

اثر دما و تنش خشکی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و دماهای کاردینال علف‌هرز مهاجم شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*)

عبدالله جلیلی: دانشجوی دکتری علوم علف‌های هرز مشهد، گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد پست
الکترونیک: aliliabdollah@gmail.com

دکتر ابراهیم ایزدی دربندی: استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده مسئول: ابراهیم ایزدی
دربندی: e-izadi@um.ac.ir

دکتر مهدی راستگو: استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد پست الکترونیک: m.rastgoo@um.ac.ir
شناسه اراکید: 0000-0002-1974-8727

دکتر اسماعیل ابراهیمی: جهاد کشاورزی شهرستان قوچان پست الکترونیک: ebrahimi98@gmail.com

چکیده

به منظور بررسی تاثیر دما و تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر علف‌هرز شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ سطح دمای ثابت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و ۶ سطح تنش خشکی (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱- مگاپاسکال) در ۴ تکرار انجام شد. برای اعمال تنش خشکی از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ استفاده شد. در این آزمایش، از پتری‌دیش‌های حاوی کاغذ صافی واتمن با قطر ۷ سانتی‌متر استفاده و در هر پتری ۲۵ بذر قرار گرفت. سپس پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور در معرض تیمارهای دمایی ذکر شده و رژیم روشنایی (۱۴ ساعت روشنایی ۲۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) قرار گرفتند. برای تحلیل نتایج آزمایش از شاخص‌هایی مانند درصد، سرعت جوانه‌زنی و مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی استفاده شد. برای تعیین دمای کاردینال از مدل رگرسیونی دندانهای استفاده شد. نتایج نشان داد که شمعدانی وحشی در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین درصد (۹۸ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۶/۰۱۹ بذر در روز) در شرایط بدون تنش (پتانسیل آب صفر) بود. همچنین در دماهای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی متوقف شد. مدل رگرسیونی سه پارامتره از دقت خوبی جهت توصیف روند درصد جوانه‌زنی جمعی شمعدانی برخوردار بود. بر اساس نتایج آزمایش با افزایش تنش خشکی (تا ۰/۸- مگاپاسکال)، درصد و سرعت جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش و در ۱- مگاپاسکال، جوانه‌زنی متوقف شد. در پتانسیل صفر (شرایط بدون تنش) دمای کمینه، بهینه اول، بهینه دوم و بیشینه به ترتیب ۱/۱۲، ۱۸/۸۳، ۲۲/۷۶ و ۳۵/۰۹ درجه سانتی‌گراد تعیین شد و با افزایش پتانسیل اسمزی تا ۰/۸- مگاپاسکال، دمای کمینه از ۱/۱۲ به ۴/۹۶ درجه سانتی‌گراد، دماهای بهینه اول از ۱۸/۸۳ تا ۲۲/۷۶ درجه سانتی‌گراد و دماهای بهینه دوم از ۱۰/۵۱ تا ۲۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه از ۳۵/۰۹ به ۳۴/۴۸ درجه سانتی‌گراد تغییر یافت. با توجه به نتایج آزمایش، جوانه‌زنی شمعدانی وحشی در محدوده‌های دمایی ۱۷ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد متحمل به تنش‌های خشکی متوسط (۰/۶- مگاپاسکال) می‌باشد. به طور کلی، با توجه به پایین بودن دمای کمینه، احتمال جوانه‌زنی و طغیان این علف‌هرز در فصول سردتر، بیشتر خواهد بود و با توجه به کاهش جوانه‌زنی به تنش خشکی، می‌توان کاشت گیاهان زراعی متحمل به خشکی را در برنامه‌های مدیریتی قرار داد.

واژه‌های کلیدی: دمای بهینه، سرعت جوانه‌زنی، مدل دندانهای.

مقدمه

۱ حضور گیاهان خارجی غیربومی به عنوان گیاهان مهاجم به نواحی جدید اهمیت زیادی دارد و یکی از چالش‌های مهم جهانی
۲ است (Zhou et al., 2006). خانواده شمعدانی با دارا بودن علف‌های هرز یکساله و چندساله از خانواده‌های گیاهی است که
۳ به خصوص در نواحی معتدله و گرمسیری جهان پراکنش دارند. این خانواده دارای ۷ جنس و ۷۵۰ گونه می‌باشد (Keshavarzi
۴ et al., 2013). در سال‌های اخیر علف‌هرز شمعدانی برگ‌بریده (*Geranium dissectum*) در مزارع کلزا در استان مازندران
۵ و گلستان مهاجم شده است (Sohrabi et al., 2017). بذر این علف‌هرز دارای خواب فیزیکی بوده و خراش‌دهی، قرار گرفتن
۶ در عمق خاک و گذشت زمان در رفع خواب آن موثر می‌باشد (Sohrabi et al., 2017). با این حال گونه دیگر از این جنس
۷ با نام علمی *Geranium robertianum* نیز در مزارع کلزای استان گلستان مشاهده شده است، اما اطلاعات چندانی در مورد
۸ زیست‌شناسی آن وجود ندارد.

۹ جوانه‌زنی مرحله‌ای بحرانی در زیست‌شناسی و چرخه زندگی گیاهان و علف‌های هرز است و اغلب پویایی جمعیت را کنترل
۱۰ می‌کند (Kamkar et al., 2008). این فرایند فیزیولوژیکی تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند دما، رطوبت و نور قرار می‌گیرد
۱۱ که در این میان دما تاثیر مهمی دارد (Kamkar et al., 2012). پی بردن به الگوی جوانه‌زنی و سبز شدن گونه‌های مختلف
۱۲ علف‌هرز می‌تواند اطلاعات جامعی برای توسعه روش‌های مدیریت علف‌هرز در آینده فراهم کند (Chauhan et al., 2006).
۱۳ دما مهم‌ترین عاملی است که سرعت نمو گیاهان و علف‌های هرز (از جمله سرعت جوانه‌زنی) را تحت تاثیر قرار می‌دهد.
۱۴ اثرات دما روی نمو گیاهان، اساس مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی است (Kamkar et al., 2012).
۱۵ دما، از عوامل موثر بر ویژگی‌های جوانه‌زنی مانند شروع، مقدار و سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. از این رو، دما عامل بسیار مهمی
۱۶ بر استقرار گیاهان است (Bradford, 2002; Jami-AlAhmadi, and Kafi, 2007). دمای کمینه^۱، دمای بهینه^۲ و دمای
۱۷ بیشینه^۳ سه دمای اصلی فرایند جوانه‌زنی هستند. دماهای کمینه (دمای پایه) و بیشینه (دمای سقف)، دماهایی هستند که به
۱۸ ترتیب کمتر و بیشتر از آن‌ها جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد، درحالی‌که دمای بهینه دمایی است که در آن سرعت جوانه‌زنی به
۱۹ بیشترین میزان خود می‌رسد (Alvarado, and Bradford, 2002). شناسایی دماهای کاردینال جوانه‌زنی، یکی از
۲۰ نیازمندی‌های اصلی برای کنترل به موقع علف‌های هرز است، چرا که توانایی پیشگویی زمان خروج گیاهچه‌های علف‌های
۲۱ هرز می‌تواند در تعیین زمان مطلوب عملیات کنترل علف‌های هرز، توسعه کارایی روش‌های کنترل، کاهش استفاده از علف‌کش
۲۲ از طریق مدیریت تلفیقی علف‌های هرز موثر باشد (Buhler, 2000). محاسبه دماهای کاردینال جوانه‌زنی بر طبق ترسیم روند
۲۳ سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما روشی مرسوم به حساب می‌آید (Kiyani, 2013). پژوهش‌های زیادی در زمینه برآورد دماهای
۲۴ کاردینال جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز انجام شده است. برای نمونه، نتایج تحقیقی به منظور تعیین درجه حرارت‌های کاردینال
۲۵ جوانه‌زنی چندین گونه علف‌هرز نشان داد که برای هویج وحشی (*Daucus carota* L.) دمای پایه (۱/۶۷)، دمای بهینه
۲۶ (۲۲/۸۴)، دمای بیشینه (۴۳/۱۶)، برای گندمک (*Stellaria media* (L.) Vill.) دمای پایه (۳/۵۸)، بهینه (۱۹/۶۷-۱۸/۸۲)،
۲۷ بیشینه (۴۲/۷۵)، برای دم روباهی زرد (*Setaria glauca* (L.) P. Beauv) دمای پایه (۱۴/۱۷)، بهینه (۳۳/۷۵-۳۴/۹۲)،
۲۸ بیشینه (۴۴/۸۶) و برای دم اسب (*Conyza canadensis* (L.) Cronq) (دمای پایه) ۱۳/۷۴، بهینه (۳۱/۷۳-۳۱/۹۴)، بیشینه
۲۹ (۴۴/۲۱) درجه سانتی‌گراد بود (Diyanat, 2019). همچنین، دمای پایه، بهینه و بیشینه گونه‌ای خشخاش (*Papaver*
۳۰ *somniferum* L.) به ترتیب ۳/۰۲، ۲۷/۳۶، ۳۶/۳۱ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Kamkar et al., 2012). در

¹ Base Temperature

² Optimum Temperature

³ Ceiling Temperature

۱ آزمایش دیگری، دمای پایه، بهینه و حداکثر علف‌هرز نیلوفریچ (*Ipomoea triloba* L.) به ترتیب ۹، ۲۱ و ۲۷ درجه
۲ سانتی‌گراد برآورد شده است (Rizzardi et al., 2009). به منظور تعیین درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی علف‌هرز جارو
۳ (*Bassia scoparia* L.) عنوان شده است که این گیاه در دامنه وسیعی از دمای ۳/۵ درجه سانتی‌گراد (دمای کمینه) تا ۵۰
۴ درجه سانتی‌گراد (دمای بیشینه) قادر به جوانه‌زنی می‌باشد و دمای بهینه جوانه‌زنی آن ۲۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است
۵ (Jami-Al_Ahmadi, and Kafi, 2007).

۶ با توجه به اهمیت پراکنش گیاه مهاجم شمعدانی وحشی در مزارع کلزا استان مازندران و گلستان و از آن جایی که اطلاعاتی
۷ در خصوص ویژگی‌های جوانه‌زنی و دماهای کاردینال این گیاه مهاجم در دسترس نمی‌باشد، این مطالعه با هدف بررسی
۸ جنبه‌هایی از ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) تحت تاثیر دما و تنش خشکی و
۹ تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی آن انجام شده است.

۱۰
۱۱
۱۲ **مواد و روش‌ها**

۱۳ این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ سطح دمای ثابت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ درجه
۱۴ سانتی‌گراد) و تنش خشکی در ۶ سطح (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱- مگاپاسکال) در ۴ تکرار انجام شد. بذرها از یک
۱۵ مزرعه کلزا واقع در استان گلستان جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۶ ماه در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری
۱۶ شدند. آزمایش‌های مقدماتی حاکی از عدم وجود خواب بذر بعد از ۶ ماه بود. برای شروع آزمایش، بذرها به مدت ۱ دقیقه با
۱۷ محلول ۵ درصد هیپوکلریت سدیم ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. در این آزمایش، از پتری‌دیش‌هایی حاوی
۱۸ کاغذ صافی واتمن با قطر ۷ سانتی‌متر استفاده و در هر پتری ۲۵ بذر قرار گرفت. پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور در معرض تیمارهای
۱۹ دمایی ذکر شده و رژیم روشنایی (۱۴ ساعت روشنایی ۲۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) قرار گرفتند. در طی آزمایش، کاغذ
۲۰ صافی درون پتری‌دیش‌ها روزانه با آب مقطر، مرطوب نگه داشته شد. جوانه‌زنی به صورت روزانه تا ۱۴ روز شمارش و معیار
۲۱ جوانه‌زنی خروج قابل رویت ریشه‌چه‌ها (کمتر از یک میلی‌متر) پوشش بذر بود (Deng, and Cornu, 1992).

۲۲ پتانسیل‌های مختلف آب براساس فرمول میچل و کافمن و با استفاده از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ تهیه و برای سطوح تنش
۲۳ خشکی شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد. به منظور تهیه پتانسیل‌های مختلف اسمزی از معادله ۱ استفاده شد (Michel
۲۴ and Kaufmann, 1973).

$$\Psi = - (1.18 \times 10^{-2}) C - (1.18 \times 10^{-4}) C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) CT + (8.39 \times 10^{-7}) C^2 T \quad (1)$$

۲۵ در این معادله Ψ پتانسیل اسمزی، C مقدار پلی اتیلن گلایکول برحسب گرم بر لیتر و T دما برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
۲۶ در کلیه تیمارهای دمایی برای هر تکرار منحنی درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان (روز) ترسیم و مدل رگرسیونی سه
۲۷ پارامتره لجستیک (معادله ۲) برازش داده شد.
۲۸ معادله (۲):
۲۹

$$G = G_{\max} / (1 + (X/X_{50})^b)$$

۳۰ در این معادله، G : درصد جوانه زنی، G_{\max} : حداکثر درصد جوانه زنی، X_{50} : زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی، b : شیب
۳۱ معادله و X : زمان می‌باشند.
۳۲

سرعت جوانه‌زنی (GR) نیز به روش ماگویر (Maguire, 1962) و با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید.
معادله (۳):

$$GR = \sum_{i=1}^n Ni/Ti$$

در این معادله Ni تعداد بذور جوانه‌زده در هر شمارش و Ti تعداد روز شمارش تا روز n بود.

برای تعیین دماهای کاردینال از مدل رگرسیونی مدل دندان‌های (Dent-like) (Torabi, 2003) برای رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) استفاده شد (معادله ۴).

معادله (۴):

$$T \leq T_{01} < f(T) = ((T - T_b) / (T_{01} - T_b)) \text{ if } T_b$$

$$T \leq T < f(T) = ((T_c - T) / (T_c - T_{02})) \text{ if } T_{02}$$

$$\text{if } T_{01} < T \leq T_{02} \quad f(T) = 1$$

$$\text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \quad f(T) = 0$$

در این مدل، $f(T)$: سرعت جوانه‌زنی، T_b : دمای پایه، T_{01} : دمای بهینه اول، T_{02} : دمای بهینه دوم و T_c : دمای بیشینه می‌باشند. جهت تحلیل نتایج حاصل، آنالیز واریانس داده‌های حاصل و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (FLSD) در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم افزار آماری مینی‌تب ۱۸/۱ انجام شد. برای برازش مدل‌های جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی از نرم افزار Sigma plot 12.5 و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل ۲۰۱۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر دما و تنش خشکی بر صفات جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی)

بر اساس نتایج آزمایش، تاثیر دما، پتانسیل آب و اثر متقابل آن‌ها بر خصوصیات جوانه‌زنی شمعدانی وحشی معنی‌دار ($P \leq 0.0001$) بود (جدول ۱). بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۸ درصد) شمعدانی وحشی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل اسمزی صفر مشاهده شد که با دمای ۱۵ درجه اختلاف معنی‌دار آماری نداشت (شکل ۱). کمترین درصد جوانه‌زنی (۵ درصد) نیز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل اسمزی ۰/۸- مگاپاسکال حاصل شد. در دمای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در تمام پتانسیل‌های اسمزی درصد جوانه‌زنی متوقف شد (شکل ۱). در پتانسیل اسمزی ۱- مگاپاسکال، در هیچکدام از دماها، جوانه زنی مشاهده نشد (شکل ۱). نتایج تحقیقات بر روی علف‌هرز تلخه بیان (*Sophora alopecuroides* L.) نشان داد که این علف‌هرز تا تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال دارای جوانه‌زنی مشابه شاهد، اما با افزایش خشکی درصد جوانه‌زنی از ۷۰ درصد به ۳۲ درصد در تنش خشکی ۱- مگاپاسکال رسید (Nosratti, et al., 2017). به طور کلی بر اساس مطالعات انجام شده، دمای مناسب جوانه‌زنی برای بیشتر بذرها بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دما برای بیشتر گونه‌ها بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد است. هر چند در درجه حرارت‌های بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد عمل جوانه‌زنی در بذرها متوقف می‌شود (Hejazi, 1994). در خصوص توقف جوانه‌زنی در دماهای بالاتر، این احتمال وجود دارد که در دماهای بالاتر فعالیت‌های متابولیکی بذر

از جمله فعالیت آنزیم‌های مربوط به جوانه‌زنی متوقف گردد (Taassob-Shirazi et al., 2013). همچنین اعتقاد بر این است که توقف جوانه‌زنی در دمای حداکثر، می‌تواند بدلیل تغییر در پروتئین‌های ضروری جوانه‌زنی باشد (Copeland, and Mc Donald, 1995).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثرات دما و پتانسیل آب بر درصد و سرعت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*)
 Table 1. Analysis of variance the effect of temperature and water potential on the percentage and germination rate of Herb-robert *Geranium robertianum*

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of square	
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate
دما Temperature	7	1835.18**	51.60**
خشکی Drought	5	11836.6**	23.57**
دما × خشکی Temperature × Drought	35	1113.6**	3.15**
خطا Error	144	15.8	0.041
کل Total	191		
ضریب تغییر C.V (%)		22.76	19.54

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد
 ** significant difference at 1% level

نتایج تحقیق دیانت (Diyanat, 2018) بر روی تاج خروس سبز (*Amaranthue viridis* L.) و تاج خروس خوابیده (*Amaranthus blitoides* S. Watson) نشان داد که تاج خروس خوابیده در پتانسیل ۱- مگاپاسکال، ۹/۲۵ درصد ولی تاج خروس سبز قادر به جوانه‌زنی نبود. این مهم نشان‌دهنده تحمل بالاتر تنش خشکی در تاج خروس خوابیده است. نامبردگان گزارش کردند که با توجه به تحمل بالاتر تاج خروس خوابیده به تنش خشکی، احتمالاً پتانسیل تهاجم بیشتری نیز نسبت به تاج خروس سبز به مناطق خشک دارد. در گزارشی دیگر جوانه‌زنی خاکشیر تلخ (*Sisymbrium irio*) تا پتانسیل اسمزی ۱/۲- مگاپاسکال ادامه داشت (Ray et al., 2005). نتایج مطالعه چچارا و همکاران (Chejara et al., 2008) بر روی

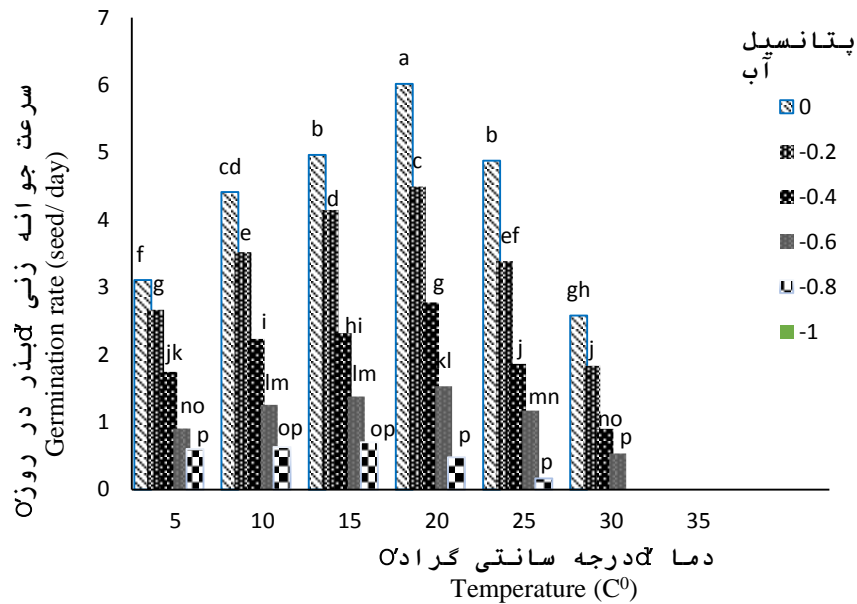
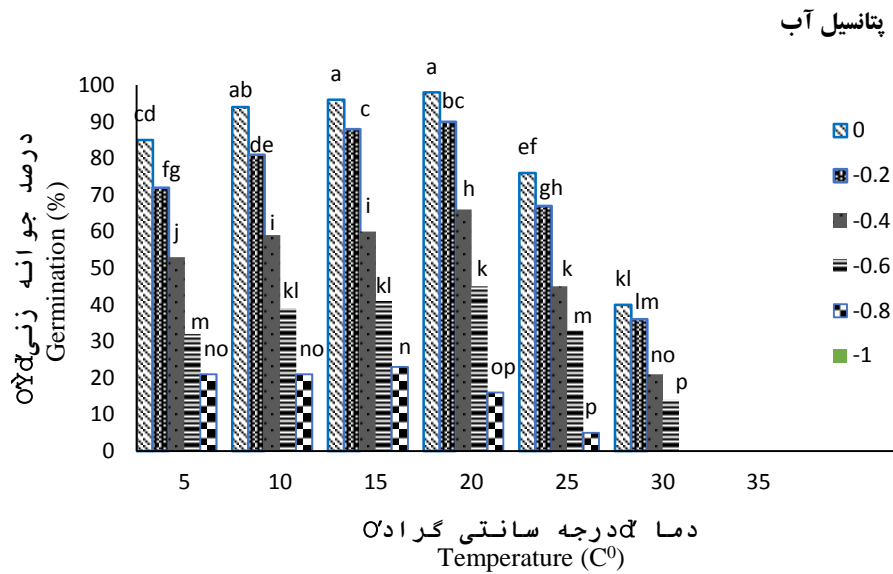
۱ *Hyparrhenia hirta* نشان داد که جوانه‌زنی بذور در پتانسیل اسمزی ۰/۵۵- مگاپاسکال و بیشتر از آن متوقف شد. به
۲ طوریکه در پتانسیل اسمزی ۰/۳۷- مگاپاسکال به ۵۰ درصد کاهش یافت. کاهش درصد جوانه‌زنی در پی افزایش پتانسیل
۳ اسمزی محیط کشت در بذور گیاهان مختلف توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Ashraf and Harris, 2004;)
۴ (Chachalis and Reddy, 2000; Amayun et al., 2010). در مطالعه‌ای بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر نیلوفریچ
۵ (*Ipomoea lacunose* L.) در دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Oliveira and Norsworthy, 2006).
۶ Riemens Scheepens (et al., 2004) نیز مشاهده کردند که بیشترین درصد جوانه‌زنی در گونه‌ای ساق ترشک (*Rumex*
۷ *obtusifolius*) در محدوده دمایی ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شده است. در کنجد شیطنی (*Cleome viscosa* L.)
۸ نیز بیشترین درصد جوانه‌زنی در پتانسیل‌های ۰/۴- تا ۱- مگاپاسکال، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (Shirdel
۹ et al., 2016).

۱۰ نتایج نشان داد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (۶/۰۱ بذر در روز) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و عدم تنش
۱۱ خشکی (آب مقطر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها داشت (شکل ۱). کمترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۱۶ بذر در
۱۲ روز) نیز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل اسمزی ۰/۸- مگاپاسکال مشاهده شد (شکل ۱). با توجه به نتایج آزمایش،
۱۳ سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما از ۵ درجه به ۲۰ درجه سانتی‌گراد روند افزایشی و از دمای ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد روند
۱۴ کاهشی داشت (شکل ۱). در مطالعه‌ای بر روی *Medicago scutellata* L. گزارش شد که بذره‌های این گیاه در دمای کم‌تر
۱۵ از دمای مطلوب (۲۲/۲۲ درجه سانتی‌گراد)، جوانه‌زنی خود را دیرتر شروع می‌کنند و در دماهای بیشتر از دمای مطلوب، دیرتر
۱۶ جوانه‌زنی خود را به پایان می‌رساند (Mahmoodi et al., 2008). نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که در گیاهان
۱۷ مختلف با نزدیک شدن به دمای مطلوب، حداکثر جوانه‌زنی افزایش و با فاصله گرفتن از آن، حداکثر جوانه‌زنی کاهش می
۱۸ یابد (Zahed et al., 2013). در گل گندم زرد (*Centaurea solstitialis*) نیز سرعت جوانه‌زنی نهایی با افزایش تنش
۱۹ خشکی از ۰/۴- مگاپاسکال به ۰/۶- مگاپاسکال، از ۱۳/۴۹ به ۳ بذر در روز کاهش یافته است (Zare et al., 2021).

۲۰ تنش خشکی قابلیت دسترسی به آب را کاهش می‌دهد و اثر نامطلوبی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد داشت. علت
۲۱ کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی را می‌توان به کاهش سرعت فعالیت‌های متابولیکی بذر، کاهش ترشح
۲۲ هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، در اثر اختلال در جذب آب توسط بذر نسبت داده، در نتیجه مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر
۲۳ افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Khakshor Moghadam et al., 2011).

۲۴ بر اساس مطالعه‌ای بر روی علف‌هرز مهاجم خربزه وحشی (*Cucumis melo*) با کاهش پتانسیل آب، سرعت و درصد
۲۵ جوانه‌زنی کاهش یافت (Sohrabi et al., 2011). بدین صورت که، سرعت و درصد جوانه‌زنی خربزه وحشی در دمای ۳۵
۲۶ درجه سانتی‌گراد و بیشتر از آن کاهش یافت. از یک طرف، در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال،
۲۷ بیشترین سرعت و درصد جوانه‌زنی مشاهده شده است. در حالی که در دماهای ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و خشکی ۰/۲-
۲۸ مگاپاسکال، درصد و سرعت جوانه‌زنی کمترین میزان جوانه‌زنی را نشان دادند. کارزونی منفرد و همکاران (Kazerooni-
۲۹ Monfared et al., 2013) در مطالعه‌ای به بررسی اثر دما و پتانسیل اسمزی بر جوانه‌زنی گل جالیز مصری (*Orobanch*
۳۰ *aegyptica*) انجام دادند، گزارش کردند که با کاهش پتانسیل اسمزی، درصد جوانه‌زنی و دامنه دمایی مطلوب جوانه‌زنی بذور
۳۱ گل جالیز مصری به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین، کاهش پتانسیل اسمزی موجب تأخیر در شروع، متوسط و حداکثر
۳۲ زمان جوانه‌زنی شد. در مطالعه‌ای دیگر درصد جوانه‌زنی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تا پتانسیل ۰/۷۵- مگاپاسکال

۱ تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت و پس از آن روند کاهشی نشان داد و سرعت جوانه‌زنی آن نیز تا پتانسیل -۰/۵-
 ۲ مگاپاسکال تغییر معنی‌داری نداشت است (Rahimi and Kafi, 2009).



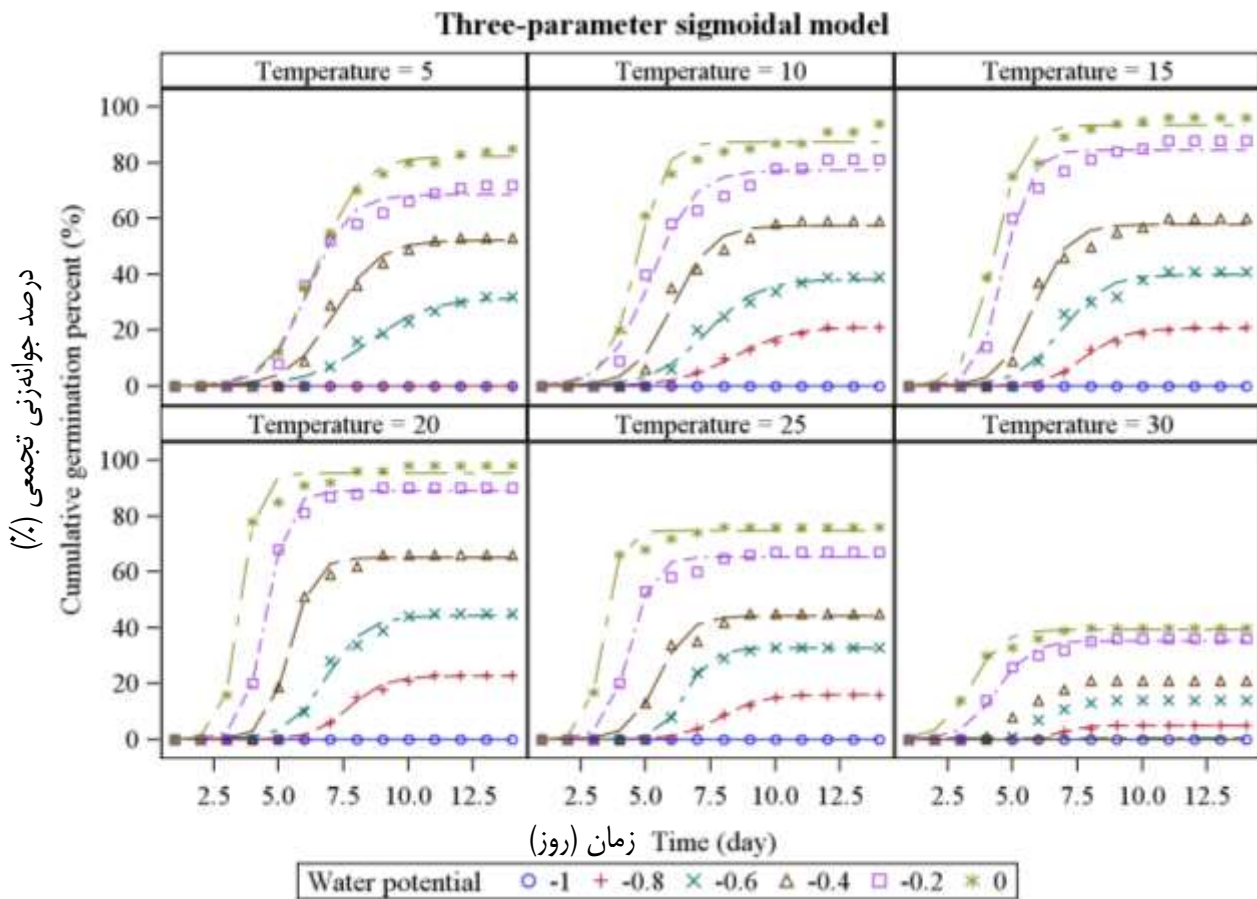
۵ شکل ۱. اثر دما و پتانسیل آب بر درصد و سرعت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*)
 ۶
 ۷ Figure 1. Effect of temperature and water potential on the germination percentage and germination rate of Herb-robert
 ۸ (*Geranium robertianum*)
 ۹

۱۰ تکاسی و همکاران (Takasi et al., 2009) در مطالعات خود روی کاهوی وحشی (*Lactuca serriola*) بیان کردند که با
 ۱۱ کاهش پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی در همه دماها کاهش یافته است. همچنین، نتایج آن‌ها نشان داد که با کاهش پتانسیل

۱ آب، دامنه دمایی که این گونه قادر به جوانه‌زنی می‌باشد نیز کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق کارزونی منفرد و همکاران
 ۲ (Kazerooni-Monfared et al., 2013) نیز نشان داد که با کاهش پتانسیل آب از صفر به -۱ مگاپاسکال، دامنه دمایی
 ۳ جوانه‌زنی بذر گل جالیز مصری از ۴۴ درجه سانتی‌گراد به ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. نامبردگان دریافتند که دمای
 ۴ حداکثر درصد جوانه‌زنی گل جالیز با کاهش پتانسیل آب، کاهش یافت و از ۳۵ درجه سانتی‌گراد در پتانسیل صفر به ۳۰ درجه
 ۵ سانتی‌گراد در پتانسیل -۱ مگاپاسکال رسید.

۶ روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی وحشی

۷ نتایج نشان داد که مدل سه پارامتره لجستیک برازش قابل قبولی به روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی وحشی
 ۸ در طی زمان برای دماها و پتانسیل‌های مختلف داشت (شکل ۲).



۱۰
 ۱۱ شکل ۲. برازش مدل رگرسیون سه پارامتره لجستیک به روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی وحشی (*Geranium*
 ۱۲ *robertianum*)
 ۱۳ Figure 2. Fitting the logistic three-parameter regression model to the cumulative germination trend of *Geranium*
 ۱۴ *robertianum*
 ۱۵

۱ بررسی پارامترهای این مدل نشان داد که در پتانسیل‌های مختلف آب، حداکثر جوانه‌زنی شمعدانی وحشی در محدوده دمایی
 ۲ ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. نتایج نشان داد که، در هر پتانسیل اسمزی، با افزایش دما، زمان رسیدن به ۵۰ درصد
 ۳ جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش پتانسیل اسمزی، این زمان افزایش می‌یابد که بیانگر کاهش سرعت
 ۴ جوانه‌زنی می‌باشد. به طور کلی، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی تا پتانسیل‌های ۰/۴- مگاپاسکال از ۶ روز شروع و به
 ۵ ۳ روز کاهش یافت. در حالی که در پتانسیل‌های بالاتر (۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال) در محدوده ۶ تا ۸ روز متغیر است (شکل
 ۶ ۲). این نتایج بیانگر این است که در محدوده دمایی ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد در هر پتانسیل آب، قدرت جوانه‌زنی شمعدانی
 ۷ وحشی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج این آزمایش، در پتانسیل اسمزی ۱- مگاپاسکال هیچ جوانه‌زنی رخ نداده است (جدول
 ۸ ۲).

جدول ۲. اثر دما و خشکی بر روند درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) و پارامترهای حاصل از برازش
 مدل لجستیکی سه پارامتره

Table 2. Effect of temperature and water potential on the cumulative germination percentage of *Geranium robertianum* and parameters resulted from the three-parameter logistic model

پتانسیل آب (مگاپاسکال)	دما (درجه سانتی- گراد)	جوانه‌زنی نهایی (درصد)	زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی	شیب Slope	P value	ضریب تبیین R ²
Water potential (Mpa)	Temperature (C ⁰)	Final germination (%)	Time to reach 50 % of the germination (Day)			
0	5	82.13 (1.056)	6.39 (0/072)	0.84 (0/062)	0.001	0.95
	10	87.34(1.376)	4.63 (0/084)	0.54 (0/071)	0.002	0.93
	15	93.33 (1.571)	4.27 (0/091)	0.53 (0/079)	0.001	0.96
	20	95.23 (1.194)	3.52 (0/063)	0.33 (0/041)	0.005	0.94
	25	74.69 (0.744)	3.38 (0/050)	0.31 (0/033)	0.001	0.95
	30	39.24 (0.635)	3.41 (0/095)	0.59 (0/082)	0.002	0.95
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		
-0.2	5	68.507(1.540)	6/150(0.123)	0.75 (0.107)	0.001	0.96
	10	77.136(1.901)	5/206(0.149)	0.819(0.129)	0.001	0.94
	15	84.365(1.531)	4/684(0.092)	0/490(0.078)	0.005	0.04

	20	88.916(0.693)	4/528(0.038)	0/431(0.030)	0.005	0.95
	25	65.255(0.937)	4/387(0.073)	0/457(0.059)	0.003	0.95
	30	35.273(0.629)	4/407(0.103)	0/638(0.089)	0.001	0.96
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		
	5	52.10 (1.174)	6.39 (0.120)	0.84 (0.102)	0.001	0.93
	10	57.37 (1.510)	6.05 (0.144)	0.73 (0/125)	0.001	0.94
	15	57.76 (1.288)	5.86 (0.118)	0.61 (0/103)	0.005	0.95
	20	65.04 (0.682)	5.43 (0.050)	0.46 (0/041)	0.005	0.93
-0.4	25	44.13 (0.907)	5.50 (0.107)	0.57 (0/091)	0.003	0.94
	30	22.61 (0.765)	5.70(0.23)	0.56 (0/0432)	0.001	0.96
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		
	5	31.527(1.222)	8.48 (0.196)	8.48 (0.160)	0.005	0.95
	10	38.176(1.055)	7.34 (0.150)	0.98 (0.128)	0.005	0.95
	15	39.825(1.202)	6.88 (0.162)	0.82 (0.139)	0.001	0.04
	20	44.255(0.893)	6.85(0.104)	0.73 (0.090)	0.001	0.94
-0.6	25	32.631(0.325)	6.55 (0.045)	0.48 (0.037)	0.003	0.93
	30	20.143(0.321)	6.53 (0.0321)	0.41 (0.030)	0.001	0.93
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		
	5	0	0	0		
	10	21.07 (0.612)	8.42 (0.145)	0.76 (0.079)	0.001	0.93
	15	20.54(0.397)	7.80 (0.908)	0.71 (0.078)	0.005	0.94
	20	22.64 (0.438)	7.71 (0.0901)	0.68 (0.077)	0.002	0.93
-0.8	25	15.99 (0.260)	7.98(0.773)	0.76 (0.066)	0.001	0.96
	30	4.92 (0.101)	6.91 (0.078)	0.38 (0.083)	0.002	0.96
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		

*در پتانسیل اسمزی ۱- مگاپاسکال در هیچ یک از دماها، جوانه‌زنی مشاهده نشد. اعداد داخل پرانتز، خطای معیار میانگین هستند.

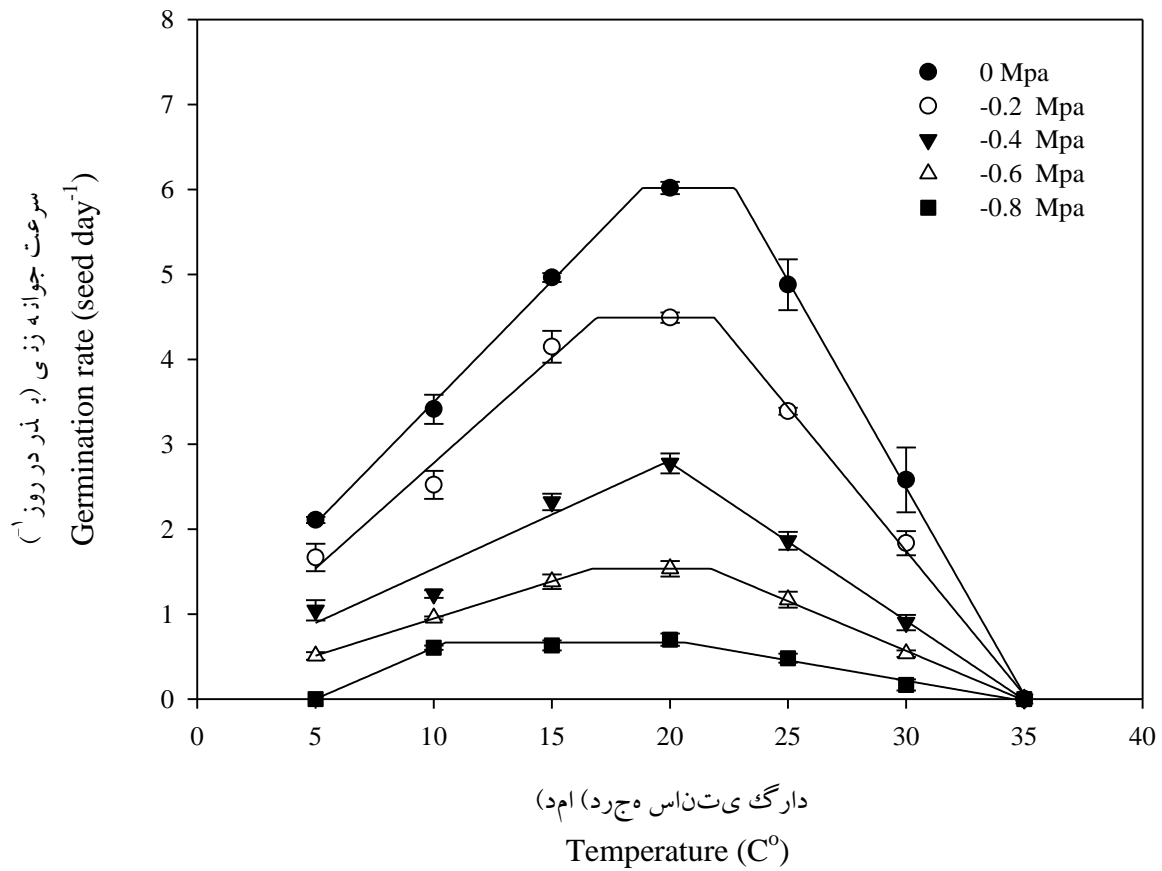
*There was no germination at water potential of -1 Mpa in none of temperatures. Numbers in the parenthesis are the standard error of mean.

۱ زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (بیانگر سرعت جوانه‌زنی) نیز با افزایش پتانسیل آب، افزایش یافت (جدول ۲). به عبارت
۲ دیگر، با افزایش تنش خشکی، جوانه‌زنی در زمان‌های (روز) دیرتر رخ داد که به معنی کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. بر
۳ اساس نتایج حاصل، در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش پتانسیل آب از صفر به ۰/۸- مگاپاسکال، این شاخص به ترتیب
۴ از ۴/۶۳ روز به ۸/۴۲ روز رسید (جدول ۲). در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد شاخص مذکور به ترتیب از ۳/۵۲ به ۷/۷۱ روز
۵ افزایش یافت. به عبارتی سرعت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی در محدوده دماهای بهینه جوانه‌زنی، افزایش یافته است. افزایش
۶ زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی تحت تاثیر تنش آب در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Sabouri Rad et al.,
۷ 2016; Shirdel et al., 2013). همچنین مقایسه رفتار جوانه‌زنی شمعدانی وحشی در هر پتانسیل آب نشان داد که با
۸ افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. به عبارت دیگر، با افزایش دما تحت
۹ پتانسیل آب، جوانه‌زنی سریع‌تر رخ داده است. این نتایج همسو با نتایج مطالعات دیانت (Diyanat, 2018) است.

۱۰ در مطالعه‌ای دیگر رفتار جوانه‌زنی علف‌هرز کنجد شیپانی (*Cleome viscosa* L.) (از علف‌های هرز مشکل‌ساز مزارع سویای
۱۱ استان گلستان) تحت اثر دما و پتانسیل اسمزی مورد بررسی قرار گرفت (Shirdel et al., 2016). نتایج آن‌ها نشان داد که
۱۲ در دامنه دمایی مورد بررسی (۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) با افزایش پتانسیل اسمزی علاوه بر کاهش قابل توجه درصد
۱۳ جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی (زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی) کاهش یافت. همچنین، در نتایج آن‌ها، با منفی‌تر
۱۴ شدن پتانسیل آب، محدوده دمایی که این علف‌هرز قادر به جوانه‌زنی بود، کاهش یافت.

۱۵ **دماهای کاردینال جوانه‌زنی شمعدانی وحشی**

۱۶ بر اساس برآزش مدل دندان‌ه‌ای، دماهای کمینه، بهینه اول، بهینه دوم، و بیشینه شمعدانی وحشی در پتانسیل صفر (عدم تنش
۱۷ اسمزی) به ترتیب ۱/۱۲، ۱۸/۸۳، ۲۲/۷۶ و ۳۵/۰۹ درجه سانتی‌گراد برآورد شدند (شکل ۳ و جدول ۳).



شکل ۳. برازش مدل دندان‌مانند برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی

Figure 3. Fitting the dent-like model to determining the cardinal temperatures of *Geranium robertianum* at various water potential

۱
۲
۳
۴
۵
۶
۷
۸
۹
۱۰
۱۱
۱۲
۱۳

جدول ۳. دماهای کاردینال جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) براساس مدل دندان‌های در پتانسیل‌های مختلف آب

Table 3. Cardinal temperatures of *Geranium robertianum* germination based on the dent-like model in different water potentials

پتانسیل آب (مگاپاسکال) Water potential (Mpa)	دمای کمینه (Base temperature)	دمای بهینه اول (Temperature of Optimum 1)	دمای بهینه دوم (Temperature of Optimum 2)	دمای بیشینه (Ceiling temperature)	R ² _{adj} (Adjusted R ²)
0	1.12 (0.32)	13.83 (0.37)	22.76 (0.41)	35.09 (0.37)	0.99
-0.2	1.73 (0.22)	6.90 (0.28)	21.88 (0.42)	35.13 (0.28)	0.98
-0.4	2.13 (0.37)	19.92 (0.17)	20.05 (0.25)	35.70 (0.12)	0.97
-0.6	2.98 (0.41)	16.70 (0.36)	21.73 (0.29)	34.28 (0.26)	0.99
-0.8	4.96 (0.28)	10.56 (0.34)	20.63 (0.33)	34.48 (0.44)	0.99

اعداد داخل پرانتزها، خطای معیار میانگین می باشند

Numbers in parentheses are the standard error of the mean

- ۱
- ۲ مطالعات در این ارتباط نشان از اختلاف معنی‌داری بین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گیاهان مختلف بر اساس مدل‌های مختلف
- ۳ رگرسیونی دارد. برای مثال، در مطالعات حسینی و همکاران (Hoseini et al., 2008)، مدل دندانمانند برای پیش‌بینی
- ۴ جوانه‌زنی از مک (*Cardaria draba* L.)، جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و جو موشی (*Hordeum murinum* L.)
- ۵ کارایی بهتری داشته است. عدالت و کاظمینی (Edalat and Kazemeini, 2013) دمای پایه، مطلوب
- ۶ و سقف گونه‌ای خاکشیر (*Sisymbrium altissimum*) را با استفاده از مدل بتا بترتیب ۴/۸، ۸/۶ و ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد
- ۷ گزارش نمودند. نژاد حسن (Nejadhasan, 2013) نیز دمای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی منداب (*Eruca sativa* Mill)
- ۸ را با استفاده از مدل بتا به ترتیب صفر، ۳۰ و ۳۸/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد نمودند. قادری‌فر و همکاران (Ghaderifar et al., 2012)
- ۹ از مدل دندانمانند برای برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چاودار (*Secale cereale*) استفاده کردند و
- ۱۰ دمای پایه، مطلوب پایینی، مطلوب بالایی و سقف این گیاه را به ترتیب ۳/۲۸، ۲۵، ۳۴/۵۱ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد گزارش
- ۱۱ کردند. پورطوسی و همکاران (Poortousi et al., 2008) نیز دماهای کاردینال برای گیاه سلمه تره (*Chenopodium album*)
- ۱۲ را به ترتیب ۴/۲، ۲۶ و ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد گزارش کرده است. در مطالعه‌ای دیگر، بهترین مدل برای تعیین
- ۱۳ دماهای کاردینال جوانه‌زنی آویشن خراسانی (*Thymus transcaspicus* Kloko) مدل ۵ پارامتری بتا و خطوط متقاطع
- ۱۴ برای دو توده بذری گزارش شده است (Tabrizi et al., 2007). مرادی و همکاران (Moradi et al., 2015) در بررسی
- ۱۵ تعیین دماهای کاردینال علف‌هرز خارشتر (*Alhaji pseudalhari*) به این نتیجه دست یافتند که در بین مدل‌های برآزش
- ۱۶ داده شده (خطوط متقاطع، چندجمله‌ای درجه دوم و ۵ پارامتری بتا)، مدل ۵ پارامتری بتا بهترین مدل بود. در نتایج آن‌ها
- ۱۷ دماهای کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی خارشتر به ترتیب در دامنه دمایی (۷/۲-۸/۸)، (۲۷/۵-۳۰/۶) و (۴۲-۵۰/۵) درجه

۱ سانی‌گراد گزارش شده است. در تحقیق دیگری نیز مدل‌های دندان مانند، مدل خطوط متقاطع، ۴ پارامتره بتا و ۵ پارامتری
۲ بتا را برای پیش‌بینی جوانه‌زنی اویارسلام بذری (*Cyperus difformis*) با دقت قابل قبولی مورد استفاده قرار گرفته‌اند
۳ (Derakhshan and Gherekhloo, 2013). براساس مطالعه نامبردگان بین مدل‌های دندان مانند و دو تکه‌ای، اختلافی در
۴ برآورد دمای پایه مشاهده نشد اما مدل ۴ پارامتره بتا برآورد بسیار کمتری از دمای پایه داشت. آن‌ها دمای بیشینه اویارسلام
۵ را بین ۴۵/۰۳-۴۴/۹۲ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. به منظور تعیین دماهای کاردینال از دو مدل تکه‌ای و چندجمله‌ای درجه
۶ دو برای پیش‌بینی جوانه‌زنی مارگریت (*Chrysanthemum maximum*) مورد استفاده قرار گرفته است (Hashemi et al.,
۷ 2016). با توجه به نتایج آن‌ها، دمای پایه، بهینه و بیشینه مارگریت به ترتیب (۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد) و (۱۹ تا ۲۳ درجه
۸ سانتی‌گراد) و (۴۳ تا ۵۹ درجه سانتی‌گراد) گزارش شد و مدل دو تکه‌ای نسبت به مدل چندجمله‌ای درجه دوم مدل
۹ مناسب‌تری بود و پیش‌بینی بهتری را نسبت به مدل درجه دوم دارد. درخشان و قرخلو (Derakhshan and Gherekhloo,
۱۰ 2013) نیز مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر در برآورد روند جوانه‌زنی بذر علف قناری (*Phalaris minor*) گزارش
۱۱ نمودند و دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی ۴/۶۹، ۲۲/۶، ۲۹/۶۲ و ۳۸/۱۳ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند.
۱۲

۱۳ در مطالعه‌ای دماهای کاردینال جوانه‌زنی (دمای کمینه، بهینه و بیشینه) بی تی راخ (*Galium aparine L.*) و خردل وحشی
۱۴ (*Sinapis arvensis L.*) به عنوان دو علف‌هرز زمستانه مهم مزارع گندم و کلزای استان گلستان، به ترتیب ۵/۳، ۹/۷ و
۱۵ ۱۱/۶ درجه سانتی‌گراد و ۴/۸، ۸/۶ و ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (HajiAbaee et al., 2015). مقایسه این
۱۶ نتایج، با دماهای کاردینال شمعدانی وحشی به عنوان یکی دیگر از علف‌هرز زمستانه مزارع کلزا و گندم، نشان از تفاوت قابل
۱۷ توجهی دارد. به عبارت دیگر، جوانه‌زنی شمعدانی وحشی زودتر شروع می‌شود اما در دماهای بالاتر، دیرتر به اوج (بهینه)
۱۸ می‌رسد و دیرتر نیز کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج مذکور، نظر به اینکه دماهای بهینه جوانه‌زنی دو علف‌هرز بی تی راخ و
۱۹ خردل وحشی کمتر از شمعدانی وحشی است، لذا زودتر از شمعدانی وحشی در مزارع ظهور پیدا می‌کنند. از طرف دیگر، کنترل
۲۰ دو علف‌هرز بی تی راخ و خردل وحشی با هر روشی و بر اساس اوج جوانه‌زنی آن‌ها، به دلیل بالا بودن دماهای بهینه شمعدانی
۲۱ وحشی، این علف‌هرز، غالبیت می‌یابد،

۲۲ نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش پتانسیل آب (از صفر تا ۰/۸ - مگاپاسکال)، دمای کمینه جوانه‌زنی از ۱/۱۲ به
۲۳ ۴/۹۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت (جدول ۳). به عبارت دیگر با افزایش تنش خشکی، به دمای بیشتری برای تحریک
۲۴ جوانه‌زنی شمعدانی وحشی لازم است. همچنین، در همان محدوده پتانسیل آب، دمای بهینه اول جوانه‌زنی از ۱۸/۸۳ به ۱۰/۵۱
۲۵ و دمای بهینه دوم جوانه‌زنی از ۲۲/۷۶ به ۲۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد تغییر یافت (جدول ۳). به عبارت دیگر، دمای بهینه اول و
۲۶ دوم جوانه‌زنی به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. این تغییرات به منزله کاهش دامنه دمایی مطلوب جوانه‌زنی شمعدانی
۲۷ وحشی تحت تأثیر تنش خشکی می‌باشد. دمای بیشینه جوانه‌زنی نیز در دامنه پتانسیل‌های بررسی شده (صفر تا ۰/۸ -
۲۸ مگاپاسکال) از ۳۵/۰۹ به ۳۴/۴۸ درجه سانتی‌گراد، کاهش جزئی نشان داده است (جدول ۳). از این رو، به طور کلی می‌توان
۲۹ نتیجه‌گیری کرد که، تنش خشکی بیشتر بر روی دمای کمینه و بهینه جوانه‌زنی شمعدانی وحشی اثر گذار بوده است. تحلیل
۳۰ کلی نتایج حاکی از آن است که تا پتانسیل‌های متوسط (۰/۶ - مگاپاسکال) بالاترین سرعت جوانه‌زنی در محدوده دمایی ۱۷
۳۱ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد و در بالاترین پتانسیل (۰/۸ - مگاپاسکال) در محدوده دمایی ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده
۳۲ است (جدول ۳).

نتایج سایر تحقیقات نیز حاکی از اثر معنی‌دار پتانسیل آب بر تغییرات دماهای کاردینال جوانه‌زنی دارد. به طور مثال، نتایج سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) بر خردل وحشی نشان داده است که با افزایش پتانسیل آب از صفر تا ۰/۶- مگاپاسکال دمای کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی به ترتیب از ۲/۸۹- تا ۱/۹۱، ۲۳/۱۸ تا ۲۳/۱۹، و ۳۵/۰۱ تا ۳۰/۰۰ درجه سانتی‌گراد تغییر یافته است. بر اساس گزارش نامبردگان، دمای کمینه و بیشینه خردل وحشی به ترتیب افزایش و کاهش دمای بهینه آن تغییر جزئی یافته است. در تحقیق دیگر، سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2014)، نشان دادند که با افزایش تنش اسمزی تا ۰/۸- مگاپاسکال، دمای کمینه افزایش و دماهای بهینه و بیشینه جوانه‌زنی کلزای خودرو (*Brassica napus* L.) کاهش یافته‌اند. بر اساس گزارش نامبردگان، دماهای مذکور کلزای خودرو به ترتیب از ۲/۰۳ به ۶/۶۸، ۲۶/۹۸ تا ۲۰/۶۶ و ۴۱/۴۸ به ۳۳/۳۳ درجه سانتی‌گراد تغییر یافته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش شمعدانی وحشی از دمای کمینه جوانه رنی پایینی (۱/۱۲ درجه سانتی‌گراد) برخوردار است لذا در مدیریت آن با استفاده از رهیافت تاریخ کاشت، بایستی تا حد امکان از کاشت زود هنگام کلزا (با دمای بهینه جوانه‌زنی بیشتر) و سایر گیاهان زراعی مشابه آلوده به آن خودداری کرد تا از برتری سبز شدن زود هنگام این علف‌هرز ممانعت شود. با توجه به افزایش درصد جوانه‌زنی این علف‌هرز در دامنه دمایی ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و افزایش سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، عملیات کنترل این علف‌هرز در این دماها انجام پذیرد. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش تنش اسمزی (از صفر تا ۰/۸- مگاپاسکال)، دماهای کمینه، دمای بهینه اول، دمای بهینه دوم و دمای بیشینه جوانه‌زنی به ترتیب از ۱/۱۲ تا ۴/۹۶، ۱۸/۸۳ تا ۱۰/۵۱، ۲۲/۷۶ تا ۲۰/۶۳ و ۳۵/۰۹ تا ۳۴/۴۸ درجه سانتی‌گراد تغییر یافت. به عبارتی، با افزایش تنش خشکی، محدوده دمایی مطلوب برای جوانه‌زنی کاهش یافته است. از این رو، با توجه به کاهش جوانه‌زنی و افزایش دمای کمینه جوانه‌زنی تحت تنش‌های اسمزی، استفاده از ارقام گیاهان زراعی متحمل به خشکی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی، شمعدانی وحشی در محدوده دمایی ۱۷ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد از تحمل بیشتری به تنش‌های خشکی متوسط (تا ۰/۶- مگاپاسکال) برخوردار است و با افزایش تنش خشکی، در دماهای کمتر (۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد) متحمل است و پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از این نتایج در راستای امکان مدیریت شمعدانی وحشی توجه شود.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد بابت حمایت مالی از این تحقیق، تقدیر و تشکر می‌شود.

1. Alvarado, V., & Bradford, K.J. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment*, 25(8), 1061-1069.
2. Amayun, M., Khan, S.A., Shinwari, Z.K., Khan, A., Ahmad, N., & Lee, I.J. (2010). Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 977-986.
3. Ashraf, M., & Harris, P.J.C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Journal of Plant Science*, 166: 3–16.
4. Bradford, K.J. (2002). Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Journal of Weed Science*, 50(2), 248-260.
5. Buhler, D.D. (2000). Theoretical and practice challenges to an IPM approach to weed management. *Journal of Weed Science*, 48(3), 274-280.
6. Chachalis, D., & Reddy, K.N. (2000). Factors affecting *Campsis radicans* seed germination and seedling emergence. *Journal of Weed Science*, 48, 212–216.
7. Chauhan, B.S., Gill, G., & Preston, C. (2006). Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. *Journal of Weed Science*, 54, 854-860.
8. Chejara, V.K., Kristiansen, P., Whalley, R.D.B., Sindel, B.M., & Nadolny, C. (2008). Factors affecting germination of Coolatai grass (*Hyparrhenia hirta*). *Journal of Weed Science*, 56, 543–548.
9. Copeland, L.O., & Mc Donald, M.B. (1995). Principles of seed science and technology. Pub. Chapman and Hall. USA.
10. , M.d., and Cornu, D. 1992. Maturation and germination of walnut somatic embryos. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 28: 195-202.
11. Derakhshan, A., and Gherekhloo, J. (2013). Factors affecting *Cyperus difformis* seed germination and seedling emergence. *Planta Daninha*, 31, 823-932.
12. Diyanat, M. (2018). Effect of Temperature and Drought Stress on Germination of Slender Amaranth (*Amaranthus viridis* L.) and Prostrate Pigweed (*Amaranthus blitoides* S. Watson) Seeds. *Journal of Plant Protection*, 31(4): 690-699. (In Persian with English abstract)
13. Diyanat, M. (2019). Prediction of cardinal temperature by nonlinear regression models in carrot (*Daucus carota* L.) and its three common weed species. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 8(1): 175-184. (In Persian with English abstract)
14. Edalat, M., & Kazemeini, S.A. (2013). Estimating cardinal temperatures of tumble mustard (*Sisymbrium altissimum*) and slender foxtail (*Alopecurus myosuroides*) seed germinations. The 5th Iranian Weed Science Congress. Tehran University. Pp: 280-283. (In Persian with English abstract)
15. Ghaderifar, A., Alimagham, S.M., Rezaee Moghadam, H.V., & Haghghi, M. (2012). Effects of environmental factors on germination and emergence of rye crops in wheat fields as wild plant. *Electronic Journal of Crop Production*, 5(4): 133-121. (In Persian with English abstract)
16. HajiAbaee, H., Rahimian Mashhadi, H., Haqiqi, A., & MohammadAmin Qassaam, M.A. (2015). Assessing the cardinal temperature for the germination of *Galium aparine* L. and *Sinapis arvensis* L. The 6 th Iranian weed science congress. Birjand. 21-23 September. P 51-55. (In Persian with English abstract)

17. Hashemi, A., Barooti, SH., & Tavakol Afshari, R. (2016). Determine the cardinal temperatures of seed germination in *Chrysanthemum maximum*. Iranian journal of seed science and technology. 2: 77-84. (In Persian with English abstract)
18. Hejazi, A. 1994. Seed technology. Tehran university press. 345 p. (In Persian with English abstract)
19. Hoseini, M., Mojab, M., & Zamani, Gh. (2012). Evaluation wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) barley grass (*Hordium murinum* L.) and hoary cress (*Cardaria draba* L.) germination in different temperatures. p. 108. In proceeding 4 th Iranian Weed Science. Congress., 6-7 February, 2004. Ahvaz, Iran. (In Persian with English abstract)
20. Jami-Al_Ahmadi, M., & Kafi, M. (2007). Cardinal temperature for germination of (*Kochia scoparia* L.). Journal of Arid Environments, 68(2), 308-314.
21. Kamkar, B., Ahmadi. M., Soltani, A., & Zeinali, E. (2008). Evaluating non-linear regression models to describe response of wheat emergence rate to temperature. Seed Science and Technology, 2: 53-57. (In Persian with English abstract)
22. Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., & Mahdavi-Damghani, A. (2012). Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds germinate using non-linear regression models. India Crop Production, 3, 192-198.
23. Kazerooni-Monfared, A., Takasi, S., Banaeeian, M., Ghanbari, A., Rahimian Mashadi, M., & Pernilson, K. (2013). Effects of temperature and osmotic potential on the seed germination of *Orobanche aegyptiaca*. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 1(1): 33-50. (In Persian with English abstract)
24. Keshavarzi , M., Taghipour , E., & Najafian, E. (2013). Morphological study of pollens of some weedy *Erodium* species, in Iran. The 5 th iranian weed sceince congress. Tehran. September. P 354-356. (In Persian with English abstract)
25. Khakshor Moghadam, Z., lahouti, M., & Ganjali, A. (2011). Effects of drought Stress Induced by Polyethylene Glycol on Germination and Morphophysiological Characteristics of Dill (*Anethum graveolens* L.) Journal of Horticultural Science. 25 (2): 185-193. (In Persian with English abstract)
26. Kiyani, E. (2014). The effect of some environmental factors on seed germination of morning glory (*Ipomoea* spp.). M.Sc. Thesis. Azad University of Gorgan, Iran. 111 p. (In Persian with English abstract)
27. Maguire, J.D. (1962). Seed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Journal of Crop Science, 2, 176-177.
28. Mahmoodi, A., Soltani, E., & Barani, H. (2008). Germination response to temperature of snail medic (*Medicago scutellata* L.). Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding, 1(1): 54-63. (In Persian with English abstract)
29. Michel, B.E., & M.R. Kaufmann. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiol. 51: 914-916.
30. Moradi, A., Ghanbari, A., Rashedmohasel, M.H., & Izadi darbandi, A. (2015). Determination of the cardinal temperatures of *Alhaji pseudalhagi*. Journal of Plant Protection, 29(2): 283-290. (In Persian with English abstract)
31. Nejadhasan, B. (2013). Effect of some environmental factors on seed germination of *Arugula* (*Eruca sativa* Mill). Msc Thesis on Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. 102 p. (In Persian with English abstract)

32. Nosratti, I., Amiri, S., Bagheri, A., & Chauhan, B.S. (2017). Environmental Factors Affecting Seed Germination and Seedling Emergence of Foxtail Sophora (*Sophora alopecuroides*). *Journal of Weed Science*, 66 (1): 71-77.
33. Oliveira, M.J. & Norsworthy, J.K., (2006). Pitted Morningglory (*Ipomoea lacunosa*) germination and emergence as affected by environmental factors and seeding depth. *Journal of Weed Science*, 54(5), 910-916.
34. Poortousi, N., Rashed Mohasel, M.H., & Ezadi Darbandi, E. (2008). Germination characteristics and cardinal temperature of lambsquarter, purselane and crabgrass. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(2): 255-261. (In Persian with English abstract)
35. Rahimi, Z., & Kafi, M. (2009). Effect of different levels of drought on germination characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of environmental stresses in Agricultural Science*, 2(1): 87-91. (In Persian with English abstract)
36. Ray, J., Creamer, R., Schroeder, J., & Murray, L. (2005). Moisture and Temperature requirements for London rocket (*Sisymbrium irio*) emergence. *Journal of Weed Science*, 53, 187–192.
37. Riemens Scheepens, P.C., & Vander Weide, R.Y. (2004). Dormancy, germination and emergence of weed seeds, with emphasis on influence of light. *Plant Research International*, 302, 1-12.
38. Rizzardi, M.A., Luiz, A.R., Roman, E.S., & Vargas, L. (2009). Effect of cardinal temperature and water potential on morning glory (*Ipomoea triloba*) seed germination. *Planta Daninha*, 27(1), 13-21.
39. Sabouri Rad, S., Kafi, M., Nezami, A. & Bannayan Aval, M. (2012). Study on seed germination behavior of *Kochia scoparia* L. Schard in response to temperature and water potential. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*. 18 (4): 578-592. (In Persian with English abstract)
40. Shirdel, M., Siahmarguee, A., & Yones-Abadi, M. (2016). The Effect of Temperature and Water Potential on Seed Germination of Asian spiderflower (*Cleome viscosa* L.): As Invasive Weed in Soybean Fields in Golestan Province. *Journal of Plant Protection*, 3(2): 292-303. (In Persian with English abstract)
41. Sohrabi, S., Ghanbari, A., Rashed Mohasel, M.H., Nasiri Mahalati, M., & Gharekhlou, J. (2011). Effect of temperature, drought and salinity on the seed germination of invasive weed wildmelons (*Cucumis melo*). The 4th weed science congress of Iran. Khorzestan, Pp: 259-261. (In Persian with English abstract)
42. SohrabiGherekhlou, J., & Rashed Mohassel, M.H. (2017). Plant invasion and invasive weeds of Iran. *Jahad Daneshgahi of Mashhad*.
43. Soltani, E., Oveisi, M., Soltani, A., Galeshi, S. Ghaderi-Far, F., & Zeinali, E. (2014). Seed germination modeling of volunteer canola as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. *Weed research journal*. 6 (1): 23-38.
44. Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S. Ghaderi-Far, F., and 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*, (1): 19-33.
45. Taassob-Shirazi, M., Forouzesh, S., Zare, A., & Rahimian-Mashhadi, H. (2013). Germination phonology of invasive plant (*Amsinckia menziesii*). The 5th Iranian Weed Science Congress, Tehran University. Pp: 448-451. (In Persian with English abstract)
46. Tabrizi, L., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Rezvani Moghaddam, P. (2007). Germination behaviour of cultivated and natural stand seeds of Khorasan thyme

- 1 (*Thymus transcaspicus* Klovov) with application of regression models. Iranian Journal of
2 Field Crops Research, 4(2): 249-257. (In Persian with English abstract)
- 3 47. Takasi, S., Al-Ebrahim, M.T., Kazeroni-Monfared, A., & Rashed Mohasel, M.H. (2009).
4 Effect of temperature, light, flooding and plant in depth on germination percentage of
5 wildlettuce weed (*Lactuca serriola*). The 3th Weed Science Congress, Babolsar. Pp: 33-
6 36. (In Persian with English abstract)
- 7 48. Torabi, B. (2003). Prediction of physiological development stages in chickpea. M.Sc. thesis
8 in Agronomy. Gorgan University of Agriculture and Natural Sciences. (In Persian with
9 English abstract)
- 10 49. Zahed, S., Gherekhloo, J., & Baqrany, N. (2013). Prostrate spurge seed germination
11 response to salinity and drought caused by various concentrations of poly ethylene glycol
12 6000. The 5 th Iranian weed science congress. Tehran. September. P 476-479. (In Persian
13 with English abstract)
- 14 50. Zare, A., Deris, F., Z. & Karimi, Z. (2021). Influence of environmental factors on seed
15 germination characteristics of invasive weed yellow starthistle (*Centaurea solstitialis*).
16 Iranian Journal of Seed Science and Technology. 9 (4): 111-122. (In Persian with English
17 abstract)
- 18 51. Zhou, J., Tao, B., Deckard, E.L., & Messersmith, C.G. (2006). Garden huckleberry
19 (*Solanum melanocerasium*) germination, seed survival, and response to herbicides. Journal
20 of Weed Science, 54, 478-483.
- 21
- 22
- 23

24 **Effect of Temperature and Drought Stress on Germination Characteristics** 25 **and Determination of Cardinal Temperatures of Invasive Weed Herb-Robert** 26 **(*Geranium robertianum* L.)**

27 **Extended abstract**

28 **Introduction:** Seed germination is the first and most important stage of plant establishment and
29 subsequent successful competition, which is affected by genetic and environmental factors.
30 Temperature and soil water potential are the most important environmental factors. Knowledge of
31 environmental factors controlling seed germination provides the possibility of predicting weed
32 infestation. By obtaining information about the temperature and moisture requirements of weeds,
33 it is possible to manage them successfully. In recent years, the weed of herb-robert has been raised
34 as an invasive weed in rapeseed fields in Mazandaran and Golestan provinces. To investigate the
35 relationship between temperature and germination rate, various cardinal models such as dent-like,
36 segmented, and beta have been used. The purpose of this research is to determine cardinal
37 temperatures in herb-Robert and investigate the role of temperature and drought stress on some of
38 its germination characteristics.

39 **Materials and methods:** To investigate the effect of temperature and drought stress on herb-
40 Robert (*Geranium robertianum* L.) seed germination, the present study was conducted. This
41 experiment was factorial in the form of a completely randomized design with 8 levels of constant
42

١ temperature (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 °C) and drought stress in 6 levels (-0.2, 4 -0.0, -0.6, -0.8,
٢ -1 MPa) were performed in 4 replications. Germinated seeds were counted up to 14 days after
٣ germination. Then indicators such as percentage, germination rate and time to reach 50%
٤ germination were calculated. A dent-like regression model was used to determine the cardinal
٥ temperature.

٦ **Findings:** The results showed that the constant temperature of 20°C has the highest percentage
٧ (98%) and germination rate (6.019) in non-stress conditions (zero water potential). Also,
٨ germination was stopped at temperatures of 35 and 40 °C. The three-parameters regression model
٩ had good accuracy to describe the trend of cumulative seed germination percentage of herb-Robert.
١٠ The results also showed that with the increase of drought stress, the percentage and rate of
١١ germination decreased and at potentials higher than -0.8 MPa, germination stopped. At zero
١٢ potential (non-stress conditions), the minimum, first optimum, second optimum and maximum
١٣ temperatures were determined as 1.12, 18.83, 22.76 and 35.09 °C, respectively. With an increase
١٤ from zero to water potential up to -0.8 MPa, minimum temperature from 1.12 to 4.96, optimal
١٥ temperatures from 18.83 to 22.76 to 10.51 to 20.63 and maximum temperature from 35.09 changed
١٦ to 34.48 °C.

١٧ **Conclusion:** Based on the results of this study, the highest percentage and rate of seed
١٨ germination occurred at 20°C. There was no seed germination at temperatures of 35 and 40 °C and
١٩ water potential of -1 MPa. With the increase of water potential, the minimum temperature
٢٠ increased, the optimal temperatures decreased and the maximum temperature decreased slightly.
٢١ In general, due to the low minimum temperature, the probability of germination and outbreak of
٢٢ this weed will be higher in colder seasons.

٢٣ **Keywords:** Dent-like model, Germination rate, Optimal temperature.