

مدل سازی واکنش سبز شدن باقلا به دما در شرایط مزرعه

* حسین عجم نوروزی^۱، افشین سلطانی^۲، اسلام مجیدی^۳ و مهدی همایی^۴

^۱ دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ^۲ دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و ^۴ دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس تهران
تاریخ دریافت: ۸۵/۶/۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۰/۱۱

چکیده

هدف اصلی این مطالعه توسعه مدل سبز شدن گیاهچه باقلا، شامل تعیین دماهای کاردینال و روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن گیاهچه‌ها و به عبارتی تعیین واکنش سبز شدن گیاهچه باقلا به دما بود. به این منظور، در یک آزمایش مزرعه‌ای، ۴ رقم باقلا (برکت، سرازیری، عراقی و گاوی) در ۱۱ تاریخ کاشت (هر ماه یکی) کشت گردید و تعداد روز تا سبز شدن آنها ثبت شد. جهت توصیف رابطه بین سرعت سبز شدن و دما از مدل‌های بتا، دوتکه‌ای، منحنی، درجه دوم و دندان مانند استفاده گردید. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از معیارهای جذر میانگین مربع خطا (RMSD)، ضریب تبیین (R^2)، ضرایب رگرسیون خطی ساده (a و b) ضریب همبستگی (r) استفاده گردید. نتایج نشان داد که واکنش سبز شدن باقلا به دما، به وسیله تابع دو تکه‌ای بهتر از سایر مدل‌ها توصیف می‌گردد. برآورد دماهای کاردینال توسط تابع دوتکه‌ای نشان داد که دمای پایه از ۰/۹۸ تا ۱/۶۱ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه از ۲۴/۹۹ تا ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد برای ارقام مختلف باقلا در نوسان بود، اما دمای سقف برای همه ارقام، ۳۵ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. همچنین برآورد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن توسط مدل دو تکه‌ای نشان داد که از این نظر بین ارقام باقلا اختلاف معنی‌داری وجود داشت به طوری که رقم گاوی که بذره‌ای ریزتری داشت بعد از ۶/۶۵ روز (با بیشترین سرعت سبز شدن (۰/۰۹))، سریع‌تر از سایر ارقام، سبز گردید. برای سایر ارقام، روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن بین ۸/۶۰ و ۹/۳۱ روز بود. از اطلاعات حاصل از این مطالعه می‌توان برای پیش‌بینی سبز شدن ارقام باقلا در شرایط دمایی مختلف استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: باقلا، سبز شدن، دما، مدل سازی

مقدمه

دام توجه زیادی می‌شود (تورپین و همکاران، ۲۰۰۲).
سطح زیر کشت باقلا در ایران حدود ۳۰۰۰۰ هکتار است (فائو، ۲۰۰۵) که عمده‌ترین مناطق تولید آن استان‌های گلستان، خوزستان، مازندران و گیلان می‌باشند (مجنون حسینی، ۱۳۷۲). تقاضا برای این گیاه با توجه به

باقلا (*Vicia faba* L.) با سطح زیر کشت ۲/۹ میلیون هکتار از مهمترین بقولات دانه‌ای دنیا به‌شمار می‌رود. این گیاه در خاورمیانه، چین و حتی نقاطی از اروپا و استرالیا به‌عنوان منبع پروتئینی در تغذیه انسان و

۹ آبان، ۹ آذر، ۱۰ دی، ۱۱ بهمن، ۱۰ اسفند ۸۴، ۱۰ فروردین، ۸ اردیبهشت و ۷ خرداد ۸۵. در هر تاریخ کاشت، آزمایش به صورت یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید که هر بلوک آن شامل ۴ رقم باقلا از ارقام نواحی مختلف کشور شامل برکت (رقم اصلی در استان گلستان)، رقم سرازیری (رقم اصلی در استان خوزستان)، رقم گاوی (رقم اصلی در استان لرستان) و رقم عراقی (متداول در استان گلستان) بود که وزن هزار دانه آنها به ترتیب ۱۳۲۰، ۱۲۵۰، ۱۲۰۰ و ۵۲۰ گرم بود. هر کرت به طول ۴ متر و ۳ خط کاشت با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود. در هر کرت ۲ متر به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد بذور سبز شده در هر روز بررسی و ثبت گردید. بذور سبز شده به بذوری اطلاق می‌شود که هر قسمتی از گیاهچه آنها در سطح خاک قابل مشاهده باشد (فهر و کاوینس، ۱۹۸۰). در کلیه تاریخ کاشت‌ها و برای هر رقم زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن (زمانی که در سطح خاک هر کرت از ۱۳۲ بذور کشت شده حداقل ۶۶ بذور سبز شده بود) یادداشت گردید. سپس عکس زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن به‌عنوان سرعت سبز شدن محاسبه شد. در پایان آزمایش جهت آنالیز واریانس داده‌ها از تجزیه مرکب طرح بلوک‌های کامل تصادفی که در آن هر تاریخ کاشت یک محیط منظور شده بود استفاده گردید. محاسبات مربوط به آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت (سلطانی، ۱۳۷۷).

به‌منظور توصیف رابطه بین دما، سرعت سبز شدن و برآورد دماهای کاردینال و روز بیولوژیک از مدل ۱ استفاده شد.

$$1/e = f(T)/e_0 \quad (1)$$

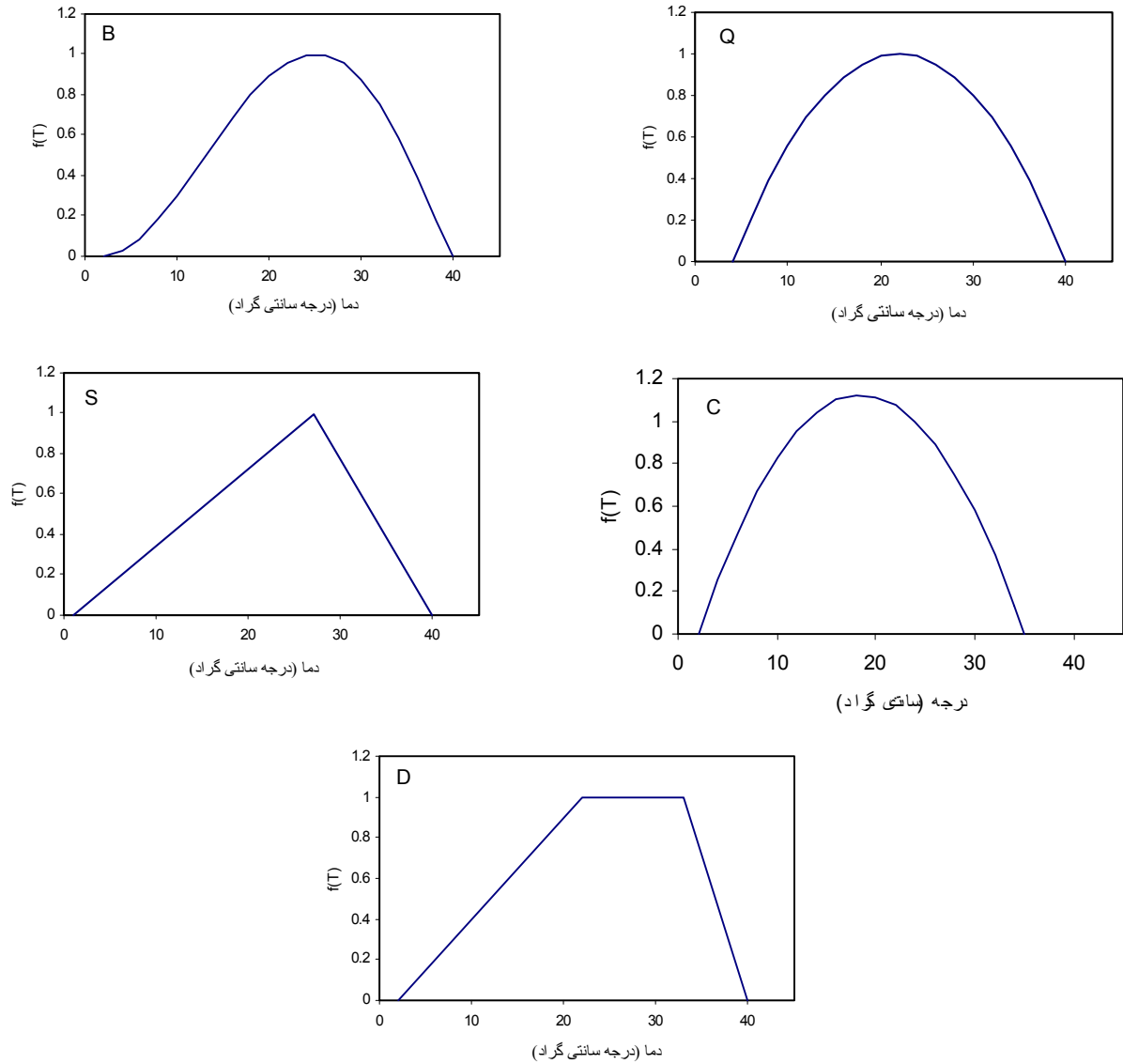
که در آن $1/e$ سرعت سبز شدن، $f(T)$ تابع دما و e_0 تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن (تعداد روز مورد نیاز برای سبز شدن در شرایط مطلوب دما یا به‌عبارت دیگر حداقل تعداد روز لازم برای سبز شدن) می‌باشد. در این مطالعه از ۵ تابع دمایی ذیل استفاده گردید (شکل ۱).

افزایش جمعیت و کاهش دسترسی به سایر منابع پروتئینی رو به افزایش می‌باشد (تورپین و همکاران، ۲۰۰۲).

یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر عملکرد گیاهان زراعی، انتخاب تاریخ کاشت مناسب و استقرار خوب گیاهچه‌ها است. به‌منظور تولید محصول بیشتر و استقرار بهتر گیاهان، جوانه‌زدن و سبز شدن سریع، یکنواخت و کامل بذرها همراه با تولید گیاهچه‌های قوی ضروری می‌باشد (ایانوکی و همکاران، ۲۰۰۰). این ویژگی‌ها به شدت تحت تأثیر دما و رطوبت خاک قرار می‌گیرد (جاکوبسن و باج، ۱۹۹۸؛ آندا و پینتر، ۱۹۹۴). در شرایط ایران، رطوبت خاک در زمان کاشت این گیاه عموماً محدودکننده نبوده و دما عامل اصلی تعیین‌کننده سبز شدن و استقرار گیاه به‌شمار می‌آید. شناخت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف)، به همراه بررسی واکنش سبز شدن بذرها به دما بسیار مهم می‌باشد، چرا که از اطلاعات آنها می‌توان در جهت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا این گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه‌زده و استقرار یابند، استفاده نمود (رامین، ۱۹۹۷؛ جاکوبسن و باج، ۱۹۹۸). در باقلا، گزارشی در مورد دماهای کاردینال سبز شدن تحت شرایط مزرعه در دست نیست. در این زمینه بر روی ارقام ایرانی باقلا نیز تحقیقی انجام نشده است. بنابراین، هدف از این مطالعه کمی‌سازی واکنش سبز شدن باقلا به دما تحت شرایط مزرعه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان با عرض جغرافیایی $36^{\circ} 45' N$ ، طول جغرافیایی $54^{\circ} 25' E$ و ۵/۵- متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. زمین مورد نظر پس از برداشت گندم در سال ۱۳۸۳ شخم زده شد و در اوایل تابستان ۱۳۸۴ با اجرای عملیات شخم و دیسک آماده کاشت گردید. آزمایش شامل ۱۱ تاریخ کاشت بود و تاریخ کاشت‌ها عبارت بودند از ۱۳ مرداد، ۱۰ شهریور، ۱۰ مهر،



شکل ۱- توابع استفاده شده برای مدل‌سازی واکنش سبز شدن به درجه حرارت شامل: بتا (B)، دو تکه‌ای (S)، درجه دوم (Q)، منحنی (C) و دندان مانند (D).

۳- تابع درجه دوم (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶ الف):

$$f(T) = \left[(T - T_b) \times (T_c - T) \times \left(\frac{T_c - T_b}{2} \right)^{-2} \right] \quad (4)$$

۴- تابع منحنی (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶ الف):

$$f(T) = \left[\frac{1}{(T_o - T_b) \times (T_c - T_o) \left(\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right)} \right] \quad (5)$$

۵- تابع دندان مانند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶ الف):

۱- تابع دو تکه‌ای (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶ الف):

$$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \quad \text{if } T_b < T \leq T_o$$

$$f(T) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \quad \text{if } T_o < T < T_c \quad (2)$$

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

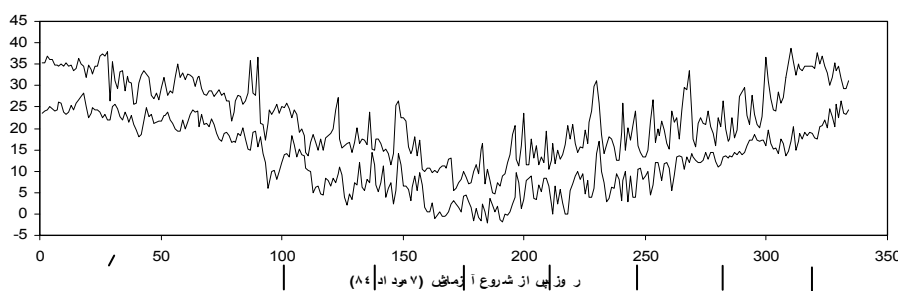
۲- تابع بتا (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶ الف):

$$f(T) = \left[\left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right)^{\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b}} \right] \begin{cases} \text{if } T > T_b \text{ و } T < T_c \\ \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases} \quad (3)$$

(SE) استفاده شد که منطبق بر مفهوم حدود اطمینان ۹۵ درصد است (سلطانی، ۱۳۷۷).

نتایج و بحث

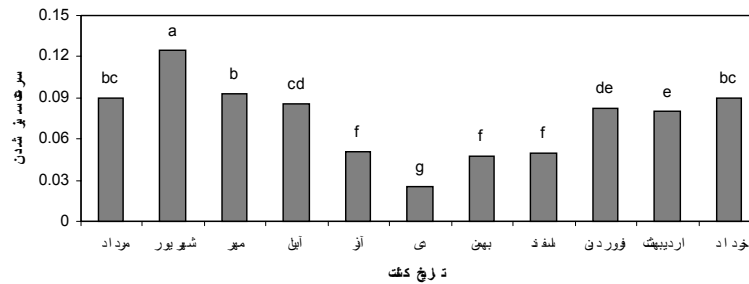
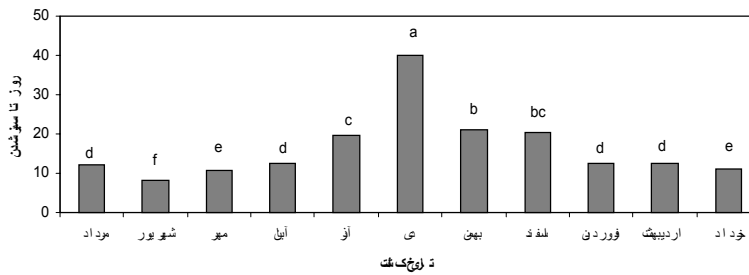
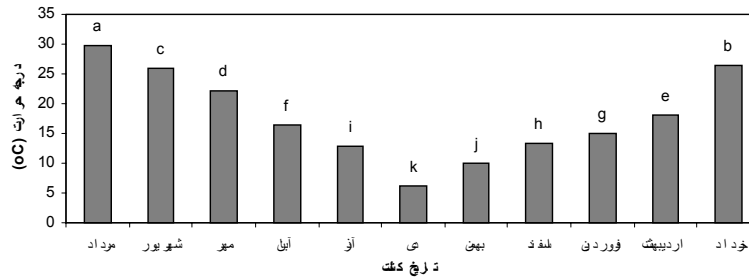
وضعیت دمای هوا طی آزمایشی در شکل ۲ نشان داده شده است. دامنه دمای حداکثر از ۵ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد و دمای حداقل از ۲- تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد متفاوت بود. این دامنه گسترده دمایی حاکی از موفقیت آزمایش در ایجاد تغییر دما می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین تاریخ‌های کاشت از نظر دما، روز تا سبز شدن و سرعت سبز شدن اختلاف بسیار معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۱ درصد وجود دارد (جدول ۱). به علاوه، نتایج مقایسه میانگین آنها با استفاده از آزمون ال.سی.دی مشخص کرد که مرداد (با میانگین دمای ۲۹/۷ درجه سانتی‌گراد) گرم‌ترین و دی ماه (با میانگین دمای ۶/۳ درجه سانتی‌گراد) سردترین ماه‌های آزمایش بودند. روز تا سبز شدن بذرها در تاریخ کاشت شهریور (۸/۳ روز) از همه کمتر و در تاریخ کاشت دی ماه (۴۰ روز) از همه بیشتر بود. به همین ترتیب، بالاترین سرعت سبز شدن در ماه شهریور (۰/۱۲۵) و کمترین آن در دی ماه (۰/۰۲۵ در روز) مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۲- درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر در طی آزمایش در گرگان، ایران. خطوط عمودی نشان‌دهنده تاریخ‌های کاشت می‌باشد.

جدول ۱- تجزیه واریانس برای دما، روز تا سبز شدن و سرعت سبز شدن ارقام باقلا در قالب تجزیه مرکب آزمایش‌ها.

سرعت سبز شدن		روز سبز شدن		دما		درجه آزادی	منابع تغییرات
احتمال	مجموع مربعات	احتمال	مجموع مربعات	احتمال	مجموع مربعات		
۰/۰۰۰۱	۰/۱۳	۰/۰۰۰۱	۱۲۶۰۷/۸۵	۰/۰۰۰۱	۸۸۴۶/۲۴	۱۰	محیط (تاریخ کاشت)
۰/۶۰۷۴	۰/۰۰۲	۱۸۳/۱۹	۴۴/۴۴	۰/۴۸۵۷	۳/۱۶	۳۳	خطای ۱
۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۱	۲۸۲/۷۴	۰/۰۰۳۶	۱/۳۹	۳	ژنوتیپ
۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۰۵	۰/۰۰۰۱	۱۸۳/۱۹	۰/۰۰۰۱	۲۰/۶۲	۳۰	ژنوتیپ×محیط
---	۰/۰۰۷	---	۱۲۶/۸۱	---	۲۰/۵۱	۹۹	خطای ۲



شکل ۳- میانگین‌های دما، روز تا سبز شدن و سرعت سبز شدن برای تاریخ‌های مختلف کاشت.

چهار نوع شبدر و الیس و همکاران (۱۹۸۷) بر روی بقولات مشابه است.

پارامترهای ارزیابی برازش مدل به داده‌های سبز شدن در جدول ۲ آورده شده است. تعداد روز تا سبز شدن پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده در آزمایش مزرعه‌ای در شکل ۵ نشان داده شده است. برای انتخاب مدل مناسب در دو مرحله عمل می‌شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶ الف): ابتدا مدل‌هایی انتخاب می‌شوند که پیش‌بینی آن‌ها دارای اریبی نباشد، یعنی مقادیر a و b برای آن‌ها معنی‌دار نباشد. در مرحله دوم، از بین مدل‌های موفق در مرحله اول، مدل یا مدل‌هایی گزینش می‌شوند که بخش بزرگ‌تری از تغییرات را توجیه کنند (R^2 بزرگ‌تر) و در همان حال جذر میانگین مربعات خطای کوچک‌تری داشته باشند و همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده بالا باشد.

نتایج تجزیه واریانس همچنین مشخص نمود که بین ارقام باقلا از نظر روز تا سبز شدن و سرعت سبز شدن بذرها اختلاف بسیار معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱). مقایسه میانگین ارقام با استفاده از آزمون LSD نشان داد که رقم گاوی با ۴/۳ روز در مقایسه با ارقام دیگر دارای کمترین تعداد روز تا سبز شدن (در جمع تاریخ کاشت‌ها) و بیشترین سرعت سبز شدن (۰/۰۹ در روز) بود (شکل ۴). علت کمتر بودن تعداد روز تا سبز شدن در رقم گاوی ریز بودن دانه این رقم است (کوپلند و مکدونالد، ۱۹۹۵). چرا که وزن هزار دانه رقم گاوی ۵۲۰ گرم ولی وزن هزار دانه سایر ارقام بین ۱۲۰۰ تا ۱۳۲۰ گرم بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که به لحاظ سرعت سبز شدن بین ژنوتیپ‌های باقلا تنوع وجود دارد. این تنوع سرعت سبز شدن بین ژنوتیپ‌های باقلا با نتایج به دست آمده توسط ایانوکی و همکاران (۲۰۰۰) بر روی سرعت سبز شدن

در میان مدل‌های مختلف فقط مدل دو تکه‌ای برای هیچ یک از ارقام اریب معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). پیش‌بینی مدل‌های درجه دوم، منحنی و دندان مانند برای همه ارقام دارای اریب معنی‌داری بود (به استثنای مدل منحنی برای رقم گاوی)، و پیش‌بینی مدل بتا فقط برای رقم عراقی دارای اریب معنی‌دار بود. بنابراین، در مرحله اول مدل‌های بتا و دو تکه‌ای گزینش شدند و سایر مدل‌ها یعنی درجه دوم، منحنی و دندان مانند کنار گذاشته شدند. به لحاظ مقادیر $RMSE$ ، R^2 و r نیز کارکرد مدل‌های بتا و دو تکه‌ای مشابه بود (جدول ۲)، اما مدل بتا برای رقم عراقی برازش قابل قبولی نداشت و نیز

ضریب a برآورد شده برای دمای پایه با این مدل برای ارقام عراقی و برکت دور از واقعیت به نظر می‌آیند (جدول ۳). با توجه به این نکات مدل نهایی و برتر، مدل دو تکه‌ای بود، با این حال پارامترهای برآورد شده با کلیه مدل‌ها برای مقایسه ارائه شده است (جدول ۳). مدل دو تکه‌ای ۷۲ تا ۸۴ درصد از تغییرات سرعت سبز شدن در مقابل دما را برای ارقام مختلف توجیه کرد و مقدار $RMSE$ برای این مدل بین ۲/۰۲ تا ۲/۵۵ روز متغیر بود که ۱۳ تا ۱۵ درصد میانگین سرعت سبز شدن است.

جدول ۲- $RMSE$ ، ضریب تغییر (CV) و ضریب تبیین (R^2) روابط بین سرعت سبز شدن و دما در چهار رقم باقلا به وسیله توابع مختلف. ضرایب رگرسیون (a و b) و ضریب همبستگی (r) برای روابط روز تا سبز شدن مشاهده شده و پیش‌بینی شده نیز برآورد شده است.

مدل	رقم	RMSE	CV	R^2	$a \pm se$	$b \pm se$	r
مدل دو تکه‌ای	برکت	۲/۵۳	۱۴/۸۴	۰/۷۹	-۰/۴۹±۰/۸۳	۱/۰۲±۰/۰۴	۰/۹۶
	سرازیری	۲/۰۳	۱۲/۲۴	۰/۸۸	۰/۰۴±۰/۶۸	۰/۹۹±۰/۰۴	۰/۹۷
	عراقی	۲/۲۰	۱۲/۹۴	۰/۸۲	۳/۳۹±۰/۷۷*	۰/۷۷±۰/۰۴*	۰/۹۵
	گاوی	۲/۱۵	۱۵/۳۴	۰/۷۵	-۰/۱۴±۰/۶۳	۰/۹۹±۰/۰۴	۰/۹۷
درجه دوم	برکت	۲/۴۸	۱۴/۵۷	۰/۷۷	۰/۳۵±۰/۸۱	۰/۹۷±۰/۰۴۲	۰/۹۶
	سرازیری	۲/۵۵	۱۵/۰۵	۰/۷۲	۰/۴۹±۰/۸۵	۰/۹۸±۰/۰۴۵	۰/۹۶
	عراقی	۲/۳۷	۱۳/۱۳	۰/۸۴	۰/۰۳±۰/۷۲	۱/۰۳±۰/۰۴۳	۰/۹۶
	گاوی	۲/۰۲	۱۴/۳۴	۰/۷۵	۰/۸۴±۰/۵۹	۰/۹۲±۰/۰۴۱	۰/۹۷
منحنی	برکت	۲۴۰/۰۲	۱۵۴/۴۶	۰/۵۴	-۵۷۷/۳۰±۷۸/۵۳*	۴۲/۷۶±۴/۰۷*	۰/۸۵
	سرازیری	۶۲۲/۶۸	۳۷۲/۵۶	۰/۶۳	-۷۱۰/۶۰±۲۰۷/۷۷*	۵۲/۵۴±۱۱/۱*	۰/۵۸
	عراقی	۲۸/۰۰	۸۰/۴۴	۰/۵۶	-۸۴/۵۷±۹/۸۳*	۶/۷۹±۰/۵۱*	۰/۹۰
	گاوی	۱۸/۰۴	۱۶۱/۵۳	۰/۲۸	۴۶/۳۷±۵/۲۷*	-۳/۱۷±۰/۳۲*	۰/۸۴
دندانی مانند	برکت	۴/۹۱	۲۷/۰۵	۰/۷۵	-۶/۸۵±۱/۶۱*	۱/۴۶±۰/۰۸*	۰/۹۴
	سرازیری	۲/۷۳	۱۶/۱۰	۰/۸۷	-۲/۱۲±۰/۹۱*	۱/۴۱±۰/۰۵*	۰/۹۶
	عراقی	۲/۸۹	۱۶/۲۷	۰/۷۸	-۲/۴۱±۱/۰۱*	۱/۱۵±۰/۰۵*	۰/۹۶
	گاوی	۲/۴۷	۱۷/۳۵	۰/۷۵	-۱/۲۲±۰/۷۲	۱/۰۸±۰/۰۴	۰/۹۷
دندانمانند	برکت	۳/۳۷	۱۹/۱۵	۰/۷۹	-۳/۴۱±۱/۱۰*	۱/۲۳±۰/۰۶*	۰/۹۶
	سرازیری	۲/۰۵	۱۲/۳۳	۰/۸۷	-۰/۰۸±۰/۶۸	۱/۰۰±۰/۰۴*	۰/۹۷
	عراقی	۲/۱۲	۱۲/۲۸	۰/۸۳	۱/۶۵±۰/۷۴*	۰/۸۹±۰/۰۴*	۰/۹۶
	گاوی	۲/۷۸	۱۹/۱۹	۰/۷۳	-۲/۲۱±۰/۸۱*	۱/۱۷±۰/۰۵*	۰/۹۶

*: برای ضریب a نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با صفر است و برای ضریب b اختلاف معنی‌دار را با ۱ نشان می‌دهد.

جدول ۳- برآورد ضریب ثابت (a، برای مدل بتا)، دماهای پایه (T_b)، دمای بهینه (T_0)، دمای بهینه پایین (T_{01})، دمای بهینه بالا (T_{02}) و تعداد روز بیولوژیک (e_0) برای سبز شدن (۵۰ درصد جمعیت) با مدل‌های مختلف در چهار رقم باقلا. مقدار دمای سقف (T_c)، ۳۵ درجه سانتی‌گراد ثابت در نظر گرفته شد.

مدل	رقم	a	$T_b \pm se$	$T_0 \pm se$	$T_c \pm se$	e_0
دوتکه‌ای						
برکت		۵/۰۳±۵/۳۸	-۱۷/۱۰±۳۰/۰۷	۲۳/۷۸±۰/۵۱	۳۵/۰۰	۹/۷۲±۰/۳۹
سرازیری		۲/۰۱±۱/۲۹	-۴/۷۰±۱۰/۱۶	۲۶/۱۶±۰/۸۴	۳۵/۰۰	۹/۸۳±۰/۲۸
عراقی		۵۶۶۴۹۹۲	-۳/۵۱±۳۹/۰۰	۲۴/۳۲±۰/۳۹	۳۵/۰۰	۱۰/۴۲±۰/۳۲
گاوی		۱/۳۰±۰/۹۷	۰/۵۶±۷/۷۴	۲۸/۰۱±۲/۳۲	۳۵/۰۰	۷/۶۹±۰/۳۴
درجه دوم						
برکت			۱/۶۱±۱/۴۱	۲۴/۹۹±۰/۴۷	۳۵/۰۰	۸/۶۰±۰/۳۳
سرازیری			۰/۹۸±۱/۳۲	۲۵/۶۳±۰/۳۹	۳۵/۰۰	۸/۶۶±۰/۲۶
عراقی			۱/۰۰±۱/۰۲	۲۵/۹۴±۰/۲۸	۳۵/۰۰	۹/۳۱±۰/۲۰
گاوی			۱/۰۰±۰/۹۸	۲۸/۸۲±۰/۴۳	۳۵/۰۰	۶/۶۵±۰/۲۱
منحنی						
برکت			۶/۳۴±۰/۵۴	۸/۴۱±۰/۴۹	۳۵/۰۰	۱۰/۴۸±۰/۴۳
سرازیری			۶/۳۷±۰/۵۹	۸/۴۰±۰/۵۴	۳۵/۰۰	۱۰/۴۲±۰/۴۸
عراقی			۶/۰۴±۰/۵۵	۸/۷۰±۰/۵۰	۳۵/۰۰	۱۱/۲۷±۰/۴۵
گاوی			۶/۶۰±۰/۷۰	۷/۴۷±۰/۵۹	۳۵/۰۰	۸/۳۴±۰/۴۷
دندانی مانند						
برکت		۲/۹۹±۱/۲۴	۱۹/۸۵±۱/۰۹	۲۷/۸۹±۰/۷۰	۳۵/۰۰	۱۰/۲۸±۰/۴۰
سرازیری		۰/۹۳±۱/۴۱	۲۲/۲۲±۱/۲۷	۲۹/۶۰±۰/۳۳	۳۵/۰۰	۱۰/۰۸±۰/۰۳
عراقی		۰/۴۸±۱/۶۱	۲۱/۵۹±۱/۳۴	۲۷/۳۶±۰/۶۴	۳۵/۰۰	۱۰/۷۵±۰/۳۴
گاوی		۲/۷۴±۱/۶۴	۲۰/۹۳±۱/۴۸	۳۰/۵۱±۰/۰۰	۳۵/۰۰	۸/۱۷±۰/۳۴

تعیین دماهای کاردینال برای جوانه‌زنی نخود استفاده کردند. البته از منحنی‌های پاسخ به دمای دیگر نیز جهت توصیف اثر دما روی رشد و نمو گیاهان استفاده گردیده است. برای مثال، سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) با آزمایشی در گرگان مدل‌های دندان مانند و بتا را مناسب‌ترین مدل‌ها برای توصیف واکنش سبز شدن نخود به دما معرفی کردند. ین و همکاران (۱۹۹۵) و جیم و کاتفورث (۲۰۰۴) از تابع بتا، ریچی (۱۹۹۱) و پایپر و

بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که قابلیت پیش‌بینی این مدل قابل قبول می‌باشد. این نتایج با یافته‌های برخی از محققان برای مثال اولسن و همکاران، ۱۹۹۳؛ ام‌وال و همکاران، ۱۹۹۴؛ رابرتسون و همکاران، ۲۰۰۲ الف مشابه بود. آنها نتیجه گرفتند که تابع دوتکه‌ای به خوبی واکنش جوانه‌زنی و سرعت ظهور و نمو برگ به دما در گیاهان مختلف را توصیف می‌کند. کاول و همکاران (۱۹۸۶) و الیس و همکاران (۱۹۸۷) نیز از یک تابع دوتکه‌ای جهت

همکاران (۱۹۹۶) از تابع دندان مانند در مطالعات خود استفاده کردند.

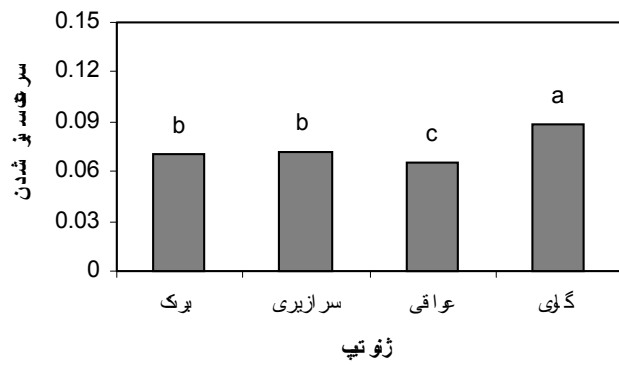
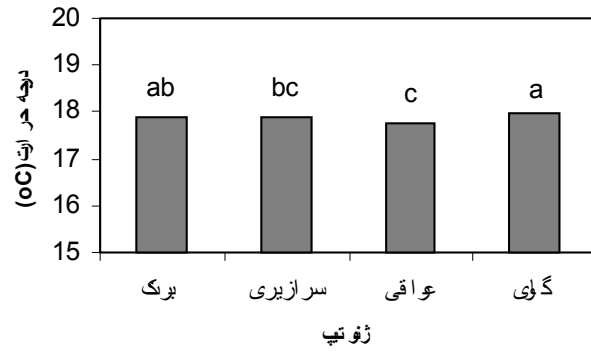
تخمین دماهای کاردینال و روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن بذرها باقلا در جدول ۳ آورده شده است. طبق برآوردهای مدل دو تکه‌ای، از نظر دمای پایه بین ارقام باقلا اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، دمای پایه برای ارقام برکت، سرازیری، عراقی و گاوی به ترتیب ۱/۶۱، ۰/۹۸، ۱/۰۰ و ۱/۰۰ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. کوئی و همکاران (۱۹۹۹) دمای پایه برای باقلا را بین ۰ تا ۱۱ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. همچنین منشادی و همکاران (۱۹۹۸) در مدل خود دمای پایه برای سبز شدن بذر باقلا را ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفتند. ام‌وال و همکاران (۱۹۹۴) در مورد آفتابگردان، تنوع ژنتیکی برای دمای پایه را گزارش نمودند. نامبردگان، سایر دماهای کاردینال را برآورد نکردند. ماداکاتز و همکاران (۲۰۰۱) تنوع بین و درون گونه‌ای را برای دمای پایه تعدادی از گراس‌های گرما دوست را گزارش کردند. البته، سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) بین ارقام نخود تفاوت معنی‌داری از نظر دمای پایه نیافتند.

بر خلاف دمای پایه، از نظر دمای بهینه برای سبز شدن بذر ارقام باقلا اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، به طوری که دمای بهینه برای سبز شدن بذر ارقام برکت، سرازیری، عراقی و گاوی به ترتیب ۲۴/۹۹، ۲۵/۶۳، ۲۵/۵۴ و ۲۸/۸۲ درجه سانتی‌گراد بود. منشادی و همکاران (۱۹۹۸) دمای بهینه برای سبز شدن بذر باقلا را ۲۷ درجه سانتی‌گراد به دست آوردند. از این لحاظ تفاوت ارقام برکت، سرازیری و عراقی معنی‌دار نبود، ولی دمای بهینه رقم گاوی به طور معنی‌داری بالاتر از ۳ رقم دیگر بود. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) دمای بهینه سبز شدن ژنوتیپ‌های مختلف نخود در گرگان را ۲۷/۶ تا ۳۰/۴ درجه سانتی‌گراد معرفی کردند. الیس و همکاران (۱۹۸۷) با استفاده از رگرسیون خطی دمای مطلوب برای جوانه‌زنی

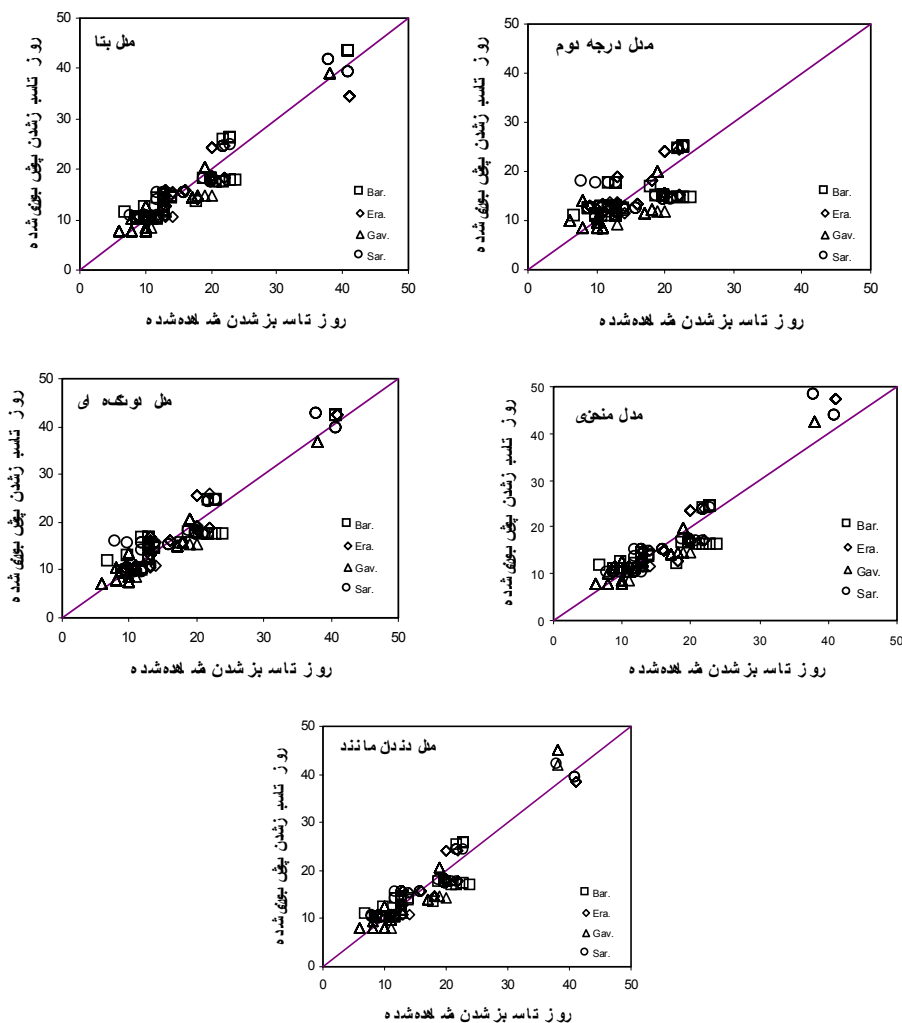
ارقام مختلف لوبیای معمولی را بین ۲۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. کاول و همکاران (۱۹۸۶) دمای مطلوب برای جوانه‌زنی عدس را بین ۲۴ تا ۲۴/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند.

همچنین، برآورد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن توسط مدل دو تکه‌ای نشان داد که از این نظر نیز بین ارقام باقلا اختلاف معنی‌داری وجود داشته است، به نحوی که تعداد روز بیولوژیک برای سبز شدن ارقام برکت، سرازیری و عراقی به ترتیب ۸/۶۰، ۸/۶۷ و ۹/۳۱ روز بود که به طور معنی‌داری بیشتر از روز بیولوژیک مورد نیاز برای رقم گاوی ۶/۶۵ بود. به نظر می‌رسد که علت بیشتر بودن سرعت سبز شدن بذرها برای رقم گاوی کوچک بودن بذرها آن باشد که در نتیجه آن نسبت سطح به حجم در بذرها آب و تسریع در جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها را باعث می‌شود (کوپلند و مکدونالد، ۱۹۹۵). سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن بذرها ارقام مختلف نخود را با مدل دندان مانند ۶/۱ روز برآورد کردند.

سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) در شرایط گرگان بین دمای خاک و دمای هوا رابطه $y = 0.046x - 0.1616$ را به دست آوردند که در آن y متوسط دمای خاک در عمق ۴ سانتی‌متری و x متوسط دمای هوا می‌باشد. با قرار دادن دماهای کاردینال جدول ۳ در رابطه فوق می‌توان دماهای کاردینال براساس دمای خاک را به دست آورد. مثلاً دماهای پایه، بهینه و سقف برای سبز شدن رقم برکت براساس دمای خاک و مطابق دماهای کاردینال برآورد شده توسط مدل دو تکه‌ای (جدول ۳) و رابطه فوق به ترتیب ۱/۵۱، ۲۵/۸۳ و ۳۶/۲۴ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. جیم و کاتفورث (۲۰۰۴) از دمای هوا در مدل سبز شدن گندم استفاده کرده و پیش‌بینی خوبی برای داده‌ها و سبز شدن به دست آوردند.



شکل ۴- میانگین‌های دما، روز تا سبز شدن و سرعت سبز شدن برای ژنوتیپ‌های مختلف باقلا.



شکل ۵- روز تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل پیش‌بینی شده در ۴ رقم باقلا برکت (Bar)، سرازیری (Sar)، عراقی (Era) و گاوی (Gav) با استفاده از مدل‌های بتا، دو تکه‌ای، درجه دوم، منحنی و دندان مانند جهت توصیف واکنش سرعت سبز شدن به درجه حرارت. خط نشان‌دهنده خط ۱:۱ است. در مدل درجه دوم تعدادی از نقاط به علت عدم کارایی مدل خارج از کادر قرار گرفته‌اند که در شکل نشان داده نشده‌اند.

منابع

1. Anda, A., and Pinter, L. 1994. Sorghum germination and development as influenced by soil temperature and water content. *Agron. J.* 86: 621-624.
2. Copeland, L.O., and McDonald, M.B. 1995. *Principles of Seed Science and Technology*. Chapman and Hall, New York, P. 409.
3. Covell, S., Ellis, R.H., Roberts, E.H., and Summerfield, R.J. 1986. The influence of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperature. *J. Exp. Bot.* 37: 705-715.
4. 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. *J. Exp. Bot.* 38: 1033-1043.
5. FAO. 2005. *Production Year Book, 2004*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. <http://apps.Fao.Org>.
6. Feher, W.R., and Caviness, C.E. 1980. Stage of soybean development. *Iowa Crop Exp. Serr. Agric. Home Econ. Exp. Stn. Spe. Rep.* 80.
7. Iannucci, A., Difonzo, N., and Martinello, P. 2000. Temperature requirements for seed germination in four annual clovers grown under two irrigation treatments. *Seed Sci. & Technol.* 28:59-66.

8. Jacobsen, S.E., and Bach, A.P. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). *Seed Sci. & Technol.* 26: 515-523.
9. Jame, Y.W., and Cutforth, H.W. 2004. Simulating the effect of temperature and sowing depth on germination and emergence of spring wheat. *Agric. For. Meteorol.* 124:207-218.
10. Madakadze, I.C., Prithviraj, 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 Sci. and Technol.* 29: 31-38.
11. Majnin Hosseini, N., 1994. Food Legumes in Iran, Tehran University, pp. 240.
12. Manschadi, A.M., Sauerborn, J., Stutzel, H., Gobel, W., and Saxena, M.C. 1998. Simulation of faba bean (*Vicia faba* L.) root system development under Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 9: 259-272.
13. 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 Sci. & Technol.* 22: 565-575.
14. Olsen, J.K., McMahon, C.R., and Hamer, G.L. 1993. Prediction of sweet corn phenology in subtropical environments. *Agron. J.* 85: 410-415.
15. Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W., and Grimm, S.S. 1996. Comparison of two phenology models for predication flowering and maturity date of soybean. *Crop Sci.* 36, 1606 -1614.
16. 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. *Exp. Agric.* 35: 327-344.
17. Ramin, A.A. 1997. The influence of temperature on germination of taree irani (*Allium ampeloprasum* L. *ssp iranicum* W.). *Seed Sci. and Technol.* 25: 419-426.
18. Ritchie, J.T. 1991. Wheat phasic development. In: Hanks, J., Ritchie, J. T., (Eds.), *Modeling Plant and Soil Systems*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 31-54.
19. Robertson, M.J., Carberry, P.S., Huth, N.I., Turpin, J.E., Probert, M.E., Poulton, P.L., Bell, M., Wright, G.C., Yeates, S.J., and Brhnsmead, R.B. 2002a. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. *Aust. J. Agric. Res.* 53: 429-446.
20. Robertson, M.J., Watkinson, A.R., Kirkegaard, J.A., Holland, J.F., Potter, T.D., Burton, W., Walton, G.H., Moot, D.J., Wratten, N., Farre, I., and Asseng, S. 2002b. Environmental. And genotypic control of time to flowering in canola and Indian mustard. *Aust. J. Agric. Sci.* 53: 793-809.
21. Soltani, A. 1998. Application of SAS in statistical analysis, Mashhad University, pp. 166.
22. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Kobertson, M.J., and Zeinali, E. 2006a. Modeling chickpea: growth and development: Phenological development. *Field Crops Res.* 99:1-13.
23. Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., YousefiDaz, M., and Sarparast, R. 2006b. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agric. For. Meteorol.* 138: 156-167.
24. Turpin, J.E., Robertson, M.J., Hillcoat, N.S., and Herridge, D.E. 2002. Fababean (*Vicia faba* L.) in Australia, s northern grains belt: canopy development, biomass and nitrogen accumulation and partitioning. *AUH. J. Agric.* 53: 227-237.
25. Turpin, J.E., Robertson, M.J., Haire, C., Bellotti, W.D., Moore, A.D., and Rose, I. 2003. Simulating faba bean development, growth and yield in Australia. *Agric. Res.* 54: 39-52.
26. Yin, X., Kropff, M.J., McLaren, G., and Visperas, R.M. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agric. For. Meteorol.* 77:1-16.

Modelling response of emergence to temperature in faba bean under field condition

H. Ajam Norouzi¹, A. Soltani², E. Majidi³ and M. Homaei⁴

¹Ph.D. Student, Islamic Azad University, Science and Research Tehran Branch, Iran, ²Associate Prof. Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ³Prof. Genetic Research Dept. (S. P. I. I., Iran), ⁴Associate Prof. Dept. of Soil Science, Tarbiat Modares University, Iran

Abstract

The main objective of this study was to develop a seedling emergence model for faba bean, including determination of cardinal temperatures, biological day's requirement for emergence and faba bean temperature response curve. To do this, four faba bean cultivars (Barakat, Saraziri, Eraghi, and Gavi) were sown at 11 sowing dates (every month) and the number of days from sowing to emergence were recorded. Beta, Segmented, Curvilinear, Quadratic and Dent-like models were applied to describe the relationship between emergence rate and temperature. Root Mean Square Error (RMSE), coefficient of determination (R^2), linear regression coefficients (a, b) and correlation coefficient (r) were used to detect the perfect model. Results indicated that response of faba bean emergence to temperature is best described by segmented function. Cardinal temperatures Estimated by this model were 0.98 °C to 1.61 °C for base temperature, 24.9 °C to 28.82 °C for optimum temperature and the value of 35 °C was assumed as ceiling temperature. Estimation of biological days requirement by segmented model showed a significant difference between cultivars; cv. The emergence of Gavi small seeds occurred 6.65 day with the highest emergence rate (0.09 d⁻¹). Biological day's requirement for other cultivars ranged between 8.60 and 9.72 days. The quantitative information provided by this study can be used in prediction of emergence under diverse temperature conditions.

Keywords: Emergence; Faba bean; Modelling; Temperature