



دانشگاه گورگان و منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴
<http://jopp.gau.ac.ir>

ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی در کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما در سه رقم آفتابگردان

* بهنام کامکار^۱، هدا ذوالفقارنژاد^۲ و نفیسه خلیلی^۳

^۱دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی
اکولوژیک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت،
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: جوانه‌زنی و استقرار گیاهیچه از مراحل بحرانی و مهم در چرخه زندگی گیاهان است. از دیدگاه فناوری بذر، جوانه‌زنی به سبز شدن و نمو از جنین بذر اطلاق می‌شود، به نحوی که قادر به تولید گیاه نرمال در شرایط مطلوب باشد. مطالعات زیادی در زمینه تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و تعیین زمان حرارتی موردنیاز برای سبز شدن تحت تأثیر دما انجام شده است، اما اطلاعات زیادی در این زمینه، در مورد ارقام مورد کشت آفتابگردان در ایران وجود ندارد. این مطالعه با هدف بررسی پاسخ سه رقم آفتابگردان (فرخ، هایسان و پروگرس) به دما و ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی در برآورد دماهای کاردینال و تعیین روز بیولوژیک موردنیاز برای جوانه‌زنی ارقام آفتابگردان صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش واکنش جوانه‌زنی سه رقم رایج آفتابگردان (فرخ، هایسان ۳۳ و پروگرس) نسبت به دما (۱۵، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) در آزمایشگاه بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مورد بررسی قرار گرفت و زمان و درصد جوانه‌زنی اندازه‌گیری، سرعت جوانه‌زنی محاسبه و دماهای کاردینال، زمان بیولوژیک و زمان حرارتی موردنیاز جوانه‌زنی برآورد شد. به‌منظور تخمین دماهای کاردینال از سه مدل دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا استفاده شد و بهترین مدل بر اساس آماره‌ها تعیین شد.

*مسئول مکاتبه: kamkar@gau.ac.ir

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی (۲۲)، شماره (۲) ۱۳۹۴

یافته‌ها: نتایج نشان داد تأثیر دما، رقم و اثر متقابل دما و رقم بر حداکثر درصد جوانه‌زنی (MGP)، سرعت جوانه‌زنی بر اساس ۵۰ درصد جوانه‌زنی (R50) و زمان رسیدن به ۱۰ درصد (D10)، ۵۰ درصد (D50) و ۹۰ درصد (D90) جوانه‌زنی معنی‌دار بود. با ارزیابی سه مدل دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا، در رقم فرخ مدل‌های دوتکه‌ای و دندان‌مانند ارزیابی یکسانی داشتند و در رقم‌های هایسان ۳۳ و پروگرس مدل دندان‌مانند به عنوان مدل برتر انتخاب شدند. در رقم فرخ دمای پایه در هر دو مدل برابر با ۸/۵۱ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ۳۳/۲۶ (دمای مطلوب اولیه ۳۰/۴۴ و دمای مطلوب ثانویه ۳۷/۰۵ درجه سانتی‌گراد) و دمای حداکثر ۴۸/۴۷ (۴۵ درجه سانتی‌گراد) برآورد شد. در هایسان ۳۳ و پروگرس دمای پایه ۸/۹ و ۹/۸۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب اولیه ۳۰/۴۱ و ۲۸، دمای مطلوب ثانویه ۳۷/۷۷ و ۳۸ و دمای سقف ۴۵ و ۴۷ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. همچنین زمان بیولوژیک برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در رقم‌های فرخ، هایسان ۳۳ و پروگرس به ترتیب معادل ۱۸/۱۴ (۲۰/۴۷)، ۱۸/۵۲ و ۱۷/۰۵ ساعت برآورد شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان از تفاوت ارقام آفتابگردان از نظر دماهای کاردینال دارد. بنابراین اگر قرار باشد از این ضرایب در کمی‌سازی واکنش‌های گیاه به دما و پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی استفاده شود، ضرایب خاص هر رقم باید به طور جداگانه تعیین شوند.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، دماهای کاردینال، مدل دندان‌مانند، مدل دوتکه‌ای، مدل بتا

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی در جهان است که روغن آن به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع از جمله اسید لینولئیک، از روغن‌های خوراکی پر مصرف در سراسر جهان می‌باشد. طبق آمار فائو (۲۰۱۰) میزان تولید آفتابگردان در کشور ۴۹۶۰۰ تن بوده است. در حال حاضر براساس آمار غیررسمی داخلی سطح زیر کشت آفتابگردان در ایران حدود ۶۰ هزار هکتار است و تولید دانه آن به ۴۵ هزار تن می‌رسد (۱۲).

در سال‌های اخیر کشت آفتابگردان در کشور به‌عنوان زراعت دوم بعد از برداشت غلات افزایش یافته است، از این‌رو استفاده از ارقام هیبرید مانند رقم فرخ و رقم هایسان ۳۳ به دلیل زودرس بودن نسبت به ارقام آزاد گرده‌افشان مانند پروگرس مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. اگر چه ارقام غیرهیبرید دیررس هستند و احتمال مواجه شدن با شرایط نامساعد محیطی آخر فصل در آن‌ها بیشتر است اما نسبت به ارقام هیبرید در شرایط نامساعد متحمل‌تر هستند.

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه از مراحل بحرانی و مهم در چرخه زندگی گیاهان است (۳۲). از دیدگاه فناوری بذر، جوانه‌زنی به سبز شدن و نمو از جنین بذر اطلاق می‌شود، به نحوی که قادر به تولید گیاه نرمال در شرایط مطلوب باشد (۷). از دیدگاه فیزیولوژی، جوانه‌زنی در قالب آغازش رشد جنین تعریف می‌شود (۹). جوانه‌زنی با جذب آب توسط بذر شروع می‌شود و با طول شدن محور جنینی و خروج ریشه‌چه پایان می‌یابد (۴). جوانه‌زنی بذر یک فرآیند بیولوژیکی پیچیده است که عوامل ژنتیکی و محیطی گوناگون بر روی آن تأثیر دارند (۲۶). دما نیروی محرک مهمی است که در سرعت نمو محصول تأثیر به‌سزایی دارد (۱۷). تأثیرات دما بر رشد و نمو گیاه مبنای مدل‌هایی است که برای پیش‌بینی زمان‌بندی جوانه‌زنی استفاده می‌شود (۵).

در بین عوامل محیطی در صورتی که تهویه مناسب باشد، برای بذرهای بدون خواب، دما و رطوبت دارای اهمیت بیشتری هستند (۶). دما یکی از عواملی است که از طریق تنظیم خواب بر ظرفیت جوانه‌زنی و همچنین بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای بدون خواب تأثیر می‌گذارد (۱۹). گیاهان دارای سه دمای کاردینال شامل دمای پایه یا حداقل، دمای مطلوب و دمای حداکثر یا سقف برای جوانه‌زنی هستند. دماهای پایه و حداکثر دماهایی هستند که به‌ترتیب در دماهای پایین‌تر و بالاتر از آن دماها، جوانه‌زنی متوقف می‌شود و دمای مطلوب، دمایی است که در آن مراحل جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین زمان

ممکن اتفاق بیفتد، یعنی سرعت جوانه‌زنی در حداکثر است (۳). بنابراین، بذرها در یک دامنه دمایی تعریف شده جوانه می‌زنند و سرعت جوانه‌زنی به دما وابسته است.

دما یکی از عواملی است که بر درصد و سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار است (۱۹). سرعت نمو گیاه با افزایش دما بین دمای پایه تا دمای مطلوب نمو افزایش می‌یابد و با افزایش بیشتر دما بین دمای مطلوب و دمای سقف، کاهش می‌یابد (۶). سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا دمای مطلوب، افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد (۱۹). علت عدم جوانه‌زنی در دمای بالاتر از دمای بیشینه تغییر ماهیت پروتئین‌ها، عدم کارکرد مناسب غشای پلاسمایی سلول و اثرات متقابل ایجاد شده با آب است (۶).

به‌طور کلی، برای اغلب گیاهان، سرعت نمو در دمای پایه در حد صفر است و با افزایش دما تا دمای بهینه افزایش می‌یابد ولی در دماهای بالاتر از آن افت شدیدی نشان می‌دهد (۲۲). گزارش‌های متعدد حاکی از اثر افزایشی دما تا نقطه‌ای خاص بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها می‌باشند (۱۴). افزایش دما علاوه بر کاهش سرعت جوانه‌زنی، می‌تواند زوال بذر را نیز به‌همراه داشته باشد (هاردیگری، ۲۰۰۶). برخی مطالعات حاکی از آن است که به‌طور معمول با افزایش دما سرعت حداقل در یک دامنه دمایی مناسب به‌طور خطی افزایش می‌یابد، ولی در دماهای بالاتر از آن افت شدیدی نشان می‌دهد (۲۲).

مدل‌های ریاضی متعددی برای توصیف الگوی جوانه‌زنی در واکنش به درجه حرارت ارائه شده‌اند (۸). برخی از این مدل‌ها برای پیش‌بینی واکنش جوانه‌زنی تجمعی به‌کار می‌روند و قادر به پیش‌بینی دماهای کاردینال و ضرایب مدل برای مقایسه توده‌های بذری نیز می‌باشند (۱۴). انتخاب مدل مناسب برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما، در تعیین دقیق دماهای کاردینال بسیار مهم است.

توابع دمایی مختلفی برای توصیف واکنش جوانه‌زنی به دما وجود دارد که از میان آن‌ها سه تابع دوتکه‌ای، بتا و دندان مانند برای بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرها به دما بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۶؛ ۱۸). کامکار و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه گیاه خشخاش با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی مدل دوتکه‌ای را به‌عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی معرفی کردند (۱۸). در مطالعه دیگری کامکار و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه کمی‌سازی سرعت ظاهر شدن گیاهچه گندم در واکنش به دما با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی مدل لجستیک را به‌عنوان مدل برتر انتخاب کردند (۱۷). اشراقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی پاسخ ظاهر شدن گیاهچه ارزن دم-

روباهی به دما از مدل‌های مختلف رگرسیون غیرخطی استفاده کردند (۱۱). خلیلی (۲۰۱۳) نیز برای کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه جو به دما و پتانسیل آب از مدل‌های رگرسیون غیرخطی استفاده و مدل بتا را به عنوان مدل برتر معرفی کردند (۲۰).

اگر چه تاکنون مطالعات زیادی در زمینه تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و تعیین زمان حرارتی موردنیاز برای سبز شدن تحت تأثیر دما انجام شده است، اما اطلاعات زیادی در این زمینه، در مورد ارقام مورد کشت آفتابگردان در ایران وجود ندارد. رقم‌های پروگرس، فرخ و هایسان ۳۳ آفتابگردان از ارقام رایج مورد کشت در ایران هستند که در پنج سال اخیر آزاد و توسط بخش دانه‌های روغنی جهت کشت توصیه شده‌اند. از این رو دانستن دماهای کاردینال این ارقام می‌تواند در تعیین تاریخ کاشت مطلوب برای حصول درصد سبز مناسب بسیار حایز اهمیت باشد. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی در برآورد دماهای کاردینال و تعیین روز بیولوژیک موردنیاز برای جوانه‌زنی ارقام آفتابگردان صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۰ در قالب طرح پایه کامل تصادفی و به صورت فاکتوریل در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل بذره‌های سه رقم آفتابگردان (ارقام فرخ، هایسان ۳۳ و پروگرس) و دما در پنج سطح (۱۵، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) بود. تیمارهای دمایی در تاریکی و توسط انکوباتور، با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تأمین شد. ارقام آفتابگردان مورد بررسی شامل هیبرید هایسان ۳۳ با وزن هزار دانه ۷۰-۸۰ گرم، میزان روغن ۴۷ درصد و عملکرد دانه ۴/۰-۳/۷ تن در هکتار، رقم پروگرس با وزن هزار دانه ۷۰-۶۵ گرم، میزان روغن ۴۷ درصد و عملکرد دانه ۳/۵-۲/۵ تن در هکتار و رقم فرخ (هیبرید سینگل کراس زودرس) با وزن هزار دانه ۶۵-۵۵ گرم، میزان روغن ۴۸-۴۶ درصد و عملکرد دانه ۳/۵ تا ۴/۵ تن در هکتار بودند. این ارقام جزء ارقامی هستند که در پنج سال اخیر آزاد شده‌اند و توسط بخش دانه‌های روغنی جهت کشت در مناطق آبی یا دیم توصیه شده‌اند. بذور از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان (تولید شده در سال ۱۳۸۹) تهیه شدند. ۵۰ عدد بذر از هر گیاه انتخاب و بعد از ضدعفونی با استفاده از هیپوکلرید سدیم ۱۰ درصد بر روی دو عدد کاغذ حوله‌ای چیده و با کاغذی دیگر روی بذرها پوشانده شد. برای جلوگیری از تبخیر رطوبت، حوله‌های

کاغذی در داخل پلاستیک گذاشته شد و بعد از آن در داخل انکوباتور در دماهای موردنظر قرار داده شد. شمارش بذره‌های جوانه‌زده بسته به دمای مورد استفاده، در بازه‌های زمانی متفاوت انجام گرفت و هر بار بذره‌های جوانه‌زده از محیط جوانه‌زنی خارج شدند. بدیهی است که در دماهای نزدیک‌تر به دمای بهینه بازه زمانی شمارش، کوچک‌تر است. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود. خاتمه شمارش زمانی بود که در طی ۴۸ ساعت متوالی هیچ بذری جوانه نزنند و یا این‌که کل بذرها جوانه نزنند. در طول آزمایش در صورت نیاز، به حوله‌های کاغذی آب مقطر اضافه شد.

برای محاسبه درصد، سرعت و زمان جوانه‌زنی از نرم‌افزار GS-2011 (۱۶) استفاده شد. این نرم‌افزار تابع لجستیک را به داده‌های جوانه‌زنی در برابر دما برازش داده و از طریق درونیابی محاسبات لازم را انجام می‌دهد. در کلیه تیمارهای دمایی، برای هر تکرار منحنی پیشرفت جوانه‌زنی در مقابل زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای ۵۰ درصد (D_{50}) جوانه‌زنی از طریق درونیابی برآورد گردید. در محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه (۱) استفاده شد:

$$MGP = 100 \times (\text{تعداد کل بذرها} / \text{تعداد بذره‌های جوانه زده}) \quad (1)$$

همچنین سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (۲۷).

$$R_{50} = 1/D_{50} \quad (2)$$

که در آن R_{50} سرعت جوانه‌زنی و D_{50} زمانی است که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد.

برای تعیین دماهای کاردینال و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی نیز از رابطه زیر استفاده شد (۶):

$$1/e = f(T)/f_0 \quad (3)$$

که در آن $1/e$ سرعت جوانه‌زنی و f_0 زمان بیولوژیک موردنیاز برای جوانه‌زنی می‌باشد. زمان بیولوژیک جوانه‌زنی عبارت است از زمان لازم برای جوانه‌زنی در شرایط دمای مطلوب و $f(T)$ تابع دما است که بین صفر (در دمای پایه) و یک (در دمای مطلوب) تغییر می‌کند.

همچنین برای تعیین زمان حرارتی موردنیاز جوانه‌زنی در دمای مطلوب از رابطه زیر استفاده شد

(۲۳):

$$TT = (T_0 - T_b) f_0 \quad (4)$$

توابع دمایی از روابط زیر بدست می‌آید:

۱- تابع بتا^۱ با علامت اختصاری (B) که معادله آن به صورت زیر است (۳۴):

$$f(T) = \left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right)^{\alpha} \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right) \quad (5)$$

۲- تابع دندان مانند^۲ با علامت اختصاری (D) که معادله آن به صورت زیر است (۲۴):

$$\begin{aligned} f(T) &= (T - T_b) / (T_{o1} - T_b) && \text{اگر} && T_b < T < T_{o1} \\ f(T) &= (T_c - T) / (T_c - T_{o2}) && \text{اگر} && T_{o2} < T < T_c \\ f(T) &= 1 && \text{اگر} && T_{o1} \leq T \leq T_{o2} \\ f(T) &= 0 && \text{اگر} && T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{aligned} \quad (6)$$

۳- تابع دو تکه‌ای^۳ با علامت اختصاری (S) که معادله آن به صورت زیر است (۲۹):

$$\begin{aligned} f(T) &= (T - T_b) / (T_o - T_b) && \text{اگر} && T_b < T < T_o \\ f(T) &= 1 - (T - T_o) / (T_c - T_o) && \text{اگر} && T_o \leq T < T_c \\ f(T) &= 0 && \text{اگر} && T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{aligned} \quad (7)$$

در این توابع T_b دمای پایه، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی، T_o دمای مطلوب، T_c دمای سقف، f_o و a ضریب ثابت و T دمای متوسط روزانه (دمای مورد آزمایش) می‌باشد. تخمین متغیر هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک رویه PROCNLIN در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹) 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 می‌گیرد که بهترین برآورد از متغیرها به دست آید. بهترین برآورد متغیرهای مدل بر اساس خطای معیار (SE) کمتر متغیرها و جذر میانگین مربعات انحراف (RMSE) کمتر رگرسیون مشخص می‌شود (۲). برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مورد استفاده، از جذر میانگین مربعات انحرافات (RMSE) برای زمان جوانه‌زنی، ضریب تبیین (R^2)، ضریب همبستگی (r)، ضرایب رگرسیون ساده

-
- 1- Beta Original
 - 2- Dent-like
 - 3- Segmented

خطی (a و b) در رابطه زمان (ساعت) تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده استفاده شد. هر چقدر ضریب تبیین (R^2) مدل استفاده شده بالاتر باشد نشان‌دهنده این است که مدل درصد تغییرات سرعت جوانه‌زنی را بیشتر توجیه می‌کند. ضرایب a و b به ترتیب نشان‌دهنده میزان انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و میزان اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ است. مقدار عددی ضرایب a و b توسط نرم‌افزار SAS^۱ تعیین شد. معنی‌داری ضریب a توسط نرم‌افزار SAS و معنی‌داری ضریب b با تعیین حدود اطمینان بررسی شد. معنی‌داری ضریب a به این معنا است که عرض از مبدأ خط رگرسیون از عرض از مبدأ خط ۱:۱ اریبی دارد. معنی‌داری ضریب b به این معنا است که شیب خط رگرسیون از شیب خط ۱:۱ فاصله دارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب است (۱). هر چه پراکنش نقاط در اطراف خط یک به یک کمتر باشد نشانه کارایی بالاتر مدل است. با توجه به این معیارها، به‌منظور توصیف سرعت جوانه‌زنی رقم‌های مختلف آفتابگردان نسبت به دما، مدل برتر برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی تعیین شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس حداکثر درصد جوانه‌زنی (MGP)، سرعت جوانه‌زنی بر اساس ۵۰ درصد جوانه‌زنی (R_{50})، زمان رسیدن به ۱۰ درصد (D_{10})، ۵۰ درصد (D_{50}) و ۹۰ درصد (D_{90}) جوانه‌زنی نشان داد که تأثیر دما و رقم بر پارامترهای ذکر شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل دما و رقم در زمان رسیدن به ۱۰ درصد (D_{10}) در سطح ۵ درصد و در دیگر متغیرها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

حداکثر درصد جوانه‌زنی در رقم فرخ ۹۷ درصد در بازه دمایی ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، در رقم هایسان ۹۸ درصد در بازه دمایی ۱۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد و در رقم پروگرس ۹۰ درصد در بازه دمایی ۱۵ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد بود. مشاهده می‌شود که بازه دمایی آغاز تا پایان جوانه‌زنی در هر سه رقم تقریباً یکسان، اما بازه دمایی حداکثر جوانه‌زنی در رقم هایسان ۳۳ بزرگتر و درصد جوانه‌زنی حداکثر نیز در آن بیشتر از دو رقم دیگر است. در واقع حداکثر درصد جوانه‌زنی در رقم‌های فرخ و هایسان ۳۳ که از ارقام هیبرید هستند نزدیک به هم و مقدار عددی آن از حداکثر درصد جوانه‌زنی

بهنام کامکار و همکاران

رقم پروگرس (از ارقام آزاد گرده افشان) بیشتر است (شکل ۱). دامنه دمایی که مقدار جوانه‌زنی در آن حداکثر است با توجه به تنوع گونه‌ها و کیفیت بذر تغییر می‌کند (۱۰). از دلایل کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در دماهای غیرمطلوب می‌توان به کاهش و یا ممانعت از فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه کاهش سرعت فرآیندهای زیستی لازم برای جوانه‌زنی در این دماها اشاره کرد (۱۵). همچنین کاهش کارایی سوخت و سازی بذرها از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمایی مطلوب گزارش شده است (۳۰). بردفورد (۶) نیز بیان داشت که در دماهای بالاتر از مطلوب تاخوردگی پروتئین‌ها، اختلال در غشاها و اثرات متقابل با خشکی وجود دارد.

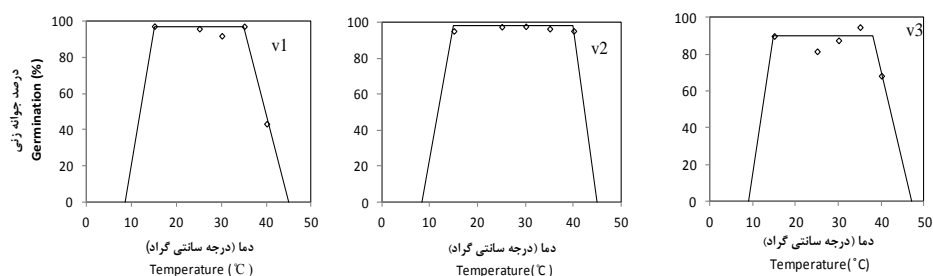
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس حداکثر درصد جوانه‌زنی (MGP)، سرعت جوانه‌زنی بر اساس ۵۰ درصد جوانه‌زنی (R₅₀)، زمان رسیدن به ۱۰ درصد (D₁₀)، ۵۰ درصد (D₅₀) و ۹۰ درصد (D₉₀) جوانه‌زنی.

Table 1. ANOVA results for maximum germination percentage (MGP), germination rate base on 50% germination (R₅₀), time to 10 (D₁₀), 50 (D₅₀) and 90% (D₉₀) germination.

D ₉₀	D ₅₀	D ₁₀	R ₅₀	MGP	DF	منابع تغییر Source of variation
9.52**	74.85**	43.86**	63.55**	42.63**	2	رقم (Variety)
395.49**	1851.72**	391.09**	393.81**	69.46**	4	دما (Temperature)
5.05**	6.83**	2.53*	6.54**	26.35**	8	رقم × دما (Variety×Temperature)
11.19	1.78	6.35	0.000005	16.17	30	خطا Error

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد را نشان می‌دهد. برای خطا مقادیر میانگین مربعات و برای دیگر منابع تغییر مقادیر F آورده شده است.

*and**: Significant at 1 and 5% of probability level. Mean squares and F value are presented for error and other source of variation, respectively.



شکل ۱- رابطه درصد جوانه‌زنی در برابر دما (درجه سانتی‌گراد) در رقم‌های فرخ (v1)، هایسان (v2) و پروگرس (v3)
 Figure 1. Germination percentage against temperature (°C) for Farrokh (v1), Hisan (v2) and Progress (v3).

در مدل‌های بتا و دوتکه‌ای دمای پایه، دمای مطلوب، دمای سقف و ساعت بیولوژیک جوانه‌زنی با استفاده از مدل برآورد می‌شود؛ اما مدل دندان‌مانند دامنه دماهای مطلوب (از دمای مطلوب کمینه تا دمای مطلوب بیشینه) را برآورد می‌کند. معیارهای مورد بررسی در مقایسه مدل‌های مختلف برای انتخاب مدل برتر در توصیف سرعت جوانه‌زنی به دما در ارقام مختلف آفتابگردان شامل مجذور میانگین مربعات انحراف (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، ضرایب رگرسیون (a و b) و رابطه زمان (ساعت) تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده است (جدول ۲) که با مقایسه این معیارها نتایج زیر به دست آمد:

در رقم فرخ ضرایب a و b (به ترتیب میزان انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و میزان اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱) در مدل بتا در سطح ۱ درصد معنی‌دار و در مدل‌های دوتکه‌ای و دندان‌مانند ضریب a غیرمعنی‌دار و ضریب b در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. مقدار عددی ضرایب a و b در مدل‌های دوتکه‌ای و دندان‌مانند برابر و به ترتیب ۲- و ۱/۰۷ است که نسبت به مدل بتا به ترتیب به صفر و یک نزدیک‌تر است. همچنین ضریب تبیین (R^2) در مدل‌های دوتکه‌ای و دندان‌مانند ۹۹ درصد و بیشتر از مدل بتا و مجذور میانگین مربعات انحراف (RMSE) و ضریب تغییرات (CV) در مدل‌های دوتکه‌ای و دندان‌مانند برابر و به ترتیب ۱/۶۴ و ۵/۸۶ و کمتر از مدل بتا است (جدول ۲). همچنین پراکندگی نقاط در اطراف خط یک به یک، در مدل‌های دوتکه‌ای و دندان‌مانند کمتر از مدل بتا است (شکل ۳). با توجه به معنی‌دار شدن هر دو ضریب a و b در مدل بتا، لذا این مدل در تعیین مدل برتر در رقم فرخ حذف می‌شود و از آن‌جا که مقدار عددی متغیرهای مورد

بررسی در دو مدل دندانمانند و دوتکه‌ای برابر شد، در نتیجه هر دو مدل در رقم فرخ به‌عنوان مدل برتر انتخاب و در تعیین دماهای کاردینال از آن‌ها استفاده شد (شکل ۲).

در رقم هایسان ضرایب a و b در مدل بتا در سطح ۱ درصد معنی‌دار و در مدل‌های دو تکه‌ای و دندانمانند غیرمعنی‌دار بود. ضریب تبیین (R^2) در هر سه مدل ۹۹ درصد بود. مجذور میانگین مربعات انحراف (RMSE) و ضریب تغییرات (CV) در مدل دندانمانند به‌ترتیب ۰/۸۹ و ۳/۵۶ و کمتر از دو مدل دیگر (جدول ۲) و پراکندگی نقاط در اطراف خط یک به یک، در مدل دندانمانند کمتر از دو مدل دیگر بود (شکل ۳). با توجه به این‌که ضرایب a و b در مدل بتا معنی‌دار شد، این مدل در تعیین مدل برتر برای رقم هایسان حذف شد. از طرفی براساس نتایج، مقدار عددی ضریب b در مدل‌های دندانمانند و دوتکه‌ای برابر است؛ اما مقدار عددی ضریب a در مدل دندانمانند ۰/۰۴ و به صفر نزدیک‌تر است. با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، و از آن‌جا که در مدل دندانمانند مجذور میانگین مربعات انحراف، ضریب تغییرات و پراکندگی نقاط در اطراف خط یک به یک نسبت به دو مدل دیگر کمتر است در نتیجه مدل دندانمانند به‌عنوان مدل برتر در رقم هایسان انتخاب و در تعیین دماهای کاردینال از آن استفاده شد (شکل ۲).

در رقم پروگرس ضریب a در هر سه مدل غیر معنی‌دار، اما ضریب b در مدل بتا در سطح ۱ درصد و در دو مدل دیگر در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اگر چه ضرایب a و b در مدل‌های بتا و دندانمانند با اختلاف جزئی مشابه هستند، اما این ضرایب در مدل دندانمانند به‌ترتیب معادل ۰/۹۲ و ۰/۹۵ و در مقایسه با دو مدل دیگر به‌ترتیب به صفر و یک نزدیک‌تر هستند. ضریب تبیین (R^2) در مدل‌های بتا و دندانمانند ۹۹ درصد و بیشتر از مدل دوتکه‌ای است. همچنین مجذور میانگین مربعات انحراف (RMSE) و ضریب تغییرات (CV) در مدل‌های دندانمانند و بتا با اختلاف جزئی مشابه و از مدل دوتکه‌ای کمتر است (جدول ۲). همچنین پراکندگی نقاط در اطراف خط یک به یک، در مدل‌های بتا و دندانمانند مشابه و کمتر از مدل دوتکه‌ای است (شکل ۳). با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، با توجه به این‌که ضرایب a و b از لحاظ معنی‌داری در هر سه مدل مشابه هستند و از آن‌جا که در مدل‌های بتا و دندانمانند مجذور میانگین مربعات انحراف، ضریب تغییرات و پراکندگی نقاط در اطراف خط یک به یک کمتر و ضریب تبیین نسبت به مدل دوتکه‌ای بالاتر است، بنابراین در انتخاب مدل برتر مدل دوتکه‌ای حذف گردید. از طرفی مشاهده می‌شود که متغیرهای مورد ارزیابی برای تعیین مدل برتر در مدل‌های بتا و دندانمانند با هم اختلاف جزئی داشته و تقریباً برابر هستند، بنابراین در رقم پروگرس با توجه به شرایط می‌توان از خروجی‌های هر دو مدل بتا و دندانمانند استفاده کرد. در

این مطالعه با توجه به این‌که در مدل دندان‌مانند ضریب b در سطح ۵ درصد معنی‌دار است و مقدار عددی ضرایب a و b به‌ترتیب به صفر و یک نزدیک‌تر هستند در نتیجه مدل دندان‌مانند به‌عنوان مدل برتر در رقم پروگرس انتخاب و در تعیین دماهای کاردینال از آن استفاده شد (شکل ۲).

با توجه به این‌که در رقم فرخ مدل‌های دوتکه‌ای و دندان‌مانند به‌عنوان مدل برتر تعیین شدند، در این رقم دمای پایه در هر دو مدل برابر با $۸/۵۱$ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب $۳۳/۲۶$ درجه سانتی‌گراد (دمای مطلوب اولیه $۳۰/۴۴$ و دمای مطلوب ثانویه $۳۷/۰۵$ درجه سانتی‌گراد) و دمای سقف $۴۸/۴۷$ درجه سانتی‌گراد (۴۵ درجه سانتی‌گراد) برآورد شد. در رقم هایسان ۳۳ دمای پایه $۸/۹$ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب اولیه $۳۰/۴۱$ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ثانویه $۳۷/۷۷$ و دمای سقف ۴۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. همچنین در رقم پروگرس دمای پایه، دمای مطلوب اولیه، دمای مطلوب ثانویه و دمای سقف به‌ترتیب معادل $۹/۸۵$ ، ۲۸ ، ۳۸ و ۴۷ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (جدول ۳).

همچنین زمان بیولوژیک جوانه‌زنی در رقم‌های فرخ، هایسان ۳۳ و پروگرس به‌ترتیب معادل $۱۸/۱۴$ ($۲۰/۴۷$)، $۱۸/۵۲$ و $۱۷/۰۵$ ساعت (جدول ۳) و زمان حرارتی موردنیاز جوانه‌زنی در دمای مطلوب در رقم‌های فرخ، هایسان ۳۳ و پروگرس به‌ترتیب معادل ۴۴۸ ، ۳۹۸ و ۳۰۹ واحد برآورد شد. با توجه به این‌که رقم‌های فرخ و هایسان ۳۳ از ارقام هیبرید هستند و زودرسی از خصوصیات ویژه آن‌هاست، پایین‌تر بودن نسبی دماهای پایه و سقف و کمتر بودن بازه دماهای مطلوب در این ارقام نسبت به رقم پروگرس قابل توجیه است. این در حالی است که رقم پروگرس از ارقام آزاد‌گرده افشان است و ارقام آزاد‌گرده افشان ارقام دیررس‌تری هستند و در شرایط نامساعد محیطی متحمل‌تر از ارقام هیبرید هستند. همچنین می‌توان بیشتر بودن زمان بیولوژیک جوانه‌زنی و زمان حرارتی در رقم‌های فرخ و هایسان ۳۳ نسبت به رقم پروگرس را مربوط به حساس‌تر بودن ارقام هیبرید به شرایط محیطی در مقایسه با ارقام آزاد‌گرده افشان که ارقام متحمل‌تری هستند قابل توجیه دانست.

نتایج به‌دست آمده با نتایج ماول و همکاران (۲۲) مطابقت دارد. ایشان اثر دماهای ثابت را بر جوانه‌زنی شش رقم آفتابگردان مورد بررسی قرار داده و اظهار داشتند در این ارقام دمای پایه بین ۱ تا $۵/۱$ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب بین $۳۳/۴$ تا $۳۶/۷$ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف بین $۴۵/۵$ تا $۴۷/۸$ درجه سانتی‌گراد متغیر و زمان حرارتی موردنیاز برای جوانه‌زنی در دماهای زیر مطلوب و بالای مطلوب به‌ترتیب بین $۳۷/۸$ تا $۷۴/۴$ و $۱۲/۷$ تا $۲۱/۰$ درجه سانتی‌گراد-روز بود. همچنین سفلدت و همکاران (۲۰۰۲) دمای پایه جوانه‌زنی برای رقم گندم بهاره را بین $۱/۲$ و $۱/۶$ درجه سانتی‌گراد به‌دست آوردند (۲۵). زینلی و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی جوانه‌زنی رقم گندم، گزارش کردند که

بهنام کامکار و همکاران

دمای پایه ارقام مورد مطالعه از ۲/۰ تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب از ۳۱/۸ تا ۳۲/۲ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف از ۳۸/۱ تا ۴۲/۱ درجه سانتی‌گراد متغیر بود (۳۳). لطیفی و همکاران (۲۰۰۴) دمای پایه و مطلوب برای جوانه‌زنی ۹ ژنوتیپ کلزا را به ترتیب ۰ تا ۴ و ۱۶ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند (۲۱). وید و همکاران (۱۹۹۳) نیز دمای پایه جوانه‌زنی را برای ۱۶ رقم هیبرید ذرت خوشه‌ای بین ۵/۹ تا ۹/۸ درجه سانتی‌گراد به دست آوردند (۳۱).

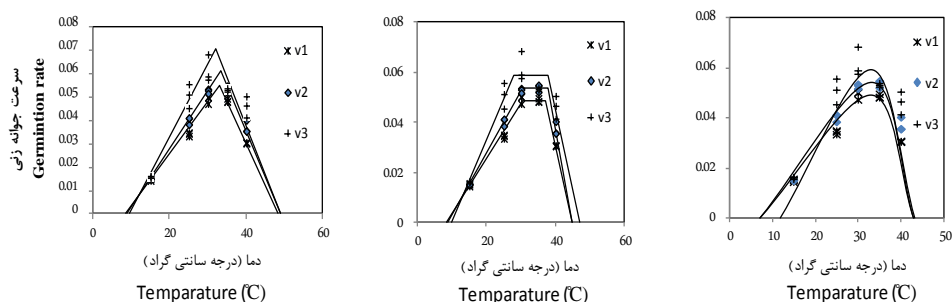
جدول ۲- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب تبیین (R²) و ضرایب رگرسیون (a) و (b) برای مدل‌های مختلف رگرسیونی در رقم‌های فرخ، هایسان و پروگرس در آفتابگردان.

Table 2. Root mean square error (RMSE), coefficient of variation (CV), determination coefficient (R²) and regression coefficients (a & b) for different nonlinear regression models Farrokh, Hisan and Progress varieties.

<i>b</i> ± SE	<i>a</i> ± SE	R ²	CV	RMSE	رقم فرخ Farrokh variety
1.38 *** ± 0.05	-10.22 *** ± 2.23	0.97	13.86	3.88	مدل بتا Beta Model
1.07 *** ± 0.02	-2.00 ± 0.94	0.99	5.86	1.64	دو تکه‌ای Segmented Model
1.07 *** ± 0.02	-2.00 ± 0.94	0.99	5.86	1.64	دندان مانند Dent-like model
رقم هایسان Hisan variety					
1.12 *** ± 0.02	-2.95 *** ± 0.71	0.99	5.48	1.37	مدل بتا Beta Model
0.99 ± 0.01	0.26 ± 0.57	0.99	4.36	1.09	دو تکه‌ای Segmented Model
0.99 ± 0.01	0.04 ± 0.46	0.99	3.56	0.89	دندان مانند Dent-like model
رقم پروگرس Progress variety					
0.94 *** ± 0.02	1.00 ± 0.80	0.99	7.54	1.65	مدل بتا Beta Model
0.90 * ± 0.04	2.58 ± 1.37	0.97	12.80	2.80	دو تکه‌ای Segmented Model
0.95 * ± 0.02	0.92 ± 0.82	0.99	7.68	1.68	دندان مانند Segmented Model

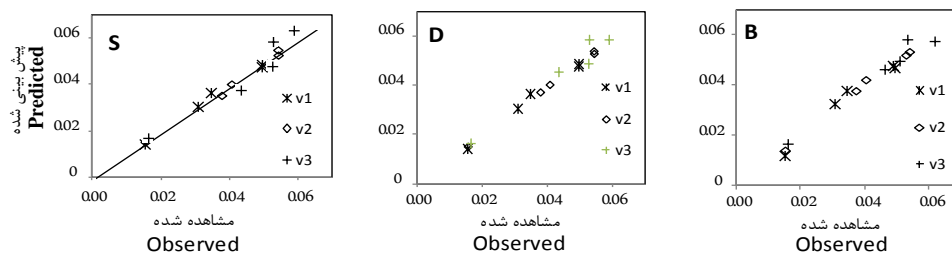
* و ** در a نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار با صفر و در b نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار با ۱ است.

* and ** show significant difference with zero (for a) and unit (for b).



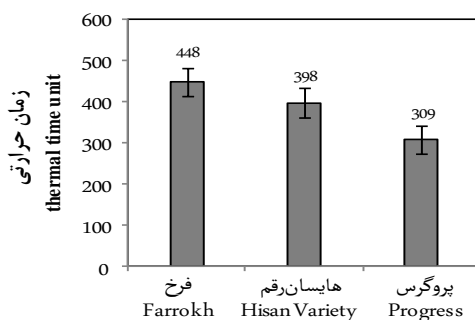
شکل ۲- رابطه سرعت جوانه‌زنی با دما (درجه سانتی‌گراد) با استفاده از توابع دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا در رقم‌های فرخ (v1)، هایسان (v2) و پروگرس (v3).

Figure 2. Relation of germination rate against temperature (°C) using segmented, dent-like and beta functions for Farrokh, Hisan and Progress varieties.



شکل ۳- مقادیر پیش‌بینی شده سرعت در ۵۰ درصد جوانه‌زنی با استفاده از توابع دوتکه‌ای (S)، دندان‌مانند (D) و بتا (B) در برابر مقادیر مشاهده شده در در رقم‌های فرخ (v1)، هایسان (v2) و پروگرس (v3)

Figure 3. Observed against predicted germination rate (for 50% germination) using segmented, dent-like and beta functions for Farrokh, Hisan and Progress varieties.



شکل ۴- واحد زمانی حرارتی موردنیاز برای جوانه‌زنی در سه رقم فرخ، هایسان و پروگرس در آفتابگردان.

Figure 4. Required thermal time (unit) for for germination of Farrokh, Hisan and Progress varieties.

بهنام کامکار و همکاران

جدول ۳- برآورد ضریب ثابت a (برای مدل بتا)، دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای سقف (T_c) تعداد ساعت بیولوژیک (F_o) برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی در سه رقم آفتابگردان.

Table 3. Estimated a (as constant coefficient for beta model), base temperature (T_b), optimum temperature (T_o), lower optimum temperature (T_{o1}), upper optimum temperature (T_{o2}), ceiling temperature (T_c) and biological days (F_o) for 50% germination using regression models for three sunflower varieties.

Fo	Tc	To	Tb	a	مدل بتا Beta model
20.45 ± 0.57	43.0 ± 0	33.0 ± 0	7.0 ± 0	1.79 ± 0.16	رقم فرخ Farrokh variety
18.42 ± 0.26	43.0 ± 0	33.19 ± 0.26	7.0 ± 0	1.70 ± 0.09	رقم هایسان Hisan variety
16.92 ± 0.56	43.14 ± 1.83	33.0 ± 0	12.0 ± 0	0.86 ± 0.12	رقم پروگرس Progress variety
					دو تکه‌ای Segmented model
18.14 ± 0.27	48.47 ± 0.86	33.26 ± 0.29	8.51 ± 0.66	-	رقم فرخ Farrokh variety
16.26 ± 0.21	49.0 ± 0	33.40 ± 0.23	8.90 ± 0.61	-	رقم هایسان Hisan variety
14.17 ± 0.54	49.0 ± 0	32.20 ± 0.73	9.50 ± 1.69	-	رقم پروگرس Progress variety
Fo	Tc	To2	To1	Tb	دندان مانند Dent-like model
20.47 ± 0.41	45.0 ± 0	37.05 ± 0.30	30.44 ± 0.59	8.51 ± 0.66	رقم فرخ Farrokh variety
18.52 ± 0.30	45.0 ± 0	37.77 ± 0.21	30.41 ± 0.47	8.90 ± 0.51	رقم هایسان Hisan variety
17.05 ± 0.44	47.0 ± 0	38.0 ± 0	28.0 ± 0	9.85 ± 1.19	رقم پروگرس Progress variety

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که در رقم فرخ مدل‌های دندان‌مانند و دو تکه‌ای از دقت یکسانی در کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما برخوردار بودند. همچنین در رقم هایسان ۳۳ مدل دندان‌مانند با اختلاف بسیار اندکی نسبت به مدل دو تکه‌ای و در رقم پروگرس مدل دندان‌مانند با اختلاف بسیار اندکی نسبت به مدل بتا برتری داشت. بنابراین، در تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی می‌توان از نتایج مدل دو تکه‌ای در رقم هایسان ۳۳ و نتایج مدل بتا در رقم پروگرس نیز استفاده کرد. به‌طور کلی مدل

دندان‌مانند در هر سه رقم به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد، اما نتایج نشان داد که در تعیین دماهای کاردینال و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی در رقم‌های هیبرید (فرخ و هایسان ۳۳) از مدل دوتکه‌ای و در رقم غیرهیبرید (پروگرس) از مدل بتا نیز می‌توان استفاده کرد. با ارزیابی سه مدل رگرسیون غیرخطی و بر اساس مدل برتر، در رقم فرخ دمای پایه برابر ۸/۵۱ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ۳۳/۲۶ (دمای مطلوب اولیه ۳۰/۴۴ و دمای ثانویه ۳۷/۰۵ درجه سانتی‌گراد) و دمای حداکثر ۴۸/۴۷ (۴۵ درجه سانتی‌گراد) برآورد شد. این نتایج نشان از تفاوت ارقام آفتابگردان از نظر دماهای کاردینال دارد. این ضرایب در کمی‌سازی واکنش‌های گیاه به دما و پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی به‌ویژه به‌صورت ضرایب اختصاصی هر رقم بسیار ارزشمند هستند و مدل‌های مبتنی بر این ضرایب، به‌عنوان پیش‌نیاز برای کمی‌سازی زمان تا جوانه‌زنی و به تبع آن سبز شدن حایز اهمیت هستند.

منابع

1. 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. J. Plant Prod. 17(2): 39-54. (In Persian with English abstract).
2. Akram-Ghadery, F. 2008. The study of seed quality development, germination, longevity and deterioration in some medicinal plants: medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo. Convar. var. styriaca*), cumin blank (*Nigella sativa L.*) and borago (*Borago officinalis L.*). Ph.D. Thesis, Gorgan. Univer. Agric. Sci. Natur. Resour. 180p. (In Persian with English abstract)
3. Alvarado, V., and Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Plant Cell Environ. 25: 1061-1069.
4. Bewley, J.D. 1997. Seed germination and dormancy. Plant Cell. 9: 1055-1066.
5. Bewley, J.D., and Black, M. 1994. Seeds, Physiology of Development and Germination, New York, Plenum Press, 2 ed., 1994, 445p.
6. Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Sci. 50: 248-260.
7. Copeland, L.O., and McDonald, M.B. 2001. Principles of Seed Science and Technology. 4th ed. Kluwer Press, New York. 409p.
8. Covell, S., Ellis, R., Roberts, E., and Summerfield, R. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. J. Exp. Bot. 37: 705-715.
9. Derakhshan, A., Gherekhloo, J., Vidal, Ribas, A., and De Prado, R. 2014. quantitative description of the germination of littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in Response to Temperature. Weed Sci. 62: 250-257.

10. Ellis, R.H., Covell, S., Roberts., E.H., and Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legume. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures, J. Exp. Bot. 37: 1503- 1515.
11. Eshraghi-Nejad, M., Kamkar, B., and Soltani, A. 2010. Determination of emergence response to temperature for use in simulation of days to emergence in millet (*Panicum miliaceum*). The First International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling. Kerman, Iran. (In Persian with English abstract).
12. FAO Statistics. 2011. Available <http://www.fao.org/statistics/en/>
13. Hardegee, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. Ann. Bot. 97: 1115–1125.
14. Hardegee, S.P., and Winstral, A.H. 2006. Predicting Germination Response to Temperature. II. Threedimensional Regression, Statistical Gridding and Iterative-probit Optimization Using Measured and Interpolated-subpopulation Data. Ann. Bot. 98: 403–410.
15. Kamaha, C., and Magure, Y.D. 1992. Effect of temperature on germination of six winter wheat cultivars. Seed Sci. Technol. 20: 181-185.
16. Kamkar, B. 2011. GS_2011. A pocket software to calculate germination and emergence indices. GUASNR.
17. Kamkar, B., Ahmadi, M., Soltani, A., and Zeinali, E. 2008. Evaluating non-linear regression models to describe response of wheat emergence rate to temperature. Seed Sci. Technol. 2: 53-57.
18. Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A., and Villalobos, Francisco, J. 2012. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds germinate using non-linear regression models. Indust Crops. Product. 35: 192-198.
19. Kebreab, E., and Murdoch, A.J. 2000. The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanches aegyptiaca* seeds. Seed Sci. Res. 10: 127-133.
20. Khalili, N. 2013. Predicting barley (*Hordeum vulgare* L.) emergence as affected by temperature, moisture and sowing depth. M.Sc. Thesis, Gorgan. Univ. Agric. Sci. Natur. Resour. 60p. (In Persian with English abstract)
21. Latifi, N., Soltani, A., and Spanner, D. 2004. Effect of Temperature on Germination Components in Canola Cultivars. Iranian, J. Agric. Sci. 35: 2. 313-321. (In Persian with English abstract).
22. Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Clark, J.A., Bradley, R.G., and Chatha, M.R. 1994. Effects of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annus* L.). Seed Sci. Technol. 22: 565-571.

23. Oliver, F.C., and Annandale, J.G. 1998. Thermal time requirements for the development of greenpea (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Res.* 56: 301-307.
24. Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W., and Grimm, S.S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Sci.* 36: 1606-1614.
25. Seefeldt, S.S., Kidwell, K.K., and Waller, J.E. 2002. Base growth temperature, germination rate and growth response of contemporary spring wheat cultivars from the USA Pacific North West. *Field Crops Res.* 75: 47-52.
26. Shafii, B., and Price, W.J. 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *J. Agric. Bio. Environ. Stat.* 6: 356-366.
27. Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., and Latifi, N. 2001. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Technol.* 30: 51-60.
28. Soltani, A., Robertson, M., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agri. Meteorol.* 138: 156-167.
29. Tan, D.K.Y., Wearing, A.H., Rickert, K.G., and Birch, C.J. 1997. A systems approach to developing a model that predicts crop ontogeny and maturity in broccoli in south-east Queensland. in: Wollin, A.S., Rickert, K.G. (eds.), third Australia and New Zealand systems conference proceedings linking people, nature, business and technology. The University of Queensland, Gatton, Pp: 179-187.
30. Thygeson, T., Harris, J.M., Smith, B.N., Hansen, L.D., Pendleton, R.L., and Booth, D.T. 2002. Metabolic response to temperature for six populations of winterfat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta.* 394: 211-217.
31. Wade, L.J., Hammer, G., and Davey, M.A. 1993. Response of germination to temperature amongst diverse sorghum hybrids. *Field Crops. Res.* 31: 295-305.
32. Windauer, L., Altuna, A., and Benech-Arnold, R. 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Indust Crops. Product.* 25: 70-74.
33. Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S., and Sadati, S.J. 2001. Cardinal temperatures, response to temperature and range of thermal tolerance for seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *J. Plant Prod.* 3(3): 23-42. (In Persian with English abstract).
34. Yin, X., Kropff, M.J., McLaren, G., and Visperas, R.M. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agric Forest Meteorol.* 77: 1-16.