

برآورد دماهای کاردینال و تعیین اثر دما و پتانسیل اسمزی بر جوانه‌زنی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

بهمن جعفری^۱، غلامرضا محسن‌آبادی^{۲*}، عاطفه صبوری^۲

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۱

چکیده

این پژوهش با هدف برآورد دماهای کاردینال و تعیین اثر دما و پتانسیل اسمزی بر جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ (رقم گلدشت) در آزمایشگاه زراعت دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، در سال ۱۳۹۵ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل هفت سطح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و پنج سطح پتانسیل اسمزی (صفر، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶، -۰/۸ مگاپاسکال) بود. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف پتانسیل اسمزی، دما و برهمکنش آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) داشت. مقایسه میانگین نشان داد که با کاهش پتانسیل اسمزی، درصد جوانه‌زنی و دامنه دمایی مطلوب جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ کاهش یافت. همچنین کاهش پتانسیل اسمزی سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه در تمامی تیمارهای دمایی شد، به گونه‌ای که بالاترین سرعت جوانه‌زنی (۱۹/۸ بذر در روز) و شاخص بنیه (۱/۹۶) به ترتیب در تیمار شاهد در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. همچنین برای توصیف رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما از مدل‌های بتا، درجه دوم، منحنی، دندان مانند و دوتکه‌ای استفاده شد. بر اساس معیارهای سنجش مدل، مدل‌های درجه دو و دوتکه‌ای به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۸۲ و ۰/۹۶ برتر بودند. بر این اساس دماهای کاردینال شامل دمای کمینه بین ۲/۲ تا ۴/۲ درجه سانتی‌گراد، بهینه بین ۲۳/۱۵ تا ۲۳/۹۸ سانتی‌گراد و بیشینه جوانه‌زنی بین ۴۲/۲ تا ۴۳/۸۹ سانتی‌گراد برآورد شد. بر اساس نتایج، از مدل‌های برتر و پارامترهای برآورد شده آن‌ها می‌توان در مدل‌های سبزی شدن گیاهچه در مزرعه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اتیلن گلیکول، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، گلرنگ، مدل‌های رگرسیونی.

مقدمه

تابستانه از جمله مواردی است که آن را به‌عنوان گیاه روغنی باارزش مطرح نموده است (Ahmadi and Omidi, 1994). جوانه‌زنی یک فرایند فیزیولوژیک پیچیده و یکی از مهم‌ترین مراحل رشدی در چرخه زندگی گیاه بوده که رشد گیاهچه، زنده‌مانی و پویایی جمعیت گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. قدرت جوانه‌زنی بذر و استقرار جوانه، به‌ویژه در نواحی اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بسیار مهم هستند. مطالعه نیازهای پایه‌ای برای جوانه‌زنی یک بذر، می‌تواند شانس آن را به‌منظور استقرار موفقیت‌آمیز تحت شرایط گوناگون افزایش دهد (Goldberg et al., 2001). بیش‌ترین میزان استقرار

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک‌ساله و روغنی از خانواده آفتابگردان (Asteraceae) که بیش‌تر به خاطر روغن آن در سراسر جهان کشت می‌شود (Isigigure et al., 1995). ویژگی‌های مطلوب و خاص این گیاه نظیر استفاده‌های طبی، چاشنی و غذایی از گلبرگ‌های آن، کیفیت بالای روغن دانه و وجود بیش‌تر از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه اسیدهای چرب لینولئیک و اولئیک، مقاومت نسبتاً بالا به شوری و خشکی، سازگاری وسیع به درجه حرارت‌های پایین زمستان و فصل رشد کوتاه در کشت

رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما استفاده شده است (Shafii and Price, 2001; Soltani et al., 2006). امتیاز این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها (مانند دماهای کاردینال و سرعت ذاتی جوانه‌زنی و سبز شدن) دارای مفهوم بیولوژیکی هستند؛ بنابراین برخی از محققین از این مدل‌ها برای به دست آوردن دماهای کاردینال جوانه‌زنی استفاده کرده‌اند (Hardegee, 2006; Hardegee and Winstral, 2006; Jame and Cutforth, 2004). مطالعات نشان داده که به‌طور معمول، بین سرعت جوانه‌زنی، عکس زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد از جوانه‌زنی، و دما تا دمای بهینه برای جوانه‌زنی بذرها، رابطه‌ی خطی مثبت وجود دارد. همچنین در دماهای بالاتر از دمای بهینه مقدار سرعت و درصد جوانه‌زنی روند کاهشی دارد که این می‌تواند به دلیل انعقاد پروتئین‌ها و اختلال در کار غشاءها باشد (Thygerson et al., 2002). در یک آزمایش دماهای کاردینال کمینه، بهینه و بیشینه، به ترتیب ۴/۴، ۱۹/۰ و ۲۵/۵ درجه سانتی-گراد برای اسفرزه (*Plantago ovata*) و ۹/۴، ۲۸/۸ و ۳۵ درجه سانتی-گراد برای پسیلیوم (*Plantago psyllium*) به دست آمد (Fabrizi et al., 2004). در پژوهشی دیگر به‌منظور برآورد دماهای کاردینال و همچنین تعیین بهترین مدل پیش‌بینی دماهای کاردینال برای بذرها دو رقم ریحان از سه روش از مدل‌های مختلف رگرسیون غیرخطی استفاده شد، بر اساس نتایج آزمایش، هر سه مدل مورد استفاده به‌خوبی قادر به برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی بودند (Fallahi et al., 2015).

از سوی دیگر، محیط جوانه‌زنی همیشه برای جوانه‌زنی بذرها مساعد نیست، تنش‌های مختلف محیطی بر طول شدن و سبز شدن گیاهچه و در نتیجه نرخ مرگ‌ومیر تأثیرگذار هستند (Ibrahim et al., 2001). مقدار آبی که در اختیار بذرها قرار می‌گیرد مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده موفقیت و یا عدم موفقیت جوانه‌زنی است (Bradford, 1995). تنش اسمزی از تنش‌های بسیار مهم در کاهش رشد و تولید گیاهان است که بسیاری از جنبه‌های متابولیسم و رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ibrahim et al., 2001). در بذرهایی که پس از مراحل ابتدایی جوانه‌زنی در معرض ناگهانی تنش خشکی قرار می‌گیرند فرآیندی بنام نشاسته‌ای شدن رخ می‌دهد که در اثر آن بذرها ویژگی‌های حیاتی خود را از دست داده و با مرگ روبرو می‌گردد. در بذرها که تحت تنش خشکی جوانه می‌زنند کاهش رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه

گیاهچه زمانی حاصل می‌شود که بذرها بتوانند بر شرایط نامطلوب محیطی چیره شده و عکس‌العمل مناسبی از خود نشان دهند. در بین کلیه فاکتورهای مؤثر بر جوانه‌زنی بذرها، دما و رطوبت بیش‌ترین اهمیت را دارا هستند (Parmoon et al., 2015). گیاهان موجوداتی هستند که قادر به تنظیم دمای داخلی خود نیستند بلکه با تغییر دمای محیط، آن‌ها نیز تغییر می‌کنند، بنابراین دما به‌ویژه خارج از دامنه‌ی بهینه آن، تأثیر بسزایی روی رشد گیاهان دارد (Bewley and Black, 1994). به‌طور کلی دمای محیط از سه طریق بر زندگی گیاه تأثیر می‌گذارد و جوانه‌زنی بذرها را در مزرعه کنترل می‌کند: (۱) با تعیین ظرفیت و سرعت جوانه‌زنی بذرها فاقد کمون، (۲) از طریق حذف کمون اولیه و یا ثانویه، و (۳) القاء کمون ثانویه (Bewley et al., 2013).

تغییرات دما ممکن است روی تعدادی از فرایندهای کنترل‌کننده جوانه‌زنی شامل: نشت‌پذیری غشاء، اتصالات غشایی و آنزیم‌های سیتوزول اثر بگذارد (Bewley and Black, 1994). در آزمایشی روی شش رقم ریحان (*Ocimum basilicum* L.) بیان شد که جوانه‌زنی ارقام مورد مطالعه در دماهای بالاتر و پایین‌تر از شرایط بهینه کاهش پیدا کرد (Zhou, 2012). بر این اساس، فرآیند جوانه‌زنی در شرایط مناسب رطوبتی، نیز توسط دما محدود می‌شود. کشت بذرها در شرایط دمایی مناسب، سبب بیش‌ترین میزان جوانه‌زنی، یکنواختی و استقرار گیاهچه در مزرعه می‌شود (Gilbertson et al., 2014). همچنین برای تعیین بهترین اطلاعات برای کاشت گیاهان ضروری است که دماهای کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی آن‌ها را مشخص کنیم (Bewley and Black., 1994). گیاهان دارای سه دمای اصلی (کاردینال) شامل: دمای کمینه (Tb)، دمای بهینه (To) و دمای بیشینه (Tc) هستند (Parmoon et al., 2015). دمای کمینه دمایی است، که پایین‌تر از آن و دمای بیشینه، دمایی است که بالاتر از آن، جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد، درحالی‌که دمای بهینه دمایی است که بیش‌ترین میزان جوانه‌زنی در آن دما رخ می‌دهد (Eberle et al., 2014). همچنین در این دما مراحل جوانه‌زنی، در کوتاه‌ترین زمان ممکن رخ می‌دهند، یعنی سرعت جوانه‌زنی در این دما بیشینه است (Alvarado and Bradford., 2002)؛ بنابراین، امروزه پژوهش‌گران برای پیش‌بینی صحیح جوانه‌زنی و استقرار گیاهان تحت شرایط مزرعه علاوه بر آزمون‌های قدرت بذرها، از مدل‌های ریاضی نیز بهره می‌برند. انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی برای شرح

ظرف پتری با قطر نه سانتی‌متر حاوی ۲۵ عدد بذر به روش روی کاغذ^۲ بود. سپس برای اعمال تیمارهای موردنظر مقدار هفت میلی‌لیتر محلول پلی‌اتیلن گلیکول به هر واحد آزمایش اضافه شد. به‌منظور جلوگیری از اثرهای منفی تبخیر آب، ظروف پتری در داخل پلاستیک قرار داده‌شده و سر آن‌ها کاملاً بسته شد، سپس به دماهای مورد آزمایش در ژرمیناتور منتقل گردیدند. بذرها در طول دوره‌ی اجرای آزمایش (۱۴ روز) هر ۲۴ ساعت بازبینی و شمارش شدند و زمانی که طول ریشه‌چه به دو میلی‌متر رسید، به‌عنوان نماد جوانه‌زنی فرض گردید. با توجه به عدم جوانه‌زنی بذرها در دو سطح ۰/۶- و ۰/۸- در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، این ترکیبات تیماری در تجزیه‌های آماری حذف شدند. در پایان دوره اجرای آزمون جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه به‌صورت زیر محاسبه شدند:

درصد جوانه‌زنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Scott et al., 1984).

$$Gt = (n / N \times 100) \quad [1]$$

که در آن Gt: درصد جوانه‌زنی کل، n: تعداد بذرها، جوانه‌زده در پایان آزمایش و N: تعداد کل بذرها است.

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از فرمول زیر استفاده شد (Assad and Hydari, 2011):

$$Rs = \sum_{i=1}^n \frac{Si}{Di} \quad [2]$$

که در آن Rs: سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)، Si: تعداد بذرها، جوانه‌زده در هر شمارش، Di: تعداد روز تا شمارش nام.

شاخص بنیه نیز با استفاده از رابطه Error! Reference source not found. محاسبه شد (Ghahfarokhi and Tavakkol-Afshari, 2007):

$$VI = \frac{Ls \times Pg}{100} \quad [3]$$

که در آن VI: شاخص بنیه، Ls: میانگین طول گیاهچه (mm) و Pg: درصد جوانه‌زنی کل در پایان آزمایش است.

جهت کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما و تعیین دماهای کاردینال و تعداد ساعات لازم برای جوانه‌زنی تحت شرایط دمای بهینه از مدل زیر استفاده شد (Soltani et al., 2006a):

گزارش شده است. به‌طورمعمول سرعت جوانه‌زنی به‌طور خطی با افزایش قابلیت دسترسی به آب افزایش می‌یابد (Gummerson, et al., 1986; Guerke et al., 2004). در آزمایشی بیان شد که دماهای کاردینال بذرها، شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) متأثر از شرایط رطوبتی بودند (Ghanbari et al., 2005). در بررسی تأثیر تنش اسمزی بر جوانه‌زنی دو گونه اسفناج وحشی (*Atriplex* spp.) مشخص شد که تنش اسمزی جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار داد (Dodd and Danovan, 1999). در پژوهشی دیگر گزارش شد درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها، زوفا (*Hyssopus officinalis*) تحت تأثیر سطوح پتانسیل اسمزی (صفر، -۱، -۳، -۶ و -۹ بار) قرار گرفتند و با افزایش شدت تنش اسمزی، مقادیر مربوط به این صفات کاهش یافتند (Barzegar and Rahmani, 2004). بنابراین با توجه به کشت گلرنگ در مناطق دچار محدودیت منابع آب همراه با اقلیم گرم، هدف این مطالعه برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی گلرنگ و اثر سطوح مختلف دما و پتانسیل اسمزی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی آن است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان به‌صورت فاکتوریل با دو عامل (دما و رطوبت) در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل دما شامل هفت سطح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت به‌صورت پتانسیل اسمزی محیط، شامل پنج سطح (صفر، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۸ مگاپاسکال) بود. برای ایجاد سطح تنش صفر (شاهد) از آب مقطر استفاده گردید. به‌منظور تهیه پتانسیل‌های اسمزی مختلف از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بر اساس روش میشل و کافمن (Michael and Kaufman, 1973) و آب مقطر دو بار استریل استفاده شد. در ابتدای آزمایش، کلیه‌ی بذرها، ظروف و محیط جوانه‌زنی ضدعفونی شدند. بذرها، گلرنگ (رقم گلدشت) با محلول یک درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی، پس‌از آن با آب مقطر سه بار آبکشی شدند. سپس با محلول قارچ‌کش بنومیل^۱ دو در هزار، به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و دوباره سه مرتبه با آب مقطر آبکشی شدند (Basalma, 2008). هر واحد آزمایشی شامل یک

$$f(t) = \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_{o2}} \right) \quad \text{اگر } T_{o2} < T \leq T_c$$

$$f(t) = 1 \quad \text{اگر } T_{o1} < T \leq T_{o2}$$

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

مدل منحنی (Yousefi-Daz et al., 2006):

[۱۰]

$$f(t) = \left[\frac{1}{(T_o - T_b \times T_c - T_o)^{\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b}}} \times (T - T_b \times T_c - T)^{\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b}} \right]$$

در رابطه‌های بالا، T : دمای متوسط روزانه (دمای مورد آزمایش)، T_b : دمای کمینه، T_c : دمای بیشینه، T_{o1} : دمای بهینه پایین، T_{o2} : دمای بهینه بالا، T_o : دمای بهینه، c : ضریب ثابت رگرسیون است.

در مواردی که رابطه بین X و Y غیرخطی است و به‌سادگی به رابطه خطی تبدیل نمی‌شود، با رویه NLIN می‌توان مقادیر مجهول پارامترهای مدل را برآورد نمود (Soltani, 1998). در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن‌ها با روش کم‌ترین توان‌های دوم تخمین زده شد. در این مطالعه، تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد پارامترهای مدل به دست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس SE (خطای معیار) کم‌تر پارامترها و شاخص RMSe (جذر میانگین مربعات انحرافات) کم‌تر تجزیه رگرسیون، مشخص شدند.

$$\text{RMSe} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \right) \sum (Y_{obs} - Y_{pred})^2}$$

Error! No text of

Y_{obs} و Y_{pred} به ترتیب مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده و n تعداد نقاط است. همچنین برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه، از مقایسه RMSe (جذر میانگین مربعات انحرافات)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب همبستگی (r) و ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b)، بین سرعت جوانه‌زنی مشاهده‌شده و سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی شده آن‌ها استفاده شد. برای این مورد در دو مرحله عمل شد، ابتدا مدل‌هایی انتخاب شدند که پیش‌بینی آن‌ها دارای اریب نباشد، یعنی مقادیر a و b برای آن‌ها به ترتیب با صفر و یک تفاوت معنی‌داری نداشته باشد. در مرحله دوم از

$$\frac{1}{e} = \frac{f(t)}{e_o} \quad [۴]$$

$1/e$ سرعت جوانه‌زنی، $f(t)$ تابع دما و e_o تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای جوانه‌زنی است. در این راستا می‌توان مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد (D50)، از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در برابر زمان محاسبه کرد. با استفاده از D50 سرعت جوانه‌زنی در ساعت از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R50 = \frac{1}{D50} \quad [۵]$$

هر دو پارامتر D50 و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از برنامه Germin (Soltani and Maddah, 2010) محاسبه شدند. در این بررسی پنج معادله رگرسیونی برای داده‌های سرعت جوانه‌زنی در برابر دما برازش داده شدند که عبارت‌اند از: مدل چندجمله‌ای درجه دو (Mosjidis and Zhang, 1995):

$$f(t) = \left[(T - T_b \times T_c - T) \times \left(\frac{T - T_b}{2} \right)^{-2} \right] \quad [۶]$$

مدل دو تکه‌ای (Mwale et al, 1994):

[۷]

$$f(t) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \quad \text{اگر } T_b < T < T_o$$

$$f(t) = \left[1 - \frac{(T - T_b)}{(T_c - T_o)} \right] \quad \text{اگر } T_o < T < T_c$$

$$f(t) = 0 \quad \text{اگر } T > T_c \text{ or } T < T_b$$

مدل بتا (Soltani et al., 2006):

[۸]

$$f(T) = \left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \right) \left(\frac{(T_c - T_o)}{(T_o - T_b)} \right)^{\left(\frac{(T_c - T_o)}{(T_o - T_b)} \right)^5}$$

مدل دندان مانند (Soltani et al., 2006):

$$f(t) = \left(\frac{T - T_b}{T_{o1} - T_b} \right) \quad \text{اگر } T_b < T \leq T_{o1} \quad [۹]$$

دامنه ۱۵ درجه سانتی‌گراد). همچنین در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری بین کلیه‌ی سطوح پتانسیل اسمزی دیده نشد (شکل ۱) که حاکی از این نکته است که گلرنگ قادر است در دماهای اطراف دمای بهینه جوانه‌زنی، اثرات منفی تنش‌های اسمزی را تحمل نمایند. دماهای پس از ۳۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی را کاهش داد، به‌گونه‌ای که در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد سه سطح اول پتانسیل اسمزی (شاهد، ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال) به حداقل مقدار خود رسید و در تیمارهای ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال، جوانه‌زنی رخ نداد (شکل ۱). نکته قابل‌توجه حساسیت بذرهاى گلرنگ به دماهای بالاتر نسبت به دماهای پایین‌تر بود؛ زیرا در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، شدت کاهش درصد جوانه‌زنی بیش‌تر از دمای ۵ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱). بر اساس مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف دما و پتانسیل اسمزی بر سرعت جوانه‌زنی، بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی ۱۹/۸ (بذر در روز) در تیمار شاهد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد، اما تفاوت آماری معنی‌داری با تیمارهای ۰/۲- مگاپاسکال دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و همچنین تیمار شاهد در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد نداشت (شکل ۲). کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی ۰/۲ (بذر در روز) در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال دیده شد (شکل ۲). در آزمایش روی کوشیا بالاترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی در ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (Ajmal Khan et al., 2001).

سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی است و هر چه سرعت جوانه‌زنی بیش‌تر باشد، شانس رویش بذر تحت شرایط تنش، بیش‌تر خواهد شد (Fernandez and Johnston, 1995). نوسانات سرعت جوانه‌زنی بذرها در دماهای مختلف، ناشی از واکنش متفاوت آن‌ها به گرما دانسته شده است. در دماهای خیلی پایین، پروتئین و آنزیم‌ها برای تطابق با تغییرات موردنیاز جهت واکنش به مقدار کافی انعطاف‌پذیر نیستند؛ ولی با افزایش دما فعالیت آنزیم‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه سرعت جوانه‌زنی نیز بالا می‌رود. از طرفی دماهای خیلی بالا نیز باعث غیرفعال شدن برخی آنزیم‌ها می‌شود؛ لذا سرعت واکنش‌ها کاهش می‌یابد (Bonhomme, 2000). به‌طور کلی در بررسی برهمکنش دما و پتانسیل اسمزی روی سرعت جوانه‌زنی گلرنگ مشخص شد که با کاهش پتانسیل اسمزی

بین مدل‌های منتخب، مدل یا مدل‌هایی به‌عنوان برترین مدل معرفی شدند که بیش‌ترین ضریب تبیین (R^2) و کم‌ترین جذر میانگین مربعات خطای آزمایش (RMSe کوچک‌تر) را داشته باشند (Ajam Norouzi et al., 2007). مقایسه پارامترهای برآورد شده دماهای کاردینال بین مدل‌ها بر مبنای حدود اطمینان ۹۵ درصد آن‌ها انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از برنامه Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۱) اثر سطوح مختلف دما و پتانسیل اسمزی و اثر برهمکنش آن‌ها بر ویژگی‌های مورد مطالعه جوانه‌زنی بذر گلرنگ معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود. مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۲ درصد) مربوط به تیمار شاهد در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود. در همین دما، با کاهش پتانسیل اسمزی و منفی‌تر شدن پتانسیل محیط به ۰/۸- مگاپاسکال، درصد جوانه‌زنی از ۹۲ به ۵۴ درصد کاهش یافت (شکل ۱). در آزمایشی بر روی گل جالیز مصری (*Orobanche aegyptiaca*) گزارش شد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بذرها در دامنه دمایی ۲۶-۲۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (Kebreab and Murdoch, 2000). در پژوهشی دیگر روی بذر کوشیا (*Kochia scoparia* L.) بیان شد با وجود کاهش پتانسیل اسمزی تا ۰/۸- مگاپاسکال، جوانه‌زنی کاهش معنی‌داری نداشت، اما با کاهش بیش‌تر پتانسیل، درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Everitt et al., 1983). در آزمایشی روی جوانه‌زنی سلمه (*Chenopodium Glaucum* L.) حداکثر جوانه‌زنی در تیمار شاهد دیده شد (Duan et al., 2004).

کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۴ درصد) در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. کاهش پتانسیل اسمزی علاوه بر کاهش حداکثر جوانه‌زنی، دامنه دمای بهینه را نیز کاهش داد (شکل ۱). به‌طور کلی پتانسیل اسمزی بر دامنه دمایی که حداکثر جوانه‌زنی در آن رخ می‌دهد، تأثیرگذار است (Kebreab and Murdoch, 2000). براین اساس در تیمار شاهد حداکثر درصد جوانه‌زنی در دامنه دمایی ۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (با دامنه ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، در حالی که در پتانسیل اسمزی ۰/۸- مگاپاسکال در دامنه ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود (با

تیمارهای دمایی (به جز دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) همراه با کاهش پتانسیل اسمزی از تیمار شاهد به پتانسیل -۰/۲- مگاپاسکال، سرعت جوانه‌زنی بذرهای آن روندی کاهشی نشان داد، به طوری که در تمامی دماهای این آزمایش در

در همه دماها سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت، به جز تیمارهای شاهد و -۰/۲- مگاپاسکال دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و نیز تیمارهای -۰/۲- و -۰/۴- مگاپاسکال دمای ۳۰ درجه سانتی-گراد که اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). در پژوهشی روی جوانه‌زنی بذرهای کوشیا گزارش شد در تمام

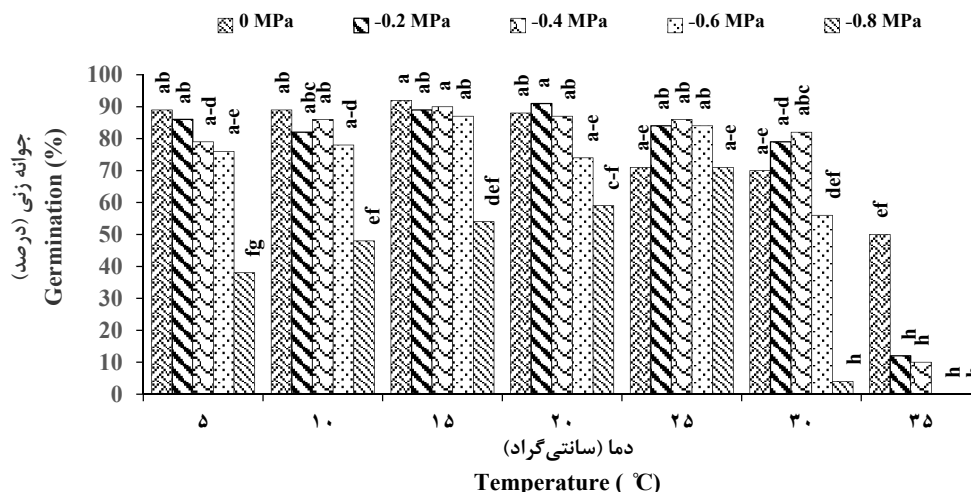
جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف دما و پتانسیل اسمزی بر شاخص بنیه، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی گلرنگ.

Table 1. Analysis of variance of different levels temperature and osmotic potential on Vigor index, Germination percentage and Germination rate in Safflower.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات		
			سرعت جوانه‌زنی Germination rate	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	شاخص بنیه Vigor index
Osmotic potential	پتانسیل اسمزی	4	541.96**	3020.54**	2.26**
Temperature	دما	6	295.77**	3367.99**	1.49**
Interaction	برهمکنش	22	27.02**	455.43**	0.08**
Error	خطا	99	1.59	44.56	0.035
C.V (%)	ضریب تغییرات (%)	-	15.07	11.56	10.87

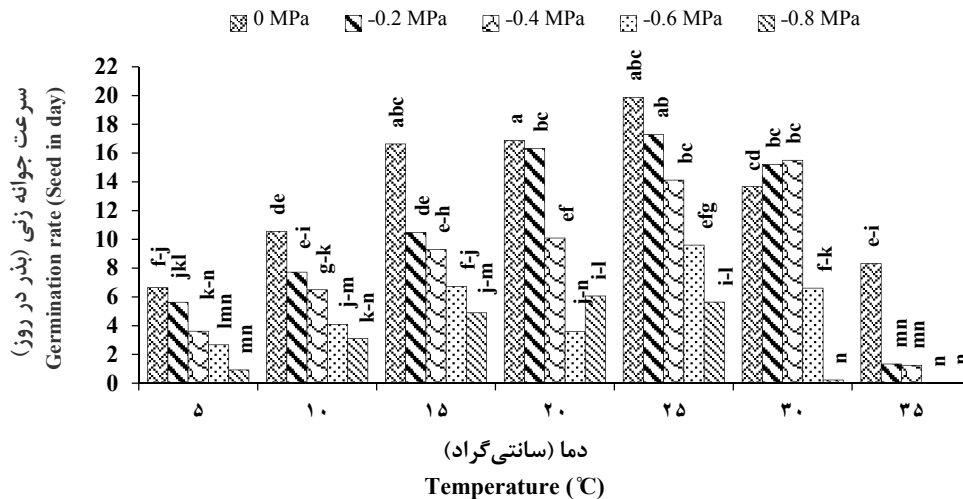
**Significant at the 1% probability levels

**معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد



شکل ۱. مقایسه میانگین سطوح مختلف دما و پتانسیل اسمزی بر درصد جوانه‌زنی گلرنگ. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig 1. Mean Comparison for the effect of different levels of temperature and osmotic potential on safflower germination percentage. Similar letters show non-significant difference according to Tukey test at %5 level.



شکل ۲. مقایسه میانگین سطوح مختلف دما و پتانسیل اسمزی بر سرعت جوانه‌زنی گلرنگ. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

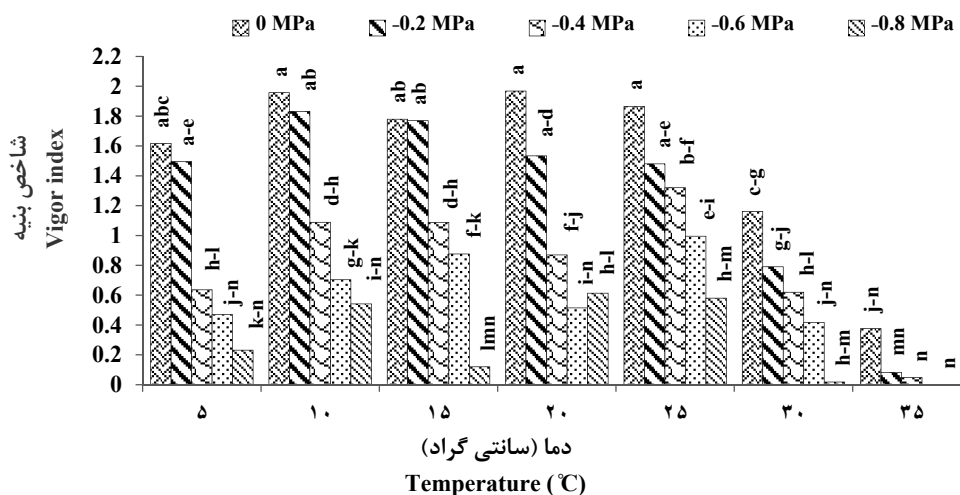
Fig. 2. Mean comparison for the effect of different levels of temperature and osmotic potential on germination rate in safflower. Similar letters show non-significant difference according to Tukey test at %5 level.

بنیه از خود نشان داد به‌گونه‌ای که با کاهش پتانسیل اسمزی در تمامی سطوح دمایی شاخص بنیه به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد (شکل ۳). در پژوهشی بر روی چهار گونه‌ی علوفه‌ای گزارش شد شاخص بنیه می‌تواند به‌خوبی کیفیت یک توده بذر را نشان دهد به‌طوری‌که در برخی از گونه‌ها بهتر از آزمون جوانه‌زنی استاندارد قادر به پیش‌بینی میزان جوانه‌زنی در مزرعه بود (Wang et al., 2004).

بر اساس پارامترهای مقایسه مدل‌های مختلف به‌منظور انتخاب مدل برتر دماهای کاردینال جوانه‌زنی گلرنگ، که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است، مدل بتا، دندان مانند و منحنی برازش مناسبی برای دماهای کاردینال گلرنگ نشان ندادند. به‌گونه‌ای که مدل‌های بتا و دندان مانند، اریب معنی‌داری را برای پارامترهای عرض از مبدأ و شیب رگرسیون و مدل منحنی اریب معنی‌داری را برای پارامتر شیب رگرسیون نشان دادند. درحالی‌که مدل‌های دوتکه‌ای و درجه‌دو برای پارامترهای عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون اریب معنی‌داری نداشتند که بیان‌گر برازش مناسب این دو مدل برای سرعت جوانه‌زنی گلرنگ نسبت به دما بود. همچنین با توجه به این‌که مدل دوتکه‌ای به ترتیب ضریب تبیین و ضریب همبستگی بالاتر و جذر میانگین مربعات خطای آزمایش کمتر ($r=0.98$, $R^2=0.96$) و خطای (RMS $e=0.006$) نسبت به مدل درجه‌دو ($R^2=0.83$), $r=0.91$ و RMS $e=0.0112$) داشت مدل برتری بود.

پتانسیل $-0/2$ مگاپاسکال جوانه‌زنی رخ نداد (Sabouri Rad et al., 2012). بر اساس نتایج آزمایش با کاهش پتانسیل اسمزی، دامنه دمایی مطلوب برای سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد (از دمای ۱۵ تا ۲۵ با دامنه‌ی ۱۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت به دامنه دمایی مطلوب درصد جوانه‌زنی در این پتانسیل، کم‌تر شد، درحالی‌که دامنه دمایی مطلوب برای سرعت جوانه‌زنی در پتانسیل $-0/8$ مگاپاسکال (از دمای ۱۰ تا ۲۵ با دامنه‌ی ۱۵ درجه سانتی‌گراد) نسبت به دامنه دمایی مطلوب درصد جوانه‌زنی، تغییر نکرد.

بالاترین شاخص بنیه در تیمارهای شاهد و $-0/2$ مگاپاسکال در گستره دمایی ۲۵-۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد و با منفی‌تر شدن محیط جوانه‌زنی ($-0/4$ مگاپاسکال) کاهش معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۳). اسکلبنبرگ (Schellenberg, 2003) در پژوهشی روی گونه‌ی *Raschenninikovia lanata* بیان کرد که بذره‌های آن تا میزان زیادی متحمل به خشکی بوده و بیش‌ترین مقدار شاخص بنیه در گستره دمایی ۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد و با خارج شدن از این گستره‌ی دمایی مقدار آن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بالاترین شاخص بنیه (۱/۹۶) از لحاظ عددی در تیمار شاهد در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین شاخص بنیه (۰/۱) در پتانسیل $-0/8$ مگاپاسکال در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد دیده شد (شکل ۳). به‌طور کلی تنش اسمزی نسبت به دما تأثیر منفی‌تری را در مورد شاخص



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف دما و پتانسیل اسمزی بر شاخص بنیه گلرنگ. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 3. Mean comparison for the effect of different levels of temperature and osmotic potential on vigor index in safflower. Similar letters show non-significant difference according to Tukey test at %5 level.

جدول ۲. پارامترهای ارزیابی برازش مدل‌های غیرخطی شامل RMSe (جذر میانگین مربعات خطا) و ضریب تبیین مدل غیرخطی (R^2) -ضریب رگرسیون (b)، عرض از مبدأ (a)، ضریب همبستگی (r) مربوط به رابطه خطی بین مقادیر جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده حاصل از هر مدل غیرخطی.

Table 2. Fitted nonlinear model parameters including RMSe and R^2 -(b), (a), (r) related to linear regression observed and predicted germination rate for each nonlinear model.

Nonlinear model	مدل غیرخطی	R^2	RMSe	b±SE	a±SE	r
Quadratic	درجه دو	0.83	0.0112	0.82637±0.16940	0.00816±0.00816	0.91
Beta	بتا	-	-	0.04332**±0.00884	0.02032**±0.00042612	-
Dent-like	دندان مانند	-	-	0.31174**±0.05109	-0.00294**±0.00264	-
Segmented	دوتکه‌ای	0.96	0.006	0.96180±0.08573	0.00167±0.00413	0.98
Curvilinear	منحنی	-	-	0.96961**±0.01251	0.00741±0.00635	-

**Significant at the 1% probability level

**معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

در آزمایشی روی شش رقم برنج باهدف برآورد دماهای کاردینال و تعیین بهترین مدل برازش برای هر رقم بیان شد که مدل مناسب برای رقم هاشمی مدل دوتکه‌ای، برای دشت و گیل ۳ مدل بتا، برای عنبربو و IR64 مدل منحنی و برای بینام مدل‌های بتا و منحنی بودند (Sabouri et al., 2012). در پژوهشی دیگر به‌منظور تعیین دماهای کاردینال و برآورد نیازهای ترمال تایم جوانه‌زنی خار مریم (*Silybum marianum*) مدل بتا به‌عنوان مدل برتر گزارش شد (Parmoon et al., 2015). تبریزی و همکاران (Tabrizi

et al., 2007) به‌منظور ارزیابی مدل‌های مختلف جوانه‌زنی در دو توده زراعی و طبیعی آویشن خراسانی (*Thymus transcaspicus* Klokov) بیان کردند که مدل ۵-پارامتری بتا در مقایسه با سایر مدل‌ها (مانند مدل خطوط متقاطع) بهترین برازش را برای جوانه‌زنی بذرها توده طبیعی داشت. در آزمایشی روی علف شور (*Salsola kali* L.) به‌منظور تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی، از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی چندجمله‌ای درجه دو، دوتکه‌ای و ۵-پارامتری بتا استفاده شد که مدل ۵-پارامتری بتا برای توده خراسان رضوی

۱۵ رقم برنج گزارش کردند که دمای کمینه از ۱۱/۵۸-۱۰/۰۶، دمای بهینه ۳۱/۸۴-۳۰/۴۲ و دمای بیشینه ۴۰/۱۵-۴۳/۸۴ درجه بود. در پژوهشی دیگر بر روی سه رقم کلزا دمای کمینه از ۷/۸۹-۱۰/۹۴، دمای بهینه ۲۴-۲۰/۰۱ و دمای بیشینه از ۳۶-۳۷/۱۹ درجه سانتی‌گراد بود (Jafari et al., 2011). در شکل ۵، به همراه مقادیر مشاهده‌شده برای سرعت جوانه‌زنی گلرنگ نسبت به دما، منحنی مربوط به مقادیر پیش‌بینی‌شده برآورد و به‌وسیله برترین مدل‌هایی که برازش مناسبی داشتند، ارائه شده است. در شکل ۶، نیز مقادیر سرعت جوانه‌زنی مشاهده‌شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده حاصل از مدل‌های مذکور به همراه معادله رگرسیون خطی بین این مقادیر و ضریب تبیین معادله گلرنگ، نشان داده شده است.

تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذرها با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۱۳/۴ و برای مدل درجه دو ۱۵/۹۵ به دست آمد که خطای استاندارد مربوط به برآورد این پارامتر به‌وسیله مدل دوتکه‌ای پایین‌تر از مدل درجه دو بود (جدول ۳). در آزمایشی روی چند رقم باقلا به‌منظور برآورد تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذرها با استفاده از مدل دوتکه‌ای نشان داده شد که برای این پارامتر در بین ارقام مختلف باقلا اختلاف معنی‌داری وجود داشت (Soltani et al., 2006a). صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2012) گزارش کردند تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذرها برای شش رقم برنج با استفاده از مدل‌های بتا، درجه دوم، منحنی، دندان مانند و دوتکه‌ای با اختلاف معنی‌داری از هم برآورد شد به‌طوری‌که مقادیر آن از ۵۷/۴۹ تا ۱۰۶/۴۳ متغیر بود.

و مدل دوتکه‌ای برای توده خراسان شمالی به‌عنوان مدل‌های برتر گزارش شدند (Asgarpour et al., 2014). در پژوهشی از مدل‌های رگرسیونی مختلفی برای کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی سه گیاه کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. Convar. *Pepo* var. *styriaca* Greb) براگو (*Borago officinalis* L.) و سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) استفاده شد، بر اساس نتایج آزمایش، دو مدل بتا و دندان مانند نسبت به مدل‌های دیگر واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما را بهتر توصیف کردند (Ghaderi-Far et al., 2009).

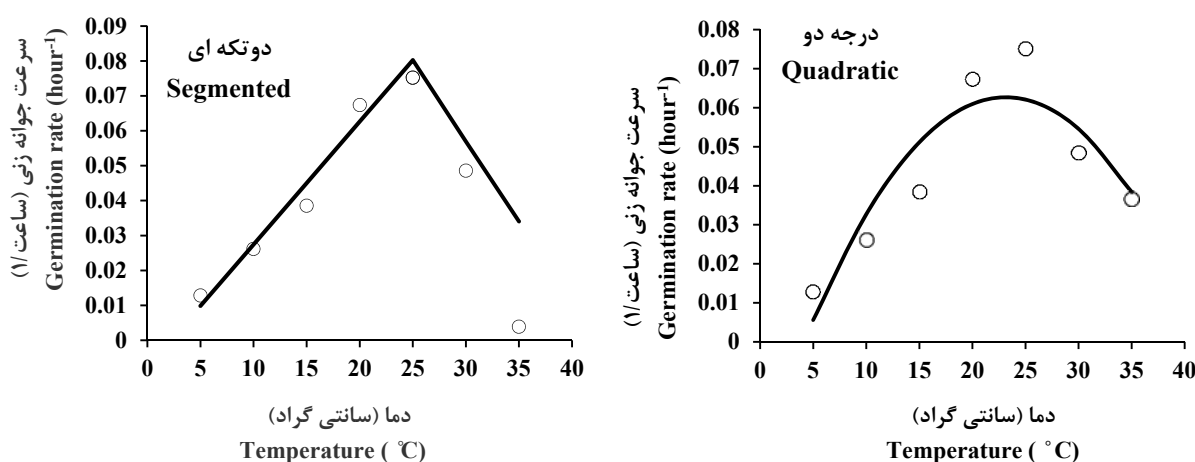
با کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما به‌وسیله‌ی مدل‌های رگرسیون غیرخطی، دماهای کاردینال و تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذرها برآورد و در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس برازش مدل رگرسیونی دوتکه‌ای و درجه دو، دمای کمینه جوانه‌زنی به ترتیب ۲/۲ و ۴/۲ درجه سانتی‌گراد و همچنین دماهای بهینه و بیشینه به ترتیب ۲۳/۹۸ و ۲۳/۱۵ سانتی‌گراد و ۴۳/۸۹ و ۴۲/۲ سانتی‌گراد برآورد شد.

پرمون و همکاران (Parmoon et al., 2015) در آزمایشی روی خار مریم (*Silybum marianum*) دماهای کاردینال جوانه‌زنی این گیاه شامل: دمای کمینه، بهینه و بیشینه را به ترتیب ۵/۱۹، ۲۰/۰۱ و ۳۴/۳۲ درجه گزارش کردند. در آزمایشی بر روی کوشیا (*Kochia scoparia* L.) دمای کمینه ۲/۵، دمای بهینه ۲۴ و دمای بیشینه ۵۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (Jami Al-Ahmadi and Kafi, 2006). غلامی تیله بنی و همکاران (Gholami Tilehbani et al., 2012) در پژوهشی به‌منظور برآورد دماهای کاردینال

جدول ۳. پارامترهای برآورد شده به‌وسیله‌ی مدل‌های برتر شناسایی‌شده شامل کمینه (Tb)، دمای بهینه (T₀)، دمای بیشینه (Tc) و تعداد ساعات بیولوژیک (e0) برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذرها.

Table 3. Estimated parameters using the best identified models including Tb, T₀, Tc and e0 for 50%germination of seeds.

مدل غیرخطی	Tc±SE	T ₀ ±SE	Tb±SE	e0
Nonlinear model				
درجه دو	42.2±3.32	23.15±0.00	4.2±1.65	15.95±1.59
Quadratic				
دوتکه‌ای	43.89±3.23	23.98±1.26	2.2±1.81	13.4±0.80
Segmented				

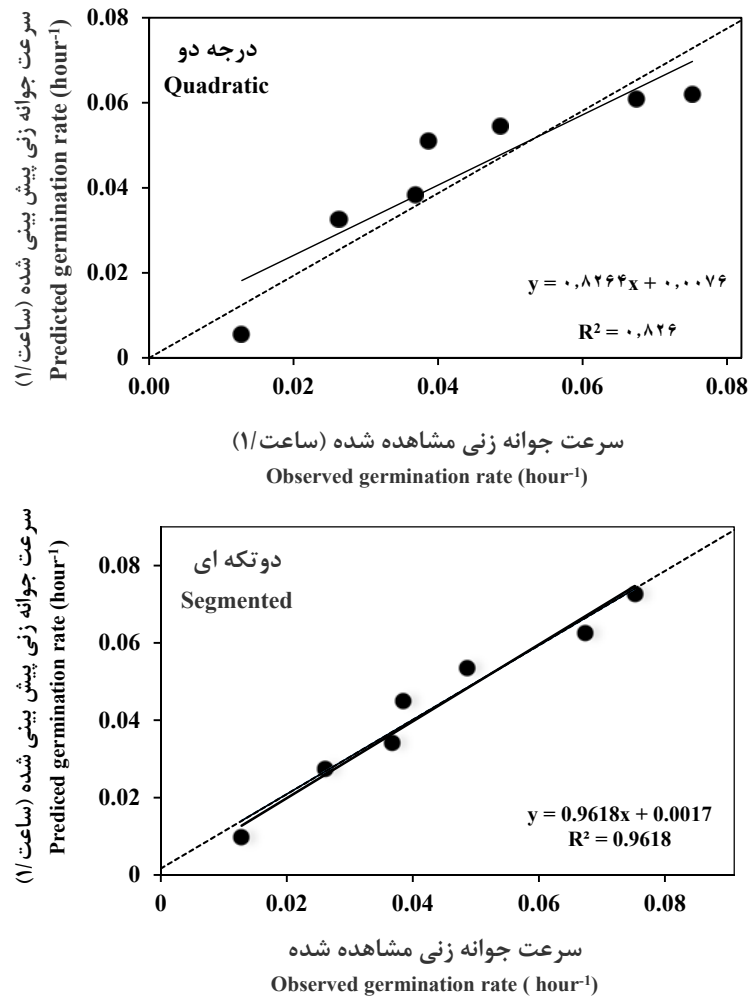


شکل ۵. سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده (خطوط) در مقابل مشاهده‌شده (نمادها) بذر گلرنگ در دماهای مختلف با استفاده از بهترین مدل‌های ارزیابی‌شده (درجه دو و دوتکه‌ای).

Fig. 5. Predicted (lines) versus observed (symbols) safflower seeds germination rate at different temperatures using superior evaluated models (Quadratic and Segmented).

سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد. در مدل درجه دو نیز دمای بهینه در تیمار عدم تنش از ۲۳/۱۵ درجه سانتی‌گراد به ۲۳/۲ و ۲۴/۷ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در تیمارهای ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال افزایش و سپس در تیمارهای ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال به ۲۰/۲ و ۱۹/۹ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد (شکل ۷). کبری‌آب و موردوخ (Kebreab and Murdoch, 1999a) همچنین گزارش کردند که دمای بهینه جوانه‌زنی بذرهای گل جالیز مصری (*Orobanche aegyptiaca*) با کاهش پتانسیل اسمزی کاهش می‌یابد، برای مثال، دمای بهینه جوانه‌زنی در صفر مگاپاسکال، ۲۶ درجه سانتی‌گراد بود که در ۱/۲۵- مگاپاسکال به ۲۰ سانتی‌گراد رسید. اثر کاهش پتانسیل اسمزی از تیمار شاهد به ۰/۸- مگاپاسکال بر دمای بیشینه جوانه‌زنی گلرنگ بسیار چشم‌گیرتر از دماهای کمینه و بهینه بود، به گونه‌ای که این دما در مدل دوتکه‌ای با کاهش ۹ درجه سانتی‌گراد از ۴۳/۸۹ به ۳۴/۹ درجه سانتی‌گراد و در مدل درجه دو با کاهش ۶/۳ درجه سانتی‌گراد از ۴۲/۲ به ۳۵/۹ درجه سانتی‌گراد رسید که بیان‌گر، حساسیت زیاد دمای بیشینه این گیاه به تنش‌های اسمزی بالا است، به این معنی که بیشینه دمایی که بذرها در آن قادر به جوانه‌زنی هستند کاهش شدیدی می‌یابد.

به‌طور کلی تنش خشکی ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی روی دماهای کاردینال گلرنگ تأثیر گذاشت (شکل ۷)، نتایج مشابهی توسط عبادی و همکاران (Abadi et al., 2009) گزارش شد. با افزایش میزان تنش، مقدار دمای کمینه بذر گلرنگ با استفاده از مدل دوتکه‌ای از ۲/۲ درجه سانتی‌گراد در تیمار عدم تنش (شاهد) در تیمارهای ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال به ترتیب به ۰/۵۴، ۰/۵، ۰/۲۷- و ۰/۱۴- درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد. در حالی که مقدار این دما با استفاده از مدل درجه دو از ۴/۲ درجه سانتی‌گراد در تیمار شاهد به ۴ درجه سانتی‌گراد در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال رسید که تغییر بسیار اندکی (۰/۲ درجه سانتی‌گراد) داشت (شکل ۷). در آزمایشی روی گل جالیز مصری (*Orobanche aegyptiaca*) گزارش شد که دمای کمینه جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل اسمزی کاهش یافت (Kebreab and Murdoch, 1999a). دمای بهینه در هر دو مدل، با روند یکسانی از تیمار شاهد تا ۰/۴- مگاپاسکال افزایش و پس از آن روند کاهشی پیدا کرد. به‌گونه‌ای که در مدل دوتکه‌ای از ۲۳/۹۸ درجه سانتی‌گراد به ۲۶/۲۸ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در تیمارهای ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال افزایش پیدا کرد، ولی در تیمار ۰/۶- مگاپاسکال به ۲۶/۵۶ درجه سانتی‌گراد و در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال ۲۴/۶۸ درجه



شکل ۶. رابطه سرعت جوانه‌زنی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده با مدل‌های برتر (دوتکه‌ای و درجه دو) در گلرنگ.

Fig 6. Relationship between observed and predicted values of safflower seed germination rate with superior models (Segmented and Quadratic).

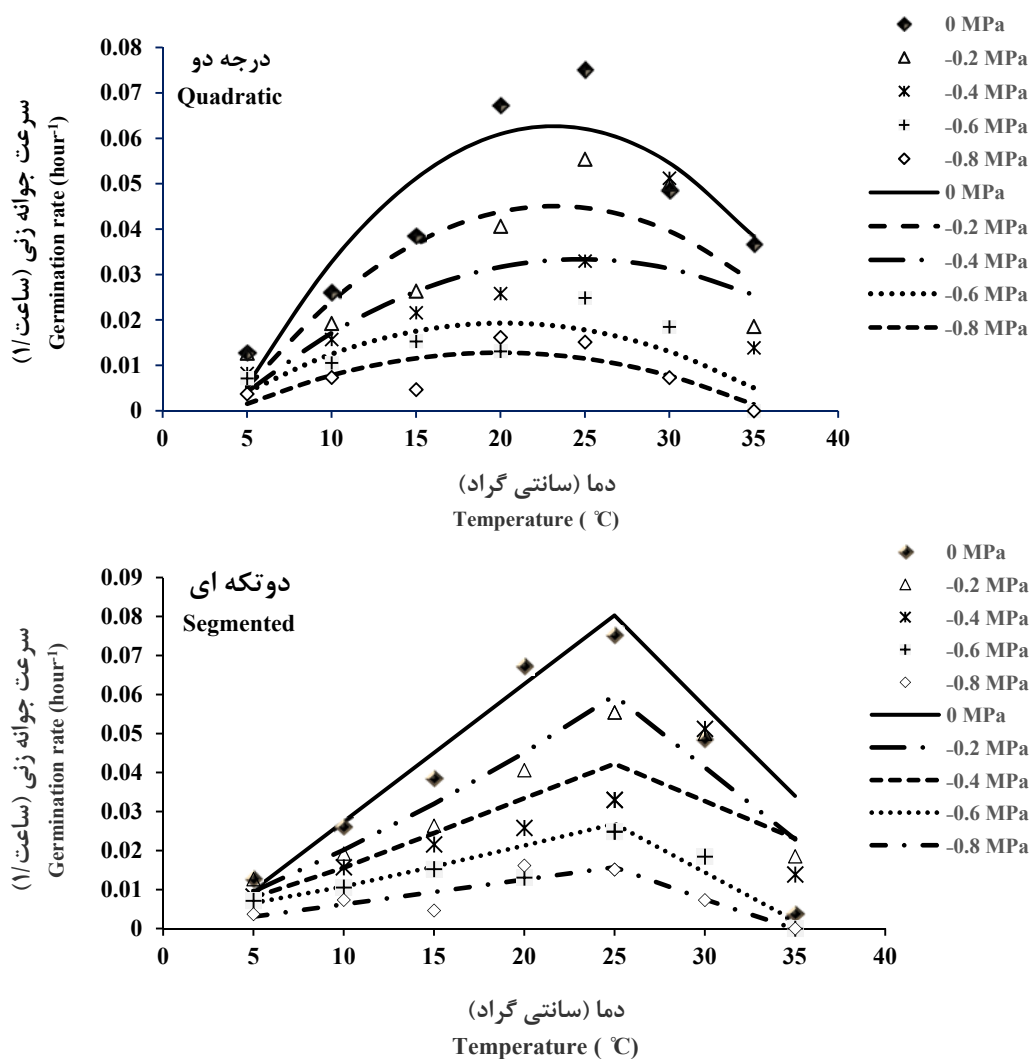
در این مطالعه، فقط مدل‌های دوتکه‌ای و درجه دو تطابق مناسبی با داده‌های مشاهده‌شده داشتند. بر اساس خروجی مدل‌های رگرسیونی برتر (دوتکه‌ای و درجه دو)، دمای کمینه جوانه‌زنی گلرنگ بین ۲/۲ تا ۴/۲ درجه تفاوت برآورد شد. همچنین، دمای بهینه بین ۲۳/۱۵ تا ۲۳/۹۸ و دمای بیشینه بین ۴۲/۲ تا ۴۳/۸۹ درجه برآورد شدند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و نتایج دیگر محققین در سایر نقاط دنیا، عکس‌العمل گونه‌ها، واریته‌ها و توده‌های محلی نسبت به شرایط محیطی متفاوت است و ضرورت دارد در صورت زراعی نمودن هر رقم به این مسئله توجه شود. این تفاوت‌ها در جوانه‌زنی بارز است. انتظار می‌رود از مدل‌های رگرسیونی برتر و پارامترهای برآورد شده (دماهای کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی) در تهیه و ارزیابی مدل‌های ظهور گیاهچه در مزرعه و تعیین زمان کشت در هر منطقه استفاده کرد. با توجه به

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش پیشنهاد کرد که در صورت عدم وجود سایر عوامل محدودکننده (نور و اکسیژن)، جوانه‌زنی گلرنگ به‌وسیله دما و رطوبت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که میانگین‌های مقادیر صفات جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد داشتند. به‌طورکلی گلرنگ تحمل بالایی به اثرات منفی برهمکنش دما و پتانسیل اسمزی نشان داد، به‌طوری‌که بالاترین درصد جوانه‌زنی در چهار سطح اول پتانسیل (صفر، -۰/۲، -۰/۴ و -۰/۶ - مگاپاسکال) در دامنه دمایی ۲۵-۵ درجه و سه سطح اول پتانسیل در دمای ۳۰ درجه بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد سرعت جوانه‌زنی صفت حساس‌تری در مقایسه با درصد جوانه‌زنی در واکنش به برهمکنش دما و پتانسیل اسمزی در گلرنگ است. از میان مدل‌های پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی در پاسخ به تغییرات دما

این گیاه، حتی در شرایط محدودیت رطوبتی، انتظار جوانه‌زنی و در نتیجه استقرار مطلوب گیاهچه وجود دارد.

تحمل بالای گلرنگ به اثرات منفی برهمکنش دما و پتانسیل اسمزی در دامنه‌ی زیر بهینه و حساسیت بالای آن در دماهای بالاتر از ۳۰ درجه، با انتخاب زمان مناسب کاشت



شکل ۷. مدل تغییرات دماهای کاردینال جوانه‌زنی گلرنگ تحت شرایط تنش اسمزی با استفاده از بهترین مدل‌ها (دوتکه‌ای و درجه دو).

Fig. 7. Model for variations of cardinal temperatures of safflower seed germination under osmotic stress using the best models (Segmented and Quadratic).

منابع

Abadi, M.T., Azizi Arani, M., Farzana, A., 2009. Effects of salinity on germination parameters of four cultivars chamomille (*Matricaria recutita*). Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 2(1), 93-98. [In Persian with English Summary].

Ahmadi, M.R., Omidi, M., 1994. Evaluation of grain yield and effect of harvest time on oil content of spring and autumn Safflower varieties. Safflower Research Report. Seed and Plant Improvement Institute Karaj. 137p [In Persian].

- Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E., Homaei, M., 2007. Modeling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(4), 100-111. [In Persian with English Summary].
- Ajmal Khan, M., Gul, B., Weber, D.J., 2001. Influence of salinity and temperature on the germination of *Kochias coparia*. *Wetlands Ecology and Management*. 9, 483-489.
- Alvarado, V., Bradford, K.J., 2002. Hydro thermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment*. 25(8), 1061-1069.
- Assad, M.T., Hydari, B., 2011. Applied regression analysis. *Jahad Daneshgahi Mashhad Press*. 336p. [In Persian].
- Asgarpour, R., Mijani, S., Ghorbani, R., 2014. The effect of temperature on germination rate of two grass mass saline (*Salsola kali* L.) based on regression models. *Journal of Plant Protection*. 27(4), 476-483. [In Persian with English Summary].
- Barzegar, A., Rahmani, M., 2004. Study of the Effect of Some Environmental Stresses on Germination Stimulation in Hyssop (*Hyssopus officinalis*). Abstracts of Articles of the Second Conference of Medicinal Plants. Tehran. Shahed University. January. P 67. [In Persian].
- Basalma, D., Uranbey, S., Mirici, S., Kolsaric, Ö., 2008. TDZ×IBA induced shoot regeneration from cotyledonary leaves and in vitro multiplication in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *African Journal of Biotechnology*. 7 (8), 960-966.
- Bradford, K.J., 1995. Water relations in seed germination. pp. 351-396 in Kigel, J.; Galili, G. (Eds) *Seed development and germination*. New York, Marcel Dekker.
- Bonhomme, R., 2000. Bases and limits to using degree day units. *European Journal of Agronomy*. 13, 1-10.
- Bewley, J. D., Black, M., 1994. *Seeds: Physiology of development and germination*. Plenum Press., New York.
- Bewley, J.D., Bradford, K.J., Hilhorst, H.W.M., Monogaki, H., 2013. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Third Edition, Springer, NY, 392p.
- Duan, D., Liu, X., Ajmal Khan, N., Gul, B., 2004. Effect of salt and water stress on the germination of (*Chenopodium Glaucum* L.) seeds. *Pakistan Journal of Botany*. 36, 793-800.
- Dodd, G.L., Danovan, L.A., 1999. Water potential and ion effects on germination and seedling growth of two *Atriplex* species. *American Journal of Botany*. 86(8), 1146-1153.
- Everitt, J.H., Alaniz, A., Lee, J.B., 1983. Seed germination characteristic of *Kochia scoaria*. *Journal of Range Management*. 36, 646-648.
- Eberle, C.A., Forcella, F., Gesch, R., Peterson, D., Eklund, J., 2014. Seed germination of calendula response to temperature. *Industrial Crops and Products*. 52, 199-204.
- Fallahi, H.R., Mohammadi, M., Aghavani-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*. Available at <http://dx.doi.org/10.1016/j.jar-map.2015.09.004>.
- Fernandez, G., Johnston, M., 1995. Seed vigor testing in lentil, bean and chickpea. *Seed Science and Technology*. 23, 617-627.
- Ghaderi-Far, F., Soltani, A., Sadeghipour, H.R., 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. Convar. *Pepo* var. *styriaca* Greb), *Borago* (*Borago officinalis* L.), and black Cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. *Journal of Plant Production*. 16 (4), 1-19. [In Persian with English Summary].
- Ghanbari, A., Rahimian Mashhadi, H., Nassiri Mahallati, M., Kafi, M., Rastgoo, M., 2005. Ecological aspects of *Glycyrrhiza glabra* germination response to temperature. *Iranian Agronomy Research Journal*. 3, 263-275. [In Persian with English Summary].
- Gholami Tilehbani, H., Kord Firozjahi, G.H., Zeinali, E., 2012. Evaluation of cardinal temperature of germination in species of rice. *Seed Science and Technology*. 1, 41-53. [In Persian with English Summary].
- Goldberg, D.E., Turkington, R., Olsvig-Whittaker, L., Dyer, A.R., 2001. Density dependence in an annual plant community: variation among life history stages. *Ecological Monographs*. 71, 423-446.

- Gilbertson, P.K., Berti, M.T., Johnson, B.L., 2014. Borage cardinal germination temperatures and seed development. *Industrial Crops and Products*. 59, 202–209.
- Guerke, W.R., Gutormson, T., Meyer, D., McDonald, M., Mesa, D., Robinson, J.C., Tekrony, D., 2004. Hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technology*. 26 (1), 75-85.
- Gummerson, R.J., 1986. The effect of constant temperature and osmotic potential on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*. 37, 729-714.
- Hardegree, S.P., 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals of Botany*. 97, 1115–1125.
- Hardegree, S.P., Winstral, A.H., 2006. Predicting Germination Response to Temperature. II. Three dimensional Regression, Statistical Griding and Iterative-probit Optimization Using Measured and Interpolated-subpopulation Data. *Annals of Botany*. 98, 403–410.
- Ibrahim, M., Zeid, N., El-semari, A., 2001. Response of two differentially drought tolerant varieties of maize to drought stress. *Pakistan Journal of Biologic Sciences*. 4(7), 779-784.
- Isigüre, A., Karaosmanoglu, F., Aksoy, H.A., 1995. Characteristics of Safflower seed oils of Turkish origin. *Journal of the American Chemical Society*. 72, 1223-1225.
- Jafari, N., Isfahani, M., Sabouri, A., 2011. Evaluation of nonlinear regression models to describe seedling emergence rate in reaction to temperature in three Rapeseed varieties. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 42(4), 868-857. [In Persian with English Summary].
- Jami Al-Ahmadi, M., Kafi, M., 2007. Cardinal temperatures for germination of (*Kochia scoparia* L.). *Journal of Arid Environments*. 68, 308–314.
- Jame, Y.W., Cutforth, H.W., 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*. 124, 207-218.
- Kebreab, E., Murdoch, A.J., 1999a. A quantitative model for loss of primary dormancy and induction of secondary dormancy in imbibed seeds of *Orobanche* spp. *Journal of Experimental Botany*. 50, 211–219.
- Kebreab, E., Murdoch, A.J., 2000. The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanche aegyptiaca* seeds. *Seed Science Research*. 10, 127–133.
- 36-Michael, B.E., Kaufman, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51, 914–916.
- Mosjidis, J.A., Zhang, X., 1995. Seed germination and root growth of several *Vicia* species at different temperatures. *Seed Science and Technology*. 23, 749-759.
- Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Clark, J.A., Bradley, R.G., Chatha, M.R., 1994. Effect of temperature on germination of Sunflower. *Seed Science and Technology*. 22, 565–571.
- Omidi, A.H., 2009. Effect of Drought Stress at Different Growth Stages on Seed Yield and some Agro-physiological Traits of Three Spring Safflower Cultivars. *Seed and Plant Production Journal*. 25 (1), 15-31. [In Persian with English Summary].
- Parmoon, G.H., Moosavi, S.A., Akbari, H., Ebadi, A., 2015. Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. *The Crop Journal*. 3(2), 145-151.
- Rahnama-Ghahfarokhi, A., Tavakkol-Afshari, R., 2007. Methods for dormancy breaking of Galbanum seeds (*Ferula gumossa*). *Asian Journal of Plant Sciences*. 6, 611-616.
- Sabouri, H., Sabouri, A., Dadras, A., 2012. Modeling the response of germination rate of different rice genotypes to temperature. *Cereal Research*. 2(2), 135-123. [In Persian with English Summary].
- Sabouri Rad, S., Kafi, M., Nazemi, A., Bannayan Aval, A., 2012. Study on seed germination behavior of *Kochia scoparia* L. Schard in response to temperature and water potential. *Iranian journal of Range and Desert Research*. 18(4), 578-592. [In Persian with English Summary].
- Schellenberg, M.P., 2003. Germination temperature response of two ecotypes of winterfat (*Kraschennikovia lanata* (Pursh) Guldenstaedt). *Canadian Journal of plant Science*. 18, 58-65.
- Scott, S., Jones, R., Williams, W., 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*. 24(6), 1192-1199.
- Shafii, B., Price, W.J., 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis,

- Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics. 6, 356–366.
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi Daz, M., Sarparast, R., 2006a. Modeling of seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*. 138, 156-167.
- Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., Sarparast, R., 2006b. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*. 138, 156-167.
- Soltani, A., 1998. SAS in statistics analysis. Jahad Daneshgahi Mashhad Press. [In Persian].
- Soltani, A., Maddah, V., 2010. Simple, applied programs for education and research in agronomy. Iran Scientific Society of Agroecology. Tehran. [In Persian].
- Thygeson, T., Harris, J.M., Smith, B.N., Hansen, L.D., Pendleton, R. L., Booth, D.T., 2002. Metabolic response to temperature for six populations of winterfat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta*. 394(1), 211-217.
- Tabrizi, L., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Rezvani, P., 2007. Germination behavior of cultivated and natural stand seeds of Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov) with application of regression models. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 5: 249-257. [In Persian with English Summary].
- Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B., Liu, Y.L., 2004. Vigor Tests Used to Rank Seed Lot Quality and Predict Field Emergence in Four Forage Species. *Crop Science*. 44, 535-541.
- Yousefi-Daz, M., Soltani, A., ghaderi-far, F., Sarparast, R., 2006. Evaluation of non-linear regression models to describe response of emergence rate to temperature in chickpea. *Agric. Sci. and Technol*. 20, 93-102.
- Zhou, D., 2012. Seed Germination Performance and Mucilage Production of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). M. Sc. Thesis of Horticulture. Faculty of the Virginia Polytechnic State, University of Virginia.