



دانشگاه گورگان، منابع طبیعی گورگان

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد شانزدهم، شماره چهارم، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی در کمی‌سازی جوانه‌زنی کدو تخم‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. Convar. *Pepo* var. *styriaca* Greb) بر اگو (*Borago officinalis* L.) و سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) به دما

*فرشید قادری^۱، افشین سلطانی^۲ و حمیدرضا صادقی‌پور^۳

^۱ استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی گرگان، ^۳ دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه گلستان

تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۲ تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۲

چکیده

انتخاب مدل مناسب برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما در تعیین دقیق دماهای کاردینال بسیار پراهمیت است. پژوهش حاضر به منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای توصیف سرعت جوانه‌زنی کدو تخم‌کاغذی، براگو و سیاه‌دانه نسبت به دما صورت گرفت. برای توصیف جوانه‌زنی در مقابل دما از مدل‌های دندان‌مانند، دو تکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم و برای انتخاب مدل برتر از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، ضریب همبستگی و ضرایب رگرسیون ساده خطی بین ساعت تا جوانه‌زنی مشاهده شده و ساعت تا جوانه‌زنی پیش‌بینی شده استفاده شد. بر این اساس، در کدو تخم‌کاغذی و سیاه‌دانه مدل‌های بتا و دندان‌مانند نسبت به مدل‌های دیگر واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما را بهتر توصیف کردند. در براگو مدل‌های دندان‌مانند، بتا و منحنی توصیف مناسبی از سرعت جوانه‌زنی این گیاه داشتند. با توجه به این نتایج می‌توان برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی این گیاهان از مدل‌های پیشنهادی استفاده کرد

* مسئول مکاتبه: akranghaderi@yahoo.com

و از این مدل‌ها و پارامترهای آن (دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف) در تهیه مدل‌های پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی و سبز شدن استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، مدل‌های رگرسیونی غیرخطی، دما، جوانه‌زنی

مقدمه

در حال حاضر کشت گیاهان دارویی شاخه مهمی از کشاورزی و منبع اصلی استخراج و تولید مواد اولیه برای ساخت داروهای موجود به‌شمار می‌رود. به همین دلیل در عموم کشورهای پیشرفته مراکز تحقیقاتی خاص گیاهان دارویی تأسیس شده است که این مراکز تحقیقاتی، هر روز مواد مؤثره متعددی را در گیاهان به همراه تأثیر مطلوب آن‌ها شناسایی و معرفی می‌کنند. کدو تخم‌کاغذی، سیاه‌دانه و براگو سه تا از مهم‌ترین گیاهان دارویی یک‌ساله می‌باشند که بذرهای آن‌ها حاوی مواد مؤثره دارویی می‌باشد. از مواد مؤثره این گیاهان در درمان تورم پرستات، کنترل بیماری‌های قلبی، دیابت و ضدتومور استفاده می‌شود (آروئی و امیدبیگی، ۲۰۰۴؛ هارروبین، ۱۹۹۷؛ باری، ۲۰۰۱؛ ریاض و همکاران، ۱۹۹۶؛ سیدی کو و شارما، ۱۹۹۶).

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه از عوامل تعیین‌کننده عملکرد و زمان رسیدگی در گیاهان بهاره می‌باشند (بریگ و آیتینفیسو، ۱۹۷۹). تأخیر و استقرار نامناسب گیاهچه از مشکلات مدیریتی مهم در نواحی می‌باشند که گیاهان با تنش‌های خشکی، شوری و دمای پایین مواجه می‌شوند (لیوینگستون و دی‌جونگ، ۱۹۹۰). از این‌رو هر عاملی که از طریق کاهش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی منجر به استقرار نامناسب و تراکم پایین گیاهچه شود، منجر به کاهش عملکرد می‌گردد. اثرات شرایط نامطلوب در طول دوره جوانه‌زنی و مراحل اولیه رشد گیاه نسبت به سایر مراحل رشد مهم‌تر می‌باشد. بنابراین جوانه‌زنی خوب و مناسب در محدوده وسیعی از شرایط محیطی برای استقرار گیاهچه ضروری است (برار و همکاران، ۱۹۹۱؛ جاکوپسن و باخ، ۱۹۹۸).

دما یکی از عواملی است که از طریق تنظیم کمون بر ظرفیت جوانه‌زنی و همچنین بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای بدون کمون تأثیر می‌گذارد (گارسیا-هیدوبرو و همکاران، ۱۹۸۲؛ کبراب و ماردوچ، ۱۹۹۹). حداکثر درصد جوانه‌زنی در گیاهان در دامنه‌ای از دماها رخ می‌دهد و در پایین‌تر و بالاتر از

این دامنه دمایی درصد جوانه‌زنی به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد (کبراب و ماردوخ، ۱۹۹۹). در سال ۱۸۶۰ مشخص شد که گیاهان دارای سه دمای کاردینال شامل دمای پایه یا حداقل، دمای مطلوب و دمای حداکثر یا سقف برای جوانه‌زنی می‌باشند. دمای پایه و حداکثر دمایی است 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 بیافتد، یعنی سرعت جوانه‌زنی در حداکثر است (آلوردو و برادفورد، ۲۰۰۲).

از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی در طیف وسیعی از شرایط محیطی استفاده می‌شود (جیم و کاتفورث، ۲۰۰۴). بررسی واکنش جوانه‌زنی و سبزشدن بذرها نسبت به دما و شناخت دماهای کاردینال در جهت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبزشدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، گزینش گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، مفید است (وال و همکاران، ۱۹۹۴؛ رامین، ۱۹۹۷).

از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی و سبزشدن بذرهای گیاهان در مقابل دما استفاده شده است (وال و همکاران، ۱۹۹۴؛ الیس و همکاران، ۱۹۸۶؛ جیم و کاتفورث، ۲۰۰۴؛ هاردیگری، ۲۰۰۶). وال و همکاران (۱۹۹۴) در آفتابگردان؛ رامین (۱۹۹۷) در تره ایرانی، الیس و همکاران (۱۹۸۶) در نخود؛ قادری فر و همکاران (۲۰۰۱) در شبدر زیرزمینی از مدل‌های دوتکه‌ای استفاده کردند. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) از مدل دندان‌مانند و بتا برای کمی‌سازی واکنش سبزشدن نخود نسبت به دما استفاده کردند. همچنین از توابع بتا، درجه دوم و تابع منحنی نیز برای کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما استفاده شده است (جیم و کاتفورث، ۲۰۰۴؛ موسجیدیس و ژانگ، ۱۹۹۵؛ یوسفی‌داز و همکاران، ۲۰۰۶؛ یان و هانت، ۱۹۹۹). این محققان با استفاده از این مدل‌ها، دماهای کاردینال جوانه‌زنی و سبزشدن گیاهان مورد نظر را برآورد کردند. بنابراین انتخاب مدل مناسب برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی نسبت به دما در تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی دارای اهمیت است. این پژوهش به‌منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای توصیف سرعت جوانه‌زنی کدو تخم‌کاغذی، براگو و سیاه‌دانه نسبت به دما و برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا گردید. تیمار آزمایشی شامل نه تیمار دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) برای کدو تخم‌کاغذی و ۸ تیمار دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) برای برآگو و سیاهدانه با ۴ تکرار برای هر گیاه بود. تیمارهای دمایی توسط انکوباتور با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تأمین گردید. ۵۰ عدد بذر از هر گیاه انتخاب و بعد از ضدعفونی 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 دمای مورد نظر قرار داده شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده در شبانه‌روز صورت گرفت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود. بذرهای جوانه‌زده بعد از شمارش از محیط حذف شدند. در طول آزمایش در صورت نیاز به پتری‌دیش‌ها آب مقطر اضافه شد.

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. همچنین، معکوس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($1/D_{50}$) به‌عنوان سرعت جوانه‌زنی در نظر گرفته شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۲). درصد جوانه‌زنی نیز با تقسیم بذرهای جوانه‌زده به کل بذرهای مورد استفاده به‌دست آمد.

برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال و نیز تعداد ساعت بیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی (تعداد ساعت مورد نیاز برای جوانه‌زنی تحت شرایط دمایی مطلوب یا به‌عبارت دیگر حداقل تعداد ساعت از کاشت تا جوانه‌زنی) از مدل ۱ استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶):

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

که در آن $1/e$ سرعت جوانه‌زنی، $f(T)$ تابع دما و e_0 تعداد ساعت بیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی می‌باشد. در این مطالعه از ۶ تابع دمایی برای توصیف تغییرات سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما استفاده شد، که عبارتند بودند از:

۱- تابع دندانمانند^۱ با علامت اختصاری (D) که معادله آن به صورت زیر است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶):
(۲)

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

۲- تابع دوتکه‌ای^۲ با علامت اختصاری (S) که معادله آن به صورت زیر است (اموال و همکاران، ۱۹۹۴):
(۳)

$$f(T) = \begin{cases} \frac{(T-T_b)}{(T_o-T_b)} & \text{اگر } T_b < T \leq T_o \\ \left[1 - \left(\frac{T-T_o}{T_c-T_o} \right) \right] & \text{اگر } T_o \leq T < T_c \\ = 0 & \text{اگر } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases}$$

۳- تابع بتا^۳ با علامت اختصاری (B) که معادله آن به صورت زیر است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶):

$$f(T) = \left[\left(\frac{T-T_b}{T_o-T_b} \times \frac{T_c-T}{T_c-T_b} \right)^{\left(\frac{T_c-T_o}{T_o-T_b} \right)^a} \right] \quad (۴)$$

۴- تابع منحنی^۴ با علامت اختصاری (V) که معادله آن به صورت زیر است (یوسفی‌داز و همکاران، ۲۰۰۵):

$$f(T) = \left[\left[\left(\frac{T_c-T_o}{T_o-T_b} \right) \times (T-T_b) \times (T_c-T) \right] \times \left(\frac{T_c-T_o}{T_o-T_b} \right) \right] \quad (۵)$$

1. Dent-Like
2. Segmented
3. Beta
4. Curvilinear

۵- تابع درجه دوم^۱ با علامت اختصاری (Q) که معادله آن به صورت زیر است (موسجیدیس و همکاران، ۱۹۹۵):

$$f(T) = \left[(T - T_b) \times (T_c - T) \times \left(\frac{T_c - T_b}{2} \right)^{-2} \right] \quad (6)$$

در این توابع T_b دمای پایه، T_{01} دمای مطلوب تحتانی، T_{02} دمای مطلوب فوقانی، T_0 دمای مطلوب، T_c دمای سقف و a ضریب ثابت و T متوسط دمای روزانه (دمای آزمایش) می‌باشد.

۶- تابع درجه سوم بدون عرض از مبدأ با علامت اختصاری (C) که معادله آن به صورت زیر است (یوسفی‌داز و همکاران، ۲۰۰۵):

$$f(T) = bT + cT^2 + dT^3 \quad (7)$$

که در این تابع T متوسط دمای روزانه (دمای آزمایش) و b ، c و d ضرایب ثابت رگرسیون هستند. تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک رویه *PROCNLIN* در نرم‌افزار *SAS* صورت گرفت (سلطانی، ۲۰۰۷). 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 مدل براساس SE^2 (خطای معیار) کمتر پارامترها و $RMSD^2$ (جذر میانگین مربعات انحرافات) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شد. همچنین برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از $RMSD$ (جذر میانگین مربعات انحرافات)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب همبستگی (r) و ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) بین ساعت تا سبزشدن مشاهده شده و ساعت تا سبزشدن پیش‌بینی شده استفاده شد. مقایسه پارامترهای برآورد شده دماهای کاردینال بین مدل‌ها بر مبنای حدود اطمینان ۹۵ درصد آن‌ها انجام گرفت.

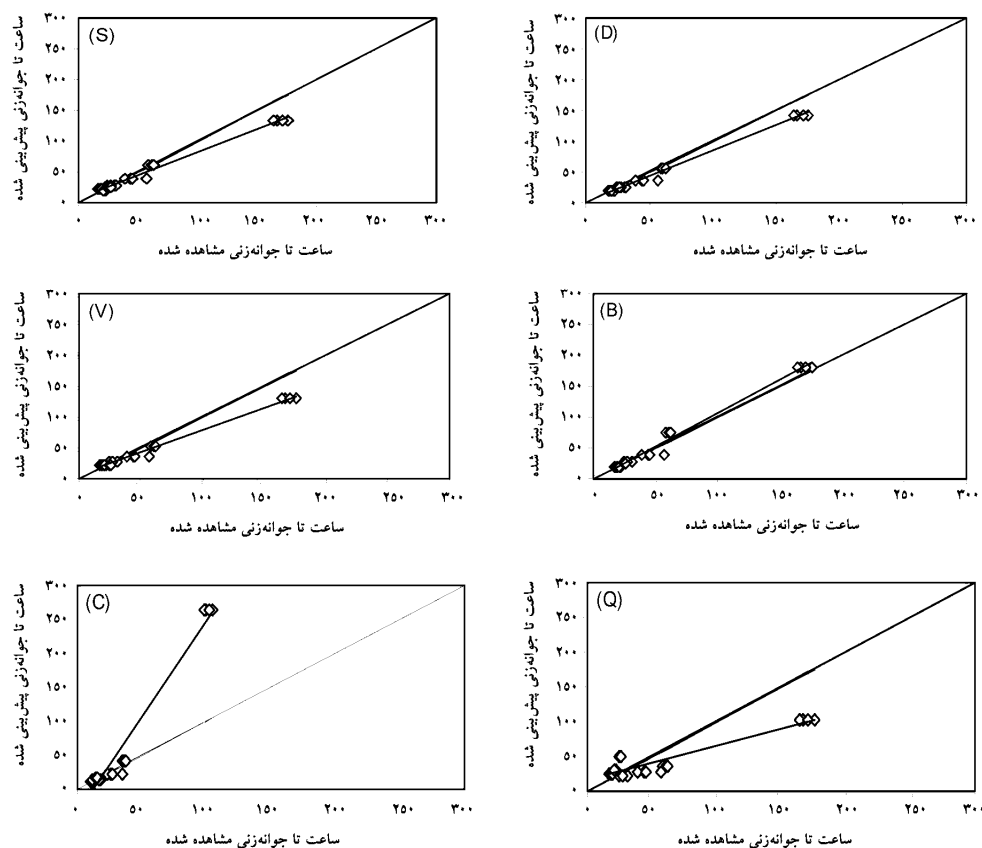
1. Quadratic
2. Standard Error
3. Root Mean Squar Error

فرشید قادری فر و همکاران

جدول ۱- جذر میانگین مربعات اشتباه (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت جوانه‌زنی با دما در کدو تخم کاغذی، براگو و سیاه‌دانه. ضرایب رگرسیون (a و b) مربوط به مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده نیز آورده شده‌اند.

| b±SE | a±SE | R^2 | CV | RMSE | مدل | گیاه |
|---------------|--------------|-------|-------|-------|-------------|------|
| کدو تخم کاغذی | | | | | | |
| ۰/۷۵*±۰/۰۱۶ | ۶/۸۹*±۱/۱۹ | ۰/۹۵ | ۱۰/۵۱ | ۴/۳۱ | دو تکه‌ای | |
| ۰/۸۲*±۰/۰۱۵ | ۲/۷۵*±۱/۰۷ | ۰/۹۹ | ۹/۵۳ | ۳/۸۹ | دندان‌مانند | |
| ۱/۰۸*±۰/۰۲۴ | ۱/۸۹±۱/۷۴ | ۰/۹۷ | ۱۵/۴۶ | ۶/۳۱ | بتا | |
| ۰/۷۲*±۰/۰۱۴ | ۶/۴۶*±۰/۹۹ | ۰/۹۳ | ۸/۸۲ | ۳/۶۰ | منحنی | |
| ۰/۴۹*±۰/۰۴۲ | ۱۶/۳۷*±۳/۰۵ | ۰/۵۹ | ۲۷/۱۰ | ۱۱/۰۶ | درجه دوم | |
| ۲/۸۱*±۰/۱۱ | -۵۷/۴۰*±۸/۱۴ | ۰/۹۷ | ۷۲ | ۲۹/۵۱ | درجه سوم | |
| برآگو | | | | | | |
| ۱/۳۹*±۰/۰۶۹ | -۲۱/۶۱*±۵/۴۶ | ۰/۹۶ | ۱۳/۷۱ | ۱۰/۹۷ | دو تکه‌ای | |
| ۱/۲۴*±۰/۰۶۴ | -۱۴/۵۹*±۵/۰۸ | ۰/۹۴ | ۱۲/۸۶ | ۱۰/۲۱ | دندان‌مانند | |
| ۰/۹۸±۰/۰۶۹ | -۱/۲۴±۵/۵۲ | ۰/۸۶ | ۱۳/۸۶ | ۱۱/۰۹ | بتا | |
| ۰/۹۳±۰/۰۷۱ | ۰/۷۷±۵/۶۵ | ۰/۸۷ | ۱۴/۱۷ | ۱۱/۳۴ | منحنی | |
| ۰/۷۳*±۰/۰۶۷ | ۱۴/۰۶*±۵/۳۴ | ۰/۷۷ | ۱۳/۴ | ۱۳/۴ | درجه دوم | |
| ۱/۴۹*±۰/۱۱ | -۲۹/۵۹*±۸/۹۴ | ۰/۹۷ | ۲۲/۴۶ | ۱۷/۹۷ | درجه سوم | |
| سیاه‌دانه | | | | | | |
| ۱/۵۰*±۰/۰۵۳ | -۲۵/۸۴*±۴/۲۰ | ۰/۹۷ | ۸/۸۳ | ۷/۶۲ | دو تکه‌ای | |
| ۱/۲۱*±۰/۰۴۴ | -۱۱/۵۹*±۳/۴۵ | ۰/۹۸ | ۷/۲۷ | ۶/۲۵ | دندان‌مانند | |
| ۱/۰۹±۰/۰۴۱ | -۵/۳۷±۳/۲۵ | ۰/۹۸ | ۶/۸۵ | ۵/۹۱ | بتا | |
| ۱/۱۸*±۰/۰۴۸ | ۱۱/۰۹*±۳/۸۲ | ۰/۹۸ | ۸/۰۷ | ۶/۹۴ | منحنی | |
| ۰/۶۰*±۰/۰۷۸ | ۲۵/۳۵*±۶/۱۶ | ۰/۷۹ | ۱۲/۹۸ | ۱۱/۱۹ | درجه دوم | |
| ۱/۵۱*±۰/۰۸۹ | -۲۷/۶۲*±۶/۹۸ | ۰/۹۸ | ۱۴/۷۳ | ۱۲/۶۷ | درجه سوم | |

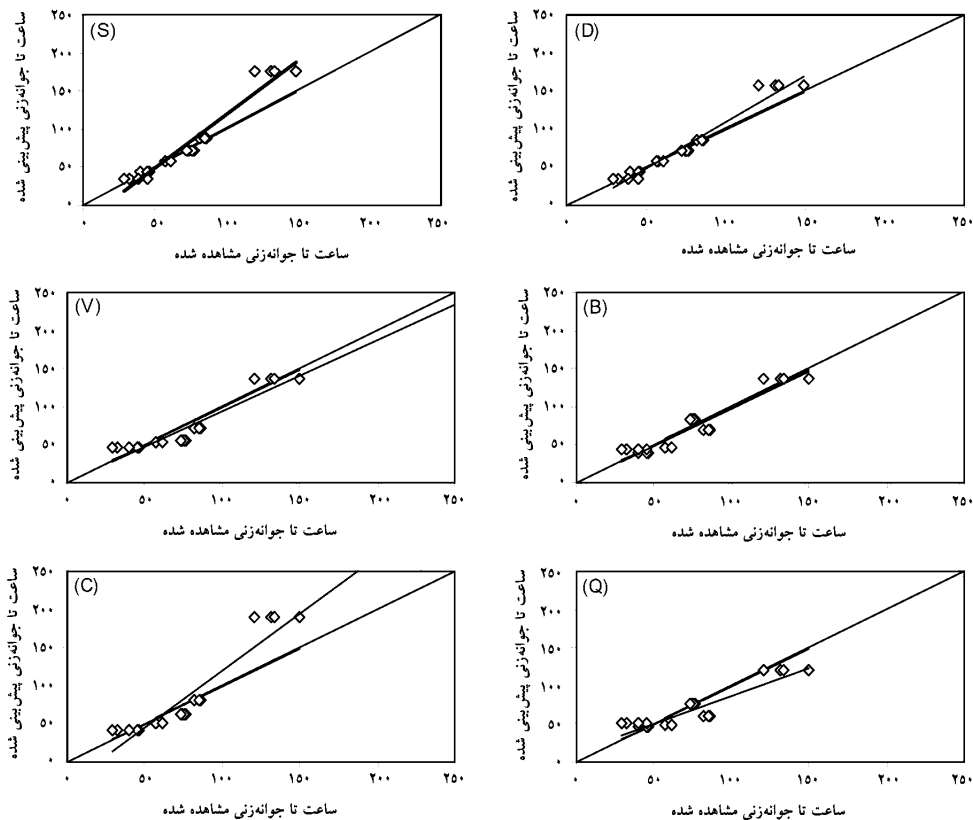
برای ضریب a نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با صفر و برای b نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار با ۱ است.



شکل ۱- مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده با مدل‌های مختلف در کدو تخم‌کاغذی. مدل‌ها عبارتند از دندان‌مانند (D)، دوتکه‌ای (S)، بتا (B)، منحنی (V)، درجه دوم (Q) و درجه سوم (C).

برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، درجه دوم، درجه سوم و منحنی استفاده شد. معیارهای مورد نظر برای مقایسه مدل‌های مختلف به‌منظور انتخاب مدل برتر برای توصیف سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما شامل مجذور میانگین مربع انحرافات (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، ضرایب رگرسیون (a و b) و رابطه مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی بود که مقادیر این پارامترها برای کدو تخم‌کاغذی، سیاه‌دانه و براگو در جدول (۱) آورده شده است. همچنین در شکل‌های ۱ تا ۳ کارایی برازش مدل‌های مختلف به‌صورت خط ۱:۱ برای کدو

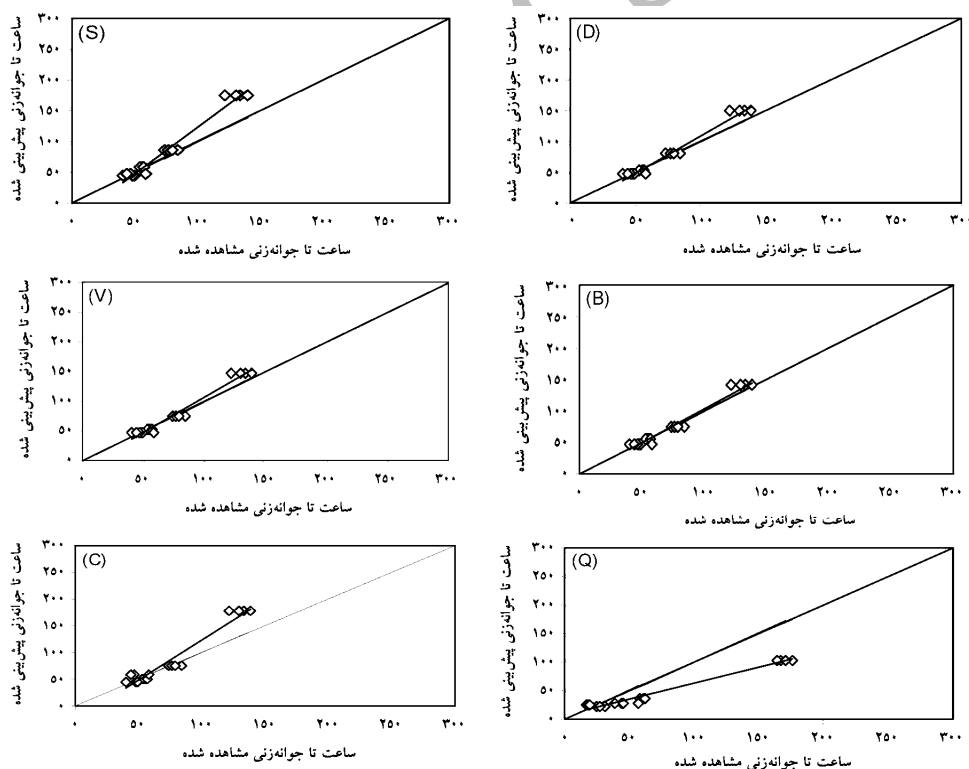
تخم کاغذی، سیاه‌دانه و براگو ارایه شده است که هرچه پراکنش نقاط در اطراف خط ۱:۱ کمتر باشد نشانه کارایی بالاتر مدل می‌باشد. با توجه به این معیارها، به‌منظور توصیف سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل برتر برای هر گیاه تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی استفاده شد.



شکل ۲- مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده با مدل‌های مختلف در براگو. مدل‌ها عبارتند از دندان‌مانند (D)، دوتکه‌ای (S)، بتا (B)، منحنی (V)، درجه دوم (Q) و درجه سوم (C).

در کدو تخم کاغذی ضرایب a و b در مدل دندان‌مانند، دوتکه‌ای، منحنی، درجه دوم و درجه سوم معنی‌دار بود و در نتیجه این مدل‌ها کنار گذاشته شدند. ضرایب a و b نشان‌دهنده مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و مقدار اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ می‌باشد. معنی‌دار بودن ضرایب a

بدین معنی است که عرض از مبدأ خط رگرسیون با عرض مبدأ خط ۱:۱ مطابقت ندارد و معنی‌دار بودن ضریب b بدین معنی است که شیب خط رگرسیون با شیب خط ۱:۱ مطابقت ندارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب می‌باشد (یوسفی‌داز و همکاران، ۲۰۰۶). در مجموع مدل بتا نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بیشتری برخوردار بود. بنابراین مدل بتا به عنوان مدل برتر برای پیش‌بینی جوانه‌زنی کدو تخم‌کاغذی استفاده شد. البته مدل دندان‌مانند نیز توصیف مناسبی از جوانه‌زنی کدو نسبت به دما ارائه داد. به همین دلیل مقادیر پارامترهای این مدل‌ها ارائه شده تا در صورت لزوم و بسته به موقعیت و سلیقه استفاده‌کنندگان از هر کدام بتوان استفاده کرد، زیرا در این مدل با این‌که ضرایب a و b معنی‌دار شده بود، اما پراکنش نقاط در اطراف خط ۱:۱ در این مدل نسبت به مدل‌های دیگر کمتر است و علاوه بر آن این مدل نسبت به مدل بتا پارامترهای کمتری دارد و استفاده از آن راحت‌تر است.



شکل ۳- مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده با مدل‌های مختلف در سیاه‌دانه. مدل‌ها عبارتند از دندان‌مانند (D)، دو تکه‌ای (S)، بتا (B)، منحنی (V)، درجه دوم (Q) و درجه سوم (C).

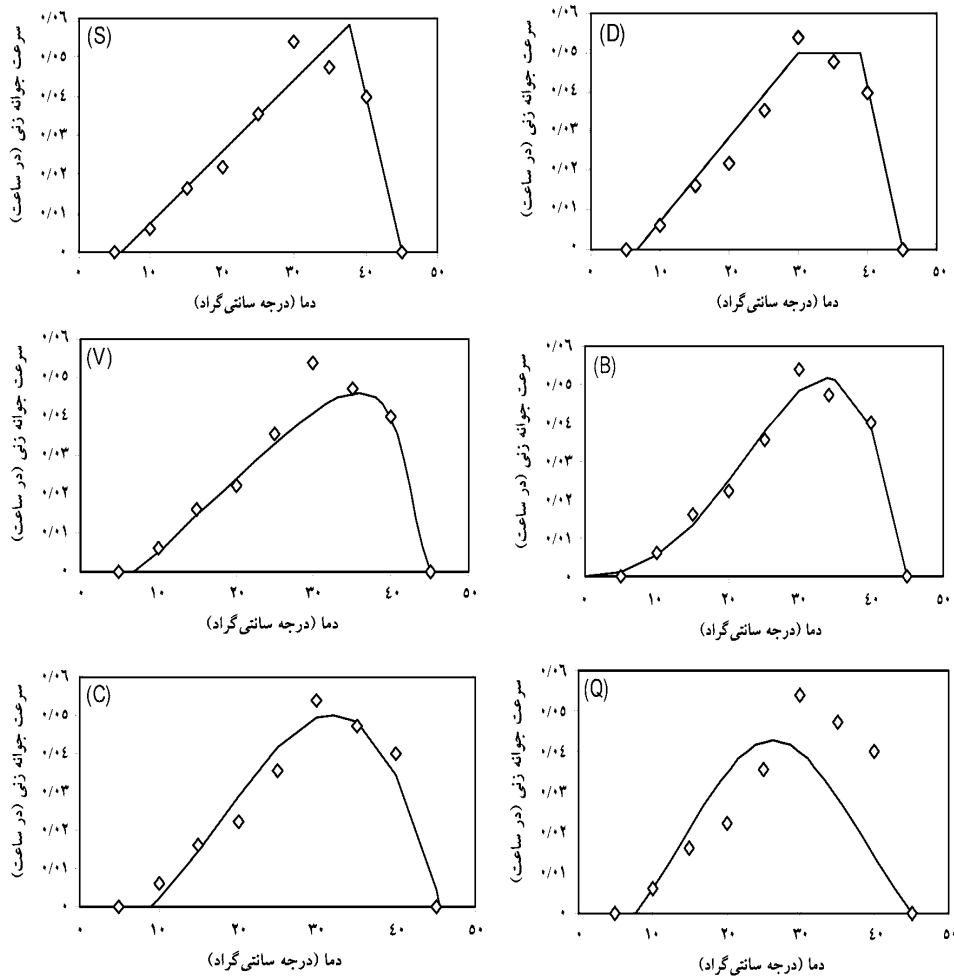
در جدول (۱) پارامترهای CV ، $RMSE$ ، R^2 ، ضرایب a و b و در شکل‌های (۲ و ۳) رابطه مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای براگو و سیاه‌دانه ارایه شده است. در براگو پارامترهای CV و $RMSE$ در مدل‌های درجه دوم و سوم بیشتر از مدل‌های دیگر و همچنین ضرایب a و b معنی‌دار شده است که بیانگر دقت کمتر این مدل‌ها در پیش‌بینی جوانه‌زنی بذره‌های این گیاه می‌باشد. همچنین در این گیاه در مدل‌های دوتکه‌ای و منحنی پراکنندگی نقاط در اطراف خط ۱:۱ بیشتر از مدل‌های دندان‌مانند و بتا بود. بنابراین این مدل‌ها کنار گذاشته شد. بنابراین مدل‌های بتا و دندان‌مانند برای پیش‌بینی جوانه‌زنی این گیاه همانند کدو تخم‌کاغذی استفاده شد. در سیاه‌دانه نیز مدل‌های درجه دوم، دوتکه‌ای و درجه سوم ضرایب a و b معنی‌دار و همچنین پراکنندگی نقاط در اطراف خط ۱:۱ زیاد و دارای اریب می‌باشد. بنابراین مدل‌های درجه دوم، دوتکه‌ای و درجه سوم در این گیاه برآزش مناسبی ندارند و کنار گذاشته شدند. بنابراین مدل‌های دندان‌مانند، بتا و منحنی در گیاه سیاه‌دانه به‌عنوان مدل‌های برتر پیشنهاد می‌شود و از این مدل‌ها می‌توان در پیش‌بینی جوانه‌زنی استفاده کرد.

از مدل‌های رگرسیون غیرخطی در پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبزشدن گیاهان زراعی استفاده شده است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ جیم و کاتفورث، ۲۰۰۴؛ نیلور، ۲۰۰۷). سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) از مدل‌های بتا، دوتکه‌ای و دندان‌مانند برای مدل‌سازی سبزشدن گیاه نخود در دماها و عمق‌های مختلف استفاده کردند و مدل دندان‌مانند را به‌عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سبزشدن این گیاه در دماها و عمق‌های مختلف معرفی کردند. جیم و کاتفورث (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای اثرات دما و عمق کاشت را بر جوانه‌زنی و سبزشدن گندم بهاره بررسی کردند. نام‌بردگان برای کمی‌سازی جوانه‌زنی و سبزشدن گندم بهاره از مدل بتا استفاده کردند.

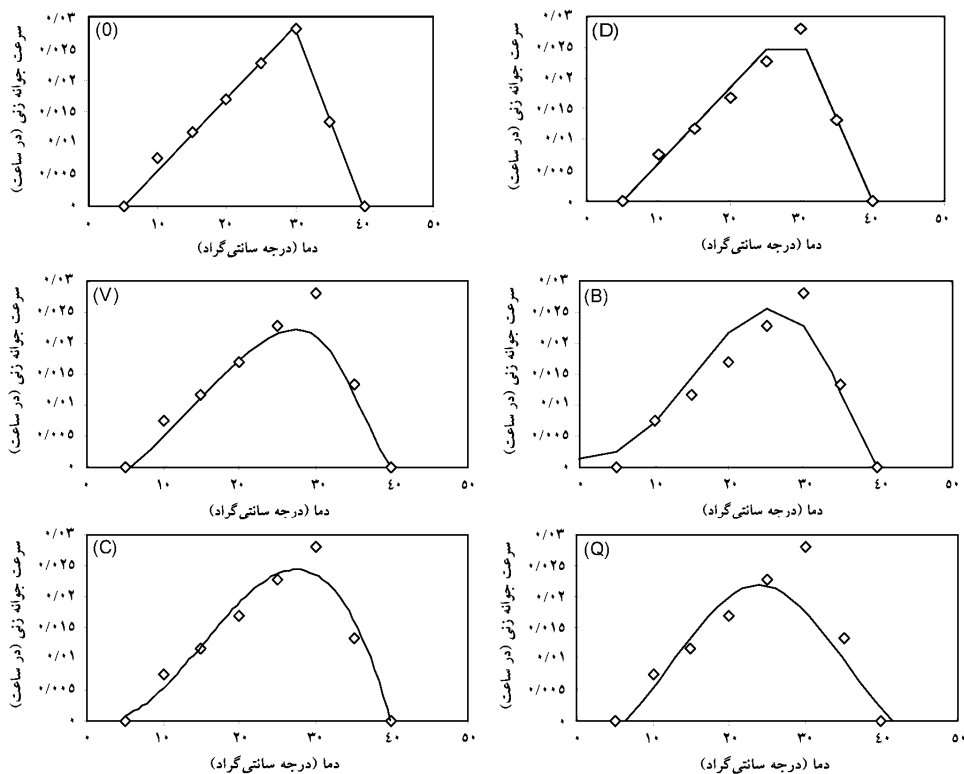
مجله پژوهش‌های تولید گیاهی (۱۶)، شماره (۴) ۱۳۸۸

جدول ۲- برآورد ضریب ثابت a (برای مدل بتا)، دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای سقف (T_c) و تعداد ساعت بیولوژیک (e_o) برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد جمعیت در کدو تخم کاغذی، براگو و سیاه‌دانه.

| گیاه | مدل | a | T_b | T_o | T_c | e_o |
|------------------|----------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| کدو تخم کاغذی | دوتکه‌ای | - | ۵/۹۳±۰/۸۵ | ۳۷/۶۶±۰/۴۲ | ۴۵±۰/۳۰ | ۱۷/۱۲±۰/۴۸ |
| | بتا | ۳/۲۷±۱/۱۸ | -۳/۲۵±۷/۵۴ | ۳۳/۸۰±۰/۳۸ | ۴۵±۰/۵۳ | ۱۹/۳۴±۰/۵۳ |
| | منحنی | - | ۶/۷۹±۰/۷۸ | ۳۵/۹۱±۱/۲۱ | ۴۵±۰/۰۰۰۰ | ۲۱/۶۹±۰/۷۴ |
| | درجه دوم | - | ۷/۷۶±۰/۸۷ | ۲۶/۸۳ | ۴۵±۰ | ۲۳/۳۸±۱/۷۳ |
| | درجه سوم | - | ۸/۹ | ۳۲ | ۴۵/۶ | ۱۹/۹۲ |
| براگو | دوتکه‌ای | - | ۵±۰/۶۹ | ۲۹/۸۵±۰/۳۶ | ۴۰±۰/۳۲ | ۳۵/۳۰±۰/۹۹ |
| | بتا | ۳/۶۲±۲/۲۹ | -۶/۳۱±۲۵/۷۹ | ۲۵/۷۹±۱/۲۴ | ۴۰±۸/۹۸ | ۳۸/۹۵±۲/۲۹ |
| | منحنی | - | ۵/۶۸±۰/۸۱ | ۲۷/۵۰±۱/۱۴ | ۴۰±۰/۰۰۰۰ | ۴۴/۸۳±۱/۹۶ |
| | درجه دوم | - | ۶/۲۸±۰/۷۰ | ۲۳/۹۱ | ۴۱/۵۴±۰/۹۴ | ۴۵/۵۱±۲/۶۴ |
| | درجه سوم | - | ۵/۱ | ۲۷ | ۳۹/۴ | ۴۲/۷۱ |
| سیاه‌دانه | دوتکه‌ای | - | ۵±۰/۵۶ | ۲۸/۵۸±۰/۲۵ | ۳۵±۰/۲۰ | ۳۷/۱۰±۰/۹۳ |
| | بتا | ۱/۰۳±۰/۱۳ | ۴/۸۹±۰/۵۲ | ۲۷/۳۹±۰/۷۵ | ۳۵±۰/۰۰۰۰ | ۴۵/۹۷±۰/۹۵ |
| | منحنی | - | ۵/۶۸±۰/۳۴ | ۲۷/۱۳±۰/۵۷ | ۳۵±۰/۰۰۰۰ | ۴۵/۴۳±۰/۹۱ |
| | درجه دوم | - | ۶±۰/۶۳ | ۲۱/۴۹ | ۳۷±۰/۹۰ | ۴۹/۵۹±۲/۹۸ |
| | درجه سوم | - | ۵/۵ | ۲۴/۸ | ۳۵/۸ | ۴۲/۸۸ |



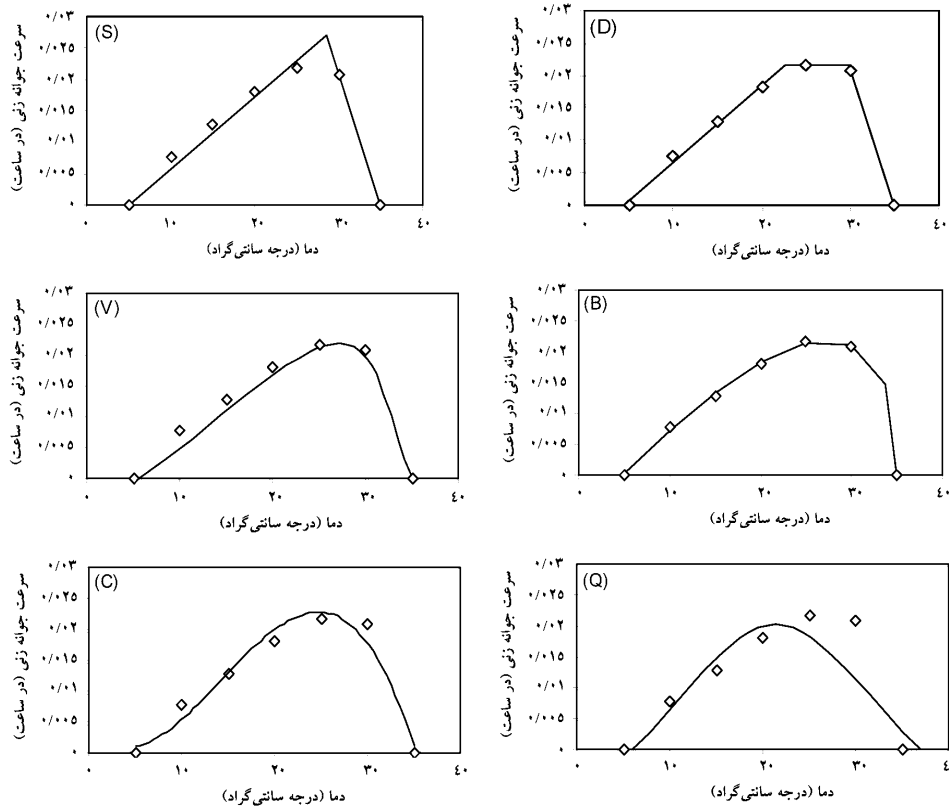
شکل ۴- رابطه سرعت جوانه‌زنی توصیف شده با استفاده از مدل‌های مختلف در کدو تخم‌کاغذی. مدل‌ها عبارتند از دندان‌مانند (D)، دوتکدای (S)، بتا (B)، منحنی (V)، درجه دوم (Q) و درجه سوم (C).



شکل ۵- رابطه سرعت جوانه‌زنی توصیف شده با استفاده از مدل‌های مختلف در براگو. مدل‌ها عبارتند از دندان‌مانند (D)، دو تکه‌ای (S)، بتا (B)، منحنی (V)، درجه دوم (Q) و درجه سوم (C).

جدول ۳- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای سقف (T_c) و تعداد ساعت بیولوژیک (e_0) برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد جمعیت با مدل دندان‌مانند در کدو تخم‌کاغذی، سیاه‌دانه و براگو.

| e_0 | T_c | T_{o2} | T_{o1} | T_b | گیاه |
|------------------|---------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|
| 20 ± 0.82 | 45 ± 0.25 | 38.99 ± 0.39 | 30.03 ± 1.9 | 6.73 ± 0.63 | کدو تخم‌کاغذی |
| 40.38 ± 1.27 | 40 ± 0.48 | 30.72 ± 1.02 | 25 ± 0.00 | 5 ± 0.78 | برراگو |
| 45.97 ± 1.43 | 35 ± 0.16 | 29.77 ± 0.24 | 22.67 ± 0.82 | 5 ± 0.50 | سیاه‌دانه |



شکل ۶- رابطه سرعت جوانه‌زنی توصیف شده با استفاده از مدل‌های مختلف در سیاه‌دانه. مدل‌ها عبارتند از دندان‌مانند (D)، دوتکه‌ای (S)، بتا (B)، منحنی (V)، درجه دوم (Q) و درجه سوم (C).

در شکل‌های ۴ تا ۶ واکنش سرعت جوانه‌زنی کدو تخم‌کاغذی، براگو و سیاه‌دانه نسبت به دما و در جدول‌های (۲) و (۳) مقادیر برآورد شده دماهای کاردینال و تعداد ساعت بیولوژیک برای کلیه مدل‌ها ارائه شده است. دمای پایه برآورد شده توسط مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم در کدو تخم‌کاغذی به ترتیب ۶/۷، ۵/۹۳، ۳/۲۵، ۶/۷۹، ۷/۷۶ و ۸/۹ درجه سانتی‌گراد بود. دمای پایه برآورد شده توسط مدل بتا (مدل برتر) کمتر از سایر مدل‌ها بود که این به ماهیت مدل بتا برمی‌گردد. دمای مطلوب برآورد شده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم در کدو تخم‌کاغذی به ترتیب ۳۷/۶۶، ۳۳/۸۰، ۳۵/۹۱ و ۲۶/۸۳ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد بود و در مدل دندان‌مانند دمای مطلوب بین

۳۰/۰۳ تا ۳۸/۹۹ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. دمای سقف برآورد شده برای کدو تخم‌کاغذی در کلیه مدل‌ها ۴۵ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین تعداد ساعت بیولوژیک جوانه‌زنی بذرهای کدو تخم‌کاغذی برای مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به‌ترتیب ۲۰، ۱۷/۱۲، ۱۹/۳۴، ۲۱/۶۱، ۲۳/۳۸ و ۱۹/۹۲ ساعت بود. دمای پایه برآورد شده توسط مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم در براگو به‌ترتیب ۵، ۵، ۶/۳۱، ۵/۶۸، ۶/۲۸ و ۵/۱ درجه سانتی‌گراد بود. دمای مطلوب برآورد شده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم در براگو به‌ترتیب ۲۵/۷۹، ۲۷/۵۰، ۲۳/۹۱ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد بود و در مدل دندان‌مانند دمای مطلوب بین ۲۵ تا ۳۰/۷۲ درجه سانتی‌گراد بود. دمای سقف برآورد شده برای براگو توسط مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به‌ترتیب ۴۰، ۴۰، ۴۰، ۴۰، ۴۱/۵۴ و ۳۹/۴ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین تعداد ساعت بیولوژیک جوانه‌زنی بذرهای براگو برای مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به‌ترتیب ۴۰/۳۸، ۳۵/۳۰، ۳۸/۹۵، ۴۴/۸۳، ۴۵/۵۱ و ۴۲/۷۱ ساعت بود. دمای پایه برآورد شده توسط مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم در سیاه‌دانه به‌ترتیب ۵، ۵، ۴/۸۹، ۵/۶۸، ۶ و ۵/۵ درجه سانتی‌گراد بود. دمای مطلوب برآورد شده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم در سیاه‌دانه به‌ترتیب ۲۸/۵۸، ۲۷/۳۹، ۲۷/۱۳، ۲۱/۴۹ و ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد و در مدل دندان‌مانند دمای مطلوب بین ۲۲/۶۷ تا ۲۹/۷۷ درجه سانتی‌گراد بود. دمای سقف بود برای سیاه‌دانه توسط مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به‌ترتیب ۳۵، ۳۵، ۳۵، ۳۷ و ۳۵/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. همچنین تعداد ساعت بیولوژیک جوانه‌زنی بذرهای سیاه‌دانه برای مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به‌ترتیب ۴۵/۹۷، ۳۷/۱۰، ۴۵/۹۵، ۴۵/۴۲، ۴۹/۵۹ و ۴۲/۸۸ ساعت بود.

نتایج این پژوهش بیانگر این مطلب است که برای پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبزشدن کدو تخم‌کاغذی، براگو و سیاه‌دانه می‌توان از مدل‌های دندان‌مانند و بتا استفاده کرد، زیرا این مدل‌ها نسبت به مدل‌های دیگر از دقت بیشتری در توصیف سرعت جوانه‌زنی این گیاهان نسبت به دما برخوردارند و به‌خوبی سرعت جوانه‌زنی این گیاهان را نسبت به دما توصیف می‌کنند. بنابراین از این مدل‌ها و پارامترهای برآورد شده از این مدل‌ها می‌توان در تهیه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی استفاده کرد.

منابع

1. Ghadri-Far, F., Galeshi, S., Sadati, S.J., and Kashiri, A. 2001. Determination of cardinal temperature in *Trifolium aubterraneum* L. Pajouhesh and Sazandegi, 53: 36-39.
2. Alvarado, V., and Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Plant Cell Environ. 25: 1061-1069.
3. Aroiee, H., and Omidbaigi, R. 2004. Effects of nitrogen fertilizer on productivity medicinal pumpkin. Acta Hort. 629: 415-419.
4. Barre, D.E. 2001. Potential of evening primrose, borago, black currant and fungal oils in human health. Ann. Nutr. Metab. 45: 2. 47-57.
5. Brar, G.S., Gomez, J.F., McMichael, B.L., Matches, A.G., and Taylor, H.M. 1991. Germination of twenty forage legumes as influenced by temperature. Agron. J. 83: 173-175.
6. Brigg, K.G., and Aytenfisu, A. 1979. The effects of seeding rate, seeding date and location on grain yield, maturity, protein percentage and protein yield of some spring wheats in central Alberta. Can. J. Plant Sci. 59: 1129-1146.
7. Ellis, R.H., Covell, S., Roberts., E.H., and Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. J. Exp. Bot. 37: 1503-1515.
8. Garcia-Huidobro, J., Monteith., J.L., and Squier, G.R. 1982. Time, temperature and germination of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides*, S & H). J. Exp. Bot. 33: 288-296.
9. Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. Ann. Bot. 97: 1115-1125.
10. Horrobin, D.F. 1997. Essential fatty acids in the management of impaired nerve function in diabetes. Diabetes. 46 (suppl.): 90-93.
11. Jacobsen, S.E., and Bach, A.P. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Seed Sci. and Technol. 26: 515-523.
12. Jame, Y.W., and Cutforth, H.W. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agric. and Forest Meteorol. 124: 207-218.
13. Kebreab, E., and Murdoch, A.J. 1999. A model of effects of a wider range of constant and alternating temperatures on seed germination of four *Orobanches* species. Ann. Bot. 84: 549-557.
14. Livingston, N.J., and de Jong, E. 1990. Matric and osmotic potential effects on seedling emergence at different temperature. Agron. J. 82: 995-998.

15. Mosjidis, J.A., and Zhang, X. 1995. Seed germination and root growth of several *Vicia* species at different temperatures. *Seed Sci. and Technol.* 23: 749-759.
16. 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. *Seed Sci. and Technol.* 22: 565-571.
17. Naylor, R.E.L. 2007. Using segmented regression to analyse the response of germination to temperature. *Seed Sci. and Technol.* 35: 539-549.
18. Ramin, A.A. 1997. The influence of temperature on germination taree irani. *Seed Sci. Technol.* 25: 419-426.
19. Riaz, M., Syed, M., and Chaudhary, F.M. 1996. Chemistry of the medicinal plants of the genus *Nigella*. *Hamdard Medicus.* 39: 2. 40-45.
20. Siddiqui, A.A., and Sharma, P.K.R. 1996. Clinical importance of *Nigella sativa* L. –a review. *Hamdard Medicus.* 39: 4. 38-42.
21. 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. and Technol.* 30: 51-60.
22. Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. *Agri. Forest. Met.* 138: 156-167.
23. Soltani, A. 2007. Application of SAS in statistical analysis. 2nd ed., JDM Press, Mashhad, Iran, 182p.
24. Yan, W., and Hunt, L.A. 1999. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperature. *Ann. Bot.* 84: 607-614.
25. 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. and Technol.* 20: 93-102.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Plant Production, Vol. 16(4), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. Convar. *Pepo* var. *styriaca* Greb), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature

***F. Ghaderi-Far¹, A. Soltani² and H.R. Sadeghipour³**

¹Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Associate Prof., Dept of Biology, Golestan University

Abstract

Selection of an appropriate model is important for quantifying response of germination rate to temperature and determination of cardinal temperatures. This study was done to evaluate different nonlinear regression models to describe response of germination rate to temperature in medicinal pumpkin, borago and black cumin. The regression models were dent-like, segmented, beta, curvilinear, quadratic and cubic. Root mean square of error, coefficient of determination, correlation coefficient and regression of predicted values versus observed ones were used to find the appropriate model(s). Dent-like and beta models were superior compared to other models in medicinal pumpkin and black cumin. In borago, dent-like, beta and curvilinear models were superior. It was concluded that these models can be used to quantify response of medicinal pumpkin, borago and black cumin germination to temperature and to obtain cardinal temperature of germination. These parameters are required to predict medicinal pumpkin, borago and black cumin germination and emergence.

Keywords: Medicinal plant, Nonlinear models, Temperature, Germination

* Corresponding Author; Email: akranghaderi@yahoo.com