مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۲، شماره ۴، ۱۳۹۰ (۸۶۸-۸۵۷)

ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای توصیف سرعت ظهور گیاهچه سه رقم کلزا نسبت به دما

ناهید جعفری[۱]، مسعود اصفهانی[۲]* و عاطفه صبوری[۳]
۱، ۲، ۳، دانشجوی سابق کارشناسی، دانشیار و استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان
(تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۳۰ - تاریخ تصویب: ۹۰/۱۰/۷)

چکیده

به منظور ارزیابی واکنش و سرعت ظهور گیاهچه‌های کلزا نسبت به دما، در این آزمایش رابطه سرعت سبز شدن سه رقم کلزا شامل ارقام بدون گلبرگ، RGS003 وSyn3 نسبت به دما، به صورت گلدانی مورد برازش رگرسیونی غیرخطی قرار گرفت. برای این منظور از شش مدل، شامل توابع دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم استفاده شد و برای انتخاب مدل برتر از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، ضریب همبستگی و ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) بین سرعت ظهور گیاهچه مشاهده شده و سرعت پیش‌بینی شده استفاده شد. نتایج نشان داد که واکنش سبز شدن رقم RGS003 به دما به وسیله تابع بتا، رقم Syn3 به وسیله تابع بتا و منحنی و در رقم بدون گلبرگ، مدل دو تکه‌ای بهتر از سایر مدل‌ها توصیف می‌گردد. برآورد دماهای کاردینال با استفاده از برترین مدل‌ها نشان داد که دمای پایه از۷/۸۹ تا ۱۰/۹۴ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه از ۲۰/۰۱ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف از ۳۶ تا ۳۷/۱۹ درجه سانتی‌گراد برای ارقام مختلف کلزای مورد ارزیابی در نوسان بود. برآورد روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای و بتا نیز نشان داد که از این نظر بین ارقام کلزا اختلاف معنی‌داری وجود داشت. با توجه به این نتایج، می‌توان برای کمّی‌سازی واکنش سرعت ظهور ارقام کلزا به دما از مدل‌های بتا و دوتکه‌ای استفاده کرد و از این مدل‌ها و پارامترهای برآورد شده از آنها (دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف) در تهیه مدل‌های پیش‌بینی زمان سبز شدن گیاهچه در مزرعه استفاده کرد، همچنین می‌توان در مدل سازی ظهور گیاهچه ارقام کلزا از دماهای کاردینال همراه با مدل مربوط به آن استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: دماهای کاردینال، ظهور گیاهچه و کلزا

مقدمه

یکی از بحرانی‌ترین مرحله زندگی هر گیاه زراعی، زمان جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه است، زیرا در این مرحله بذر در معرض شرایط نامساعد محیطی قرار گرفته و استقرار بوته در مزرعه معمولاً دچار مشکل می‌شود. در گزارش‌های متعددی که در رابطه با سرعت جوانه‌زنی و دما بوده‌اند، تأکید شده است که دماهای کاردینال برای جوانه‌زنی به گونه گیاهی بستگی دارد و در درون گونه‌ها نیز بین ژنوتیپ‌های مختلف، تفاوت‌هایی وجود دارد (Jalilian et al., 2004). در اوایل فصل رشد که گیاه هنوز سبز نشده و همچنین زمانی که پوشش زمین توسط گیاه کامل نشده است، بخش زیادی

* نویسنده مسئول: مسعود اصفهانی تلفن: ۰۹۱۱-۱۳۲۱۳۸۶ E-mail: mesfahan@yahoo.com

از تابش خورشیدی در اثر برخورد با زمین عاری از پوشش گیاهی تلف می‌شود، بنابراین پوشیده شدن سریع سطح زمین با گیاه می‌تواند به بهبود بهره‌برداری از تابش خورشیدی و افزایش عملکرد گیاه منتهی شود. در همین رابطه از اواسط دهه ۱۹۹۰، مفهومی بنام بنیه اولیه (رشد سریع گیاهچه =Early vigor) مطرح شده است. این صفت به ویژه در مناطقی که دارای فصل رشد کوتاه هستند و یا کشت دو محصول در سال رایج است، دارای اهمیت زیادی است. بنیه اولیه دارای سه مؤلفه می‌باشد که عبارتند از: جوانه زدن، سبز شدن و رشد گیاهچه. افزایش در هر یک از این مؤلفه‌ها می‌تواند به افزایش بنیه اولیه کمک کند (Latifi et al., 2003)، بنابراین بررسی دقیق‌تر هر یک از این مراحل می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در افزایش رشد و بنیه اولیه گیاهچه داشته باشد. بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه نسبت به دما و شناخت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) به منظور طراحی مدل‌های پیش‌بینی کننده جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن 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، بنابراین انتخاب مدل مناسب برای کمّی‌سازی واکنش سرعت سبز شدن نسبت به دما در تعیین دماهای کاردینال بسیار با اهمیت تلقی می‌شود. برای ارزیابی جوانه‌زنی بذر گیاهان زراعی معمولاً از مدل‌های رگرسیون غیرخطی استفاده می‌شود (Sarparast et al., 2006). در یک آزمایش دیگر که به همین منظور روی پنج رقم کانولا انجام گرفت دمای پایه برای سبز شدن بین ۰/۴ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Latifi et al., 2003). در یک آزمایش برای ارزیابی واکنش سبز شدن بذرهای کلزای پاییزه و چند گیاه زراعی دیگر نسبت به دما و پتانسیل آب خاک، از مدل لجستیک استفاده شد (Blackshow, 1991). دمای پایه جوانه‌زنی (Base temperature) یا حداقل درجه حرارت لازم برای جوانه‌زنی بذر، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در سرعت سبز شدن گیاهچه می‌باشد که در مورد کلزا ۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Kimber & McGregor 1995). برای پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه در کلزا اطلاع دقیق از دمای پایه اهمیت زیادی دارد.

در سال‌های اخیر کشت و کار گیاهان روغنی از جمله کلزا به دلیل اهمیت آنها در تأمین روغن مصرفی و جلوگیری از واردات بی‌رویه روغن و دانه‌های روغنی مورد توجه قرار گرفته و سطح زیر کشت این گیاه به سرعت افزایش یافته است. با توجه به اهمیت فرایند جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه در استقرار موفقیت‌آمیز گیاه کلزا و تولید مناسب محصول، در این آزمایش مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای ارزیابی پاسخ سرعت ظهور گیاهچه نسبت به دماهای مختلف و برآورد دماهای کاردینال به صورت آزمایش گلدانی برای سه رقم کلزای بدون گلبرگ، RGS003 و syn3 مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۶ به منظور بررسی اثر دماهای صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۲۸، ۳۲، ۳۶ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد روی سه رقم کلزا شامل ارقام بدون گلبرگ، RGS003 و Syn3 در ژرمیناتور در دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان به اجرا گذاشته شد. بذرهای ارقام کلزا از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه شدند. بستر کشت مورد استفاده برای آزمایش ماسه بود که قبل از اجرای آزمایش در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر ضدعفونی شده و در گلدان‌هایی به حجم یک لیتر ریخته شد. بذرهای ارقام کلزا برای ایجاد تعادل دمایی، آب آبیاری و بستر کشت مورد استفاده چند روز قبل از شروع آزمایش در دمای مربوطه در ژرمیناتور قرار داده شدند. قبل از هر آزمایش دیواره‌ها و کف داخل ژرمیناتور با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد و اتانول ۷۰ درصد ضد عفونی شد و بذرها نیز با استفاده از سم کربوکسی تیرام دو در هزار ضد عفونی شدند. قبل از اجرای آزمایش، قوه نامیه بذرهای مورد استفاده با روش کاغذ صافی در ظروف پتری اندازه‌گیری شد که میزان آن ۱۰۰ درصد بود. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر در عمق ۰/۵ سانتی‌متری کشت شد. بعد از کاشت، به گلدان‌ها به حد کافی و مساوی آب اضافه شد. در

طول آزمایش در صورت نیاز به آب، آبیاری انجام می‌گرفت، به طوری که تنش خشکی به بذرهای در حال جوانه‌زنی وارد نشود. با بازدید روزانه گلدان‌ها، تعداد گیاهچه‌های سبز شده عادی در هر روز ثبت شدند. برای کمّی‌سازی واکنش سرعت سبز شدن گیاهچه نسبت به دما و تعیین دماهای کاردینال و نیز تعداد روز مورد نیاز برای سبز شدن گیاهچه‌ها در شرایط دمایی مطلوب یا حداقل تعداد روز از کاشت تا سبز شدن (تعداد روز بیولوژیک)، از مدل زیر استفاده شد:

$$1/e = f(T)/e_o \qquad (۱$$

که در آن 1/e سرعت سبز شدن، (T) تابع دما و e_0 تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن می‌باشند. در این آزمایش از شش تابع دمایی برای توصیف تغییرات سرعت سبز شدن در مقابل دما استفاده شد، که عبارت بودند از:

۱- تابع دندانه‌ای (Dent-like) با علامت اختصاری (D) که معادله آن بصورت زیر است (Torabi, 2004):

$$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_{01} - T_b)} \qquad \text{اگر} \quad T_b < T \le T_{01}$$

$$= \frac{(T - T_b)}{(T_0 - T_b)} \qquad \text{اگر} \quad T_{02} < T \le T_c$$

$$= 1 \qquad \text{اگر} \quad T_{01} < T \le T_{02}$$

$$= 0 \qquad \text{اگر} \quad T \le T_b \text{ or } T \ge T_c$$

۲- تابع دو تکه‌ای (Segmented) با علامت اختصاری (S) که معادله آن به صورت زیر است (Mwale, 1994):

$$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_0 - T_b)} \qquad \text{اگر} \quad T_b < T \le T_0$$

$$= \left[1 - \left(\frac{T_c - T_0}{T_c - T_{02}}\right)\right] \qquad \text{اگر} \quad T_0 < T \le T_c$$

$$= 0 \qquad \text{اگر} \quad T \le T_b \text{ or } T \ge T_c$$

۳- تابع بتا (Beta) با علامت اختصاری (B) که معادله آن به صورت زیر است (Torabi, 2004):

$$f(T) = \left[\left(\frac{T - T_b}{T_0 - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_b}\right)^{\left(\frac{T_c - T_0}{T_0 - T_b}\right)}\right]^{\alpha}$$

۴- تابع منحنی (Curvelinear) با علامت اختصاری (V) که معادله آن به صورت زیر است (Torabi, 2004):

$$f(T) = \left[\left(\left(\left(1/(\tau_a - T_b) \times (T_c - T_0)^{\left(\frac{T_c - T_0}{T_0 - T_b}\right)}\right)\right)\right) \times 1 \right] \Big/ \left[(T - T_b) \times (T_c - T)^{\left(\frac{T_c - T_0}{T_0 - T_b}\right)}\right]$$

۵- تابع درجه دوم (Quadratic) با علامت اختصاری (Q) که معادله آن به صورت زیر است (Mosjidis & Zhang, 1995):

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

در این توابع T_b دمای پایه، T_{01} دمای مطلوب پایین T_{02} دمای مطلوب بالا، T_0 دمای مطلوب، T_C دمای سقف و a ضریب ثابت و T دمای متوسط روزانه (دمای مورد آزمایش) می‌باشند.

۶- تابع درجه سوم بدون عرض از مبداء با علامت اختصاری (C) که معادله آن به صورت زیر است (Torabi, 2004):

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

در این تابع T متوسط دمای روزانه (دمای مورد آزمایش) و b، c و d ضرایب ثابت رگرسیون هستند.

در مواردی که رابطه بین x و y غیرخطی است و به سادگی به رابطه خطی تبدیل نمی شود، با رویه NLIN می‌توان مقادیر مجهول پارامترهای مدل را برآورد نمود (Soltani, 1998). در روش مطلوب سازی 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 بدست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس SE (خطای معیار) کمتر پارامترها و RMSD (جذر میانگین مربعات انحرافات) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شدند. همچنین برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از مقایسه RMSD (جذر میانگین مربعات انحرافات)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب همبستگی (r) و ضرایب رگرسیون ساده خطی) b وa) بین سرعت سبز شدن مشاهده شده و سرعت سبز شدن پیش‌بینی شده آنها استفاده شد. مقایسه پارامترهای برآورد شده

دماهای کاردینال بین مدل‌ها بر مبنای حدود اطمینان ۹۵ درصد آنها انجام گرفت. محاسبات مربوطه با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

برای مقایسه مدل‌های مختلف به منظور انتخاب مدل برتر از جذر میانگین مربع انحرافات (RMSD)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب همبستگی (r) و ضرایب رگرسیون (b و a) مربوط به رابطه مقادیر سرعت ظهور گیاهچه مشاهده شده و پیش‌بینی شده استفاده شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

برای انتخاب مدل مناسب در دو مرحله عمل می‌شود، ابتدا مدل‌هایی انتخاب می‌شوند که پیش‌بینی آنها دارای اریب نباشد، یعنی مقادیر a و b برای آنها به ترتیب با مقدار صفر و یک اختلاف معنی‌داری نداشته باشد. در مرحله دوم، از بین مدل‌های موفق در مرحله اول، مدل یا مدل‌هایی گزینش می‌شوند که بخش بزرگ‌تری از تغییرات را توجیه کنند (R^2 بزرگتر) و در همان حال جذر میانگین مربعات خطای کوچک‌تری داشته باشند و همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده بالاتر باشد(Ajam Norouzi et al., 2007).

با کمّی‌سازی واکنش سرعت ظهور گیاهچه نسبت به دما توسط مدل‌های رگرسیون غیرخطی، پارامترهای دمای پایه، دمای مطلوب، دمای سقف و تعداد روز بیولوژیک لازم برای ۵۰ درصد ظهور گیاهچه سه رقم کلزا برآورد گردید که این پارامترها برای کلیه مدل‌ها در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. دمای پایه سبز شدن گیاهچه برای رقم Syn3 بر اساس مدل‌های برتر بتا و

جدول ۱- جذر میانگین مربع انحرافات (RMSD) و ضریب تبیین (R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف‌کننده رابطه سرعت سبز شدن با دما، ضرایب رگرسیون (a و b) و ضریب همبستگی (r) مربوط به رابطه مقادیر سرعت ظهور گیاهچه مشاهده و پیش‌بینی شده در سه رقم کلزا

		رقم Syn3			
مدل	RMSD	R^2	a±SE	b±SE	r
دندانه‌ای	۰/۰۵۸	۰/۹۵	۰/۹۴ ±۰/۶۹	۰/۱۲ *± ۰/۵۸	۰/۸۵
دوتکه‌ای	۰/۰۴۸	۰/۹۶	۱/۲۵ ±۱/۳۸	۰/۱۵ *± ۰/۶۴	۰/۸۱
بتا	۰/۰۶۲	۰/۹۷	۱/۱۶± ۰/۳۱	۰/۱۴±۰/۷۳	۰/۸۶
منحنی	۰/۰۶۲	۰/۹۷	۱/۱۶ ±۰/۳۱	۰/۱۴±۰/۷۳	۰/۸۶
درجه دوم	۰/۰۸۹	۰/۸۷	۵/۶۲ ±۱۰/۸۹	۰/۷۰±-۰/۴۱	-۰/۱۹
درجه سوم	۰/۰۶۷	۰/۸۵	۱۳/۰۶ ±-۵/۷۲	۱/۶۲± ۱/۰۱	۰/۲۰
		رقم RGS003			
مدل	RMSD	R^2	a±SE	b±SE	r
دندانه‌ای	۰/۲۷۰	۰/۰۰۰۱	۵/۶۱*±۱۴/۹۵	۰/۹۵±-۱/۰۰۹	۰/۱۰
دوتکه‌ای	۰/۲۷۰	۰/۹۲	۵/۴۶ *± ۱۵/۰۲	۰/۹۲±-۰/۹۹	-۰/۳۳
بتا	۰/۰۵۶	۰/۹۵	۰/۴۶±۰/۱۳	۰/۰۷±۰/۹۳	۰/۹۷
منحنی	۰/۰۵۹	۰/۹۴	۱۰۰/۸۹±۱۶۶/۰۶	۱۷/۱۳±-۲۱/۰۶	-۰/۳۷
درجه دوم	۰/۰۵۳	۰/۹۲	۶/۸۷± ۸/۶۴	۱/۱۷±-۰/۲۷	-۰/۰۸
درجه سوم	۰/۰۵۰	۰/۸۳	۲۶/۷۰±-۵۵/۱۲	۴/۵۳±۸/۱۵	۰/۵۰
		رقم بدون گلبرگ			
مدل	RMSD	R^2	a±SE	b±SE	r
دندانه‌ای	۰/۲۳۰	۰/۰۸	۷/۵۴±۱۲/۲۴	۰/۵۰ ±-۰/۰۳	-۰/۰۲
دوتکه‌ای	۰/۰۷۰	۰/۸۸	۱/۷۸±۰/۶۰	۰/۱۲±۰/۸۱	۰/۹۱
بتا	۰/۱۹۰	۰/۰۱	۴/۰۵±۴/۲۱	۲/۶۱±۱/۸۶	۰/۲۴
منحنی	۰/۱۷۰	۰/۴۷	۲/۰۶ *±۸/۱۴	۰/۱۴ *±-۰/۱۳	-۰/۳۱
درجه دوم	۰/۰۹۰	۰/۷۸	۲۷/۱۶±۳۷/۴۳	۱/۸۳ ±-۱/۱۶	-۰/۲
درجه سوم	۰/۰۹۰	۰/۶۴	۱۳/۳۰±-۷/۷۶	۰/۹±۰/۶۳	۰/۲

جدول ۲- برآورد ضریب ثابت a (برای مدل بتا)، دمای پایه (Tb)، دمای مطلوب (T0)، دمای سقف (Tc) و تعداد روز بیولوژیک (e_0) برای ظهور ۵۰ درصد گیاهچه‌ها با مدل‌های مختلف در سه رقم کلزا

		رقم Syn3			
مدل	a	Tb	T_0	Tc	e_0
دوتکه‌ای	-	۲/۳۶±۴/۷۷	۱/۴۰±۲۵/۵۶	۱/۸۶±۳۸/۴۰	۰/۱۹±۲/۳۵
بتا	۰/۵۳±۰/۴۷	۲/۵۹±۱۰/۹۴	۰/۰۱ ±۲۰/۰۰	۲/۵۵±۳۶/۹۹	۰/۹۲±۲/۰۱
منحنی	-	۲/۵۹ ±۱۰/۹۴	۶/۴۱±۲۴/۶۹	۲/۵۵ ±۳۶/۹۹	۰/۴۳±۲/۷۱
درجه دوم	-	۱/۶۸ ±۲/۸۱	۲۲/۶۹	۲/۳۶± ۴۰/۸۲	۰/۴۶± ۳/۳۸
درجه سوم	-	۳/۰۸ ±۴/۵۷	۲۴/۶۹	۳۸/۶۵	۴/۵۳
		رقم RGS003			
مدل	a	Tb	T_0	Tc	e_0
دوتکه‌ای	-	۴/۴۲±۰/۲۰	۲/۶۹±۲۴/۶۹	۳/۱۹±۴۱/۴۴	۰/۴۴±۳/۴۷
بتا	۰/۵۷±۰/۱۴	۱/۷۴±۷/۸۹	۰/۰۱±۲۴/۰۰	۰/۰۱±۳۶/۰۰	۲/۰۴ ±۴/۲۰
منحنی	-	۰/۰۰۵±۴/۰۰	۴/۴۴±۲۴/۹۰	۰/۳۹±۴۰/۰۰۷	۰/۷۰ ±۴/۳۷
درجه دوم	-	۱/۴۶±۱/۸۳	۲۳/۹۰	۱/۹۵±۴۱/۲۴	۰/۴۵±۴/۳۱
درجه سوم	-	۲/۰۳	۲۱/۹۰	۳۹/۳۴	۵/۲۰
		رقم بدون گلبرگ			
مدل	a	Tb	T_0	Tc	e_0
دوتکه‌ای	-	۲/۹۴±۱۰/۷۳	۲/۳۴±۲۳/۷۸	۲/۶۱±۳۷/۱۹	۰/۴۸ ±۲/۷۳
بتا	۰/۳۴±۰/۴۵	۱۱/۲۴±۱۲/۲۳	۵/۳۴±۲۴/۴۳	۲۳/۰۳±۴۸/۰۹	۳/۹۶ ±۱۲/۱۷
منحنی	-	۱۲/۴۶± ۱۷/۴۵	۳۰/۳۱± ۲۹/۷۶	۳۰/۰± ۵۸/۲۱	۳۶/۶۸±۱۰/۵۴
درجه دوم	-	۲/۳۹±۲/۴۷	۲۲/۲۷	۳/۰۶±۴۰/۱۷	۰/۸۲ ±۴/۳۵
درجه سوم	-	۹/۹۲	۲۳/۴۵	۴۴/۲۳	۵/۳۴

جدول ۳- برآورد دمای پایه (Tb)، دمای مطلوب پایین (T01)، دمای مطلوب بالا (T02)، دمای سقف (Tc) و تعداد روز بیولوژیک (e_0) برای ظهور ۵۰ درصد گیاهچه‌ها با مدل دندانه‌ای در سه رقم کلزا

		رقم Syn3			
مدل	Tb	T_{01}	T_{02}	Tc	e_0
دندانه‌ای	۲/۵۲±۸/۴۹	۰/۱±۲۶/۰۹	۳/۲۳±۲۴	۲/۲۳±۳۸/۴۰	۰/۲۶±۲/۱۰
		رقم RGS003			
مدل	Tb	T_{01}	T_{02}	Tc	e_0
دندانه‌ای	۲۳/۴۰±۴/۸	۰/۰۰±۲۱/۰۰	۲۰/۴۶±۲۶/۹۵	۱۵/۸۲±۴۱/۴۴	۳/۸۰±۴/۰۱
		رقم بدون گلبرگ			
مدل	Tb	T_{01}	T_{02}	Tc	e_0
دندانه‌ای	۱۵/۹۶±۲/۸۶	۰/۰۶±۲۰/۶۵	۲۲/۰۷±۲۵/۵۳	۲۱/۹۶±۳۹/۹۰	۳/۵۸±۴/۳۴

منحنی به ترتیب ۱۰/۹۴ و ۱۰/۹۴ درجه سانتی‌گراد، برای رقم RGS003 بر اساس مدل برتر بتا ۷/۸۹ درجه سانتی‌گراد و برای رقم بدون گلبرگ بر اساس مدل برتر دو تکه‌ای ۱۰/۷۳ درجه سانتی‌گراد، برآورد شدند. دمای پایه برآورد شده توسط مدل‌های دیگر کمتر یا بیشتر از این مدل‌های برتر بود (جدول‌های ۲ و ۳). گزارش شده است که کلزا در دمای بالای ۱۰ درجه سانتی‌گراد خاک بسیار خوب سبز می‌شود. در آزمایشی که به منظور بررسی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌های دو رقم کلزا در دماهای ۲۳ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد انجام شده بود، هر دو رقم بالاترین سرعت سبز شدن را در ۱۰ درجه سانتی‌گراد داشتند (Gusta, 1994). در آزمایشی که به منظور تعیین دمای پایه مورد نیاز برای سبز شدن پنج رقم کلزا در دماهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد

انجام شده بود، استقرار گیاهچه‌های کلزا در دمای پایین‌تر از ۸ درجه سانتی‌گراد به طور معنی‌داری کاهش یافت. در این پنج رقم، دمای پایه برای ظهور گیاهچه، R^2 و RMSE به ترتیب ۴/۴ درجه سانتی‌گراد، ۰/۹۹ و ۰/۳۲-۷/۱، ۰/۹۹ و ۰/۳۷-۹/۶، ۰/۹۶ و ۰/۸۵-۱۰/۱، ۰/۹۹ و ۰/۵۴-۱۰/۲، ۰/۹۹ و ۰/۴۰ بدست آمدند (Vigil, 1997). در آزمایشی که به منظور بررسی جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه دو رقم کلزا در دماهای ۲، ۶، ۱۰ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد انجام شده بود، مشاهده شد که هر دو رقم در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، دارای بالاترین میزان ظهور گیاهچه بودند (Nykiforuk & Johnsoon-Flanangan, 1994) گزارش شده است که بهترین رشد کلزا در میانگین دمای شبانه روزی حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید. گیاه کلزا می‌تواند دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد را برای مدت کوتاهی تحمل نماید (Vigil, 1997) که با مقدار برآورد شده در مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و منحنی در تحقیق حاضر تفاوت معنی‌داری نداشت.

دمای مطلوب برای رقم Syn3 بر اساس مدل‌های برتر بتا و منحنی به ترتیب ۲۰/۰۰ و ۲۴/۶۹ درجه سانتی‌گراد، برای رقم RGS003 بر اساس مدل برتر بتا ۲۴/۰۰ درجه سانتی‌گراد و برای رقم بدون گلبرگ بر اساس مدل برتر دو تکه‌ای ۲۳/۷۸ درجه سانتی‌گراد بودند. دمای مطلوب برآورد شده بر اساس مدل‌های دیگر کمتر یا بیشتر از این مدل‌های برتر بود (جدول‌های ۲ و ۳). در آزمایشی که به منظور بررسی تأثیر دما روی جوانه‌زنی ۹ ژنوتیپ کانولا انجام شده بود، دمای مطلوب برای سبز شدن بین ۱۶ تا۳۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد، به طوری که میانگین دمای مطلوب برای شش ژنوتیپ ۲۰/۱۱ درجه سانتی‌گراد بود و دو ژنوتیپ دیگر با دمای مطلوب ۲۹ و ۱۶/۱۷ در گروه دیگری قرار گرفتند (Latifi et al., 2003).

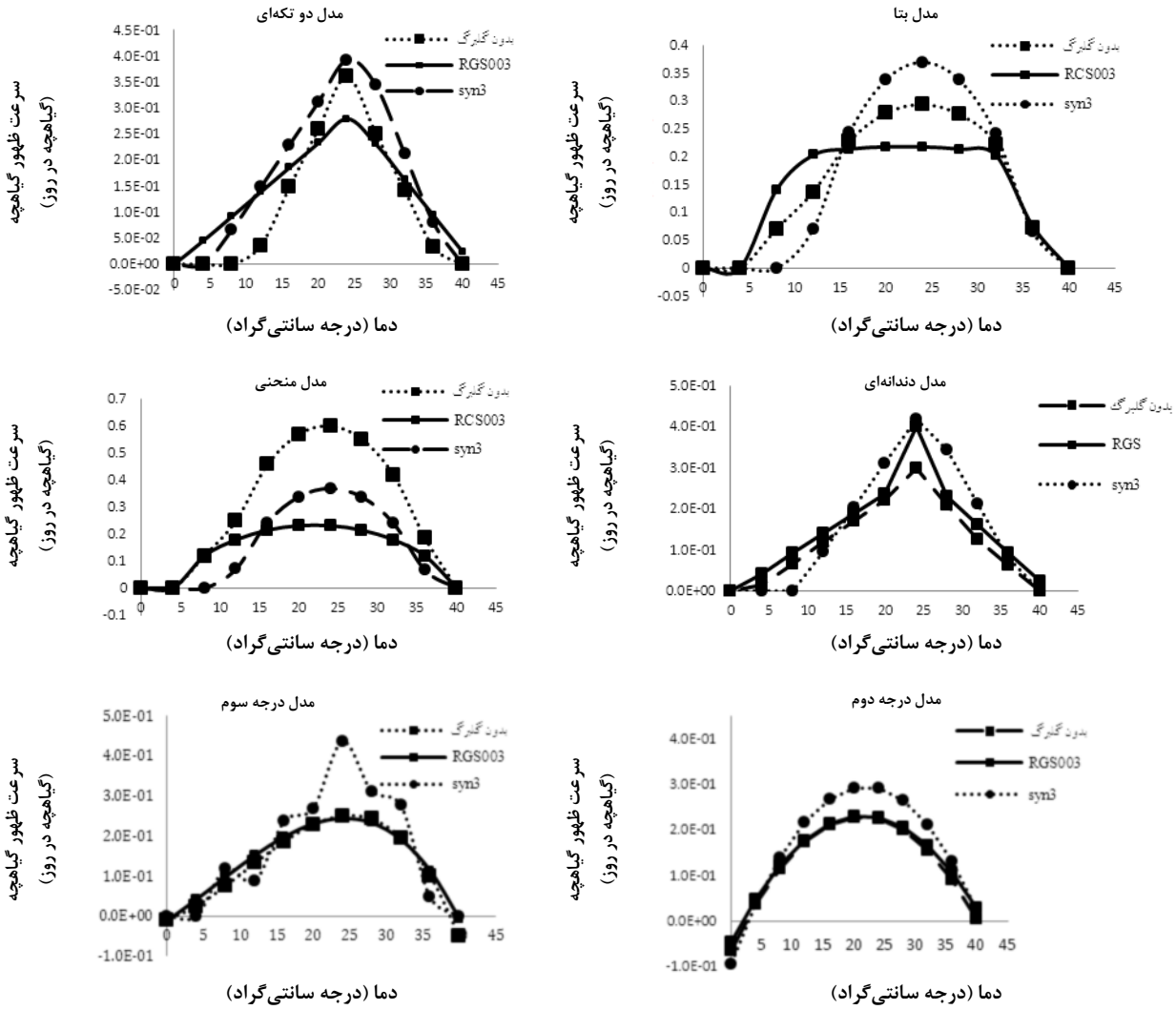
دمای سقف برای رقم Syn3 بر اساس هر دو مدل بتا و منحنی به ترتیب ۳۶/۹۹ درجه سانتی‌گراد، برای رقم RGS003 بر اساس مدل برتر بتا ۳۶ درجه سانتی‌گراد و برای رقم بدون گلبرگ بر اساس مدل برتر دو تکه‌ای ۳۷/۱۹ درجه سانتی‌گراد بود. دمای سقف برآورد شده بر اساس مدل‌های دیگر کمتر یا بیشتر از این مدل‌های برتر بود (جدول‌های ۲ و ۳). همچنین تعداد روزهای بیولوژیک لازم برای ظهور ۵۰ درصد گیاهچه‌ها برای مدل‌های بتا و منحنی برای رقم Syn3، بتا برای رقمRGS003 و دوتکه‌ای برای رقم بدون گلبرگ به ترتیب (۲/۰۱ و ۲/۷۱)، (۴/۲۰) و (۲/۷۳) بدست آمد (جدول‌های ۲ و ۳) که بین ارقام کلزا تفاوت وجود داشت و در مدل دوتکه‌ای تعداد روز بیولوژیک برای ظهور گیاهچه ارقام RGS003 و بدون گلبرگ کمتر از سایر مدل‌های برآورد شده بود. رابطه بین سرعت ظهور گیاهچه توصیف شده و دما برای هر سه رقم با استفاده از مدل‌های مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. رابطه بین سرعت ظهور گیاهچه مشاهده شده و پیش‌بینی شده با استفاده از برترین مدل ارزیابی شده برای هر رقم در شکل ۲ نشان داده شده است.

در آزمایشی که به منظور مدل سازی واکنش ظهور گیاهچه ۴ رقم باقلا (برکت، سرازیری، عراقی و گاوی) به دما در شرایط مزرعه انجام گردید، جهت توصیف رابطه بین سرعت ظهور گیاهچه و دما از مدل‌های بتا، دوتکه‌ای، منحنی، درجه دوم و دندانه‌ای استفاده گردید. نتایج نشان داد که واکنش ظهور گیاهچه باقلا به دما، به وسیله تابع دو تکه‌ای بهتر از سایر مدل‌ها توصیف می‌گردد و برای هیچ یک از ارقام اریب معنی‌داری مشاهده نشد، به طوری که ضرایب رگرسیون (a و b)، RMSE و R^2 در مدل دو تکه‌ای برای ارقام برکت، سرازیری، عراقی و گاوی به ترتیب (۸۱/ ±۰/۳۵، ۰/۸۵±۰/۴۹، ۰/۷۲±۰/۰۳، ۰/۵۹±۰/۸۴ و ۰/۴۲±۰/۹۷، ۰/۴۵±۰/۹۸، ۰/۴۳±۱/۰۳، ۰/۴۱±۰/۹۲)، (۲/۴۸، ۲/۵۵، ۲/۳۷، ۲/۰۲) و (۰/۷۷، ۰/۷۲، ۰/۸۴، ۰/۷۵) بدست آمدند. مدل دو تکه‌ای ۷۲ تا ۸۴ درصد از تغییرات سرعت ظهور گیاهچه در مقابل دما را برای ارقام مختلف توجیه کرد و مقدار RMSE برای این مدل بین ۲/۰۲ و ۲/۵۵ روز متغیر بود که ۱۳ تا ۱۵ درصد میانگین سرعت ظهور گیاهچه است. پیش‌بینی مدل‌های درجه دوم، منحنی و دندانه‌ای برای همه ارقام داری اریب معنی‌داری بود و پیش‌بینی مدل بتا فقط برای رقم عراقی دارای اریب معنی‌دار بود. از لحاظ مقادیر RMSE، R^2 و r نیز کارکرد مدل‌های بتا و دو تکه‌ای مشابه بود، اما مدل بتا برای رقم عراقی برازش

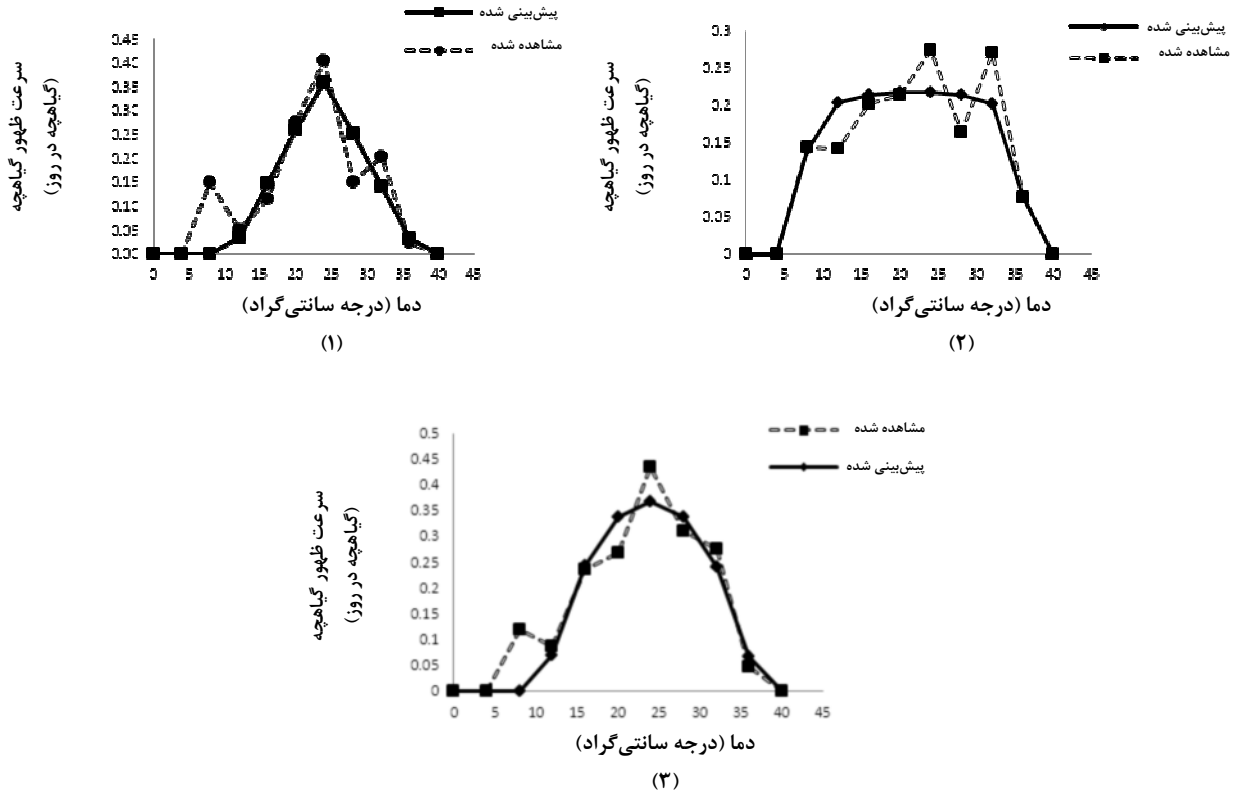
قابل قبولی نداشت و نیز ضریب a برآورد شده برای دمای پایه با این مدل برای ارقام عراقی و برکت دور از واقعیت به نظر رسیدند . برآورد دماهای کاردینال توسط تابع دو تکه‌ای نشان داد که دمای پایه برای ارقام برکت، سرازیری، عراقی و گاوی به ترتیب ۱/۶۱، ۰/۹۸، ۱ و ۱ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. دمای پایه برای ارقام باقلا بین صفر تا یک درجه سانتی‌گراد گزارش شد. بر خلاف دمای پایه، از نظر دمای دمای بهینه برای ظهور گیاهچه، بین ارقام اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، به طوری که دمای بهینه برای ظهور گیاهچه ارقام برکت، سرازیری، عراقی و گاوی به ترتیب ۲۴/۹۹، ۲۵/۶۳، ۲۵/۵۴ و ۲۸/۸۲ درجه سانتی‌گراد بود (Ajam Norouzi et al., 2007).

تنوع بین و درون گونه‌ای بالایی برای دمای پایه تعدادی از گندمیان گرما دوست گزارش شده است (Madakadze et al., 2001). دمای بهینه برای سبز شدن بذر باقلا ۲۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Manschadi et al., 1998). دمای بهینه ظهور گیاهچه برای ژنوتیپ‌های مختلف نخود در گرگان ۲۷/۶ تا ۳۰/۴ درجه سانتی‌گراد معرفی شده است (Soltani et al., 2006a). دمای مطلوب برای جوانه‌زنی بذر ارقام لوبیای معمولی با استفاده از رگرسیون خطی بین ۲۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد (Ellis et al., 1987) و عدس بین ۲۴ تا ۲۴/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Covell et al., 1986).

در یک آزمایش حداکثر دمای جوانه‌زنی بذر برای



شکل ۱- رابطه سرعت ظهور گیاهچه توصیف شده با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، بتا، منحنی، دندانه‌ای، درجه دوم و درجه سوم در دماهای مختلف در کلزا



شکل ۲- رابطه بین سرعت ظهور گیاهچه مشاهده شده و پیش‌بینی شده نسبت دما با استفاده از برترین مدل ارزیابی شده (۱) مدل دو تکه‌ای در رقم بدون گلبرگ، (۲ و ۳) مدل بتا در ارقام RGS003 و Syn3 کلزا

ارقام مختلف باقلا، ۳۵ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید (Ajam Norouzi et al., 2007). برآورد روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه با استفاده از مدل دو تکه‌ای نشان داد که از این نظر بین ارقام باقلا اختلاف معنی‌داری وجود داشت به طوری که رقم گاوی که بذرهای ریزتری داشت بعد از ۶/۶۵ روز با بیشترین سرعت ظهور گیاهچه (۰/۰۹)، سریع‌تر از ارقام برکت، سرازیری و عراقی (به ترتیب ۸/۶۰، ۸/۶۷ و ۹/۳۱ روز) بود که به طور معنی‌داری بیشتر از روز بیولوژیک مورد نیاز بود، سبز گردید. به نظر می‌رسد که علت بیشتر بودن سرعت ظهور گیاهچه بذرهای رقم گاوی کوچک بودن بذرهای آن باشد که در نتیجه آن نسبت سطح به حجم در بذرهای این رقم بزرگتر بوده و افزایش سرعت جذب آب و تسریع در جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه را باعث می‌شود. برای سایر ارقام، روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه بین ۸/۶۰ و ۹/۳۱ روز بود. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه ارقام مختلف نخود با استفاده از مدل دندانه‌ای ۶/۱ روز برآورد شده است (Soltani et al., 2006a).

در یک آزمایش که به منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی (دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم) برای توصیف سرعت سبز شدن نخود رقم هاشم نسبت به دما صورت گرفت، مدل‌های دندانه‌ای، دو تکه‌ای و بتا به علت جذر میانگین مربع انحراف (RMSD) کمتر، ضریب تبیین (R^2) و ضریب همبستگی (r)بالا و ضرایب رگرسیون (a و b) به ترتیب (۱/۴۸، ۰/۴۸ و ۱/۵۱، ۰/۹۸، ۰/۹۸ و۰/۹۹، ۰/۹۸، ۰/۹۸ و۰/۹۸، ۱۱/۲۲ ±۱۱/۲۲، ۰/۹±۰/۰۵، ۱۱/۰±۱۱/۰، ۱/۹±۰/۰۴، ۱۲/۱۹ ±۱/۵، ۰/۰۵± ۱/۰) و کارایی بالاتر در پیش‌بینی سرعت سبز شدن به دما، به عنوان مدل‌های برتر انتخاب شدند (Sarparast, 2006). در بادام زمینی، کانولا، چهار رقم نخود و ۶ رقم آفتابگردان نیز برای کمّی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی از رگرسیون خطی به شیوه مذکور استفاده شده است (Torabi, 2004; Vigil et al., 1997; Mwale et al., 1994; Kocabas et al.,1991). دمای پایه برآورد شده برای

ارقام نخود توسط مدل‌های دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به ترتیب ۶/۸، ۶/۸، ۶/۱، ۷/۵، ۹/۳ و ۸/۶ درجه سانتی‌گراد و دمای پایه برآورد شده توسط سه مدل برتر در حدود ۶/۵ درجه سانتی‌گراد بود. دمای مطلوب تحتانی و فوقانی برآورد شده نیز بر اساس مدل دندانه‌ای ۲۷/۵ و ۳۰/۳ درجه سانتی‌گراد بود. دمای مطلوب بوسیله مدل دو تکه‌ای و بتا ۲۹/۲ و ۳۰/۳ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید که این مقادیر در محدوده دمایی بین دماهای مطلوب تحتانی و فوقانی برآورد شده توسط مدل دندانه‌ای قرار داشتند. دماهای مطلوب برآورد شده توسط مدل منحنی، درجه دوم و درجه سوم به ترتیب ۳۱/۴، ۲۶/۱ و ۲۷/۳ درجه سانتی‌گراد بوده و خارج از محدوده دمایی بین دماهای بدست آمده بوسیله مدل دندانه‌ای بود. دمای سقف برآورد شده توسط مدل‌های دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به ترتیب ۴۰، ۴۰/۳، ۳۵/۲، ۳۵، ۴۳ و ۳۹ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای ظهور ۵۰ درصد گیاهچه‌ها برای مدل‌های دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به ترتیب ۸۴/۲، ۷۸، ۸۴/۷، ۸۳/۴، ۹۸/۴ و ۸/ ۸۹ ساعت بدست آمد (Sarparast et al., 2006). دمای پایه برای ظهور گیاهچه‌های سورگوم ۱۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Kanemasu, 1975).

در تحقیقی که به منظور بررسی تعداد روزهای بیولوژیکی مورد نیاز و مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای بررسی سرعت ظهور گیاهچه سه گونه ارزن معمولی، دم روباهی و مرواریدی نسبت به دما صورت گرفت، مدل دندانه‌ای در ارزن معمولی با کمترین RMSE و ضریب a (۰/۰۰۰۰۰۹ و ۰/۰۰۰۶) و بزرگترین R^2 و ضریب b (۰/۹۶ و ۰/۹۸) و مدل بتا در دو گونه دم روباهی و مرواریدی با RMSE و ضریب a (۰/۰۱ و ۰/۰۰۵) و بزرگترین R^2 و ضریب b (۰/۹۴ و ۰/۹۷) و RMSE و ضریب a (۰/۰۰۴ و ۰/۰۵) و بزرگترین R^2 و ضریب b (۰/۹۹ و ۰/۹۹) بدست آمدند که به عنوان مدل‌های برتر در این ارقام انتخاب شدند. ضرایب رگرسیون (a و b) در مدل بتا در هر سه گونه ارزن معمولی، دم روباهی و مرواریدی به ترتیب (۰/۰۱ و ۰/۹۲، ۰/۰۰۵ و ۰/۹۷، ۰/۰۵ و ۰/۹۹) بدست آمدند که معنی‌دار نبودند. دمای پایه برآورد شده در هر سه گونه ارزن معمولی، دم روباهی و مرواریدی توسط مدل‌های دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم به ترتیب (۷، ۷، ۷، ۷ و ۸/۱۵)، (۷، ۷، ۷، ۷ و ۷/۵۹) و (۷، ۷، ۶/۵۰، ۷و ۷) درجه سانتی‌گراد بود که دمای پایه برآورد شده توسط دو مدل برتر بتا و دندانه‌ای در حدود ۶/۵ تا ۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Eshraghi Nejad, 2009). دمای مطلوب برآورد شده در هر سه گونه ارزن معمولی، دم روباهی و مرواریدی توسط مدل‌های دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا و منحنی به ترتیب (۴۹/۵۰، ۳۸/۰۸، ۴۱ و ۳۹/۳۴)، (-، ۳۸/۹۹، ۳۹ و ۳۶/۶۲) و (-، ۳۷/۶۷، ۴۰ و ۳۷) درجه سانتی‌گراد بودند و بهترین دمای مطلوب برآورد شده بین ۳۶/۵۱ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد در مدل‌های برتر بدست آمد. دمای حداکثر برآورد شده توسط مدل‌های دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا، منحنی و درجه دوم در هر سه گونه ارزن معمولی، دم روباهی و مرواریدی به ترتیب (۴۹/۵۰، ۴۸، ۴۶، ۴۱/۵۰ و ۴۹/۵۰)، (۴۸، ۴۹، ۴۶/۵۰، ۴۹/۵۰ و۴۹/۵۰) درجه سانتی‌گراد بودند (Eshraghi Nejad, 2009).

در آزمایشی که به منظور تعیین دماهای کاردینال روی سه گونه ارزن (*Pennisetum glaucum*، *Panicum miliaceum* و *Setaria italica*) انجام گردیده بود، دماهای پایه، مطلوب و حداکثر به ترتیب در محدوده (۷/۳۰ تا ۱۰/۶، ۳۷ تا۴۲/۲۰ و ۴۵ تا ۴۸) درجه سانتی‌گراد بدست آمدند (Kamkar et al., 2006). نتایج این آزمایش نشان داد که محدوده تحمل یا وسعت اکولوژیکی (Ecological magnitude) این سه گونه ارزن بین ۶/۵۰ تا۴۹/۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین تعداد روزهای بیولوژیک لازم ازکاشت تا سبز شدن برای این سه گونه ارزن بین ۳/۵۷ تا ۵/۵۴ روز بدست آمد که برای مدل‌های دندانه‌ای، دو تکه‌ای، بتا، منحنی و درجه دوم برای سه گونه ارزن معمولی، دم روباهی و مرواریدی به ترتیب (۳/۵۷، ۳/۳۵، ۳/۶۵، ۳/۵۶ و ۴/۴۱)، (۳/۷۱، ۱/۸۵، ۴/۲۹، ۴/۳۸ و ۴/۳۸) و (۴/۶۱، ۲/۱۱، ۵/۵۴، ۵/۴۶ و۶/۰۴) بدست آمد که این پارامترها می‌توانند برای شبیه سازی مدل‌های فنولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند (Eshraghi Nejad, 2009).

در آزمایشی که به منظور تعیین دماهای کاردینال و تأثیر دما بر تعداد روزهای بیولوژیکی مورد نیاز از کاشت تا ظهور گیاهچه با مدل‌های رگرسیون غیرخطی (دندانه‌ای، منحنی، درجه دوم و درجه سوم، لجستیک و flat) روی گندم رقم تجن انجام گردید، ضرایب رگرسیون (a و b)، RMSE و R^2 محاسبه گردیدند (Kamkar et al., 2008). نتایج نشان داد که بهترین مدل‌ها لجستیک و flat بودند که دلیل آن عدم معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیونی و کوچک بودن RMSE و بزرگتر بودن R^2 بود که برای مدل‌های (flat، لجستیک، دو تکه‌ای، دندان مانند، منحنی، درجه دوم و درجه سوم به ترتیب برابر با (۰/۵۴±۰/۹۳ و ۰/۰۶±۰/۶۷، ۰/۹۴±۰/۴۴- و ۰/۱۰±۱/۰۳، ۰/۵۰±۳/۱۹ و ۰/۰۵±۰/۳۳، ۰/۶۳±۱/۹۹ و ۰/۰۷±۰/۵۱، ۰/۴۲±۲/۸۷ و ۰/۰۴±۰/۳۷، ۰/۵۰±۳/۱۹ و ۰/۰۵±۰/۳۳، ۰/۰۹±۰/۸۵ و ۰/۷۹±۰/۵۶)، (۲/۱۵، ۱/۱۱، ۲/۰۴، ۲/۷۲، ۳/۲۹، ۳/۴۰، ۱/۲۰) و (۰/۷۶، ۰/۷۹، ۰/۷۴، ۰/۷۳، ۰/۶۲، ۰/۵۵، ۰/۹۲) بودند. بنابراین مدل لجستیک و در مرتبه دوم مدل flat به دلیل پایین‌تر بودن RMSE و بالاتر بودن R^2 می‌توانند برای تعیین محدوده دمایی گندم بین صفر تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد انتخاب شوند. دمای پایه ظهور گیاهچه برآورد شده برای مدل‌های flat، دندانه‌ای، درجه دوم، دو تکه‌ای و منحنی به ترتیب ۶/۸، ۶/۰۷، ۶/۸، ۶/۹ و ۵/۹ درجه سانتی‌گراد بودند در حالی که این مقدار برای بهترین مدل (لجستیک) ۵/۲ درجه سانتی‌گراد بود.

دمای پایه ظهور گیاهچه در گندم صفر تا دو درجه سانتی‌گراد (Ali et al., 1994)، چهار درجه سانتی‌گراد (Slafer, 1991)، ۲/۶ درجه سانتی‌گراد (Angus, 1981) و ۱-۲ درجه سانتی‌گراد (Petr, 1991) گزارش شده است. در آزمایش مربوط به گندم، دمای مطلوب برای مدل‌های (flat، درجه دوم، دوتکه‌ای و منحنی به ترتیب (۲۳/۳، ۲۳، ۲۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) بود در حالی که این مقدار برای بهترین مدل (لجستیک) برابر با ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد بود (Kamkar et al., 2008) که این نتایج با سایر تحقیقات که در محدوده ۲۴ – ۳۸ درجه سانتی‌گراد بودند، از جمله ۲۴ -۳۸ درجه سانتی‌گراد (Petr, 1991) و ۲۲/۱ – ۲۹/۸ درجه سانتی‌گراد (Ali et al., 1994) سازگاری داشت. دمای حداکثر برآورد شده برای مدل‌های flat، دندانه‌ای، درجه دوم، دوتکه‌ای و منحنی به ترتیب (۳۶، ۳۷، ۴۰، ۳۹/۹ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) بودند. با وجود به کار بردن محدوده وسیعی از تاریخ کاشت و مدل‌های متعدد در این آزمایش، بهترین مدل فقط لجستیک بود که در محدوده دمایی ۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌توانست مورد استفاده قرار گیرد. نتایج نتایج این آزمایش نشان داد که گندم رقم تجن می‌تواند به عنوان یک رقم اصلی در شمال ایران در محدوده دمای ۵/۲ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد رشد کند. تعداد روزهای بیولوژیکی مورد نیاز برای ظهور گیاهچه در این مدل‌ها بین ۲/۷۸ تا ۳/۹۸ بود (Kamkar et al., 2008).

در آزمایشی که با استفاده از مدل‌های رگرسیونی (دندان مانند، دو تکه‌ای و بتا) تأثیر دما و عمق کاشت بر روی چهار رقم نخود (Beauvanij، هاشم، 90-96c و جم) انجام شده بود، مدل دندانه‌ای بهترین واکنش ظهور گیاهچه ارقام نخود به دما را نشان داد، به طوری که ضرایب رگرسیون (a و b)، RMSE و R^2 برای چهار رقم نخود (Beauvanij، هاشم، 90-96c و جم) به ترتیب برابر با (۰/۱۰±۰/۸۰۷- و ۰/۰۶۹±۰/۹۷، ۱/۰۲۶± ۰/۹۳- و ۰/۰۸۶±۱/۱۲، ۰/۷۶۵±۰/۲۴- و ۰/۰۶۷±۱، ۰/۱۰±۰/۹۱۱- و ۰/۰۷۹±۰/۹۷)، (۲/۴۰، ۲/۹۸، ۲/۲۲ و ۲/۶۷) و (۰/۷۳، ۰/۸۲، ۰/۷۹ و ۰/۷۸) بودند. دماهای پایه، مطلوب پایین و بالا، حداکثر و تعداد روزهای فیزیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه چهار رقم نخود در مدل دندانه‌ای برای این چهار رقم به ترتیب برابر با (۴/۵، ۲۰/۲، ۲۹/۳، ۴۰ و ۶/۱)، (۳/۵، ۲۲/۷، ۲۹، ۴۰ و ۵/۷)، (۳/۹، ۲۱/۱، ۲۹، ۴۰ و ۶/۲) و (۴/۵، ۲۰/۲، ۲۹، ۴۰ و ۶/۲) درجه سانتی‌گراد بدست آمدند. بین ارقام از لحاظ دماهای پایه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تعداد روزهای فیزیولوژیکی مورد نیاز برای سبز شدن درعمق کاشت ۵ سانتی‌متر ۶ روز بود که به ازای هر سانتی‌متر افزایش عمق کاشت، ۰/۹ روز فیزیولوژیکی افزایش می‌یافت (Soltani, 2006b).

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که که از میان مدل‌های رگرسیون غیرخطی استفاده شده، مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و منحنی نسبت به مدل‌های دندانه‌ای،

درجه دوم و درجه سوم از دقت بیشتری در توصیف سرعت ظهور گیاهچه کلزا نسبت به دما برخوردارند، بنابراین از این مدل‌ها و پارامترهای برآورد شده (دمای پایه، دمای مطلوب و دمای حداکثر ظهور گیاهچه) می‌توان در تهیه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی زمان ظهور گیاهچه در مزرعه استفاده کرد. همچنین از این مدل‌ها و پارامترهای برآورد شده می‌توان در مدل‌سازی گیاه کلزا استفاده کرد، مشروط به اینکه دماهای کاردینال هر مدل با مدل مربوط به آن مورد استفاده قرار گیرد.

REFERENCES

1. Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E. and Homaei, M. (2007). Modeling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources,* 14(4), 100-111.
2. Ali, Z. I., Mahalakshmi, V., Singh, M., Ortiz ferrera, G. & Peacoack, J. M. (1994). Variation in cardinal temperatures for germination among wheat (*Triticum aestivum*) genotypes. *Annals of Applied Biology,* 125, 367-375.
3. Angus, J. F., Mackezic, D. H., Morton, R. & Schafar, C. A. (1981). Phasic development in fild crops. II.Thermal and photoperiodic responses of spring wheat. *Field Crops Research*, 4, 269-283.
4. Blackshow, R. E. (1991). Soil temperature and moisture effects on downy brome Vs. winter canola, wheat and rye emergence. *Crop Science,* 31, 1034-1040.
5. Covell, S., Ellis, R. H., Roberts, E. H. & Summerfield, R. J. (1986). The influence of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperature. *Journal of Experimental Botany*, 37, 705 -715.
6. Ellis, R. H., Simon, G. & Covell, S. (1987). The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. III. A comparison of five faba bean genotypes at constant temperatures using a new screening method. *Journal of Experimental Botany*, 38, 1033-1043.
7. Eshraghi Nejad, M., Kamkar, B. & Soltani, A. (2009). Cardinal temperatures and required biological days from sowing to emergence of three millet species (common, foxtail, pearl millet). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3(12) (Serial No.25), 36-43.
8. Gusta, V., Guo-Hua, Z., Wilen, W. & Alfered, E. (1994). Enhancement of canola seed germination and seedling emergence at low temperature by priming. *Crop Science*, 34, 1589-1593.
9. Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Rahimian, H., Abdollahian Nighabi, M. & Ghohari, J. (2004). Estimation of base temperature, germination and seedling emergence in different temperatures in monogerm sugar beet genotypes. *Journal of Sugar Beet*, 20(2), 97-112.
10. Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. & Rezvani Moghaddam, P. (2006). Cardinal temperature for germination in three millet species (*Panicum miliaceum, Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). *Asian Journal of Plant Science*, 5, 316-319.
11. Kamkar, B., Ahmadi, M., Soltani, A. & Zeinali, E. (2008). Evaluatiog non-linear regression models to describe response of wheat emergence rate to temperature. *Seed Science and Biotechnology*, 2(2), 53-57.
12. Kanemasu, E. T., Bark, D. L. & Chin Choy, E. (1975). Effect of soil temperature on sorghum emergence. *Plant and Soil*, 43, 411-417.
13. Kimber, D. & McGregor, D. I. (1995). *Brassica oilseeds*. Production and Utilization. CAB International.
14. Kocabas, Z., Craigon, J. & Azam-Ali, S. N. (1999). The germination response of bambara groundnut *(Vigna subterrannean* L. *Verdo)* to temperature. *Seed Science and Technology*, 27,303-313.
15. Latifi, N., Soltani, A. & Spaner, D. (2003). Effect of temperature on germination parameters in canola cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 35(2), 313-321. (In Farsi)
16. Madakadze, I. C., Prithiviraj, B., Stewart, K. A., Peterson, P. R., Coulman, B. E. & Smith, D. L. (2001). Variation in base temperatures for germination in warn season grasses. *Seed Science and Technology*, 29, 31-38.
17. Manschadi, A. M., Sauerborn, J., Stutzel, H., Gobel, W. & Saxena, M. C. (1998). Simulation of fababean *(Viccia faba* L.) root system development under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 9, 259-272.
18. Mosjidis, J. A. & Zhang, X. (1995). Seed germination and root growth of several Vicia species at different temperatures. *Seed Science and Technology*, 23, 749- 759.
19. Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Clark, J. A., Bradley, R. G. & Chatha, M. R. (1994). Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Science and Technology*, 22, 565-571.
20. Nykiforuk, L. & Johnsoon-Flanangan, M. (1994). Germination and early seedling development under low temperature in canola. *Crop Science*, 34, 1047-1054.
21. Petr, J. (1991). *Weather and yield (Ed.)* Elsevier, Amsterdam, 288 pp.

22. Sarparast, R., Yousefi Daz, M., Soltani, A., Akram Ghaderi, F. & Zeinali, A. (2006). Evaluation of non linear regression models for germination rate prediction of chickpea in relation to temperature. *Agricultural Science and Technology Journal*, 20(1), 93-102.
23. Slafer, G. A. & Savin, R. (1991). Developmental base temperature in different phonological phases of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 42, 1077-1082.
24. Soltani, A. (1998). *SAS in statistics analysis*. Jahad Daneshghahi Mashhad Press. (In Farsi)
25. Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi Daz, M. & Sarparast, R. (2006a). Modeling of seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 156-167.
26. Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi Daz, M. & Sarparast, R. (2006b). Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 156-167.
27. Torabi, B. (2004). *Prediction of physiological development stages in chickpea*. M.Sc. thesis in Agronomy. Gorgan University of Agriculture and Natural Sciences. (In Farsi)
28. Vigil, R., Merle, F., Anderson, L. & Beard, W. E. (1997). Base temperature and growing-degree-hour requirements for the emergence of canola. *Crop Science*, 37, 844-849.