



تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی بذر چهار علف‌هرز خانواده شب‌بویان

احمد زارع^{۱*}، مانده ملک پورشهرکی^۲، مریم عربی‌زاده^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، علوم علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۰

چکیده

مدل‌های رگرسیون ابزاری برای کمی‌کردن پاسخ جوانه‌زنی علف‌های هرز به دما می‌باشند. به‌منظور تعیین دمای کاردینال چهار علف‌هرز خانواده شب‌بویان منداب (*Eruca sativa* Mill)، خردل دروغین (*Hirschfeldia incana* L. Lagreze-Fossat)، خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و خاکشیربدل (*Erysimum repandum* L.)، چهار آزمایش جداگانه با نه دما (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. جوانه‌زنی علف‌های هرز در پاسخ به دما متفاوت و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تنها علف‌هرز خردل‌دروغین (۳۸ درصد) جوانه‌زنی داشت و جوانه‌زنی سایر علف‌های هرز کاملاً متوقف شد. براساس مدل‌های مورد استفاده، برای علف‌هرز منداب (مدل بتا پنج پارامتره)، خاکشیربدل (بتا چهارپارامتره)، خردل وحشی و خردل‌دروغین (دندان‌های) بهترین مدل برای تعیین دمای کاردینال بودند. دمای مطلوب جوانه‌زنی علف‌های هرز منداب و خاکشیربدل به ترتیب معادل ۱۹/۴۳ و ۱۶/۰۱ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد (بتا پنج و چهارپارامتره). همچنین دمای مطلوب تحتانی و فوقانی برای علف‌هرز خردل‌دروغین به ترتیب ۲۲/۲۷ و ۲۹/۲۶ و برای خردل وحشی ۲۳/۲۳ و ۲۷/۸۶ درجه سلسیوس به دست آمد (مدل دندان‌های). بیش‌ترین رویش علف‌های هرز منداب، خردل‌دروغین و خردل وحشی در آبان‌ماه و برای علف‌هرز خاکشیربدل از آذرماه تا بهمن‌ماه قابل انتظار می‌باشد. مدل‌سازی جوانه‌زنی در پاسخ به دما می‌تواند در مدیریت علف‌های هرز به‌ویژه در تعیین زمان کنترل علف‌های هرز مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: خاکشیربدل، خردل‌دروغین، مدل بتا، مدل دندان‌های، منداب.

Determining Cardinal Temperature for Seed Germination of Four Weeds Brassicaceae Family

Ahmad Zare^{1*}, Maede Malekpoor Shahraki², Maryam Arabizadeh²

1. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Weed science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

2. M. A. Student, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

Received: April 25, 2020

Accepted: December 27, 2020

Abstract

Regression models are a tool to quantify the weeds seed germination in response to temperature. In order to determinate the cardinal temperature of four weeds Brassicaceae family (*Eruca sativa*, *Hirschfeldia incana*, *Sinapis arvensis*, and *Erysimum repandum*), four separate experiments have been conducted at nine temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, and 45°C) as factorial, based on a complete randomized design (CRD) with three replications in Agricultural Science and Natural Resources University of Khuzestan during 2019. The First factor includes four weeds, and the second factor, weeds' response to temperature. These have been different at 40°C only. *H. incana* displays some germination (38%), whereas the germination of other weeds has been completely inhibited. Based on the used models, the best models to determine cardinal temperature for *E. sativa* has been Beta, five parameter; for *E. repandum*, Beta, four parameter; and for *S. arvensis*, and *H. incana*, Dent-like model. The optimum temperature for germination of *E. sativa* and *E. repandum* are predicted to be 19.43 and 16.01 °C (Beta four and five parameter models), respectively. Moreover, the lower and upper optimum temperatures for germination of *H. incana* and *Sinapis arvensis* have been achieved at 27.22, 29.26, 23.23, and 27.86 °C, respectively (at Dent-like model). The maximum emergence of *Eruca sativa*, *Hirschfeldia incana*, and *Sinapis arvensis* is expected in November and from December to February for *Erysimum repandum*. Modeling germination in response to temperature can be considered in weed management, especially when determining the control time of weeds.

Keywords: Beta model, dent-like model, *Erysimum repandum*, *Eruca sativa*, *Hirschfeldia incana*.

۱. مقدمه

برتری و موفقیت گونه‌های علف‌های هرز نتیجه ظرفیت بالای تولیدمثل، سازوکار کارآمد انتشار، بقا، سازگاری و رقابت است (DiTomaso et al., 2013). بیش‌تر علف‌های هرز یک‌ساله، تعداد بسیار زیادی بذر بارور به‌صورت سالیانه تولید می‌کنند و تولید بذر ریز فراوان به‌عنوان یک سازگاری متداول برای تضمین احتمال بالای انتشار و آلودگی مجدد می‌باشد (Hani et al., 2011). حضور یک گونه علف‌هرز به محیط اکولوژی (خاک، اقلیم)، عملیات کشاورزی (Hani et al., 2011)، شرایط خاک (اسیدیته خاک، بافت خاک) و تعداد بذر تولید شده مربوط می‌شود (Gardarin et al., 2011). عملکرد گیاه اغلب به استفاده دقیق از نشانه‌های محیطی برای کنترل فنولوژی یا زمان‌بندی فصلی وقایع زیستی بستگی دارد. دما به‌عنوان یکی از اولین فاکتورهای تأثیرگذار بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، که به‌طور مستقیم با آب‌نوشی بذر و فعالیت‌های بیوشیمیایی که متابولیسم درگیر در فرایند جوانه‌زنی را تنظیم می‌کند، عمل می‌نماید، بنابراین بیش‌تر گونه‌ها برای رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی، نیازمند دمای مناسب یا دمای متناوب هستند (Guo et al., 2020).

در علف‌های هرز، رفتار جوانه‌زنی بذر نیز مربوط به زمان تولید بذر و زمان سپری‌شده در زمان تشکیل بذر است و این رفتار مدیون شرایط محیطی است که توسط گیاه مادر در دوران بلوغ بذر تجربه کرده است (Cristaudo et al., 2016). جوانه‌زنی معمولاً به‌صورت خطی با افزایش دما تا دمای مطلوب افزایش می‌یابد و سپس با شیب زیادی کاهش می‌یابد (Fallahi et al., 2015). برای جلوگیری از آسیب‌دیدن گیاه‌چه پس از جوانه‌زنی، برای مقابله و فائق آمدن در محیط‌های با دمای بالا، ممکن است واکنش‌های فیزیولوژیکی در دانه‌ها اتفاق بیافتند (Guo et al., 2020). این نیاز اکولوژیک

می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی سازگاری برای تضمین شرایط مطلوب برای رشد و بقای گیاه‌چه در برخی گونه‌ها در نظر گرفته شود (Cresta et al., 2010). هم‌چنین درجه حرارت یکی از مهم‌ترین عناصر بیوشیمیایی در تعیین پاسخ بذر به تغییر شرایط محیطی است (Nakao & Cardoso, 2016).

پاسخ جوانه‌زنی به دما می‌تواند از طریق سرعت جوانه‌زنی شناسایی و با سه آستانه دمایی مشخص می‌شود که شامل دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب یا اپتیمم (T_o) و دمای سقف (T_c) می‌باشد (Sampayo-Maldonado et al., 2019). مشخص کردن دمای کاردینال و زمان گرمایی مفید برای یافتن دمای مطلوب برای سریع‌ترین جوانه‌زنی، به‌عنوان یک معیار جهت توزیع گونه‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم‌های مختلف، بسیار مفید می‌باشد (Boddy et al., 2012). دمای کاردینال در بین گونه‌ها، در بین جمعیت‌ها و حتی داخل یک گونه به‌عنوان یک ارتباط مستقیم با سازگاری متغیر می‌باشد (Ruiz-Corral, 2002). بنابراین مطالعات در مورد تأثیر دما بر جوانه‌زنی موردنیاز است، از آنجاکه این اقدام ضروری برای شناخت و آگاهی از بیولوژی علف‌های هرز می‌تواند در پیش‌بینی زمان کنترل، توزیع و پراکندگی علف‌های هرز در آینده کمک نماید (Bradford, 2002).

اثر دما روی علف‌های هرز خاکشیر^۱ و خردل وحشی^۲ (Kleemann et al., 2012)، علف ساعتی^۳ (Khalaj et al., 2007; Manalil et al., 2012)، شلمی^۴ (Khalaj et al., 2018)، خاکشیر شرقی^۵ (Chauhan et al., 2006)، منداب^۶ (Nejadhasan et al., 2017) و خردل‌روغین یا

1. *Descurania sophia*
2. *Sinapis arvensis*
3. *Diplotaxis tenuifolia*
4. *Rapistrum rugosum*
5. *Sisymbrium oriental*
6. *Eruca sativa*

استفاده شد. درون هر پتری روی دو لایه کاغذ صافی واتمن ۳۰ عدد بذر قرار داده شد. به هر پتری دیش ۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. شمارش بذرها در سه روز اول هر ۱۲ ساعت و در روزهای بعد به صورت روزانه بود. معیار جوانه‌زنی بذرها خروج ریشه‌چه به میزان دو تا سه میلی‌متر بود. طول مدت نگهداری بذرها در چهار علف‌هرز متفاوت بود، به طوری که برای خاکشیربدل به دلیل عدم جوانه‌زنی در روزهای اولیه، مدت زمان بیش‌تری در نظر گرفته شد (۳۰ روز) و برای علف‌های هرز منداب، خردل‌وحشی و خردل-دروغین این زمان ۱۷ روز بود. داده‌های دمای حداکثر و حداقل ۱۰ ساله اهواز در جدول (۱) بیان شده است.

برای تعیین دمای کاردینال در ابتدا درصد جوانه‌زنی تجمعی در برابر روزهای نمونه‌برداری از معادله سیگموئیدی (رابطه ۱) استفاده شد (Zhao et al., 2018) که برابر است با:

$$CG = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{(x-x_{50})}{b}\right)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، a حداکثر جوانه‌زنی، B شیب خط، X_{50} زمان مورد نیاز (روز) برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی می‌باشد.

همچنین جهت به‌دست‌آوردن سرعت جوانه‌زنی از رابطه (۲) استفاده شد (Soltani et al., 2013).

$$GR = \frac{1}{x_{50}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

دوتکه‌ای، دندان‌های، بتا‌پنج و چهارپارامتره جهت برآزش سرعت جوانه‌زنی علف‌های هرز مورد استفاده قرار گرفت که در جدول (۲) ارائه شده است (Derakhshan et al., 2013).

کاذب^۱ (Salimi & Fereydoonpoor, 2013) بررسی شده و در برخی از مدل‌های مختلف رگرسیون جهت تعیین دمای کاردینال استفاده شده است. برای علف‌هرز خاکشیربدل و خردل‌دروغین هیچ گونه اطلاعاتی در مورد دمای کاردینال در دسترس نیست. با توجه به شرایط آب‌وهوایی استان خوزستان و حضور علف‌های هرز خانواده شب‌بویان در مزارع کلزا و گندم، مقایسه جوانه‌زنی چهار علف‌هرز منداب، خردل‌وحشی، خردل‌دروغین و خاکشیربدل^۲ با استفاده از مدل‌های رگرسیونی به‌عنوان هدف پژوهش در نظر گرفته شد.

۲. مواد و روش‌ها

چهار آزمایش جداگانه با نه دما (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس) روی چهار علف‌هرز (منداب، خردل‌دروغین (کاذب)، خردل‌وحشی و خاکشیربدل) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. در ابتدا بذرها از مزارع کشاورزی استان خوزستان در زمان رسیدگی جمع‌آوری، خشک و غربال شدند. در ادامه پس از خشک‌کردن بذرها، آزمون جوانه‌زنی انجام شد. در علف‌های هرز منداب و خردل‌دروغین ۱۰۰ درصد بذرها جوانه زده، خردل‌وحشی و خاکشیربدل جوانه‌زنی نداشتند. به همین خاطر از اسید جیبرلیک ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۲۴ ساعت جهت شکست خواب

جدول ۱. دمای حداکثر و حداقل (سلسیوس) اهواز در ماه‌های مختلف سال در یک دوره ۱۰ ساله

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۳۹/۱۶	۲۹/۵۴	۲۱/۷۰	۲۰/۰۸	۱۹/۸۲	۲۵/۰۱	۳۰/۹۸	۳۸/۱۵	۴۵/۰۳	۴۷/۱۹	۴۷/۴۳	۴۵/۰۵
۲۲/۵۲	۱۶/۰۵	۹/۶۷	۹/۱۷	۸/۸۶	۱۲/۲۸	۱۷/۴۸	۲۳/۳۷	۲۸/۴۴	۳۰/۳۵	۳۰/۷۹	۲۷/۸۵

1. *Hirschfeldia incana*
2. *Erysimum repandum*
3. Cumulative germination
4. Germination rate

جدول ۲. معادلات مورد استفاده دو تکه‌ای، دندانهای، بتا پنج و چهارپارامتره برای تعیین دمای کاردینال علف‌های هرز خانواده شب‌بویان

$f(T) = \frac{(T-T_b)}{(T_0-T_b)}$ if $T_b < T < T_0$	دو تکه‌ای
$f(T) = \frac{(T_c-T)}{(T_c-T_0)}$ if $T_0 < T < T_c$	
$f(T) = 0$ if $T < T_b$ or $T > T_c$	
$f(T) = \frac{(T-T_b)}{(T_{01}-T_b)}$ if $T_b < T \leq T_{01}$	دندانهای
$f(T) = \frac{(T_c-T)}{(T_c-T_0)}$ if $T_{02} < T \leq T_c$	
$f(T) = 1$ if $T_{01} < T \leq T_{02}$	
$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $t \geq T_c$	
$f(T) = \left[\frac{(T-T_b)}{(T_0-T_b)} * \frac{(T_c-T)}{(T_c-T_b)} \right]^a$	بتا پنج پارامتره
$f(T) = \left[\frac{(T-T_b)}{(T_0-T_b)} * \frac{(T_c-T)}{(T_c-T_b)} \right]^a$	بتا چهار پارامتره

۳. نتایج و بحث

۳.۱. درصد جوانه‌زنی

دو علف‌هرز منداب و خردل‌دروغین در دماهای ۱۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس دارای ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی بودند و این در حالی بود که در دمای پنج درجه سلسیوس تنها علف‌هرز منداب بود که جوانه‌زنی کامل (۱۰۰ درصد) داشت (شکل ۱). و در سه علف‌هرز خردل‌وحشی، خردل‌دروغین و خاکشیربدل میزان جوانه‌زنی به ترتیب ۵۶، ۴۱ و ۵۸ درصد بود (شکل ۱). نتایج نشان داد که در دمای پنج درجه سلسیوس دو علف‌هرز خردل‌وحشی و خاکشیربدل نسبت به خردل‌دروغین درصد جوانه‌زنی بیش‌تری داشتند. در دمای ۴۵ درجه سلسیوس در هیچ‌کدام از چهار علف‌هرز مورد مطالعه جوانه‌زنی مشاهده نشد. نکته قابل‌توجه درمورد جوانه‌زنی خردل‌دروغین در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بود که نتایج نشان داد این علف‌هرز قادر به ۳۸ درصد جوانه‌زنی بود (شکل ۱). نتایج پژوهش نشان داد که علف‌هرز خاکشیربدل نسبت به سایر علف‌های هرز در دماهای کم‌تر از ۲۰ درجه سلسیوس می‌تواند جوانه‌زنی بالاتری داشته باشد و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی به شدت کاهش و

در معادلات فوق T_b (دمای پایه)، T_0 (دمای مطلوب)، T_c (دمای حداکثر یا دمای سقف)، T_{01} (دمای مطلوب تحتانی)، T_{02} (دمای مطلوب فوقانی)، f_0 (حداقل زمان برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب)، a پارامترشکل در تابع بتا و T دمای آزمایش می‌باشند.

جهت نکویی برازش مدل‌های مختلف از دو شاخص زیر استفاده شد (رابطه‌های ۳ و ۴) که هرچه شاخص‌ها کم‌تر باشند نشان‌دهنده اعتبار بیش‌تر و نکویی بهتر مدل‌ها می‌باشد (Derakhshan et al., 2013). رابطه (۳) ریشه میانگین مربعات خطا

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_{obs} - Y_{pred})^2}$$

رابطه (۴) شاخص آکائیک

$$AICc = n \ln \frac{RSS}{N} + 2K + \left(\frac{2K(K+1)}{N-K-1} \right)$$

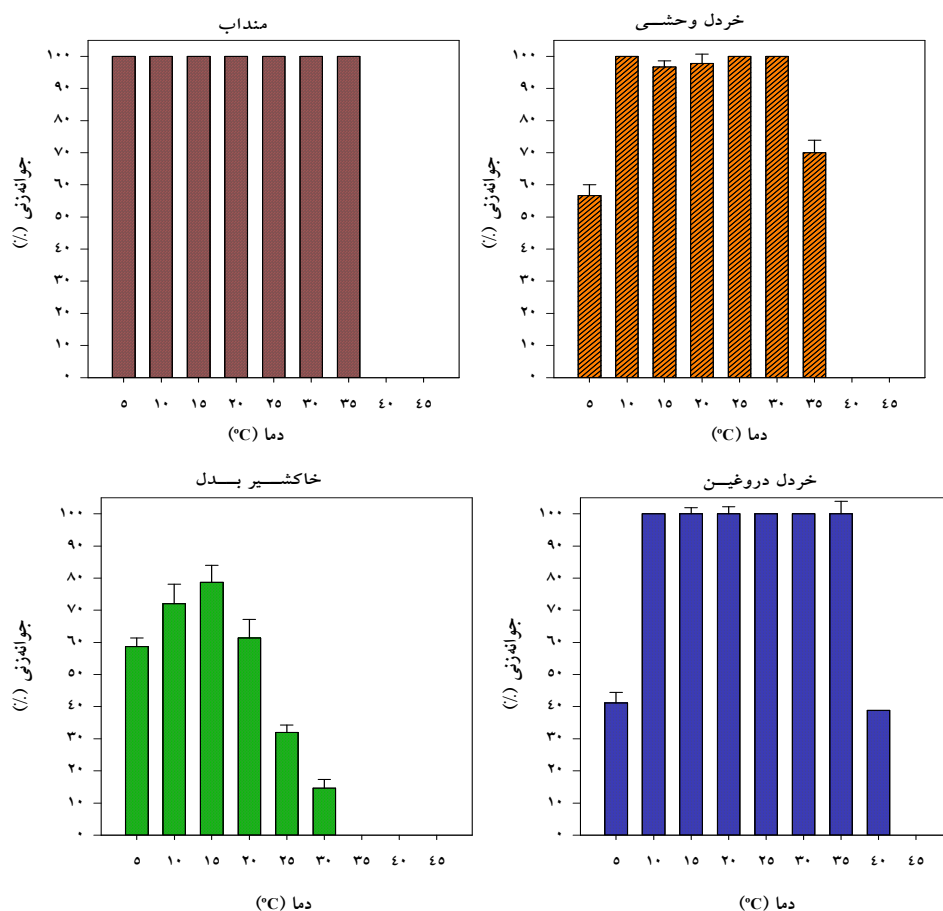
که در آن، n تعداد نمونه، RSS جمع مربعات باقیمانده و K تعداد پارامترهای مدل می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها براساس تجزیه رگرسیون و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار سیگماپلات (Sigmaplot 14) انجام شد.

تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی بذر چهار علف‌هرز خانواده شب‌بوئیان

ABA و کاهش غلظت اکسیژن محلول در دانه‌های خیس‌شده و آب جذب کرده می‌باشد (Ali-Rachedi *et al.*, 2004). بذرهای خردل دروغین جمع‌آوری شده از سانتیاگو در دامنه دمایی پنج تا ۴۰ درجه سلسیوس دارای جوانه‌زنی بودند و بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به دست آمد که با دمای ۲۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری نداشت (Castro *et al.*, 2016). هم‌چنین علف‌هرز منداب در دامنه دمایی یک تا ۴۰ درجه سلسیوس دارای جوانه‌زنی بود و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی آن متوقف شد (Jalilian & Khalili Aghdam, 2015).

به ۱۴ درصد رسید (شکل ۱). بهترین درجه حرارت برای درصد جوانه‌زنی در خاکشیربدل دمای ۱۵ درجه سلسیوس بود که در این دما جوانه‌زنی ۷۸ درصد ثبت شد (شکل ۱). هم‌چنین نتایج نشان داد که در دمای ۳۰ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی خردل وحشی نسبت به منداب و خردل دروغین کاهش یافت و در دمای ۳۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی برای خردل وحشی ۷۰ درصد و برای دو علف هرز منداب و خردل دروغین ۱۰۰ درصد به ثبت رسید (شکل ۱). در شرایط دمای بالا، حساسیت بذر نسبت به اسید آبسزیک (ABA) افزایش می‌یابد، که بخشی از آن به دلیل عدم توانایی جنین در غیرفعال کردن



شکل ۱. اثر دما بر درصد جوانه‌زنی علف‌های هرز منداب، خردل وحشی، خاکشیربدل و خردل دروغین. میله بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

۲.۳. برآورد پارامترهای مدل‌های مختلف دمای کاردینال

۱.۲.۳. خردل دروغین

مقایسه چهار مدل دو تکه‌ای، دندان‌های (دندان مانند)، مدل پنج پارامتره بتا و چهار پارامتره بتا برای خردل دروغین نشان داد که دمای پایه به ترتیب ۴/۶۷، ۴/۶۷، ۳/۴۹ و ۴/۸۵ درجه سلسیوس می‌باشد و دمای مطلوب جوانه‌زنی در سه مدل دو تکه‌ای، چهار پارامتره و پنج پارامتره بتا به ترتیب ۲۴/۵۰، ۲۴/۴۵ و ۲۴/۶۳ درجه سلسیوس به دست آمد (جدول ۳ و شکل ۲). در مدل دندان‌های دمای اپتیمم تحتانی (مطلوب تحتانی) و دمای مطلوب فوقانی (اپتیمم فوقانی) به ترتیب ۲۲/۳۷ و ۲۹/۲۶ درجه سلسیوس بود. دمای سقف در چهار مدل دو تکه‌ای، دندان‌های، پنج و چهار پارامتره بتا به ترتیب ۴۲/۳۳، ۴۲/۲۰، ۴۲/۷۰ و ۴۳/۴۴ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد (جدول ۳ و شکل ۲). مدل چهار پارامتره بتا دمای سقف را نسبت به سایر

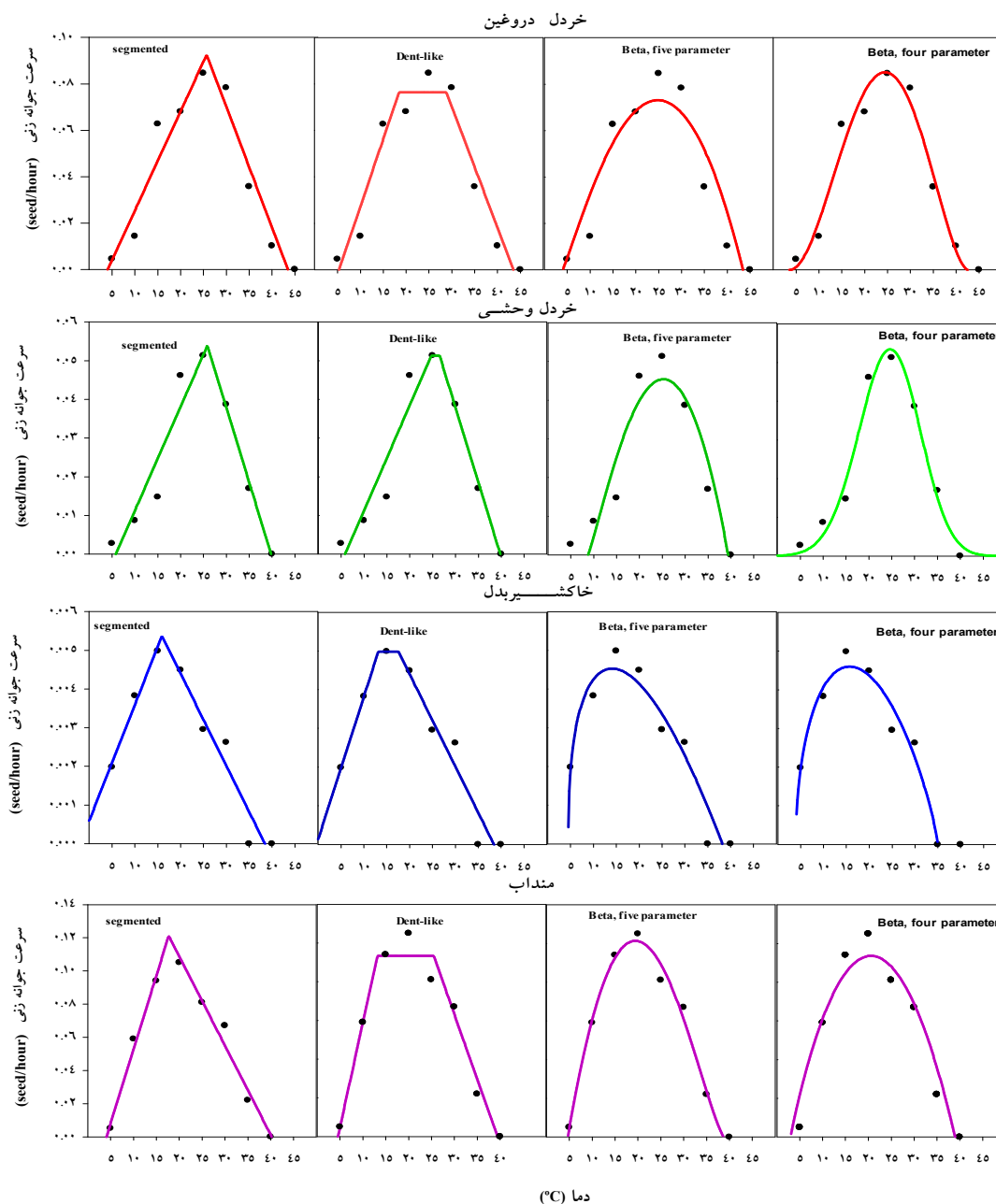
مدل‌ها بیش‌تر و مدل دندان‌های کم‌تر پیش‌بینی نمود. مدل پنج پارامتره بتا با داشتن همبستگی بالا (R^2) و هم‌چنین پایین بودن RMSE و شاخص آکائیک، برازش خوبی به دمای کاردینال خردل دروغین داد، اما ایراد اساسی در دمای پایه مطرح می‌باشد که خطای استاندارد آن بیش‌تر از عدد دمای پایه می‌باشد (جدول ۳). به نظر می‌رسد در بین چهار مدل برای دمای کاردینال، مدل دندان‌های مناسب‌تر می‌باشد. حضور خردل دروغین در مزارع کشاورزی استان خوزستان با توجه به دامنه جوانه‌زنی در دماهای پنج تا ۴۰ درجه سلسیوس (شکل ۱) و با توجه به تعیین دمای کاردینال، زمانی که دمای محیط بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس باشد بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی این علف‌هرز قابل انتظار می‌باشد و با توجه به شرایط آب‌وهوایی خوزستان، بهترین زمان برای دامنه جوانه‌زنی علف هرز خردل دروغین آبان‌ماه می‌باشد که دما در حال نزول است (جدول ۱).

جدول ۳. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی علف‌هرز خردل دروغین

معادلات	Tb	To	To1	To2	Tc	Fo	A	R ²	RMSE	A _{AIC}	دمای مطلوب			دمای پایه	
											تحتانی	فوقانی	سقف	ضریب	ضریب
دو تکه‌ای	۴/۶۷ (۱/۹۲)	۲۴/۵۰ (۱/۵۶)	-	-	۴۲/۳۳ (۲/۰۳)	۱۰/۵۵ (۰/۸۹)	-	۰/۹۷	۰/۰۱۱	-۵۶/۹۹	ضریب	ضریب	ضریب	ریشه میانگین	شاخص آکائیک
دندان‌های	۴/۶۷ (۱/۸۹)	-	۲۲/۳۷ (۳/۱۳)	۲۹/۲۶ (۱/۸۹)	۴۲/۲۰ (۲/۴۹)	۱۱/۸۲ (۱/۴۷)	-	۰/۹۸	۰/۰۱۳	-۳۵/۳۱	ضریب	ضریب	ضریب	ریشه میانگین	شاخص آکائیک
بتا پنج پارامتره	۳/۴۹ (۷/۳۹)	۲۴/۴۵ (۱/۲۰)	-	-	۴۲/۷۰ (۵/۰۶)	۱۱/۷۵ (۰/۹۲)	۲/۱۲ (۱/۸۶)	۰/۹۸	۰/۰۰۹	-۳۷/۹۴	ضریب	ضریب	ضریب	ریشه میانگین	شاخص آکائیک
بتا چهار پارامتره	۴/۸۵ (۲/۵۹)	۲۴/۶۳ (۲/۳۰)	-	-	۴۳/۴۴ (۱/۴۴)	۱۳/۶۰ (۱/۴۸)	-	۰/۹۳	۰/۰۱۶	-۵۰/۱	ضریب	ضریب	ضریب	ریشه میانگین	شاخص آکائیک

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی بذر چهار علف‌هرز خانواده شب‌بویمان



شکل ۲. مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی چهار علف‌هرز خردل دروغین، خردل وحشی، خاکشیر بدل و منداب

۲.۲.۳. خردل وحشی

تعیین دمای پایه خردل وحشی با استفاده از مدل دو تکه‌ای، دندانه‌ای و بتا چهارپارامتره، ۴ تا ۴/۵۰ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد. در مدل بتا پنج‌پارامتره دمای پایه کم‌تر از ۱ و معادل ۰/۱۰ درجه سلسیوس پیش‌بینی

شد، با توجه به خطای استاندارد دمای پایه و ضریب ثابت (a) مدل بتا پنج‌پارامتره نمی‌تواند مناسب باشد. دمای مطلوب جوانه‌زنی در سه مدل دو تکه‌ای، بتا پنج و چهارپارامتره به ترتیب ۲۶/۵۶، ۲۴/۶۲ و ۲۶/۰۹ درجه سلسیوس بود (جدول ۴ و شکل ۲).

جدول ۴. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی علف هرز خردل وحشی

معادلات	T _b	T ₀	T ₀₁	T ₀₂	T _c	F ₀	A	R ²	RMSE	A _{AIC}	دمای (°C)				
											دمای پایه	دمای مطلوب	دمای مطلوب تحتانی	دمای مطلوب فوقانی	دمای سقف
دو تکه‌ای	۴/۰۰	۲۶/۵۶	-	-	۳۸/۹۰	۱۸/۶۵	-	۰/۹۶	۰/۰۰۶	۴۳/۶۸	(۲/۶۴)	(۲/۲۷)	(۳/۳۹)	(۲/۲۴)	
دندان‌های	۴/۵۰	-	۲۳/۲۳	۲۷/۸۶	۳۸/۹۰	۲۰/۸۵	-	۰/۹۶	۰/۰۰۸	۱۲/۴۷	(۲/۹۹)	(۵/۰۳)	(۳/۹۵)	(۳/۸۴)	
بتا پنج پارامتره	۰/۱۰	۲۴/۶۲	-	-	۴۷/۳۵	۱۸/۹۲	۵/۸۱	۰/۹۹	۰/۰۰۵	۳/۳۷	(۲۶/۹۲)	(۰/۹۳)	(۲۳/۰۷)	(۱/۵۵)	
بتا چهارپارامتره	۴/۲۰	۲۶/۰۹	-	-	۳۹/۳۹	۲۲/۵۷	-	۰/۹۴	۰/۰۰۸	-۴۰/۳۳	(۷/۹۴)	(۲/۲۱)	(۱/۰۹)	(۲/۷۹)	

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می باشند.

هم‌چنین در آزمایشی دمای پایه خردل وحشی براساس مدل‌های دو تکه‌ای، دندان‌های و بتا به ترتیب ۲، ۵ و ۲ درجه سلسیوس به دست آمد (Khalaj et al., 2012).

۳.۲.۳. خاکشیریدل

دو مدل بتا چهار و پنج پارامتره دمای پایه این علف‌هرز را نسبت به دو مدل دو تکه‌ای و دندان‌های بیش‌تر و به ترتیب ۳/۹۴ و ۳/۲۸ درجه سلسیوس پیش‌بینی نمود (جدول ۵). دمای پایه در تابع دندان‌های ۰/۳۷ درجه و در دو تکه‌ای ۱/۹۸- درجه سلسیوس پیش‌بینی شد. دمای مطلوب در سه مدل دو تکه‌ای، بتا پنج و چهارپارامتره به ترتیب ۱۶/۵۰، ۱۵/۷۰ و ۱۶/۰۱ درجه سلسیوس به دست آمد (جدول ۵ و شکل ۲). دمای سقف خاکشیریدل در چهار مدل دو تکه‌ای، دندان‌های، بتا پنج و چهار پارامتره به ترتیب ۳۶/۶۲، ۳۵/۵۴، ۳۵/۰۳ و ۳۵/۳۲ درجه سلسیوس بود. در مدل دندان‌های دمای مطلوب تحتانی ۱۱/۷۰ و دمای مطلوب فوقانی ۲۳/۵۰ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد.

براساس مدل دندان‌های دمای مطلوب تحتانی ۲۳/۲۳ و دمای مطلوب فوقانی ۲۷/۸۶ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد (جدول ۴). دمای سقف خردل وحشی در سه مدل دو تکه‌ای، دندان‌های و بتا چهار پارامتره، ۳۸ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد اما در مدل بتا پنج پارامتره دمای سقف ۴۷ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد، که خطای استاندارد پارامتر نیز بسیار بالا پیش‌بینی شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد برای خردل وحشی دو مدل دو تکه‌ای و دندان‌های نسبت به مدل‌های بتا مناسب‌تر باشد، اگرچه با داشتن شاخص آکائیک کم‌تر مدل دندان‌های مناسب‌تر می‌باشد. دمای مطلوب جوانه‌زنی خردل وحشی دماهای بالاتر از ۲۰ درجه سلسیوس می‌باشد، البته تفاوت در پاسخ جوانه‌زنی خردل وحشی به دماهای مختلف از توده‌های مختلف، شرایط گیاه مادری و شرایط آب‌وهوایی گزارش شده است. دمای پایه خردل وحشی جمع‌آوری شده از دشت گرگان ۲۳/۱۸ درجه سلسیوس و دمای سقف آن ۳۵ درجه سلسیوس پیش‌بینی و هم‌چنین دمای پایه نیز منفی ۲/۸۹- برآورد شد (Soltani

جدول ۵. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی علف‌هرز خاکشیربذل

شاخص آکائیک	ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین	ضریب ثابت	ضریب رگرسیونی	دمای مطلوب (°C)					
					دمای سقف	دمای مطلوب فوقانی	دمای مطلوب تحتانی	دمای مطلوب	دمای پایه	معادلات
A _{AIC}	RMSE	R ²	A	F ₀	T _C	T _{O2}	T _{O1}	T _O	T _b	
-۴۰/۴۵	۰/۰۰۵	۰/۹۷	-	۱۸۰/۲۷ (۱۴/۴۲)	۳۶/۶۲ (۱/۹۹)	-	-	۱۶/۵۰ (۱/۵۴)	-۱/۹۸ (۳/۴۱)	دو تکه‌ای
-۹۵/۳۰	۰/۰۰۶	۰/۹۵	-	۲۲۴/۷۸ (۳۱/۳۸)	۳۵/۵۴ (۲/۳۲)	۲۳/۵۰ (۳/۰۸)	۱۱/۷۰ (۳/۷۰)	-	۰/۳۷ (۵/۵۷)	دندان‌های
-۱۰۰/۲۰	۰/۰۰۷	۰/۹۸	۰/۵۱ (۰/۵۱)	۲۱۷/۵۷ (۱۹/۴۴)	۳۵/۰۳ (۰/۶۶)	-	-	۱۵/۷۰ (۲/۷۶)	۳/۹۴ (۲/۵۶)	بتا پنج پارامتره
-۴۱/۹۰	۰/۰۰۵	۰/۹۸	-	۲۱۴/۲۱ (۱۳/۷۰)	۳۵/۳۲ (۱/۱۳)	-	-	۱۶/۰۱ (۱/۷۵)	۳/۲۸ (۱/۹۱)	بتا چهار پارامتره

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

تکه‌ای، دندان‌های و بتا به ترتیب ۱/۹، ۱/۶۷ و ۳ درجه سلسیوس به دست آمد و این در حالی بود که دمای مطلوب برای دو مدل دو تکه‌ای و بتا ۱۵ درجه سلسیوس و برای مدل دندان‌های ۱۴ به دست آمد. در کل، پژوهش‌های آنها نشان داد که مدل دو تکه‌ای برای علف‌های هرز خردل وحشی، خاکشیر، فالاریس و شلمی مناسب‌تر می‌باشد (Khalaj et al., 2012).

۴.۲.۳. منداب

برآورد دمای پایه برای چهار تابع دو تکه‌ای، دندان‌های، بتا پنج و چهار پارامتره به ترتیب ۴/۱۵، ۴/۱۵، ۴/۶۶ و ۴/۹۲ درجه سلسیوس بود (جدول ۶). تخمین دمای مطلوب در سه مدل دو تکه‌ای، بتا پنج و چهار پارامتره برابر با ۱۷/۶۶، ۱۹/۴۳ و ۱۹/۱۹ درجه سلسیوس بود (جدول ۶ و شکل ۲). در مدل دندان‌های دمای مطلوب تحتانی ۱۵/۸۲ و دمای مطلوب فوقانی ۲۱/۸۶ درجه سلسیوس بود. دمای سقف جوانه‌زنی نیز در چهار مدل دو تکه‌ای، دندان‌های، بتا پنج و چهار پارامتره به ترتیب ۴۰/۲۵، ۳۹/۶۳، ۳۹/۰۲ و ۳۹/۱۷ درجه سلسیوس بود.

نتایج علف هرز خاکشیربذل نشان داد که این علف‌هرز نسبت به علف‌های هرز خردل‌دروغین، خردل‌وحشی و منداب در دماهای پایین‌تر دارای سرعت جوانه‌زنی بالاتری می‌باشد. احتمالاً این گونه از خاکشیر در ماه‌های آذر، دی و بهمن دارای جوانه‌زنی می‌باشد که در این ماه‌ها دمای خاک می‌تواند به این مقدار برسد و با توجه به نتایج در دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی بسیار کم خواهد شد. با توجه به دماهای بالای هوا در ماه‌های مهر، آبان و همچنین اسفند می‌توان گفت انتظار حضور این علف‌هرز را در ماه‌های ذکر شده در مزارع استان خوزستان کم‌تر است (جدول ۱). پژوهش‌های مستندی بر دمای کاردینال و پاسخ خاکشیربذل به دما مشاهده نشد، اما دمای کاردینال خاکشیر^۱ براساس مدل بتا و دو تکه‌ای به ترتیب ۱۷ و ۲۶ درجه سلسیوس به دست آمد. همچنین براساس مدل دندان‌های، دمای مطلوب تحتانی و دمای مطلوب فوقانی به ترتیب ۱۹ و ۲۸ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد. همچنین دمای پایه علف‌هرز شلمی نیز در این پژوهش براساس سه مدل دو

1. *Descurania sophia* L.

جدول ۶. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی علف‌هرز منداب

معادلات	Tb	T ₀	T ₀₁	T ₀₂	T _c	F ₀	A	R ²	RMSE	A _{AIC}	دمای پایه	دمای مطلوب	دمای مطلوب	دمای مطلوب	دمای سقف	ضریب رگرسیونی	ضریب ثابت	ضریب تبیین	ریشه میانگین مربعات خطا	شاخص آکائیک	
											(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)						
دو تکه‌ای	۴/۱۵	۱۷/۶۶	-	-	۴۰/۲۵	۸/۲۳	-	۰/۹۹	۰/۰۰۸	-۴۲/۸۵	(۰/۹۰)	(۰/۸۴)	(۱/۱۷)	(۰/۳۹)							
دندان‌های	۴/۱۵	-	۱۵/۸۲	۲۱/۸۶	۳۹/۶۳	۹/۵۳	-	۰/۹۹	۰/۰۱۱	۱۱/۷۵	(۰/۹۵)	(۱/۳۳)	(۲/۳۳)	(۲/۱۱)	(۳۱/۳۸)						
بتا پنج‌پارامتره	۴/۶۶	۱۹/۴۳	-	-	۳۹/۰۲	۹/۸۴	۱/۰۵	۰/۹۹	۰/۰۰۶	۷/۲۵	(۰/۶۸)	(۰/۷۹)	(۳/۶۷)	(۰/۴۶)	(۰/۳۲)						
بتا چهارپارامتره	۴/۹۲	۱۹/۱۹	-	-	۳۹/۱۷	۱۰/۴۸	-	۰/۹۸	۰/۰۰۷	-۳۹/۳۰	(۰/۲۹)	(۱/۲۷)	(۰/۸۹)	(۰/۵۸)							

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

خردل‌دروغین و خردل‌وحشی توانایی جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سلسیوس داشتند، درحالی‌که جوانه‌زنی خاکشیربدل در دماهای کم‌تر از ۲۵ درجه سلسیوس در بهترین شرایط بود. توسعه مدل‌های ریاضی جهت تعیین دمای کاردینال چهار علف‌هرز نشان داد که برای علف‌هرز منداب مدل بتا پنج پارامتره، خاکشیربدل مدل بتا چهارپارامتره، خردل‌وحشی و خردل‌دروغین مدل دندان‌های مناسب‌تر بودند.

هم‌چنین نتایج نشان داد که در بین علف‌های هرز، علف‌هرز خردل‌دروغین در دمای ۴۰ درجه سلسیوس می‌تواند جوانه‌زنی داشته باشد و در سایر علف‌های هرز در دمای ۴۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی متوقف می‌شود. با توجه به میانگین دمای حداکثر و حداقل دوره ۱۰ ساله (جدول ۱) براساس نتایج آزمایش انتظار می‌رود بیش‌ترین جوانه‌زنی و رویش علف‌هرز خاکشیربدل در ماه‌های آذر تا بهمن که دمای محیط پایین باشد، حادث شود و جوانه‌زنی و رویش علف‌های هرز خردل‌وحشی، منداب و خردل‌دروغین در آبان‌ماه قابل‌انتظار می‌باشد (جدول ۱).

به‌نظر می‌رسد مدل بتا پنج پارامتره نسبت به مدل‌های دیگر با شاخص آکائیک و ریشه میانگین مربعات خطا به‌عنوان مدل برتر می‌تواند در نظر گرفته شود، اگر چه مدل دندان‌های نیز می‌تواند با توجه به شاخص آکائیک و ریشه میانگین مربعات خطا کم‌تر مناسب باشد. پژوهش‌های *Nejadhasan et al.* (2017) نشان داد که براساس مدل بتا پنج پارامتره دمای پایه، مطلوب و دمای سقف منداب جمع‌آوری شده از بافت یزد به ترتیب ۰/۵۰-، ۳۰/۵۵ و ۴۰ درجه سلسیوس بود. نتایج پژوهش‌های *Jalilian & Khalili Aghdam* (2015) نشان داد که در مدل دندان‌های به‌کار برده شده برای سرعت جوانه‌زنی منداب، دمای پایه آن ۰/۷۹ درجه سلسیوس، دمای مطلوب تحتانی ۱۶/۹ و دمای مطلوب فوقانی ۳۲/۵ و دمای سقف ۴۷/۶ درجه سلسیوس می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پاسخ چهار علف‌هرز خانواده شب‌بویان متفاوت بود. علف‌های هرز منداب،

- Cristaudo, A., Gresta, F., Restuccia, A., Catara, S., & Onofri, A. (2016). Germinative response of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) to environmental conditions: Is there a seasonal pattern? *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 150(3), 583-591.
- Derakhshan, A., Gherekhloo, J., & Paravar, E. (2013). Estimation of cardinal temperatures and thermal time requirement for *Cyperus difformis* seed germination. *Iranian Journal of Weed Science*, 9, 127-38. (In Persian).
- DiTomaso, J. M., Kyser, G. B., Oneto, S. R., Wilson, R. G., Orloff, S. B., Anderson, L. W. & Ransom, C. (2013). Weed control in natural areas in the western United States. Weed Research and Information Center, University of California, 544.
- Fallahi, H. R.; Mohammadi, M.; Aghhavani-Shajari, M., & Ranjbar, F. (2015). Determination of germination cardinal temperatures in two basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars using non-linear regression models. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 140-145.
- Gardarin, A., Dürr, C., & Colbach, N. (2011). Prediction of germination rates of weed species: Relationships between germination speed parameters and species traits. *Ecological Modelling*; 222, 626-636.
- Guo, C., Shen, Y., & Shi, F. (2020). Effect of Temperature, Light, and Storage Time on the Seed Germination of *Pinus bungeana* Zucc. ex Endl: The Role of Seed-Covering Layers and Abscisic Acid Changes. *Forests*, 11(3), 300. <https://doi.org/10.3390/f11030300>.
- Hani, M., Fenni, M., & Bouharati, S. (2011). Inference system for identification of cereals weeds seeds. *Journal of Environmental Science and Engineering*; 5, 1337-1342.
- Jalilian, J., & Khalili-Aghdam, N. (2015). Effect of alternative temperature on germination rate of Rocket seed (*Eruca sativa*). *International Journal of Seed Research*, 2(1), 127-133. (In Persian).
- Khalaj, H., Allahdadi, I., Irannejad, H., Akbari, G. A., Minbashi, M., & Baghestani, M. A. (2012). Using nonlinear regression approach for prediction of cardinal temperature of canola and four common weeds. *Journal of Agroecology*, 21-33. (In Persian).
- Kleemann, S. G., Chauhan, B. S., & Gill, G. S. (2007). Factors affecting seed germination of perennial wall rocket (*Diploaxis tenuifolia*) in Southern Australia. *Weed Science*, 55(5), 481-485.
- Manalil, S., Ali, H. H., & Chauhan, B. S. (2018). Germination ecology of turnip weed (*Rapistrum rugosum* L.) All. in the northern regions of Australia. *PloS one*, 13(7), 1-12.

بنابراین جوانه‌زنی و رویش در آبان‌ماه در محصولات پاییزه، می‌تواند در انتخاب زمان کاربرد علف‌کش‌های پس‌رویشی تأثیرگذار باشد. هم‌چنین علاوه بر دو شاخص آکائیک و ریشه میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد پارامترهای مدل نیز بایستی در نکویی مدل‌ها و اعتبارسنجی موردتوجه قرار گیرد.

۵. تشکر و قدردانی

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به جهت در اختیار قراردادن تجهیزات و امکانات آزمایشگاهی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Ali-Rachedi, S.; Bouinot, D.; Wagner, M. H.; Bonnet, M.; Sotta, B.; Grappin, P., & Jullien, M. (2004). Changes in endogenous abscisic acid levels during dormancy release and maintenance of mature seeds: Studies with the Cape Verde Islands ecotype, the dormant model of *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, 219, 479-488.
- Boddy, L.G., Bradford, K.J., & Fischer, A.J. (2012). Population-based threshold models describe weed germination and emergence patterns across varying temperature, moisture and oxygen conditions. *Journal of Applied Ecology*, 49(6), 1225-1236.
- Bradford, K.J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50, 248-260.
- Castro, S. A., Figueroa, J. A., & Escobedo, V. (2016). Effect of the harvest year and cultivation temperature on the germination of *Hirschfeldia incana* (Brassicaceae): inferences on its invasiveness in Chile. *Brazilian Journal of Botany*, 39(1), 193-196.
- Chauhan, B. S., Gill, G., & Preston, C. (2006). Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of Oriental mustard (*Sisymbrium orientale*). *Weed Science*, 54(6), 1025-1031.

- Nakao, E. A., & Cardoso, V. J. M. (2016). Analysis of thermal dependence on the germination of braquiarião seeds using the thermal time model. *Brazilian Journal of Biology*, 76(1), 162-168.
- Nejadhasan, B., Zeinali, E., Siahmarguee, A., Ghaderifar, F., & Soltani, E. (2017). Studying the response of seed germination of neglected plant arugula (*Eruca sativa* Mill.) to some environmental factors, *Journal of Plant Production Research*, 24(2), 77-91. (In Persian).
- Ruiz-Corral, J. A.; Flores-López, H. E.; Ramírez-Díaz, J. L., & González-Eguiarte, D. R. (2002). Cardinal temperatures and length of maturation cycle of maize hybrid H-311 under rainfed conditions. *Agrociencia*, 36, 569-577.
- Salimi, H., & Faridoonpour, M. (2013). Investigating the effect of environmental factors on seed germination of *Hirschfeldia incana* (L.) Lagr.-Foss. *Weed Research Journal*, 5(1), 71-84. (In Persian).
- Sampayo-Maldonado, S., Ordoñez-Salanueva, C. A., Mattana, E., Ulian, T., Way, M., Castillo-Lorenzo, E., Dávila-Aranda, P. D., Lira-Saade, R., Téllez-Valdéz, O., Rodríguez-Arevalo, N. I., & Flores-Ortiz, C. M. (2019). Thermal Time and Cardinal Temperatures for Germination of *Cedrela odorata* L. *Forests*, 10(10), 841. <https://doi.org/10.3390/f10100841>.
- Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi, F. F., & Zeinali, E. (2013). Seed germination modeling of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. *Journal of Plant Production*. 20(1), 19-33. (In Persian).
- Zhao, N., Li, Q., Guo, W., Zhang, L., & Wang, J. (2018). Effect of environmental factors on germination and emergence of shortawn foxtail (*Alopecurus aequalis*). *Weed Science*, 66(1), 47-56.