

مدل سازی واکنش سرعت جوانه زنی ژنوتیپ‌های مختلف برنج نسبت به دما

حسین صبوری^۱، عاطفه صبوری^۲ و احمدرضا دادرسی^۳

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشجوی دکتری اصلاح نباتات گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۷)

چکیده

مراحل جوانه‌زنی و سبز شدن از حساس‌ترین مراحل زندگی گیاه می‌باشند، زیرا در این مرحله بذر در معرض عوامل نامساعد محیطی قرار دارد و استقرار بوته با مشکل مواجه می‌شود. بنابراین پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی یکی از مهمترین اهداف محققین علوم مدل‌سازی است. در این راستا روش‌های ریاضی از جمله تعیین بهترین تابع رگرسیونی که بتواند واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما را کمی نموده و دماهای کاردینال را برآورد نماید، می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی در مورد ویژگی‌ها و نیازهای دمایی گیاه در این مرحله بدست دهد. پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از شش رقم برنج شامل بینام، هاشمی، عنبربو (محلی)، دشت، گیل ۳ (اصلاح شده) و IR64 (خارجی) و ۱۹ سطح دمایی در دامنه ۱۲ تا ۴۸ درجه سانتی‌گراد با فاصله دو درجه از هم در سال ۱۳۸۹ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مختلف برنج و اثر متقابل ژنوتیپ × دما، اختلاف معنی‌داری از لحاظ سرعت جوانه‌زنی بذرها وجود دارد. جهت توصیف رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما از مدل‌های بتا، درجه دوم، منحنی، دندان مانند و دو تکه‌ای استفاده شد. معیارهای مختلف ارزیابی برازش مدل نشان دادند که دقت مدل‌های مختلف متفاوت می‌باشد، به طوری که مدل برتر برای رقم هاشمی مدل دو تکه‌ای، برای دشت و گیل ۳ مدل بتا، برای عنبربو و IR64 مدل منحنی و برای بینام مدل‌های بتا و منحنی بودند. بر اساس یافته‌های حاصل از این پژوهش می‌توان از مدل‌های فوق برای پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی بذرها و همچنین مدل‌سازی ارقام برنج مورد مطالعه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: برنج، دماهای کاردینال، سرعت جوانه‌زنی، مدل‌سازی.

مقدمه

یکی از بحرانی‌ترین مراحل زندگی گیاهان زراعی مرحله جوانه‌زنی و سبزشدن است. چون در این مرحله بذر در معرض بسیاری از عوامل نامساعد محیطی قرار دارد و استقرار بوته در مزرعه دچار مشکل می‌شود (Albuquerque *et al.*, 2003). یکی از عوامل تعیین کننده میزان استقرار گیاهچه‌ها در شرایط نامساعد محیطی مانند دمای نامطلوب، جوانه‌زنی زود، سریع و یکنواخت بذور است (Brar *et al.*, 1991; Soltani *et al.*, 2002). یک رابطه مثبت بین دمای هوا و خاک در زمان کاشت و استقرار نهایی بوته‌ها وجود دارد (Yant *et al.*, 1983). پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی و سبزشدن در دماهای مختلف یکی از مهمترین اهدافی است که توسط محققین دنبال می‌شود (Forcella, 1993; Harvey and Forcella, 1993). پاسخ به این سؤال که سرعت جوانه‌زنی در بین درجه حرارت‌های حداقل، بهینه و حداکثر از چه تابع رگرسیونی پیروی می‌کند می‌تواند ما را در رساندن به چنین پرسش‌هایی کمک کند. رابطه بین درصد جوانه‌زنی در برابر زمان و دما بصورت سیگموئیدی است که از این رابطه می‌توان برای بدست آوردن مقدار عددی سرعت جوانه‌زنی و سایر متغیرهای مرتبط با آن در آزمایش تعیین سرعت جوانه‌زنی استفاده کرد.

تاکنون گزارش‌های متعددی در زمینه مدل‌های رگرسیونی خطی غیر خطی تخمین زننده درصد جوانه‌زنی و سبزشدن برای گیاهان مختلف گزارش شده است. کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2006) دماهای کاردینال برای جوانه‌زنی در سه گونه ارزن را با استفاده از مدل رگرسیونی غیر خطی و برازش داده‌های جوانه‌زنی تجمعی در برابر دما (دامنه ۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد) تعیین نمودند. دومور و همکاران (Dumur *et al.*, 1990) از مدل غیر خطی دو تکه‌ای برای برآورد زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی استفاده نمودند که این کار از طریق درون‌یابی انجام شد. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2009) برای شبیه‌سازی ظهور گیاهچه‌های گندم از مدل غیرخطی استفاده نمودند و نشان دادند که مدل رگرسیونی بتا مدل مناسبی برای پیش‌بینی زمان ظهور گیاهچه‌های گندم است و در مدل مذکور از داده‌های مربوط به دما و

خاک و هوا استفاده نمودند. با استفاده از این مدل پیشنهاد شد که برای تخمین زمان لازم برای ظهور گیاهچه‌ها از داده‌های دمائی خاک استفاده شود. کاراداووت (Karadavut, 2009) از پنج مدل رگرسیونی غیر خطی (مدل گومیز، مدل لجستیک، مدل مورگان-میرسر-فولدین، مدل ویبول و مدل ریچاردز) برای بررسی منحنی‌های رشدی تریتیکاله استفاده نمود. کارائی هر مدل با آزمون نکوئی برازش تعیین شد. از بین مدل‌های مذکور مدل ویبول و ریچاردز توانستند به نحو بهتری تغییرات رشدی تریتیکاله را توجیه نمایند. قادری فر و همکاران (Ghaderifar *et al.*, 2010) اثر فاکتورهای محیطی (شوری و خشکی) را روی جوانه‌زنی و سبزشدن شبدر شیرین با استفاده از مدل تکه‌ای بررسی نمودند. با استفاده از مدل مذکور مشخص شد که برای داشتن ۵۰ درصد از حداکثر جوانه‌زنی شوری و خشکی نباید به ترتیب از ۲۰۷ میلی مولار و ۰/۴۹- مگاپاسکال بیشتر باشد.

محمودی و همکاران (Mahmoodi *et al.*, 2008) نشان دادند که به ترتیب توابع رگرسیونی دندان مانند و تکه‌ای بهترین معادلات برای تعیین واکنش جوانه‌زنی یونجه حلزونی نسبت به دما است. آن‌ها در دامنه دمایی مورد استفاده از ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد و با فواصل ۵ درجه و با استفاده از توابع مذکور دماهای پایه و سقف و دمای مطلوب برای جوانه‌زنی را به ترتیب ۰/۶۴، ۴۰ و ۲۲/۲۲ درجه تخمین زدند. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2010) روی گندم، اکرم قادری و همکاران (Akram Ghaderi *et al.*, 2008) روی کدو تخم کاغذی، سیاه دانه و گاو زبان، کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2006) روی کلزا، جلیلیان و همکاران (Jalilian *et al.*, 2005) روی چغندر قند واکنش گیاه را نسبت به سطوح مختلف دمایی بررسی نمودند.

این آزمایش به منظور تعیین و ارزیابی مدل‌های برآورد کننده سرعت جوانه‌زنی و دماهای کاردینال برای تعیین تاریخ کاشت مناسب و مناطق جغرافیایی مناسب کشت ارقام با درصد جوانه‌زنی بالا و گزینش ارقام برای تنش دمائی طراحی شد.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین بهترین مدل توجیه‌کننده جوانه‌زنی برنج به دما، آزمایشی در سال ۱۳۸۹ در آزمایشگاه گیاهشناسی مجتمع آموزش عالی گنبد کاووس بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در داخل انکوباتورهای با دمای ثابت و دامنه دمایی ۱۲ تا ۴۸ درجه سانتی‌گراد با فاصله دو درجه سانتی‌گراد یعنی ۱۹ سطح دمایی انجام شد. ارقام مورد استفاده در این پژوهش شامل بینام، هاشمی، عنبربو (از ارقام محلی)، دشت، گیل ۳ (از ارقام اصلاح‌شده) و IR64 (از ارقام خارجی) بود. برای انجام آزمون جوانه‌زنی و بررسی منحنی جوانه‌زنی در پتری‌دیش‌های ضدعفونی شده به قطر ۹ سانتی‌متر و روی کاغذ واتمن تعداد ۱۰۰ عدد بذر از ارقام برنج قرار داده شد و در دماهای مختلف در هر ۲۴ ساعت شمارش انجام و نتایج بصورت تجمعی ثبت شد. در طول آزمایش در صورت نیاز از آب مقطر استفاده شد.

جهت کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما و تعیین دماهای بهینه و تعداد ساعات لازم برای جوانه‌زنی تحت شرایط دمایی مطلوب و نهایتاً تعیین تعداد ساعت

۱. تابع دندان مانند (Dent like) (D):

$$f(T) = \frac{T - T_b}{T_{01} - T_b} \quad \text{اگر } T_b < T < T_{01} \quad (3)$$

$$f(T) = \frac{T_c - T}{T_c - T_{02}} \quad \text{اگر } T_{02} < T < T_c$$

$$f(T) = 1 \quad \text{اگر } T_{01} < T < T_{02}$$

$$f(T) = 0 \quad \text{اگر } T < T_b \text{ or } T > T_c$$

۲. تابع دو تکه‌ای (Segmented) (S):

$$f(T) = \frac{T - T_b}{T_0 - T_b} \quad \text{اگر } T_b < T < T_0 \quad (4)$$

$$f(T) = \left[1 - \frac{T - T_b}{T_c - T_0} \right] \quad \text{اگر } T_0 < T < T_c$$

$$f(T) = 0 \quad \text{اگر } T < T_b \text{ or } T > T_c$$

لازم برای جوانه‌زنی از مدل زیر استفاده شد (Soltani et al., 2006):

$$\frac{1}{e} = \frac{f(T)}{e_0} \quad (1)$$

که $1/e$ سرعت جوانه‌زنی، $f(T)$ تابع دما و e_0 تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای جوانه‌زنی است. در این راستا می‌توان مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد ($D50$) از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در برابر زمان محاسبه شد. با استفاده از $D50$ سرعت جوانه‌زنی در ساعت از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R50 = \frac{1}{D50} \quad (2)$$

هر دو پارامتر $D50$ و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از برنامه Germin (Soltani and Maddah, 2010) محاسبه شدند. در این بررسی پنج معادله رگرسیونی برای داده‌های سرعت جوانه‌زنی در برابر دما برازش داده شدند که عبارتند از:

۳. تابع بتا (Beta):

$$f(T) = \left[\left(\frac{T - T_b}{T_0 - T_b} \times \frac{T_c - T_0}{T_0 - T_b} \right)^{\frac{T_c - T_0}{T_0 - T_b}} \right]^a \quad (5)$$

۴. تابع منحنی (Curvilinear):

$$f(T) = \left[\frac{1}{(T_0 - T_b \times T_c - T_0)^{\frac{T_c - T_0}{T_0 - T_b}}} \right] \times (T - T_b \times T_c - T)^{\frac{T_c - T_0}{T_0 - T_b}} \quad (6)$$

۵. تابع درجه دوم (Quadratic):

$$f(T) = \left[(T - T_b \times T_c - T) \times \left(\frac{T_c - T_b}{2} \right)^{-2} \right] \quad (7)$$

نسبت به ارقام دیگر به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین سرعت جوانه زنی را به خود اختصاص دادند.

پس از برازش مدل‌های مختلف برای توصیف سرعت جوانه‌زنی ارقام نسبت به دما، به منظور شناسایی کارآمدترین مدل برای توصیف این صفت در هر رقم، از پارامترهای مختلف ارزیابی برازش مدل استفاده شد که در جدول ۲ ارائه شده‌اند. ضریب تبیین مدل رگرسیون غیرخطی و انحراف معیار خطای مدل از جمله این پارامترها می‌باشند. همچنین پس از تعیین مقادیر سرعت جوانه‌زنی مورد انتظار با استفاده از هر مدل، رابطه خطی بین این مقادیر مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای عرض از مبدأ و ضریب رگرسیون مدل خطی مذکور برای مدل‌های مختلف رگرسیون غیرخطی در جدول ۲ ارائه شد. در ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی، بین مدل‌هایی که پس از برازش رابطه خطی بین مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار به دست آمده از آن‌ها، عرض از مبدأ آن با صفر و ضریب رگرسیون آن با یک اختلاف معنی‌دار نداشته باشد، مدلی برتر خواهد بود که دارای ضریب تبیین بالاتر و انحراف معیار خطای کوچک‌تری باشد. در ارتباط با رابطه خطی مذکور باید خاطر نشان نمود که ضریب رگرسیون نزدیک به یک بیانگر انطباق بیشتر مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار سرعت جوانه‌زنی دانه و عدم اختلاف عرض از مبدأ از صفر نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار عرض از مبدأ خط رگرسیون از عرض از مبدأ خط ۱:۱ می‌باشد.

در این توابع، T_b دمای پایه، T_{01} دمای مطلوب تحتانی، T_{02} دمای مطلوب فوقانی، T_0 دمای مطلوب، T_c دمای سقف و a ضریب ثابت، T دمای متوسط روزانه، b ، c و d ضرایب ثابت رگرسیون می‌باشند. پارامترهای مدل‌های فوق با استفاده از روش‌های چرخه‌ای غیرخطی و دستور PROC NLIN استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ (SAS Institute Inc, 2008) برآورد شدند. مدل‌های برازش داده شده بر اساس، جذر میانگین مربعات، ضریب تبیین، ضرایب رگرسیونی و همبستگی مقایسه شدند.

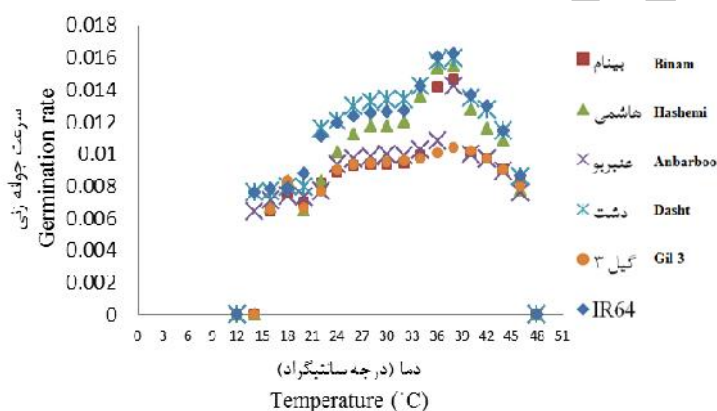
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین ژنوتیپ‌های مختلف برنج از لحاظ سرعت جوانه‌زنی بذرها و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ و دما اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱). البته با توجه به تفاوت ارقام از لحاظ شکل، ظاهر، وزن هزاردانه و ژنتیک صفت، این اختلاف دور از انتظار نیست. تنوع در سبز شدن بین ژنوتیپ‌های باقلا (Ajam Norouzi et al., 2007)، شبدر (Iannucci et al., 2000) و بقولات (Ellis et al., 1987) نیز مشاهده شده است.

شکل ۱ میانگین سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما را برای شش رقم برنج در ۱۹ سطح دمایی نشان می‌دهد. همان‌گونه که پیداست علی‌رغم وجود اثر متقابل بین دما و ژنوتیپ، در مجموع سطوح دمایی رقم دشت و گیل ۳

جدول ۱- تجزیه واریانس سرعت جوانه زنی ژنوتیپ‌های برنج در ۱۹ سطح دمایی
Table 1. ANOVA of germination rate of rice genotypes in 19 temperature levels

| Source of variation | منبع تغییرات | درجه آزادی df | میانگین مربعات و سطح احتمال معنی‌دار MS and significance level |
|------------------------------|---------------------|------------------|--|
| Genotype | ژنوتیپ | 5 | 0.00009621 (0.0001) |
| Temperature | دما | 18 | 0.00029641 (0.0001) |
| Genotype × Temperature | ژنوتیپ×دما | 90 | 0.00000356 (0.0001) |
| Error | خطا | 228 | 0.00000068 |
| Coefficient of variation (%) | ضریب تغییرات (درصد) | | 9.28 |



شکل ۱- میانگین سرعت جوانه‌زنی شش رقم برنج نسبت به دما در ۱۹ سطح دمایی.
Figure 1. The mean of germination rate for six rice varieties in 19 temperature levels.

با ارقام اصلاح‌شده دشت و گیل ۳، مدل بتا برای هیچ کدام از این دو رقم، اریب معنی‌داری برای پارامترهای عرض از مبدأ و شیب رگرسیون نشان نداد و برازش مناسب‌تری را نسبت به مدل‌های دیگر نشان داد. البته برای رقم دشت مدل‌های دو تکه‌ای، منحنی و درجه دوم نیز ضریب تبیین بالا و قابل توجهی نشان دادند.

بررسی پارامترهای ارزیابی مدل برای رقم خارجی IR64 نشان داد که مدل‌های منحنی و دو تکه‌ای برای پارامترهای عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون اریب معنی‌داری ندارند. همچنین مدل منحنی با ضریب تبیین بالاتر و انحراف معیار خطای کمتر به ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۰/۰۲۰ بهترین برازش را برای سرعت جوانه زنی این رقم نسبت به دما نشان داد. در شکل ۲، به همراه مقادیر مشاهده شده برای سرعت سبز شدن هر رقم نسبت به دما،

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بر اساس نتایج جدول ۲ که بر اساس ژنوتیپ‌های بومی، اصلاح‌شده و خارجی تقسیم شده است، مدل منحنی برای هیچ کدام از ژنوتیپ‌های بومی اریبی نشان نداد و از طرف دیگر ضریب تبیین مدلی بین ۰/۷۷ تا ۰/۸۱ و انحراف معیار خطا بین ۰/۰۱۹۴ و ۰/۰۲۰۹ متغیر بود که به ترتیب در میانگین حالات، بالاترین مقدار ضریب تبیین و پایین‌ترین مقدار انحراف معیار خطا را به خود اختصاص داده است. سایر مدل‌ها حداقل برای یکی از ارقام اریب معنی‌داری را برای پارامترهای عرض از مبدأ و شیب رگرسیون نشان دادند. اگرچه در کنار مدل منحنی، مدل‌های بتا و درجه دوم برای رقم بینام و مدل دو تکه‌ای نیز برای رقم عنبربو برازش مناسبی را نشان دادند. مضاف بر اینکه برای رقم هاشمی مدل دو تکه‌ای نسبت به مدل‌های دیگر برتر بود. در ارتباط

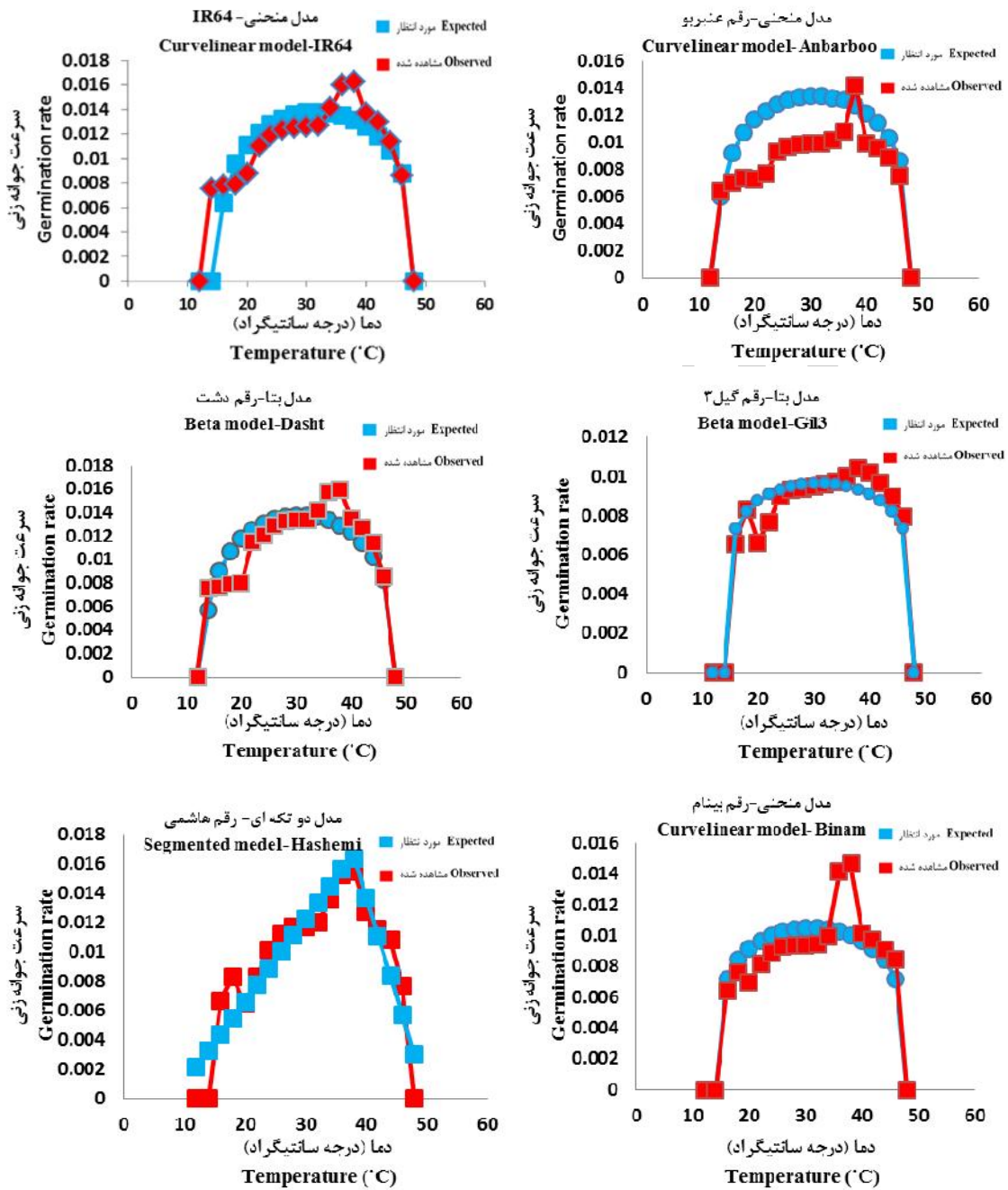
جدول ۲- پارامترهای ارزیابی برآزش مدل های غیر خطی شامل RMSD (قدر میانگین مربعات خطا) و ضریب تبیین مدل غیر خطی (R^2) - ضریب رگرسیون (b)، عرض از مبدأ (a)، ضریب همبستگی (r) و ضریب تبیین (r^2) مربوط به رابطه خطی بین مقدار سرعت جوانه زنی مشاهده شده و مورد انتظار حاصل از هر مدل غیرخطی

Table 2. Fitting nonlinear model parameters including RMSD and R^2 -b, a, r, r^2 related to linear regression observed and expected germination rate for each nonlinear model

| پارامترهای رگرسیون غیرخطی Nonlinear regression parameters | | پارامترهای رگرسیون خطی Linear regression and correlation parameters between observed and expected germination rate | | | |
|--|------------------------|---|-----------------|------|------|
| مدل غیر خطی Nonlinear mode | رقم Variety | RMSD | R^2 | | |
| مدل غیر خطی Nonlinear mode | بیام Binam | 0.0019 | 0.77 | | |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0020 | 0.81 | | |
| | عنبژیو Anbarboo | 0.0006 | 0.54 | | |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0018 | 0.81 | | |
| | دشت Dasht | 0.0009 | 0.93 | | |
| | گیل 3 Gil 3 | 0.0009 | 0.93 | | |
| | بیام Binam | 0.0015 | 0.87 | | |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0022 | 0.72 | | |
| | عنبژیو Anbarboo | 0.0021 | 0.82 | | |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0020 | 0.68 | | |
| | دشت Dasht | 0.0021 | 0.79 | | |
| | گیل 3 Gil 3 | 0.0018 | 0.76 | | |
| درجه دوم Quadratic | بیام Binam | 0.0023 | 0.76 | | |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0019 | 0.77 | | |
| | عنبژیو Anbarboo | 0.0020 | 0.81 | | |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0019 | 0.78 | | |
| | دشت Dasht | 0.0018 | 0.81 | | |
| | گیل 3 Gil 3 | 0.0019 | 0.75 | | |
| | بیام Binam | 0.0016 | 0.85 | | |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0029 | 0.55 | | |
| | عنبژیو Anbarboo | 0.6245 | - | | |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0026 | 0.51 | | |
| | دشت Dasht | 0.4417 | - | | |
| | گیل 3 Gil 3 | 0.6263 | - | | |
| منحنی Curvilinear | بیام Binam | 0.4419 | - | | |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0030 | 0.54 | | |
| | عنبژیو Anbarboo | 0.0018 | 0.86 | | |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0021 | 0.74 | | |
| | دشت Dasht | 0.0022 | 0.82 | | |
| | گیل 3 Gil 3 | 0.0020 | 0.67 | | |
| | بیام Binam | 0.0020 | 0.83 | | |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0014±0.0008 | 0.90 | | |
| | عنبژیو Anbarboo | 0.0013±0.0008 | 0.92 | | |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0011±0.0010 | 0.92 | | |
| | دشت Dasht | 0.0012±0.0009 | 0.93 | | |
| | گیل 3 Gil 3 | 0.0019±0.0008 | 0.87 | | |
| بیام Binam | بیام Binam | 0.0024±0.0011* | 0.763±0.103* | 0.87 | 0.75 |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0014±0.0008 | 0.820±0.093 | 0.90 | 0.81 |
| | عنبژیو Anbarboo | 0.0013±0.0008 | 0.852±0.086 | 0.92 | 0.84 |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0011±0.0010 | 1.130±0.119 | 0.92 | 0.83 |
| | دشت Dasht | 0.0012±0.0009 | 0.875±0.083 | 0.93 | 0.86 |
| | گیل 3 Gil 3 | 0.0019±0.0008 | 0.747±0.103* | 0.87 | 0.74 |
| | بیام Binam | -0.0000±0.0013 | 0.965±0.120 | 0.89 | 0.78 |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0036±0.0011* | 0.583±0.125* | 0.75 | 0.53 |
| | عنبژیو Anbarboo | -0.1354±0.2127 | 49.850±20.725* | 0.50 | 0.21 |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0040±0.0010** | 0.506±0.121* | 0.71 | 0.43 |
| | دشت Dasht | 0.0188±0.2229 | 13.797±19.534** | 0.16 | - |
| | گیل 3 Gil 3 | -0.0993±0.2460 | 55.826±29.794** | 0.41 | 0.12 |
| بیام Binam | بیام Binam | 0.456±0.2254 | 11.328±19.911** | 0.14 | 0.02 |
| | هاشمینی Hashemi | 0.0036±0.0010** | 0.536±0.120* | 0.73 | 0.51 |
| | عنبژیو Anbarboo | 0.0012±0.0008 | 0.863±0.083 | 0.93 | 0.85 |
| | اصلاح شده اصلاح شده | 0.0021±0.0009* | 0.743±0.105* | 0.86 | 0.73 |
| | دشت Dasht | 0.0018±0.0010 | 0.822±0.092 | 0.90 | 0.81 |
| | گیل 3 Gil 3 | 0.0024±0.0009** | 0.671±0.113* | 0.82 | 0.65 |
| | بیام Binam | 0.0017±0.0012 | 0.836±0.106 | 0.91 | 0.82 |

* ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

* ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد را نشان می دهد



شکل ۲- مقادیر سرعت جوانه زنی مشاهده شده به همراه مقادیر مورد انتظار آن با استفاده از بهترین مدل شناسایی شده برای هر رقم.

Figure 2. The observed germination rate together with expected values using the best identified nonlinear model for each variety.

جدول ۳- پارامترهای برآورد شده با استفاده از مدل‌های برتر شناسایی شده شامل ضریب a (برای مدل بتا)، دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_0)، دمای سقف (T_c) و تعداد ساعت بیولوژیک (e_0) برای جوانه زنی ۵۰ درصد از بذور

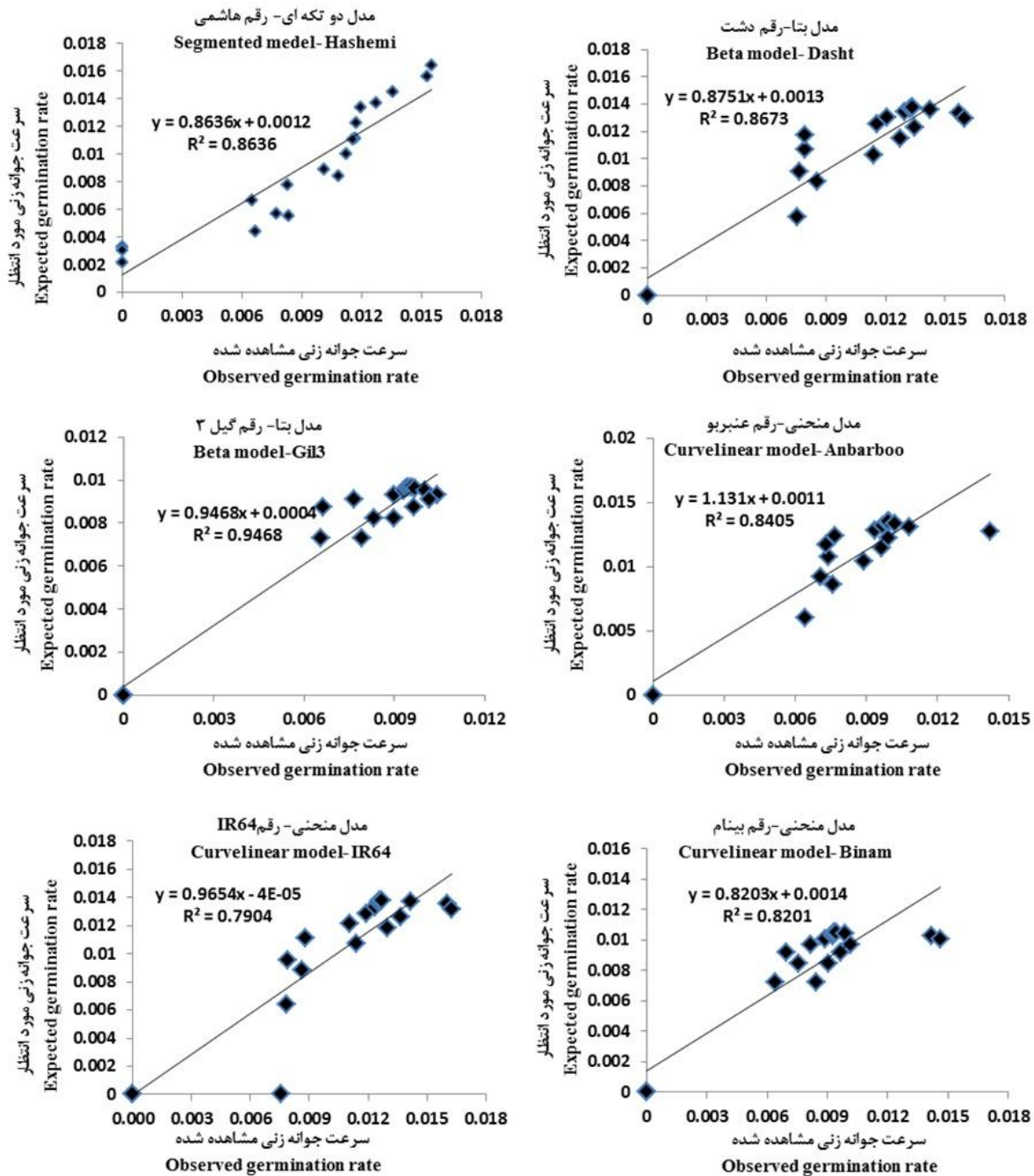
Table 3. Estimated parameters using the best identified model including a for Beta model, T_b , T_0 , T_c and e_0 for germination for 50% of seeds

| رقم Variety | a | $T_b \pm SE$ | $T_0 \pm SE$ | $T_c \pm SE$ | e_0 | |
|------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| بتا Beta | بینام Binam | 0.25±0.16 | 14.00±0.00 | 30.94±9.30 | 48.00±0.00 | 80.12±0.00 |
| | هاشمی Hashemi | 0.08±0.03 | 14.00±0.00 | 20.02±0.74 | 48.00±0.00 | 90.00±0.00 |
| | دشت Dasht | 0.13±0.03 | 13.38±0.84 | 23.06±18.74 | 48.00±0.00 | 70.00±0.00 |
| | گیل ۳ Gil 3 | 0.19±0.06 | 14.00±0.00 | 31.44±0.00 | 48.00±0.00 | 90.67±6.24 |
| درجه دوم Quadratic | هاشمی Hashemi | - | 12.80±0.88 | - | 51.91±1.44 | 73.46±3.96 |
| | دشت Dasht | - | 11.03±1.03 | - | 51.99±1.40 | 67.37±3.37 |
| منحنی Curvilinear | بینام Binam | - | 14.00±0.00 | 41.21±2.68 | 48.00±0.00 | 106.43±8.49 |
| | هاشمی Hashemi | - | 14.00±0.00 | 38.43±2.20 | 48.00±0.00 | 85.46±6.92 |
| | عنبربو Anbarboo | - | 13.44±0.86 | 40.17±2.53 | 48.00±0.00 | 82.25±5.56 |
| | دشت Dasht | - | 13.38±0.84 | 39.41±2.38 | 48.00±0.00 | 80.01±5.33 |
| | IR64 | - | 15.34±0.79 | 40.37±2.10 | 48.00±0.00 | 80.13±4.73 |
| دو تکه‌ای Segmented | هاشمی Hashemi | - | 8.20±2.24 | 37.82±0.96 | 50.29±1.40 | 86.41±10.62 |
| | دشت Dasht | - | 2.42±3.62 | 37.85±1.06 | 50.57±1.52 | 57.49±3.27 |
| | IR64 | - | 1.43±3.63 | 39.00±1.04 | 49.90±1.32 | 57.88±3.13 |

همان‌گونه که مشاهده می‌شود دمای پایه برآورد شده به وسیله مدل‌های بتا، درجه دوم و منحنی برای ارقام مختلف بین ۱۱ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد با اختلاف کم از هم برآورد شد اما مقادیر برآورد شده به وسیله مدل دو تکه‌ای بین ۱/۴۳ تا ۸/۲۰ بود که اختلاف زیادی را با برآوردهای حاصل از سه مدل دیگر نشان دادند. دمای پایه برآورد شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی مناسب در نخود و سورگوم به ترتیب ۶/۸ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Kanemasu *et al.*, 1975; Yousefzad *et al.*, 2006). اما دمای پایه برآورد شده برای باقلا توسط کویی و همکاران (Qi *et al.*, 1999) بسیار پایین‌تر و بین صفر تا ۱ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. همچنین عجم نوروژی و همکاران (Ajam Norouzi *et al.*, 2007) طبق برآوردهای مدل برتر دو تکه‌ای در مطالعه خود از نظر دمای پایه بین ارقام باقلا اختلاف معنی‌داری مشاهده نکردند و آن را بین ۰/۹۸ تا ۱/۶۱ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. وجود اختلاف بین ارقام از

منحنی مربوط به مقادیر مورد انتظار برآورد شده به وسیله برترین مدل شناسایی شده برای آن رقم ارایه شده است. در شکل ۳ نیز مقادیر سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده در مقابل مقادیر مورد انتظار حاصل از مدل‌های مختلف به همراه معادله رگرسیون خطی بین این مقادیر و ضریب تبیین معادله در شش رقم برنج نشان داده شده است.

پس از انتخاب مدل‌های مناسب برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما، پارامترهای مربوط به دماهای کاردینال که با استفاده از این مدل‌ها برآورد شده بود مورد بررسی قرار گرفت. این مقادیر در جدول ۳ آورده شده است. در این جدول دماهای کاردینال برآورد شده توسط مدل‌های برتر که برای هر کدام از ارقام شرح داده شد مشاهده می‌شود. برای سایر مدل‌ها که اریب معنی‌دار نشان دادند و عدم تطابق مناسب بین مقادیر سرعت جوانه زنی مشاهده شده و مورد انتظار حاصل از آن‌ها دیده شد در اینجا کنار گذاشته شدند و در جدول مذکور نشان داده نشدند.



شکل ۳- رابطه سرعت سبز شده مشاهده شده و مقادیر مورد انتظار با مدل های برتر همراه با معادله رگرسیون خطی بین این مقادیر و ضریب تبیین معادله در شش رقم برنج.

Figure 3. Linear relationship between the observed and expected germination rate using different models and coefficient of determination in six rice varieties.

دمای کاردینال دیگر کمتر بود به طوری که این برآوردها بین ۴۸ تا ۵۱/۹۹ متغیر بودند. دماهای بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذور شد به طوری که در دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد برای تمام ارقام به طور کامل متوقف شد.

همچنین تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای سبزشدن ۵۰ درصد بذور به وسیله این مدل‌ها با اختلاف معنی‌داری از هم برآورد شد به طوری که بین مقادیر ۵۷/۴۹ (مدل دو تکه‌ای- رقم دشت) تا ۱۰۶/۴۳ (مدل منحنی-رقم بینام) متغیر بود. اختلاف معنی‌دار بین ساعات بیولوژیک برآورد شده توسط مدل‌های مختلف و همچنین بین ارقام مختلف در هر مدل وجود داشت. مدل بتا و منحنی که برترین مدل‌های برآوردکننده پارامترها برای رقم بینام بودند تعداد ساعات بیولوژیک جوانه‌زنی این رقم را به ترتیب ۸۰/۱۲ و ۱۰۶/۴۳ پیش‌بینی کردند که البته خطای استاندارد مربوط به برآورد این پارامتر به وسیله مدل بتا بسیار پایین‌تر از مدل منحنی بدست آمد. همچنین مدل برتر دوتکه‌ای برای رقم هاشمی، ۸۶/۴۱، مدل منحنی برای رقم عنبربو و IR64 به ترتیب ۸۲/۲۵ و ۸۰/۱۳، مدل بتا برای رقم دشت و رقم گیل ۳ به ترتیب ۷۰/۰۰ و ۹۰/۶۷ ساعت بیولوژیک جوانه‌زنی برآورد کردند. وجود تفاوت معنی‌دار بین ساعات بیولوژیک جوانه‌زنی برآورد شده به وسیله مدل‌های مختلف برای ارقام مختلف باقلا (Ajam Norouzi *et al.*, 2007) و کدو تخم کاغذی، براگو و سیاه‌دانه (Ghaderifar *et al.*, 2009) نیز گزارش شد.

نتایج این پژوهش نشان داد که برای پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبزشدن ارقام مختلف برنج دقت مدل‌های مختلف غیرخطی در برآورد دماهای کاردینال و ساعات بیولوژیک جوانه‌زنی متفاوت است. به طوری که مدل برتر در پیش‌بینی این پارامترها برای رقم هاشمی، مدل دوتکه‌ای، دشت و گیل ۳، مدل بتا، عنبربو و IR64، مدل منحنی و بینام مدل‌های بتا و منحنی بودند. مدل‌های مذکور از دقت بیشتری در توصیف سرعت سبزشدن این ارقام برنج نسبت به دما برخوردار بودند. بنابراین انتظار می‌رود بتوان از این مدل‌ها و دماهای کاردینال برآورد شده به وسیله این مدل‌ها در تهیه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی

لحاظ مقادیر برآورد شده برای دماهای کاردینال با توجه به تفاوت‌های ژنتیکی موجود بین آن‌ها و سازگاری‌های متفاوت آن‌ها امری دور از انتظار نیست. ام‌وال و همکاران (Mwale *et al.*, 1994) و ماداکادزه و همکاران (Madakadze *et al.*, 2001) به ترتیب برای آفتابگردان و تعدادی گراس‌های گرمادوست تنوع بین و درون گونه‌ای برای دمای پایه گزارش کردند.

از لحاظ دمای مطلوب مقادیر برآورد شده بین ارقام مختلف از ۲۰/۰۲ (برای رقم هاشمی-مدل بتا) تا ۴۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد (برای رقم بینام-مدل منحنی) متغیر بود. وجود اختلاف معنی‌دار درون ارقام بومی، اصلاح شده و خارجی و همچنین بین آن‌ها مشاهده شد. اما آنچه به نظر می‌رسد قابل تأمل باشد مدل منحنی و دو تکه‌ای دمای مطلوب را برای همه ارقام بین ۳۷/۸۲ تا ۴۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد برآورد نمودند که اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. مدل منحنی همان‌گونه که اشاره شد برای همه ارقام به جز رقم گیل ۳ توانست برآزش مناسب‌تری را نسبت به سایر مدل‌ها نشان دهد. گزارش‌های مختلفی برای برآورد دمای مطلوب گیاهان مختلف با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی وجود دارد که از آن جمله می‌توان برآورد دمای ۲۵ تا ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد برای باقلا (Ajam Norouzi *et al.*, 2007)، ۲۷/۶ تا ۳۰/۴ درجه سانتی‌گراد برای نخود (Soltani *et al.*, 2006)، ۲۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد برای لوبیای معمولی (Ellis *et al.*, 1987) و ۲۴ تا ۲۴/۴ درجه سانتی‌گراد برای عدس اشاره کرد. این مقادیر نسبت به دماهای کاردینال برنج بسیار پایین‌تر می‌باشند که بالاتر بودن دماهای کاردینال برنج را می‌توان مربوط به نیاز بالاتر این گیاه به حرارت نسبت به اکثر گیاهان و سایر غلات دانست. برای این گیاه دمای پایین‌تر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد هنگام جوانه‌زنی نتایج مطلوبی را به همراه نخواهد داشت. به طور کلی برنج در طول زندگی خود به حدود ۴۰۰۰ کالری گرما نیاز دارد که البته در ارقام مختلف متفاوت است به طوری که این نیاز در مورد ارقام زودرس کمتر و در مورد ارقام دیرس بیشتر است (Okhovat and Vakili, 1996; Yoshida *et al.*, 1976). از نظر دمای سقف، اختلاف بین برآوردهای مربوط به مدل‌های مختلف و همچنین ارقام مختلف نسبت به دو

استفاده نمود. همچنین به منظور رفع بهینه نیازهای دمایی ارقام مختلف در طول جوانه زنی پیشنهاد می‌شود ارقامی که دماهای کاردینال بالاتری دارند در مناطقی کشت شوند که نیاز گرمایی آنها بهتر تأمین شود.

References

- Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A. and Zeinali, E. 2010. Evaluation of non-linear regression models to predict stem elongation rate of wheat (Tajan cultivar) in response to temperature and photoperiod. **Electronic Journal of Crop Production** 2 (4): 39-54. (In Persian).
- Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E. and Homaei, M. 2007. Modeling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. **Journal of Agricultural Science and Natural Recourses** 14 (4): 100-111. (In Persian)
- Akram Ghaderi, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H. R. 2008. Effect of temperature and water potential on germination of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo*. convar. *pepo* var. *styriaca*), black cumin (*Nigella sativa* L.) and borago (*Borago officinalis* L.). **Journal of Agricultural Science and Natural Recourses** 15 (5): 1-20. (In Persian)
- Albuquerque M. C., DeF, E. and Carvalho, N. M. 2003. Effects of the type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annus* L.), soybean (*Glycine max* L.) Merrill and maize (*Zea mize* L.) seeds with different levels of vigor. **Seed Science and Technology** 31: 465-479
- Brar, D. S., Elloran, R. and Khush, G. S. 1991. Interspecific hybrids produced through embryo rescue between cultivated and eight wild species of rice. **Rice Genetics Newsletter** 8: 91-92.
- Dumur, D., Pilbeam, C. J. and Craigon, J. 1990. Use of the Weibul function to calculate cardinal temperatures in faba bean. **Journal of Experimental Botany** 41: 1423-1430.
- Ellis, R. H., Simon, G. and Covell, S. 1987. The influence of temperature on seed germination rate in grain Legumes. III. A Comparison of five faba bean genotypes at constant temperatures using a new screening method. **Journal of Experimental Botany** 38: 1033-1043.
- Forcella, F. 1993. Seedling emergence model for velvetleaf. **Agronomy Journal** 85: 929-933.
- Ghaderifar, F., Gherekhloo, J. and Alimagham, M. 2010. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*). **Planta Daninha** 28 (3): 463-469.
- Ghaderifar, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H. R. 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. Convar. *Pepo* var. *styriaca* Greb), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. **Journal of Plant Production** 16 (4): 1-19.
- Harvey, S. J. and Forcella, F. 1993. Vernal seedling emergence model for common lambsquarters (*Chenopodium album*). **Weed Science** 41: 309-316.
- Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Rahimian, H., Abdollahian, M. and Gohari, J. 2005. Estimation of base temperature and investigation of germination and field emergence trend of monogerm sugar beet under various temperatures. **Journal of Sugar Beet** 20: 97-112. (In Persian)
- Kamkar, B., Koocheki, A., Mahallati, M. N. and Moghaddam, M. P. R. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet species. **Asian Journal of Plant Science** 5: 316-319.
- Kanemasu, E. T., Bark, D. L. and Chin Choy, E. 1975. Effect of soil temperature on sorghum emergence. **Plant and Soil** 43: 411-417.
- Karadavut, U. 2009. Non-linear models for growth curves of triticale plants under irrigation conditions. **Turkish Journal of Field Crops** 14 (2): 105-110.
- Iannucci, A., Difonzo, N. and Martinello, P. 2000. Temperature requirements for seed germination in four annul clovers grown under two irrigation treatments. **Seed Science and Technology** 28: 59-66.

- Madakadze, I. C., Prithiviraj, B., Stewart, K. A., Peterson, P. R., Coulman, B. E. and Smith, D. L. 2001.** Variation in base temperatures for germination in warm season grasses. **Seed Science and Technology** 29: 31-38.
- Mahmoodi, A., Soltani, E. and Barani, H. 2008.** Germination response to temperature of snail medic (*Medicago scutellata* L.). **Electronic Journal of Crop Production** 1(1): 54-63. (In Persian)
- Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Clark, J. A., Bradley, R. G. and Chatha, M. R. 1994.** Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Seed Science and Technology** 22: 565-575.
- Okhovat, S. M. and Vakili, D. 1996.** Rice (Cultivation, Keep, Harvest). Tehran University Press, Tehran. (In Persian)
- Qi, A., Wheeler, T. R., Keatinge, J. D. H., Ellis, R. H., Summerfield, R. J. and Craufurd, P. Q. 1999.** Modelling the effects of temperature on the rates of seedling emergence and leaf appearance in legume cover crops. **Experimental Agriculture** 35: 327-344.
- SAS Institute Inc. 2008.** SAS/STAT 9.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Latifi, N. 2002.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. **Seed Science and Technology** 30: 51-60.
- Soltani, A., Hammer, G. L., Torabi, B., Robertson, M. J. and Zeinali, E. 2006.** Modeling chickpea growth and development: Phenological development. **Field Crops Research** 99: 1-13.
- Soltani, A. and Maddah, V. 2010.** Simple, Applied Programs for Education and Research in Agronomy. Iran Scientific Society of Agroecology. Tehran. (In Persian)
- Wang, J., Ferrell, J. MacDonald, G. and Sellers, B. 2009.** Factors affecting seed germination of cadillo (*Urena lobata*). **Weed Science** 57 (1): 31-35.
- Yants, C. D., Fornstron, K. J. and Edling, R. J. 1983.** Sugar beet emergence affected by soil moisture and temperature. **Journal of American Society of Sugar Beet Technology** 22: 119-134.
- Yoshida, S., Forno, D. A., Cook, J. H. and Gomez, K. A. 1976.** Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice. Manila, Philippines.
- Yousefizad, M., Soltani, A., Ghaderifar F. and Sarparast, R. 2006.** Evaluation of non-linear regression models to describe response of emergence rate to temperature in chickpea. **Journal of Agricultural Science and Technology** 20: 93-102. (In Persian)

Modeling the response of germination rate of different rice genotypes to temperature

Hossein Sabouri¹, Atefeh Sabouri^{2*} and Ahmad Reza Dadras³

1. Assist. Prof., Dept. of Plant Production, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, 2 and 3. Assist. Prof. and Ph. D. Student, respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Guilan

(Received: July 22, 2012- Accepted: December 17, 2012)

Abstract

The germination and emergence are the most critical stages of plant life, because seeds are exposed to unfavorable environmental factors at this stage and plant establishment is confronted with difficulty. Therefore, prediction of germination time is one of the main goals of simulation researchers. In this regard mathematical techniques such as determination of the best nonlinear regression function which can quantify response of germination rate to temperature and estimate the cardinal temperatures would be very informative about characteristics and plants thermal requirements at this stage. The present study was conducted using a factorial experiment arranged in completely randomized design with three replications in 2010. The experimental factors including 19 temperature levels (12-48°C at intervals of 2°C from each other) and six rice (*Oryza sativa* L.) genotypes namely Binam, Hashemi, Anbarbou (landrace varieties), Dasht, Gil3 (Iranian improved cultivars) and IR64 (IRRI improved cultivar). Analysis of variance showed that there are significant differences between studied genotypes and genotype×temperature interaction effect for germination rate. The models of beta, quadratic, curvilinear, dent-like and segmented were applied to describe the relationship between germination rate and temperature. The comparison of different criteria for evaluating of the studied models showed different precision of the fitted models so that the segmented model for Hashemi variety, the beta model for Dasht and Gil3 varieties, the curvilinear model for Anbarbou and IR64 varieties and the beta and curvilinear models for Binam variety were the better than the other models. Results of current study showed that the mentioned models and their estimated cardinal temperatures can be used to predict the germination time and simulation of the studied rice varieties.

Keywords: Cardinal temperatures, Germination rate, Rice and Stimulation

*Corresponding author: atefeh_sabouri@yahoo.com; a.sabouri@guilan.ac.ir@yahoo.com