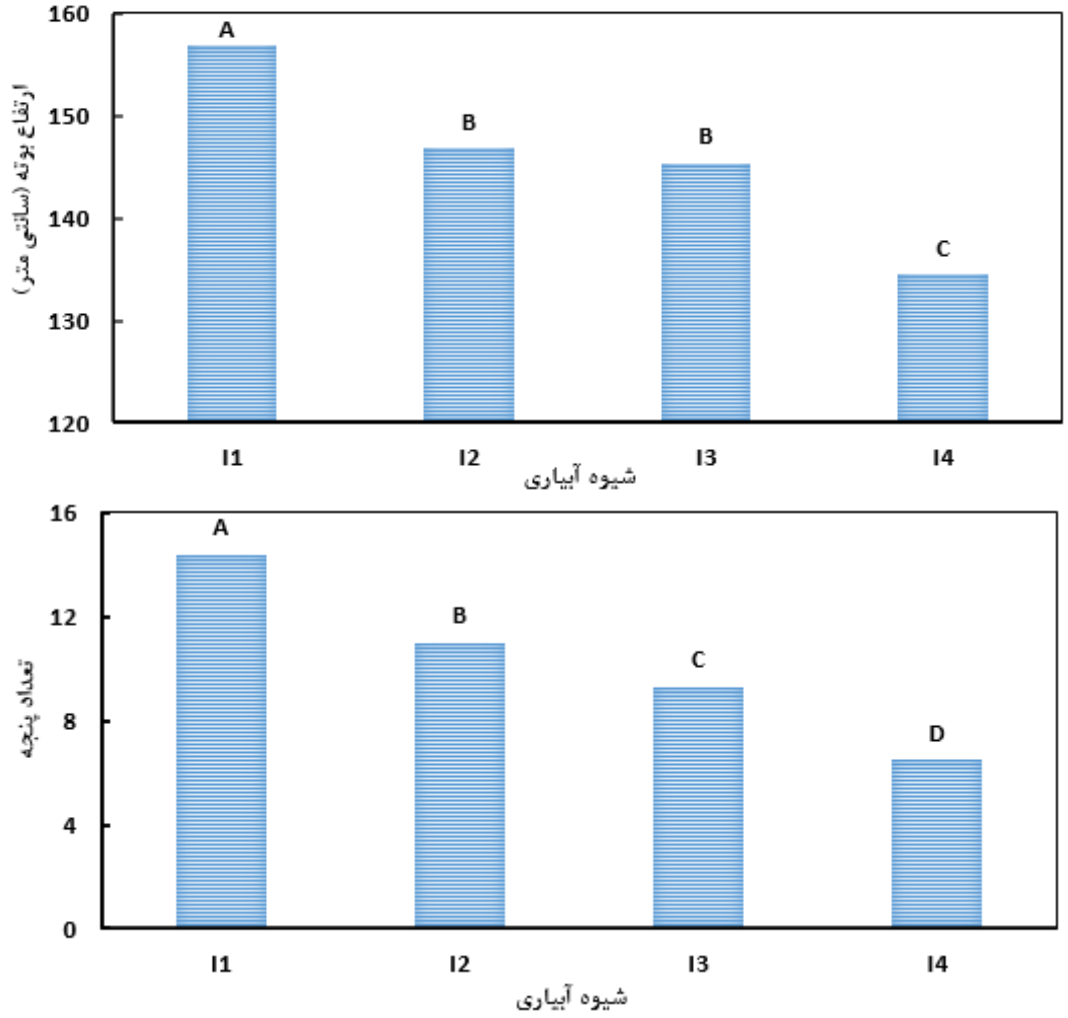
اثر مدیریت آبیاری بر ارتفاع بوته و تعداد پنجه

تاثیر مدیریت آبیاری بر ارتفاع بوته و تعداد پنجه در هر کپه در شکل ۳ ارایه شد. مقدار این دو شاخص در تیمار غرقاب به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در تیمارهای مدیریت سطح ایستابی بود. کمترین میانگین ارتفاع بوته (۱۳۴/۵۰ سانتی‌متر) متعلق به تیمار I4 و بیشترین (۱۵۶/۸۰ سانتی‌متر) آن متعلق به تیمار I1 بود. ارتفاع بوته در تیمار I3 (۱۴۵/۴ سانتی‌متر)، ۷/۳ درصد کمتر از مقدار آن در تیمار شاهد I1 بود. عدم اختلاف معنی‌دار ارتفاع بوته در تیمارهای I2 و I3 حاکی از آن است که کاهش مصرف آب به این میزان تاثیر چندانی بر ارتفاع بوته ایجاد نخواهد کرد. کاهش ارتفاع بوته در اثر مدیریت‌های کم آبیاری در برخی مطالعات گذشته گزارش‌شد (صالحی هیکویی و همکاران، ۱۳۹۶؛ سالمی و همکاران، ۱۳۸۵؛ Badshah et al., 2014). در تحقیق دیگری عنوان شد که تنش آبی سبب کاهش رشد سلولی و درنهایت سبب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Doss et al., 2016). وجود آب کافی سبب تحریک رشد رویشی و افزایش ارتفاع گیاه خواهد شد و تنش رطوبتی در برخی مراحل، باعث کاهش رشد رویشی و نهایتاً کاهش ارتفاع بوته می‌گردد (صداقت و همکاران، ۱۳۹۷).

تعداد پنجه در تیمار I1 (۱۴/۴) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در سایر تیمارها بود. بین تیمارهای I4 و I1 که کمترین و بیشترین میزان این صفت را نشان دادن حدود ۵۴ درصد اختلاف مشاهده گردید. کاهش

تعداد پنجه در تیمارهای کم آبیاری به‌واسطه تنش آب در برخی تحقیقات گذشته نیز گزارش شد (شخم گر و همکاران،۱۳۹۷؛ میری و همکاران، ۱۳۹۱؛ رضایی و همکاران،۱۳۸۹؛ Yao et al.,2012). این کاهش می‌تواند ناشی از تنش وارد شده به بوته‌ها طی مراحل آخر رشد رویشی باشد که سبب مرگ و میر تا ۵۰ درصد پنجه‌ها می‌شود (Deb and Kloft, 2012). با این وجود، عدم افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در آبیاری متناوب نسبت به حالت غرقاب نیز در برخی مطالعات گزارش شد (Ali et al., 2012; Liu et al., 2013). عرب زاده و همکاران (۱۳۸۳) طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که درروش غرقاب دایم بیشترین تعداد پنجه و عملکرد دانه و روش اشباع کمترین تعداد پنجه و عملکرد دانه را داشت

.

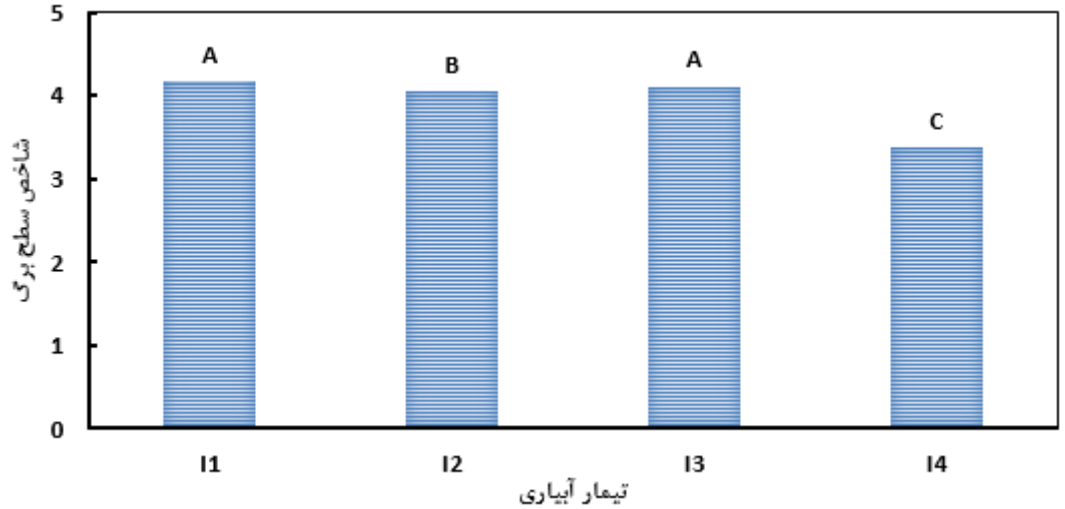


شکل (۳): پاسخ ارتفاع بوته و تعداد پنجه در هر کپه برنج به شیوه‌های مختلف آبیاری (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

اثر مدیریت آبیاری بر شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه

شکل ۴ نتایج مقایسه میانگین شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. اختلاف معنی‌داری بین مقدار این شاخص در تیمارهای I1 و I3 وجود نداشت ولی مقدار آن در این دو تیمار به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در تیمارهای I2 و I4 بود. در تیمار دارای حداکثر تنش رطوبتی (I4)، شاخص سطح برگ ۱۹ درصد کمتر از تیمار شاهد بود. این شاخص یکی از فاکتورهای مهم رشد است که از آن به‌عنوان معیار اندازه‌گیری سیستم

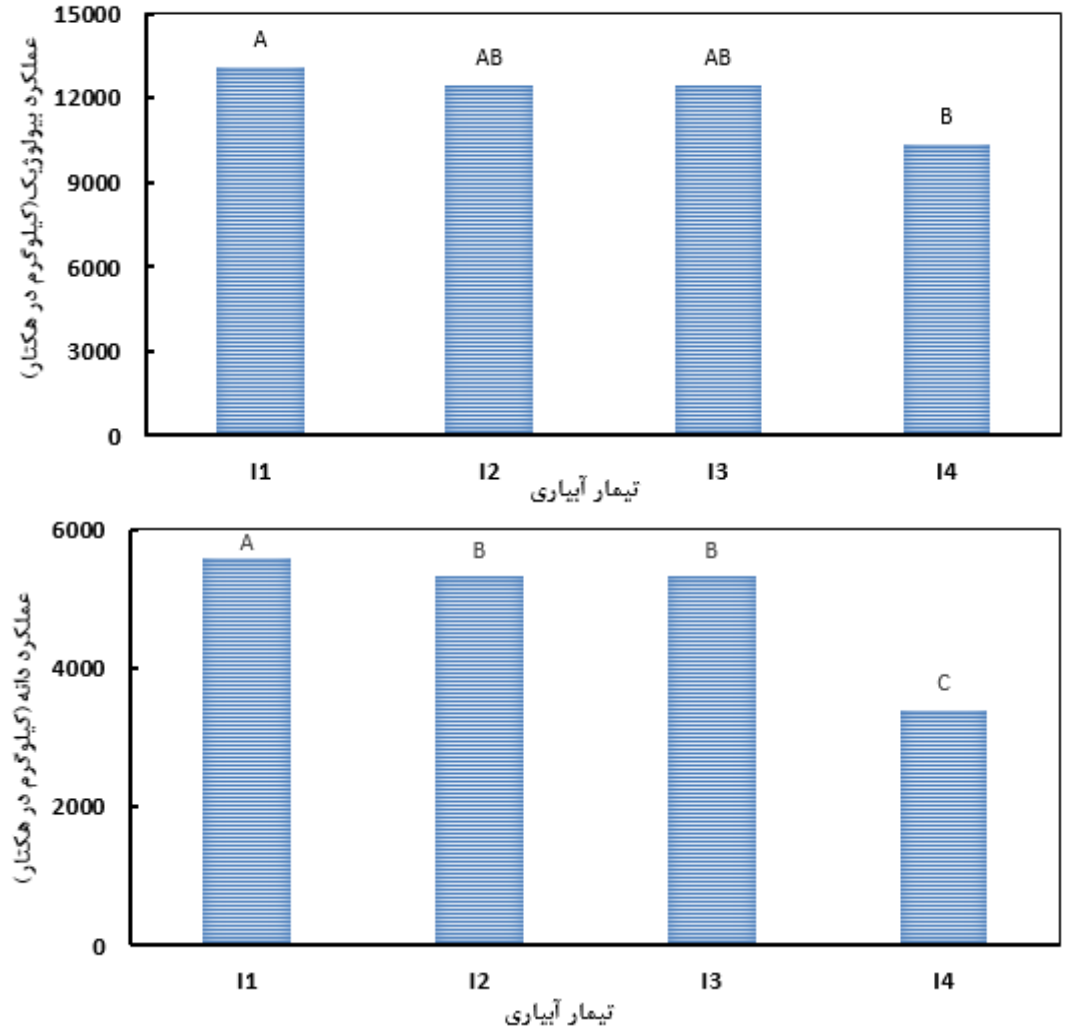
فتوسنتزی استفاده می‌کنند. افزایش میزان سطح برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌گردد.



شکل ۴: پاسخ شاخص سطح برگ به شیوه‌های مختلف آبیاری (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در شکل ۵ ارایه شد. کم‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک در I4 (۱۰۳۹۴ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین مقدار آن مربوط به I1 (۱۳۱۳۴ کیلوگرم در هکتار) بود که این امر با توجه به برتری صفت تعداد پنجه، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ در تیمار I1، منطقی به‌نظر می‌رسد. عملکرد بیولوژیک در I3 (۱۲۴۷۴ کیلوگرم در هکتار) تنها ۶ درصد کمتر از مقدار آن در تیمار شاهد بود. تنش رطوبتی تأثیر زیادی در عملکرد بیولوژیک دارد که این می‌تواند از طریق کاهش سطح برگ و همچنین کاهش فتوسنتز نیز باشد که منجر به کاهش رشد رویشی، کاهش اندام هوایی گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد بیولوژیک می‌گردد. نتایج یک مطالعه در فیلیپین نشان داد که با حفظ رطوبت خاک در حد اشباع، به‌طور متوسط عملکرد بیولوژیک تا پنج درصد کاهش یافت (Tabbal et al., 2010). نتایج برخی تحقیقات گذشته حاکی از آن است که آبیاری تناوبی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک شد (Dahal et al., 2012؛ عرب زاده، ۱۳۹۲).

بیشترین عملکرد دانه یا شلتوک (۵۵۸۴ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار I1 بود که با تیمارهای I2 (۵۳۲۰ کیلوگرم در هکتار) و I3 (۵۳۲۴ کیلوگرم در هکتار) و I4 (۳۳۹۵ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری داشت. تیمارهای I2 و I3 به‌ترتیب با کاهش عملکردی ۴/۶۶ و ۴/۷۳ درصدی نسبت به تیمار I1 اختلافی با همدیگر نداشتند. نتایج این پژوهش با برخی پژوهش‌های گذشته (صداقت و همکاران، ۱۳۹۷؛ شیرازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ صالحی هیکویی و همکاران، ۱۳۹۶) همخوانی دارد.

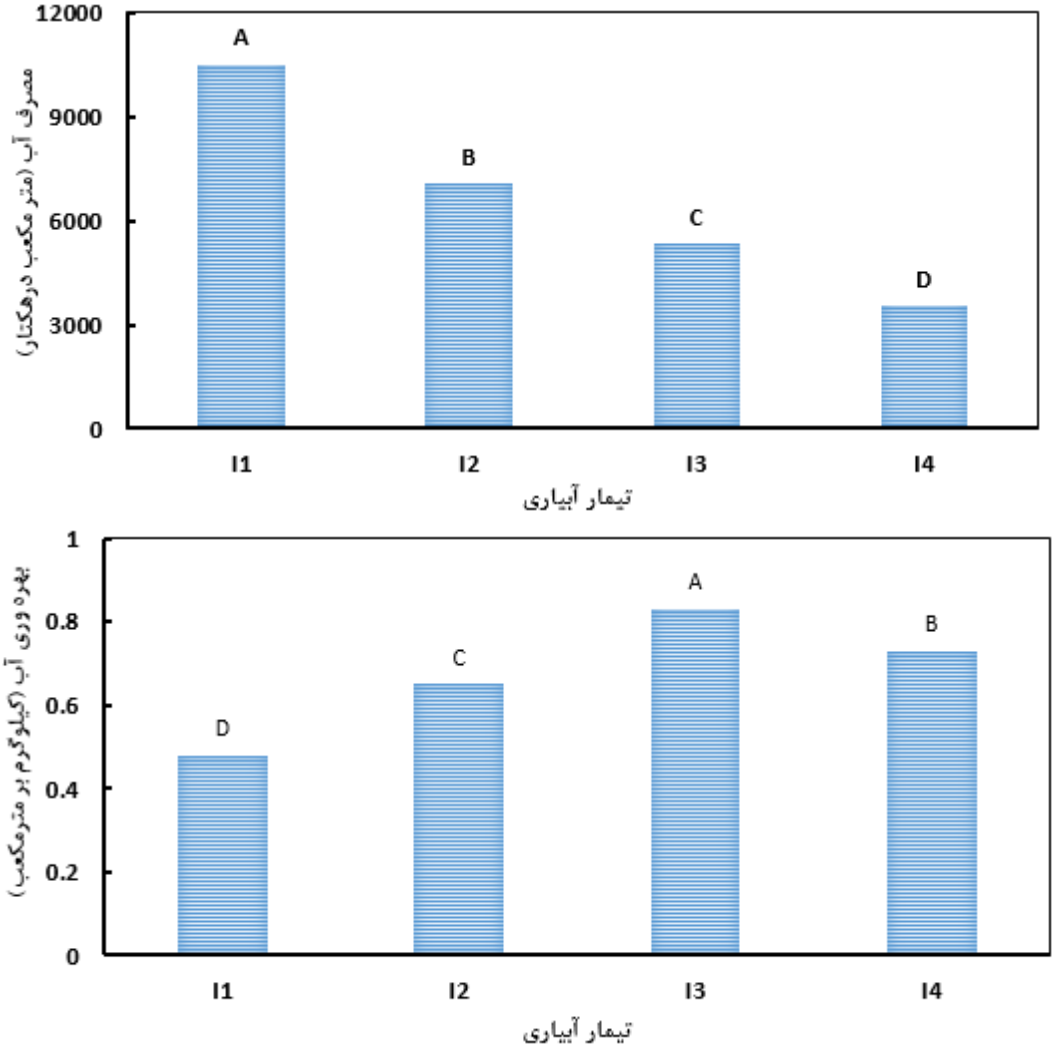


شکل (۵): پاسخ عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گیاه برنج به شیوه‌های آبیاری (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی-دار می‌باشند)

اثر مدیریت آبیاری بر میزان مصرف آب و بهره‌وری آب آبیاری

نتایج مقایسه میانگین اثر مدیریت‌های آبیاری بر میزان آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب در شکل ۶ ارایه شد. کمترین آب مصرفی (با میانگین ۳۵۳۰ مترمکعب در هکتار) در تیمار I4 و بیشترین مقدار آن (با میانگین ۱۰۵۰۷ مترمکعب در هکتار) در تیمار I1 مشاهده شد. کشت برنج با مدیریت آبیاری I3 سبب ۴۹/۳۵ درصد صرفه‌جویی در آب نسبت به تیمار I1 شد؛ درحالی‌که ازنظر عملکرد دانه، تفاوت معنی‌داری بین این تیمارها مشاهده نشد. شرایط غرقابی در تیمار I1، امکان تلفات آب مصرفی از طریق نفوذ عمقی را افزایش می‌دهد؛ درحالی‌که آب موردنیاز در حالت I3 بهنگام و در دسترس گیاه است و گیاه در این حالت با تنش آبی مواجه نمی‌شود و میزان تلفات نیز کاسته خواهد شد. کاهش مصرف آب در شرایط آبیاری متناوب نسبت به غرقاب دایم توسط سلحشور و همکاران (۱۳۸۸) و صداقت و همکاران (۱۳۹۳) نیز گزارش‌شد. همچنین تیمارهای I3 و I1 با بهره‌وری آب آبیاری ۰/۸۳ و ۰/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر بهره‌وری را به خود اختصاص دادند. بنابراین تیمار کنترل سطح ایستابی در ۵ سانتی‌متری سطح خاک سبب افزایش ۵۳ درصدی بهره‌وری آب نسبت به روش غرقاب شد. بهره‌وری آب مشاهده شده در این پژوهش در تطابق با مقادیر گزارش‌شده برای شرایط کم آبیاری در پژوهش‌های گذشته بود. امیری و همکاران (۱۳۸۵) طی پژوهشی مقدار

بهره‌وری آب مصرفی رقم طارم هاشمی را حدود ۰/۹۲ – ۰/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. در تحقیقات دیگر نیز بر افزایش بهره‌وری مصرف آب در آبیاری متناوب در مقایسه با غرقاب دایم تاکید شد (صداقت و همکاران، ۱۳۹۳؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۱؛ Arif et al., 2013).



شکل (۶): میزان مصرف آب آبیاری و بهره‌وری مصرف آب تحت تاثیر شیوه‌های مختلف آبیاری (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

نتیجه‌گیری

اعمال مدیریت صحیح آب در کشاورزی به‌خصوص درکشت برنج، می‌تواند محدودیت‌ها و مشکلات ناشی از کمبود منابع آب را تعدیل کند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل DSSAT دارای قابلیت قابل قبولی در شبیه‌سازی تاریخ‌های خوشه‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک، رشد و عملکرد برنج رقم هاشمی در شرایط کم آبیاری برخوردار بود و می‌توان از مدل واسنجی شده برای بررسی سناریوهای مدیریت آبی استفاده کرد. بر اساس نتایج این تحقیق، عملکرد دانه برنج در تیمارهای I2، I3 و I4 به ترتیب کاهش ۴/۶۶، ۴/۷۳ و ۳۹/۲۰ درصدی نسبت به تیمار I1 داشت. از نظر میزان آب مصرفی، در تیمارهای I2، I3 و I4 به ترتیب ۴۹/۳۵،۳۲/۵۳ و ۶۶/۴۱ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد. تیمار I3 با بیشترین بهره‌وری آب (۰/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب)، سبب افزایش ۷۲/۹۱ درصدی بهره‌وری آب نسبت به تیمار I1 (۰/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب) شد. تیمار I1 با وجود دریافت

آب بیشتر، افزایش عملکرد قابل توجهی را در مقایسه با تیمار I3 نشان نداد. بنابراین تیمار I3 در طول دوره رشد برای صرفه‌جویی و حفظ منابع آبی و رسیدن به عملکرد بهینه مناسب است و فرصت‌هایی را برای حفاظت از منابع آب و بهبود امنیت غذایی و توسعه پایدار ارایه می‌کند. با این حال، اطلاعات اندکی در مورد این روش کشت وجود دارد و ضروری است ارزیابی طولانی‌مدت روش‌های مختلف کشت در دیگر مناطق شالیزاری با توجه به شرایط متفاوت آب و هوایی و بستر کشت انجام گیرد. همچنین، اطلاعات درزمینه دینامیک عناصر غذایی و در دسترس بودن آن در شرایط غیر غرقابی اندک است و بررسی چنین مواردی نیز پیشنهاد می‌شود.

منابع

ابراهیمی راد، ح.، ح. بابا زاده، ا. امیری و ح. صدقی. ۱۳۹۶. اثر مدیریت آبیاری و تراکم کشت بر عملکرد و بهره وری آب برنج رقم هاشمی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی سال سی و یکم، شماره ۴، ص ۶۲۵-۶۳۶.

امیری، ا. و م. رضایی. ۱۳۹۱. ارزیابی بیلان و بهره‌وری آب برنج در شرایط آبیاری تناوبی و کود نیتروژن. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، سال ششم، شماره ۴، ص ۳۰۶-۳۱۵.

امیری، ر.، ف.کاوه و ح. جهرمی. ۱۳۸۵. مدیریت آب در شالیزار. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی،۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت‌ماه، دانشگاه چمران اهواز، شماره۴، ص ۶۹-۵۸.

رضایی، م.، م. معتمد، ع. یوسفی فلکدهی و ا. امیری. ۱۳۸۹. تغییرات مصرف آب در مدیریت‌های مختلف آبیاری و تأثیر آن بر میزان عملکرد ارقام مختلف برنج. نشریه آب‌وخاک، سال هشتم، شماره ۳، ص ۵۶۵-۵۷۳.

سالمی،ح و ع، ر. توکلی. ۱۳۸۶. افزایش بهره‌وری آب آبیاری ارقام برنج در اصفهان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، سال هشتم، شماره۱،ص ۶۱-۷۴.

شخم گر، ی.، ع. درزی نفت چالی و س، ی. موسوی طغانی. ۱۳۹۸. ارزیابی تأثیر شیوه‌های آبیاری و سن بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در نظام‌های رایج و بوم‌شناختی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد سیزدهم، شماره ۲، ص ۳۸۹-۳۹۹.

شیرازی، ح.، ع. بیابانی، ح. صبوری و م. نعیمی . ۱۳۹۶ . تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر صفات مورفولوژیک و عملکرد ارقام برنج در گنبدکاووس. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی، سال دوازدهم، شماره ۱، ص ۱۶۵-۱۷۹.

صالحی هیکویی، م.، ع. درزی نفت چالی، ع. شاهنظری و م. جعفری تلوکلایی .۱۳۹۶. بررسی اثر آبیاری در شالیزارهای مجهز به زهکشی زیرزمینی بر ارتفاع بوته، تعداد پنجه و عملکرد دانه برنج. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، سال بیست و هفتم، شماره ۷، ص ۱۰۷-۱۱۸.

صداقت، ن.، ع. بیابانی، ح.صبوری، م. نصیری و ا. فلاح .۱۳۹۷. تأثیر روش‌های آبیاری و محلول‌پاشی عناصر غذایی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم کشوری. نشریه تولید گیاهان زراعی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، سال یازدهم، شماره ۴، ص ۲۷-۴۰.

صداقت ن.، ه، ا. پیر دشتی، ر. اسدی و س،ی. موسوی طغانی. ۱۳۹۳ . اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب در برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، سال بیست و هشتم، شماره۱، ص ۱-۹.

عرب زاده. ب.۱۳۹۲. مطالعه بهره‌وری آب درکشت نشایی برنج در ارقام طارم و شیرودی. گزارش نهایی طرح تحقیقات موسسه تحقیقات برنج کشور، سال چهارم، شماره ۳، ص۵۷-۳۵.

عرب زاده، ب.۱۳۸۳. بررسی کم آبیاری تنظیم‌شده درکشت نشایی برنج رقم طارم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور، سال ششم، شماره ۵، ص۹۶-۸۵.

کسرائیان، ع.۱۳۹۲. کودها و استفاده از آن‌ها. (ترجمه) انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، ص۹۶ .

میری، ح. ر.، و. نیکان و ع. باقری. ۱۳۹۱. تأثیر آبیاری تناوبی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب درکشت مستقیم برنج در منطقه کازرون. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، سال دوم، شماره ۵، ص ۲۶-۱۳.

Ali, M.S, M.A Hasan, S. Sikder, M.R. Islam and H.M.R. Hafiz. 2013. Effect of seedling age and water management on the performance of Boro rice (Oryza sativa L.) variety BRRI Dhan28. The Agriculturists, 11(2): 28-37.

Arif, C., B.I. Setiawan, H.A. Sofiyuddin and L.M. Martief. 2013. Enhanced water use efficiency by intermittent irrigation for irrigated rice in Indonesia. Journal of Islamic Perspective on Science, Technology and Society, 1(1): 12-17.

Badshah, M. A., Y. Zou, M. Ibrahim and K. Wang. 2014. Yield and Tillering response of super hybride rice Liangyoupeijiu to tillage and establishment methods. The Crop Journal, 2(1): 79-86.

Bannayan, M., G. Hoogenboom. 2009. Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. Field Crops Research, 111(3): 290-302.

Boote K.J., J.W. Jones, G. Hoogenboom and G.G. Wilkerson. 1997. Evaluation of the CROPGRO-soybean model over a wide range of experiment, Pp. 113-133.

Carrijo, D.R., M.E. Lundy and B.A. Linquist. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. Field Crops Res. 203: 173-180.

Darzi, A., F. Karandish and J. Simunek. 2018. Numerical modeling of soil water dynamics in subsurface drained paddies with midseason drainage or alternate wetting and drying management. Agricultural Water Management 197, 67-78.

Dass, A., S. Chandra, A. K. Choudhary, G. Singh, and S. Sudhishri. 2016. Influence of field re-ponding pattern and plant spacing on rice root-shoot characteristics, yield, and water productivity of two modern cultivars under SRI management in Indian Mollisols. Paddy Water Environ. 14(1): 45-59.

Dahal, K. R., and R.B. Khadka. 2012. Performance of rice with varied age of seedlings and planting geometry under system of rice intensification (SRI) ildvdn farmer's field in Western Terai, Nepal. Nepal Journal of Science and Technology, 13(2): 1-6.

Deb, D., J. Lässig and M. Kloft. 2012. A critical assessmimportanceof seedling age in the system of rice intensification (SRI) in eastern India. Experimental agriculture, 48(3): 326-346.

Dong, N. M., K.K. Brandt, J. Sørensen, N.N. Hung, C.V. Hach, P.S. Tan and T. Dalsgaard. 2012. Effects of alternating wetting and drying versus continuous flooding on fertilizer nitrogen fate in rice fields in the Mekong Delta, Vietnam. Soil Biology and Biochemistry. 47: 166–174.

Duttarganvi, S., K. Tirupataiah, Y.K. Reddy, K. Sandhyrani, M.R. Kumar and K. Malamasuri. 2014. Yield and water productivity of rice under different cultivation practices and irrigation regime. International symposium on integrated water resources management (IWRM). Kozihkode, Kerala, India. 938-943.

FAO. 2012. Rice Production, available from http://www.faostat.org.

FAO. 2018. Fao statistical database, available at www.fao.org.

Gill, J. S., S.S. Walia and R.S. Gill .2014. Direct seeded rice an alternative rice establishment technique in north-west India – A review. International Journal of Advanced Research. 2 (3): 375-386.

Hoogenboom, G,. J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, K.J. Boote, L.A. Hunt, U. Singh, J.I. Lizaso, J.W. White, O. Uryasev, R. Ogoshi, J. Koo, V. Shelia and G.Y. Tsuji. 2015. Decision support system for agro technology transfer (DSSAT) version 4.6 (www.DSSAT.net). DSSAT foundation, prosser, Washington.

Jeong, H., T. Jang C.S. Seong. 2014. Assessing nitrogen fertilizer rates and split applications using the DSSAT model for rice irrigated with urban wastewater. Agric. Water Manage, 141:1-9.

Juan, L. Y., C. Xing, I. H. Shamsi, F. Ping and L. X. Yong. 2012. Effect of Irrigation patterns and nitrogen fertilization on rice yield and microbial community structure in paddy soil. Soil Science Society of China, 22(5): 661–672.

Katharine, R., P.S. Howell and I.C. Dodd. 2015. Alternate wetting and drying irrigation maintained rice yields despite half the irrigation volume, but is currently unlikely to be adopted by smallholder lowland rice farmers in Nepal. Food Energ Secur, 4(2):144-157.

Lamm, F.R, 2003. Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. Www. Oznet. Ksu. Edu. Sdi. Reports. 2000.

Lin, S., H. Tao, K. Dittert, Y. Xu, X. Fan, Q. Shen and B. Sattelmacher. 2003. Saving water with the ground cover rice production system in China. In Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development. Conference on International Agricultural Research for Development, Gootingen Germany, 8-10 October.

Liu, L., T. Chen, Z. Wang, H. Zhang, J. Yang and J. Zhang. 2013. Combination of site–specific nitrogen management and alternate wetting and drying irrigation increases grain yield and nitrogen and water use efficiency in super rice. Field Crop Research, 154: 226–235.

Mahmood, R., M. Meo, D.R. Legates, M.L. Morrissey. 2003. The CERES-Rice model-based estimates of potential monsoon season rainfed rice productivity in Bangladesh. The Professional Geographer, 55(2):259-273. DOI: 10.1111/0033-0124.5502013.

Roderick, M., G.R. Florencia, G.D.P. Rodriguez, R.M. Lampayan and B.A.M. Bouman,. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. Food Policy. 36(2):280-288.

Shanmugasundaram, B., Helen. 2015. Adoption of system of rice intensification under farmer participatory action research programme (FPARP). Indian Res. J. Ext. Edu, 15 (1): 114-117.

Soler, C.M.T., P.C. Sentelhas, and G. Hoogenboom. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting data evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in subtropical environment. European Journal Agronomy. 27: 165-177.

Tabbal, D.F., B.A.M. Bouman, S.I. Bhuiyan, E.B. Sibayan and M.A. Sattar. 2010. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. Agricultural Water Management, 56(2): 93–112.

Tan, X., D. Shao, H. Liu, F. Yang, C. Xiao and H. Yang. 2013. Effects of alternate wetting and drying irrigation on percolation and nitrogen leaching in paddy fields. Paddy Water Environ, 11: 1–15.

Thakur, A.K., R. K. Mohanty, D.U. Patil and A. Kumar. 2014. Impact of water management on yield and water productivity with system of rice intensification (SRI) and conventional transplanting system in rice. Paddy Water Environ, 12: 413-424.

Wailes,E.J and E.C. Chavez. 2012. International Rice baseline with deterministic and stochastic projections. University of Arkansas, department of agricultural economics and agribusiness, 2012-2021 (no. 123203).

Yao, F., J. Huang, K. Cui, L. Nie, J. Xiang, X. Liu, W. Wu, M. Chen and S. Peng. 2012. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. Field Crops Research, 126: 16-22.

Evaluation and Simulation of Water Table Management Influence on Rice Yield and its Components Involving DSSAT Model

Mohsen Ramezani-Vasokolaei[1], Abdullah-Darzi Naftchali[2], Seyed Farhad Saberali[3], Shahryar Kazemi[4]

Abstract

Simulation models are suitable tools for predicting the effects of different management scenarios and selecting the most appropriate solutions in agricultural production systems. In this study, after evaluating the efficiency of the DSSAT model, the effect of water table management on rice growth and yield was investigated. The required field experiments were performed under a randomized complete block design with four irrigation treatments and three replications during a rice growing season in a research farm at the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Irrigation treatments included conventional or flooding irrigation (control) with water height of 5 cm above the soil surface (I1), water table control at soil level (I2), water table control at 5 cm below soil surface (I3) and water table control at 15 cm below soil surface (I4). During rice growing season and at harvest, leaf area index, shoot weight, plant height, number of tillers, biological yield and grain yield were measured. The data of I1 treatment were used for calibration and the data of other treatments were used for validation of the model. In both calibration and validation processes, the DSSAT model showed a good performance for predicting phenological dates, leaf area index, biological yield and grain yield. In the calibration and validation stages, root mean square error (NRMSE) values were in the range of 0.7-7.6% and 1-7.6%, respectively, and Wilmot agreement index (d) values were in the range of 0.73-0.99 and 0.82-0.99, respectively. Effects of irrigation treatments were significantly different on plant height, number of tillers per hill, leaf area index, grain yield and biological yield. Among different treatments, the highest grain yield was 5584 kg ha^{-1}, related to the control treatment. Grain yield in I2, I3 and I4 treatments was 4.7, 4.6 and 39.2% lower than that in the control treatment, respectively. Water use efficiency in I1, I2, I3 and I4 treatments was 0.48, 0.65, 0.83 and 0.73 kg m-3, respectively. Based on the results, in order to maintain rice production while saving water, it is recommended to control the water table at a depth of 5 cm below the soil surface.

Keywords: Flooding irrigation, Water use efficiency, Leaf area index, Water table management.

[1] MSc student, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
[2] Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. Email: abdullahdarzi@yahoo.com; adarzi@sanru.ac.ir (Corresponding author).
[3] Department of Horticulture Science and Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, khorasan Razavi, Iran.
[4] Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Iran.

Research Paper

Evaluation and Simulation of Water Table Management Influence on Rice Yield and its Components Involving DSSAT Model

Mohsen Ramezani-Vasokolaei [1], **Abdullah-Darzi Naftchali**[2*], **Seyed Farhad Saberali**[3], **Shahryar Kazemi**[4]

[1] MSc student, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
[2] Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. Email: abdullahdarzi@yahoo.com; adarzi@sanru.ac.ir (Corresponding author)
[3] Department of Horticulture Science and Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, khorasan Razavi, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Iran

10.22125/IWE.2021.292911.1528.

Received:
April 29, 2021
Accepted:
August 16, 2021
Available online:
June.01.2022

Keywords:
Flooding irrigation, Water use efficiency, Leaf area index, Water table management

Abstract

Simulation models are suitable tools for predicting the effects of different management scenarios and selecting the most appropriate solutions in agricultural production systems. In this study, after evaluating the efficiency of the DSSAT model, the effect of water table management on rice growth and yield was investigated. The required field experiments were performed under a randomized complete block design with four irrigation treatments and three replications during a rice growing season in a research farm at the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Irrigation treatments included conventional or flooding irrigation (control) with water height of 5 cm above the soil surface (I1), water table control at soil level (I2), water table control at 5 cm below soil surface (I3) and water table control at 15 cm below soil surface (I4). During rice growing season and at harvest, leaf area index, shoot weight, plant height, number of tillers, biological yield and grain yield were measured. The data of I1 treatment were used for calibration and the data of other treatments were used for validation of the model. In both calibration and validation processes, the DSSAT model showed good performance for predicting phenological dates, leaf area index, biological yield and grain yield. In the calibration and validation stages, root mean square error (NRMSE) values were in the range of 0.7-7.6% and 1-7.6%, respectively, and Wilmot agreement index (d) values were in the range of 0.73-0.99 and 0.82-0.99, respectively. Effects of irrigation treatments were significantly different on plant height, number of tillers per hill, leaf area index, grain yield and biological yield. Among different treatments, the highest grain yield was 5584 kg ha-1, related to the control treatment. Grain yield in I2, I3 and I4 treatments was 4.7, 4.6 and 39.2% lower than that in the control treatment, respectively. Water use efficiency in I1, I2,

* **Corresponding Author: Abdullah-Darzi Naftchali**
Address: Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
Email: adarzi@sanru.ac.ir
Tel: +989119262598

I3 and I4 treatments was 0.48, 0.65, 0.83 and 0.73 kg m-3, respectively. Based on the results, in order to maintain rice production while saving water, it is recommended to control the water table at a depth of 5 cm below the soil surface.

1. Introduction

Due to high water consumption in rice production systems, proper water management in paddy lands has major role to improve water and nutrient use efficiency. Simulation models are suitable tools for predicting the effects of different management scenarios and selecting the most appropriate solutions before spending time and money to implement field pilots. The DSSAT model is one of the most important tools for simulating growth and yield of agricultural crops, which has the ability to predict the effect of different water management methods as well. In this study, after evaluating the efficiency of this model, the effect of water table management on rice growth and yield was investigated.

2. Materials and Methods

The required field experiments were performed under a randomized complete block design with four irrigation treatments and three replications during a rice growing season in the research farm of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. After preparing the land according to the common operations in the region, Tarom Hashemi rice cultivar was planted. Irrigation management strategies were practiced after complete establishment of the plants. Irrigation treatments included conventional or flooding irrigation (control) with water height of 5 cm above the soil surface (I1), water table control at soil level (I2), water table control at 5 cm below soil surface (I3) and water table control at 15 cm below soil surface (I4). During rice growing season and at harvest, leaf area index, shoot weight, plant height, number of tillers, biological yield and grain yield were measured. The data of I1 treatment were used for calibration and the data of other treatments were used for validation of the model. The performance of the DSSAT model was evaluated using the normalized root mean square error (NRMSE) and Wilmot agreement index (d). Statistical analysis of data was performed using SAS software.

3. Results

In both calibration and validation processes, the DSSAT model showed a good performance for predicting phenological dates, leaf area index, biological yield and grain yield. In the calibration and validation stages, NRMSE values were in the range of 0.7-7.6 and 1-7.6%, respectively, and d values were in the range of 0.73-0.99 and 0.82-0.99, respectively. Effects of irrigation treatments were significantly different on plant height, number of tillers per hill, leaf area index, grain yield and biological yield. The minimum and maximum plant height, number of tillers and leaf area index were observed in I1 and I4 treatments, respectively. Biological yield in treatment I1 was 2740 kg ha-1 higher than that in I4 treatment. Among different treatments, the highest grain yield was 5584 kg ha-1, related to the control treatment. Grain yield in I2, I3 and I4 treatments was 4.7, 4.6 and 39.2% lower than that in the control treatment, respectively. Water use efficiency in I1, I2, I3 and I4 treatments was 0.48, 0.65, 0.83 and 0.73 kg m-3, respectively.

4. Discussion and Conclusion

Based on the results, in order to maintain rice production while saving water, it is recommended to control the water table at a depth of 5 cm below the soil surface. However, there is little information about this method and it is necessary to make long-term evaluations to reveal the

various aspects of water management methods in different regions and climatic conditions in order to make the best decision to achieve optimum crop yield and water use efficiency.

5. Six important references

1. Carrijo, D.R., M.E. Lundy and B.A. Linquist. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. Field Crops Res. 203: 173-180.
2. Darzi, A., F. Karandish and J. Simunek. 2018. Numerical modeling of soil water dynamics in subsurface drained paddies with midseason drainage or alternate wetting and drying management. Agricultural Water Management 197, 67-78.
3. Hoogenboom, G, J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, K.J. Boote, L.A. Hunt, U. Singh, J.I. Lizaso, J.W. White, O. Uryasev, R. Ogoshi, J. Koo, V. Shelia and G.Y. Tsuji. 2015. Decision support system for agro technology transfer (DSSAT) version 4.6 (www.DSSAT.net). DSSAT foundation, prosser, Washington.
4. Tabbal, D.F., B.A.M. Bouman, S.I. Bhuiyan, E.B. Sibayan and M.A. Sattar. 2010. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. Agricultural Water Management, 56(2): 93–112.
5. Thakur, A.K., R. K. Mohanty, D.U. Patil and A. Kumar. 2014. Impact of water management on yield and water productivity with system of rice intensification (SRI) and conventional transplanting system in rice. Paddy Water Environ, 12: 413-424.
6. Yao, F., J. Huang, K. Cui, L. Nie, J. Xiang, X. Liu, W. Wu, M. Chen and S. Peng. 2012. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. Field Crops Research, 126: 16-22.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University for supporting the project.