به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰
صفحه‌های ۴۲۸-۴۱۷

مقاله پژوهشی:

تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی بذر چهار علف‌هرز خانواده شب‌بوییان

احمد زارع[1*]، مائده ملک پورشهرکی[2]، مریم عربی‌زاده[2]
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 شب‌بوییان منداب (*Eruca sativa* Mill)، خردل دروغین (*Hirschfeldia incana* L. Lagreze-Fossat)، خردل‌وحشی (*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 مورداستفاده، برای علف‌هرز منداب (مدل بتا پنج پارامتره)، خاکشیربدل (بتا چهارپارامتره، خردل‌وحشی و خردل‌دروغین (دندانه‌ای) بهترین مدل برای تعیین دمای کاردینال بودند. دمای مطلوب جوانه‌زنی علف‌های‌هرز منداب و خاکشیربدل به‌ترتیب معادل ۱۹/۴۳ و ۱۶/۰۱ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد (بتا پنج و چهارپارامتره). هم‌چنین دمای مطلوب تحتانی و فوقانی برای علف‌هرز خردل‌دروغین به‌ترتیب ۲۲/۲۷ و ۲۹/۲۶ و برای خردل‌وحشی ۲۳/۲۳ و ۲۷ /۸۶ درجه سلسیوس به‌دست آمد (مدل دندانه‌ای). بیش‌ترین رویش علف‌های هرز منداب، خردل‌دروغین و خردل‌وحشی 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 موردتوجه 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 Shahraki[2], Maryam Arabizadeh[2]
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.

* نویسنده مسئول
Email: Ahmadzare@asnrukh.ac.ir

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 علف‌های‌هرز 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 حداکثرجوانه‌زنی، 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 فائق‌آمدن در محیط‌های با دمای بالا، ممکن است واکنش‌های فیزیولوژیکی در دانه‌ها اتفاق بیافتد (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). مشخص‌کردن 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، دربین جمعیت‌ها و حتی داخل یک گونه به‌عنوان یک ارتباط مستقیم با سازگاری متغیر می‌باشد (Ruíz-Corral, 2002). بنابراین مطالعات در مورد تأثیر دما بر جوانه‌زنی موردنیاز است، ازآنجاکه 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 علف‌های‌هرز خاکشیر[1] و خردل وحشی[2] (Khalaj *et al*., 2012)، علف ساعتی[3] (Kleemann *et al*., 2007)، شلمی[4] (Khalaj *et al*., 2012; Manalil *et al*., 2018)، خاکشیر شرقی[5] (Chauhan *et al*., 2006)، منداب[6] (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*

کاذب[1] (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 شب‌بوییان درمزارع کلزا و گندم، مقایسه جوانه‌زنی چهار علف‌هرز منداب، خردل‌وحشی، خردل‌دروغین و خاکشیربدل[2] 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 ٤٥ 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 به‌مدت ٢٤ ساعت جهت شکست خواب استفاده شد. درون هر پتری روی دو لایه کاغذ صافی واتمن ۳۰ عدد بذر قرار داده شد. به هر پتری‌دیش ۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. شمارش بذرها در سه روز اول هر ۱۲ ساعت و در روزهای بعد به‌صورت روزانه بود. معیار جوانه‌زنی بذرها خروج ریشه‌چه به میزان دو تا سه میلی‌متر بود. طول مدت نگهداری بذرها در چهار علف‌هرز متفاوت بود، به‌طوری‌که برای خاکشیربدل به‌دلیل 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:

رابطه (۱) $$CG = \frac{a}{1+\exp(\frac{-(x-x50)}{b}}$$[3]

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*).

رابطه (۲) $$GR = \frac{1}{x50}$$[4]

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

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

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
دمای حداکثر	۳۹/۱٦	۲۹/٥٤	۲۱/۷۰	۲۰/۰۸	۱۹/۸۲	۲٥/۰۱	۳۰/۹۸	۳۸/۱٥	٤٥/۰۳	٤۷/۱۹	٤۷/٤۳	٤٥/۰٥
دمای حداقل	۲۲/٥۲	۱٦/۰٥	۹/٦۷	۹/۱۷	۸/۸٦	۱۲/۲۸	۱۷/٤۸	۲۳/۳۷	۲۸/٤٤	۳۰/۳٥	۳۰/۷۹	۲۷/۸٥

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

جدول۲. معادلات مورد استفاده دو تکه‌ای، دندانه‌ای، بتا پنج و چهارپارامتره برای تعیین دمای کاردینال علف‌های هرز خانواده شب‌بوییان

دوتکه‌ای	$f(T)=\frac{(T-Tb)}{(T0-Tb)}$ $if\ Tb<T<\mathrm{To}$ $f(T)=\frac{(Tc-T)}{(Tc-\mathrm{To})}$ $if\ \mathrm{To}<T<Tc$ $f(T)=0$ $if\ T<Tb\ or\ T<Tc$
دندانه‌ای	$f(T)=\frac{(\mathrm{T}-\mathrm{Tb})}{(\mathrm{To1}-\mathrm{Tb})}$ $if\ \mathrm{Tb}<T\leq \mathrm{To1}$ $f(T)=\frac{(\mathrm{Tc}-\mathrm{T})}{(\mathrm{Tc}-\mathrm{To})}$ $if\ \mathrm{To2}<T\leq \mathrm{Tc}$ $f(T)=1$ $if\ \mathrm{To1}<T\leq \mathrm{To2}$ $f(T)=0$ $if\ \mathrm{T}\leq \mathrm{Tb\ or\ t}\geq \mathrm{Tc}$
بتا پنج پارامتره	$f(T)=[(T-T_b/T_0-T_b)*(T_c-T/T_c-T_b)^{\wedge(TC-T_O/T_O-T_b)}]^a$ $f(T)=\left[\frac{(\mathrm{T}-\mathrm{Tb})}{(\mathrm{To}-\mathrm{Tb})}*\frac{(\mathrm{Tc}-\mathrm{T})^{\frac{(Tc-To)}{(TO-Tb)}}}{(\mathrm{Tc}-\mathrm{Tb})}\right]^*a$
بتا چهار پارامتره	$f(T)=\frac{(\mathrm{Tc}-\mathrm{T})}{(\mathrm{Tc}-\mathrm{To})}*\frac{(\mathrm{T}-\mathrm{Tb})^{\frac{(To-Tb)}{(Tc-To)}}}{(\mathrm{To}-\mathrm{Tb})}$

در معادلات فوق Tb (دمای پایه)، To (دمای مطلوب)، Tc (دمای حداکثر یا دمای سقف)، T_{o1} (دمای مطلوب تحتانی)، T_{o2} (دمای مطلوب فوقانی)، fo (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 ٤) که هرچه شاخص‌ها کم‌تر باشند نشان‌دهنده اعتبار بیش‌تر و نکویی بهتر مدل‌ها می‌باشد (Derakhshan *et al*., 2013).

رابطه (۳) ریشه میانگین مربعات خطا

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum(Yobs-Ypred)^2}$$

رابطه (٤) 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.

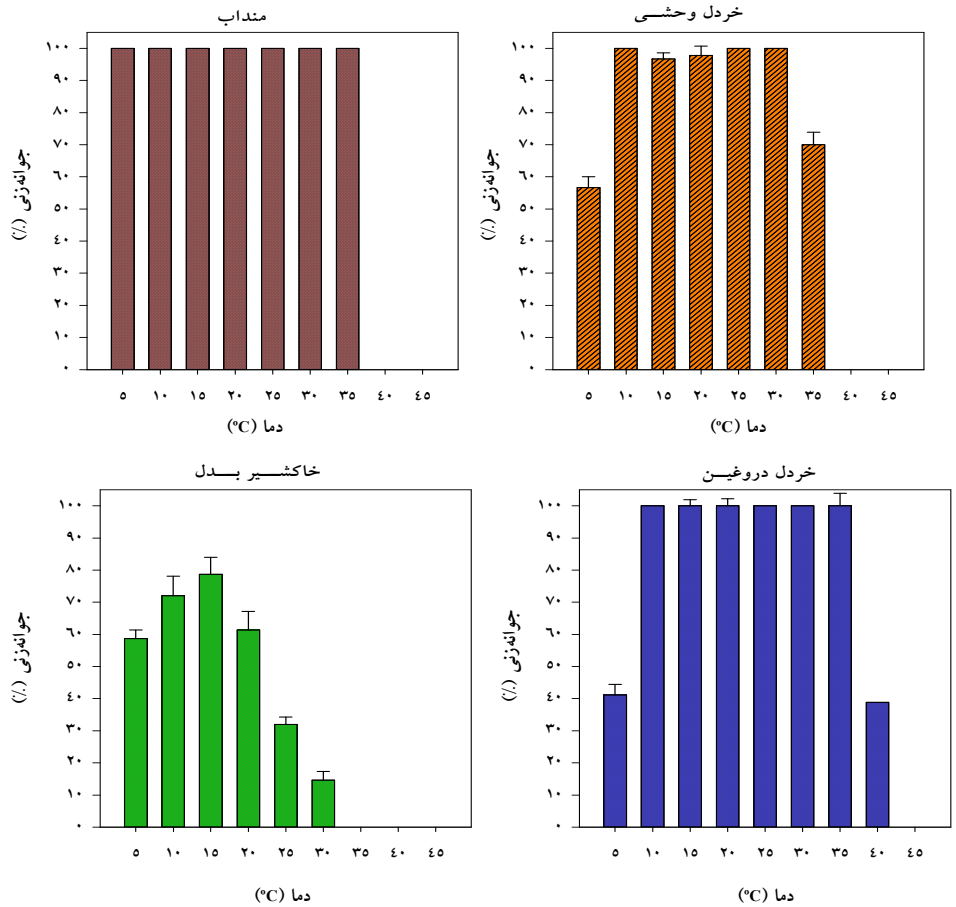
تجزیه و تحلیل داده‌ها براساس تجزیه رگرسیون و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار سیگماپلات (Sigmaplot 14) انجام شد.

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 به‌ترتیب ٥٦، ٤١ و ٥٨ 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 ٤٥ درجه سلسیوس در هیچ‌کدام از چهار علف‌هرز مورد مطالعه جوانه‌زنی مشاهده نشد. نکته قابل‌توجه درمورد جوانه‌زنی خردل‌دروغین در دمای ٤٠ 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

به ۱٤ 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 خردل‌وحشی نسبت به منداب و خردل‌دروغین کاهش یافت و در دمای ۳۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی برای خردل‌وحشی ۷۰ درصد و برای دو علف هرز منداب و خردل‌دروغین ۱۰۰ درصد به ثبت رسید (شکل ۱). در شرایط دمای بالا، حساسیت بذر نسبت به اسید آبسیزیک (ABA) افزایش می‌یابد، که بخشی از آن به‌دلیل عدم توانایی جنین در غیرفعال‌کردن ABAو کاهش غلظت اکسیژن محلول در دانه‌های خیس‌شده و آب جذب کرده می‌باشد (Ali-Rachedi *et al.*, 2004). بذرهای خردل‌دروغین جمع‌آوری‌شده از سانتیاگو در دامنه دمایی پنج تا ٤۰ درجه سلسیوس دارای جوانه‌زنی بودند و بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به‌دست آمد که با دمای ۳۵، ۲۵ و ۲۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری نداشت (Castro *et al.*, 2016). هم‌چنین علف‌هرز منداب در دامنه دمایی یک تا ۳۵ درجه سلسیوس دارای جوانه‌زنی بود و در دمای ٤۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی آن متوقف شد (Jalilian & Khalili Aghdam, 2015).



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

۲.۳. برآورد پارامترهای مدل‌های مختلف دمای کاردینال

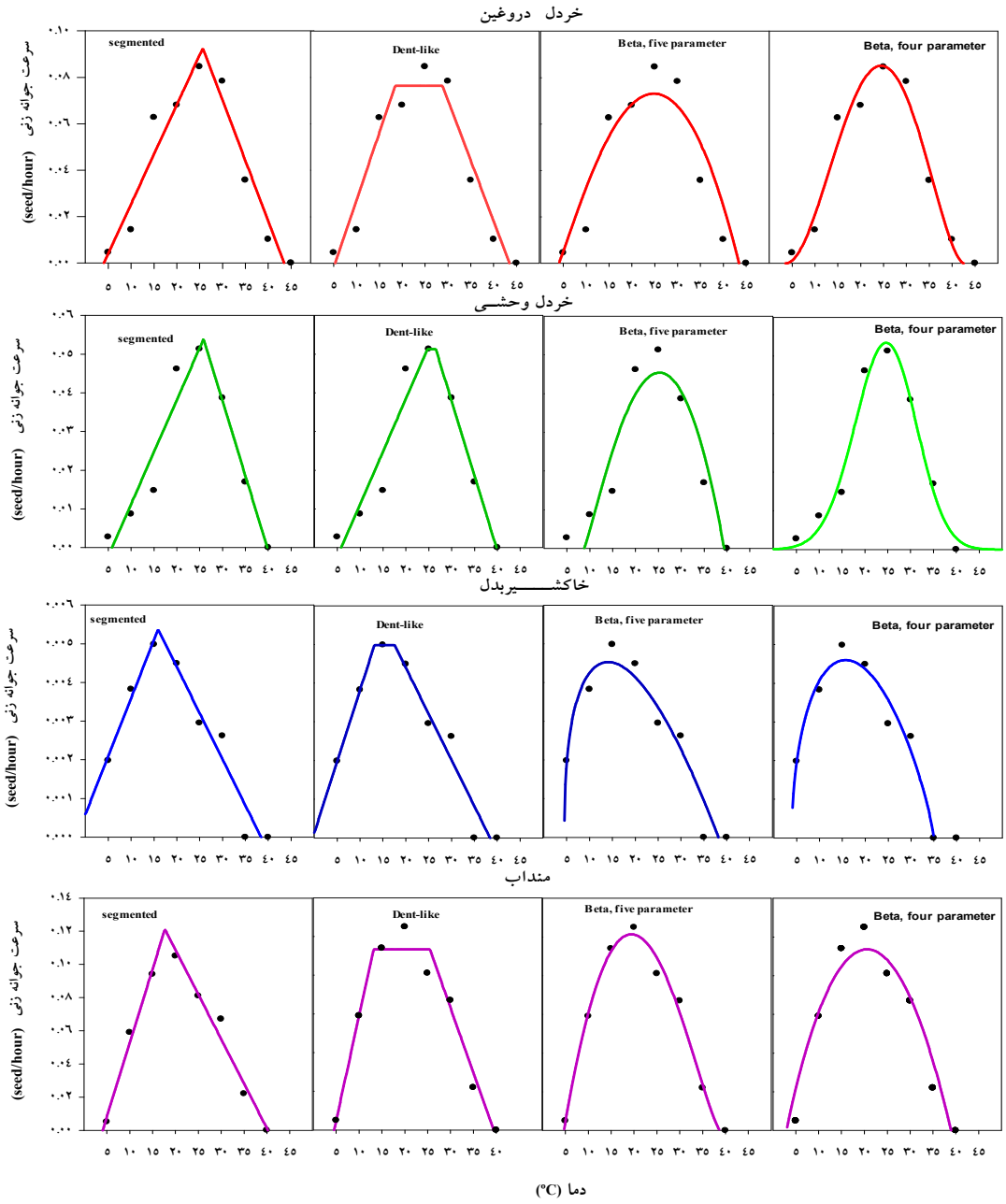
۳. ۲. ۱. خردل‌دروغین

مقایسه چهار مدل دو تکه‌ای، دندانه‌ای (دندان مانند)، مدل پنج‌پارامتره بتا و چهارپارامتره بتا برای خردل‌دروغین نشان داد که دمای پایه به‌ترتیب ٤/٦٧، ٤/٦٧، ٣/٤٩ و ٤/٨٥ درجه سلسیوس می‌باشد و دمای مطلوب جوانه‌زنی در سه مدل دو تکه‌ای، چهارپارامتره و پنج‌پارامتره بتا به‌ترتیب ٢٤/٥٠، ٢٤/٤٥ و ٢٤/٦٣ درجه سلسیوس به‌دست آمد (جدول ۳ و شکل ۲). در مدل دندانه‌ای دمای اپتیمم تحتانی (مطلوب تحتانی) و دمای مطلوب فوقانی (اپتیمم فوقانی) به‌ترتیب ٢٢/٣٧ و ٢٩/٢٦ درجه سلسیوس بود. دمای سقف در چهار مدل دو تکه‌ای، دندانه‌ای، پنج و چهار پارامتره بتا به‌ترتیب ٤٢/٣٣، ٤٢/٢٠، ٤٢/٧٠ و ٤٣/٤٤ درجه سلیسوس پیش‌بینی شد (جدول ۳ و شکل ۲). مدل چهارپارامتره بتا دمای سقف را نسبت به سایر مدل‌ها بیش‌تر و مدل دندانه‌ای کم‌تر پیش‌بینی نمود. مدل پنج‌پارامتره بتا با داشتن همبستگی بالا (R^2) و هم‌چنین پایین‌بودن RMSE و شاخص آکائیک، برازش خوبی به دمای کاردینال خردل‌دروغین داد، اما ایراد اساسی در دمای پایه مطرح می‌باشد که خطای استاندارد آن بیش‌تر از عدد دمای پایه می‌باشد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد در بین چهار مدل برای دمای کاردینال، مدل دندانه‌ای مناسب‌تر می‌باشد. حضور خردل‌دروغین در مزارع کشاورزی استان خوزستان با توجه به دامنه جوانه‌زنی در دماهای پنج تا ٤٠ 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 قابل‌انتظار می‌باشد و با توجه به شرایط آب‌وهوایی خوزستان، بهترین زمان برای دامنه جوانه‌زنی علف هرز خردل‌دروغین آبان‌ماه می‌باشد که دما در حال نزول است (جدول ۱).

جدول ۳. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی علف‌هرز خردل‌دروغین

	دمای پایه	دمای مطلوب	دمای مطلوب تحتانی	دمای مطلوب فوقانی	دمای سقف	ضریب رگرسیونی	ضریب ثابت	ضریب تبیین	ریشه میانگین مربعات خطا	شاخص آکائیک
	(ºC)									
معادلات	Tb	T_O	T_{O1}	T_{O2}	T_C	F_O	A	R^2	RMSE	A_{AIC}
دو تکه‌ای	٤/٦٧ (١/٩٢)	٢٤/٥٠ (١/٥٦)	–	–	٤٢/٣٣ (٢/٠٣)	١٠/٥٥ (٠/٨٩)	–	٠/٩٧	٠/٠١١	-٥٦/٩٩
دندانه‌ای	٤/٦٧ (١/٨٩)	–	٢٢/٣٧ (٣/١٣)	٢٩/٢٦ (١/٨٩)	٤٢/٢٠ (٢/٤٩)	١١/٨٢ (١/٤٧)	–	٠/٩٨	٠/٠١٣	-٣٥/٣١
بتا پنج‌پارامتره	٣/٤٩ (٧/٣٩)	٢٤/٤٥ (١/٢٠)	–	–	٤٢/٧٠ (٥/٠٦)	١١/٧٥ (٠/٩٢)	٢/١٢ (١/٨٦)	٠/٩٨	٠/٠٠٩	-٣٧/٩٤
بتا چهارپارامتره	٤/٨٥ (٢/٥٩)	٢٤/٦٣ (٢/٣٠)	–	–	٤٣/٤٤ (١/٤٤)	١٣/٦٠ (١/٤٨)	–	٠/٩٣	٠/٠١٦	-٥٠/١

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.



شکل ۲. مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی چهار علف‌هرز خردل‌دروغین، خردل‌وحشی، خاکشیربدل و منداب

۳.۲.۲. خردل‌وحشی

تعیین دمای پایه خردل‌وحشی با استفاده از مدل دو تکه‌ای، دندانه‌ای و بتا چهارپارامتره، ٤ تا ٤/٥٠ 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 به‌ترتیب ٢٦/٥٦، ٢٤/٦٢ و ٢٦/٠٩ درجه سلسیوس بود (جدول ٤ و شکل ۲).

جدول ٤. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی علف هرز خردل‌وحشی

	دمای پایه	دمای مطلوب	دمای مطلوب تحتانی	دمای مطلوب فوقانی	دمای سقف	ضریب رگرسیونی	ضریب ثابت	ضریب تبیین	ریشه میانگین مربعات خطا	شاخص آکائیک
	(ºC)									
معادلات	Tb	T_O	T_{O1}	T_{O2}	T_C	F_O	A	R^2	RMSE	A_{AIC}
دو تکه‌ای	٤/٠٠ (٢/٦٤)	٢٦/٥٦ (٢/٢٧)	–	–	٣٨/٩٠ (٣/٣٩)	١٨/٦٥ (٢/٢٤)	–	٠/٩٦	٠/٠٠٦	٤٣/٦٨
دندانه‌ای	٤/٥٠ (٢/٩٩)	–	٢٣/٢٣ (٥/٠٣)	٢٧/٨٦ (٣/٦٥)	٣٨/٩٠ (٣/٩٥)	٢٠/٨٥ (٣/٨٤)	–	٠/٩٦	٠/٠٠٨	١٢/٤٧
بتا پنج پارامتره	٠/١٠ (٢٦/٩٢)	٢٤/٦٢ (٠/٩٣)	–	–	٤٧/٣٥ (٢٣/٠٧)	١٨/٩٢ (١/٥٥)	٥/٨١ (١٣/٧)	٠/٩٩	٠/٠٠٥	٣/٣٧
بتا چهارپارامتره	٤/٢٠ (٧/٩٤)	٢٦/٠٩ (٢/٢١)	–	–	٣٩/٣٩ (١/٠٩)	٢٢/٥٧ (٢/٧٩)	–	٠/٩٤	٠/٠٠٨	-٤٠/٣٣

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می باشند.

براساس مدل دندانه‌ای دمای مطلوب تحتانی ٢٣/٢٣ و دمای مطلوب فوقانی ٢٧/٨٦ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد (جدول ٤). دمای سقف خردل‌وحشی در سه مدل دو تکه‌ای، دندانه‌ای و بتا چهار پارامتره، ٣٨ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد اما در مدل بتا پنج پارامتره دمای سقف ٤٧ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد، که خطای استاندارد پارامتر نیز بسیار بالا پیش‌بینی شد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد برای خردل‌وحشی 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 خردل‌وحشی دماهای بالاتر از ٢٠ درجه سلسیوس می‌باشد، البته تفاوت در پاسخ جوانه‌زنی خردل‌وحشی به دماهای مختلف از توده‌های مختلف، شرایط گیاه مادری و شرایط آب‌وهوایی گزارش شده است. دمای پایه خردل‌وحشی جمع‌آوری‌شده از دشت گرگان ٢٣/١٨ درجه سلسیوس و دمای سقف آن ٣٥ درجه سلسیوس پیش‌بینی و هم‌چنین دمای پایه نیز منفی ٢/٨٩- برآورد شد (Soltani *et al.*, 2013). هم‌چنین در آزمایشی دمای پایه خردل‌وحشی براساس مدل‌های دو تکه‌ای، دندانه‌ای و بتا به‌ترتیب ٢، ٥ و ٢ درجه سلسیوس به‌دست آمد (Khalaj *et al.*, 2012).

٣.٢.٣. خاکشیربدل

دو مدل بتا چهار و پنج‌پارامتره دمای پایه این علف‌هرز را نسبت به دو مدل دو تکه‌ای و دندانه‌ای بیش‌تر و به‌ترتیب ٣/٩٤ و ٣/٢٨ درجه سلسیوس پیش‌بینی نمود (جدول ٥). دمای پایه در تابع دندانه‌ای ٠/٣٧ درجه و در دو تکه‌ای ١/٩٨- درجه سلسیوس پیش‌بینی شد. دمای مطلوب در سه مدل دو تکه‌ای، بتا پنج و چهارپارامتره به‌ترتیب ١٦/٥٠، ١٥/٧٠ و ١٦/٠١ درجه سلسیوس به‌دست آمد (جدول ٥ و شکل ٢). دمای سقف خاکشیربدل در چهار مدل دو تکه‌ای، دندانه‌ای، بتا پنج و چهار پارامتره به‌ترتیب ٣٦/٦٢، ٣٥/٥٤، ٣٥/٠٣ و ٣٥/٣٢ درجه سلسیوس بود. در مدل دندانه‌ای دمای مطلوب تحتانی ١١/٧٠ و دمای مطلوب فوقانی ٢٣/٥٠ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد.

جدول ۵. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی علف‌هرز خاکشیربدل

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

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

نتایج علف هرز خاکشیربدل نشان داد که این علف‌هرز نسبت به علف‌های‌هرز 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 ذکرشده در مزارع استان خوزستان کم‌تر است (جدول ۱). پژوهش‌های مستندی بر دمای کاردینال و پاسخ خاکشیربدل به دما مشاهده نشد، اما دمای کاردینال خاکشیر[1] براساس مدل بتا و دو تکه‌ای به‌ترتیب ۱۷ و ۲۶ درجه سلسیوس به‌دست آمد. هم‌چنین براساس مدل دندانه‌ای، دمای مطلوب تحتانی و دمای مطلوب فوقانی به‌ترتیب ۱۹ و ۲۸ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد. هم‌چنین دمای پایه علف‌هرز شلمی نیز در این پژوهش براساس سه مدل دو تکه‌ای، دندانه‌ای و بتا به‌ترتیب ۱/۹، ۱/۶۷ و ۳ درجه سلسیوس به‌دست آمد و این در حالی بود که دمای مطلوب برای دو مدل دو تکه‌ای و بتا ۱۵ درجه سلسیوس و برای مدل دندانه‌ای ۱۴ به‌دست آمد. در کل، پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که مدل دو تکه‌ای برای علف‌های‌هرز خردل‌وحشی، خاکشیر، فالاریس و شلمی مناسب‌تر می‌باشد (Khalaj *et al*., 2012).

۳. ۲. ٤. منداب

برآورد دمای پایه برای چهار تابع دو تکه‌ای، دندانه‌ای، بتا پنج و چهارپارامتره به‌ترتیب ٤/۱۵، ٤/۱۵، ٤/٦٦ و ٤/۹۲ درجه سلسیوس بود (جدول ٦). تخمین دمای مطلوب در سه مدل دو تکه‌ای، بتا پنج و چهار پارامتره برابر با ۱۷/٦٦، ۱۹/٤۳ و ۱۹/۱۹ درجه سلسیوس بود (جدول ٦ و شکل ۲). در مدل دندانه‌ای دمای مطلوب تحتانی ۱۵/۸۲ و دمای مطلوب فوقانی ۲۱/۸٦ درجه سلسیوس بود. دمای سقف جوانه‌زنی نیز در چهار مدل دو تکه‌ای، دندانه‌ای، بتا پنج و چهار پارامتره به‌ترتیب ٤۰/۲۵، ۳۹/٦۳، ۳۹/۰۲ و ۳۹/۱۷ درجه سلسیوس بود.

1. *Descurania sophia* L .

جدول ٦. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی علف‌هرز منداب

	دمای پایه	دمای مطلوب	دمای مطلوب تحتانی	دمای مطلوب فوقانی	دمای سقف	ضریب رگرسیونی	ضریب ثابت	ضریب تبیین	ریشه میانگین مربعات خطا	شاخص آکائیک
	(ºC)									
معادلات	Tb	T_O	T_{O1}	T_{O2}	T_C	F_O	A	R^2	RMSE	A_{AIC}
دو تکه‌ای	٤/١٥ (٠/٩٠)	١٧/٦٦ (٠/٨٤)	–	–	٤٠/٢٥ (١/١٧)	٨/٢٣ (٠/٣٩)	–	٠/٩٩	٠/٠٠٨	-٤٢/٨٥
دندانه‌ای	٤/١٥ (٠/٩٥)	–	١٥/٨٢ (١/٣٣)	٢١/٨٦ (٢/٣٣)	٣٩/٦٣ (٢/١١)	٩/٥٣ (٣١/٣٨)	–	٠/٩٩	٠/٠١١	١١/٧٥
بتا پنج‌پارامتره	٤/٦٦ (٠/٦٨)	١٩/٤٣ (٠/٧٩)	–	–	٣٩/٠٢ (٣/٦٧)	٩/٨٤ (٠/٤٦)	١/٠٥ (٠/٣٢)	٠/٩٩	٠/٠٠٦	٧/٢٥
بتا چهارپارامتره	٤/٩٢ (٠/٢٩)	١٩/١٩ (١/٢٧)	–	–	٣٩/١٧ (٠/٨٩)	١٠/٤٨ (٠/٥٨)	–	٠/٩٨	٠/٠٠٧	-٣٩/٣٠

اعداد داخل پرانتزنشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

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 جمع‌آوری‌شده از بافت یزد به‌ترتیب ٠/٥٠-، ٣٠/٥٥ و ٤٠ درجه سلسیوس بود. نتایج پژوهش‌های Jalilian & Khalili Aghdam (2015) نشان داد که در مدل دندانه‌ای به‌کار برده‌شده برای سرعت جوانه‌زنی منداب، دمای پایه آن ٠/٧٩ درجه سلسیوس، دمای مطلوب تحتانی ١٦/٩ و دمای مطلوب فوقانی ٣٢/٥ و دمای سقف ٤٧/٦ درجه سلسیوس می‌باشد.

٤. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پاسخ چهار علف‌هرز خانواده شب‌بوییان متفاوت بود. علف‌های هرز منداب، خردل‌دروغین و خردل‌وحشی توانایی جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از ٢٥ درجه سلسیوس داشتند، درحالی‌که جوانه‌زنی خاکشیربدل در دماهای کم‌تر از ٢٥ 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 ٤٠ درجه سلسیوس می‌تواند جوانه‌زنی داشته باشد و درسایر علف‌های‌هرز در دمای ٤٠ درجه سلسیوس جوانه‌زنی متوقف می‌شود. با توجه به میانگین دمای حداکثر و حداقل دوره ١٠ ساله (جدول ١) 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 ١).

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.

٦. 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.

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 (*Diplotaxis 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.

Nakao, E. A., & Cardoso, V. J. M. (2016). Analysis of thermal dependence on the germination of braquiarão 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).

Ruíz-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 inca*na (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., Rodriguez-Arevalo, N. I., & Flores-Ortíz, 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.