

برآورد دماهای کاردینال ارشته خطایی (*Lepyroclis holosteoides*) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی

رضا دیهیم‌فرد^۱، شهرام نظری^{۲*}، یاسین قرآنی^۱

۱- گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۸ - تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۷)

چکیده

به منظور ارزیابی برخی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای تخمین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر علف هرز مهاجم ارشته خطایی (*Lepyroclis holosteoides*)، پژوهشی در آزمایشگاه تنوع زیستی پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی اجرا شد. در این آزمایش بذور تحت تأثیر هشت تیمار دمایی (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل رطوبت (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ بار) در چهار تکرار قرار گرفتند و درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور محاسبه شدند. برای بررسی و پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل‌های دندان مانند، دو تکه‌ای و بتا ۴ و ۵ پارامتری استفاده گردید. به منظور ارزیابی و تعیین نکویی برازش مدل‌های مختلف جوانه‌زنی از برآوردگرهای آماری شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص آکائیک (AIC) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. بالاترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با ۷۲ درصد بدست آمد. نتایج نشان داد که مدل‌های ۴ و ۵ پارامتره بتا در مقایسه با دیگر مدل‌ها، توانست توصیف بهتری را از واکنش سرعت جوانه‌زنی ارشته خطایی نسبت به دما ارائه کنند که دلیل آن R^2 بالاتر (برای هر دو مدل ۰/۹۹) و AIC (-۷۳/۱۶ و -۷۳/۲۷) و RMSE (۰/۰۰۹۲ و ۰/۰۰۹۱) پایین‌تر در این مدل‌ها بود. بطور کلی دماهای پایه، بهینه و حداکثر ارشته خطایی به ترتیب ۴/۲۹، ۱۹/۷۶ و ۳۷/۵۵ درجه سانتی‌گراد با مدل ۴ پارامتره بتا و ۴/۲۲، ۱۹/۷۲ و ۳۷/۸۳ درجه سانتی‌گراد با مدل ۵ پارامتره بتا تخمین زده شد. یافته‌های به دست آمده این تحقیق می‌تواند در پیش‌بینی جوانه‌زنی ارشته خطایی در شرایط دمایی مختلف استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: سرعت جوانه‌زنی، علف هرز، مدل بتا، مدل دو تکه‌ای

Estimation of cardinal temperatures of *Lepyroclis holosteoides* using regression models

R. Deihimfard^{1*}, Sh. Nazari² and Y. Qorani¹

1- Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran

2- PhD Student in agronomy, Buali Sina University, Hamdan, Iran,

(Received: Sep. 09, 2016 – Accepted: Feb. 25, 2017)

Abstract

In order to evaluate different nonlinear regression models for estimating cardinal temperatures of *Lepyroclis holosteoides* as an invasive weed, an experiment was carried out at Biodiversity Laboratory of Environmental Sciences Research Institute at Shahid Beheshti University. 8 germination temperatures (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 °C) and humidity potential (0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa) with four replications. Were arranged in a completely randomized design with for replications. Then, germination rate and percentage of seeds were measured. To predict the response of germination rate to temperature in *Lepyroclis holosteoides*, some regression models including dent-like, segmented, beta (four and five parameters) were applied. Some statistical estimators like Root Mean Squared of Error (RMSE), Akaike Information Criterion (AIC) and coefficient of determination (R^2) were used to evaluate goodness of fit for different regression models. Results showed that the highest germination percentage (72%) was obtained at 20 °C. Results also indicated that beta four and five-parameter models were amongst the superior functions in describing the response of germination rate to temperature in *Lepyroclis holosteoides* largely due to their higher R^2 (0.99 for both beta models), lower AIC (-73.16 and -73.27) and RMSE (0.0092 and 0.0091). Generally, base, optimum and ceiling cardinal temperatures for *Lepyroclis holosteoides* were estimated 4.29, 19.76 and 37.55 °C for beta four-parameter models and 4.22, 19.72 and 37.83 °C for beta five-parameter model. The findings of the current study (i.e. cardinal temperatures) could be used in prediction of *Lepyroclis holosteoides* germination and emergence under various temperatures.

Keywords: Germination rate, Weed, Beta model, Segmented function.

* Email: shahram_nazari1986@yahoo.com

مقدمه

جوانه‌زنی بذر مهم‌ترین مرحله در استقرار موفق یک علف هرز به شمار می‌آید که به علف هرز توان رقابت در آشیان اکولوژیک را می‌دهد (Forcella et al., 2000). جوانه‌زنی بذر شامل شروع فعالیت متابولیکی سریع، رشد جنین، خروج ریشه‌چه و سرانجام ظهور اندام‌های هوایی گیاه است (Grzesik and Romanowska-Duda, 2014). از دیدگاه بوم‌شناختی در شرایط رطوبت مناسب تنظیم اندازه خواب بذر و پدیده جوانه‌زنی بذر به میزان دما بستگی دارد (Probert, 2000). به طور کلی نیز سه دمای کاردینال^۱ شامل دمای پایه (T_b)، دمای بهینه (T_o) و دمای بیشینه یا دمای حداکثر (T_c) در پاسخ جوانه‌زنی بذر به دما شناخته شده‌اند (Beheshtian Mesgaran et al., 2013).

شناخت الگوی حضور علف‌های هرز در مزرعه برای مدیریت متناسب با زمان ضروری است و برای دستیابی به این مهم آشنایی با مدل‌های جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه، بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه نسبت به دما و شناخت دماهای کاردینال به منظور طراحی مدل‌های پیش‌بینی کننده جوانه‌زنی و سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل 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 کمی‌سازی واکنش سرعت سبز شدن نسبت به دما در تعیین دماهای کاردینال بسیار با اهمیت تلقی می‌شود (Jafari et al., 2012). از رگرسیون‌های غیرخطی و مدل‌های ریاضی به منظور شبیه‌سازی جوانه‌زنی، سبز شدن بذور و پیش‌بینی فنولوژی گیاهان نسبت به دما می‌توان استفاده کرد (Alvarado and Bradford, 2002). امتیاز این توابع این است که پارامترهای بکار رفته در این مدل‌ها دارای مفهوم بیولوژیکی هستند (Hardegree, 2006). تحقیقات زیادی در زمینه تعیین دماهای کاردینال و بررسی مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر

علف‌های هرز صورت گرفته است. درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2013) از مدل‌های دندان مانند، دو تکه‌ای و بتا برای مدل‌سازی سبز شدن گیاهچه اوپارسلام بذری (*Cyperus difformis*) در دماهای مختلف استفاده کردند. آن‌ها همچنین گزارش کردند مدل دندان مانند نسبت به سایر مدل‌ها برآورد بهتری از دماهای کاردینال این علف هرز ارائه نموده است. دشتی و همکاران (Dashti et al., 2015) مدل پنج پارامتره بتا (FPB^2) را به عنوان بهترین تابع برای کمی‌سازی رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما معرفی کردند. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که دمای پایه، دمای مطلوب و دمای حداکثر برای جوانه‌زنی بذر گیاه نوروزک (*Salvia leriifolia Benth.*) به ترتیب ۱، ۱۹/۵ و ۳۶/۵ درجه سانتی‌گراد بود. دماهای کاردینال جوانه‌زنی، عموماً بستگی به دامنه سازگاری محیطی یک گونه دارد و تطابق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب برای مراحل بعدی رشد و توسعه گیاهچه را تضمین می‌کند (Alvarado and Bradford, 2002). در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی اثر دماهای مختلف بر سرعت جوانه‌زنی غده‌های ریشه‌ای علف هرز مهاجم فیکاریا (*Ranunculus ficaria*) با استفاده از مدل خطوط متقاطع^۳ (ISL) صورت گرفت، دمای پایه و حداکثر به ترتیب حدود صفر و ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Sohrabi et al., 2013).

علف هرز ارشسته خط‌یابی (*Lepyrodiclis holosteoides Fenzl.*) از تیره گل‌میخک (*Caryophyllaceae*) به عنوان یکی از علف‌های هرز مهاجم در چند سال اخیر در مزارع گندم و کلزا در استان‌های تهران، البرز، کرمان، آذربایجان شرقی، همدان، یزد و خراسان رضوی شایع شده و در حال پیشرفت به سایر نقاط است و در حال حاضر بیشترین شدت آلودگی به این علف هرز در مناطق شهریار و کرج گزارش شده است (Minbashi Moeeni, 2011). این علف هرز دارای

1. Cardinal temperatures
2. Five-Parameters Beta
3. Intersected-lines Model

هیپوکلریت سدیم سه درصد به مدت ۳۰ ثانیه استفاده شد و بلافاصله بعد از آن بذور چند بار با آب مقطر شسته شدند. این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. جهت سنجش قابلیت جوانه‌زنی این علف هرز نخست ۵۰ عدد بذر در پتری‌دیش‌هایی شیشه‌ای با قطر نه سانتی‌متری بین دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک جای داده شده و ۵ میلی‌لیتر آب معمولی به آن اضافه گردید. سپس این پتری‌دیش‌ها درون ژریناتورهایی در شرایط تاریکی و رطوبت نسبی ۴۲ درصد (ISTA, 2008) در دماهای صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۴ روز قرار داده شدند. خروج دو میلی‌متری ریشه‌چه به عنوان معیار بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد (Soltani *et al.*, 2001). درصد جوانه‌زنی از تقسیم تعداد بذر جوانه‌زده به کل بذرها ضربدر عدد ۱۰۰ بدست آمد. در کلیه تیمارهای دمایی برای هر تیمار منحنی پیشرفت جوانه‌زنی در مقابل زمان ترسیم گردید و معکوس زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی به عنوان معیاری از سرعت جوانه‌زنی (معادله ۱) در نظر گرفته شد (Soltani *et al.*, 2008). تعیین دماهای کاردینال با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی بین سرعت جوانه‌زنی (روز) و دماهای مختلف انجام شد که در آن‌ها دما به عنوان متغیر مستقل (محور X) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور Y) در نظر گرفته شد (Wise and Binning, 1987). پس از محاسبه سرعت جوانه‌زنی از توابع دندان مانند^۱، دو تکه‌ای^۲ و بتا^۳ برای توصیف تغییرات سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما و تخمین دماهای کاردینال بذور جوانه‌زده استفاده گردید (جدول ۱).

$$R50 = 1/D50$$

معادله ۱

که در آن R50 سرعت جوانه‌زنی و D50 زمانی است که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد.

چرخه زندگی یکساله و رشد خوابیده بوده و تکثیر آن به وسیله بذر صورت می‌گیرد. در اواخر فصل رشد این علف هرز بر روی گیاه زراعی گسترده شده و تشکیل کانوپی می‌دهد و از سویی بخاطر کرکدار بودن به آن می‌چسبد و از این طریق مانع رسیدن نور به گیاه زراعی می‌شود (Ghanbari *et al.*, 2012). با توجه به تشدید شیوع این علف هرز در مزارع کشور و از طرفی ناشناخته بودن اکولوژی جوانه‌زنی آن در اقلیم‌های مختلف، کسب اطلاعات بیولوژیک پایه‌ای درباره جوانه‌زنی و سبز شدن این علف هرز می‌تواند در پیش‌بینی پتانسیل ورود آن به مناطق جدید و نیز توسعه اقدامات پیشگیرانه موثر باشد. همچنین این دانش می‌تواند داده‌های مناسبی در مورد قابلیت تهاجم این گیاه مهاجم به زیستگاه‌های جدید را فراهم می‌کند. لذا این پژوهش با هدف بررسی توانایی مدل‌های رگرسیون غیرخطی در ارزیابی پاسخ سرعت جوانه‌زنی بذر علف هرز ارشته خطایی نسبت به دماهای مختلف و برآورد دماهای کاردینال انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه تنوع زیستی پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. برای این منظور ابتدا بذور علف هرز ارشته خطایی در شهریور ماه ۱۳۹۳ از مزارع مناطق مختلف گندم و کلزا در استان البرز جمع‌آوری شدند. بذور جمع‌آوری شده جهت تشکیل یک نمونه بذری همگن با هم مخلوط شدند. آزمایش اولیه ۵ تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی بذور این علف هرز را در آب مقطر نشان داد که این نشان‌دهنده خواب بالایی در بذر ارشته خطایی بود و لذا نمونه‌های بذری مذکور جهت شکستن خواب بذر با اسید سولفوریک ۹۸ درصد به مدت دو دقیقه تیمار شدند (Bakhshandeh *et al.*, 2011). قبل از شروع آزمایش، ابتدا کلیه ظروف و سپس بذرها بطور کامل ضدعفونی شدند. جهت ضدعفونی بذر ارشته خطایی از محلول

1. Dent-like
2. Segmented
3. Beta

جدول ۱- مدل‌های رگرسیونی (دندان مانند، دو تکه‌ای، و بتا ۴ پارامتره و بتا ۵ پارامتره) به کار برده شده به منظور برازش سرعت جوانه‌زنی علف هرز ارشته خطایی با دما

Table 1- Regression models (segmented, dent-like and beta 4 and 5 parameter functions) applied for germination rate fitting of *Lepyrodictis holosteoides* seeds to temperature.

تابع Function	رابطه Formula	منبع Reference
دندان مانند Dent-like	$f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b) \text{ if } (T_b < T \leq T_{o1})$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{o2}) \text{ if } (T_{o2} < T \leq T_c)$ $f(T) = 1 \text{ if } (T_{o1} < T \leq T_{o2})$ $f(T) = 0 \text{ if } (T \leq T_b) \text{ or } (T \geq T_c)$	(Piper <i>et al.</i> , 1996)
دو تکه‌ای Segmented	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b) \text{ if } (T_b < T \leq T_o)$ $f(T) = 1 - (T - T_o) / (T_c - T_o) \text{ if } (T_o \leq T < T_c)$ $f(T) = 0 \text{ if } (T \leq T_b) \text{ or } (T_c \leq T)$	(Mwale <i>et al.</i> , 1994)
بتا ۴ پارامتره Beta, four parameter	$f(T) = \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_o} \times \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right)^{\left(\frac{T_o - T_b}{T_c - T_o} \right)} / f_o$	(Yan & Hunt, 1999)
بتا ۵ پارامتره Beta, five parameter	$f(T) = \left[\left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right)^{\left(\frac{T_c - T_b}{T_o - T_b} \right)^a} \right] / f_o$	(Yan & Hunt, 1999)

T: دما، T_b: دمای پایه، T_o: دمای بهینه، T_{o1}: دمای بهینه پایین، T_{o2}: دمای بهینه بالا؛ T_c: دمای حداکثر، a، پارامتر شکل تابع و f_o ضریب رگرسیونی است. T: is temperature, T_b: base temperature T_o, optimum temperature, T_{o1}, the lower optimum temperature, T_{o2}, upper optimum temperature, T_c, ceiling temperature, a, shape parameter for the function and f_o, regression coefficient.

تجمعی پیش‌بینی شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد. هر چه مقدار RMSE کمتر باشد نشان‌دهنده آن است که مدل برازش مناسب‌تری داشته است (Akram-Ghaderi, 2008).

معیار دیگری که به کمک آن می‌توان مدل‌ها را با هم مقایسه کرد، شاخص آکائیک می‌باشد (Beheshtian Mesgaran *et al.*, 2013):

$$AIC = n \log \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2k \quad \text{معادله (۳)}$$

در معادله فوق k تعداد پارامترهای مدل، n تعداد مشاهدات و RSS نیز مجموع مربعات باقیمانده می‌باشد. در مقایسه مدل‌ها، مدلی که از مقدار AIC کمتری برخوردار باشد به عنوان مدل بهتر انتخاب می‌شود. R²,

به منظور ارزیابی و تعیین نکویی برازش مدل‌های مختلف از برآوردگرهای آماری شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE)، شاخص آکائیک^۳ (AIC) و ضریب تبیین (R²) استفاده شد که به ترتیب با استفاده از معادلات ۲، ۳ و ۴ محاسبه شدند.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 / n} \quad \text{معادله (۲)}$$

RMSE، شاخصی است که اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مشاهدات را نشان می‌دهد و توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل است. در این معادله x_i: درصد جوانه‌زنی تجمعی واقعی، y_i: درصد جوانه‌زنی

1. Estimator
2. Root Mean Squares Error
3. Akaike Information Criterion

است که در هر دو دمای ۵ و ۱۰ درجه سانتی گراد میانگین درصد جوانه زنی ۵۹ درصد بود که با افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی گراد، بالاترین درصد جوانه زنی به میزان ۷۲ درصد ثبت شد (شکل ۱). بطور کلی در دماهای پایین تر از دمای مطلوب، آنزیم‌ها برای تطابق با تغییرات مورد نیاز برای واکنش به اندازه کافی انعطاف پذیر نیستند (Lashkari et al., 2014). همچنین در شکل ۱ نشان داده شده است که با افزایش دما به بالاتر از ۲۰ درجه سانتی گراد درصد جوانه زنی روند نزولی داشته است به طوری که در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی گراد درصد جوانه زنی به ترتیب به ۲۲ و ۱۲ درصد کاهش یافته است. برادفورد (Bradford, 2002) بیان داشت کاهش درصد جوانه زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌تواند به دلیل تاخوردگی نامناسب پروتئین‌ها، اختلال در کار غشای زیستی و اثرات متقابل دمای بالا و خشکی باشد. براساس این نتایج به نظر می‌رسد که سازگاری فرآیند جوانه زنی در بذر ارشته خطایی نسبت به دماهای پایین (۲۰) بیشتر از دماهای بالا باشد. بنابراین می‌توان ادعا کرد که پراکنش علف هرز ارشته خطایی در مناطق معتدل بیشتر باشد.

میزان همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد:

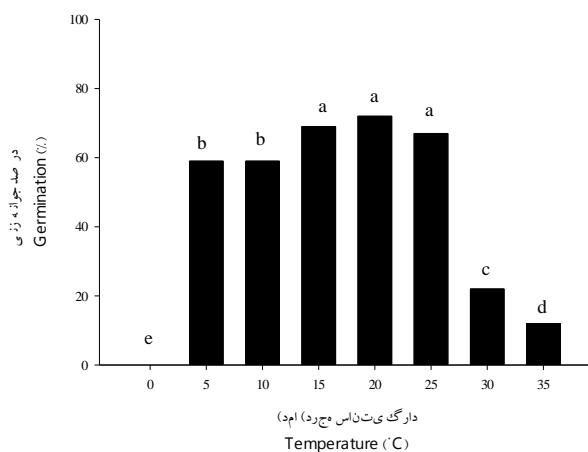
$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSG} \quad \text{معادله (۴)}$$

در این معادله، SSE و SSG به ترتیب مجموع مربعات خطا و مجموع مربعات کل هستند. هر چه مقدار R^2 بیشتر باشد نشان دهنده این است که مدل درصد جوانه زنی در دماهای مختلف را بهتر برآورد نموده است. تجزیه آماری درصد جوانه زنی با استفاده از برنامه آماری SAS و مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. برازش مدل‌ها نیز به کمک رویه PROCNLINE توسط نرم افزار SAS و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Sigma Plot نسخه 12.5 انجام گرفته است.

نتایج و بحث

درصد جوانه زنی

نتایج مقایسه میانگین اثر دماهای کاردینال برای درصد جوانه زنی نشان داد که در دمای صفر درجه سانتی گراد درصد جوانه زنی ارشته خطایی کاملاً متوقف شد. همچنین میانگین درصد جوانه زنی بذر ارشته خطایی حاکی از آن



شکل ۱- درصد جوانه زنی بذر ارشته خطایی در دماهای مختلف

Figure 1- Germination percentage of *Lepyrodiclis holosteoides* seeds under different temperatures

ارزیابی مدل‌های رگرسیونی

مدل بتا ۴ پارامتره بود، به طوری که مقدار شاخص آکائیک برای مدل ۵ پارامتری بتا برابر با ۷۳/۲۷- بدست آمد در صورتی که این شاخص برای مدل ۴ پارامتری بتا ۷۳/۱۶- تخمین زده شد. همچنین مقایسه مدل‌ها با در نظر گرفتن سنجه ریشه میانگین مربعات خطا نشان داد که مدل‌های ۴ و ۵ پارامتری بتا، به ترتیب با ۰/۰۰۹۲ و ۰/۰۰۹۱ بیشترین دقت را در تخمین دماهای کارینال داشتند (جدول ۲).

جدول ۲ مقادیر برازش داده شده برای پارامترهای توابع و نکویی برازش مدل‌ها را بر حسب معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و سنجه آکائیک (AIC) نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش مدلی بیانگر آن است که بهترین مدل برای نشان دادن الگوی سرعت جوانه‌زنی بذر ارشته خطایی به دمای جوانه‌زنی مدل ۴ و ۵ پارامتری بتا بوده است. برآوردهای آماری حاکی از آن است که مدل بتا ۵ پارامتره بسیار نزدیک به

جدول ۲- پارامترهای برآورده شده برای جوانه زنی بذر ارشته خطایی با استفاده از مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا (۴ پارامتره و ۵ پارامتره)

Table 2- Estimated parameters for seed germination of *Lepyrodiclis holosteoides* using segmented, dent-like and beta (4 and 5 parameter) functions

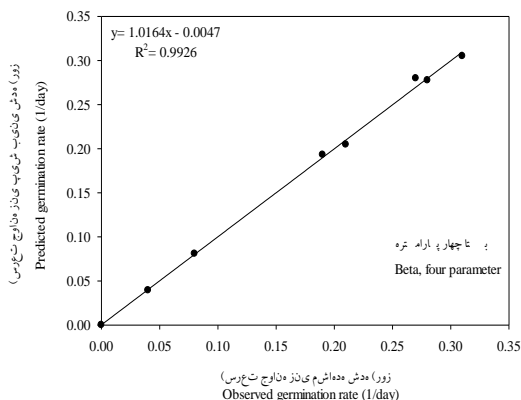
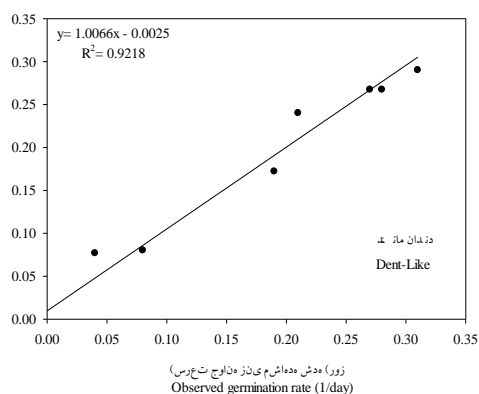
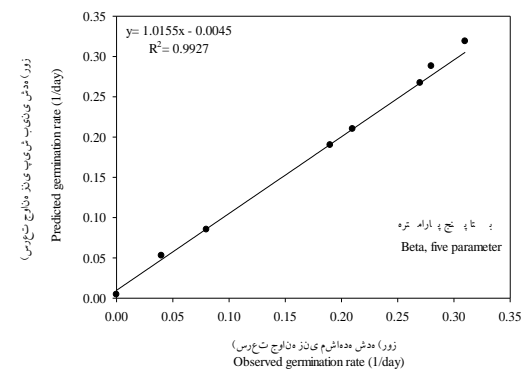
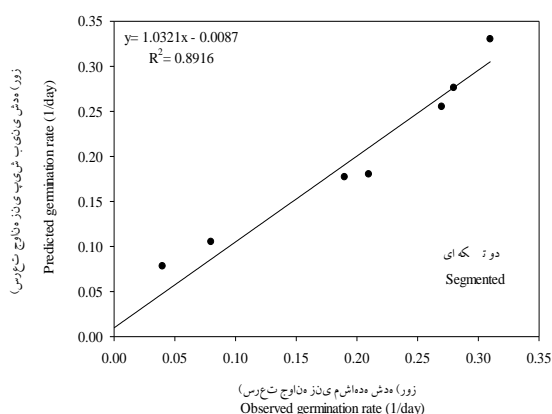
توابع Functions	پارامتر Parameter	مقدار برآورد شده Estimated quantity	خطای استاندارد Standard error	مقدار احتمال P value
دو تکه‌ای Segmented	T _b (°C)	0.48	(1.54)	0.077
	T _o (°C)	20.72	(1.65)	0.0002
	T _c (°C)	39.98	(2.98)	0.0002
	AIC	-54.41	-	-
	RMSE	0.029	-	-
دندان مانند Dent-like	T _b (°C)	2.96	(1.14)	0.0821
	T _{o1} (°C)	15.79	(1.41)	0.0015
	T _{o2} (°C)	22.86	(2.04)	0.0015
	T _c (°C)	39.98	(2.03)	0.0003
	AIC	-62.68	-	-
بتا ۴ پارامتره Beta, four parameter	RMSE	0.017	-	-
	T _b (°C)	4.29	(0.339)	0.0002
	T _o (°C)	19.76	(0.426)	0.0001
	T _c (°C)	37.55	(0.45)	0.0001
	f _o	3.19	(0.064)	0.0001
بتا ۵ پارامتره Beta, five parameter	AIC	-73.16	-	-
	RMSE	0.0092	-	-
	T _b (°C)	4.22	(0.562)	0.0049
	T _o (°C)	19.72	(0.536)	0.0001
	T _c (°C)	37.83	(1.69)	0.0002
	a	0.9	(0.204)	0.0217
	f _o	3.18	(0.091)	0.0001
	AIC	-73.27	-	-
	RMSE	0.0091	-	-

T: دما، T_b: دمای پایه، T_o: دمای بهینه، T_{o1}: دمای بهینه پایین، T_{o2}: دمای بهینه بالا، T_c: دمای حداکثر، a، پارامتر شکل تابع و f_o ضریب رگرسیونی است. RMSE: ریشه دوم میانگین مربعات خطا و AIC: شاخص آکائیک

T: is temperature, T_b: base temperature T_o, optimum temperature, T_{o1}, the lower optimum temperature, T_{o2}, upper optimum temperature, T_c, ceiling temperature, a, shape parameter for the function and f_o, regression coefficient. RMSE: Root Mean Squared of Error and AIC Akaike Information Criterion

از سرعت جوانه‌زنی ارابه نماید به طوری که مدل دو تکه‌ای با شاخص آکائیک برابر با ۵۴/۴۱- و ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۰/۰۲۹ در مقایسه با سایر مدل‌ها برآزش ضعیف‌تری را ارائه داد، زیرا همخوانی کمتری میان داده‌های درصد جوانه‌زنی و منحنی پیش‌بینی مدل وجود داشت (جدول ۲).

رابطه خطی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده نیز مؤید اعتبار بالای مدل‌های مذکور می‌باشد، به طوری که مقدار R^2 در هر دو مدل ۴ و ۵ پارامتره بتا برابر با ۰/۹۹ بود (شکل ۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد در مدل‌های با قابلیت اعتماد کمتر (مثل دندان مانند و دو تکه ای)، مدل دندان مانند توانست نسبت به مدل دو تکه‌ای برآزش بهتری



شکل ۲- رابطه (ضریب تبیین، R^2) بین سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی شده (خطوط) و مشاهده شده (نقاط). در مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا Figure 2- The relationship (coefficient of determination, R^2) between germination rate predicted (lines) and observed (points). The two-piece models, such as teeth and beta

که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند تنها در حدی است که پارامترهای برآورد شده بتوانند بهترین زمان اعمال شیوه‌های کنترلی مانند استفاده از علف‌کش یا وجین را تعیین نمایند. در بررسی منابع نیز بیشتر گیاهانی که از نظر رشدی به این علف‌هرز نزدیک بودند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به طور مثال پرمون و همکاران (Parmoon et al., 2015) در برآزش دماهای کاردینال

ضریب تبیین رابطه خطی بین مقدار شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده شده در مدل دندان مانند و مدل دو تکه‌ای به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۹ برآورد شد که بیانگر برتری مدل دندان مانند نسبت به مدل دو تکه‌ای بود (شکل ۲). با توجه به این که اطلاعات در مورد واکنش جوانه‌زنی بذر علف‌هرز ارشته خطایی نسبت به دما محدود است، لذا درستی و صحت پارامترهای برآورد شده توسط مدل‌هایی

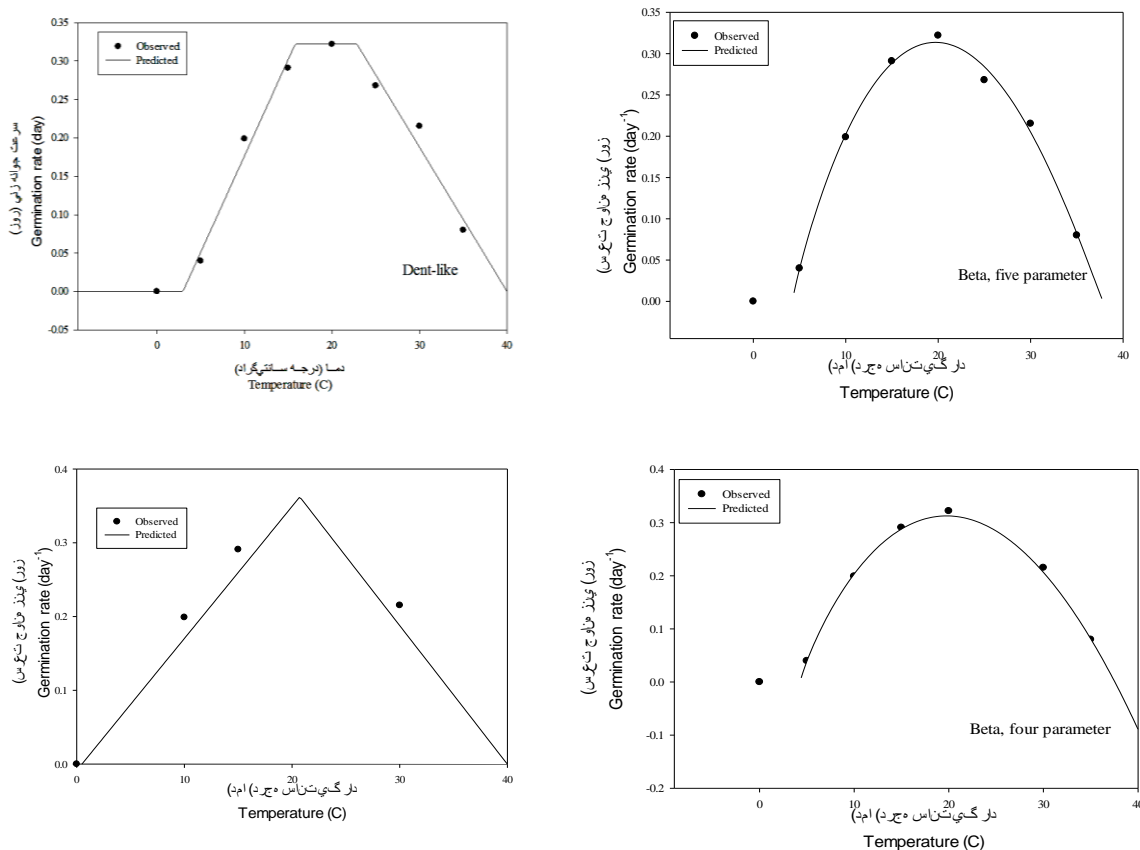
مختلف یک تیره در ارتباط نزدیک با منشأ ژنتیکی و زیستی آن‌ها باشد (Trudgill *et al.*, 2000).

دمای بهینه جوانه‌زنی در توابع دو تکه‌ای، بتا ۴ پارامتره و بتا ۵ پارامتره به ترتیب برابر با ۲۰/۷۲، ۱۹/۷۶ و ۱۹/۷۲ و دمای بهینه پایین و بالا برای تابع دندان مانند به ترتیب ۱۵/۷۹ و ۲۲/۸۶ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۲ و شکل ۳). حداکثر سرعت جوانه‌زنی بذر ارشته خطایی در محدوده دمایی ۱۹-۲۳ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت که با توجه به منشأ این علف هرز که بیشتر از مناطق معتدل است، دور از انتظار نبود. میجانی و همکاران (Mijani *et al.*, 2012) دمای بهینه جوانه‌زنی بذر ارشته خطایی را ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد عنوان کرد. هازار و بکتیر (Hazar and Baktir, 2012) با بررسی سطوح مختلف دمایی در گیاه قرنفل (*Dianthus barbatus*) بیان داشتند که بالاترین سرعت جوانه‌زنی بذر این گیاه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده است. اوزدندر و کوتبات (Ozdener and Kutbat, 2008) اظهار داشتند که دمای بهینه جوانه‌زنی علف هرز *Spergularia marina* در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر دمای جوانه‌زنی بذر ارشته خطایی بر اساس مدل‌های برتر (مدل بتا ۴ و ۵ پارامتره) به ترتیب ۳۷/۵۳ و ۳۷/۸۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (جدول ۲). دمای حداکثر برای مدل‌هایی که برازش قابل قبولی نداشت (مدل دو تکه‌ای و دندان مانند) بالاتر از مدل‌های برتر بود. بر اساس این نتایج به نظر می‌رسد شیب خط رگرسیون که بیانگر میزان تأثیرپذیری سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما است در مدل‌های مورد بررسی مشابه بوده است. به عبارت دیگر، واکنش‌پذیری فرآیند جوانه‌زنی بذر ارشته خطایی از تغییرات دمایی (نسبت به دمای مطلوب) باعث می‌گردد تا سرعت جوانه‌زنی با آهنگ مشابهی کاهش و افزایش یابد (شکل ۳). این نتایج بیانگر آن است که این علف هرز در دامنه وسیعی از دما قادر به جوانه‌زنی خواهد بود.

علف هرز ماریتیغال (*Silybum marianum*) با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا بهترین مدل را مدل ۵ پارامتری بتا معرفی کردند. در آزمایشی که به منظور مدل‌سازی واکنش سبز شدن گیاه سازویی (*Scrophularia striata*) به دما انجام شد گزارش شد که مدل‌سازی صورت گرفته به وسیله تابع بتا از اعتبار بیشتری برخوردار بوده است (Karavani *et al.*, 2014). عسگرپور و همکاران (Asgarpour *et al.*, 2014) نیز در بررسی اثر دما بر سرعت جوانه‌زنی بذر دو توده علف شور (*Salsola kali L.*) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی اظهار داشتند که مدل ۵ پارامتری بتا برای توده خراسان رضوی و مدل خطوط متقاطع برای توده خراسان شمالی مناسب‌ترین برازش‌ها بودند. با این وجود، در یک تحقیقی دیگر خلج و همکاران (Khalaj *et al.*, 2012) در برازش دماهای کاردینال کلزا و علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ، مدل دو تکه‌ای را به عنوان بهترین مدل معرفی کردند. اختلاف مدل‌های رگرسیونی مورد مطالعه بین گونه‌ها را می‌توان به تفاوت در دمای پایه و احتیاجات دمایی خاص برای تکمیل مراحل نمو گیاهان نسبت داد.

تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی ارشته خطایی

نتایج بدست آمده بیانگر آن است که دمای پایه برآورد شده به وسیله مدل‌های برتر بتا ۴ پارامتره و بتا ۵ پارامتره با اختلاف کم از هم به ترتیب ۴/۲۹ و ۴/۲۲ درجه سانتی‌گراد بوده است در حالی که مقادیر برآورد شده به وسیله مدل‌های دو تکه‌ای و دندان مانند به ترتیب ۰/۴۸ و ۲/۹۶ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۲ و شکل ۳). ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2015) اظهار داشتند دمای پایه در علف هرز گندمک (*Setaria viridis*) که خویشاوند ارشته خطایی می‌باشد برابر با ۴/۸ درجه سانتی‌گراد است. با این وجود غفاری و همکاران (Ghaffarri *et al.*, 2015) دمای پایه علف هرز کهورک (*Prosopis farcta L.*) از تیره ارشته خطایی را ۱۵ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. به نظر می‌رسد اختلاف زیاد بین دمای پایه در گیاهان



شکل ۳- رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی در مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند، بتا (۴ و ۵ پارامتره) در ارشته خطایی. خطوط مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و نقاط مقادیر مشاهده شده می‌باشند.

Figure 3- Relationship between temperature and germination rate in different regression models *Lepyrodictis holosteoides* in the plant. Symbols and lines indicate observed and predicted values, respectively.

۱۹/۷۲ و ۳۷/۸۳ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. بنابراین، از این مدل و پارامترهای حاصل از آن می‌توان در پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر این علف هرز مهاجم استفاده نمود. بی‌شک، ارزیابی تعداد بیشتری از مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی تحت تیمارهای مختلف دمایی و رطوبتی و نیز سایر عوامل محیطی مؤثر بر فرآیند جوانه‌زنی می‌تواند محققین را در درک بهتر نیازهای اکولوژیک جوانه‌زنی این علف هرز مهاجم کمک نماید.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که واکنش جوانه‌زنی بذر ارشته خطایی نسبت به دما با استفاده از مدل‌های ۴ و ۵ پارامتری بتا به بهترین شکل قابل توصیف است. دمای پایه، بهینه و حداکثر جوانه‌زنی بذر این علف هرز توسط مدل ۴ پارامتره بتا به ترتیب ۴/۲۹، ۱۹/۷۶ و ۳۷/۵۵ درجه سانتی‌گراد و توسط مدل ۵ پارامتره بتا به ترتیب ۴/۲۲،

Reference

منابع

- Akram-Ghaderi, 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. Univ. Agric. Sci. Nat. Res., 180p. (In Persian.).
- Alvarado, V., and K.J. Bradford, 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperature for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25:1061-1069.
- Asgarpour, R., S. Mijani, and R. Ghorbabi, 2014.** Effect of temperature on germination rate of Russian thistle (*Salsola kali* L.) based on regression models. *Journal of Plant Protection.* 27: 476-483. (In Persian, with English Abstract.).
- Bakhshandeh, E., R. Ghadiryan, S. Galeshi and E. Soltani, 2011.** Modelling the effects water stress and temperature on seed germination of Soybean (*Glycine max* L.) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti* med.). *J. Plant Prod.* 18: 29-48 (In Persian, with English Abstract.).
- Behshtian Mesgran, M., Rahimian Mashhadi, H. Alizadeh, H. Ohadi, S. and Zare, A. 2013.** Modeling the germination responses of wild barley (*Hordeum spontaneum*) and littleseed canary Grass (*Phalaris minor*) to temperature. *Iran. Weed Sci.* 9: 105-118. (In Persian, with English Abstract.).
- Bradford, K.J. 2002.** Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50: 248-260.
- Dashti, M., M. Kafi, Tavakkoli, and M. Mirza, 2015.** Cardinal temperatures for germination of *Salvia leriifolia* Benth. *Herba Polonica.* 61: 5-18.
- Derakhshan, A., J. Gherekhloo, and E. Paravar, 2013.** Estimation of cardinal temperatures and thermal time requirement for *Cyperus difformis* seed germination. *Iran. J. Weed Sci.* 9: 27-38. (In Persian, with English Abstract.).
- Forcella, F., R.L. Benech-Arnold, R. Sanchez, and C.M. Ghera, 2000.** Modeling seedling emergence. *Field Crops Res.* 67: 123-139.
- Ghaffari, R., F. Mighani, and H. Salimi, 2015.** Germination ecophysiology of mesquite weed (*Prosopis farcta* L.). *Nova Biologica Reperta.* 1: 23-33.
- Ghanbari, A., S. Mijani, and R. Hosainabadi, 2012.** Investigation of salinity and osmotic stress on seed germination of *Lepydiclis* and germination recovery after salinity stress. 4th Iranian Weed Science Congress, Ahvaz, Iran.408-411. (In Persian, with English Abstract.).
- Grzesik, M. and Z. Romanowska-Duda, 2014.** Improvements in germination, growth, and metabolic activity of corn seedlings by grain conditioning and root application with *Cyanobacteria* and Microalgae. *Pol. J. Environ. Stud.* 23(4): 1147-1153.
- Hardegree, S.P. 2006.** Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann. Bot.* 97, 1115–1125.
- Hazar, D. and I. Baktir, 2012.** Effect of temperatures, growing media and seed age on germination of *Dianthus calocephalus* boiss seeds. *Acta Hort.* 937: 421-425.
- ISTA (International Seed Testing Association), 2008.** International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 24:155- 202.
- Jafari, N., M. Esfahani, and A. Sabouri, 2012.** Assessment of non-linear regression models to evaluate response of seedling emergence rate to temperature in three oil Seed rape seed cultivars. *Iranian J. Field Crop Sci.* 42: 857-868. (In Persian, with English Abstract.).
- Karavani, B., R. Tavakol Afshar, N. Majnoon Hosseini, and A. Mousavi, 2014.** Evaluation of germination parameters of *Scrophularia striata* under water and salinity stresses at different temperatures. *Iranian J. Field Crop Sci.* 45: 265-275. (In Persian, with English Abstract.).
- Khalaj, H., I. Allahdadi, H. Iran Nejad, GH.A. Akbari, M. Min Bashi, and M.A. Baghsetani, 2012.** Using nonlinear regression approach for prediction of cardinal temperature of canola and four common weeds. *J. Agroecol.* 1: 21-33. (In Persian, with English Abstract.).

- Lashkari, A., P. Rezvani Moghdadm, and A. Amin Ghafari, 2014.** Estimation of cardinal temperatures of (*Echium amoenum*) with application of regression mode. Iran. J. Field Crops Res. 12: 164-169. (In Persian, with English Abstract.).
- Mijani, S., A. Ghanbari, M. Serajchi, and A.R. Dehgahn, 2012.** Cardinal temperatures for germination of *Lepyrodiclis holosteoides*. 12th Iranian Crop Science congress. 4-6 September, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran. (In Persian, with English Abstract.).
- Minbashi Moeeni, M. 2011.** Preparation of weed species distribution of Iran wheat fields with GIS. Research Report, Iranian Research Institute Plant Protection (IRIPP). 300 Pp. (In Persian.).
- Mwale, S.S., S.N. Azam-Ali, J.A. Clark, R.G. Bradley, and M.R. Chatha, 1994.** Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Seed Sci. Technol. 22: 565-576.
- Ozdener, Y., and H.G. Kutbay, 2008.** Effect of salinity and temperature on the germination of *Spergularia marina* seeds and ameliorating effect of ascorbic and salicylic acids. J. Environ Biol. 29: 959-964.
- Parmoon, G.H., S.A. Mousavi, H. Akbari, and A. Ebadi, 2015.** Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. The Crop J. 3: 145-151.
- Piper, E.L., K.J. Boote, J.W. Jones, and S.S. Grimm, 1996.** Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. Crop Sci. 36: 1606-1614.
- Probert, R.J. 2000.** The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. In Seeds: The Ecology of Renege ration in Plant Communities (ed. M. Fenner), Pp. 261-292. CAB International, Wallingford.
- SigmaPlot 12.5.** software, Sigma Plot 2015 for Windows Version 12.5, SPSS Inc., 233 South Wacker Drive, 11thFloor, Chicago, IL 60606-6307.
- Sohrabi, S., M.H. Rashed Mohassel, M. Nassiri Mahalati, and S.K. Mousavi, 2013.** Determination of cardinal temperatures and effect of fluctuation temperature on tuberous root germination of invasive weed lesser celandine (*Ranunculus ficaria*).Iran. J. Field Crops Res. 10: 643-648. (In Persian, with English Abstract.).
- Soltani, A., E. Zeinali. S. Galeshi, and N. Latifi, 2001.** Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. Seed Sci. Technol. 29: 653-662. (In Persian, with English Abstract.).
- Soltani, A., F. Ghaderi-Far, and E. Soltani, 2008.** Application of germination in response to temperature and water potential in seed Science Research the first National Conference Sciences and Technology of seeds. Gorgan, Iran, 12-13 Nov. (In Persian, with English Abstract.).
- Trudgill, D.L., G.R. Squire, and K. Thompson, 2000.** A thermal time basis for comparing the germination requirements of some British herbaceous plants. New Phytol. 145: 107-114.
- Wise, A.N. and L.K. Binning, 1987.** Calculating the threshold temperature of development for weeds. Weed Sci. 35: 177-179.
- Yan, W., and L.A. Hunt, 1999.** An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. Ann. Bot. 84: 607-614.
- Zhang, H., Y. Tian, and D. Zhou, 2015.** A modified thermal time model quantifying germination response to temperature for C₃ and C₄ species in temperate grassland. Agric. 5: 412-426.

