ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای توصیف سرعت جوانه‌زنی چهار رقم برنج نسبت به دما

مریم حسینی چالشتری[1*] شهرام نظری[2]، صالح محمدی[3]

۱-استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۲-دانش‌آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، ایران

۳- مدیر شرکت خدمات حمایتی و دانش آموخته دکتری فیزیولوژی زراعی دانشگاه فردوسی مشهد

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mhkhossieni@gmail.com

چکیده

به منظور ارزیابی برخی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای تخمین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چهار رقم برنج (*Oryza sativa*) آزمایشی اجرا شد. در این آزمایش سرعت جوانه‌زنی ارقام برنج شامل هاشمی، دیلمان، گوهر و خزر تحت تأثیر نه تیمار دمایی (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد) محاسبه شد. برای بررسی و پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل‌های دندان مانند، دو تکه‌ای و بتا استفاده گردید. ارزیابی و تعیین نکویی برازش مدل‌های مختلف جوانه‌زنی از برآوردگرهای آماری شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های دو تکه‌ای و دندان مانند در مقایسه با مدل بتا، توانستد توصیف بهتری را از واکنش سرعت جوانه‌زنی ارقام برنج نسبت به دما ارائه کنند که دلیل آن R^2 بالاتر و RMSE پایین‌تر در این مدل‌ها بود. بطور کلی دماهای پایه برآورد شده به وسیله مدل‌های برتر با اختلاف کم در هر چهار رقم در محدود ۱۲/۸۲-۱۱/۹۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای بهینه جوانه‌زنی در تابع دو تکه‌ای در هر چهار رقم بین ۳۸/۳۴ – ۳۷/۱۶ درجه سانتی‌گراد بدست آمد، در حالی که در مدل دندان مانند دمای بهینه پایین برای ارقام مورد بررسی بین ۳۷/۳۶ – ۳۵ درجه سانتی‌گراد و دمای بهینه بالا در محدوده ۳۹/۷۹ – ۳۷/۹۹ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین دمای سقف برای هر چهار رقم توسط مدل‌های برتر بین ۵۰/۴۶-۴۹/۶۳ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

کلید واژه‌ها: برنج، دمای کاردینال، سرعت جوانه‌زنی، مدل دوتکه‌ای ، مدل دندان مانند

مقدمه

جوانه‌زنی بذر از مراحل و مهم حیاتی در چرخه گیاه می‌باشد که بر رشد گیاهچه، بقا و پویایی جمعیت تأثیرگذار است. این پدیده با جذب آب توسط بذر شروع و با طویل شدن محور جنین از پوشش بذر به اتمام می‌رسد. جوانه‌زنی و سبز شدن یک فرآیند پیچیده فیزیولوژیک است که توسط فاکتورهای ژنتیکی و محیطی نظیر نور، دما، شوری، پتانسیل اسمزی خاک، pH و عمق دفن خاک تنظیم می‌شود (بسکین و بسکین، ۲۰۰۱). در این میان دما یکی از مهمترین عوامل محیطی است که تعیین‌کننده ظرفیت و میزان جوانه‌زنی بذر می‌باشد و هر گیاهی دارای دامنه مطلوب برای جوانه‌زنی است. دما می‌تواند فعالیت‌های آنزیم‌ها را تنظیم کند و سنتز هورمون‌هایی که بر جوانه‌زنی اثر می‌گذرد را گسترش و یا مهار کند (بسکن و بسکین، ۲۰۰۱). تمام فرآیندهای بیولوژیکی

در جوانه‌زنی به دما واکنش نشان می‌دهند و این واکنش‌ها را می‌توان با سه درجه حرارت کاردینال شامل دماهای پایه، مطلوب و سقف خلاصه کرد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). با شناسایی آستانه‌های دمایی کلیدی، می‌توان تأثیرات دمایی متوسط و شدید را ارزیابی کرد و توصیه‌هایی را بر تولیدکنندگان انجام داد. بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه نسبت به دما و شناخت دماهای کاردینال به منظور طراحی مدل‌های پیش‌بینی کننده جوانه‌زنی و سبز شدن ، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، مفید است. بنابراین انتخاب مدل مناسب برای کمی‌سازی واکنش سرعت سبز شدن نسبت به دما در تعیین دماهای کاردینال بسیار با اهمیت تلقی می‌شود. از رگرسیون‌های غیرخطی و مدل‌های ریاضی به منظور شبیه‌سازی جوانه‌زنی، سبز شدن بذور و پیش‌بینی فنولوژی گیاهان نسبت به دما می‌توان استفاده کرد. امتیاز این توابع این است که پارامترهای بکار رفته در این مدل‌ها دارای مفهوم بیولوژیکی هستند (هاردیگری، ۲۰۰۶). با توجه به اینکه برنج (*Oryza sativa*) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در بین غلات می‌باشد که نیمی از جمعیت جهان، به برنج به عنوان غذای اصلی وابسته می‌باشند و از آنجایی که مطالعه دقیقی درباره تنوع دماهای کاردینال ارقام برنج به تغییرات دما صورت نگرفته است، از این‌رو پژوهش حاضر به منظور ارزیابی تنوع دمایی بر روی چهار رقم مورد استفاده در ایران به ویژه در استان‌های شمالی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین بهترین مدل توجیه‌کننده جوانه‌زنی برنج به دما آزمایشی در سال ۱۳۹۶ انجام شد. ارقام مورد استفاده در این آزمایش شامل هاشمی، دیلمان، گوهر و خزر بود که از موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) تهیه شد. جهت سنجش قابلیت جوانه‌زنی این ارقام نخست ۵۰ عدد بذر در پتری‌دیش‌هایی شیشه‌ای در دماهای صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۴ روز قرار داده شدند. در کلیه تیمارهای دمایی برای هر تیمار منحنی پیشرفت جوانه‌زنی در مقابل زمان ترسیم گردید و معکوس زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی به عنوان معیاری از سرعت جوانه‌زنی در نظر گرفته شد. تعیین دماهای کاردینال با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی بین سرعت جوانه‌زنی (روز) و دماهای مختلف انجام شد که در آن‌ها دما به عنوان متغیر مستقل (محور X) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور Y) در نظر گرفته شد (وایس و بینینگ، ۱۹۸۷). پس از محاسبه سرعت جوانه‌زنی از توابع دندان مانند ، دو تکه‌ای و بتا برای توصیف تغییرات سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما و تخمین دماهای کاردینال بذور جوانه‌زده استفاده گردید (جدول ۱).

جدول ۱- مدل‌های رگرسیونی (دندان مانند، دو تکه‌ای و بتا) به کار برده شده به منظور برازش سرعت جوانه‌زنی ارقام برنج با دما

رابطه	دندان مانند	دو تکه‌ای	بتا
تابع	$if\,(T_b < T \le T_{o1})$ $f(T) = (T - T_b)/(T_{o1} - T_b)$	$if\,(T_b < T \le T_o)$ $f(T) = (T - T_b)/(T_o - T_b)$	$f(T) = \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_o} \times \frac{T - T_b}{T_o - T_b}^{\left(\frac{T_o - T_b}{T_c - T_o}\right)}\right) / f_o$
	$if\,(T_{o2} < T \le T_c)$ $f(T) = (T_c - T)/(T_c - T_{o2})$	$if\,(T_o \le T < T_c)$ $f(T) = 1 - (T - T_o)/(T_c - T_o)$	
	$f(T) = 1\ if\,(T_{o1} < T \le T_{o2})$	$if\,(T \le T_b) or (T_c \le T)$	

T: دما، T_b: دمای پایه، T_o: دمای بهینه، T_{o1}: دمای بهینه پایین، T_{o2}: دمای بهینه بالا، T_c: دمای حداکثر، a: پارامتر شکل تابع و f_o: ضریب رگرسیونی است.

به منظور ارزیابی و تعیین نکویی برازش مدل‌های مختلف از برآوردگرهای آماری شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد که به ترتیب با استفاده از معادلات (۱) محاسبه شدند.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2 / n} \qquad \text{معادله (۱)}$$

RMSE، شاخصی است که اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مشاهدات را نشان می‌دهد و توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل است. در این معادله x_i: درصد جوانه‌زنی تجمعی واقعی، y_i: درصد جوانه‌زنی تجمعی پیش‌بینی شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد. هر چه مقدار RMSE کمتر باشد نشان‌دهنده آن است که مدل برازش مناسب‌تری داشته است. معیار دیگری که برای ارزیابی نکویی برازش مدل‌ها کاربرد دارد ضریب تبیین (R^2) می‌باشد این شاخص میزان همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. هر چه مقدار R^2 بیشتر باشد نشان دهنده این است که مدل درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف را بهتر برآورد نموده است. برازش مدل‌ها و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Sigma Plot نسخه 12.5 انجام گرفته است.

نتایج و بحث

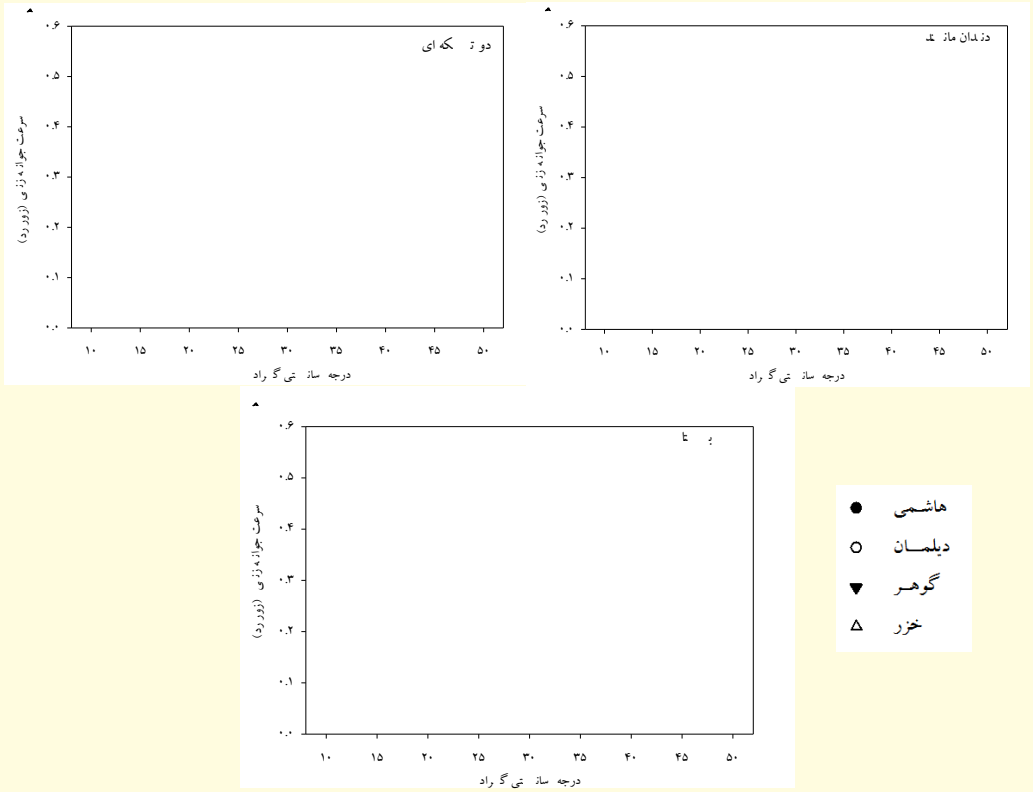
جدول (۲) مقادیر برازش داده شده برای پارامترهای توابع و نکویی برازش مدل‌ها را بر حسب معیار RMSE و R^2 نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش مدلی بیانگر آن است که بهترین مدل برای نشان دادن الگوی سرعت جوانه‌زنی ارقام هاشمی، دیلمان، گوهر و خزر به دمای جوانه‌زنی مدل دندان مانند بوده است. برآوردهای آماری حاکی از آن است که مدل دو تکه‌ای بسیار نزدیک به مدل دندان مانند بود، به طوری‌که مقدار شاخص RMSE برای هر چهار رقم مورد مطالعه بین ۰/۰۴- ۰/۰۱۸ در صورتی که این شاخص برای مدل دو تکه‌ای بین ۰/۰۴۱ – ۰/۰۱۷ تخمین زده شد. رابطه خطی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده نیز مؤید اعتبار بالای مدل‌های مذکور می‌باشد، به طوری که مقدار R^2 در هر دو مدل دندان مانند و دو تکه‌ای برابر با ۰/۹۰ – ۰/۸۵ بود (جدول ۲).

جدول ۲- پارامترهای برآورده شده برای جوانه زنی بذر ارقام برنج با استفاده از مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا

		ارقام	هاشمی	دیلمان	گوهر	خزر
توابع	پارامتر					
دو تکه‌ای	T_b (°C)		۱۱/۹۸±۱/۸*	۱۲/۵۳±۳/۰۴	۱۲/۷۱±۲/۷	**۱۲/۸۲±۲/۵۳**
	T_o (°C)		۳۷/۹۵±۱/۹۲	۳۸/۲۲±۲/۲	۳۷/۱۶±۲/۱۹	**۳۸/۳٤±۱/۷۷**
	T_c (°C)		۴۹/۶۴±۱/۷	۵۰/۴۶±۲/۲۲	۴۹/۶۹±۱/۶۸	**٤۹/۷٤±۱/٦۲**
	RMSE		۰/۰۴۱	۰/۰۴۷	۰/۰۳۶	**۰/۰۱۷**
	R^2		۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۷	**۰/۸۹**
دندان مانند	T_b (°C)		۱۱/۹۷±۰/۰۲	۱۲/۵۳±۰/۰۲	۱۲/۷۱±۰/۰۱	**۱۲/۸۱±۰/۰۱**
	T_{o1} (°C)		۳۵/۰۰±۰/۰۲	۳۷/۳۶±۰/۰۱	۳۵/۵۳±۰/۰۱	**۳۵/۰۸±۰/۰۱**
	T_{o2} (°C)		۳۹/۲۹±۰/۰۲	۳۸/۶۳±۰/۰۲	۳۷/۹۹±۰/۰۱	**۳۷/۷۹±۰/۰۱**
	T_c (°C)		۴۹/۶۳±۰/۰۲	۵۰/۴۶±۰/۰۲	۴۹/۶۹±۰/۰۱	**٤۹/۷۳±۰/۰۱**
	RMSE		۰/۰۴	۰/۰۴۶	۰/۰۳۴	**۰/۰۱۸**
	R^2		۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۸۹	**۰/۹**
بتا	T_b (°C)		۱۸/۸۲±۲/۷۷	۱۸/۴۶±۲/۳۲	۱۸/۶۶±۲/۳۸	**۱۸/۷۷±۲/۰۷**
	T_o (°C)		۳۴/۵۶±۲/۲۵	۳۵/۹۱±۲/۵۱	۳۴/۸۸±۲/۴۳	**۳۵/۰۳±۲/۱۱**
	T_c (°C)		۴۹/۷۷±۱/۴	۵۰/۲۲±۱/۶	۴۹/۶۲±۱/۴۳	**٤۹/۸۵±۱/۳۲**
	RMSE		۰/۳۰۴	۰/۰۷۸	۰/۰۵۶	**۰/۰۳۲**
	R^2		۰/۸۳	۰//۷۸	۰/۸۱	**۰/۸٤**

T_b: دمای پایه، T_o: دمای بهینه، T_{o1}: دمای بهینه پایین، T_{o2}: دمای بهینه بالا، T_c: دمای حداکثر، RMSE: میانگین مربعات خطا، R^2: همبستگی بین مقادیر، * خطای استاندارد است.

در همین راستا صبوری و همکاران (۱۳۹۱) مدل برتر برای رقم برنج هاشمی مدل دو تکه‌ای را معرفی کردند. در یک تحقیقی خلج و همکاران (۱۳۹۱) در برازش دماهای کاردینال کلزا و علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ، مدل دو تکه‌ای را به عنوان بهترین مدل معرفی کردند. اختلاف مدل‌های رگرسیونی مورد مطالعه بین گونه‌ها را می‌توان به تفاوت در دمای پایه و احتیاجات دمایی خاص برای تکمیل مراحل نموی گیاهان نسبت داد. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که دمای پایه برآورد شده به وسیله مدل‌های برتر با اختلاف کم در ارقام هاشمی، دیلمان، گوهر و خزر به‌ترتیب ۱۱/۹۸، ۱۲/۵۳، ۱۲/۷۱ و ۱۲/۸۲ درجه سانتی‌گراد در مدل دو تکه‌ای و همچنین به‌ترتیب ۱۱/۹۷، ۱۲/۵۳، ۱۲/۷۱ و ۱۲/۸۱ درجه سانتی‌گراد برای مدل دندان مانند بود (جدول ۲ و شکل ۳). دمای بهینه جوانه‌زنی در تابع دو تکه‌ای در هر چهار رقم مورد بحث بین ۳۸/۳۴ – ۳۷/۱۶ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. در حالی که در مدل دندان مانند دمای بهینه پایین برای ارقام مورد بررسی بین ۳۷/۳۶ – ۳۵ درجه سانتی‌گراد و دمای بهینه بالا در محدوده ۳۹/۷۹ – ۳۷/۹۹ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۲ و شکل ۳). حداکثر سرعت جوانه‌زنی ارقام هاشمی، دیلمان، گوهر و خزر به ترتیب ۴۹/۶۴، ۵۰/۴۶، ۴۹/۶۹ و ۴۹/۷۴ درجه سانتی‌گراد در مدل دو تکه‌ای و به ترتیب ۴۹/۶۳، ۵۰/۴۶، ۴۹/۶۹، ۴۹/۷۳ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. بر اساس این نتایج به نظر می‌رسد شیب خط رگرسیون که بیانگر میزان تأثیرپذیری سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما است در مدل‌های مورد بررسی مشابه بوده است. به عبارت دیگر، واکنش پذیری فرآیند جوانه‌زنی بذر ارقام برنج از تغییرات دمایی (نسبت به دمای مطلوب) باعث می‌گردد تا سرعت جوانه‌زنی با آهنگ مشابهی کاهش و افزایش یابد (شکل ۱). به نظر می‌رسد اختلاف بین دمای پایه در گیاهان مختلف یک تیره در ارتباط نزدیک با منشأ ژنتیکی و زیستی آن‌ها باشد (تروگیل و همکاران، ۲۰۰۰).



شکل ۱- رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی در مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند، بتا در ارقام برنج. نقاط مقادیر مشاهده و خطوط مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل شده می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که واکنش جوانه‌زنی ارقام برنج نسبت به دما با استفاده از مدل‌های دو تکه‌ای و دندان مانند به بهترین شکل قابل توصیف است. دمای بهینه جوانه‌زنی هر چهار رقم برنج در هر دو مدل دو تکه‌ای در محدوده ۳۸/۳۴ – ۳۷/۱۶ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. در حالی که در مدل دندان مانند دمای بهینه پایین برای ارقام مورد بررسی بین ۳۷/۳۶ – ۳۵ درجه سانتی-گراد و دمای بهینه بالا در محدوده ۳۹/۷۹ – ۳۷/۹۹ درجه سانتی‌گراد بود. بی شک، ارزیابی تعداد بیشتری از مدل های پیش بینی جوانه‌زنی تحت تیمارهای مختلف دمایی و رطوبتی و نیز سایر عوامل محیطی مؤثر بر فرآیند جوانه‌زنی می تواند محققین را در درک بهتر نیازهای اکولوژیک جوانه‌زنی برنج کمک نماید.

منابع

خلج، ح.، اله‌دادی، ا.، ایران‌نژاد، ح.، اکبری، غ.ع.، مین‌باشی، م. و باغستانی، م. ۱۳۹۱. تخمین دماهای کاردینال کلزا و چهار علف هرز رایج آن با استفاده از مدل‌های رگرسیونی. کشاورزی بوم‌شناختی، ۲(۱): ۳۳-۲۱.

صبوری، ح.، صبوری، ع. دادرس، ا.ر. ۱۳۹۱. مدل‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف برنج نسبت به دما. فصلنامه تحقیقات غلات، ۲(۲): ۱۳۵-۱۲۳.

Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 2001 Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego, p. 666.

Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. Annals of Botany, 97, 1115–1125.

Trudgill, D.L., Squire, G.R. and Thompson, K. 2000. A thermal time basis for comparing the germination requirements of some British herbaceous plants. New Phytologist, 145: 107-114.

Wise, A.N. and Binning, L.K. 1987. Calculating the threshold temperature of development for weeds. Weed Science, 35: 177-179.

Zhang, H., Tian, Y. and Zhou, D. 2015. A modified thermal time model quantifying germination response to temperature for C_3 and C_4 species in temperate grassland. Agriculture, 5: 412-426.

Assessment of non-linear regression models to evaluate response of germinatio rate to temperature in four rice cultivars

Maryam Hosseini Chaleshtori[1*], Shahram Nazari[2], Saleh Mohammadi[3]

1- Assisstant professor of Rice Research Institute of Iran, AREEO, Rasht, Iran.
2- Graduated of Crop Ecology Ph.D., Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3- Director of Agricultural Support Services Company and Graduated of Crop Physiology Ph.D., Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
Corresponding author E-mail: mhkhossieni@gmail.com

Abstract

In order to evaluate different nonlinear regression models, an experiment was carried out to estimating cardinal temperatures of four rice (*Oryza sativa*). In this experiment, the germination rate of rice cultivars including Hashemi, Dilman, Gohar and Khazar was measured by nine temperature treatments (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 °C). To predict the response of germination rate to temperature some regression models including dent-like, segmented and beta were applied. Some statistical estimators like Root Mean Squared of Error (RMSE) and coefficient of determination (R^2) were used to evaluate goodness of fit for different regression models. The results showed that the segmented and dent-like models compared to the beta model were able to better describing the response of germination rate to temperature in rice cultivars largely due to their higher R^2 and lower RMSE. Generally, the base temperatures estimated by the superior models with a low difference in all four cultivars are in the range of 11.97-12.82 °C. The optimum germination temperature in the segmented model was obtained in all four cultivars between 37.16-38.34 °C, while in the dent-like model, lower optimum temperature for the cultivars under study, between 35- 37.36 °C and upper optimum temperature was in the range of 37.99- 39.79 °C. The ceiling temperature for all four cultivars was determined by superior models between 49.63- 50.46 °C.

Keywords: Rice, Cardinal temperatures, Germination rate, Segmented model, Dent-like model.