

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 سروستانی^۲، قربانعلی نعمت زاده^۳، ابراهیم امیری^۴ و مسعود اصفهانی^۵

چکیده

امیری لاریجانی، ب.، ز. طهماسبی سروستانی، 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): ۴۸۰-۴۶۶.

استفاده از مدل های شبیه سازی در پیش بینی صحیح مراحل فنولوژی گیاه برنج و تعیین سازگاری این گیاه با سیستم های اگرواکولوژیک، 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 آزمایش مزرعه ای در دو سال زراعی ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ در مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هزار آزمایش بصورت کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با ۹ تیمار و ۳ تکرار انجام گرفت. این آزمایش بصورت طارم، فجر و قائم 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 دکترای زراعت دانشگاه تربیت مدرس و عضو گروه تکنولوژی زراعی مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هزار
- ۲- دانشیار داشکده 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 داشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان
- ۵- دانشیار داشکده کشاورزی دانشگاه گیلان

مهم و تاثیر گذار در پذیرش ارقام جدید، دستیابی به عملکرد قابل قبول، افزایش بهره وری، کاهش ضایعات و تداوم کشت آنها می‌باشد. از این‌رو 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 می‌باشد. بطور کلی روش کشت نشاکاری باعث تاخیر نمو فنولوژیک در برنج می‌شود. تاخیر در گلدهی در اثر نشاکاری و تغییر پذیری آن بعنوان تابعی از سن گیاهچه در زمان نشاکاری، پدیده شوک نشاکاری نام دارد. میزان اثر گذاری 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 گیاهچه‌های مسن‌تر در اثر کندن از خزانه صدمه بیشتری می‌بینند و رسیدگی آنها به تاخیر می‌افتد (Singh and Singh, 1998; Ashraf *et al.*, 1999). گزارش شده است که بوته‌های حاصل از گیاهچه‌های جوان‌تر (۲۰-۱۰ روزه) قادر هستند که چرخه زندگی خود را ۵ تا ۹ روز سریع‌تر طی کرده و زودتر از گیاهچه‌های 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 می‌کند، کمی کردن دقیق مراحل نمو فنولوژیک برای هر یک از مدل‌های شبیه سازی رشد ضروری است. امروزه استفاده از روش‌های مدل سازی و شبیه سازی مراحل رشد و نمو، به عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت بهینه گیاهان زراعی در سراسر جهان شناخته شده‌اند (Bouman *et al.*, 1996). اگر چه مدل‌های شبیه سازی مختلفی برای پیش‌بینی فنولوژی برنج توسعه یافته‌اند (Nakagawa and Horie, 1995; Huang *et al.*, 1998)

مقدمه

گیاه برنج با سطح زیر کشت حدود ۶۰۰۰۰۰ هکتار و مصرف سرانه ۳۸ تا ۴۲ کیلو گرم از نظر اهمیت بعد از گندم دومین غله مهم خوارکی کشور می‌باشد. نواحی ساحلی دریای خزر بویژه دو استان مازندران و گیلان بیش از ۷۰ درصد از سطح زیر کشت برنج را به خود اختصاص می‌دهند. فصل رشد مطلوب گیاه برنج در این نواحی به دلیل بارندگی‌های سنگین، کاهش مقطوعی دمای هوا و پایین بودن تعداد ساعت‌آفتابی و شدت تابش، محدود می‌باشد (JICA, 1993).

فنولوژی و طول دوره رشد گیاه برنج از عوامل عمده تعیین کننده تناسب زراعی و اکولوژیک ارقام برنج در منطقه مورد کشت می‌باشد (Yin *et al.*, 2005). پیش‌بینی صحیح مراحل فنولوژی گیاه زراعی برای بهینه سازی فعالیت‌های مدیریتی در مزرعه و سازگاری بهتر تقویم زراعی با سیستم‌های اگرواکولوژیک خاص، بسیار مهم می‌باشد (Khanal, 2005). فاصله زمانی کاشت تا گلدهی یکی از خصوصیات مهم برای پیش‌بینی عملکرد و دستیابی به عملکرد بالقوه گیاهان زراعی از جمله برنج در مناطق مختلف می‌باشد. متخصصان مدل سازی گیاهان زراعی اقدام به ارائه فرمول‌های کمی اکوفیزیولوژی برای تشریح پاسخ‌های فتوترمال فنولوژی نموده‌اند تا بتوانند زمان گلدهی ژنتیکی‌های مختلف گیاهان زراعی را در شرایط متفاوت محیطی و اقلیمی پیش‌بینی نمایند (Yin *et al.*, 2005).

به نژادی، اصلاح و معرفی ارقام جدید برنج با اهداف مختلفی انجام می‌گیرد، در حالی که بررسی سازگاری ارقام اصلاح شده به مناطق و محیط‌های مختلف اقلیمی، اجرای آزمون‌های سازگاری را برای تعیین مناطق مناسب کشت ارقام جدید و مشخص کردن مناسب‌ترین فنولوژی محصول اجتناب ناپذیر می‌نماید. انطباق طول دوره رشد ارقام اصلاح شده جدید با مناطق تحت کشت، همواره یکی از مباحث

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).

نموفنولوژیک

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 فیزیولوژیک و مورفولوژیک 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 گیاهچه (کد = صفر)، آغازش خوش اولیه (کد = ۰.۶۵)، گلدهی (کد = ۱)، و رسیدگی فیزیولوژیک (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، ساعت روشناختی القا کننده گلدهی می باشد. زمانی که تعداد روزهای سرد متواالی 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

(Ritchie *et al.*, 1987) تنها تعداد کمی از آنها مانند CERES-Rice, (Kropff *et al.*, 1994) ORYZA1, (Salam *et al.*, 1994) RIBHAB نشاکاری را که از سن گیاهچه برآورد شده مورد توجه قرار داده و بر اساس درجه روز - رشد در طی دوره پرورش گیاهچه 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 (Bouman *et al.*, 2001) منتشر شد ORYZA2000

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 پارامتر های مدیریتی، رشد و نمو و مراحل فنولوژی گیاه برنج برآورد می شود. بونم 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

نحوه مراحله القای خوش می باشد. (۳) مرحله تشکیل خوش (PFP; Panicle Formation Phase) که از آغازش خوش 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 تلقيق 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 مناسب است. تفاوت بین ارقام زراعی در کل طول دوره رشد معمولاً بعلت اختلاف در طول دوره رشد رویشی پایه بیش از سایر مراحل رشد می باشد.

در برنج نشایی، به علت پدیده "شوک 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 "شوک نشاکاری" بطرف شده باشد. کراف و همکاران (Kropff *et al.*, 1994) یک رابطه خطی بین دوره شوک 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 یان 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 نیافتداده است. شبیه سازی مدل در زمان ظهور گیاهچه آغاز می شود و سرعت و چگونگی نمو را محاسبه می کند. در زمان نشاکاری، شوک 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، شوک نشاکاری وجود نداشته و روند رشد

زمانی مورد نیاز برای تکمیل یک واحد نمو می باشد (Bouman *et al.*, 2001). درجه حرارت های اصلی یا کار دینال 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 HUH ، $^{\circ}\text{Cd h}^{-1}$ بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\begin{aligned} T_d < T_{\text{base}}, T_d > T_{\text{high}} : HUH &= 0 \\ T_{\text{base}} < T_d < T_{\text{opt}} : HUH &= (T_d - T_{\text{base}})/24 \\ T_{\text{opt}} < T_d < T_{\text{high}} : HUH &= [T_{\text{opt}} - (T_d - T_{\text{opt}}) \times (T_{\text{opt}} - T_{\text{base}})/(T_{\text{high}} - T_{\text{opt}})]/24 \end{aligned} \quad (2)$$

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 واحد های 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 واحد های 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 کولئوپتیل ($DVS=0$) 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 (PSP; Photo-Sensitive Phase) که از انتهای BVP تا آغاز خوش می شود، زمانی که گیاه زراعی بطور مستقیم کشت (Panicle Initiation) می شود، شوک 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 مزرعه در مناطق برنجکاری کشور بوده است.

مواد و روش‌ها

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 (Arora, 2006)، هند (Bouman and Van Laar, 2006) (Feng et al., 2007)، چین (Boling et al., 2007) و ایران (Amiri and Rezaei, 2009) اشاره کرد. ویکارمپراهارن و کوسیتساکولچای (Wikarmpapraharn and Kositsakulchai., 2010) مدل های CERES-Rice و ORYZA2000 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 عنوان 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

Rice cultivar	Rice cultivar	Seedling age (days)	Treatment's code		کد تیمار
			۱۳۸۷	۱۳۸۸	
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

(Bouman and van laar, 2006) ولی 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 داده‌های هواشناسی، فایل داده‌های آزمایشی و فایل داده‌های 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 داده‌های بدست آمده از آزمایش مزرعه‌ای سال ۱۳۸۷ به عنوان مجموعه داده‌های مورد نیاز برای واسنجی مدل استفاده گردید. سرعت نمو گیاه زراعی (DVR) در مراحل مختلف فنولوژی، ضرایب تسهیم مواد فتوستنتزی، سطح ویژه برگ (SLA)، سرعت مرگ و میر برگ و کسر ذخایر ساقه از بهترین مشخصات و خصوصیات برای واسنجی شرایط محیطی و رقم می‌باشند 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 خوش اولیه و مرحله پرشدن دانه. ماده خشک تولید شده بوسیله گیاه زراعی بین اندام‌های هوایی و ریشه‌ها بر پایه ضرایب تسهیم تعریف شده تقسیم می‌شوند که تابعی از مرحله نمو فنولوژیک می‌باشد. مواد فتوستنتزی موجود در اندام‌های هوایی بین بخش‌های مختلف گیاهی از جمله برگ‌ها، ساقه‌ها و اندام‌های ذخیره‌ای (خوش و دانه) تقسیم می‌شود. سطح ویژه برگ یا ضخامت برگ عبارتست از نسبت سطح برگ‌ها در واحد وزن. سرعت رشد نسبی برگ عبارت است 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 می‌باشد. کسر ذخایر ساقه، عبارتست از مقدار مواد فتوستنتزی (نشاسته و قند) که در ساقه (ساقه و غلاف

با سه تاریخ مختلف بذرپاشی در خزانه و نشاکاری همزمان بدست آمدند. برای هر تاریخ بذرپاشی، بذور جوانه دار شده در جعبه‌های پلاستیکی با ابعاد $۳۰ \times ۳۰ \times ۶۰$ سانتیمتر به مقدار ۱۰۰ گرم در هر جعبه به فاصله زمانی ۸ تا ۹ روز بذرپاشی شده و گیاهچه‌ها در جعبه‌های نشا پرورش یافته‌ند. گیاهچه‌ها با سنین مختلف در سال اول در تاریخ ۱۳/۱۳/۸۸ در کرت‌هایی به ابعاد $۴ \times ۳ \times ۱۶$ سانتیمتر و به تعداد یک گیاهچه در هر کپه نشاکاری شدند.

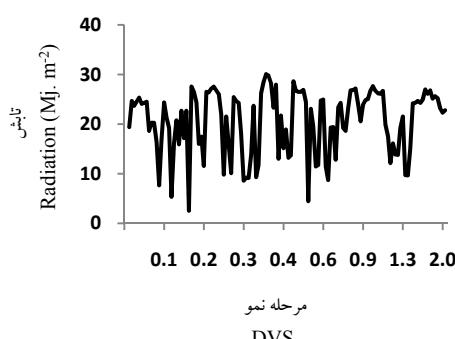
با توجه به اینکه آزمایش در شرایط تولید بالقوه اجرا گردید، از بروز هر گونه تنفس عناصر غذائی و تنفس خشکی احتساب شده و در سراسر طول دوره رشد، مزرعه عاری از هر گونه آفت، بیماری و علف‌های هرز نگهداری شد. مقادیر کود مصرفی بر اساس توصیه‌های فنی برای هر یک از ارقام و با هدف تامین نیاز غذائی ارقام برنج در طول دوره فصل رشد به صورت پایه و سرک مصرف شدند. در هر دو سال آزمایش تاریخ‌های بذرپاشی، نشاکاری، آغازش خوش اولیه، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک ثبت شدند. در تمامی طول دوره رشد از بذرپاشی در خزانه تا برداشت، اطلاعات هواشناسی روزانه شامل درجه حرارت حداقل و حداقل‌های روزانه، 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 حداقل و حداقل، ریزش باران و تابش خورشیدی در سال‌های 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 پائین‌تر، بارندگی بیشتر و دمای هوا کمتر از سال اول آزمایش (۱۳۸۷) بود (شکل ۱؛ a,b).

داده‌های ورودی و واسنجی مدل
واسنجی مدل با استفاده از روش بومن و ون لار

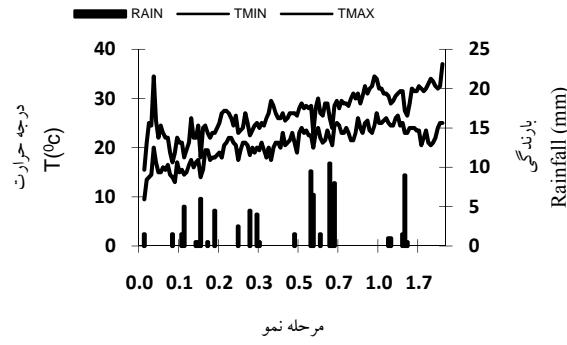
واسنجی مدل در این آزمایش استفاده گردید، شوک نشاکاری برای نمو فنولوژیکی بود. برای هر یک از نه مجموعه از مدل‌های اجرایی در این آزمایش، مقادیر شوک نشاکاری (تاخیر نمو در واحد سن گیاهچه بر پایه درجه-روز) بر اساس مجموعه داده‌های مزرعه‌ای سال ۱۳۸۷ برای هر نه تیمار محاسبه و مقادیر بدست آمده در فایل خصوصیات گیاهی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

برگ) تجمع می‌یابد و در طول مدت رسیدگی و پرشدن دانه به اندام‌های ذخیره‌ای (دانه‌ها) انتقال یا انتقال مجدد می‌یابد. این پارامترهای گیاهی از داده‌های آزمایشی تحت شرایط تولید پتانسیل در مزرعه بدست آمدند. سرعت‌های نمو با استفاده از تاریخ‌های ثبت شده در مراحل مختلف فنولوژی (ظهور گیاهچه، نشاکاری، آغاز خوش 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

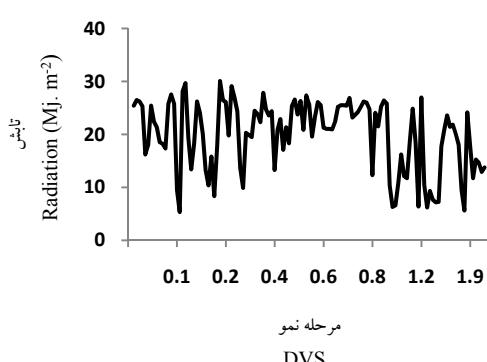
a



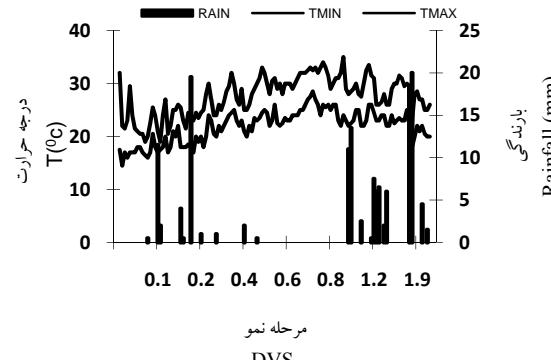
b



c



d



شکل ۱- تغییرات درجه حرارت حداقل و حداقل هوا، بارندگی و تابش خورشیدی محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۸۸ (a,b) و سال ۱۳۸۹ (c,d) در طول دوره رشد برج

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)

شبیه سازی شده و اندازه گیری شده گردید. از نمودار پراکنش داده های 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 متغیر های مشابه، شبیه خط (α)، عرض از مبدأ (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 (RMSE_a) و ریشه میانگین مربعات خطای مطلق (RMSE_t) (P) و نرمال شده (Root Mean Square Error_{absolute}) (Root Mean Square Error_{normalized}) (RMSE_n) نیز بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده، بر اساس روابط زیر محاسبه شد.

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

$$\text{RMSE}_n = 100 \times \text{RMSE}_a / \sum X_i \quad (5)$$

که در آن n تعداد مشاهدات است. یک مدل زمانی می تواند بهترین پیش بینی و باز تولید داده های آزمایشی را داشته باشد که α مساوی ۱، و 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

تولید بالقوه به معنای تامین مقدار کافی و مورد نیاز آب و نیتروژن و نیز عدم وارد شدن خسارت آفات و بیماری ها می باشد (Li et al., 2009). پارامتر های 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 داده های سال اول آزمایش (داده های واسنجی) و نیز سال دوم آزمایش (داده های اعتبار سنجی) 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 می تواند باعث افزایش سطح اطمینان در پایداری مدل برای هدفی خاص گردد. ترکیبی از نمایش گرافیکی و اندازه گیری های آماری برای ارزیابی کارایی مدل مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس روش های توسعه یافته، توسط بومن و ون لار (Bouman and Van Laar, 2006) در این آزمایش نیز اقدام به مقایسه گرافیکی مقادیر

جدول ۲- سرعت های نمو فنولوژی محاسبه شده تیمارهای آزمایشی برای واسنجی و اعتبار سنجی مدل ORYZA2000

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

کد Code	DVRJ $(^{\circ}\text{Cd})^{-1}$	DVRI $(^{\circ}\text{Cd})^{-1}$	سرعت نمو در مرحله حواس س مرحله حساس به طول روز	مرحله نمو خوش DVRP $(^{\circ}\text{Cd})^{-1}$	مرحله پر شدن دانه 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 صحبت عالی، خوب، متوسط و ضعیف در شبیه سازی است.

داده های 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

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 بذرپاشی 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 ORYZA2000 (Patel, 1999) مطابقت دارد. مدل DVRJ و DVRR (Kotera et al., 2004) مطابقت دارد. هر چند DVRR 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 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.

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 خوش (DVRP) 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 DVRR 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 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 خوش اولیه، تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک در جدول های ۳ و ۴ ارائه شده است. در خصوص تاثیر سن

بحث و نتیجه‌گیری

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

برآورده مدل (هر چند به میزان کم) است. لی و همکاران (2009) (Li et al., 2009) گزارش‌های زیادی را از کاربرد مدل ORYZA2000 در کشورهای آسیایی مورد بررسی قرار دادند و قابلیت بالای این مدل را برای شبیه‌سازی 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	آغاز خوشة اولیه (روز بعد از نشاکاری) Panicle initiation (DAT)			گلدهی Flowering			رسیدگی فنیزیولوژیکی Physiological maturity	
	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	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 ظهرور گیاهچه در خزانه در مدل ORYZA2000

Table 4. Comparison between observed and simulated phenology based on days after emergence in ORYZA2000 model

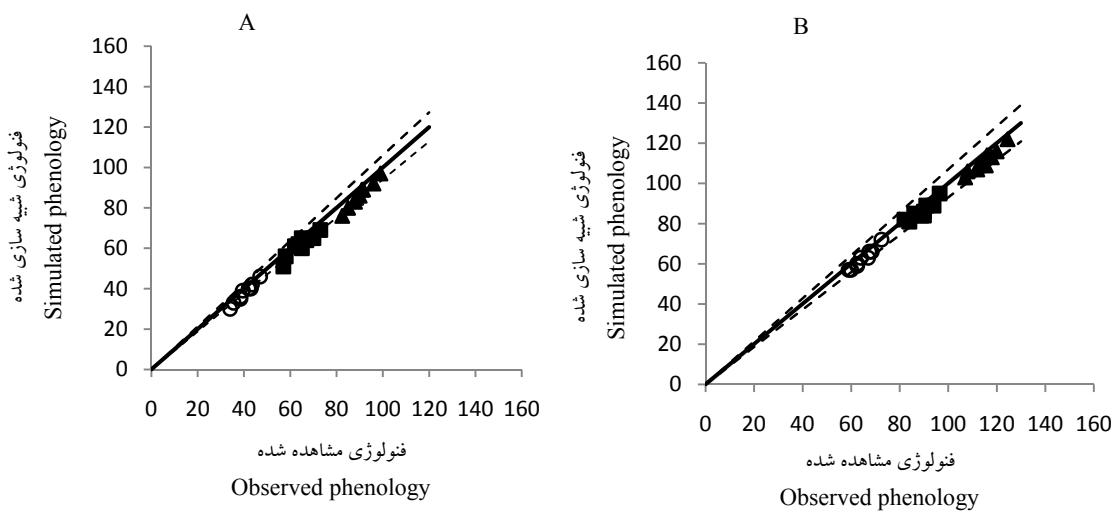
کد تیمار Treatment code	آغاز خوشة اولیه (روز بعد از خروج گیاهچه) Panicle initiation (DAE)			گلدهی Flowering			رسیدگی فنیزیولوژیکی Physiological maturity	
	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	
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		

جدول ۵- ارزیابی نتایج شیوه 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

متغیرهای مراحل فنولوژیک گیاه Crop phenology variables	تعداد داده‌های جفت شده Number of data pairs	میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده (انحراف معیار) Mean of measured Values (standard deviation)		میانگین مقادیر شیوه سازی شده (انحراف معیار) Mean of simulated values (standard deviation)		شیب خط رگرسیون آزمون t Slope of linear regression			جذر میانگین مربوطات خطای مطلق خطای نرمال شده Normalized root mean square error (%)	
						عرض از مبدأ Intercept	R ²			
				P(t*)						
Days after emergence روزهای بعد از ظهرور گیاهجه										
Panicle initiation	9	65 (4)		63 (5)	0.16*	1.100	-9	0.95	3	4
Flowering time	9	89 (5)		86 (4)	0.08*	0.837	11	0.80	4	4
Physiological maturity	9	115 (6)		111 (6)	0.09*	0.999	-4	0.93	4	4
Days after transplanting روزهای بعد از نشاکاری										
Panicle initiation	9	40 (4)		38 (5)	0.15*	1.167	-9	0.96	3	6
Flowering time	9	65 (5)		61 (5)	0.12*	0.955	-0.2	0.85	4	6
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 شیوه سازی شده در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند



شکل ۲- مراحل فنولوژیک شبیه سازی شده و مشاهده شده برای زمان آغازش خوش 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 phonological 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 گیاهچه های 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 خزانه گیری سنتی بدست آمده بودند که کندن گیاهچه ها از خزانه باعث قطع بخش های زیادی از ریشه گیاهچه ها و افزایش شوک نشاکاری، به خصوص در گیاهچه های مسن، می گردد. بنابراین در این تحقیق از ضرایب محاسبه شده برای شوک نشاکاری استفاده و مدل بر اساس ضرایب تغییر یافته و انسنجی و ارزیابی گردید و مدل توانست پیش بینی بسیار خوبی از مراحل فنولوژیک ارقام در سینه مختلف گیاهچه داشته باشد. بر پایه نتایج بدست آمده به نظر می رسد که مدل ORYZA2000 می تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای انتخاب راهکار مناسب قبل از انجام آزمایشات مزرعه ای از جمله آزمون های

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 می باشد. در مقابل، طول دوره رشد گیاه برنج از نشاکاری تا رسیدگی با سن گیاهچه رابطه عکس دارد (جدول های ۳ و ۴). با توجه به استفاده از خزانه نشای جعبه ای و عدم خسارت به ریشه گیاهچه ها در زمان نشاکاری برنج (در مقایسه با خزانه های سنتی)، میزان شوک نشاکاری با سن گیاهچه رابطه عکس داشته و زمان شروع نمو بعد از نشاکاری در گیاهچه های مسن تر زودتر از گیاهچه های جوان بود، اگرچه در اواسط مرحله پنجه زنی سرعت ظهور پنجه ها در گیاهچه های جوان بیشتر از گیاهچه های مسن بود. ساساکی (Sasaki, 2004) گزارش نمود که تعداد ریشه های خارج شده در ۸ روز بعد از نشاکاری در گیاهچه های مسن تر پرورش یافته در خزانه های جعبه ای

(IRRI) برای تهیه نرم افزار مدل ORYZA2000 تشکر می کند. این تحقیق با حمایت و پشتیبانی مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هزار 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

نویسنده گان از دکتر بومان (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 central 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 Meteorol.* 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 Meteorol.* 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. Agic. 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.** Potentioal production of Boro rice in the Haor Region of Bangladesh. Part1. The simulation model, validation and sensitivity analysis. Agic. 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: Februray, 2011

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

2- Associate Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (Corresponding author) (Email: talmaseb@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