

شبیه سازی مراحل نمو فنولوژیک و طول دوره رشد سه رقم برنج در سنین مختلف گیاهچه با استفاده از مدل ORYZA2000

Simulation of phonological development and growth duration of three rice cultivars at different seedling ages using ORYZA2000 model

بهمن امیری لاریجانی^۱، زین العابدین طهماسبی سروسنایی^۲، قربانعلی نعمت زاده^۳، ابراهیم امیری^۴
و مسعود اصفهانی

چکیده

امیری لاریجانی، ب.، ز. طهماسبی سروسنایی، ق.ع. نعمت زاده، ا. امیری و م. اصفهانی. ۱۳۹۰. شبیه سازی مراحل نمو فنولوژیک و طول دوره رشد سه رقم برنج در سنین مختلف گیاهچه با استفاده از مدل ORYZA2000. مجله علوم زراعی ایران. ۱۳ (۳): ۴۶۶-۴۸۰.

استفاده از مدل های شبیه سازی در پیش بینی صحیح مراحل فنولوژی گیاه برنج و تعیین سازگاری این گیاه با سیستم های آگرو اکولوژیک، بسیار مهم است. هدف از این تحقیق، واسنجی و ارزیابی مدل ORYZA2000 تحت شرایط تولید بالقوه برای شبیه سازی و کمی کردن مراحل نمو فنولوژیک و طول دوره رشد ارقام برنج در سنین مختلف گیاهچه برای بهبود مدیریت مزرعه و بهینه سازی مراحل فنولوژی برنج بوده است. به منظور واسنجی پارامترهای گیاهی و ارزیابی مدل ORYZA2000، آزمایشی مزرعه ای در دو سال زراعی ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ در مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز انجام گرفت. این آزمایش بصورت کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با ۹ تیمار و ۳ تکرار انجام گرفت. کرت های اصلی شامل ۳ رقم برنج طارم، فجر و قائم ۱ و کرت های فرعی شامل گیاهچه های ۱۷، ۲۴ و ۳۳ روزه بودند. داده های بدست آمده از سال اول آزمایش برای واسنجی و داده های سال دوم برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. مدل ORYZA2000 با دامنه مقدار جذر میانگین مربعات خطای مطلق (RMSEa) بین ۳ تا ۴ روز، از صحت بالایی در پیش بینی مراحل مختلف فنولوژی گیاه برخوردار بود. با توجه به توانایی مناسب مدل ORYZA2000 در شبیه سازی مراحل فنولوژی ارقام برنج، می توان از آن به عنوان ابزار مناسبی برای برنامه ریزی بهتر مدیریت مزرعه شالیزاری و نیز به عنوان یک سیستم تصمیم سازی پشتیبان برای آزمون سازگاری ارقام اصلاح شده برنج در مناطق مختلف اقلیمی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: برنج، سن گیاهچه، شبیه سازی، فنولوژی، مدل ORYZA2000.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۲۰

- ۱- دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه تربیت مدرس و عضو گروه تکنولوژی زراعی مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز
- ۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: tahmaseb@modares.ac.ir)
- ۳- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ۴- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان
- ۵- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان

مقدمه

گیاه برنج با سطح زیر کشت حدود ۶۰۰.۰۰۰ هکتار و مصرف سرانه ۳۸ تا ۴۲ کیلوگرم از نظر اهمیت بعد از گندم دومین غله مهم خوراکی کشور می باشد. نواحی ساحلی دریای خزر بویژه دو استان مازندران و گیلان بیش از ۷۰ درصد از سطح زیر کشت برنج را به خود اختصاص می دهند. فصل رشد مطلوب گیاه برنج در این نواحی به دلیل بارندگی های سنگین، کاهش مقطعی دمای هوا و پایین بودن تعداد ساعات آفتابی و شدت تابش، محدود می باشد (JICA, 1993).

فنولوژی و طول دوره رشد گیاه برنج از عوامل عمده تعیین کننده تناسب زراعی و اکولوژیک ارقام برنج در منطقه مورد کشت می باشد (Yin et al., 2005). پیش بینی صحیح مراحل فنولوژی گیاه زراعی برای بهینه سازی فعالیت های مدیریتی در مزرعه و سازگاری بهتر تقویم زراعی با سیستم های اگرو اکولوژیک خاص، بسیار مهم می باشد (Khanal, 2005). فاصله زمانی کاشت تا گلدهی یکی از خصوصیات مهم برای پیش بینی عملکرد و دستیابی به عملکرد بالقوه گیاهان زراعی از جمله برنج در مناطق مختلف می باشد. متخصصان مدل سازی گیاهان زراعی اقدام به ارائه فرمول های کمی اکوفیزیولوژی برای تشریح پاسخ های فتوترمال فنولوژی نموده اند تا بتوانند زمان گلدهی ژنوتیپ های مختلف گیاهان زراعی را در شرایط متفاوت محیطی و اقلیمی پیش بینی نمایند (Yin et al., 2005).

به نژادی، اصلاح و معرفی ارقام جدید برنج با اهداف مختلفی انجام می گیرد، در حالی که بررسی سازگاری ارقام اصلاح شده به مناطق و محیط های مختلف اقلیمی، اجرای آزمون های سازگاری را برای تعیین مناطق مناسب کشت ارقام جدید و مشخص کردن مناسب ترین فنولوژی محصول اجتناب ناپذیر می نماید. انطباق طول دوره رشد ارقام اصلاح شده جدید با مناطق تحت کشت، همواره یکی از مباحث

مهم و تاثیر گذار در پذیرش ارقام جدید، دستیابی به عملکرد قابل قبول، افزایش بهره وری، کاهش ضایعات و تداوم کشت آنها می باشد. از این رو توسعه کشت ارقام متوسط رس و دیررس در مناطق شالیزاری شمال کشور، وابستگی زیادی به جدول تقویم زمانی کشت و کار، به ویژه تاریخ بذرپاشی در خزانه و سن گیاهچه، زمان نشاکاری و طول دوره رشد ارقام برنج دارد.

نشاکاری دارای اثر قابل توجهی بر رشد برنج می باشد. بطور کلی روش کشت نشایی باعث تاخیر نمو فنولوژیک در برنج می شود. تاخیر در گلدهی در اثر نشاکاری و تغییر پذیری آن بعنوان تابعی از سن گیاهچه در زمان نشاکاری، پدیده شوک نشاکاری نام دارد. میزان اثرگذاری شوک نشاکاری ممکن است بسته به خصوصیات گیاهچه و شرایط آب و هوایی قبل و بعد از نشاکاری متفاوت باشد (Kotera, 2004). ساقه و ریشه گیاهچه های مسن تر در اثر کندن از خزانه صدمه بیشتری می بینند و رسیدگی آنها به تاخیر می افتد (Singh and Singh, 1998; Ashraf et al., 1999). گزارش شده است که بوته های حاصل از گیاهچه های جوان تر (۱۰-۲۰ روزه) قادر هستند که چرخه زندگی خود را ۵ تا ۹ روز سریع تر طی کرده و زودتر از گیاهچه های بالغ (۳۰ روزه) برسند (Singh and Singh, 1998; Patel, 1999).

با توجه به اینکه تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک با مرحله فنولوژی گیاه تغییر می کنند، کمی کردن دقیق مراحل نمو فنولوژیک برای هر یک از مدل های شبیه سازی رشد ضروری است. امروزه استفاده از روش های مدل سازی و شبیه سازی مراحل رشد و نمو، به عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت بهینه گیاهان زراعی در سراسر جهان شناخته شده اند (Bouman et al., 1996). اگر چه مدل های شبیه سازی مختلفی برای پیش بینی فنولوژی برنج توسعه یافته اند (Nakagawa and Horie, 1995; Huang et al., 1998)

زمان آب و نیتروژن شبیه سازی می کند. شبیه سازی در کوتاه ترین فاصله زمانی که معمولاً یک روز است، آغاز می شود. در شرایط بالقوه تولید، سرعت رشد یک گیاه زراعی توسط نور، حرارت و خصوصیات گیاهی برای فرآیندهای فنولوژیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک تعیین می شوند. در مدل ORYZA2000، محاسبه سرعت نمو فنولوژیک از الگوی محاسبه روزانه پیروی می کند. با استفاده از مجموع این مقادیر در طول زمان، مراحل نمو در سراسر فصل رشد شبیه سازی می شود (Bouman *et al.*, 2001).

نمو فنولوژیک

مرحله نمو (DVS; Development Stage) هر گیاه نشان دهنده سن فیزیولوژیک آن گیاه می باشد که به وسیله تشکیل اندام های مختلف و ظهور آنها مشخص می شود. مهم ترین تغییر فنولوژیکی گیاه، عبور از مرحله رویشی به زایشی است که موجب تغییر در جابجایی ماده خشک در اندام های گیاه می شود. با توجه به اینکه تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی با مرحله نمو گیاه تغییر می کنند، کمی کردن نمو فنولوژیک در هر مدل شبیه سازی رشد گیاه ضروری است. مراحل کلیدی نمو گیاه برنج عبارتند از ظهور گیاهیچه (کد = صفر)، آغازش خوشه اولیه (کد = ۰.۶۵)، گلدهی (کد = ۱)، و رسیدگی فیزیولوژیکی (کد = ۲). اعداد داخل پرانتز کدهای عددی هستند که در مدل ORYZA2000 از آنها برای بیان مرحله نمو گیاه برنج استفاده می شود. درجه حرارت مهم ترین عامل تحریک کننده نمو فنولوژیک است. هر چند در ارقام حساس به طول روز، ساعات روشنائی القا کننده گلدهی می باشد. زمانی که تعداد روزهای سرد متوالی بیشتر از یک مقدار مشخص باشد، گیاه زراعی می میرد و مدل متوقف می شود. مرحله نمو عبارت از مجموع سرعت نمو (DVR; Development Rate) در طول زمان است که بر اساس درجه روز (Cd^{-1}) بیان می شود. سرعت نمو عکس دوره

تنها تعداد کمی از آنها مانند (Ritchie *et al.*, 1987) CERES-Rice, (Kropff *et al.*, 1994) ORYZA1, RIBHAB (Salam *et al.*, 1994)، پدیده شوک نشاکاری را که از سن گیاهیچه برآورد شده مورد توجه قرار داده و بر اساس درجه روز- رشد در طی دوره پرورش گیاهیچه در خزانه بیان شده اند.

در اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی مرکز تحقیقاتی گروه اکولوژی دانشگاه واگنینگن هلند و موسسه بین المللی تحقیقات برنج مدل ORYZA را که مربوط به رشد برنج در اراضی پست (Lowland) مناطق گرمسیری است، ارائه دادند. اولین مدل، ORYZA1 بود که برای تخمین رشد در شرایط تولید بالقوه (Kropff *et al.*, 1994) معرفی شده بود. مدل ORYZA-N برای رشد گیاه در شرایط محدودیت نیتروژن و مدل ORYZA-W نیز برای تولید تحت شرایط کمبود آب معرفی شد. در سال ۲۰۰۱ با بهبود و تلفیق همه مدل های قبلی ORYZA، نسخه جدیدی از این مجموعه مدل ها بنام ORYZA2000 منتشر شد (Bouman *et al.*, 2001).

مدل ORYZA2000

مدل ORYZA2000 یک مدل اکوفیزیولوژیک رشد می باشد که نمایه ای از رشد گیاه برنج اراضی پست را تحت شرایط متفاوت تولید ارائه می دهد. از مدل ORYZA2000 برای بهینه کردن فنولوژی گیاه برنج از مرحله کاشت تا گلدهی و با هدف دستیابی به عملکرد بالقوه در محیط های مختلف، استفاده می شود. یکی از این مدل ها ORYZA1 می باشد. ORYZA1، شبیه سازی الگوی واقعی رشد گیاه برنج است که در آن با استفاده از داده های هواشناسی روزانه، مشخصات گیاهی و پارامترهای مدیریتی، رشد و نمو و مراحل فنولوژی گیاه برنج برآورد می شود. بومن و همکاران (Bouman *et al.*, 2001) تعریف جامعی از این برنامه را ارائه نموده اند. مدل ORYZA2000، رشد و نمو و فنولوژی گیاه برنج غرقابی را در شرایط تولید بالقوه، محدودیت آبی، محدودیت نیتروژن و محدودیت هم

زمانی مورد نیاز برای تکمیل یک واحد نمو می باشد (Bouman *et al.*, 2001). درجه حرارت های اصلی یا کاردینال برای برنج عبارتند از ۸، ۳۰ و ۴۲ درجه سانتیگراد (Gao *et al.*, 1992). در مدل ORYZA1 درجه حرارت ساعتی (T_d) با استفاده از درجه حرارت های حداقل و حداکثر و براساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T_d = (T_{min} + T_{max})/2 + (T_{max} - T_{min}) \cos(0.2618(h - 14)/2) \quad (1)$$

که در آن h ساعت زمانی (از ۱ تا ۲۴) در روز می باشد. افزایش ساعتی در واحدهای حرارتی (HUH ، $^{\circ}\text{Cd h}^{-1}$) بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T_d < T_{base}, T_d > T_{high} : HUH = 0 \quad (2)$$

$$T_{base} < T_d < T_{opt} : HUH = (T_d - T_{base})/24$$

$$T_{opt} < T_d < T_{high} : HUH = [T_{opt} - (T_d - T_{opt}) \times (T_{opt} - T_{base}) / (T_{high} - T_{opt})] / 24$$

که در آن T_{base} درجه حرارت پایه، T_{opt} درجه حرارت بهینه و T_{high} درجه حرارت حداکثر برای نمو فنولوژیکی است. بنابراین افزایش روزانه در واحدهای حرارتی (HU or TT ; $^{\circ}\text{Cd d}^{-1}$) بصورت زیر محاسبه می شود:

$$HU = \sum_{k=1}^{24} (HUH) \quad (3)$$

در این مدل، سرعت نمو گیاه زراعی بر اساس مقادیر ثابت سرعت نمو در مراحل مختلف فنولوژی، افزایش روزانه در واحدهای حرارتی و طول روز محاسبه شده است. چرخه زندگی گیاه برنج به چهار مرحله مهم فنولوژیک تقسیم می شود: (۱) مرحله رشد رویشی پایه (BVP; Basic Vegetative Phase) که از خروج کولتوپتیل (DVS=0) تا شروع مرحله حساس به طول روز (DVS=0.4) بطول می انجامد. سرعت نمو این مرحله با کد DVRJ مشخص می شود و به معنی سرعت نمو مرحله نوجوانی (Juvenile) است. (۲) مرحله حساس به طول روز (PSP; Photo-Sensitive Phase) که از انتهای BVP تا آغازش خوشه (Panicle Initiation) ادامه می یابد. سرعت نمو این مرحله با کد DVRI مشخص می شود و به معنی سرعت

نمو مرحله القای خوشه می باشد. (۳) مرحله تشکیل خوشه (PFP; Panicle Formation Phase) که از آغازش خوشه تا ۵۰ درصد گلدهی بطول می انجامد. سرعت نمو این مرحله با کد DVRP مشخص می شود. (۴) مرحله پر شدن دانه (GFP; Grain Filling Period) که از زمان تلقیح دانه تا رسیدن فیزیولوژیک ادامه می یابد و سرعت نمو این مرحله با کد DVRR مشخص می شود. برای هر رقم زراعی مقادیر سرعت نمو در هر یک از این چهار مرحله ثابت بوده و با عکس مجموع درجه حرارت مورد نیاز برای کامل کردن مرحله ای خاص در یک طول روز متناسب است. تفاوت بین ارقام زراعی در کل طول دوره رشد معمولاً بعلاوه اختلاف در طول دوره رشد رویشی پایه بیش از سایر مراحل رشد می باشد.

در برنج نشایی، به علت پدیده "شوگ نشاکاری" وضعیت پیچیده تر است و باعث تاخیر در نمو فنولوژیک می شود. زمانی که گیاه برنج نشاکاری می شود، رشد گیاه زراعی تنها زمانی از سر گرفته می شود که "شوگ نشاکاری" برطرف شده باشد. کراف و همکاران (Kropff *et al.*, 1994) یک رابطه خطی بین دوره شوگ نشاکاری و درجه حرارت - روز تجمعی در خزانه را گزارش نمودند. نتایج آزمایش های مزرعه ای نشان داد که تاخیر در نمو فنولوژیک تابعی از سن گیاهچه در زمان نشاکاری است و به صورت درجه - روز بیان می شود. در مدل ORYZA1 تاخیر نمو بیان شده بر اساس درجه روز نشان می دهد که در این مدت بعد از نشاکاری هیچ نموی اتفاق نیافتاده است. شبیه سازی مدل در زمان ظهور گیاهچه آغاز می شود و سرعت و چگونگی نمو را محاسبه می کند. در زمان نشاکاری، شوگ نشاکاری از طریق سن گیاهچه و بر اساس درجه روز تعیین و با استفاده از پارامتر SHCKD [درجه - روز تاخیر نمو در واحد سن گیاهچه ($^{\circ}\text{Cd}$)] بیان می شود. زمانی که گیاه زراعی بطور مستقیم کشت می شود، شوگ نشاکاری وجود نداشته و روند رشد

با توجه به اهمیت استفاده از مدل های شبیه سازی در تحقیقات کشاورزی، هدف از این پژوهش استفاده از مدل ORYZA2000 برای بهینه سازی فنولوژی گیاه برنج، بهبود برنامه های آزمون سازگاری ارقام و مدیریت بهتر مزرعه در مناطق برنجکاری کشور بوده است.

مواد و روش ها

این آزمایش در مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز، واقع در ۱۰ کیلومتری جاده آمل به محمودآباد با عرض جغرافیائی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیائی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۳/۷ متر از سطح دریا انجام گرفت. بافت خاک محل اجرای آزمایش لوم (۲۰ درصد رس، ۴۴ درصد سیلت و ۳۶ درصد شن) و pH آن ۷/۶ بود. این آزمایش بصورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار

متوقف نمی شود. در سال های اخیر تعداد قابل توجهی از تحقیقات بر پایه مدل ORYZA در کشورهای آسیائی انجام شده است. از جمله این تحقیقات می توان به استفاده از مدل ORYZA در فیلیپین (Bouman and Van Laar, 2006)، هند (Arora, 2006)، اندونزی (Boling et al., 2007)، چین (Feng et al., 2007) و ایران (Amiri and Rezaei, 2009) اشاره کرد. ویکارمپاپراهارن و کوسیتساکولچای (Wikarmpapraharn and Kositsakulchai., 2010)، مدل های ORYZA2000 و CERES-Rice را در شرایط رشد بالقوه در اراضی شالیزاری دشت های مرکزی تایلند مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که هر دو مدل برای شبیه سازی رشد و نمو برنج مناسب بودند و به ویژه مدل ORYZA2000 بعنوان یک ابزار تحقیقاتی برای تصمیمات مدیریتی در مقیاس مزرعه ای در دشت مرکزی تایلند مورد تایید قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات تیمارهای آزمایشی

Table 1. Description and details of experimental treatments

رقم برنج Rice cultivar	سن گیاهچه (روز) Seedling age (days)	کد تیمار Treatment's code	
		۱۳۸۷ 2008	۱۳۸۸ 2009
قائم ۱ Ghaem1	33	GS1-008	GS1-009
	24	GS2-008	GS2-009
	17	GS3-008	GS3-009
طارم Tarom	33	TS1-008	TS1-009
	24	TS2-008	TS2-009
	17	TS3-008	TS3-009
فجر Fajr	33	FS1-008	FS1-009
	24	FS2-008	FS2-009
	17	FS3-008	FS3-009

GS1,GS2,GS3: به ترتیب گیاهچه های ۱۷، ۲۴ و ۳۳ روزه رقم قائم؛ TS1,TS2,TS3: به ترتیب گیاهچه های ۱۷، ۲۴ و ۳۳ روزه رقم طارم؛ و FS1,FS2,FS3: به ترتیب گیاهچه های ۱۷، ۲۴ و ۳۳ روزه رقم فجر

GS1,GS1,GS3: 33, 24 and 17 days old seedlings of Ghaem cultivar
TS1, TS2, TS3: 33, 24 and 17 days old seedlings of Tarom cultivar
FS1, FS2, FS3: 33, 24 and 17 days old seedlings of Fajr cultivar

(اصلاح شده، زودرس) بودند. کرت های فرعی شامل سنین مختلف گیاهچه (گیاهچه های جوان ۱۷ روزه، میانسال ۲۴ روزه و بالغ ۳۳ روزه) بودند (جدول ۱)، که

در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ اجرا شد. کرت های اصلی سه رقم برنج طارم محلی (بومی و زودرس)، فجر (اصلاح شده، پرمحصول، میان رس) و قائم ۱

با سه تاریخ مختلف بذریاشی در خزانه و نشاکاری همزمان بدست آمدند. برای هر تاریخ بذریاشی، بذور جوانه دار شده در جعبه های پلاستیکی با ابعاد $60 \times 30 \times 3$ سانتیمتر به مقدار ۱۰۰ گرم در هر جعبه به فاصله زمانی ۸ تا ۹ روز بذریاشی شده و گیاهچه ها در جعبه های نشا پرورش یافتند. گیاهچه ها با سنین مختلف در سال اول در تاریخ $87/3/4$ و در سال دوم در تاریخ $88/3/13$ در کرت هایی به ابعاد 4×3 متر با فاصله 16×30 سانتیمتر و به تعداد یک گیاهچه در هر کپه نشاکاری شدند.

با توجه به اینکه آزمایش در شرایط تولید بالقوه اجرا گردید، از بروز هر گونه تنش عناصر غذایی و تنش خشکی اجتناب شده و در سراسر طول دوره رشد، مزرعه عاری از هر گونه آفت، بیماری و علف های هرز نگهداری شد. مقادیر کود مصرفی بر اساس توصیه های فنی برای هر یک از ارقام و با هدف تامین نیاز غذایی ارقام برنج در طول دوره فصل رشد به صورت پایه و سرک مصرف شدند. در هر دو سال آزمایش تاریخ های بذریاشی، نشاکاری، آغازش خوشه اولیه، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک ثبت شدند. در تمامی طول دوره رشد از بذریاشی در خزانه تا برداشت، اطلاعات هواشناسی روزانه شامل درجه حرارت حداقل و حداکثر هوا، میزان تابش خورشیدی، سرعت باد، فشار بخار و میزان بارندگی از ایستگاه هواشناسی مرکز واقع در فاصله ۱۰۰ متری محل اجرای آزمایش اخذ و ثبت شدند. روند درجه حرارت حداکثر و حداقل، ریزش باران و تابش خورشیدی در سال های آزمایش در طی فصل رشد در شکل یک نشان داده شده است. در سال دوم آزمایش (۱۳۸۸) (شکل ۱؛ c,d) در زمان گلدهی و رسیدگی، میزان تابش خورشیدی پائین تر، بارندگی بیشتر و دمای هوا کمتر از سال اول آزمایش (۱۳۸۷) بود (شکل ۱؛ a,b).

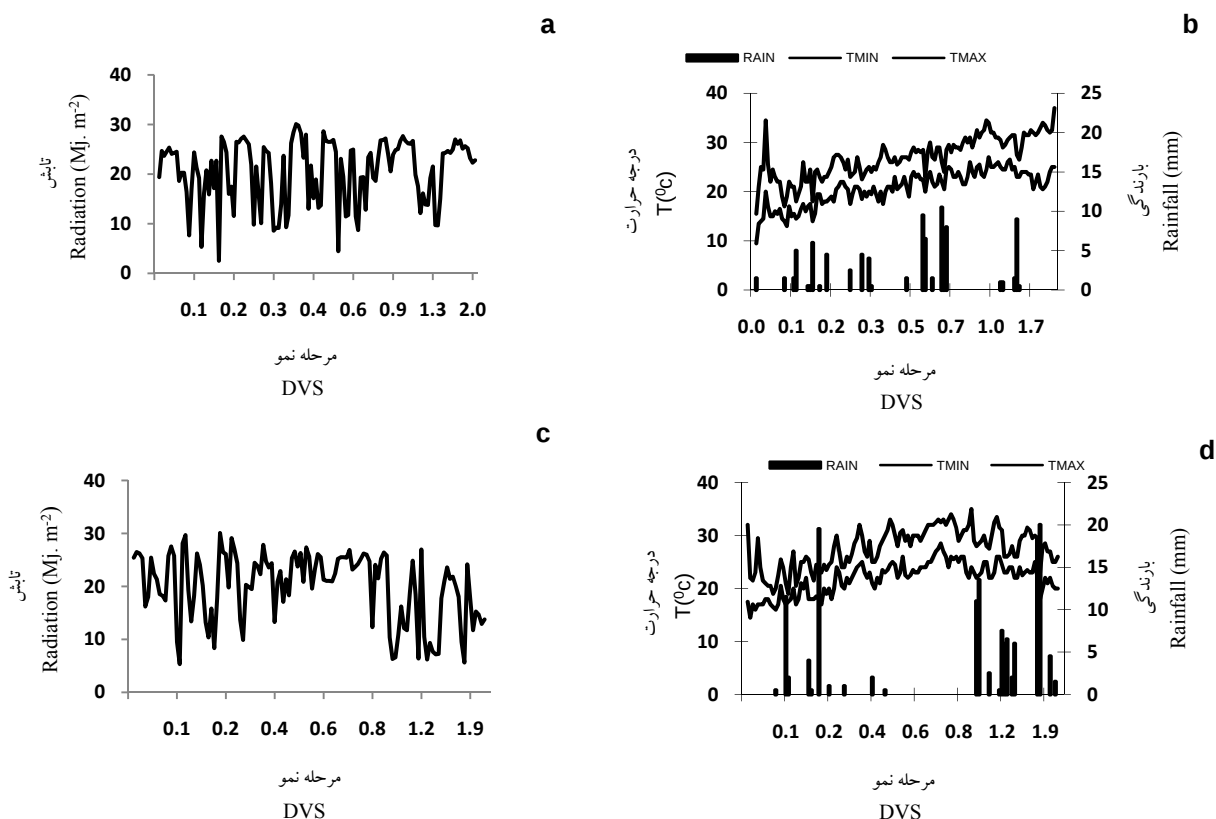
داده های ورودی و واسنجی مدل

واسنجی مدل با استفاده از روش بومن و ون لار

(Bouman and van laar, 2006) و لی و همکاران (Li et al., 2009) انجام گرفت. از آنجایی که آزمایش حاضر در شرایط تولید بالقوه اجرا گردید، واسنجی مدل ORYZA2000 با استفاده از فایل داده های هواشناسی، فایل داده های آزمایشی و فایل داده های گیاهی انجام شد. تعداد نه مجموعه اجرایی مدل، در قالب نه تیمار آزمایشی متشکل از سه رقم برنج و سه سن مختلف گیاهچه در زمان نشاکاری، طراحی شدند. برای هر مجموعه اجرایی مدل از داده های بدست آمده از آزمایش مزرعه ای سال ۱۳۸۷ به عنوان مجموعه داده های مورد نیاز برای واسنجی مدل استفاده گردید. سرعت نمو گیاه زراعی (DVR) در مراحل مختلف فنولوژی، ضرایب تسهیم مواد فتوسنتزی، سطح ویژه برگ (SLA)، سرعت مرگ و میر برگ و کسر ذخایر ساقه از بهترین مشخصات و خصوصیات برای واسنجی شرایط محیطی و رقم می باشند که در این تحقیق محاسبه و مورد استفاده قرار گرفتند. سرعت نمو بر اساس افزایش روزانه در واحدهای حرارتی برای مراحل مختلف فنولوژی محاسبه شده است که عبارتند از: مرحله رشد رویشی پایه، مرحله حساس به طول روز، مرحله آغازش خوشه اولیه و مرحله پرشدن دانه. ماده خشک تولید شده بوسیله گیاه زراعی بین اندام های هوایی و ریشه ها بر پایه ضرایب تسهیم تعریف شده تقسیم می شوند که تابعی از مرحله نمو فنولوژیک می باشد. مواد فتوسنتزی موجود در اندام های هوایی بین بخش های مختلف گیاهی از جمله برگ ها، ساقه ها و اندام های ذخیره ای (خوشه و دانه) تقسیم می شود. سطح ویژه برگ یا ضخامت برگ عبارتست از نسبت سطح برگ ها در واحد وزن. سرعت رشد نسبی برگ عبارتست از افزایش روزانه کل سطح برگ در واحد سطح زمین (شاخص سطح برگ) و سرعت مرگ و میر برگ عبارت از کاهش ماده خشک برگ در اثر پیری می باشد. کسر ذخایر ساقه، عبارتست از مقدار مواد فتوسنتزی (نشاسته و قند) که در ساقه و غلاف

واسنجی مدل در این آزمایش استفاده گردید، شوک نشاکاری برای نمو فنولوژیکی بود. برای هر یک از نه مجموعه از مدل های اجرایی در این آزمایش، مقادیر شوک نشاکاری (تاخیر نمو در واحد سن گیاهچه بر پایه درجه- روز) بر اساس مجموعه داده های مزرعه ای سال ۱۳۸۷ برای هر نه تیمار محاسبه و مقادیر بدست آمده در فایل خصوصیات گیاهی وارد گردید. فایل های هواشناسی، عملیات زراعی و مدیریت مزرعه برای کلیه بودند (به جز سنین مختلف گیاهچه و خصوصیات گیاهی ارقام مورد استفاده که در آزمایش مورد آزمون قرار گرفتند). کلیه داده های نه تیمار آزمایشی، بطور هم زمان در شرایط تولید بالقوه برای واسنجی مدل استفاده شدند. برای گیاه برنج، شرایط

برگ) تجمع می یابد و در طول مدت رسیدگی و پر شدن دانه به اندام های ذخیره ای (دانه ها) انتقال یا انتقال مجدد می یابد. این پارامترهای گیاهی از داده های آزمایشی تحت شرایط تولید پتانسیل در مزرعه بدست آمدند. سرعت های نمو با استفاده از تاریخ های ثبت شده در مراحل مختلف فنولوژی (ظهور گیاهچه، نشاکاری، آغازش خوشه اولیه، گلدهی و رسیدگی) و با استفاده از برنامه DRATES محاسبه شدند. سطح ویژه برگ با استفاده از سطح برگ سبز اندازه گیری شده و وزن خشک برگ محاسبه شد. ضرایب تسهیم ماده خشک، سرعت مرگ و میر برگ و کسر ذخایر ساقه با استفاده از برنامه PARAM محاسبه شدند. علاوه بر پارامتر سرعت نمو، پارامتر خاص دیگری که به منظور



شکل ۱- تغییرات درجه حرارت حداکثر و حداقل هوا، بارندگی و تابش خورشیدی محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۸۷ (a,b) و سال ۱۳۸۸ (c,d) در طول دوره رشد برنج

Fig. 1. Variation of daily maximum and minimum temperature, rainfall and solar radiation in 2008 (a,b) and 2009 (c,d) during rice growing seasons. (DVS: Development stage of rice plant)

تولید بالقوه به معنای تامین مقدار کافی و مورد نیاز آب و نیتروژن و نیز عدم وارد شدن خسارت آفات و بیماری‌ها می‌باشد (Li et al., 2009). پارامترهای گیاهی و مقادیر سرعت نمو محاسبه شده در سال اول که برای واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند، برای اعتبار سنجی مدل در سال دوم نیز استفاده شدند.

ارزیابی مدل

عملکرد مدل ORYZA2000 در این آزمایش به صورت جداگانه برای مجموعه داده‌های سال اول آزمایش (داده‌های واسنجی) و نیز سال دوم آزمایش (داده‌های اعتبارسنجی) مورد ارزیابی قرار گرفت. تکرار استفاده از یک مدل در شرایط مطلوب آزمایشی و مقایسه بین مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل و مقادیر اندازه گیری شده در مزرعه می‌تواند باعث افزایش سطح اطمینان در پایداری مدل برای هدفی خاص گردد. ترکیبی از نمایش گرافیکی و اندازه گیری‌های آماری برای ارزیابی کارایی مدل مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس روش‌های توسعه یافته توسط بومن و ون لار (Bouman and Van Laar, 2006)، در این آزمایش نیز اقدام به مقایسه گرافیکی مقادیر

شبیه سازی شده و اندازه گیری شده گردید. از نمودار پراکنش داده‌های شبیه سازی شده و اندازه گیری شده و خطوط ۱:۱ نیز به منظور نشان دادن تناسب کلی مدل (کارایی کلی مدل) استفاده شد. برای متغیرهای مشابه، شیب خط (α)، عرض از مبدا (β) و ضریب تبیین (R^2) رگرسیون خطی بین مقادیر شبیه سازی شده (Y) و اندازه گیری شده (X) محاسبه گردید. به علاوه، آزمون مقایسه میانگین واریانس نامساوی ($P(t)$) و ریشه میانگین مربعات خطای مطلق ($RMSE_a$) (Root Mean Square Error_{absolute}) و نرمال شده ($RMSE_n$) (Root Mean Square Error_{normalized}) نیز بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده، بر اساس روابط زیر محاسبه شد.

$$RMSE_a = (1/n \sum (Y_i - X_i)^2)^{0.5} \quad (4)$$

$$RMSE_n = 100 \times RMSE_a / \sum X_i / n \quad (5)$$

که در آن n تعداد مشاهدات است. یک مدل زمانی می‌تواند بهترین پیش بینی و بازتولید داده‌های آزمایشی را داشته باشد که α مساوی ۱، β مساوی صفر، R^2 برابر ۱، $P(t^*)$ بزرگتر از ۰/۰۵، $RMSE_a$ مشابه با انحراف معیار و $RMSE_n$ برابر با ضریب تغییرات

جدول ۲- سرعت‌های نمو فنولوژی محاسبه شده تیمارهای آزمایشی برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل ORYZA2000

Table 2. The computed phenological development rates of treatments for ORYZA2000 model calibration and validation

کد	سرعت نمو در مرحله جوانی	مرحله حساس به طول روز	مرحله نمو خوشه	مرحله پر شدن دانه
Code	DVRJ ($^{\circ}\text{Cd}$) ⁻¹	DVRI ($^{\circ}\text{Cd}$) ⁻¹	DVRP ($^{\circ}\text{Cd}$) ⁻¹	DVRR ($^{\circ}\text{Cd}$) ⁻¹
GS1-08	0.000761	0.000758	0.000868	0.002304
GS2-08	0.000857	0.000758	0.000747	0.002441
GS3-08	0.000869	0.000758	0.000796	0.002579
TS1-08	0.000837	0.000758	0.000811	0.002422
TS2-08	0.001128	0.000758	0.000747	0.002441
TS3-08	0.001259	0.000758	0.000733	0.002473
FS1-08	0.000562	0.000758	0.000834	0.002160
FS2-08	0.000631	0.000758	0.000851	0.002198
FS3-08	0.000668	0.000758	0.000845	0.002147

شده کمتر از ۱۰، بین ۱۰-۲۰، بین ۲۰-۳۰ و بیشتر از ۳۰ گردد، به ترتیب نشان دهنده صحت عالی، خوب، متوسط و ضعیف در شبیه سازی است.

داده‌های اندازه گیری شده گردد. در روش دیگری که توسط رینالدی و همکاران (Rinaldi et al., 2003) ارائه شد، چنانچه مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال

نتایج

سرعت های نمو فنولوژیک

سرعت های نمو در تیمارهای مختلف آزمایش با استفاده از داده های مربوط به نمو فنولوژیک ثبت شده و به وسیله اجرای برنامه DRATES برای مجموعه داده های واسنجی محاسبه شدند (جدول ۲). با توجه به نتایج بدست آمده سرعت های نمو در تیمارهای آزمایشی برای ارقام و سنین مختلف گیاهچه متفاوت بودند. میانگین سرعت های نمو در مراحل رشد رویشی پایه (DVRJ) و مرحله پر شدن دانه (DVRR) در گیاهچه های جوان تر بیشتر بود و سرعت نمو در مرحله تشکیل خوشه (DVRRP) در گیاهچه های مسن تر بیشتر از گیاهچه های جوان تر بود. نتایج بدست آمده با گزارش پاساکوین و همکاران (Pasuquin et al., 2008) و یافته های کوترا و همکاران (Kotera et al., 2004) مطابقت دارد. هر چند که ارقام زودرس (قائم و طارم) دارای DVRJ و DVRR بیشتری در مقایسه با رقم میان رس فجر بودند. بطور کلی رقم زودرس و بومی طارم در مقایسه با ارقام اصلاح شده فجر و قائم دارای DVRJ و DVRR بالاتر و DVRRP پائین تر بود. خانال (Khanal, 2005) گزارش داد که ارقام زودرس برنج در مقایسه با ارقام دیررس، دارای سرعت نمو بیشتری در مرحله رشد رویشی پایه می باشند. البته سرعت نمو یک خصوصیت ثابت رقم زراعی در شرایط محیطی خاص می باشد، بنابراین می توان از سرعت های نمو محاسبه شده در جدول ۲ در آزمایشات دیگر برای ترکیب رقم و سن گیاهچه خاص (تیمار خاص) استفاده نمود.

مقایسه بین مراحل فنولوژی مشاهده شده و شبیه سازی شده

تفاوت بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده مراحل مختلف فنولوژیک رشد، از جمله زمان آغازش خوشه اولیه، تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک در جدول های ۳ و ۴ ارائه شده است. در خصوص تاثیر سن

گیاهچه بر فنولوژی گیاه برنج و طول دوره رشد آن دو دیدگاه وجود دارد؛ یکی بر پایه تعداد روز بعد از نشاکاری تا زمان رسیدگی و دیگری بر پایه تعداد روز بعد از ظهور گیاهچه در خزانه تا زمان رسیدگی. بر پایه تعداد روز بعد از نشاکاری تا رسیدگی، طول دوره هر یک از مراحل فنولوژیک و نیز کل طول دوره رشد از نشاکاری تا رسیدگی، با نشاکاری گیاهچه های جوان به تاخیر افتاد (جدول ۳). در مقابل، بر اساس تعداد روز بعد از ظهور گیاهچه در خزانه تا رسیدگی، طول دوره هر یک از مراحل فنولوژیک و نیز کل طول دوره رشد از بذrpاشی تا برداشت، با نشاکاری گیاهچه های مسن به تاخیر افتاد (جدول ۴). سنین مختلف گیاهچه، طول دوره زمانی تا رسیدگی محصول را به مدت ۷ تا ۱۰ روز تغییر دادند. نتایج بدست آمده با گزارش های پاتل (Patel, 1999) مطابقت دارد. مدل ORYZA2000 توانست پیش بینی خوبی از مراحل فنولوژی داشته باشد، اما بطور کلی مدل طول دوره رشد را کمتر از مقدار مشاهده شده برآورد کرد. نتایج تجزیه آماری بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده مراحل فنولوژیک در جدول ۵ نشان داده شده است. اختلاف بسیار کمی در مقادیر RMSE بین مراحل مختلف فنولوژی وجود داشت. دامنه مقادیر $RMSE_a$ برای مراحل مختلف فنولوژیک، ۳ تا ۴ روز و مقادیر $RMSE_n$ بین ۴ تا ۶ درصد بدست آمد. نتایج آزمون t نشان داد که بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده متغیرهای فنولوژیک اختلاف معنی داری وجود نداشت. مقادیر بالای R^2 نشان دهنده پراکندگی کم داده ها می باشد. خط ۱:۱ مقادیر برآورد شده و انحراف معیار آن ها برای متغیرهای اندازه گیری شده، در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس مقادیر شبیه سازی شده، بین خطوط $\pm SD$ مقادیر اندازه گیری شده قرار داشتند. البته اکثر مقادیر شبیه سازی شده در طول دوره رشد، کمی پایین تر از خط ۱:۱ بودند که نشان دهنده وضعیت کم

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، مدل ORYZA2000 تحت شرایط تولید بالقوه برای بدست آوردن ضرایب نمو فنولوژیک گیاه برنج در سنن مختلف گیاهچه واسنجی گردید. بر پایه نتایج بدست آمده، نمو گیاه برنج تحت تاثیر سنن مختلف گیاهچه در زمان نشاکاری و نوع رقم برنج قرار

برآوردی مدل (هر چند به میزان کم) است. لی و همکاران (Li et al., 2009) گزارش های زیادی را از کاربرد مدل ORYZA2000 در کشورهای آسیایی مورد بررسی قرار دادند و قابلیت بالای این مدل را برای شبیه سازی مراحل فنولوژیک برنج در شرایط تولید بالقوه تایید نمودند.

جدول ۳- مقایسه بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده فنولوژی بر پایه تعداد روز بعد از نشاکاری در مدل

ORYZA2000

Table 3. Comparison between observed and simulated phenology based on days after transplanting in

ORYZA2000 model

کد تیمار Treatment code	آغازش خوشه اولیه (روز بعد از نشاکاری) Panicle initiation (DAT)		گلدهی Flowering		رسیدگی فیزیولوژیکی Physiological maturity	
	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated
GS1-09	34	30	57	51	83	76
GS2-09	39	35	65	60	88	83
GS3-09	43	40	67	64	90	86
TS1-09	36	33	58	56	85	80
TS2-09	39	36	62	61	89	85
TS3-09	42	40	65	65	91	89
FS1-09	40	39	64	62	92	89
FS2-09	44	42	70	65	96	92
FS3-09	47	46	73	69	99	97

جدول ۴- مقایسه بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده فنولوژی بر پایه تعداد روز بعد از ظهور گیاهچه در خزانه

در مدل ORYZA2000

Table 4. Comparison between observed and simulated phenology based on days after emergence in

ORYZA2000 model

کد تیمار Treatment code	آغازش خوشه اولیه (روز بعد از خروج گیاهچه) Panicle initiation (DAE)		گلدهی Flowering		رسیدگی فیزیولوژیکی Physiological maturity	
	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated
GS1-09	67	63	90	84	116	109
GS2-09	63	59	89	84	112	107
GS3-09	60	57	84	81	107	103
TS1-09	69	66	91	89	118	113
TS2-09	63	60	86	85	113	109
TS3-09	59	57	82	82	108	106
FS1-09	73	72	97	95	125	122
FS2-09	68	66	94	89	120	116
FS3-09	64	63	90	86	116	114

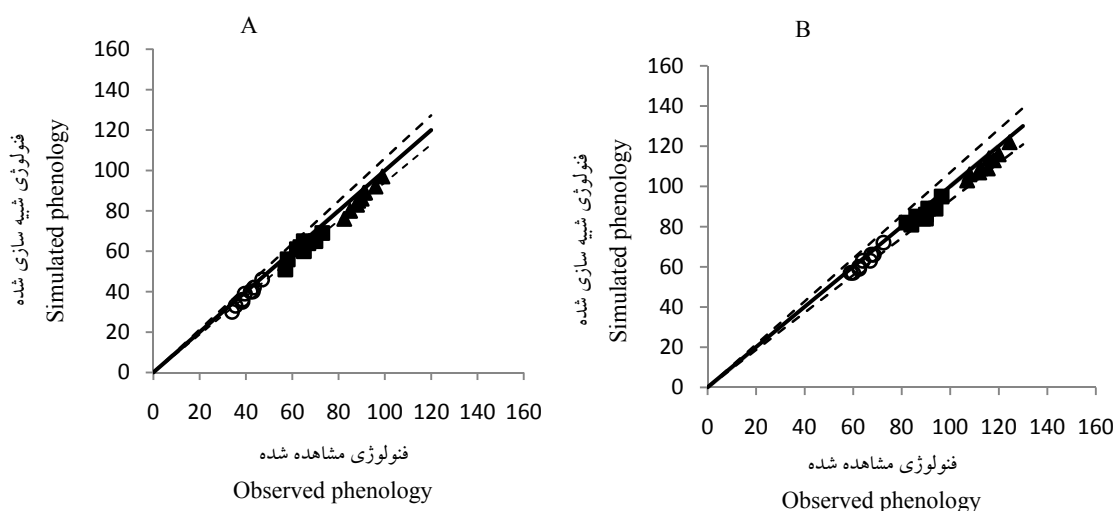
" شبیه سازی مراحل نمو فنولوژیک و....."

جدول ۵- ارزیابی نتایج شبیه سازی مراحل فنولوژیک با استفاده از مدل ORYZA2000 بر اساس مجموعه داده‌های اعتبارسنجی
Table 5. Evaluation results for ORYZA2000 simulations of phonological stages, for the validation data sets

Table 1: Validation results for STN2000 simulations of phenological stages, for the validation data set									
متغیرهای مراحل فنولوژیک گیاه Crop phenology variables	تعداد داده‌های جفت شده Number of data pairs	میانگین مقادیر اندازه گیری شده (انحراف معیار)	میانگین مقادیر شبیه سازی شده (انحراف معیار)	آزمون t P(t*)	شیب خط رگرسیون Slope of linear regression	عرض از مبدا Intercept	ضریب تبیین R ²	جذر میانگین مربعات خطای مطلق	جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده
		Mean of measured Values (standard deviation)	Mean of simulated values (standard deviation)					Absolute root mean square error	Normalized root mean square error (%)
روزهای بعد از ظهور گیاهیچه Days after emergence									
تشکیل خوشه اولیه Panicle initiation	9	65 (4)	63 (5)	0.16*	1.100	-9	0.95	3	4
زمان گلدهی Flowering time	9	89 (5)	86 (4)	0.08*	0.837	11	0.80	4	4
رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity	9	115 (6)	111 (6)	0.09*	0.999	-4	0.93	4	4
روزهای بعد از نشاکاری Days after transplanting									
تشکیل خوشه اولیه Panicle initiation	9	40 (4)	38 (5)	0.15*	1.167	-9	0.96	3	6
زمان گلدهی Flowering time	9	65 (5)	61 (5)	0.12*	0.955	-0.2	0.85	4	6
رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity	9	90 (5)	86 (6)	0.09*	1.226	-24	0.97	4	5

*: Means simulated and observed values are the same at 5% probability level

°: مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند



شکل ۲- مراحل فنولوژیک شبیه سازی شده و مشاهده شده برای زمان آغازش خوشه اولیه (○)، گلدهی (■)، و رسیدگی فیزیولوژیکی (▲)؛ خطوط پر نشان دهنده رابطه ۱:۱ می باشند؛ خطوط منقطع انحراف معیار نسبت به خط ۱:۱ می باشند. A: روزهای بعد از نشاکاری. B: روزهای بعد از خروج گیاهچه

Fig. 2. Simulated versus observed phenological stages for panicle initiation (○), flowering (■) and physiological maturity (▲), for the growing season of 2009 (validation set); Solid lines are the 1:1 relationship; broken lines are plus and minus standard deviation around the 1:1 line as derived from a data set using variety-seedling ages combination. A: Days after transplanting; B: Days after emergence

بیشتر از گیاهچه‌های جوان تر بود. این موضوع بر خلاف رابطه بین سن گیاهچه و شوک نشاکاری در مدل ORYZA2000 است، زیرا در این مدل ضرایب بدست آمده برای شوک نشاکاری از سیستم خزانه‌گیری سنتی بدست آمده بودند که کندن گیاهچه‌ها از خزانه باعث قطع بخش‌های زیادی از ریشه گیاهچه‌ها و افزایش شوک نشاکاری، به خصوص در گیاهچه‌های مسن، می‌گردد. بنابراین در این تحقیق از ضرایب محاسبه شده برای شوک نشاکاری استفاده و مدل بر اساس ضرایب تغییر یافته واسنجی و ارزیابی گردید و مدل توانست پیش‌بینی بسیار خوبی از مراحل فنولوژیک ارقام در سنین مختلف گیاهچه داشته باشد. بر پایه نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد که مدل ORYZA2000 می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای انتخاب راهکار مناسب قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای از جمله آزمون‌های

گرفت. این رابطه از دو دیدگاه قابل بحث است. اول اینکه کل طول دوره رشد گیاه برنج از بذرپاشی در خزانه تا رسیدگی دارای رابطه مثبت با سن گیاهچه در زمان نشاکاری می‌باشد. در مقابل، طول دوره رشد گیاه برنج از نشاکاری تا رسیدگی با سن گیاهچه رابطه عکس دارد (جدول‌های ۳ و ۴). با توجه به استفاده از خزانه نشای جعبه‌ای و عدم خسارت به ریشه گیاهچه‌ها در زمان نشاکاری برنج (در مقایسه با خزانه‌های سنتی)، میزان شوک نشاکاری با سن گیاهچه رابطه عکس داشته و زمان شروع نمو بعد از نشاکاری در گیاهچه‌های مسن تر زودتر از گیاهچه‌های جوان بود، اگرچه در اواسط مرحله پنجه زنی سرعت ظهور پنجه‌ها در گیاهچه‌های جوان بیشتر از گیاهچه‌های مسن بود. ساساکی (Sasaki, 2004) گزارش نمود که تعداد ریشه‌های خارج شده در ۸ روز بعد از نشاکاری در گیاهچه‌های مسن تر پرورش یافته در خزانه‌های جعبه‌ای

IRRI) برای تهیه نرم افزار مدل ORYZA2000 تشکر می کنند. این تحقیق با حمایت و پشتیبانی مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز انجام شده است که بدینوسیله از آقای مهندس رعیت پناه ریاست محترم مرکز و آقای مهندس سید جلال حسینی کارشناس گروه زراعت سپاسگزاری می شود.

سازگاری و انتخاب ارقام، تعیین مناسب ترین فنولوژی و یافتن تیپ ایده آل برنج برای اقلیم ها و مناطق مختلف برنجکاری کشور مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان از دکتر بومن (Bouman, B. A. M.) و همکاران ایشان در موسسه بین المللی تحقیقات برنج

References

منابع مورد استفاده

- Amiri, E. and M. Rezaei. 2009. Testing the modeling capability of ORYZA2000 under water-nitrogen limit condition in northern Iran. World Appl. Sci. J. 6: 1113-1122.
- Arora, V. K. 2006. Application of a rice growth and water balance model in an irrigated semi-arid subtropical environment. Agric. Water Manage. 88: 51-57.
- Ashraf, M., A. Khalid and K. Ali. 1999. Effect of seedling age and density on growth and yield of rice in saline soil. Pak. J. Biol. Sci. 2: 860-862.
- Boling, A., B. A. M. Bouman., T. P. toung., M. V. R. Murty and S. Y. Jatmico. 2007. Increasing rainfed rice productivity in centreal java, Indonesia: A modeling approach using ORYZA2000. Agric. Sys. 92: 115-139.
- Bouman, B. A. M. and H. H. Van Laar. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. Agric. Sys. 3: 249-273.
- Bouman, B. A. M., M. J. Kropff., T. P. Tuong., M. C. S. Wopereis., H. F. M. Ten Berge and H. H. Van Laar. 2001. ORYZA2000: Modelling Lowland Rice. International Rice Research Institute, Wageningen University and Research Centre, Los Banos, Philippines, Wageningen, The Netherlands.
- Bouman, B. A. M., H. Van Keulen., H. H. Van Laar and R. Rabbinge. 1996. The School of de Wit crop growth simulation models: pedigree and historical overview. Agric. Sys. 52: 171-198.
- Feng, L., B. A. M. Bouman, T. P. Tuong., R. J. Cabangon., Y. Li., G. Lu and Y. Feng. 2007. Exploring options to grow rice under water-short condition in northern China using a modeling approach. I: Field experiments and model evaluation. Agric. Water Manage. 88: 1-13.
- Gao, L., Z. Jin., Y. Huang and L. Zhang. 1992. Rice clock model-a computer model to simulate rice development. Agric. Forest Meteor. 60: 1-16
- Huang, Y., L. Gao., Z. Jin, and H. Chen. 1998. Simulating the optimal growing season of rice in the Yangtze River Valley and its adjacent area, China. Agric. Forest Meteor. 91: 251-262.
- JICA. 1993. The feasibility study on the irrigation and drainage development project in the HARAZ river basin. Japan International Cooperation Agency. Islamic Republic of Iran, Ministry of Agriculture.
- Khanal, R. R. 2005. Phyllochron and leaf development in field grown rice genotypes under varying thermal

- environments of a high altitude cropping system. MSc. Thesis. Univ. of Zu Bonn. Germany.
- Kotera, A., E. Nawata., P. Chuong., N. N. Giao. and T. Sakuratani. 2004.** A model for phenological development of Vietnamese rice influenced by transplanting shock. *Plant Prod. Sci.* 7: 62–69.
- Kropff, M. J., H. H. Van Laar and R. B. Matthews. 1994.** ORYZA1: an ecophysiological model for irrigated rice production. SARP Research Proceedings, IRRI/AB-DLO, Wageningen, The Netherlands.
- Li, T., B. A. M. Bouman. and A. Boling. 2009.** The calibration and validation of ORYZA2000. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- Nakagawa, H. and T. Horie. 1995.** Modeling and prediction of developmental process in rice. II. A model for simulation panicle development based on daily photoperiod and temperature. *Jpn. J. Crop Sci.* 64: 33-42.
- Pasuquin, E., T. Lafarge and B. Tubana. 2008.** Transplanting young seedling in irrigated rice fields: Early and high tiller production enhanced grain yield. *Field Crops Res.* 105: 141-155.
- Patel, J. R. 1999.** Response of rice (*Oryza sativa*) to time of transplanting, spacing and age of seedlings. *Indian J. Agron.* 44: 344–346.
- Rinaldi, M., N. Losavio and Z. Flagella. 2003.** Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. *Agric. Sys.* 78: 17-30.
- Ritchie, J. T., E. C. Alocilja, U. Singh and G. Uehara. 1987.** IBSNAT and the CERES-Rice model. In Proceedings of the workshop on impact of weather parameters on growth and yield of rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. 271-281.
- Salam, M. U., P. R. Street and J. G. W. Jones. 1994.** Potential production of Boro rice in the Haor Region of Bangladesh. Part1. The simulation model, validation and sensitivity analysis. *Agric. Sys.* 46: 257-258.
- Sasaki, R. 2004.** REVIEW: Characteristics and Seedling Establishment of Rice Nursling Seedlings. *JARQ*, 38(1) 7 – 13.
- Singh, R. S. and B. Singh. 1998.** Response of rice (*Oryza sativa*) to age of seedlings and level and time of application of nitrogen under irrigated condition. *Indian J. Agron.* 43: 632–635.
- Wikarmpapraharn, C. and E. Kositsakulchai. 2010.** Evaluation of ORYZA2000 and CERESS-Rice models under potential growth condition in the central plain of Thailand. *Thai. J. Agric. Sci.* 43(1) 17-29.
- Yin, Xinyou., P. C. Struik, J. Tang, Ch. Qi and T. Liu. 2005.** Model analysis of flowering phenology in recombinant inbred lines of barley. *J. Exp. Bot.* 56(413): 959-965.

Simulation of phonological development and growth duration of three rice cultivars at different seedling ages using ORYZA2000 model

Amiri Larijani, B.¹, Z. Tahmasebi Sarvestani², Gh. A. Nematzadeh³, E. Amiri⁴
and M. Esfahani⁵

ABSTRACT

Amiri Larijani B., Z. Tahmasebi Sarvestani, Gh. A. Nematzadeh, E. Amiri and M. Esfahani. 2011. Simulation of phonological development and growth duration of three rice cultivars at different seedling ages using ORYZA2000 model. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 13 (3):466-480. (In Persian).

Simulation models are very useful for prediction of rice phonological stages and crop adaptation to different agroecological systems. The objective of this study was to calibrate and validate the ORYZA2000 model under optimum production conditions for simulating and quantifying of the phonological development and crop duration of three rice cultivars as influenced by different seedling ages to improve crop management in rice growing areas of Iran. To calibrate crop parameters and validate of ORYZA2000, field experiments were carried out in Haraz Center for Development and Extension of Technology, Iran, during the 2008 and 2009 growing seasons. The experiment was conducted as a split plot arrangement in randomized complete block design with 3 replications. Main plots were three rice cultivars, Tarom, Fajr and Ghaem1, and Sub plots were three seedling ages consisted of seedlings 17, 24 and 33 days old. Observed crop data set were collected from the first year field trial for crop parameter estimation in ORYZA2000 and those from the second year for model validation. The ORYZA2000 model, with range of absolute RMSE values between 3-4 days, had high accuracy for prediction of different phonological stages of rice cultivars. Considering appropriate ability of ORYZA2000 model in simulation of phonological stages of rice cultivars, it can be used as an appropriate tool for programming of paddy field management and appropriate decision support system for adaptation trials of improved and introduced rice cultivars in different agro- climatic regions.

Key words: ORYZA2000 model, Phenology, Rice, Seedling age and Simulation.

Received: November, 2010 Accepted: February, 2011

1- Ph.D student, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Associate Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (Corresponding author) (Email: tahmaseb@modares.ac.ir)

3- Professor, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Assistant Prof., Lahijan branch, Islamic Azad University, Iran

5- Associate Prof., University of Guilan, Rasht, Iran