

تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی علف‌هرز گلرنگ وحشی (*Carthamus oxycantha*) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی مختلف

فاطمه فخرراد^۱ - علی قنبری^{۲*} - مهدی راستگو^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی علف‌هرز گلرنگ وحشی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، و ۳۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. به منظور ارزیابی تأثیر دما بر سرعت جوانه‌زنی بذور از سه مدل رگرسیونی خطوط متقاطع، چند جمله‌ای درجه دوم و پنج پارامتری بتا استفاده شد. نتایج آزمایش نشان داد که دما تأثیر معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی داشت. کم‌ترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه (۲۳ درصد) مشاهده شد، در حالی که کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۶۲) در دمای ۵ درجه اتفاق افتاد. بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در دامنه‌دمایی ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمد و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد هیچ بذری جوانه نزد. بر اساس مدل‌های رگرسیون مورد استفاده، درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی به ترتیب در دامنه (۵-۴/۴۱)، (۱۹/۹۱-۱۹/۶) و (۳۳/۶۶-۲۸/۴۰) بدست آمد. بهترین مدل برازش داده شده برای تعیین دمای کاردینال گلرنگ وحشی بر مبنای جذر میانگین مربعات خطای آزمایش، ضریب تبیین و مقادیر باقیمانده حاصل از برازش، مدل خطوط متقاطع تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: درجه حرارت بهینه، سرعت جوانه‌زنی، مدل خطوط متقاطع

مقدمه

آن ضروری به نظر می‌رسد.

جوانه‌زنی فرآیندی فیزیولوژیکی است که از رشد گیاهچه آغاز شده و با نفوذ گیاهک به داخل بافت‌های پوششی بذر کامل می‌شود، بنابراین زمان جوانه‌زنی حد فاصل بین ورود آب به داخل بذر تا خروج بافت گیاهک از پوسته بذر می‌باشد (۶).

از آنجا که جوانه‌زنی از بحرانی‌ترین مراحل نمو یک گیاه و تعیین‌کننده موفقیت یک علف‌هرز در بوم‌نظام زراعی است (۳۱) شناخت بهتر جوانه‌زنی و سبب شدن علف‌هرز در جهت توسعه برنامه‌های کنترلی و اعمال تیمارهای کنترل مکانیکی و بیولوژیکی ضروری است، از این رو نیاز برای مصرف علف‌کش‌ها را کاهش می‌دهد (۲۰). در واقع درک بیشتر عوامل مؤثر بر جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز، توسعه مدیریت‌زراعی مؤثر بر علف‌های هرز را از طریق ممانعت از جوانه‌زنی یا تحریک جوانه‌زنی در زمانی که گیاهچه‌ها به راحتی کنترل می‌شوند، را تسهیل می‌کند (۳۸). هم‌چنین، آگاهی از خصوصیات جوانه‌زنی و سبب شدن علف‌های هرز پتانسیل توسعه آن‌ها را در مناطق جدید پیش‌بینی می‌کند (۱۴).

جوانه‌زنی فرآیند فیزیولوژیکی پیچیده است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار می‌گیرد (۲۱). عوامل محیطی مختلفی مانند نور، اکسیژن، آب و دما بر جوانه‌زنی مؤثرند که از این میان، دما

گلرنگ وحشی (*Carthamus oxycantha*, L.) از تیره کاسنی (Asteraceae) و بومی نواحی مدیترانه و مناطق غرب آسیا می‌باشد (۳). در جنس گلرنگ تقریباً ۲۵ گونه و زیر گونه وجود دارد (۹). در ایران دو گونه *C. lanatus* و *C. oxycantha* بیشترین تنوع، پراکنش و سازگاری را با شرایط اقلیمی ایران داشته‌اند (۲۴). تحقیقات نشان داده در صورتی که بذرها این گیاه مورد حمله باکتری‌ها قرار نگیرند، می‌توانند تا هشت سال قدرت حیات خود را حفظ کنند و بذرها این گیاه در پاییز و یا اوایل زمستان جوانه‌زده و گیاه فصل زمستان را به صورت رزت سپری می‌کند. دوره گل‌دهی این گیاه از تیر تا آبان بوده و بذرها رسیده در همان سال اول قادر به جوانه‌زنی هستند (۲۴). علی‌رغم فواید دارویی زیادی که این علف‌هرز دارد، حضور آن در محصولات زراعی باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود، لذا، شناخت عوامل مؤثر در مراحل نمو این علف‌هرز در مدیریت صحیح

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: Ghambari@um.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jpp.v32i4.66879

شروع آزمایش، بستر بذر (کاغذ واتمن شماره ۱) در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت استریل شد. بذرها با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۲ دقیقه ضدعفونی و پس از شستشوی با آب مقطر به مدت ۳ دقیقه، تعداد ۲۵ بذر داخل پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متری روی دو لایه کاغذ صافی گذاشته شدند و به مقدار ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه گردید. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی و رطوبت نسبی ۶۰ درصد انجام شد. جهت حفظ رطوبت مورد نیاز در طی آزمایش، کاغذ صافی درون پتری‌دیش‌ها مرطوب نگهداشته شد. مبنای جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه از پوسته بذر و قابل رویت بودن آن با چشم غیرمسلح بود. شمارش بذره‌های جوانه زده بعد از ۲۴ ساعت به صورت روزانه انجام شد و تا زمانی که تعداد تجمعی بذور جوانه‌زده به یک حد ثابت رسید (تا ۱۴ روز) و یا زمانی که صد درصد جوانه‌زنی حاصل شد به طور مرتب و مداوم صورت گرفت. درصد و سرعت جوانه‌زنی در هر درجه حرارت محاسبه گردید. اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی بذور (بذر در روز) با استفاده از معادله ۱ انجام شد (۱۹).

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{D_i} \quad (1) \text{ معادله}$$

در این معادله R سرعت جوانه‌زنی (برحسب تعداد بذر جوانه‌زده در روز)، S_i تعداد بذر جوانه‌زده در روز i ام و D_i تعداد روز تا شمارش i ام می‌باشد. تعیین درجه حرارت‌های کاردینال (کمینه، بهینه و بیشینه) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بین سرعت جوانه‌زنی و درجه حرارت‌های مختلف صورت گرفت که در آن‌ها درجه حرارت‌های مختلف بعنوان متغیر مستقل (محور X) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور Y) در نظر گرفته شد. مدل‌های رگرسیون مورد بررسی شامل خطوط متقاطع (ISL) (معادله ۲) (۵)، مدل ۵ پارامتری (FPB) (معادله ۳) (۴) و مدل چند جمله‌ای درجه ۲ (QPN) (معادله ۴) (۲۷) بود.

$$f = \text{if}(T < T_0, \text{region1}(T), \text{region2}(T)) \quad (2) \text{ معادله}$$

$$\text{region1}(T) = b(T - T_b)$$

$$\text{region2}(T) = c(T_m - T)$$

$$f = \exp(\mu) (T - T_b)^\alpha (T_m - T)^\beta \quad (3) \text{ معادله}$$

$$T_0 = (\alpha T_m + \beta T_b) / (\alpha + \beta)$$

$$f = a + bT + cT^2 \quad (4) \text{ معادله}$$

$$T_0 = b + 2cT$$

لازم به ذکر است که در معادله ۵ پارامتری بتا و چند جمله‌ای درجه دوم، درجه حرارت بهینه (T_0) از مشتق‌گیری استفاده شد. در تمامی مدل‌های ذکر شده، f سرعت جوانه‌زنی (تعداد/روز)، T درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)، T_0 ، T_b و T_m به ترتیب درجه حرارت‌های

عامل مهمی است که جوانه‌زنی و خواب بذر را کنترل می‌کند (۱۱). بطور کلی اثر دما بر جوانه‌زنی بر حسب درجه حرارت‌های کاردینال یعنی دمای حداقل، مطلوب و حداکثر بیان می‌شوند درجه حرارت حداقل یا پایه (Tb) بر حسب تعریف کم‌ترین درجه حرارتی است که در آن جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد، درجه حرارت بهینه (To) دمایی است که در آن بیشترین درصد جوانه‌زنی در کوتاهترین دوره زمانی اتفاق می‌افتد و درجه حرارت حداکثر (Tm) بالاترین دمایی است که بذور قادر به جوانه‌زنی می‌باشند (۳۷). درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی، عموماً بستگی به دامنه سازگاری محیطی یک گونه دارد و تطابق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب برای مرحله بعدی رشد و توسعه گیاهچه را تضمین می‌کند (۲).

به منظور کمی‌سازی تأثیر دما بر جوانه‌زنی گیاهان مدل‌های رگرسیونی زیادی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که درجه حرارت‌های کاردینال (پایه، بهینه و بیشینه) را تعیین می‌کنند (۸، ۱۱، ۲۹، ۳۵). معمولاً، افزایش خطی در سرعت جوانه‌زنی مرتبط با افزایش دما از دمای پایه به دمای بهینه پیش می‌رود و با افزایش دما بعد از دمای بهینه سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (۶ و ۲۵).

با توجه به گسترش علف‌هرز گلرنگ‌وحشی در مناطق آیش و زمین‌های زعفران شهرستان بردسکن (خراسان‌رضوی) و کاهش عملکرد زعفران به علت حضور این علف‌هرز در مزارع، ارزیابی خصوصیات جوانه‌زنی و تعیین درجه حرارت‌های کاردینال در راستای مدیریت و کنترل علف‌هرز مذکور ضروری به نظر می‌رسد. این آزمایش به منظور بررسی تأثیر دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی علف‌هرز گلرنگ‌وحشی و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذور این علف‌هرز و همچنین ارزیابی مدل‌های مورد استفاده در تعیین دماهای کاردینال انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی رفتار جوانه‌زنی علف‌هرز گلرنگ‌وحشی آزمایشی در آزمایشگاه تحقیقات علوم علف‌های هرز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۵ انجام شد. بدین منظور، بذور گلرنگ‌وحشی در مردادماه سال ۱۳۹۴ از مزارع زعفران شهرستان بردسکن با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۹۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۸۶۲ متری از سطح دریا، جمع‌آوری شدند. سپس بذور تمیز و خشک شده، در دمای اتاق در پاکت‌های کاغذی به مدت زمان ۵ تا ۶ ماه جهت شکستن خواب بذور نگهداری شدند. پس از گذشت این مدت زمان، برای اطمینان از جوانه‌زنی مطلوب، قوه نامیه بذور در دمای محیط و همچنین آزمون تترازولیم بر روی بذور این گیاه انجام شد. نتایج آزمون نشان‌دهنده جوانه‌زنی بالای بذور و عدم وجود خواب بذر در آن‌ها بود. قبل از

بذری از گلرنگ وحشی جوانه نزد. درصدهای جوانه‌زنی این گیاه در محدوده دمایی ۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد (جدول ۱) نشان‌دهنده حضور بیشتر این علف‌هرز در اوایل فصل رشد در مقایسه با اواخر فصل رشد است و همچنین با توجه به درصد و سرعت بالای جوانه‌زنی این گیاه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌توان گفت که بهترین زمان مبارزه و انجام عملیات کنترلی با این علف‌هرز در اوایل فصل رشد و در زمانی است که دمای محیط حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد، زیرا در این وضعیت درصد زیادی از بذور گلرنگ‌وحشی با سرعت زیاد جوانه زده و انجام عملیات زراعی و مکانیکی نیز جهت مبارزه با علف‌هرز از لحاظ اقتصادی نیز به صرفه است. عکس‌العمل بذور گیاهان مختلف به درجه‌حرارت، بستگی به نوع گونه، رقم، منطقه رشد و مدت زمان بذور از برداشت دارد، به نظر می‌رسد فقدان جوانه‌زنی و مرگ‌بذور برخی از گونه‌های گیاهی در درجه‌حرارت‌های بالا، می‌تواند مرتبط با ایجاد و یا تحمیل خواب ثانویه در بذور از طریق ایجاد لایه‌فیزیکی نفوذناپذیر در آندوسپرم یا پریکارپ و در نتیجه عدم جذب آب و عدم خروج ریشه‌چه در شرایط نامطلوب باشد (۷). در آزمایش ثانویه و همکاران (۳۳) که به منظور بررسی اثر عوامل محیطی بر جوانه‌زنی علف‌هرز گلرنگ‌وحشی انجام شد، افزایش دما از ۱۵ به ۲۵ درجه درصد جوانه‌زنی گلرنگ‌وحشی را افزایش داد. در آزمایشی که توسط بصیری و همکاران (۳) نیز انجام شد جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ‌وحشی در دماهای ۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد و دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد، دماهای مطلوب جوانه‌زنی این علف‌هرز گزارش شدند. در آزمایش وانگ و همکاران (۳۶) با افزایش دما از ۵ درجه سانتی‌گراد به ۲۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی علف‌هرز هفت بند (*Polypogon fugax*) از صفر درصد به ۵۹ درصد افزایش یافت و بعد از ۲۰ درجه سانتی‌گراد، جوانه‌زنی آن کاهش و در ۳۰ درجه سانتی‌گراد به صفر رسید.

کمینه، بهینه و بیشینه و همچنین μ ، α ، β ، α و b و c به عنوان ضرایب رگرسیون بودند.

پارامترهای مختلفی مانند تحلیل نمودار باقیمانده‌ها، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) ضریب همبستگی (R^2) و R^2_{adj} به منظور سازگاری و تطابق سرعت جوانه‌زنی با مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفته است (۱، ۲، ۱۳، ۲۷). در این آزمایش نیز بعد از برازش معادلات مذکور، نمودارهای باقیمانده هر مدل رسم شد. مبنای مقایسه مدل‌ها ضریب همبستگی (R^2)، تحلیل نمودار باقیمانده و R^2_{adj} (معادله ۴) معادله بود.

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum (O_i - P_i)^2}{(O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{معادله ۴})$$

که در این معادله O_i و P_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده و \bar{O} میانگین مشاهدات می‌باشد. داده‌های آزمایش، قبل از آنالیز آماری، بر اساس تبدیل جذری $(\sqrt{x} + 0.5)$ نرمال شدند و آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت. جهت برازش مدل‌های رگرسیونی نیز از نرم‌افزار SigmaPlot ver. 12.5 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش نشان داد که دما تأثیر معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی داشت (جدول ۱). دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین سرعت (به ترتیب ۶/۴۴ و ۹/۹۲) و درصد جوانه‌زنی (به ترتیب ۸۳ و ۱۰۰) را داشتند. کمترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه (۲۳ درصد) بود، در حالی که کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۶۲) در دمای ۵ درجه اتفاق افتاد. به طور کلی با افزایش دما از ۵ درجه به ۲۰ درجه سانتی‌گراد درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و از دمای ۲۰ درجه به بعد دچار کاهش شد بطوری که در دمای ۳۵ درجه هیچ

جدول ۱- درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور علف‌هرز گلرنگ‌وحشی در دماهای مختلف

Table 1- Germination rate and percentage of *Carthamus oxycantha* in different temperatures

درجه حرارت (سانتی‌گراد) Temperature (°C)	جوانه‌زنی کل (درصد) Total germination (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر/روز) Germination rate (Seed/day)
5	25 ^c	0.62 ^f
10	50 ^d	2.74 ^d
15	83 ^b	6.44 ^b
20	100 ^a	9.92 ^a
25	68 ^c	5.19 ^c
30	23 ^f	1.47 ^e
35	0	0

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means followed by at least same letter are not significantly differentns by Duncan Test ($P < 0.05$)

برتری مدل خطوط متقاطع نسبت به دو مدل دیگر بود (جدول ۲). به طور مشابه در آزمایش حسینی و همکاران (۱۷) نیز، مدل خطوط متقاطع برای تعیین دماهای کاردینال جو دره (*Hordeum spontaneum* Koch.) بهترین مدل بود.

با توجه به مقدار R^2_{adj} مدل خطوط متقاطع (۰/۸۷)، پنج پارامتره بتا (۰/۵۶) و چندجمله‌ای درجه دوم (۰/۶۹) به ترتیب مناسب‌ترین مدل بودند. بر مبنای میزان جذر میانگین مربع خطا نیز مدل خطوط متقاطع با داشتن کم‌ترین میزان این پارامتر (۰/۷۶) در مقایسه با مدل پنج پارامتره بتا (۰/۹۱) و چندجمله‌ای درجه دو (۱/۸۰) بهترین مدل بود. در آزمایش خلاج و همکاران (۱۸) مقایسه مدل‌های رگرسیونی (شامل خطوط متقاطع، دندانه‌ای و بتا) بر مبنای میزان ضریب همبستگی (R^2) و میزان جذر میانگین مربع خطا (RMSE) در سه گیاه یولاف وحشی (*Avena. fatua*)، خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) و خاکشیر (*Descurainia sophia*) نشان داد، نمودار خطوط متقاطع بالاترین میزان ضریب همبستگی و کم‌ترین میزان خطا بهترین مدل در هر سه گیاه بود. اما در آزمایش پرمون و همکاران (۲۲) مدل بتا بهترین مدل بر ای تخمین دمای کاردینال گیاه خارمریم (*Silybum marianum*) بود. سلطانی و همکاران (۲۸) مدل دندانه مانند را به عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سبز شدن گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) در دماها و عمق‌های مختلف معرفی کردند. در آزمایشی که توسط قادری فر و همکاران (۱۲) به منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای توصیف سرعت جوانه‌زنی کدو تخم‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.)، گاوزبان (*Borago officinalis*) و سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) نسبت به دما و با استفاده از پارامترهای مقدار جذر میانگین مربع انحرافات (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب رگرسیون (a و b) انجام شد، مدل بتا در گیاه گاوزبان و مدل‌های بتا و دندان مانند در کدو تخم‌کاغذی و سیاه دانه بهترین برآزش را بین سرعت و دما داشتند.

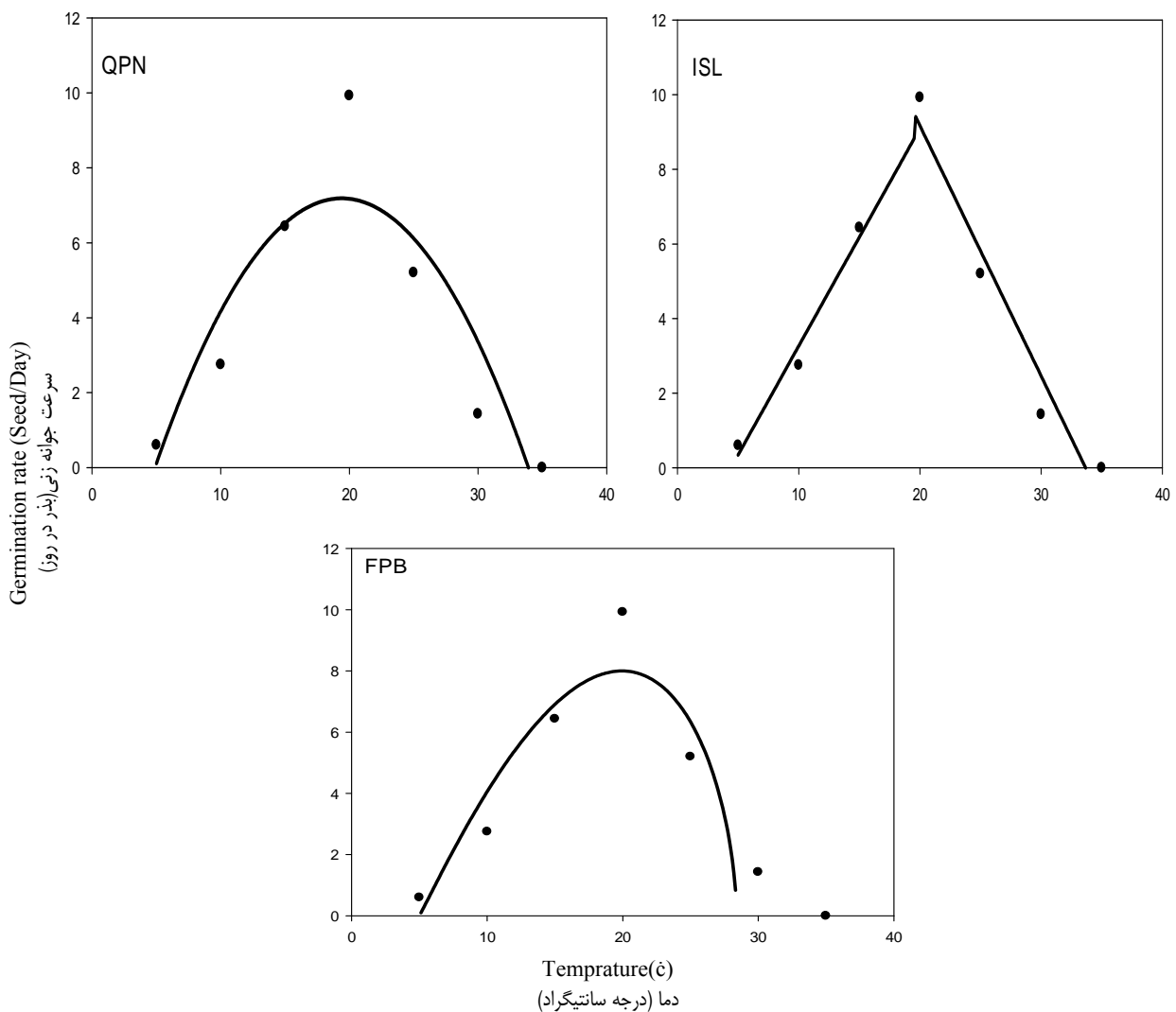
در آزمایش طاهرآبادی و همکاران (۳۲) دماهای کاردینال (دمای پایه، بهینه و بیشینه) برای گیاه بنگدانه (*Hyoscyamus niger*) به ترتیب ۰/۶۶، ۳۱ و ۴۱ درجه سانتی‌گراد، برای گیاه تاج الملوک (*napellus Aconitum*) ۲/۸۴، ۱۱/۴۸ و ۴۱/۰۵ درجه سانتی‌گراد و برای گیاه شاهدانه به ترتیب ۲/۶، ۲۶/۸ و ۴۲/۸ درجه سانتی‌گراد تعیین شد و نتایج آزمایش محققان نشان داد که وجود دامنه دمای متفاوت در جوانه‌زنی بذرهای علف‌هرز در استقرار و رقابت پذیری آن‌ها مؤثر است. در آزمایش قادری فر و همکاران (۱۳) دمای پایه، بهینه و بیشینه برای گیاه یونجه زرد (*Melilotus officinalis*) به ترتیب ۰، ۱۸/۴۷ و ۳۴/۶۴ درجه سانتی‌گراد بدست آمد.

درجه حرارت‌های مختلف با تأثیری که بر روی جوانه‌زنی می‌گذارند، ممکن است برای ارزیابی ویژگی‌های جوانه‌زنی و پتانسیل استقرار گونه‌های گیاهی مفید باشند. سرعت جوانه‌زنی در بحث استقرار گیاه اهمیت بیشتری از درصد جوانه‌زنی دارد زیرا هرچه جوانه‌زنی سریع‌تر باشد احتمال خروج ریشه‌چه و از خاک و جذب رطوبت خاک و استقرار بهتر گیاهچه افزایش می‌یابد (۱۶). در شرایط طبیعی، استفاده از شاخص سرعت جوانه‌زنی در گونه‌های مختلف گیاهی جهت برآزش مدل‌های رگرسیونی، برای تعیین دماهای کاردینال مؤثر است (۲۳). در شکل الف و جدول ۲، درجه حرارت‌های کاردینال (کمینه، بهینه و بیشینه) با استفاده از برآزش سه مدل خطوط متقاطع، چندجمله‌ای درجه دوم و ۵ پارامتری بتا تعیین شدند. بر اساس نتایج بدست آمده از تخمین این سه مدل، مقادیر درجه حرارت‌های کمینه، بهینه و بیشینه به ترتیب در دامنه (۵ - ۴/۴۱)، (۱۹/۹۱-۱۹/۶) و (۳۳/۶۶ - ۲۸/۴۰) سانتی‌گراد بدست آمد، که این مقادیر در سه مدل مورد مطالعه تقریباً با یکدیگر مطابقت داشتند، اما ضریب همبستگی (R^2) در مدل خطوط متقاطع بیشتر بود، بطوری‌که در مدل‌های متقاطع میزان ضریب همبستگی ۰/۹۵ و این مقدار برای مدل‌های درجه دو و پنج پارامتره بتا به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۸۵ بود که نشان‌دهنده

جدول ۲- مقادیر درجه حرارت‌های کاردینال بذور گلرنگ وحشی و نیز برخی از پارامترهای دیگر حاصل از برآزش مدل‌های خطوط متقاطع، چند جمله‌ای درجه دو و پنج پارامتره بتا به داده‌های رابطه سرعت جوانه‌زنی بذور گلرنگ وحشی و دما

Table 2- Cardinal temperatures and parameters from, fitting ISL, QPN and FPB models on germination rate of *C. oxycantha* seeds at different temperatures

مدل model	دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) Base temperature (°C)	دمای بهینه (درجه سانتی‌گراد) Optimum temperature (°C)	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	R^2	R^2_{adj}	RMSE
خطوط متقاطع (ISL)	4.41	19.60	33.66	0.95	0.87	0.76
چند جمله‌ای درجه دوم (QPN)	4.90	19.41	33.80	0.79	0.69	1.80
پنج پارامتری بتا (FBN)	5.00	19.97	28.40	0.85	0.56	0.91



شکل ۱- برازش مدل‌های خطوط متقاطع، چندجمله‌ای درجه دوم و پنج پارامتری بتا به رابطه دما و سرعت جوانه‌زنی بذور گلرنگ وحشی
 Figure 1- Fitting, Intersected-lines (ISL), Quadratic Polynomial (QPN) and Five-parameter Beta (FPB) models on germination rate of *C. oxycantha* at different temperature

مقایسه با سایر مدل‌ها بود. در آزمایش عسگریپور و همکاران (۱) نیز بر مبنای پارامتر ضریب همبستگی (R^2) و هم چنین تحلیل نمودار باقیمانده‌ها، مدل خطوط متقاطع برای توده علف شور خراسان شمالی مناسب‌ترین برازش را بین داده‌های دما و سرعت نشان دادند.

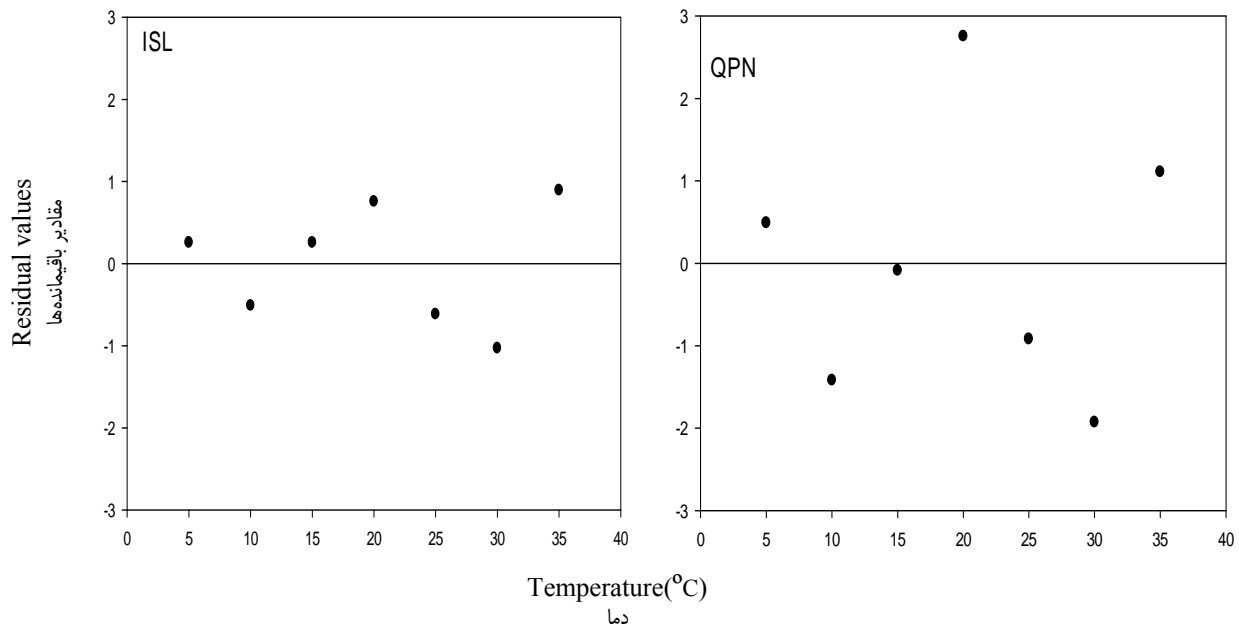
نتیجه‌گیری

هرچند با توجه به نتایج این آزمایش، درجه حرارت نزدیک به ۵ درجه سانتی‌گراد برای شروع جوانه‌زنی این گیاه لازم است و به تدریج با بالا رفتن دما تا حد مشخصی جوانه‌زنی آن افزایش می‌یابد و پس از اوج جوانه‌زنی در درجه حرارت بهینه (نزدیک ۲۰ درجه سانتی‌گراد)، با گرم شدن هوا و القای خواب در بذرهای گلرنگ وحشی میزان

با توجه به اینکه نمودار باقیمانده‌ها (اختلاف بین مقادیر مشاهده شده آزمایش و داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل) نشان‌دهنده‌ی میزان خطا در پیش‌بینی مدل است، در این آزمایش نیز، از این نمودار برای انتخاب بهترین مدل با کمترین خطا بین داده‌ها استفاده شد (لازم به ذکر است در آزمایش حاضر نمودار پنج پارامتری بتا برای مقادیر مشاهده شده دماهای ۵، ۳۰ و ۳۵ درجه نتوانست مقداری پیش‌بینی کند، در نتیجه به علت عدم داشتن باقیمانده برای رسم نمودار، مقایسه در این باره بین دو مدل دیگر انجام شد). تحلیل نمودار باقیمانده‌ها (شکل ۲)، نشان داد در مدل خطوط متقاطع، کمترین نوسانات در مقادیر باقیمانده در اطراف میانگین مشاهده شد و این مطلب تأییدی دیگر در صحت برتری مدل خطوط متقاطع در

با شرایط جدید تطابق یافته و ممکن است درجه حرارت‌های کاردینال این گیاه نیز در سازگاری با شرایط جدید تغییر یابد.

جوانه‌زنی این گیاه کاهش می‌یابد، اما این نکته قابل توجه است که با تغییر شرایط آب و هوایی و تغییر اقلیم، گیاهان از جمله گلرنگ وحشی



شکل ۲- مقادیر باقیمانده حاصل از برازش مدل‌های خطوط متقاطع و مدل چند جمله‌ای درجه دوم به داده‌های سرعت جوانه‌زنی گلرنگ وحشی در دماهای مختلف

Figure 2- Residual values from fitting Intersected-lines (ISL) and Quadratic Polynomial (QPN) models to seed germination rate in *C. oxycantha* at different temperatures

منابع

1. Asgarpour R., Mijani S., and Ghorbani R. 2013. Effect of temperature on germination rate of two passion grasses (*Salsola kali* L.) based on regression models, Journal of Plant Protection (Agriculture Sciences and Technology), 7(4): 476-483. (In Persian with English abstract)
2. Alvarado V., and Bradford K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Journal of Plant, Cell and Environment, 25: 1061-1069.
3. Bassiri A., Rouhani I., and Ghorashy S.R. 1975. Effect of temperature and scarification on germination and emergence of wild safflower, *Carthamus oxycantha*. Agricultural Science, 84: 239-243.
4. Behdani M.A., Koocheki A., Nassiri M., and Rezvani P. 2008. Models of predict flowering time in the main Saffron production regions of Khorasan province. Applied Sciences, 8 :907-909.
5. Bewley J.D., Bradford K.J., Hilhorst H.W.M., and Nonogaki H. 2012. Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy, Third Edition. Press, Springer New York, Heidelberg Dordrecht London.
6. Bradford K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science, 50: 248-260.
7. Cave R.L., Birch C.J., Hammer G.L., Erwin J.E., and Johnston M.E. 2011. Cardinal temperature and thermal time for seed germination of *Brunonia australis* (Goodeniaceae) and *Calandrinia* sp. (Portulacaceae). HortScience, 46:753-758.
8. Dashti M., Kafi M., Tavakkoli H., and Mirza M. 2015. Cardinal temperatures for germination of *Salvia leriifolia* Benth. herba polonica, 60: 5-18.
9. Dittrich M., Petrak F., Rechinger K.H., and Wagenitz G. 1979. Compositae Cynareae. In: Rechinger, K.H. (ed.), Flora Iranica, Pp: 139-468. Journal of Ecology, 18:1216-1220.
10. Ebrahimi E., and Eslami S.V. 2012. Effect of environmental factors on seed germination and emergence of invasive *Ceratocarpus arenarius*. Weed Research, 52: 50-59.

11. Forcella F., Benech-Arnold R.L., Sanchez R., and Ghersa C.M. 2000. Modelling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67: 123-139.
12. Ghaderi-Far F., Soltani A., and Sadeghi-pour H.R. 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) *Journal of Plant Protection (Agriculture Sciences and Technology)*, 16(4): 1 - 19. (In Persian with English abstract)
13. Ghaderi-Far F., Gherekhloo J., and Alimagham M. 2010. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*). *Planta Daninha*, 28: 463-469.
14. Ghersa C.M., Benech-Arnold R.L., Sattore E.H., and Martinez-Ghersa M.A. 2000. Advances in weed management strategies. *Field Crop Research*, 67: 95-104.
15. Hakansson I., Myrbeck A., and Erarso A. 2002. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil Tillage Research*, 64: 23-40.
16. Hashemi A., Baruti S.H., and Tavakolafshari R. 2017. Determine the cardinal temperatures of Marguerite seed (*Chrysanthemum maximum* Ramond). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5: 77-84. (In Persian)
17. Hosseini M., Mojab M., and Zamani G.H. 2017. Cardinal temperatures for seed germination of wild barley, barley grass and hoary cress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63: 352-361.
18. Khalaj H., Allahdadi I., Iranejad H., Akbari G.A., MinBashi M., Baghestani M.A., Labbafi M., and Mehrafarin A. 2015. Using nonlinear regression model for estimation of cardinal temperatures in three medicinal plants. *Journal of Kasetsart -Natural Science*, 49: 165 - 173.
19. Maguire J.D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2: 176-177.
20. Masin R., Zuin M.C., Archer D.W., Forcella F., and Zanin G. 2005. A predictive model to aid control of annual summer weeds in turf. *Weed Science*, 53:193-201.
21. Meyer S.E., and Pendleton R.L. 2000. Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentata* (Rosaceae). *Annals of Botany*, 85: 521-529.
22. Parmoona G.H., Hamed Akbarib S.A., and Ebadia A. 2015. Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum*. *Journal of Seed and Crop*, 3: 145-151.
23. Pourreza J., and Bahrani S.A. 2012. Estimating Cardinal Temperatures of Milk Thistle (*Silybum marianum*) Seed Germination. *Agriculture and Environment Science*, 12: 1030-1034.
24. Rashed Mohsen M., Najafi H., and Akbarzadeh M. 2001. *Biology and Weed Control*. Ferdowsi University Press, Mashhad. (In Persian)
25. Rowse H.R., and Finch-Savage W.E. 2003. Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub-and supra-optimal temperatures. *New Phytologist*, 158: 101-108.
26. Shafii B., and PriceSource W.J. 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journals of Agriculture Biology and Environments Statistics*, 6: 356-366.
27. Saeidnejad A. H., Kafi M., and Pessaraki M. 2012 Evaluation of cardinal temperatures and germination responses of four ecotypes of *Bunium persicum* under different thermal conditions. *Agriculture and Crop Science*, 4: 1266-1271.
28. Soltani A., Robertson M.J., Torabi B., Yousefi-Daz M., and Sarparast R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138: 156-167.
29. Soltani A., and Sinclair T.R. 2012. *Modeling physiology of crop development, growth and yield*. Oxford shire: CABI Press; p.322.
30. Steckel L.E., Sprague C.L., Stoller E.W., and Wax L.M. 2004. Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. *Weed Science*, 52: 217-221.
31. SitiAishah H., Saberi A.R., Halim R.A., and Zaharah A.R. 2010. Salinity effects on germination of 585 forage sorghumes. *Journal of Agronomy*, 9: 169-174
32. Taherabadi S.H., Goldani M., Taherabadi S.H., and Fazeli Kakhki S.F. 2015. Determination of cardinal temperatures of germination of weed seeds of *Hyoscyamus niger*, *Aconitum napellus* and *Cannabis sativa*. *Journal of plant protection*, 29: 16-22. (In Persian)
33. Tanveer A., Muhammad Zeshan Farid M., Tahir M., Mansoor Javaid M., and Khaliq A. 2012. Environmental factors affecting the germination and seedling emergence of *Carthamus oxyacantha* M. Bieb. (Wild Safflower). *Pakistan Journal of Weed Science and Research*, 18: 221-235.
34. Wang R., Bai Y., and Tanino K. 2004. Effect of seed size and sub-zero imbibitions-temperature on the thermal time model of winterfat (*Eurotia lanata* (Pursh) Moq.). *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 51: 183-187.

35. Wang R. 2006. Seedling emergence of winterfat (*Krascheninnikovia lanata* (Pursh) A.D.J. Meeuse & Smit) in the field and its prediction using the hydrothermal time model. *Journal of Arid Environments*, 64: 37-53.
36. Wang L., Jin S., Wu L., Zhou X., Liu X., and Bai L. 2016. Influence of Environmental Factors on Seed Germination and Emergence of Asia Minor Bluegrass (*Polypogon fugax*). *Weed Technology*, 30: 533-538.
37. Zarif-ketabi H., Kazaei H.R., and A Nezami A. 2016. Estimation of the cardinal temperatures for germination of four *Satureja* species growing in Iran. *Herba Polonica*, 62: 7-21.
38. Zhou J., Deckard E.L., and Ahrens W.H. 2005. Factors affecting germination of hairy nightshade (*Solanum sarrachoides*) seeds. *Weed Science*, 53: 41-45



Estimation of Cardinal Temperatures of *Carthamus oxycantha* Germination Using Different Regression Models

S. F. Fakhrrad¹- A Ghanbari^{2*}- M. Rastgoo³

Received: 15-11-2017

Accepted: 14-07-2018

Introduction: The genus *Carthamus* includes 25 species and subspecies in Iran, the two species *C. oxycantha* and *C. lanatus* have the most diversity, distribution and adaptation to the climatic conditions of Iran. *C. oxycantha* is a broadleaf weed and belongs to sunflower (Asteraceae) family. As seed germination is the beginning of the life cycle of plants, seedling emergence is critical for the establishment of plant populations. Germination and early seedling growth of many plants are the most sensitive stages to environmental stresses. Environmental factors, such as temperature, soil solution osmotic potential, solution pH, light quality, management practices and seed location in the soil seed bank, affect weed seed germination and emergence. Temperature is the most important environmental factors that control plant development, growth and yield. All biological processes respond to temperature, and all responses can be summarized in terms of three cardinal temperatures, namely the base or minimum (T_{min}), the optimum (T_{opt}), and the maximum (T_m) temperatures. Modeling of seed germination is considered an effective approach to determining cardinal temperatures for most plant species. Determination of cardinal temperatures could be a useful guidance to introduce new species in a new area or in selection of the sowing time. A clear understanding of cardinal temperatures could also be the first step for domestication of new species. There are various mathematical models describing seed germination responses to temperature, among which three have been used more often: intersected lines (ISL), quadratic polynomial (QPN) and five parameters beta (FPB).

Material and Methods: In order to investigate percentage and germination rate of *C. oxycantha* seeds, a laboratory experiment was conducted in complete randomized design (CRD) with four replications and under 7 constant temperatures 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 °C. Seeds were sterilized with 0.5% sodium hypochlorite solution for 1 min. Followed by washing with distilled water. Then, they were transferred to 9 cm diameter sterilized petri dish containing single layer of filter paper (Wathman #1). The germinated seeds were counted daily and continued until a cumulative germination reached a fixed amount (up to 14 days) or when 100% germination was achieved. Seeds were considered as germinated if the radicle was visible. To estimate the effects of temperature on germination rate of *C. oxycantha* seeds, three regression models included: Five-parameters Beta (FPB), Intersected-lines (ISL) and Quadratic Polynomial (QPN), were used. The germination data were tested for normality before analysis of variance. Data were analyzed using SAS 9.1 and Microsoft Excel 2007, and figures were designed by Sigmaplot 12.5.

Results and Discussion: The results of the experiment showed that the temperature had a significant effect on the percentage and rate of germination. The lowest germination percentage was at 30°C (23%), while the lowest germination rate (0.62) occurred at 5°C. The highest germination percentage and germination rate occurred in 15-20 °C. Generally, by increasing temperature from 5 °C to 20 °C, the percentage and germination rate increased and decreased after 20 °C, so that at 35 °C, no seeds of wild safflower germinated. Based on the regression models the cardinal temperatures (T_{base} , T_{opt} and T_{max}) were (4.4-5), (19.6-19.91) and (28.4-33.66) °C, respectively. ISL was the best model to estimate cardinal temperature of *C. oxycantha* based on the root-mean-square error, determination coefficient and residual values. According this model, the base, optimum and maximum temperatures were estimated as 4.41°C, 19.6°C and 33.3 °C. Khalaj *et al* (2015) modeled the germination rate of three medicinal plants, including wild oat (*Avena fatua* L.), wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) and *Descurania Sophia* (L.). They showed that the segmented model was the best. But parmoon *et al* (2015) showed that the beta model was found to be the best model for predicting the germination rate and cardinal temperature of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Soltani *et al* (2006) showed that the response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) emergence to temperature is best described by a dent-like function.

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Associate Professors, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, Respectively

(* - Corresponding Author Email: Ghanbari @um.ac.ir)

Conclusion: The result of this experiment showed the best model to estimate cardinal temperature of *C. oxycantha* was ISL. According this model T_b , T_o and T_m were estimated as 1.41°C, 19.6°C and 33.3°C, respectively. It should be noted that although according to the results of this experiment, the optimum germination temperature in the wild safflower was about 20 °C and high temperatures were effective in reducing germination percentage and consequently inducing dormancy in the safflower seedlings, with climate change, plants such as wild safflower adapted to the new conditions, and the cardinal temperatures of this plant may also be changed in accordance with the new conditions.

Keywords: Germination rate, Intersected line model, Optimum temperature