



## کمی کردن واکنش سبز شدن گلرنگ نسبت به دما

\*مهین ادیب‌نیا<sup>۱</sup>، بنیامین ترابی<sup>۲</sup>، اصغر رحیمی<sup>۲</sup> و آرمان آذری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد و <sup>۲</sup>استادیار، گروه زراعت، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱

### چکیده

هدف اصلی این مطالعه توصیف واکنش سرعت سبز شدن گلرنگ در برابر دما و تعیین دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب و سقف) و روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن گیاهچه‌ها بود. به این منظور، در یک آزمایش مزرعه‌ای، ۴ رقم گلرنگ (اصفهان، گل‌دشت، پدیده و صفه) در ۱۲ تاریخ کاشت (هر ماه یکی) کشت شد و سرعت سبز شدن آن‌ها (عکس زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن بذرها) محاسبه شد. جهت توصیف رابطه بین سرعت سبز شدن و دما از توابع دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا استفاده شد. برای انتخاب مدل برتر از معیارهای جذر میانگین مربع انحرافات (RMSD)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r) و ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) بین روز تا سبز شدن مشاهده شده و پیش‌بینی شده استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل دوتکه‌ای نسبت به مدل‌های دیگر واکنش سرعت سبز شدن نسبت به دما را به دلیل r بالاتر (۰/۹۰ تا ۰/۹۷) و RMSD (۲/۱۷ تا ۴/۰۶) و CV (۱۲/۳ تا ۲۲/۴) پایین‌تر در بین ارقام بهتر توصیف کرد. با استفاده از برازش تابع دوتکه‌ای بر داده‌های سرعت سبز شدن در برابر دما، دمای پایه، مطلوب و سقف به ترتیب در بین ارقام بین ۲/۳۰ تا ۳/۴۴، ۲۰/۵۶ تا ۲۳/۲۸ و ۳۵/۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد که این تخمین‌ها در بین ارقام اختلاف معنی‌داری نداشت. مقدار روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن در بین ارقام ۸/۰۵ تا ۹/۷۸ بود و بین ارقام از این لحاظ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اطلاعات حاصل از این مطالعه می‌تواند در مدل‌های گیاهان زراعی برای پیش‌بینی سبز شدن ارقام گلرنگ در شرایط دمایی مختلف استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: دماهای کاردینال، روز بیولوژیک، سرعت سبز شدن

\*مسئول مکاتبه: [m\\_adibniya@yahoo.com](mailto:m_adibniya@yahoo.com)

## مقدمه

سبزشدن یکی از بحرانی‌ترین مراحل زندگی گیاهان زراعی است. در این مرحله گیاهچه در معرض بسیاری از عوامل نامساعد محیطی قرار دارد و استقرار بوته در مزرعه می‌تواند دچار مشکل شود (الکبرکی و همکاران، ۲۰۰۳). شرایط محیطی دمای خاک یکی از عوامل تعیین کننده میزان و سرعت استقرار گیاهچه‌ها است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۲؛ برار و همکاران، ۱۹۹۱). سرعت استقرار گیاهچه و یا به‌طور کلی سرعت نمو گیاه در محدوده دماهای کاردینال (دماهای پایه، مطلوب و سقف) متفاوت است. در دمای پایه و کمتر از آن، سرعت نسبی نمو برابر صفر می‌باشد. با افزایش دما از دمای پایه به بعد، سرعت نسبی نمو رو به افزایش می‌گذارد و در دمایی به نام دمای مطلوب تحتانی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. با افزایش بیشتر دما تا رسیدن به دمای مطلوب فوقانی سرعت نسبی نمو ثابت می‌ماند. افزایش دما در فراتر از این حد باعث کاهش سرعت نسبی نمو می‌گردد و سرانجام در دمای سقف به صفر می‌رسد (ترابی و همکاران، ۲۰۱۳). معمولاً تفاوت دماهای کاردینال در ارقام مختلف در داخل یک گونه اندک است، بنابراین می‌توان در هر گونه مقدار آن‌ها را ثابت در نظر گرفت مگر آن‌که آزمایش‌ها و شواهد نتایجی به غیر از این را برای یک رقم خاص نشان دهند (روبرتسون و همکاران، ۲۰۰۲؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶).

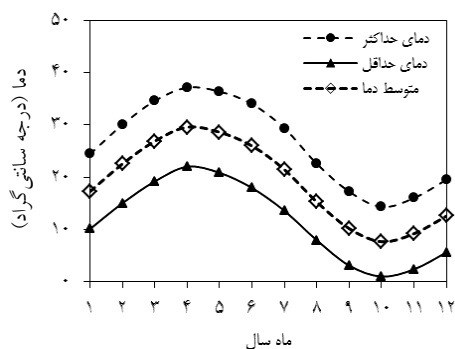
در ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان زراعی تحقیقات زیادی در زمینه تعیین دماهای کاردینال و کمی کردن رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و سبزشدن در برابر دما با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی صورت گرفته است (جیم و کات فورس، ۲۰۰۴؛ کامکار و همکاران، ۲۰۰۶؛ قادری‌فر و همکاران، ۲۰۰۹؛ قادری‌فر و همکاران، ۲۰۰۱؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ایانوکی، ۲۰۰۰). ترابی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از توابع دوتکه‌ای، بتا و دندان مانند واکنش جوانه‌زنی ارقام مختلف گلرنگ نسبت به دما را بررسی کردند که تابع دوتکه‌ای به‌عنوان تابع برتر شناخته شد. براساس این تابع دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی برای گلرنگ به ترتیب ۵، ۳۲ و ۴۸ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. همچنین ترابی و سلطانی (۲۰۱۲) برای کمی کردن واکنش سبزشدن نخود نسبت به دما از تابع دندان مانند استفاده کردند که دمای پایه این گیاه بر اساس این مدل برابر ۴/۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به ترتیب ۲۰/۲ و ۲۹/۰ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف ۳۹/۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شدند. عجم نوروزی و همکاران (۲۰۰۷) برای واکنش سبزشدن باقلا نسبت به دما از توابع بتا، دوتکه‌ای، منحنی، درجه دو و دندان مانند استفاده کردند و نتایج نشان داد که واکنش

سبزشدن باقلا نسبت به دما، به‌وسیله‌ی تابع دوتکه‌ای بهتر از سایر مدل‌ها توصیف می‌گردد. برآورد دماهای کاردینال توسط تابع دوتکه‌ای نشان داد که برای ارقام مختلف باقلا دمای پایه از ۰/۹۸ تا ۱/۶۱ درجه سانتی‌گراد و دمای مطلوب از ۲۴/۹۹ تا ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد در نوسان بود و دمای سقف برای همه ارقام ۳۵ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید.

گلرنگ برای استفاده در صنعت رنگرزی و نیز به‌دلیل کیفیت بالای روغن آن به صورت تجاری کشت می‌شود (داجو و موندل، ۱۹۹۶). کشت گلرنگ در بسیاری از کشورهای دنیا مورد توجه قرار گرفته است و تحقیقات روی جنبه‌های مختلف تولید آن جهت حمایت از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و کشت موفق آن در یک ناحیه در حال افزایش است (داجو و موندل، ۱۹۹۶؛ اکین، ۲۰۰۵؛ دورداس و سیولاس، ۲۰۰۸). تعیین دماهای کاردینال و کمی کردن واکنش سبزشدن در برابر دما می‌تواند در انتخاب ارقام سازگار به یک محیط خاص و نیز در استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی جهت پیش‌بینی مراحل نمو مفید باشد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ترابی و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین اهداف تحقیق حاضر عبارت بودند از: (۱) انتخاب تابع برتر در بین توابع دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا برای توصیف واکنش سرعت سبزشدن ارقام مختلف گلرنگ به دما، (۲) تخمین و گزارش پارامترهای تابع برتر (دماهای کاردینال) و روز بیولوژیک موردنیاز برای سبزشدن.

### مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه آموزشی - تحقیقاتی دانشگاه ولی عصر رفسنجان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۶ درجه با ارتفاع ۱۴۶۹ متر از سطح دریا انجام شد. بافت خاک مزرعه لوم شنی و شوری خاک برابر ۴/۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. آمار مربوط بلندمدت مربوط به دمای هوا نشان داد دمای حداکثر بین ۱۴/۳ تا ۳۷/۱ درجه سانتی‌گراد، دمای حداقل بین ۱/۰ تا ۲۲/۰ درجه سانتی‌گراد و دمای متوسط بین ۷/۷ تا ۲۹/۶ درجه سانتی‌گراد در طول سال متغیر است که بیش‌ترین مقدار این دماها در تیر ماه و کم‌ترین آن در دی ماه حادث می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- روند تغییرات بلندمدت دمای حداکثر و حداقل و متوسط در ماه‌های مختلف سال.

زمین موردنظر در پاییز سال قبل شخم زده شد و اواخر تابستان با اجرای عملیات دیسک آماده برای کاشت گردید. آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد که در آن ۱۲ تاریخ کاشت (هر ماه یکی) در کرت‌های اصلی و ۴ رقم گلرنگ گلدشت، صغه، پدیده و محلی اصفهان در کرت‌های فرعی منظور گردید. در هر کرت اصلی ۶ ردیف ۳ متری کشت شد که چهار ردیف وسطی به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد و دو کرت اطراف کرت اصلی به عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شدند. همچنین از بالا و پایین هر کرت فرعی ۵۰ سانتی‌متر به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌های فرعی از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر بود. در هر ردیف، به فاصله هر ۵ سانتی‌متر ۳ بذر در کنار هم در عمق ۵ سانتی‌متری به صورت هیرم‌کاری کشت شدند.

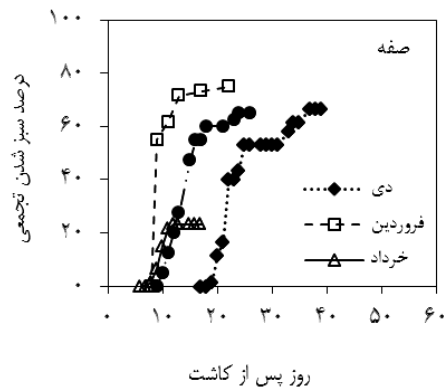
در هر کرت فرعی، ۱۰۰ سانتی‌متر به طور تصادفی انتخاب شد و تعداد بذره‌های سبز شده در هر روز به صورت تجمعی در آن قسمت ثبت گردید. بر اساس فاصله بذرها روی ردیف در هر متر، ۶۰ بذر کاشته شده بود. بذرهایی به عنوان بذر سبز شده در نظر گرفته شدند که بخشی از گیاهچه آن‌ها در سطح خاک قابل مشاهده بود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). در همه تیمارها و برای هر تکرار منحنی سبز شدن تجمعی در برابر زمان ترسیم و زمان لازم برای رسیدن به سبز شدن ۵۰ درصد بذره‌های کشت شده ( $D50$ ) از طریق درون‌یابی برآورد گردید (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳). بر این اساس در تاریخ کاشت‌های تیر و مرداد که بذره‌های سبز شده کم‌تر از ۵۰ درصد بذره‌های کشت شده بودند برای توصیف واکنش سرعت سبز شدن نسبت به دما کنار گذاشته شدند. نمونه‌ای از روند درصد سبز شدن تجمعی در مقابل زمان برای رقم صغه در شکل (۲) آورده شده است. عکس  $D50$  به عنوان سرعت سبز شدن ( $R50$ ) در نظر گرفته شد (ترابی و همکاران، ۲۰۱۳):

$$R50=1/D50 \quad [1]$$

به‌منظور توصیف رابطه بین دمای هوا و سرعت سبزشدن و برآورد دماهای کاردینال و روز بیولوژیک موردنیاز برای سبزشدن از مدل زیر استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ترابی و همکاران، ۲۰۱۳):

$$R50=f(T)/e_o \quad [2]$$

که در آن  $f(T)$  تابع دما و  $e_o$  تعداد روز بیولوژیک موردنیاز برای سبزشدن (تعداد روز موردنیاز برای رسیدن به مرحله سبزشدن تحت شرایط عدم محدودیت دما و یا به‌عبارت دیگر حداقل تعداد روز لازم برای سبزشدن) را نشان می‌دهند.  $1/e_o$  حداکثر سرعت سبزشدن در دمای مطلوب است. مقدار  $f(T)$  معادل مقدار سرعت سبزشدن نسبی (سرعت سبزشدن به حداکثر سرعت سبزشدن) است.



شکل ۲- نمونه‌ای از روند درصد سبزشدن تجمعی در مقابل زمان در چهار تاریخ کاشت برای گلرنگ رقم صفه.

در این آزمایش ۳ تابع دمایی استفاده شد که عبارت بودند از (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ترابی و همکاران، ۲۰۱۳):

۱. تابع دو تکه‌ای (Segmented):

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

$$f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_o) \quad \text{اگر} \quad T_o < T < T_c$$

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

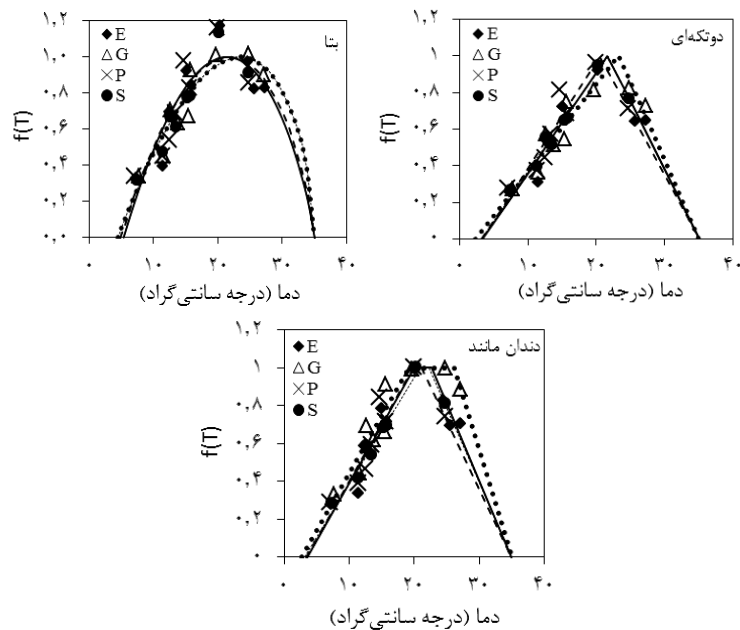
۲. تابع دندان مانند (Dent like):

$$\begin{array}{ll}
 f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b) & \text{اگر } T_b < T < T_{o1} \\
 f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{o2}) & \text{اگر } T_{o2} < T < T_c \\
 f(T) = 1 & \text{اگر } T_{o1} \leq T \leq T_{o2} \\
 f(T) = 0 & \text{اگر } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c
 \end{array}$$

۳. تابع بتا (Beta):

$$\begin{array}{ll}
 f(T) = \left( \frac{T_c - T}{T_c - T_o} \times \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right)^{((T_c - T_b) / (T_c - T_o))} & \text{اگر } T_b < T < T_c \\
 f(T) = 0 & \text{اگر } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c
 \end{array}$$

در این توابع،  $T_b$  دمای پایه،  $T_{o1}$  دمای مطلوب تحتانی و  $T_{o2}$  دمای مطلوب فوقانی (برای تابع دندان مانند)،  $T_o$  دمای مطلوب،  $T_c$  دمای سقف و  $T$  دمای متوسط روزانه می‌باشند. تخمین پارامترهای هر تابع با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک رویه PROC NLIN در نرم‌افزار SAS صورت گرفت. در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن با روش کم‌ترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به دست آید. بهترین برآورد پارامترهای تابع براساس SE (خطای معیار) کم‌تر پارامترها و RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) کم‌تر تجزیه رگرسیون مشخص شد. همچنین برای انتخاب تابع برتر از میان توابع مختلف از RMSD (جذر میانگین مربعات انحرافات)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی ( $r$ ) و ضرایب رگرسیون ساده خطی ( $a$  و  $b$ ) بین روز تا سبز شدن مشاهده شده و پیش‌بینی شده استفاده شد. معنی‌دار بودن ضریب  $a$  به این معنی است که عرض از مبدأ خط رگرسیون با عرض از مبدأ خط ۱:۱ ( $a=0$ ) مطابقت ندارد. معنی‌دار بودن ضریب  $b$  نیز به این معنی است که شیب خط رگرسیون از شیب خط ۱:۱ ( $b=1$ ) فاصله دارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب می‌باشد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). مقایسه دماهای کاردینال بین توابع بر مبنای حدود اطمینان ۹۵ درصد آن‌ها انجام گرفت. دمای سقف در این معادله به‌طور ثابت ۳۵/۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. این امر به‌علت فراوانی اندک دماهای بیش‌تر از ۲۵/۰ درجه سانتی‌گراد بود. در شکل (۳) برازش توابع دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا بر داده‌های سرعت سبز شدن نسبی ( $f(T)$ ) در برابر دما در ارقام مختلف گل‌رنگ نشان داده شده است.



شکل ۳- برازش توابع دوتکه‌ای، دندان مانند و بنا بر داده‌های سرعت سبز شدن نسبی ( $f(T)$ ) در برابر دما در ارقام گلرنگ محلی اصفهان (E، خط ممتد)، گلدشت (G، نقطه چین درشت)، پدیده (P، خط منقطع) و صفه (S، نقطه چین ریز)

### نتایج و بحث

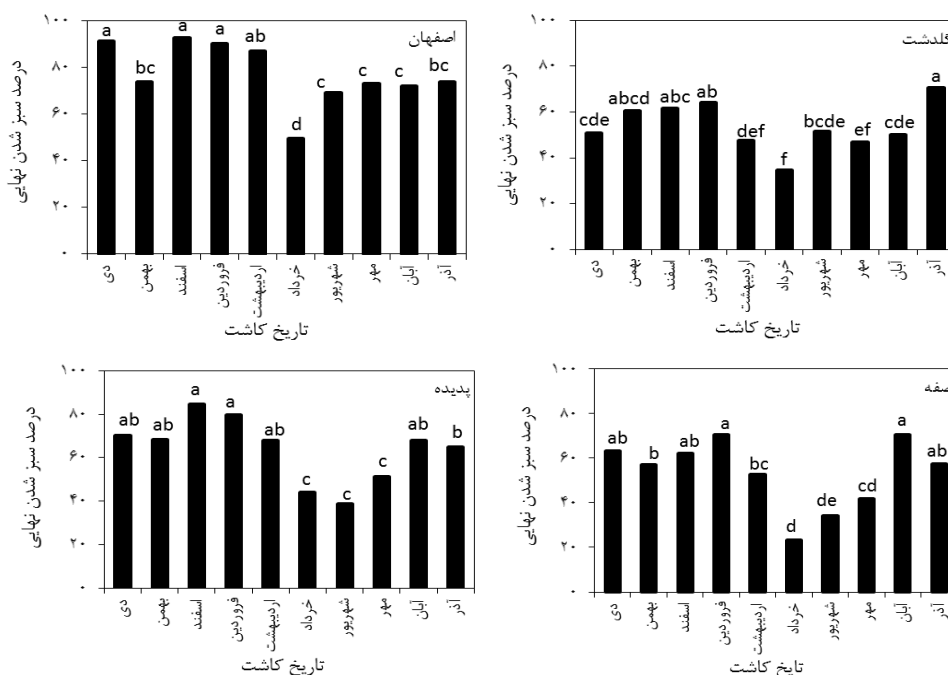
نتایج نشان داد که در سطح احتمال یک درصد بین تاریخ‌های کاشت و ارقام از لحاظ زمان تا ۵۰ درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن و درصد سبز شدن نهایی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنین اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت از لحاظ درصد سبز شدن نهایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین درصد سبز شدن در رقم اصفهان به ترتیب مربوط به تاریخ کاشت‌های دی، اسفند و فروردین با میانگین ۹۱/۲، ۹۲/۵ و ۹۰ درصد و کم‌ترین درصد مربوط به تاریخ کاشت خرداد با میانگین ۴۹/۴ درصد بود. در رقم گلدشت بیش‌ترین و کم‌ترین درصد سبز شدن به ترتیب مربوط به تاریخ کاشت‌های آذر و خرداد با میانگین ۷۰/۶ و ۳۴/۶ درصد بود. رقم پدیده نیز با میانگین ۸۴/۶ و ۷۹/۶ بیش‌ترین درصد سبز شدن در تاریخ کاشت‌های اسفند و فروردین را داشت و کم‌ترین درصد سبز شدن مربوط به تاریخ کاشت‌های خرداد، شهریور و مهر به ترتیب با میانگین ۴۴/۲، ۳۸/۷ و ۵۱/۲ درصد بود و بیش‌ترین درصد سبز شدن در رقم صفه مربوط به تاریخ کاشت‌های فروردین و آبان با میانگین ۷۰/۴ و ۷۰/۶ درصد و تاریخ کاشت خرداد با میانگین ۲۳/۳ درصد کم‌ترین

درصد سبز شدن را داشت (شکل ۴). از دلایل مهم کاهش درصد سبز شدن در تاریخ کاشت خرداد، شهریور و مهر احتمالا به افزایش دمای حداکثر هوا (شکل ۱) و نیز هجوم پرندها به بذرهای کشت شده مرتبط بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای زمان تا ۵۰ درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، درصد سبز شدن نهایی.

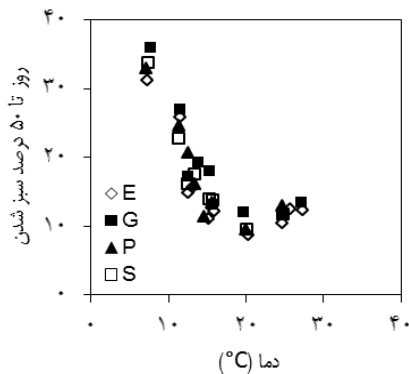
منبع تغییر	زمان تا ۵۰ درصد سبز شدن	سرعت سبز شدن	درصد سبز شدن نهایی
بلوک	۶/۵۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۶ <sup>ns</sup>	۱۱۴/۳۵ <sup>ns</sup>
تاریخ کاشت	۳۰۶/۹۸ <sup>**</sup>	۰/۰۰۳۴۶ <sup>**</sup>	۲۳۴۸/۶۵ <sup>**</sup>
خطای a	۴/۱۱	۰/۰۰۰۰۶	۶۹/۸۶
رقم	۲۹/۶۶ <sup>**</sup>	۰/۰۰۰۶۷ <sup>**</sup>	۴۵۸۴/۲۴ <sup>**</sup>
رقم x تاریخ کاشت	۴/۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۸ <sup>ns</sup>	۲۰۴/۷۱ <sup>**</sup>
خطای b	۴/۷۹	۰/۰۰۰۰۶	۱۰۴/۲۳
ضریب تغییرات	۱۲/۹۴	۱۱/۵۹	۱۶/۵۸

\*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و بدون تأثیر معنی دار.



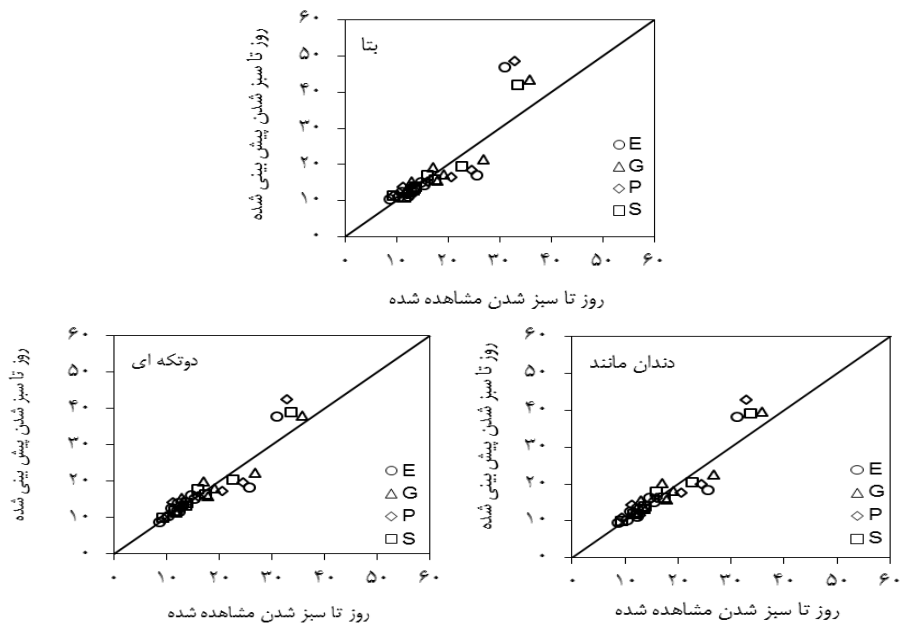
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت از لحاظ درصد سبز شدن نهایی.





شکل ۵- واکنش مدت زمان لازم روز تا سبز شدن ۵۰ درصد بذرها در مقابل دمای هوا در ارقام مختلف گلرنگ عبارتند از محلی اصفهان (E)، گلدشت (G)، پدیده (P) و صفه (S).

شکل (۵) میانگین دمای هوا در مقابل روز تا سبز شدن ۵۰ درصد بذرها برای ارقام مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش دما روز تا ۵۰ درصد سبز شدن روند کاهشی را نشان می‌دهد. تسریع در سبز شدن در دماهای بالاتر احتمالاً به دلیل افزایش سرعت جذب آب توسط بذرها، افزایش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها و نهایتاً خروج سریع‌تر ریشه‌چه و ساقه‌چه مرتبط است. نتایج این مطالعه با نتایج گزارش شده توسط الد و همکاران (۱۹۸۸) در مورد روز تا ۵۰ درصد سبز شدن نخود مطابقت نداشت. ایشان گزارش کردند که زمان لازم برای سبز شدن ۵۰ درصد بذرها در ارقام مختلف نخود مشابه بود، ولی در دماهای مختلف با هم تفاوت معنی‌داری نشان دادند. ایانوکی و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که زمان لازم برای سبز شدن ۵۰ درصد بذرها در چهار رقم شبدر در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد حداقل بود و این در دماهای پایین دو یا چهار برابر کاهش یافت. سینگ و همکاران (۱۹۷۶) واکنش سبز شدن ارقام مختلف نخود را در دامنه دمای ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند با افزایش دمای خاک طول دوره سبز شدن کاهش یافت. کلوس و برومر (۲۰۰۰) نشان دادند که طول دوره سبز شدن یونجه در دمای پایین خاک افزایش یافت.



شکل ۶- مقادیر روز تا سبز شدن پیش‌بینی شده با مدل دوتکه‌ای در مقابل مقادیر مشاهده شده در مزرعه. ارقام گلرنگ عبارتند از محلی اصفهان (E)، گلدشت (G)، پدیده (P) و صفه (S).

در شکل (۶) مقادیر روز تا سبز شدن پیش‌بینی شده در مقابل روز تا سبز شدن مشاهده شده حاصل از سه تابع بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای نشان داده شده است. پیش‌بینی براساس این توابع (جدول ۲) نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری در رگرسیون خطی بین روز تا سبز شدن پیش‌بینی شده و مشاهده شده با خط ۱:۱ براساس ضرایب  $a$  و  $b$  وجود ندارد. ضریب همبستگی ( $r$ ) بین روز تا سبز شدن مشاهده شده و پیش‌بینی شده در مدل دوتکه‌ای و دندان مانند برای ارقام مختلف بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۷ بود. در حالی که در تابع بتا برای ارقام مختلف مقدار آن بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ متغیر بود. جذر میانگین مربع انحرافات (RMSD) برای ارقام مختلف در تابع دوتکه‌ای بین ۲/۱۷ تا ۴/۰۶، در تابع دندان مانند از ۲/۱۷ تا ۴/۱۶ و همچنین در تابع بتا از ۳/۳۱ تا ۶/۱۸ متغیر بود که مقدار RMSD در تابع دوتکه‌ای کم‌تر از سایر توابع بود. مقدار ضریب تغییرات (CV) در تابع دوتکه‌ای بین ۱۲/۳ تا ۲۲/۴ بود در حالی که در تابع دندان مانند بین ۱۱/۹ تا ۲۳/۱ و در تابع بتا بین ۱۸/۲ تا ۳۸/۵ متغیر بود. با استفاده از این مقادیر می‌توان استنباط کرد که تابع دوتکه‌ای از CV کم‌تری برخوردار بود. با توجه به بالاتر بودن RMSD و CV و مقدار کم  $r$  در تابع بتا، استنباط شد این تابع در توصیف واکنش سرعت سبز شدن

نسبت به دما در ارقام گلرنگ از کارایی کمتری برخوردار است. این نتایج با یافته‌های دیگر محققین که تابع بتا به خوبی می‌تواند واکنش سرعت سبزشدن و دیگر مراحل رشد و نمو نسبت به دما را در گیاهان مختلف توصیف کند مطابقت ندارد (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۰۸؛ ین و همکاران، ۱۹۹۶؛ جیم و کات فورس، ۲۰۰۴). هر دو تابع دوتکه‌ای و دندان مانند برای توصیف واکنش سرعت سبزشدن نسبت به دما مناسب بودند اما با توجه به بالاتر بودن مقدار  $r$  و پایین‌تر بودن  $RMSD$  و  $CV$  (جدول ۲) و همچنین به‌علت پایین‌تر بودن خطای استاندارد پارامترهای برآورد شده تابع به‌نظر می‌رسد که تابع دوتکه‌ای نسبت به تابع دندان مانند برای استفاده در مدل چندگانه (معادله ۲) مناسب‌تر باشد (جدول ۳ و ۴). بعضی از محققین کارایی توابع مختلف در توصیف روابط بین سرعت رشد و نمو نسبت به دما را مقایسه کردند، به‌عنوان مثال سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که تابع دندان مانند، تأثیر دما بر سرعت سبزشدن نخود را بهتر از توابع دوتکه‌ای و بتا توصیف می‌کند. کامکار و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که تابع دوتکه‌ای پیش‌بینی بهتری از جوانه‌زنی خشخاش نسبت به تابع دندان مانند و بتا داشت. ترابی و همکاران (۲۰۱۳) برای جوانه‌زنی گلرنگ از توابع دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا استفاده کردند و نتایج نشان داد که تابع دوتکه‌ای بهتر از دو تابع دیگر بود.

جدول ۲- ضرایب رگرسیون ( $a$  و  $b$ )، ضریب همبستگی ( $r$ )، جذر میانگین مربع انحرافات ( $RMSD$ ) و ضریب تغییرات ( $CV$ ) مقادیر روز تا سبز شدن مشاهده شده و پیش‌بینی شده با استفاده از توابع مختلف در ارقام مختلف گلرنگ.

مدل	رقم	$a \pm SE$	$b \pm SE$	$r$	$RMSD$	$CV$
دندان مانند						
اصفهان	$2/931 \pm 0/63$	$1/05 \pm 0/173$	۰/۹۰	۳/۴۰	۲۱/۸	
گلدشت	$2/411 \pm 0/18$	$1/00 \pm 0/119$	۰/۹۵	۲/۵۵	۱۳/۹	
پدیده	$4/021 \pm 3/18$	$1/20 \pm 0/209$	۰/۹۲	۴/۱۶	۲۳/۱	
صفه	$1/895 \pm 2/55$	$1/17 \pm 0/100$	۰/۹۷	۲/۱۷	۱۱/۹	
دوتکه‌ای						
اصفهان	$2/844 \pm 0/38$	$1/03 \pm 0/168$	۰/۹۰	۳/۲۷	۲۱/۰	
گلدشت	$2/283 \pm 0/63$	$0/96 \pm 0/113$	۰/۹۵	۲/۳۰	۱۲/۴	
پدیده	$3/984 \pm 3/09$	$1/19 \pm 0/207$	۰/۹۲	۴/۰۶	۲۲/۴	
صفه	$1/891 \pm 2/56$	$1/16 \pm 0/100$	۰/۹۷	۲/۱۷	۱۲/۳	
بتا						
اصفهان	$4/650 \pm 4/06$	$1/30 \pm 0/274$	۰/۸۵	۵/۷۷	۳۵/۸	
گلدشت	$3/280 \pm 2/16$	$1/12 \pm 0/163$	۰/۹۳	۳/۴۱	۱۸/۲	
پدیده	$5/808 \pm 5/68$	$1/36 \pm 0/302$	۰/۸۷	۶/۱۸	۳۳/۴	
صفه	$2/842 \pm 4/06$	$1/26 \pm 0/151$	۰/۹۵	۳/۳۱	۱۸/۵	

با استفاده از تابع دوتکه‌ای مورد استفاده در مدل چندگانه (معادله ۲) دماهای کاردینال و روز بیولوژیک لازم برای سبز شدن برآورد شد (جدول ۳ و ۴). در این مدل دمای پایه سبز شدن برای ارقام مختلف گلرنگ اصفهان، گلدشت، پدیده و صفه به ترتیب ۳/۴۴، ۲/۳۰، ۳/۳۴ و ۳/۱۳ درجه سانتی‌گراد و برای مجموع ارقام ۳/۳۹ درجه سانتی‌گراد برآورد شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. دمای مطلوب برآورد شده برای سبز شدن با استفاده از تابع دوتکه‌ای مورد استفاده در مدل برای ارقام اصفهان، گلدشت، پدیده و صفه به ترتیب برابر ۲۱/۶۴، ۲۳/۲۸، ۲۰/۵۶ و ۲۱/۷۱ درجه سانتی‌گراد و برای مجموع ارقام ۲۱/۹۷ درجه سانتی‌گراد بود که بین ارقام اختلاف معنی‌دار نبود. مقادیر  $e_0$  برای ارقام اصفهان، گلدشت، پدیده و صفه به ترتیب ۸/۰۵، ۹/۷۸، ۹/۲۱ و ۹/۰۲ روز بود که اختلاف معنی‌داری بین ارقام وجود نداشت (جدول ۳).

جدول ۳- برآورد دمای پایه ( $T_b$ )، دمای مطلوب ( $T_0$ ) و دمای سقف ( $T_c$ )، و تعداد روز بیولوژیک ( $e_0$ ) برای سبز شدن ۵۰ درصد بذرها با تابع دوتکه‌ای و بتا در چهار رقم گلرنگ. دمای سقف برای مدل به‌طور ثابت ۳۵/۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است.

مدل	رقم	$T_b$	$T_0$	$T_c$	$e_0$
دوتکه‌ای					
اصفهان	۳/۴۴ ± ۱/۴۵	۲۱/۶۴ ± ۰/۶۸	(۳۵/۰)	۸/۰۵ ± ۰/۳۶	
گلدشت	۲/۳۰ ± ۲/۱۹	۲۳/۲۸ ± ۰/۸۶	(۳۵/۰)	۹/۷۸ ± ۰/۶۱	
پدیده	۳/۳۴ ± ۱/۸۱	۲۰/۵۶ ± ۱/۲۱	(۳۵/۰)	۹/۲۱ ± ۰/۶۸	
صفه	۳/۱۳ ± ۰/۹۳	۲۱/۷۱ ± ۰/۵۳	(۳۵/۰)	۹/۰۲ ± ۰/۲۹	
مجموع ارقام	۳/۳۹ ± ۱/۲۸	۲۱/۹۷ ± ۰/۵۸	(۳۵/۰)	۸/۶۳ ± ۰/۳۴	
بتا					
اصفهان	۵/۴۳ ± ۱/۳۸	۲۱/۴۲ ± ۱/۲۳	(۳۵/۰)	۱۰/۲۵ ± ۰/۵۸	
گلدشت	۴/۵۷ ± ۱/۶۸	۲۳/۵۲ ± ۱/۶۶	(۳۵/۰)	۱۲/۱۳ ± ۰/۶۵	
پدیده	۴/۹۱ ± ۲/۱۰	۲۱/۸۴ ± ۲/۸۵	(۳۵/۰)	۱۱/۱۳ ± ۱/۱۱	
صفه	۴/۵۷ ± ۱/۷۵	۲۳/۵۷ ± ۲/۵۴	(۳۵/۰)	۱۰/۷۵ ± ۰/۸۵	
مجموع ارقام	۵/۱۷ ± ۱/۳۲	۲۱/۹۷ ± ۱/۱۹	(۳۵/۰)	۱۱/۰۴ ± ۰/۵۴	

جدول ۴- برآورد دمای پایه ( $T_b$ )، دمای مطلوب تحتانی ( $T_{o1}$ )، دمای مطلوب فوقانی ( $T_{o2}$ )، دمای سقف ( $T_c$ )، و تعداد روز بیولوژیک ( $e_o$ ) برای سبزشدن ۵۰ درصد بذرها با تابع دندان مانند در چهار رقم گلرنگ. دمای سقف برای مدل به طور ثابت ۳۵/۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است.

مدل	رقم	$T_b$	$T_{o1}$	$T_{o2}$	$T_c$	$e_o$
دندان مانند						
اصفهان	۳/۶۰ ± ۱/۹۵	۲۰/۱۰ ± ۲/۱۶	۲۲/۷۰ ± ۱/۳۲	(۳۵/۰)	۸/۷۴ ± ۰/۷۴	
گلدشت	۲/۵۶ ± ۲/۶۹	۱۹/۱۷ ± ۲/۰۴	۲۶/۱۹ ± ۱/۱۴	(۳۵/۰)	۱۱/۹۴ ± ۰/۸۲	
پدیده	۳/۴۰ ± ۲/۵۵	۱۹/۹۰ ± ۲/۸۱	۲۱/۱۰ ± ۲/۵۷	(۳۵/۰)	۹/۶۰ ± ۱/۰۵	
صفه	۳/۱ ± ۱/۳۴	۲۰/۲۰ ± ۱/۴۱	۲۲/۸ ± ۱/۰۲	(۳۵/۰)	۹/۹۰ ± ۰/۵۳	
مجموع ارقام	۳/۳۹ ± ۱/۲۸	۲۰/۱۸ ± ۰/۴۵	۲۳/۲۳ ± ۰/۵۴	(۳۵/۰)	۹/۵۵ ± ۰/۴۸	

با توجه به تابع دندان مانند مورد استفاده در مدل چندگانه (معادله ۲) در بین ارقام مختلف دمای پایه برای سبزشدن بین ۲/۵۶ تا ۳/۶۰، دمای مطلوب تحتانی بین ۱۹/۱۷ تا ۲۰/۲۰، دمای مطلوب فوقانی بین ۲۱/۱۰ تا ۲۶/۱۹ درجه سانتی‌گراد و روز بیولوژیک بین ۸/۷۴ تا ۱۱/۹۴ متغیر بود. با توجه به حدود اطمینان ۹۵ درصد خطای معیار پارامترها استنباط شد پارامترهای برآورد شده در بین ارقام و مجموع ارقام اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). دماهای پایه برآورد شده توسط مدل دوتکه‌ای و دندان مانند مشابه بودند. همچنین تخمین دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه‌ای در دامنه دمای مطلوب برآورد شده توسط مدل دندان مانند قرار داشت. مقدار روز بیولوژیک برآورد شده توسط این دو مدل اختلاف معنی‌داری نداشتند.

در تابع بتا مورد استفاده در مدل چندگانه (معادله ۲) دمای پایه برای سبزشدن برای ارقام مختلف بین ۴/۵۷ تا ۵/۴۳ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ۲۱/۴۲ تا ۲۳/۵۷ درجه سانتی‌گراد و روز بیولوژیک بین ۱۰/۲۵ تا ۱۲/۱۳ برآورد شد. تخمین این پارامترها در بین ارقام مختلف و مجموع ارقام اختلاف معنی‌داری نداشتند. هر چند بین تخمین‌های دمای پایه و روز بیولوژیک مدل دوتکه‌ای و بتا از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما در تابع بتا مقدار تخمین این دو پارامتر نسبت به مدل دوتکه‌ای بالاتر بود (جدول ۳ و ۴).

دمای پایه برای جوانه‌زنی ارقام مختلف گلرنگ (۵/۰ تا ۶/۹ درجه سانتی‌گراد، ترابی و همکاران، ۲۰۱۳) و شبدر (۰/۲ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، ایانوکی و همکاران، ۲۰۰۰) و نیز برای سبزشدن ارقام مختلف نخود (۴/۵ درجه سانتی‌گراد، ترابی و سلطانی، ۲۰۱۲؛ ۶/۸ درجه سانتی‌گراد، یوسفی داز و

همکاران، ۲۰۰۶) و باقلا (۰/۹۸ تا ۱/۶۱ درجه سانتی‌گراد، عجم نوروزی و همکاران، ۲۰۰۷؛ صفر تا ۱ درجه سانتی‌گراد، کویی و همکاران، ۱۹۹۹؛ ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، منشادی و همکاران، ۱۹۹۸) گزارش شده است.

دمای مطلوب برای جوانه‌زنی ارقام مختلف گلرنگ (۳۱/۴ تا ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد، ترابی و همکاران، ۲۰۱۳)، دمای مطلوب برای سبز شدن ارقام مختلف نخود (۲۷/۶ تا ۳۰/۴ درجه سانتی‌گراد، سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶)، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی برای سبز شدن ارقام مختلف نخود (۲۰/۰ تا ۲۳/۸ و ۳۰/۰ تا ۳۰/۳ درجه سانتی‌گراد، ترابی و سلطانی، ۲۰۱۲)، دمای مطلوب برای سبز شدن باقلا (۲۴/۹۹ تا ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد، عجم نوروزی و همکاران، ۲۰۰۷؛ ۲۷ درجه سانتی‌گراد، منشادی و همکاران، ۱۹۹۸) گزارش شد. دمای مطلوب برآورده شده تحقیق حاضر در محدوده‌ی دمای مطلوب گزارش شده برای سبز شدن ارقام مختلف نخود توسط تابع دندان مانند و همچنین دمای مطلوب برای جوانه‌زنی ارقام مختلف شبدر بود.

روز بیولوژیک لازم برای سبز شدن ارقام مختلف نخود (۶/۱ روز، سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ۷/۹ روز، ترابی و سلطانی، ۲۰۱۲)، برای جوانه‌زنی ارقام مختلف گلرنگ (۱۸/۷ ساعت، ترابی و همکاران، ۲۰۱۳) گزارش شد و همچنین روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ارقام مختلف باقلا بین ۸/۶۰ و ۹/۳۱ روز اما در رقم گاوی ۶/۶۵ روز، عجم نوروزی و همکاران، ۲۰۰۷) گزارش شد.

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج نشان داد که تابع دوتکه‌ای با توجه به مقادیر بالاتر  $r$  (۰/۹۷-۰/۹۰) و مقادیر پایین‌تر  $RMSD$  (۴/۰۶-۲/۱۷) و  $CV$  (۲۲/۴-۱۲/۳) نسبت به دو تابع دیگر توانست با دقت بیشتری واکنش سرعت سبز شدن نسبت به دما را در مدل چندگانه (معادله ۲) توصیف کند. با استفاده از این تابع دماهای کاردینال برای مجموع ارقام ۳/۳۹، ۲۱/۹۷ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ۸/۶۳ روز برآورد شد. این پارامترهای می‌توانند در مدل شبیه‌سازی رشد و نمو جهت پیش‌بینی مراحل نمو فنولوژیک گلرنگ، به‌ویژه سبز شدن، مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

1. Ajam-Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E., and Homaei, M. 2007. Modeling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. J Agric Sci. Nat. Res., 14: 100-111.
2. Akramghaderi, F., Galeshi, S., Sadati, S.J., and Kashiri, A. 2001. Determination of cardinal temperature in *Trifolium aubterraneum* L. Pajouhesh-va-Sazandegi., 53: 36-39.
3. Albuquerque, M.C., Def, E., and Carvalho, N.M. 2003. Effects of the type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annuus* L.), soybean (*Glycine max* L.) Merrill and maize (*Zea maize* L.) seeds with different levels of vigor. Seed Sci. Technol., 31: 465-479.
4. Auld, D.L., Bettis, B.L., Crock, J.E., and Kephart, K.D. 1988. Planting date and temperature effects on germination, emergence, and seed yield of chickpea (*Cicer arietinum*). Agron. J., 80: 909-914.
5. 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.
6. Dajue, L., and Mündel, H.H. 1996. Safflower. *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetic and Crop Plant Research, Gatersleben/ Int Plant Genetic Res. Institute., Rome. Italy.
7. Dordas, C.A., and Sioulas, C. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Ind. Crops Prod., 27: 75-85.
8. Ekin, Z. 2005. Resurgence of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) utilization: A global view. Agron J., 4: 83-87.
9. Ghaderi-Far, F., Soltani, A., and Sadeghipour, H.R. 2008. Cardinal temperatures of germination in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *Pepo* var styriaca), Borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Asian J. Plant Sci., 7: 574-578.
10. Ghaderi-Far, F., Soltani, A., and Sadeghipour, H.R. 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *Pepo* var styriaca), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. Int J. Plant Prod., 16: 1-19.
11. Iannucci, A., di Fonzo, N., and Martiniello, P. 2000. Temperature requirements for seed germination in four annual clovers grown under tow irrigation treatments. Seed Sci. Technol., 28: 59-66.
12. 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.

13. Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A., and Villalobos, F.J. 2012. Quantification of the poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. cardinal temperatures and thermal time requirement of opium. *Ind. Crops Prod.*, 35: 192–198.
14. Kamkar, B., Koocheki, A., Mahallati, M.N., and Moghaddam, M.P.R. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet species. *Asian, J. Plant Sci.*, 5: 316-319.
15. Klos, K.L.E., and Brummer, E.C. 2000. Field response to selection in alfalfa for germination rate and seedling vigor at low temperatures. *Crop Sci.*, 40: 1227-1232.
16. 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.
17. 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.
18. 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., Asseng, S. 2002. Environmental and genotypic control of time to flowering on canola and Indian mustard. *Aust. J. Agric. Sci.*, 53: 793-809.
19. Singh, L., Tiwari, A.S., Bisen, S.N., and Singh, B.R. 1976. Growth characteristics in relation to yield attributes in gram. *Indian J. Genet. Plant Breed.*, 36: 166-172.
20. 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 Sci. Technol.*, 30: 51-60.
21. Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Field Crops Res.*, 138: 156-167.
22. Soltani, E., Soltani, A., and Oweisi, M. 2013. Modeling seed deterioration on wheat seed emergence under drought stress: Optimizing Germin program for predicting seed emergence pattern. *J. Crop Improved.*, 15: 147-160.
23. Torabi, B., and Soltani, A. 2012. Quantifying emergence response to temperature of chickpea. *J. Crop Prod Proc.*, 6: 109-119.
24. Torabi, B., Attarzadeh, M., and Soltani, A. 2013. Germination response to temperature in different safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars. *Seed Technol.*, 35: 47-59.
25. Yin, X., Kropff, M.J., and Ellis, R.H. 1996. Rice flowering in response to diurnal temperature amplitude. *Field Crops Res.*, 48: 1–9.
26. Yousefi-Daz, M., Soltani, A., Ghaderi-Far, F., and Sarparast, R. 2006. Evaluation of non-linear regression models to describe response of emergence rate to temperature in chickpea. *Agric. Sci. Technol.*, 20: 93-102.





## Quantifying Response of Safflower Seedling Emergence to Temperature

\*M. Adibnia<sup>1</sup>, B. Torabi<sup>2</sup>, A. Rahimi<sup>2</sup> and A. Azari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student & <sup>2</sup>Assistant Prof., Agronomy Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Received: 09/30/2014 ; Accepted: 01/21/2015

### Abstract

The main objective of this study was to describe emergence rate response to temperature and estimate cardinal temperatures (base, optimum and ceiling temperatures) and biological days requirement for safflower emergence. To do this, four safflower cultivars (Esfahan, Goldasht, Padideh and Sofeh) were sown at 12 sowing dates (every month) and the emergence rate (inverse of time to 50% emerged seeds) was calculated for each sowing date. The segmented, dent-like and beta functions were used to describe the relationship between emergence rate and temperature. Root mean square of deviation (RMSD), coefficient of variation (CV), correlation coefficient ( $r$ ) and linear regression coefficients ( $a$ ,  $b$ ) between predicted and observed days to emergence were used to select the superior function. Results indicated that the compared to the dent-like and beta functions, the segmented function described well the response of safflower emergence to temperature due to the higher  $r$  (0.90-0.97), and lower RMSD (2.17- 4.06) and CV (12.3-22.4). Fit of the segmented function on data of emergence rate to temperature showed cardinal temperatures (base, optimum and ceiling temperatures) among cultivars ranged from 2.30-3.44, 20.56-23.28 and 35°C, respectively. There was no significant difference among the cultivars in terms of cardinal temperatures. The biological days requirement for emergence among cultivars ranged from 8.05 to 9.78 which were not different significantly. The quantitative information provided by this study can be used in the crop models to predict the emergence time courses under diverse temperature conditions.

**Keywords:** Emergence rate, Cardinal temperatures, Biological day

---

\*Corresponding author: [m\\_adibniya@yahoo.com](mailto:m_adibniya@yahoo.com)

