

اثر تنش اسمزی بر دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر پنیرک (*Malva sylvestris L.*)

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

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

۲. عضو هیئت علمی گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۱

چکیده

دما و پتانسیل آب دو عامل اولیه مهم کنترل‌کننده جوانه‌زنی می‌باشند. با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی می‌توان پاسخ جوانه‌زنی بذر به پتانسیل اسمزی و دما را کمی‌سازی کرد؛ بنابراین این تحقیق به منظور بررسی اثر پتانسیل اسمزی و دماهای مختلف بر جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی (دمای پایه، مطلوب و بیشینه جوانه‌زنی) پنیرک تحت شرایط تنش اسمزی به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف پتانسیل اسمزی (۰، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۸ مگاپاسکال) و دماهای مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) بود. با استفاده از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره جوانه‌زنی بذر پنیرک به سطوح مختلف پتانسیل اسمزی برای دماها و پتانسیل‌های اسمزی مختلف کمی‌سازی شد و درصد و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی به دست آمد. نتایج نشان داد که دما و پتانسیل اسمزی علاوه بر درصد جوانه‌زنی بر سرعت جوانه‌زنی نیز اثرگذار بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دما، درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و با افزایش پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. در مقایسه ۳ مدل استفاده‌شده با توجه به پارامترهای SE ، R^2 ، CV ، $RMSE$ مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال بذر پنیرک تا پتانسیل -۰/۶ مگاپاسکال مدل دندان مانند و برای پتانسیل -۰/۸ مگاپاسکال مدل دوتکه‌ای بود. استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر پنیرک به سطوح مختلف پتانسیل آب در دماهای مختلف دارای نتایج قابل قبولی بود؛ بنابراین با استفاده از خروجی این مدل‌ها در دماهای مختلف می‌توان سرعت جوانه‌زنی را در پتانسیل‌های مختلف پیش‌بینی نمود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، پنیرک، جوانه‌زنی، دماهای کاردینال، مدل‌های رگرسیون غیرخطی.

مقدمه

جوانه‌زنی مهم‌ترین مرحله در زندگی گیاه بوده که با جذب آب شروع و با خروج ریشه‌چه از پوشش بذر کامل می‌شود، بنابراین زمان جوانه‌زنی حداقل بین ورود آب به داخل بذر تا خروج ریشه‌چه از پوشش بذر است (Bradford, 2002). تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی و شوری سبب کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شوند (Kaya et al., 2006; Atak et al., 2006). از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه دما و پتانسیل آب است. مشخص شده است که افزایش دما تا حد بهینه موجب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود، اما ادامه افزایش از حد بهینه، درصد و سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد.

گزارش شده است که تنش اسمزی به‌طور معنی‌داری بر روی درصد و سرعت جوانه‌زنی اثرگذار است اما به‌طور معمول سرعت جوانه‌زنی به‌صورت خطی با قابلیت دسترسی به آب افزایش می‌یابد (Guerke et al., 2004) و با کاهش پتانسیل آب کاهش می‌یابد (Grundy et al., 2000, Ansari et al., 2012). احمد و همکاران (Ahmed et al., 2015) نشان دادند که جوانه‌زنی بذر *Murdannia nudiflora* به‌شدت تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار گرفته و با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

از آنجایی که پنیرک از دیدگاه دارویی و همچنین علف‌هرز مهاجم بودن دارای اهمیت بسیاری است و تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با بررسی اثر تنش اسمزی بر تغییرات دمای کاردینال جوانه‌زنی این گیاه انجام نشده است، بنابراین در این تحقیق به بررسی اثر سطوح مختلف تنش اسمزی بر تغییرات دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر پنیرک پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه پژوهش‌های بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل‌های ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ - مگاپاسکال بود (قابل ذکر است جوانه‌زنی در دمای ۴۳ درجه سانتی‌گراد متوقف شد). بذرها *M. sylvestris* L. استفاده شده دارای کمون فیزیکی بودند که با استفاده از اسیدسولفوریک ۹۵ درصد برای مدت زمان ۲۴۰ دقیقه شکسته شد و سپس بذرها به مدت ۵ دقیقه با آب روان شستشو و خشک شدند (Ansari et al., 2016). پس از آماده‌سازی بذرها، بذرها بدون کمون در ۳ تکرار ۲۵ بذر در دماها و پتانسیل‌های اسمزی موردنظر قرار گرفتند. در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دماهای بالاتر از آن شمارش اولیه به دلیل سرعت جوانه‌زنی بالا در ۳ نوبت و بافاصله زمانی ۴ ساعت یک‌بار انجام و تعداد بذرها جوانه‌زده ثبت شد و سپس فاصله شمارش و ثبت بذرها جوانه‌زده به فاصله ۱۲ ساعت تغییر یافت. شمارش و ثبت بذرها جوانه‌زده به مدت ۲۱ روز ادامه یافت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به طول ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد (Ansari et al., 2016). برای توجیه روند تغییرات مربوط به درصد جوانه‌زنی در مقابل دما از تابع سیگموئیدی ۳ پارامتره (رابطه ۱) استفاده شد:

$$Y = a / (1 + \exp(-(x - x_{50})/b)) \quad [1]$$

که G_{max} حداکثر درصد جوانه‌زنی، b ؛ زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و a ؛ شیب معادله است. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از معکوس کردن زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی برحسب جمعیت با استفاده از درون‌یابی در هر دما و پتانسیل به دست آمد (از آنجایی که زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی محاسبه شده توسط تابع‌های سیگموئیدی بر اساس جوانه‌زنی نهایی است؛ استفاده از این پارامتر جهت محاسبه سرعت

جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذر به عوامل محیطی از مدل‌های مختلفی استفاده شده است اما بسیاری از محققین از مدل‌های رگرسیون غیرخطی جهت تعیین دماهای کاردینال استفاده نموده‌اند. به‌عنوان مثال با استفاده از مدل‌های مختلف رگرسیون غیرخطی دماهای کاردینال برای سه گونه گیاه دارویی توسط قادری فر و همکاران (Ghaderifar et al., 2009) برآورد شد که بسته به گونه گیاهی مناسب‌ترین مدل برای هر گونه گیاهی متفاوت بود. همچنین درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2013) با استفاده از چهار مدل رگرسیونی غیرخطی دماهای کاردینال برای اویارسلام بذر (*Cyperus difformis*) را محاسبه کردند. مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به درجه‌حرارت توسط سایر محققین نیز استفاده شده است (Kamkar et al., 2011; Cave et al., 2012; Ansari et al., 2016). تعدادی دیگر از محققین از مدل‌های رگرسیون غیرخطی جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذرها گیاهان مختلف به دما و پتانسیل اسمزی استفاده کردند و نشان دادند که ضرایب این مدل‌ها تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد (Nozari-Nejad et al., 2014; Khodabakhshi et al., 2015).

پنیرک با نام علمی *Malva sylvestris* L. گیاهی چندساله، 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 (Ansari et al., 2016). همچنین بذرها 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 Vandeloek., 2006). این گیاه بومی اروپا، شمال آفریقا و جنوب غربی آسیا است. پنیرک یکی از گیاهان دارویی مهم در ایران و جهان است که حاوی ترکیبات شیمیایی نظیر موسیلاژ، تانن، لوکوانتوسیانین، آنتوسیانین، لینولنیک اسید، پالمیتیک اسید، لینولنیک اسید و اولئیک اسید، فنول و ترپنوئید است. بعلاوه این گیاه دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی و خواص ضد درد، ضدالتهاب و ضدعفونی‌کننده است (Tabaraki et al., 2011). این گیاه امروزه در استان‌های جنوبی و جنوب غربی به‌خصوص استان خوزستان به‌عنوان علف هرز مهاجم نیز معرفی شده است (Ansari et al., 2016).

در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد مدت‌زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در پتانسیل‌های اسمزی ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال کمتر از پتانسیل اسمزی صفر یا شاهد بود، همچنین در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد چنین نتیجه‌ای برای پتانسیل اسمزی ۰/۲- مگاپاسکال به‌دست آمد که نشان‌دهنده افزایش سرعت جوانه‌زنی در این پتانسیل‌ها نسبت به شرایط بدون تنش بود (جدول ۲). این امر می‌تواند به اثر این سطوح تنشی بر پیش‌اندازی فعالیت‌های دخیل در جوانه‌زنی در این شرایط نسبت به شرایط بدون تنش مرتبط باشد.

میزان R^2 برای تمامی پتانسیل‌های اسمزی و تمامی دماهای آزمایش‌شده به‌جز دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل ۰/۸- مگاپاسکال (۰/۸۹) و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد پتانسیل ۱/۲- مگاپاسکال (۰/۸۸) بالای ۰/۹۰ بود. نتایج نشان داد که با افزایش دما تا دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد شروع به کاهش کردند، ولی تغییرات در سرعت جوانه‌زنی بیشتر از درصد جوانه‌زنی بود.

نتایج به‌خوبی نشان داد که بذر پنیرک تحت دامنه وسیعی از دماها قادر به جوانه‌زنی است. در بسیاری از گونه‌های گیاهی نظیر *Polypogon fugax* (Wu et al., 2015) و *S. rostratum* (Wei et al., 2009) گزارش شده است که برای جوانه‌زنی به حد آستانه دمایی نیاز دارند و در دامنه محدودی از دماها قادر به جوانه‌زنی هستند، این در حالی است که جوانه‌زنی گونه‌هایی شبیه *Bromus japonicas* (Li et al., 2015)، *Gomphrena perennis* (Acosta et al., 2012) و *Urena lobata* (Wang et al., 2009) در دامنه وسیعی از دماها اتفاق می‌افتد. توانایی بالای بذر پنیرک در جوانه‌زنی تحت دامنه وسیعی از دماها نشان داد که دما عامل محدودکننده جوانه‌زنی این گیاه در مناطق مختلف نیست.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که بذر پنیرک قادر به جوانه‌زنی تحت شرایط پتانسیل‌های اسمزی مختلف در تمامی دماها به‌جز دماهای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود، اما به‌طور کلی در تمامی دماها جوانه‌زنی با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی کاهش یافت. مشابه نتایج به‌دست‌آمده برای بذر پنیرک، برای دیگر گونه‌های گیاهی کاهش جوانه‌زنی در نتیجه منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی نیز گزارش شده است (Singh

جوانه‌زنی صحیح نیست، بنابراین با استفاده از ضرایب به‌دست‌آمده جوانه‌زنی رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت محاسبه و سرعت جوانه‌زنی بر این اساس برآورد شد). برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی از مدل‌های دوتکه‌ای (رابطه ۲)، دندان مانند (رابطه ۳) و بتا (رابطه ۴) استفاده شد (جدول ۱). تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک نرم‌افزار سیگماپلات صورت گرفت. در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن با روش کمترین توانی دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به‌دست آمد. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس اشتباه آزمایشی کمتر پارامترها و جذر میانگین مربعات انحراف^۱ کمتر رگرسیون و با استفاده از میزان اریبی خط رگرسیون داده‌های شبیه‌سازی‌شده از خط یک‌به‌یک مشخص شد. در نهایت جهت مقایسه ضرایب به‌دست‌آمده توسط مدل‌های استفاده شده در این پژوهش به‌جای استفاده از تجزیه واریانس داده‌ها از خطای استاندارد محاسبه‌شده توسط مدل استفاده شد.

نتایج و بحث

با استفاده از برازش مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی، حداکثر درصد جوانه‌زنی، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی و شیب معادله برای دماهای مختلف و پتانسیل‌های مختلف محاسبه شد. نتایج نشان داد که در تمامی دماها با افزایش شدت تنش اسمزی درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، همچنین نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش اسمزی مدت‌زمان رسیدن به ۵۰ درصد نهایی جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی برای تمامی پتانسیل‌های اسمزی مربوط به دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود، اما در پتانسیل‌های پایین تفاوت زیادی در درصد جوانه‌زنی برای دماهای ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. در پتانسیل‌های اسمزی منفی‌تر از ۰/۴- مگاپاسکال برای دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و در تمامی پتانسیل‌های اسمزی در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی مشاهده نشد (جدول ۲).

¹ RMSE

نتایج نشان داد که تحت شرایط پتانسیل صفر، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال، دمای پایه تعیین شده با استفاده از مدل دوتکه‌ای به ترتیب ۱/۴۶، ۱/۸۲، ۱/۲۹، ۰/۴۳ و ۴/۰۶ درجه سانتی‌گراد، با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب ۱/۲۳، ۱/۸۲، ۳/۰۴، ۲/۶۳، ۴/۰۷ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا به ترتیب ۴/۳۲-، ۴/۴۶، ۱/۸۶، ۱/۶۱ و ۴/۱۳ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۲۸/۲۹، ۲۷/۵۸، ۲۲/۲۴، ۲۲/۵۱ و ۱۹/۶۹ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا ۲۷/۸۹، ۲۵/۴۱، ۲۳/۵، ۲۳/۱۸ و ۲۱/۰۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند، ۲۳/۱۶ و ۳۳/۵۸، ۱۶/۸۶ و ۱۶/۱، ۳۰ و ۱۵/۸۱، ۲۵ و ۱۹/۵۱ و ۱۹/۸۷ درجه سانتی‌گراد، دمای سقف با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۴۲/۹، ۴۰، ۴۰، ۴۰ و ۳۴/۹۶، با استفاده از مدل دندان مانند ۴۲، ۴۰، ۴۰، ۴۰ و ۳۴/۹۶ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا ۴۲/۰۱، ۴۰/۰۲، ۳۹/۹۶، ۳۹/۹۸ و ۳۴/۸۳ درجه سانتی‌گراد، تعداد ساعات بیولوژیکی با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۱۳/۷۸، ۱۸/۴۵، ۱۹/۴۳، ۲۵/۲۴ و ۳۶/۱۳ ساعت، با استفاده از مدل دندان مانند ۲۳/۴۳، ۲۳/۲۸، ۱۶/۶۵، ۳۰/۴۸ و ۳۶/۵۶ ساعت و با استفاده از مدل بتا ۱۶/۰۶، ۲۱/۳۴، ۲۲/۲۱، ۲۸/۹۲ و ۴۲/۸۹ ساعت برآورد شد.

et al., 2012; Chauhan et al., 2006; Tang et al., 2015).

جهت تعیین دماهای کاردینال باید در ابتدا سرعت جوانه‌زنی محاسبه شود که برای دماها و پتانسیل‌های مختلف زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت با استفاده از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره محاسبه شد. در این راستا کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2011) برای برآورد D_{50} از مدل لجستیک استفاده کردند. علاوه بر مدل لجستیک از سایر مدل‌های سیگموئیدی جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به زمان جهت برآورد زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و محاسبه سرعت جوانه‌زنی نیز استفاده شده است. شفیع و پرایس (Shafii and Price, 2001) از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره جهت برآورد D_{50} استفاده نمودند. دومر و همکاران (Dumur et al., 1990) و درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2013) از مدل ویبول برای محاسبه D_{50} و درنهایت سرعت جوانه‌زنی استفاده نمودند. بعد از محاسبه سرعت جوانه‌زنی، به داده‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی برای پتانسیل‌های مختلف، مدل‌های رگرسیون غیرخطی؛ دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا برازش داده شد (شکل ۱). درنهایت دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف با استفاده از این مدل‌ها و برای پتانسیل‌های اسمزی صفر تا ۰/۸- مگاپاسکال محاسبه شدند (جدول ۳).

جدول ۱. معادلات مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتای برازش داده شده به سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف. T_b دمای پایه، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی، T_o دمای مطلوب، T_c دمای بیشینه، f_0 و a ضریب ثابت و T دما (دمای مورد آزمایش) است.

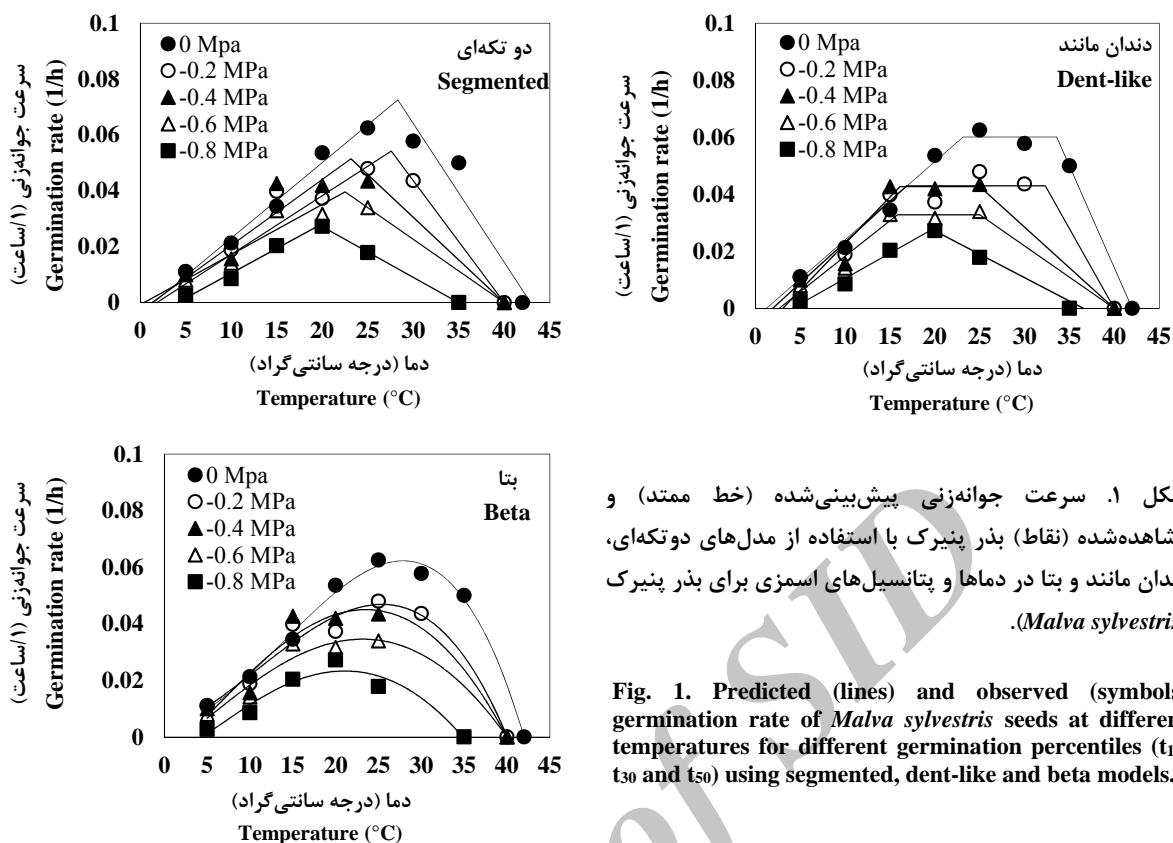
Table 1. Segmented, dent-like and beta models that were fitted to germination rate data for determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* seeds. T_b , T_o , T_m , T_{o1} , T_{o2} , and f_0 are base temperature, optimum temperature, ceiling temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit of optimum temperature, minimum time to reach a given percentile.

معادله	فرمول
Function	Formula
دندان مانند (۲) (Piper, 1996)	$f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b)$ if $T_b < T \leq T_{o1}$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{o2})$ if $T_{o2} < T \leq T_c$ $f(T) = 1$ if $T_{o1} < T \leq T_{o2}$ $f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
دوتکه‌ای (۳) (Soltani et al., 2006)	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b)$ if $T_b < T \leq T_o$ $f(T) = [1 - (T - T_o) / (T_c - T_o)]$ if $T_o < T \leq T_c$ $f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
بتا (۴) (Yin et al., 1995)	$f(T) = ((T_c - T) / (T_c - T_o)) * ((T - T_b) / (T_o - T_b))^{(T_o - T_b) / (T_c - T_o)}$

جدول ۲. ضرایب به‌دست آمده از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره برازش داده‌شده به درصد جوانه‌زنی تجمعی در پتانسیل‌های اسمزی و دماهای مختلف برای بذر پنیرک (*Malva sylvestris*). اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Table 2. Estimated parameters by fitting sigmoidal 3 parameters model to cumulative germination percentage of *Malva sylvestris* at different temperatures and osmotic potentials. Numbers in parentheses represent standard error.

دما (°C) Temperature (°C)	پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال) Osmotic potential (MPa)	ضرایب مدل Parameters of model			
		a (G _{max})	b (hours)	X ₅₀ (hours)	R ²
5	0	88.87(61)	15.10(1.08)	86.40(1.26)	0.99
	-0.2	83.45(0.33)	8.97(0.51)	85.17(0.59)	0.99
	-0.4	76.89(0.72)	10.24(1.24)	94.38(1.42)	0.98
	-0.6	74.78(1.14)	19.25(2.61)	110.86(5.87)	0.96
	-0.8	77.23(12.29)	109.88(19.57)	311.48(42.99)	0.89
10	0	92.81(0.53)	11.14(0.74)	44.80(0.93)	0.98
	-0.2	88.80(0.49)	11.18(0.73)	50.30(0.90)	0.99
	-0.4	86.22(0.24)	6.48(0.31)	61.78(0.35)	0.99
	-0.6	89.20(0.59)	11.50(0.95)	66.82(1.09)	0.99
	-0.8	67.27(0.74)	18.33(1.85)	97.14(2.14)	0.98
15	0	90.13(0.70)	6.22(0.69)	27.56(0.92)	0.97
	-0.2	83.44(0.31)	4.12(0.29)	23.83(0.33)	0.99
	-0.4	90.98(0.29)	1.59(0.20)	23.05(0.17)	0.99
	-0.6	74.44(0.16)	3.71(0.15)	28.74(0.25)	0.99
	-0.8	81.94(0.43)	8.74(0.63)	45.14(0.77)	0.99
20	0	93.23(0.43)	3.51(0.30)	17.99(0.27)	0.99
	-0.2	88.25(0.53)	5.05(0.51)	25.14(0.63)	0.98
	-0.4	90.98(0.29)	1.59(0.20)	23.05(0.17)	0.99
	-0.6	81.55(0.50)	4.90(0.47)	29.02(0.71)	0.98
	-0.8	74.41(0.56)	6.89(0.71)	30.96(0.96)	0.97
25	0	90.1(0.42)	4.24(0.38)	15.10(0.30)	0.98
	-0.2	85.19(0.17)	4.72(0.17)	19.09(0.15)	0.99
	-0.4	70.46(0.23)	2.90(0.16)	20.75(0.20)	0.99
	-0.6	83.77(0.37)	4.12(0.33)	27.28(0.49)	0.99
	-0.8	55.62(0.31)	7.25(0.60)	39.30(0.76)	0.98
35	0	66.73(0.39)	4.04(0.68)	15.50(0.74)	0.93
	-0.2	35.94(0.21)	5.64(0.59)	16.48(0.45)	0.96
	-0.4	13.32(0.04)	5.99(0.35)	14.94(55.07)	0.98
	-0.6	12.01(0.12)	6.85(0.90)	30.45(1.23)	0.96
	-0.8	4.01(0.03)	5.74(0.66)	24.28(0.76)	0.97
30	0	87.85(0.19)	3.83(0.16)	16.74(0.13)	0.99
	-0.2	66.62(0.11)	4.15(0.13)	18(0.11)	0.99
	-0.4	46.54(0.10)	2.69(0.12)	22.63(0.13)	0.99
	-0.6	35.97(0.13)	7.68(0.40)	37.34(0.52)	0.99
	-0.8	11.97(0.12)	12.41(1.38)	55.34(1.67)	0.97
40	0	23.94(0.12)	4.85(0.44)	11.43(0.46)	0.97
	-0.2	5.23(0.06)	0.43(0.74)	23.49(9.03)	0.95
	-0.4	3.99(0.06)	11.92(2.01)	34.39(2.44)	0.91



شکل ۱. سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده (خط ممتد) و مشاهده‌شده (نقاط) بذر پنیرک با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در دماها و پتانسیل‌های اسمزی برای بذر پنیرک (*Malva sylvestris*).

Fig. 1. Predicted (lines) and observed (symbols) germination rate of *Malva sylvestris* seeds at different temperatures for different germination percentiles (t_{10} , t_{30} and t_{50}) using segmented, dent-like and beta models.

روند افزایشی یا کاهش منظمی را نشان داد و تا پتانسیل اسمزی $-0/4$ مگاپاسکال افزایش و سپس کاهش جزئی را نشان داد، در ادامه در پتانسیل $-0/8$ مگاپاسکال افزایش یافت که نشان‌دهنده عدم اثرگذاری پتانسیل اسمزی بر دمای پایه بود (جدول ۴). جهت نشان دادن روند تغییرات پارامترهای برآورد شده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در پتانسیل‌های اسمزی مختلف، پارامترهای تعیین‌شده توسط مدل‌های استفاده شده در برابر پتانسیل آب قرار گرفتند و نمودار مربوط به هر کدام جهت بررسی روند تغییرات رسم شد که در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ قابل مشاهده است. نتایج نشان داد که دمای مطلوب و دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی کاهش یافت، دمای سقف تا پتانسیل $-0/6$ مگاپاسکال کاهش نشان نداد، اما با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی به $-0/8$ مگاپاسکال کاهش اما با افزایش شدت تنش اسمزی تعداد ساعات بیولوژیکی افزایش یافت.

جهت بررسی دقت مدل‌های استفاده شده و تعیین مناسب‌ترین مدل از نمودار خط ۱:۱ سرعت جوانه‌زنی مشاهده‌شده در مقابل سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده استفاده شد. با استفاده از نمودار خط ۱:۱ مقادیر RMSE، CV و ضرایب رگرسیون a و b برای تمامی پتانسیل‌های اسمزی به صورت جداگانه محاسبه شدند که RMSE و CV پائین و R^2 بالا نشان‌دهنده دقت بالاتر در مدل بود (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده مناسب‌ترین مدل تحت شرایط تنش اسمزی صفر، $-0/2$ ، $-0/4$ ، $-0/6$ مگاپاسکال مدل دندان مانند و برای پتانسیل $-0/8$ مگاپاسکال مدل دوتکه‌ای بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که در تمامی مدل‌ها با افزایش در سطوح تنش اسمزی دمای پایه با توجه به خطای استاندارد تعیین‌شده توسط مدل تحت تأثیر قرار نگرفت و باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند، دمای پایه با افزایش پتانسیل اسمزی

جدول ۳. برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_c)، تعداد ساعات بیولوژیکی (f_o)، عرض از مبدأ (a) و شیب خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای بذر پنیرک (*Malva sylvestris*) تحت شرایط تنش اسمزی. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Table 3. Estimated parameters for the non-linear regression models for *Malva sylvestris* seeds. T_b , T_o , T_m , T_{o1} , T_{o2} , f_o , a and b are base temperature, optimum temperature, ceiling temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit of optimum temperature, minimum time to reach a given percentile, coefficient of regression, intercept and slope of linear regression between predicted against observed germination rate, respectively. Numbers in parentheses represent standard error of the mean.

(Model) مدل	(Segmented) دوتکه‌ای					(Dent-like) دندان مانند	
ضرایب (Parameters)	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	0	-0.2
t_b	1.46 (2.52)	1.82 (3.60)	1.29 (3.68)	0.43 (3.84)	4.06 (0.99)	1.23 (1.01)	1.91 (1.11)
t_o	28.29 (1.29)	27.58 (1.45)	22.24 (2.36)	22.51 (2.23)	19.69 (0.83)	-	-
t_{o1}	-	-	-	-	-	23.16 (1.47)	16.86 (2.32)
t_{o2}	-	-	-	-	-	33.58 (0.64)	30 (1.75)
t_m	42.90 (1.46)	40 (1.32)	40 (2.79)	40 (2.55)	34.96 (0.91)	42.00 (0.45)	40 (0.97)
f_o	13.78 (0.96)	18.45 (1.46)	19.43 (2.36)	25.24 (2.85)	36.13 (1.95)	16.65 (5.9)	23.28 (1.85)
a	-0.0005	-0.00007	0.003	-0.00003	-0.00007	-0.00002	-0.0001
b	0.99**	1.003**	0.97*	1.001**	1.005**	1.001**	0.99**
R^2	0.93	0.91	0.77	0.94	0.99	0.99	0.92
RMSE	0.006	0.005	0.008	0.004	0.001	0.002	0.005
CV%	14.73	15.13	25.12	20.66	9.91	6.01	14.09

(Model) مدل	(Dent-like) دندان مانند					(Beta) بتا		
ضرایب (Parameters)	-0.4	-0.6	-0.8	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
t_b	3.04 (2.12)	2.63 (1.74)	4.07 (1.40)	-4.32 (4.15)	4.46 (10.35)	1.86 (5.99)	1.61 (5.34)	4.13 (3.40)
t_o	-	-	-	27.89 (0.28)	25.41 (1.79)	23.50 (3.14)	23.18 (2.76)	21.05 (2.30)
t_{o1}	16.10 (2.11)	15.82 (1.43)	19.51 (NAN)	-	-	-	-	-
t_{o2}	25 (2.75)	25 (2.04)	19.87 (NAN)	-	-	-	-	-
t_m	40 (1.04)	40 (1.20)	34.96 (1.29)	42.01 (0.28)	40.02 (0.71)	39.96 (1.29)	39.98 (1.14)	34.83 (1.25)
f_o	23.43 (1.48)	30.48 (1.41)	36.56 (NAN)	16.06 (0.42)	21.34 (1.44)	22.21 (2.79)	28.92 (3.04)	42.89 (4.46)
a	0.00008	-0.00001	0.00007	0.003	0.00009	-0.00004	-0.00008	-
b	0.99*	1.003**	1.005**	0.99**	0.99**	1.0004*	1.002**	1.02**
R^2	0.88	0.97	0.99	0.99	0.92	0.89	0.95	0.93
RMSE	0.007	0.003	0.001	0.002	0.005	0.006	0.004	0.003
CV%	21.79	14.02	9.91	6.15	14.68	19.97	17.66	25.2

نوذری‌نژاد و همکاران (Nozari-Nejad et al., 2014) واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه نسبت به دما و پتانسیل آب را با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی کمی‌سازی نمودند. در این تحقیق مشخص شد که دماهای کاردینال جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پتانسیل آب قرار نگرفت اما زمان بیولوژیک جوانه‌زنی به ازای کاهش یک مگاپاسکال پتانسیل آب ۱۷/۶۴ ساعت افزایش یافت.

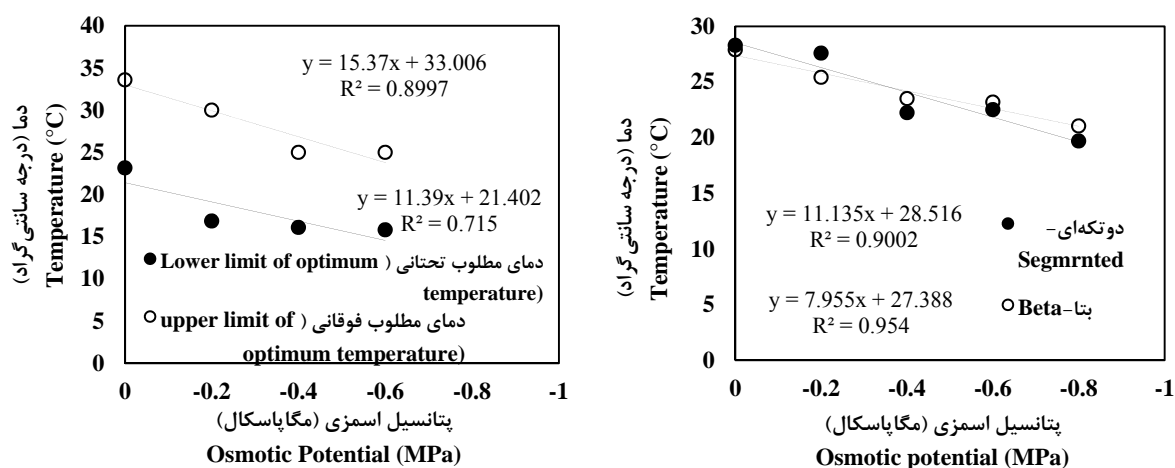
از مدل‌های بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای جهت توصیف سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما و پتانسیل آب استفاده نمودند، ایشان بیان داشتند که مدل دندان مانند نسبت به مدل‌های دیگر واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و پتانسیل آب را بهتر توصیف می‌کند. همچنین ایشان بیان داشتند که به‌جز دمای پایه بقیه دماهای برآورد شده تحت تأثیر پتانسیل آب قرار نگرفت. همچنین خدابخش و همکاران (Khodabakhshi et al.,)

جدول ۴. اثر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی بر دمای پایه بذر پنیرک (*Malva sylvestris*).
Table 4. Effect of different osmotic potentials on base temperatures of *Malva sylvestris*.

پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال) Osmotic potential (MPa)	مدل (Model)		
	دوتکه‌ای Segmented	دندان مانند Dent-like	بتا Beta
0	1.46(2.52)	1.23(1.01)	-4.32(4.15)
-0.2	1.82(3.60)	1.91(1.11)	-4.46(10.35)
-0.4	1.29(3.68)	3.04(2.12)	1.86(5.99)
-0.6	0.43(3.84)	2.63(1.74)	1.61(5.34)
-0.8	4.06(0.99)	4.07(1.40)	4.13(3.40)

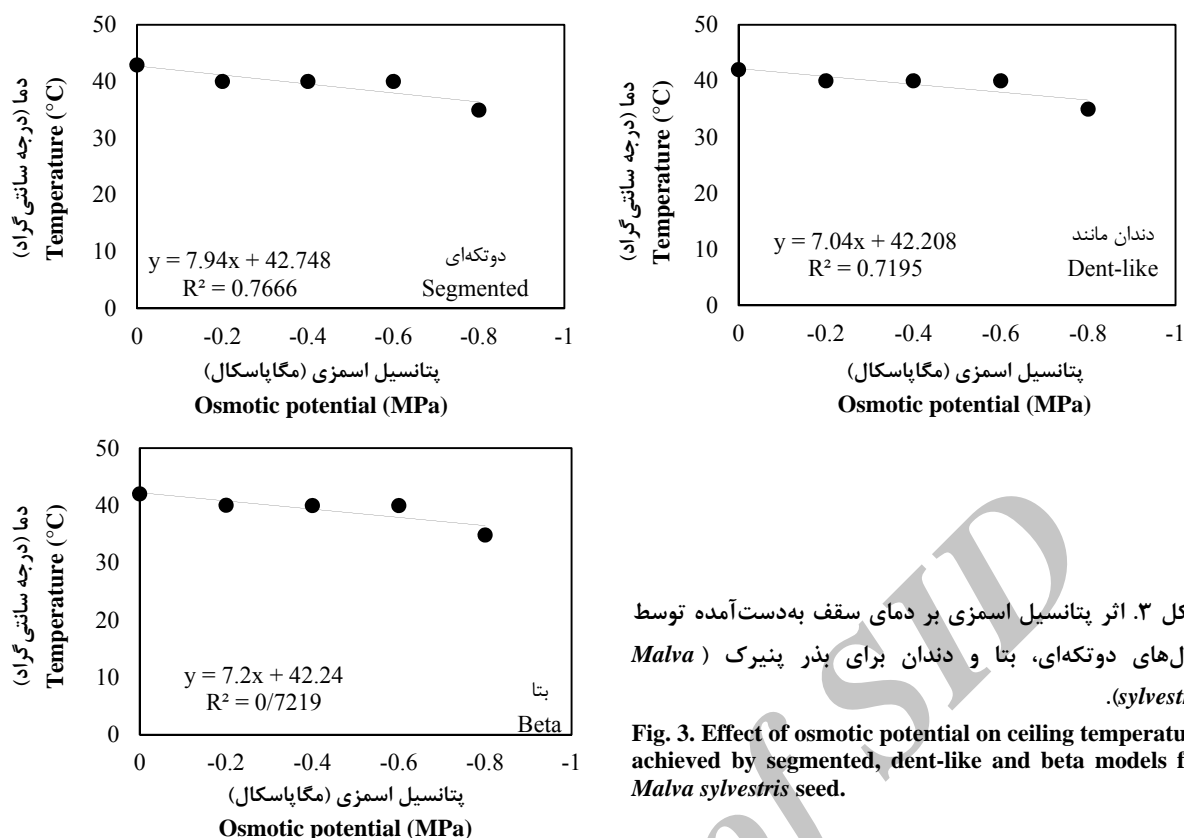
اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشد.

Numbers in parentheses represent standard error of the mean.



شکل ۲. اثر پتانسیل اسمزی بر دمای مطلوب، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به‌دست‌آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر پنیرک (*Malva sylvestris*).

Fig. 2. Effect of osmotic potential on optimum temperature, lower limit of optimum temperature and upper limit of optimum temperature achieved by segmented, dent-like and beta models for *Malva sylvestris* seed.

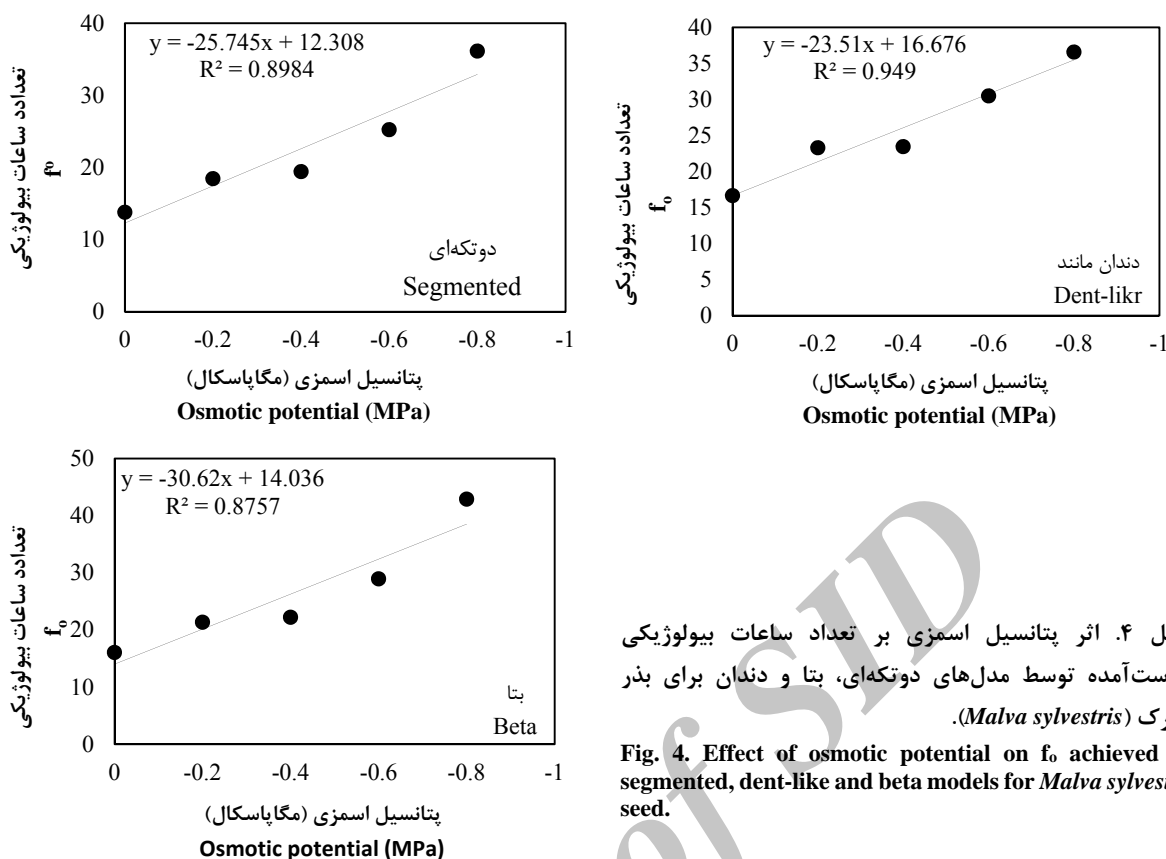


شکل ۳. اثر پتانسیل اسمزی بر دمای سقف به دست آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر پنیرک (*Malva sylvestris*).

Fig. 3. Effect of osmotic potential on ceiling temperature achieved by segmented, dent-like and beta models for *Malva sylvestris* seed.

دما به واسطه تأثیر بر کمون بذر می‌تواند سرعت‌های جوانه‌زنی، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را تحت تأثیر قرار دهد (Bradford, 2002). فورسلا (Forcella, 2000) عنوان کرد زمان جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین رخدادهایی است که موفقیت یا شکست گونه‌های یک‌ساله در آلوده کردن و افزایش جمعیت آن‌ها در بوم نظام‌های کشاورزی را تعیین می‌کند. به‌طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که به ازای کاهش یک مگاپاسکال پتانسیل آب دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به ترتیب ۱۱/۳۹ و ۱۵/۳۷ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت، دمای سقف نیز ۷/۰۴ درجه سانتی‌گراد کاهش نشان داد ولی تعداد ساعات بیولوژیکی ۲۳/۵۱ ساعت افزایش نشان داد. بین دماهای پایه برآورد شده برای سطوح مختلف پتانسیل اسمزی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت که نشان‌دهنده عدم وابستگی دمای پایه این گیاه به پتانسیل آب است.

در آزمایش دیگر که توسط قادری‌فر و همکاران (Ghaderi-Far et al., 2009) بر روی سه گونه از گیاهان دارویی انجام شد، با استفاده از توابع مختلف از قبیل توابع بتا، دندان مانند، دوتکه‌ای، منحنی، معادلات درجه دوم و سوم دماهای کاردینال برای این سه گونه دارویی برآورد شد که با توجه به گونه گیاهی بهترین مدل برای هرگونه گیاهی متفاوت بود. همچنین سایر محققین با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی دماهای کاردینال برای تعدادی دیگر از گیاهان محاسبه کردند و برای مقایسه مدل‌ها از RMSE، CV و شاخص آکائیک (AICc) استفاده کردند (Derakhshan et al., 2013; Kamkar et al., 2011). اکرم قادری و همکاران (Akramghaderi et al., 2008) در مطالعه خود بر روی ۳ گونه گیاهی بیان داشتند که تعداد ساعات بیولوژیکی برای جوانه‌زنی این ۳ گیاه با منفی شدن پتانسیل اسمزی به‌طور خطی افزایش یافت.



شکل ۴. اثر پتانسیل اسمزی بر تعداد ساعات بیولوژیکی به‌دست‌آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر پنیرک (*Malva sylvestris*).

Fig. 4. Effect of osmotic potential on f_0 achieved by segmented, dent-like and beta models for *Malva sylvestris* seed.

بیولوژیکی (حداقل زمان لازم برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب) افزایش یافت. در مقایسه ۳ مدل استفاده شده با توجه به پارامترهای RMSE، CV، se و نمودار خط ۱:۱ مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال پنیرک تا پتانسیل $-0/6$ مگاپاسکال مدل دندان مانند و برای پتانسیل $-0/8$ مگاپاسکال مدل دوتکه‌ای بود؛ بنابراین از مدل دندان مانند و دوتکه‌ای می‌توان در تهیه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر پنیرک در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که با افزایش دما تا حد مطلوب سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بعدازآن کاهش یافت، همچنین نتایج نشان داد که با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. دمای پایه برآورد شده توسط هر ۳ مدل در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. دمای مطلوب و دمای سقف با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی کاهش اما تعداد ساعات

منابع

- Acosta, J.M., Bentivegna, D.J., Panigo, E.S., Dellaferrera, I., 2014. Influence of environmental factors on seed germination and emergence of *Iresine diffusa*. Weed Research. 54, 584-592.
- Ahmed, S., Opena, J.L., Chauhan, B.S. 2015. Seed germination ecology of doveweed (*Murdannia nudiflora*) and its implication for management in dry-seeded rice. Weed Science, 63: 491-501.
- Akramghaderi, F., Soltani, A., Sadeghipour, H.R., 2008. Cardinal temperature of germination in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *pepo*. Convar. *pepo* var. *styriaca* Greb.), borago (*Borago officinalis* L.)

- and black cumin (*Nigella sativa* L.). Asian Journal of Plant Science. 2, 101-19.
- 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.
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B., Ghaderi-Far, F., 2016. Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. Seed Science and Technology. 44(3), 1-14.
- Atak, M., Kaya, M D., Kaya, G., Cıkılı, Y., Ciftçi, C.Y., 2006. Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 30, 39-47.
- Bradford, K.J., 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science. 50, 248-260.
- Chauhan, B.S., Gill, G., Preston, C., 2006. Factors affecting seed germination of threehorn bedstraw (*Galium tricornatum*) in Australia. Weed Science. 54, 471-477.
- 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., Craigon, J., 1990. Use of the weibull function to calculate cardinal temperatures in faba bean. Journal of Experimental Botany. 41, 1423-1430.
- Forcella, F., Benech Arnold, R.L., Sanchez, R., 2000. Modelling seedling emergence. Field Crops Research. 67, 123-139.
- 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), 1-9. [In Persian with English Summary].
- 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 hydrotime analysis in seed testing. Seed Technology. 26 (1), 75- 85.
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A., 2011. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds germinate using non-linear regression models. Industrial Crops and Products. 35, 192-198.
- Kaya M.D., Okcu, G., Atak, M., Cıkılı, Y., Kolsarıcı, O., 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy. 24, 291-295.
- Khodabakhshi, A., Kamkar, B., Khalili, N., 2015. Using nonlinear regression models to quantify germination response of annual savory to temperature and water potential. Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture). 17(1), 229-240. [In Persian with English Summary].
- Li, Q., Tan, J, Li, W., Yuan, G., Du, L., Ma, S., Wang, J., 2015. Effects of environmental factors on seed germination and emergence of Japanese brome (*Bromus japonicus*). Weed Science. 63, 641-649.
- Nozari-nejad, M., Zeinali, E., Soltani, A., Soltani, E., Kamkar, B., 2014. Quantify wheat germination rate response to temperature and water potential. Iranian Society of agronomy and Plant Breeding Sciences. 6(4), 117-135. [In Persian with English Summary].
- Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W., Grimm, S.S., 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. Crop Science. 36, 1606-1614.
- Shafii, B., Price, W.J., 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics. 6, 356-366.
- Singh, M., Ramirez, A.H.M., Sharma, S.D., Jhala, A.J., 2012. Factors affecting the germination of tall morningglory (*Ipomoea purpurea*). Weed Science. 60, 1: 64-68.
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., Sarparast, R., 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced

- by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*. 138, 156-167.
- 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].
- Tang, W., Xu, X., Shen, G., and Chen, J., 2015. Effect of environmental factors on germination and emergence of aryloxyphenoxy propanoate herbicide-resistant and -susceptible Asia minor bluegrass (*Polypogon fugax*). *Weed Science*. 63, 669-675.
- Van Assche, J.A., Vandeloek, 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.
- Wang, J., Ferrell, J., MacDonald, G., Sellers, B., 2009. Factors affecting seed germination of Cadillo (*Urena lobata*). *Weed Science*. 57, 31-35.
- Wei, S., Zhang, C., Li, X., Cui, H., Huang, H., Sui, B., Meng, Q., Zhang, H., 2009. Factors affecting Buffalobur (*Solanum rostratum*) seed germination and seedling emergence. *Weed Science*. 57, 521-525.
- Yin, X., Kropff, M.J., McLaren, G., Visperas, R.M., 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 77, 1-16.

Archive of SID