

کاربرد مدل هیدروتایم در کمی سازی پاسخ جوانه زنی بذر پنیرک (*Malva sylvestris* L.) به پتانسیل آب

امید انصاری^{۱*}، جاوید قرخلو^{۲*}، فرشید قادری فر^۲، بهنام کامکار^۲

۱. دانشجوی دکتری رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۲. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۰۴

چکیده

دما و پتانسیل آب دو عامل اولیه مهم کنترل کننده جوانه زنی می باشند. با استفاده از مدل هیدروتایم می توان پاسخ جوانه زنی بذر به پتانسیل آب را کمی سازی کرد. در این پژوهش با استفاده از مدل هیدروتایم پاسخ جوانه زنی بذر پنیرک (*Malva sylvestris* L.) به سطوح مختلف پتانسیل آب در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف خشکی (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴، ۱/۶- مگا پاسکال) در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی گراد بود. پاسخ جوانه زنی تجمعی بذرها به سطوح مختلف پتانسیل آب در دماهای مختلف با استفاده از مدل ویبول کمی سازی شد، نتایج نشان داد با افزایش دما، در صد و سرعت جوانه زنی افزایش یافت و با افزایش پتانسیل آب، درصد جوانه زنی و سرعت جوانه زنی کاهش یافت. ضریب هیدروتایم (Th) با افزایش درجه حرارت به طور معنی داری کاهش یافت به طوری که کمترین ضریب هیدروتایم (۱۰/۰۱ مگا پاسکال ساعت) مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود. پتانسیل پایه با افزایش درجه حرارت به طور معنی داری کاهش یافت و بیشترین پتانسیل پایه با میانگین ۱/۱۳- و ۱/۱۱- مگا پاسکال مربوط به دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد و کمترین میزان پتانسیل پایه ($\Psi_b(50)$) با میانگین ۰/۶- مگا پاسکال مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود. کمترین ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت (۰/۳۱) ($\sigma \Psi_b(50)$) مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود. استفاده از مدل هیدروتایم جهت کمی سازی پاسخ جوانه زنی بذر پنیرک به سطوح مختلف پتانسیل آب در دماهای مختلف دارای نتایج قابل قبولی بود. با استفاده از خروجی مدل هیدروتایم در دماهای مختلف می توان درصد جوانه زنی را در پتانسیل های مختلف پیش بینی نمود.

واژه های کلیدی: سرعت جوانه زنی، توزیع نرمال، مدل ویبول، دما.

مقدمه

(Kereab and Murdoch, 2000). حداکثر جوانه زنی در محدوده دمایی خاصی اتفاق افتاده و در خارج از این محدوده جوانه زنی به شدت کاهش می یابد (Kereab and Murdoch, 2000; Probert, 2000). از دیگر عوامل محیطی ضروری برای جوانه زنی رطوبت می باشد. در شرایط محیطی و مناطق خشک، رطوبت مورد نیاز برای جوانه زنی محدود بوده و برای مدت زمان محدودی آب در دسترس بذر قرار گرفته که تحت این شرایط استقرار موفق گیاه نه تنها به سرعت و یکنواختی جوانه زنی بذر وابسته بوده بلکه به

جوانه زنی و استقرار گیاهچه از مراحل بحرانی در چرخه زندگی گیاهان می باشد (Windauer et al., 2007). جوانه زنی بذر توسط عوامل مختلف محیطی از قبیل درجه حرارت، رطوبت و اکسیژن برای بذرهای بدون کمون و نور و ترکیبات شیمیایی محیط برای بذرهای دارای کمون کنترل می شود (Baskin and Baskin, 2001) که در این میان دما و رطوبت از مهم ترین عوامل محیطی کنترل کننده جوانه زنی و سرعت جوانه زنی می باشند (Bradford, 2002). در بسیاری از گونه ها درصد و سرعت جوانه زنی توسط دما کنترل می شود

هیدروتایم برای مقایسه بذره‌های پرایم شده و پرایم نشده در بذر *Lesquerella fendleri* در شرایط دمایی مختلف (Windauer et al., 2007)، بررسی مدل هیدروتایم جهت پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر slender wheatgrass (Schellenberg et al. 2013) تحت شرایط رطوبتی مختلف و در دماهای مختلف و کاربرد مدل هیدروتایم برای تحلیل جوانه‌زنی چندین گونه متفاوت تحت شرایط رطوبتی و دمایی مختلف (Huarte, 2006) اشاره کرد. همچنین با استفاده از مدل هیدروتایم پاسخ جوانه‌زنی بذر ۳ گونه گیاهی از قبیل شاه افسر (*Melilotus officinalis*)، چاودار (*Secale cereale*) و گندم (*Triticum aestivum*) به رطوبت کمی‌سازی شده است که نتایج نشان داد ضرایب هیدروتایم برای این ۳ گونه به ترتیب ۱۲/۲۵، ۶۸/۹۶ و ۶۱/۷ بود (Alimagham and Ghaderi-Far, 2014). کاردوسو و بیانکونی (Cardoso and Bianconi, 2013) از مدل هیدروتایم برای تعیین بذره‌های با کیفیت بالا در طول مراحل نمو استفاده کردند. داهال و بردفورد (Dahal and Bradford, 1990) با استفاده از مدل هیدروتایم سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف گوجه‌فرنگی را با هم مقایسه کردند.

پنیرک یکی از گیاهان دارویی مهم بوده که دارای خواص دارویی زیادی است و از طرفی جز علف‌های هرز مهاجم در کشور معرفی شده است که برای محصولات کشاورزی مشکل‌آفرین شده است (Gherekhlou and Sohrabi, 2015). پنیرک با نام علمی (*Malva sylvestris* L.) از تیره Malvaceae، به ارتفاع ۱۰۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر پوشیده از کرک‌های دراز، ریشه گوشتی، ساقه منفرد یا متعدد، ایستاده، گاهی ظاهراً فاقد کرک، برگ‌های قلبی مدور، تقریباً پنجه‌ای، با ۵ لوب با بخش غیر عمیق است. این گیاه بومی اروپا، شمال آفریقا و جنوب غربی آسیا می‌باشد. بذره‌های پنیرک به دلیل پوسته سخت دارای کمون فیزیکی بوده و کمون این بذرها معمولاً به‌وسیله خراش‌دهی و یا عوامل ناشناخته در شرایط طبیعی شکسته می‌شود (Van Assche and Vandeloock, 2006). ترکیبات شیمیایی این گیاه عبارت‌اند از موسیلاژ، تانن، لوکواتوسیانین، آنتوسیانین، لینولنیک اسید، پالمیتیک اسید، لینولنیک اسید و اولئیک اسید بوده، بعلاوه این گیاه دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانته می‌باشد و به‌طور کلی این گیاه دارای خاصیت ضد درد، ضدالتهاب و ضدعفونی‌کننده است (Tabaraki et al., 2011).

توانایی جوانه‌زنی بذر تحت این شرایط رطوبتی محدود وابسته است (Fischer and Turner, 1978). با افزایش در پتانسیل آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی به‌شدت کاهش می‌یابد (Grundy et al., 2000). علاوه بر این تأثیر رطوبت خصوصاً در پتانسیل‌های منفی‌تر بر جوانه‌زنی نسبت به دما بسیار پیچیده‌تر می‌باشد و در پتانسیل‌های خاصی با توجه به گونه گیاهی سازگاری‌های فیزیولوژیکی اتفاق می‌افتد (Ni and Bradford, 1992; Bradford, 1995).

جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذر به عوامل محیطی از مدل‌های مختلفی استفاده شده است که این مدل‌های جوانه‌زنی به چند گروه تقسیم می‌شوند به‌طوری‌که اگر فقط از دما استفاده شود، مدل ترمال‌تایم و اگر از رطوبت استفاده شود، مدل را هیدروتایم (Forcella et al. 2000; Bradford 2002; Grundy 2003) می‌گویند. همچنین، نوعی از مدل‌های ریاضی برای شرح رابطه بین سرعت جوانه‌زنی با دما و پتانسیل آب استفاده شده است که این مدل‌ها، مدل‌های هیدروترمال‌تایم نامیده می‌شوند. ضرایب مدل هیدروترمال‌تایم در مدل‌سازی پویایی بانک بذر موردنیاز می‌باشند (Sester et al., 2007). تمامی این خصوصیات بذری در ارتباط با رطوبت بذر می‌توانند توسط مدل هیدروتایم تجزیه شود (Gummerson, 1986). مدل هیدروتایم، جوانه‌زنی بذر را در پاسخ به پتانسیل آب با استفاده از مدل زیر توصیف می‌کند:

$$\theta_H = (\psi - \psi_{b(g)}) \times t_g \quad [1]$$

که در این معادله θ_H ، ضریب هیدروتایم برحسب مگاپاسکال ساعت؛ ψ ، پتانسیل آب برحسب مگاپاسکال؛ $\psi_{b(g)}$ ، پتانسیل آب پایه برای صدک g جوانه‌زنی برحسب مگاپاسکال؛ t_g ، زمان جوانه‌زنی g درصد از بذور برحسب ساعت را نشان می‌دهند.

در این مدل فرض بر این است که $\psi_{b(g)}$ در یک جمعیت بذری متفاوت بوده و از یک توزیع نرمال با میانگین $\psi_{b(50)}$ ، انحراف معیار σ_{ψ_b} و ضریب θ_H پیروی می‌کند (Bradford, 1990). با توجه به فرضیات ذکرشده منحنی جوانه‌زنی در مقابل زمان به‌صورت معادله زیر استفاده می‌شود:

$$\text{Probit}(g) = (\psi - \theta_H / t_g) - \psi_{b(50)} / \sigma_{\psi_b} \quad [2]$$

بسیاری از محققین از مدل هیدروتایم جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرها به شرایط تنش رطوبتی استفاده کرده‌اند که از این قبیل تحقیقات می‌توان به استفاده از مدل

که در آن Y ، جوانه‌زنی تجمعی در زمان t ؛ G_{max} ، حداکثر درصد جوانه‌زنی؛ D_{50} ، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی؛ GU ، ضریب معادله یا یکنواختی جوانه‌زنی (معادل با تفاوت بین زمان رسیدن به ۹۰ درصد و ۱۰ درصد جوانه‌زنی) و a ، شیب معادله را نشان می‌دهند.

جهت برآورد ضرایب هیدروتایم از معادله ۲ استفاده شد. برای استفاده از این معادله برای هر تیمار رطوبتی و دمایی، نسبت تجمعی جوانه‌زنی (g) در هر دفعه شمارش (t_g) از روی نتایج حاصل از شمارش روزانه بذرهای جوانه‌زده به‌دقت آمد. با استفاده از معادله ۲ و برنامه غیرخطی ($proc nlin$) در نرم‌افزار SAS، ضرایب $\psi_{b(50)}$ ، θ_H و $\sigma_{\psi b}$ برای هر تیمار دمایی تخمین زده شد. درنهایت با استفاده از ضرایب به‌دست‌آمده نمودار زنگوله‌ای شکل پراکنش مقادیر پتانسیل پایه در جمعیت برای هر دما با استفاده از معادله توزیع نرمال به‌صورت جداگانه رسم شد. درنهایت با رسم نمودار یک‌به‌یک برای مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده جوانه‌زنی حاصل از مدل هیدروتایم، مدل از لحاظ پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی مورد ارزیابی قرار گرفت (Alimagham and Ghaderi-Far, 2014).

با توجه به اینکه مدل هیدروتایم حاصل مجموعه‌ای از داده‌های جوانه‌زنی در سطوح مختلف خشکی می‌باشد برای رسم یک شکل واحد حاصل از این مدل جهت نشان دادن درصد جوانه‌زنی تجمعی در سطوح مختلف خشکی در مقابل زمان، باید زمان در سطوح مختلف خشکی نرمال شود، به‌منظور نرمال کردن زمان از معادله ۴ استفاده شد:

$$t_{g(0)} = (1 - (\psi / \psi_{b(g)})) \times t_g \quad [4]$$

در این رابطه $t_{g(0)}$ ؛ زمان جوانه‌زنی در آب مقطر (برحسب ساعت)؛ ψ ؛ پتانسیل آب (برحسب مگاپاسکال)؛ $\psi_{b(g)}$ ؛ پتانسیل پایه برای صدک g (برحسب مگاپاسکال)؛ t_g ؛ زمان جوانه‌زنی صدک g (برحسب ساعت) می‌باشد.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و SigmaPlot انجام و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel و SigmaPlot رسم شد.

نتایج و بحث

روند درصد جوانه‌زنی تجمعی در برابر زمان در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد و سطوح مختلف تنش خشکی با

تحقیقات اندکی در مورد تأثیر ارتباط با گیاه *M. sylvestris* L. هم از دیدگاه دارویی و هم از دیدگاه علف‌هرز بودن در داخل و خارج از کشور وجود داشته و به‌طور کلی در تحقیقات مرتبط با بذر از مدل‌های هیدروتایم به‌طور محدود استفاده شده است؛ بنابراین در این پژوهش با استفاده از مدل هیدروتایم به بررسی اثر دما بر روی پاسخ جوانه‌زنی بذر پنیرک به پتانسیل‌های مختلف آب پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه پژوهش‌های بذر دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف خشکی ایجادشده با پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ با پتانسیل‌های ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶- مگاپاسکال (Michel and Kaufmann, 1973) در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. بذرهای *M. sylvestris* L. استفاده‌شده دارای کمون فیزیکی بودند که با استفاده از اسیدسولفوریک ۹۸ درصد برای مدت‌زمان ۲۴۰ دقیقه کمون بذرها شکسته شد و سپس بذرها به مدت ۵ دقیقه با آب روان شستشو و خشک شدند (از نگارندگان، داده‌ها منتشر نشده است). پس از آماده‌سازی محلول‌های مختلف، جهت اعمال تنش خشکی ابتدا محلول‌ها جهت هم‌دما شدن با دماهای مختلف به مدت ۲۴ ساعت در دماهای پیش‌گفته قرار گرفته و سپس تیمارهای تنش خشکی در ۳ تکرار ۲۵ بذری و در دماهای موردنظر اعمال شد. شمارش بذرها بعد از ۱۲ ساعت شروع شد و بعد از شمارش اولیه به دلیل سرعت جوانه‌زنی بالا، شمارش بذرهای جوانه‌زده در ۳ شمارش بافاصله ۴ ساعت یک‌بار انجام و تعداد بذرهای جوانه‌زده ثبت شد و سپس فاصله شمارش و ثبت بذرهای جوانه‌زنی به فاصله ۱۲ ساعت تغییر یافت. شمارش و ثبت بذرهای جوانه‌زده به مدت ۲۱ روز ادامه یافت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

در ابتدا جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرها و تعیین سرعت جوانه‌زنی در پتانسیل‌ها و دماهای مختلف و نشان دادن روند تجمعی جوانه‌زنی بذرهای *M. sylvestris* L. مدل ۴ پارامتره ویبول به جوانه‌زنی تجمعی برازش داده شد که معادله آن به‌صورت زیر می‌باشد (Dumur et al., 1990):

$$Y = G_{max}(1 - \exp(-D_{50}(t - GU)^a)) \quad [3]$$

جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی تجمعی به عوامل محیطی و محاسبه سرعت جوانه‌زنی توسط سایر محققین نیز استفاده شده است (Dumur et al., 1990; Derakhshan et al., 2012). به‌طور کلی درجه حرارت و رطوبت دو عامل اصلی محیطی هستند که درصد و سرعت جوانه‌زنی را کنترل می‌کنند که توسط بسیاری از محققین نیز تأیید شده است (Cardoso et al., 2013; Bradford, 2002, Ansari et al., 2012). توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط مطلوب رطوبتی، شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم بالاتر را در پی دارد که در نتیجه باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (Balbaki et al., 1999). به‌طور معمول سرعت جوانه‌زنی به‌صورت خطی با قابلیت دسترسی به آب افزایش (Guerke et al., 2004) و با کاهش پتانسیل آب کاهش می‌یابد (Grundy et al., 2012, Ansari et al., 2000). گزارش شده است که جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Ghaderi-Far et al., 2009).

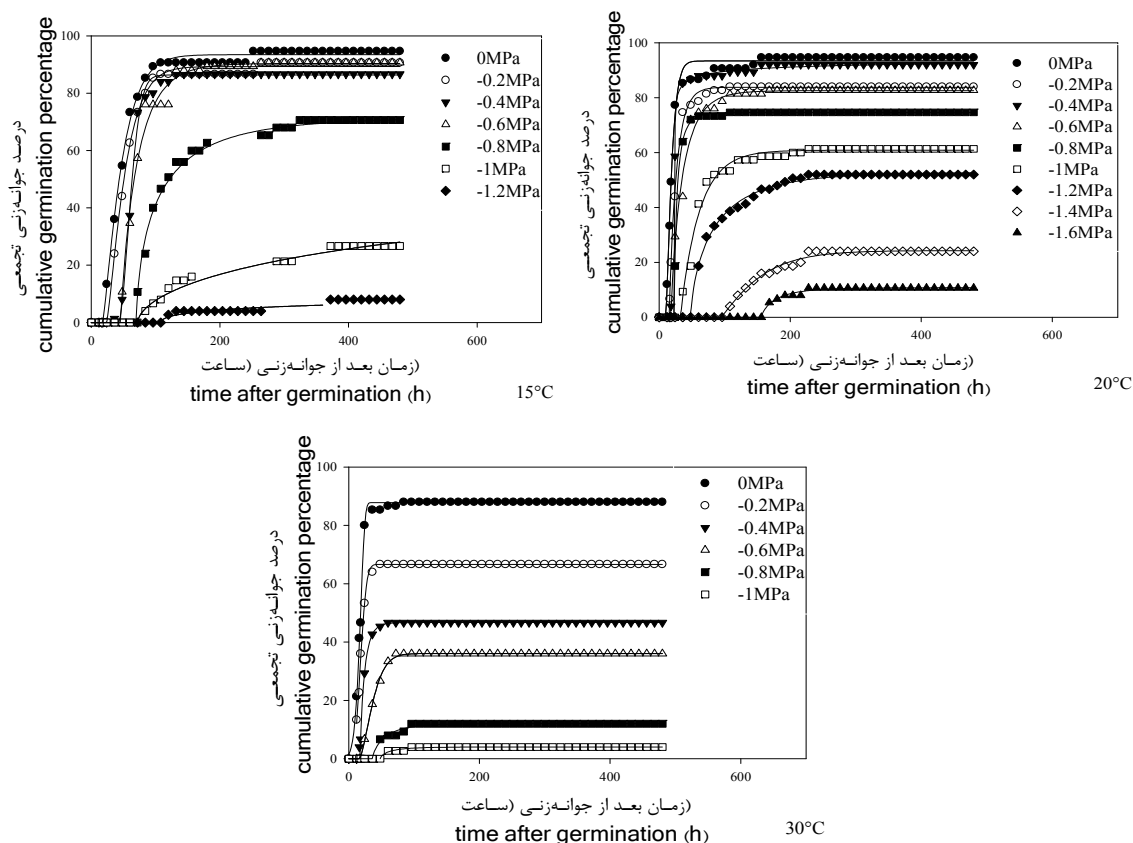
استفاده از مدل ویبول در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که با افزایش در پتانسیل آب درصد جوانه‌زنی کاهش یافت (شکل ۱). ضرایب مربوط به مدل ویبول جهت بررسی روند تجمعی درصد جوانه‌زنی در برابر زمان در پتانسیل‌های مختلف آب در دماهای مختلف در جدول ۱ به نمایش درآمده است. در جدول ۱ یکنواختی جوانه‌زنی (GU) یا تفاوت بین زمان رسیدن به ۹۰ و ۱۰ درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده است. نتایج نشان داد که سرعت جوانه‌زنی با افزایش در پتانسیل‌های مختلف آب در دماهای مختلف کاهش و با افزایش دما افزایش یافت. بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۰۵۹) مربوط به شرایط عدم تنش و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱). نتایج نشان داد با افزایش در سطوح تنش خشکی یکنواختی جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که ممکن است به دلیل جوانه‌زنی کمتر در این دما در سطوح بالاتر تنش خشکی باشد. در سطوح بالای تنش و در دماهای ۱۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی مشاهده نشد (شکل ۱). از مدل ۴ پارامتره ویبول

جدول ۱. ضرایب به‌دست آمده از مدل ویبول برازش داده شده به درصد جوانه‌زنی تجمعی در پتانسیل‌های رطوبتی و دماهای مختلف برای بذر *Malva sylvestris*.

Table 1. Estimated parameters by fitting weibull model to cumulative germination percentage of *Malva sylvestris* in response to different temperatures and osmotic potentials.

پتانسیل (مگاپاسکال) Potential (Mpa)	دما (درجه سانتی‌گراد)					
	15		20		30	
	GU	D ₅₀ / I (R ₅₀)	GU	D ₅₀ / I (R ₅₀)	GU	D ₅₀ / I (R ₅₀)
0	32.27	0.024	10.09	0.057	55.92	0.059
-0.2	31.44	0.021	12.81	0.043	17.85	0.056
-0.4	23.21	0.016	11.19	0.044	6.92	0.046
-0.6	26.85	0.016	5.31	0.039	24.71	0.028
-0.8	38.44	0.011	4.51	0.039	20.53	0.021
-1	228.39	0.0036	52.3	0.034	15.11	0.018
-1.2	255.12	0.0044	38.13	0.014	-	-
-1.4	-	-	63.45	0.007	-	-
-1.6	-	-	23.99	0.006	-	-

GU، D50 و R50 به ترتیب نشان‌دهنده یکنواختی جوانه‌زنی، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی و سرعت جوانه‌زنی می‌باشند. GU, D50 and R50 indicate the uniformity of germination, time taken to 50% maximum seed germination and germination rate, respectively.



شکل ۱. برازش مدل ویبول به داده های درصد جوانه زنی تجمعی بذر *Malva sylvestris* در مقابل زمان (ساعت) در دماها و پتانسیل های مختلف آب.

Fig. 1. Fitting weibull model to cumulative germination percentage of *Malva sylvestris* in response to time in different temperatures and osmotic potentials.

۰/۶- مگاپاسکال مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود. پتانسیل پایه ($\Psi_{b(50)}$) نشان دهنده سطحی از پتانسیل است که در پتانسیل های کمتر از آن میزان جوانه زنی به کمتر از ۵۰ درصد حداکثر جوانه زنی خواهد رسید (Bradford, 2002)؛ بنابراین منفی تر بودن پتانسیل پایه در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد بیانگر تحمل بیشتر گیاه به شرایط تنش خشکی در این دو دما نسبت به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بوده و این گیاه در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بیشتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می گیرد.

کمترین ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت ($\sigma \Psi_{b(50)}$) (۰/۳۱) مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود. ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت ($\sigma \Psi_{b(50)}$) نشان دهنده میزان یکنواختی جوانه زنی در جمعیت است (Bradford, and Still, 2004). هر چه مقدار عددی این ضریب کوچک تر باشد نشان دهنده یکنواختی بیشتر است

ضریب هیدروتایم (θ_H) با افزایش درجه حرارت به طور معنی داری کاهش یافت به طوری که کمترین ضریب هیدروتایم (۱۰/۰۱ مگاپاسکال ساعت) مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود (جدول ۲). به طور کلی ضریب هیدروتایم شاخصی از سرعت جوانه زنی در سطوح مختلف تنش خشکی می باشد و هر چه این ضریب کمتر باشد نشان دهنده بیشتر بودن سرعت جوانه زنی می باشد (Cardoso and Bianconi, 2013; Alimagham and Ghaderifar, 2014). با توجه به نتایج جدول ۲ بیشترین سرعت جوانه زنی مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و کمترین سرعت جوانه زنی مربوط به دمای ۱۵ درجه سانتی گراد بود.

پتانسیل پایه با افزایش درجه حرارت به طور معنی داری کاهش یافت و بیشترین پتانسیل پایه با میانگین -۱/۱۳ و -۱/۱۱ مگاپاسکال مربوط به دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد و کمترین میزان پتانسیل پایه ($\Psi_{b(50)}$) با میانگین

می‌توان مقادیر پتانسیل پایه در هر فراوانی را به‌دست آورد (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014; Bradford, 1997). با استفاده از نسبت جوانه‌زنی تجمعی در هر سطح خشکی و با استفاده از معکوس تابع نرمال مقادیر پتانسیل پایه در هر فراوانی محاسبه شد. نمودار توزیع نرمال برای مقادیر پتانسیل پایه در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۴ ارائه شده است.

در شکل ۵ روند درصد جوانه‌زنی تجمعی برای پتانسیل‌های مختلف در برابر زمان نرمال شده قابل مشاهده است که در این حالت زمان جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش خشکی برای هر دما مشابه جوانه‌زنی در آب مقطر (شاهد) نرمال شده است. در این راستا گزارش شده است که با بررسی روند درصد تجمعی جوانه‌زنی در مقابل زمان می‌توان از مدل هیدروتایم در پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی تجمعی گیاهان در سطوح خشکی مختلف استفاده نمود (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014).

جوانه‌زنی و سبز شدن فرآیندهای اصلی در زنده‌مانی و موفقیت گیاه بوده (Del Monte and Dorado 2011) و به‌طور کلی توانایی پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن در گیاهان زراعی، علف هرز و گیاهان دارویی می‌تواند سبب افزایش مدیریت زراعی و مدیریت علف‌های هرز در نتیجه افزایش عملکرد شود (Leblanc et al. 2004; Myers et al., 2004). به‌طور کلی مدل هیدروتایم نشان می‌دهد که چگونه رطوبت سبب تنظیم جوانه‌زنی خواهد شد (Bradford, 2002).

(Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014)؛ بنابراین با توجه به این تعریف یکنواختی جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بود.

مقادیر ضریب تبیین (R^2) برای مدل هیدروتایم در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۷۷ و ۰/۹۳ بود که نشان‌دهنده برازش مناسب مدل خصوصاً در دمای بالا (۳۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد (جدول ۲). دقت بالاتر مدل در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند به دلیل محدودتر شدن سطوح پتانسیل جهت جوانه‌زنی باشد.

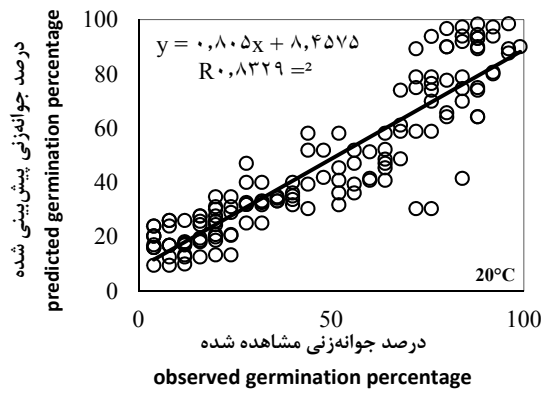
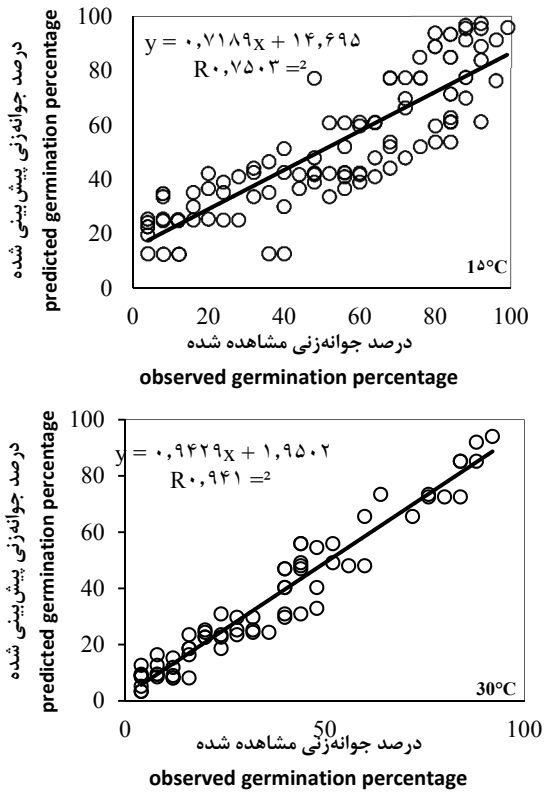
برای ارزیابی مدل باید از نمودار یک‌به‌یک استفاده شود. برای به‌کارگیری این نمودار نیاز به مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده می‌باشد. برای به‌دست آوردن مقادیر واقعی پتانسیل پایه از معادله $\Psi_{b(g)} = \Psi - \theta_H / tg$ استفاده خواهد شد و در نهایت مقادیر واقعی پتانسیل پایه در هر پتانسیل برای زمان‌های مختلف جوانه‌زنی برآورد شد. عالیمقام و قادری فر (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014) از معادله فوق جهت محاسبه مقادیر واقعی و رسم نمودار یک و یک جهت ارزیابی مدل هیدروتایم استفاده نمودند. در این پژوهش جهت ارزیابی مدل هیدروتایم در دماهای مختلف، نمودار یک‌به‌یک برای درصد جوانه‌زنی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده و پتانسیل پایه واقعی و پیش‌بینی‌شده رسم شد (شکل‌های ۲ و ۳).

با توجه به اینکه مقادیر پتانسیل پایه در یک جمعیت دارای توزیع نرمال است با در دست داشتن فراوانی پتانسیل پایه در هر زمان از جوانه‌زنی و با استفاده از معکوس تابع نرمال

جدول ۲. ضرایب برآورد شده مدل هیدروتایم در دماهای مختلف. θ_H ، $\Psi_{b(50)}$ و $\sigma_{\Psi_{b(50)}}$ به ترتیب نشان‌دهنده ضریب هیدروتایم، پتانسیل پایه و ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت *M. sylvestris*. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده SE می‌باشد.

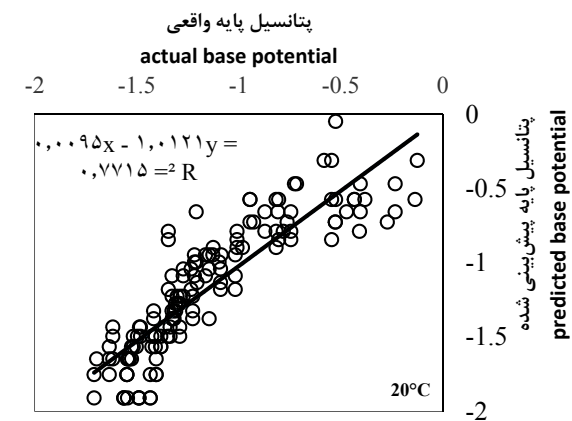
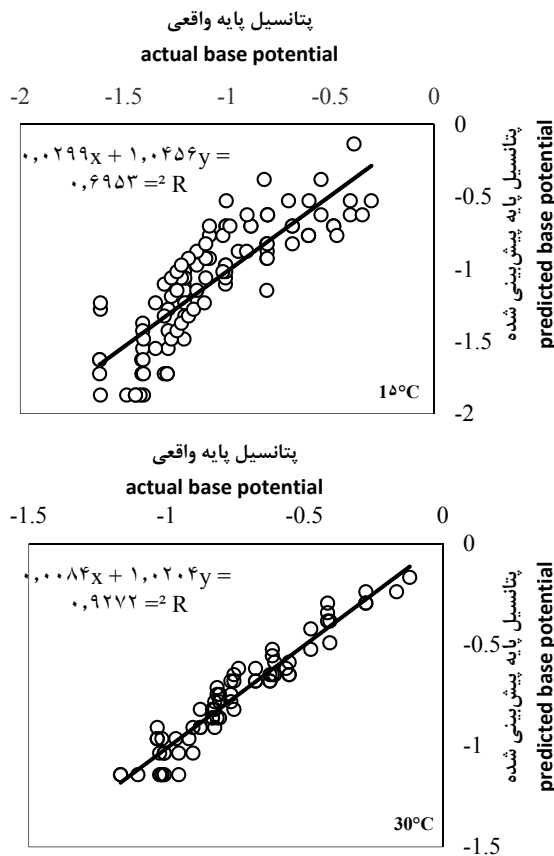
Table 2. Estimated parameters for hydrotime model in different temperatures. θ_H , $\Psi_{b(50)}$ and $\sigma_{\Psi_{b(50)}}$ indicate, respectively, hydrotime constant, mean base water potential and its standard deviation in *Malva sylvestris* population. Numbers in parentheses represent standard error.

دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)	θ_H	$\Psi_{b(50)}$	$\sigma_{\Psi_{b(50)}}$	R^2
15	29.09(0.51)	-1.13(0.01)	0.43(0.01)	0.70
20	19.95(0.29)	-1.11(0.02)	0.47(0.01)	0.77
30	10.01(0.26)	-0.6(0.01)	0.31(0.01)	0.93



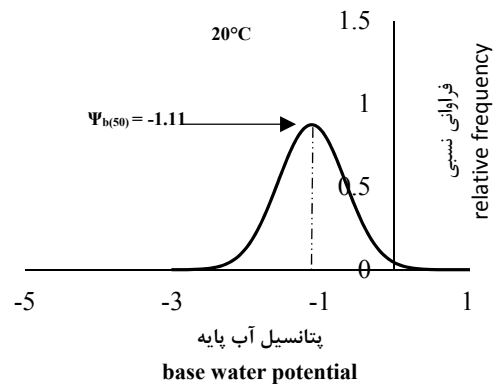
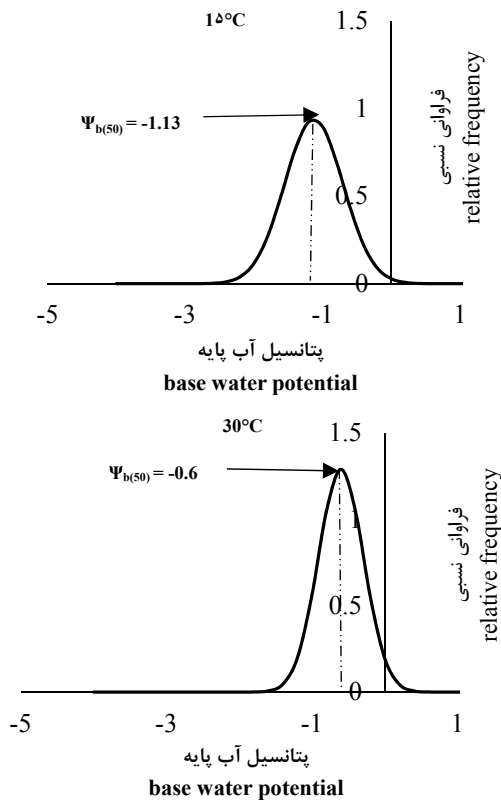
شکل ۲. مقادیر پیش‌بینی‌شده درصد جوانه‌زنی از مدل هیدروتایم در مقابل درصد جوانه‌زنی مشاهده‌شده در دماهای مختلف برای بذر *Malva sylvestris*.

Fig. 2. Injective function of observed germination percentage values versus predicted values from hydro time model in different temperatures for *M. sylvestris*

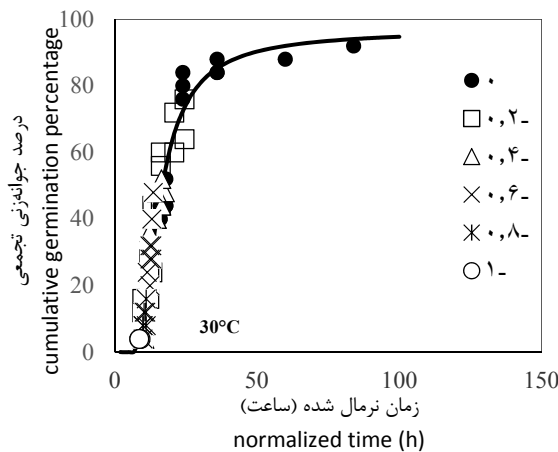
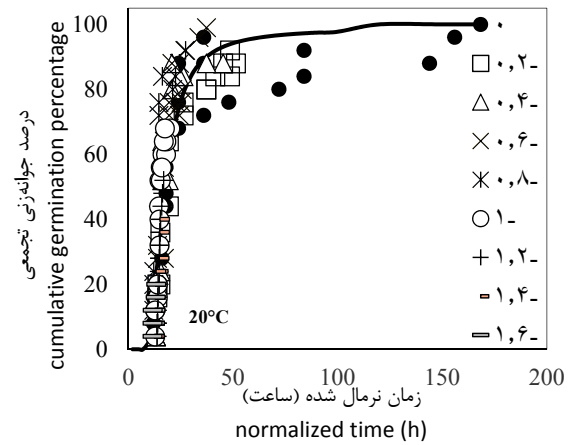
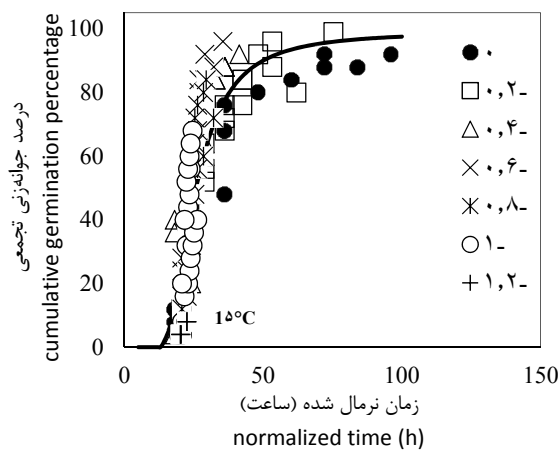


شکل ۳. مقادیر پتانسیل پایه پیش‌بینی‌شده (مگاپاسکال) توسط مدل هیدروتایم در مقابل پتانسیل پایه واقعی (مگاپاسکال) در دماهای مختلف برای بذر *Malva sylvestris*.

Fig. 3. Predicted base water potential values from hydro time model versus observed values (MPa) in different temperatures for *Malva sylvestris*.



شکل ۴. نمودار توزیع نرمال برای مقادیر پتانسیل پایه (مگاپاسکال) در دماهای مختلف برای جمعیت *Malva sylvestris*.
 Fig. 4. Normal distribution of base water potential (MPa) in different temperatures for *Malva sylvestris* population.



شکل ۵. درصد جوانه‌زنی تجمعی در سطوح مختلف پتانسیل رطوبتی (مگاپاسکال) در برابر زمان نرمال شده در دماهای مختلف برای بذر *Malva sylvestris*.

Fig. 5. Cumulative germination percentage at different osmotic potentials (Mpa) versus normalized time in different temperatures for *Malva sylvestris* seeds.

جوانه‌زنی به رطوبت را پیش‌بینی می‌کنند می‌توان زمان استقرار هر گیاه را در شرایط مختلف محیطی پیش‌بینی کرد. استفاده از مدل هیدروتایم جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر پنیرک به پتانسیل‌های مختلف و دماهای مختلف دارای نتایج قابل قبولی بود. با استفاده از خروجی مدل هیدروتایم در دماهای مختلف می‌توان درصد جوانه‌زنی را در پتانسیل‌های مختلف پیش‌بینی نمود. نتایج نشان داد که ضرایب مدل در دماهای مختلف متفاوت است، به‌طوری‌که ضریب هیدروتایم که بیان‌کننده سرعت جوانه‌زنی نیز می‌باشد با افزایش دما کاهش یافت که این کاهش نشان‌دهنده افزایش در سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما بود. یکنواختی جوانه‌زنی با افزایش دما افزایش یافت و بیشترین یکنواختی با استفاده از مدل هیدروتایم مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود که می‌تواند به دلیل جوانه‌زنی پایین‌تر در این تیمار دمایی نسبت به دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد. با افزایش درجه حرارت به بالاتر از دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد پتانسیل پایه نیز به‌شدت کاهش یافت که این کاهش نشان‌دهنده تحمل کمتر به تنش خشکی در دمای بالا برای پنیرک می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که کمترین پتانسیل پایه مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان‌دهنده تحمل کمتر گیاه در دماهای بالاتر از حد مطلوب می‌باشد. از داده‌های به‌دست‌آمده از این مدل می‌توان در استقرار بهتر این گیاه از دید دارویی و کنترل و مدیریت بهتر پنیرک از دید علف‌هرزی استفاده نمود.

ضریب هیدروتایم می‌تواند مهم‌ترین شاخص در تعیین قدرت بذر در شرایط تنش باشد به‌طوری‌که بسیاری از محققین از این ضریب برای تعیین قدرت بذر تحت شرایط مختلف استفاده نموده‌اند (Dahal and Bradford, 1990; Windauer et al., 2007; Bradford and Still, 2004). بیشترین ضریب هیدروتایم در بین دماهای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد مربوط به دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود که بیانگر کمتر بودن سرعت جوانه‌زنی در این دما نسبت به دیگر دماهای آزمایش شده بود. درجه حرارت به‌طور معنی‌داری بر روی پارامترهای مدل هیدروتایم اثرگذار بوده و با افزایش درجه حرارت ضریب هیدروتایم کاهش می‌یابد (Windauer et al., 2007). بیان شده است که در دماهای بالاتر از مطلوب پتانسیل پایه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد به‌طوری‌که کمترین پتانسیل پایه در درجه حرارت‌های بالاتر از دمای مطلوب به‌دست خواهد آمد (Cardoso and Bianconi, 2013) که نشان‌دهنده کاهش توانایی جوانه‌زنی بذر در سطوح بالاتر تنش خشکی در دماهای بالا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی خروجی مدل هیدروتایم می‌تواند برخی از شاخص‌های مهم جوانه‌زنی مرتبط با تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی از قبیل سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی را پیش‌بینی کند. با استفاده از مدل‌هایی که کمی‌سازی پاسخ

منابع

- Alimaghani, S.M., Ghaderi-Far, F., 2014. Hydrotime model: Introduction and application of this model in seed researches. Environmental Stresses in Crop Sciences. 7(1), 41-52. [In Persian with English Summary].
- Ansari, O., Choghazardi, H.R., Sharif Zadeh, F., Nazarli, H., 2012. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. Cercetări Agronomice în Moldova. 2(150), 43-48.
- Balbaki, R.Z., Zurayk, R.A., Blek, M.M., Tahouk, S.N., 1999. Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. Seed Science Technology. 27, 291-302.
- Baskin, C.C., Baskin, J.M., 2001. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, California, pp. 666.
- Bradford, K.J., 1990. A water relation analysis of seed germination rates. Plant Physiology. 94, 840-849.
- Bradford, K.J., 1995. Water relations in seed germination. In: J. Kigel and G. Galili [eds.], Seed Development and Germination, 351-

396. Marcel Dekker Inc. New York, New York, USA.
- Bradford, K.J., 1997. The hydrotimic concept in seed germination and dormancy, pp 349-360. In: Ellis, R.H., Black, M., Murdoch, A.J., Hong, T.D. (eds.), Basic Applied Aspect. Seed Biology, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Bradford, K.J., 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*. 50, 248-260.
- Bradford, K.J., Still, D.W., 2004. Application of hydrotimic analysis in seed testing. *Seed Technology*. 26, 74-85.
- Cardoso, V.J.M., Bianconi, A., 2013. Hydrotimic model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Acta Scientiarum*. 35(2), 255-261.
- Dahal, P., Bradford, K.J., 1990. Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. II. Germination at reduced water potential. *Journal of Experimental Botany*. 41, 1441-1453.
- Del Monte, J.P., Dorado, J., 2011. Effects of light conditions and afterripening time on seed dormancy loss of *Bromus diandrus* Roth. *Weed Research*. 51, 581-590.
- Derakhshan, A., Gherekhloo, J., Vidal, R.B., De Prado, R., 2013. Quantitative description of the germination of littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. *Weed Science*. 62, 250-257.
- Dumur, D., Pilbeam, C.J., Craigan, J., 1990. Use of the Weibull Function to Calculate Cardinal Temperatures in *Faba Bean*. *Journal of Experimental Botany*. 41, 1423-1430.
- Fischer, R.A., Turner, N.C., 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology*. 29, 277-317
- Forcella, F., Benech-Arnold, R.L., Sanchez, R., Ghera, C.M., 2000. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*. 67, 123-139.
- Ghadery-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), 1-9. [In Persian with English Summary].
- Grundy, A.C., 2003. Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Research*. 43, 1-11.
- Grundy, A.C., Phelps, K., Reader, R.J., Burston, S., 2000. Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytology*. 148, 433-444.
- Guerke, W.R., Gutormson, T., Meyer, D., McDonald, M., Mesa, D., Robinson, J.C., TeKrony, D., 2004. Application of hydrotimic analysis in seed testing. *Seed Technology*. 26 (1), 75-85.
- Gummerson, R.J., 1986. The effect of constant temperature and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*. 37, 729-741.
- Huarte, R., 2006. Hydrotimic analysis of the effect of fluctuating temperatures on seed germination in several non-cultivated species. *Seed Science and Technology*. 34, 533-547.
- Kebreab, E., Murdoch, A.J., 2000. The effect of water stress on the temperature germination rate of *Orobanche aegyptiaca* seeds. *Journal of Experimental Botany*. 50, 655-664.
- Leblanc, M. L., Cloutier, D.C., Stewart, K.A., Hamel, C., 2004. Calibration and validation of a common lambsquarters (*Chenopodium album*) seedling emergence model. *Weed Science*. 52, 61-66.
- Michel, B.E., Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51, 914-916.
- Myers, M.W., Curran, W.S., VanGessel, M.J., Calvin, D.D., Mortensen, D.A., Majek, B.A., Karsten, H. D., Roth, G.W., 2004. Predicting weed emergence for eight annual species in the northeastern United States. *Weed Science*. 52, 913-919
- Ni, B.R., Bradford, K.J., 1992. Quantities models characterizing seed germination response to abscisic acid and osmoticum. *Plant Physiology*. 98, 1057-1068
- Probert, R.J., 2000. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. In: Fenner M., (Ed.), *Seeds: the ecology of*

- regeneration in plant communities. CABI Pub., Oxon, UK, New York, pp. 261-292.
- Roman, E.S., Murphy, S.D., Swanton, C.J., 2000. Simulation of *Chenopodium album* seedling emergence. *Weed Science*. 48, 217-224.
- Schellenberg, M.P. Biliget, B. Wei, Y. Predicting seed germination of slender wheatgrass [*Elymus trachycaulus* (Link) Gould subsp. *trachycaulus*] using thermal and hydro time models. *Canadian Journal of Plant Science*. 93, 793-798.
- Sester, M., Dürr, C., Darmency, H., Colbach, N., 2007. Modeling the effects of cropping systems on the seed bank dynamics and the emergence of weed beet. *Ecology Modeling*. 204, 47-58.
- Sohrabi, S., Gherekhloo, J., 2015. Investigating status of the invasive weeds of Iran. *Proceeding of 6th Iranian Weed Science Congress*. 1-3 September, Birjand, Iran. [In Persian with English Summary].
- Tabaraki, R., Yousefi, Z., Ali, H., Gharneh, 2011. Chemical Composition and Antioxidant Properties of Medicinal Plant *Malva sylvestris* L. *Journal of Research in Agricultural Science*. 8(1): 59-68. [In Persian with English Summary].
- Van Assche, J.A., Vandeloos, F.E.A., 2006. Germination ecology of eleven species of Geraniaceae and Malvaceae, with special reference to the effects of drying seeds. *Seed Science Research*. 16(4), 283-290.
- Windauer, L., Altuna, A., Benech-Arnold, R., 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crops Products*. 25, 70-74.