



اثر تنش خشکی و زوال بذر بر دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

نعیمه بیاتیان^۱، سپیده نیکومرام^۲، امید انصاری^{۳*}

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه بیرجند

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه تهران

۳. دانشجوی سابق دکتری رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۰۲

چکیده

این تحقیق به منظور تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی (دمای پایه، مطلوب و بیشینه جوانه‌زنی) بذر گلرنگ رقم صغه تحت شرایط تنش اسمزی (تنش خشکی) و زوال بذر (پیری تسریع شده) به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف پتانسیل اسمزی (صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال)، دماهای مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و زوال بذر (برای مدت‌زمان صفر و ۵ روز) بود. با استفاده از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره جوانه‌زنی بذر گلرنگ در دماها و پتانسیل‌های اسمزی مختلف برای بذرهای زوال یافته و بدون زوال کمی‌سازی شد و درصد و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی به دست آمد و در نهایت با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان‌مانند دماهای کاردینال برای بذرهای بدون زوال و زوال یافته گلرنگ برآورد شدند. نتایج نشان داد که برای بذرهای بدون زوال و زوال یافته؛ دما و پتانسیل اسمزی علاوه بر درصد جوانه‌زنی بر سرعت جوانه‌زنی نیز اثرگذار بود. در مقایسه ۳ مدل استفاده‌شده جهت تعیین دمای کاردینال و با توجه به پارامترهای $SE, R^2, CV, RMSE$ مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال بذر گلرنگ برای بذرهای بدون زوال پتانسیل‌های صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال به ترتیب مدل دندان‌مانند، دوتکه‌ای و دوتکه‌ای بود ولی برای بذرهای زوال یافته گلرنگ در تمامی سطوح پتانسیل اسمزی مناسب‌ترین مدل، مدل دوتکه‌ای بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در بذرهای زوال یافته دامنه دمایی جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ بدون زوال و زوال یافته به سطوح مختلف پتانسیل اسمزی 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 برای بذر گلرنگ پیش‌بینی نمود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، پیری تسریع شده، درصد جوانه‌زنی، مدل‌های رگرسیون غیرخطی

مقدمه

از بیماری‌ها یا تنش‌های محیطی وجود دارد، بنابراین جوانه‌زنی مرحله مهمی در چرخه زندگی گیاهی محسوب می‌شود. بر اساس تعریف، این فرآیند (جوانه‌زنی) با آبنوشی بذر در بذرهای خشک بالغ آغاز و با خروج ریشه‌چه (و یا به‌طور عمومی ناحیه جنین) از ناحیه احاطه‌کننده بذر به اتمام رسیده، سپس رشد گیاهچه ادامه می‌یابد. جوانه‌زنی فرآیند

بیشتر گیاهان گل‌دار از طریق جنسی تولیدمثل و تولید بذر می‌کنند. موفقیت جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه‌های طبیعی تعیین‌کننده تکثیر گونه‌های گیاهی است که از هر دو بعد اقتصادی و بوم‌شناختی اهمیت بسزایی دارد (Nonogaki et al., 2010). از آنجایی که حساسیت بالایی به صدمات ناشی

تجربیات گوناگونی نیاز باشد (Brown and Mayer, 1988). این مدل‌ها ممکن است برای اهداف شخصی استفاده شوند بنابراین توصیف بیولوژیکی پارامترهای این مدل‌ها ممکن است دشوار باشد (Bradford, 2002)؛ بنابراین مدل‌های فرآیندگرا جهت توصیف فرآیند جوانه‌زنی به صورت موفقیت‌آمیزی توسط محققان مختلف استفاده شد (Soltani et al., 2006; Benech-Arnold and Sanchez, 1995; Bradford, 2002).

به طور معمول، بین سرعت جوانه‌زنی (عکس زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد از جوانه‌زنی) و دما تا دمای بهینه برای جوانه‌زنی بذر، رابطه خطی مثبتی وجود دارد (Soltani et al., 2006). مطالعات انجام شده در زمینه گیاهان مختلف نشان داده است که در دماهای بالاتر از دمای بهینه، سرعت جوانه‌زنی به صورت خطی و معمولاً با شیبی بیشتر در مقایسه با شیب خط رگرسیون دماهای کمتر از مطلوب، کاهش می‌یابد. نقطه تلاقی دو خط رگرسیون یاد شده به عنوان دمای بهینه (دمایی که در آن جوانه‌زنی با بیشترین سرعت انجام می‌شود) و محل تلاقی امتداد خط رگرسیون اول و دوم با محور دما به ترتیب دمای پایه و دمای بیشینه یا سقف در نظر گرفته می‌شود (Hardegee, 2006).

دما نه تنها بر درصد جوانه‌زنی بلکه بر سرعت جوانه‌زنی هم اثرگذار است (Bradford, 2002). اثر درجه حرارت بر جوانه‌زنی بر حسب درجه حرارت‌های اصلی یعنی دمای حداقل، مطلوب و حداکثر بیان می‌شوند و جوانه‌زنی در این محدوده حرارتی رخ می‌دهد. دمای مطلوب بر حسب تعریف، دمایی است که در آن بیشترین درصد جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین دوره زمانی انجام می‌شود ولی به طور کلی سرعت جوانه‌زنی بین دماهای پایه و بهینه افزایش می‌یابد، بین دماهای بهینه و بیشینه کاهش می‌یابد و فراتر از دمای بیشینه و کمتر از دمای پایه متوقف می‌شود (Shafii and Price, 2001). پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه می‌تواند راهبرد مناسبی برای مدیریت کشت آن‌ها فراهم سازد (Kamkar et al., 2011). تعدادی از محققین مشخص کرده‌اند که جوانه‌زنی، ظهور گیاهچه و استقرار گونه‌های مختلف می‌توانند با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی پیش‌بینی شوند (Ansari et al., 2018; Jafari et al., 2017). محققین با استفاده از روش‌های مختلف، جوانه‌زنی و سبز شدن را پیش‌بینی می‌کنند. دانستن و پیش‌گویی الگوهای جوانه‌زنی گیاهان در برنامه‌های مدیریتی بسیار سودمند است

پیچیده‌ای است که بذرهای بالغ باید به سرعت از مرحله بلوغ به برنامه‌های نموی مرتبط با جوانه‌زنی و ادامه‌سازی جهت رشد گیاهچه تغییر مسیر دهد (Nonogaki et al., 2010). علاوه بر عوامل محیطی شرایط محیطی نگهداری بذر که تعیین‌کننده مدت‌زمانی است که جوانه‌زنی و قدرت بذر حفظ می‌شود نیز بر جوانه‌زنی اثرگذار است. زوال بذر در طی انبارداری باعث کاهش کیفیت بذر، استقرار گیاهچه و در نهایت عملکرد گیاه در مزرعه می‌شود (Macdonald et al., 1999). قدرت بذر تحت تأثیر پیری و زوال بذر است و در پی آن شاخص‌های جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Kapoor et al., 2011; Seiadat et al., 2012; Rastegar et al., 2010). بذرهای باکیفیت و قدرت بالاتر می‌توانند بهتر سبز شوند و در زمانی که با تنش‌های محیطی مواجه می‌شوند، درصد سبز شدن و سرعت جوانه‌زنی بالاتری دارند و در نهایت گیاهچه‌های قوی‌تری تولید می‌کنند (Macdonald et al., 2004). آزمون برای سنجش بنیه بذر، آزمون پیری تسریع شده است که این آزمون در ابتدا به عنوان آزمونی برای تعیین طول عمر بذر استفاده می‌شد ولی بعداً به عنوان شاخصی برای تعیین قدرت بذر استفاده گردید (McDonald, 1999). به طور کلی با افزایش طول مدت نگهداری در انبار، درصد جوانه‌زنی و قوه نامیه بذر کاهش می‌یابد (Ansari and Sharif Zadeh, 2012). پروسه‌ی زوال بذر می‌تواند به وسیله انبارداری، تست ویگور بذر و پیری تسریع شده بررسی شود (Deluche and Baskin, 1973). در این راستا؛ سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2008) در مطالعه‌ای بر روی گندم نشان دادند که تیمارهای فرسودگی بذر به طور معنی‌داری سرعت جوانه‌زنی بذر را کاهش خواهد داد و در ادامه بیان داشتند که میزان استفاده از ذخایر بذر در اثر فرسودگی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. بلوچی و همکاران (Balouchi et al., 2015) در مطالعه‌ای روی سه رقم گلرنگ تحت تنش فرسودگی بذر نشان دادند که بین ارقام از نظر پاسخ به تنش فرسودگی اختلاف معنی‌داری وجود داشت و در هر سه رقم مورد مطالعه با افزایش شدت تنش فرسودگی شاخص‌های جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافتند.

امروزه از مدل‌های تجربی و فرآیندگرا (مکانیستی) جهت مدل کردن جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف استفاده می‌شود، مدل‌های تجربی ترکیبی از سطوح تجربه شخصی می‌باشند که بر اساس تجربیات گوناگون شخصی برای جوانه‌زنی در برابر زمان به دست می‌آیند و در این مدل‌ها ممکن است به

یافت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد. برای اعمال پیری؛ بذرها به مدت صفر و ۵ روز در جعبه‌های پلاستیکی با رطوبت نسبی ۹۰-۱۰۰ درصد منتقل شدند و بعد از زمان‌های تعیین‌شده بذرها از جعبه‌ها خارج شدند و تست جوانه‌زنی بر روی بذرها انجام شد.

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 در آن 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 محاسبه‌شده توسط تابع‌های سیگموئیدی بر اساس جوانه‌زنی نهایی است؛ استفاده از این پارامتر جهت محاسبه سرعت 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 (Soltani et al., 2006; Ansari et al., 2016). برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی از مدل‌های دو تکه‌ای (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 توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به دست آمد. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس اشتباه آزمایشی کمتر پارامترها و جذر میانگین مربعات انحراف 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 استفاده‌شده در این پژوهش به‌جای استفاده از تجزیه واریانس داده‌ها از خطای استاندارد محاسبه‌شده توسط مدل استفاده شد (Ansari et al., 2016).

(Bradford, 2002). توانایی پیش‌گویی جوانه‌زنی می‌تواند در تعیین زمان مطلوب عملیات کشت و کنترل علف‌های هرز مؤثر باشد، بنابراین انتخاب مدل مناسب برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی نسبت به دما و رطوبت دارای اهمیت است (Haidari et al., 2014; Ansari et al., 2016). استادیان بیدگلی و همکاران (Ostadian Bidgoli et al., 2018) در مطالعه‌ای روی گلرنگ به بررسی تعیین دماهای کاردینال گلرنگ تحت شرایط تنش اسمزی پرداختند که در این مطالعه دمای پایه، مطلوب و سقف برای گلرنگ به ترتیب ۳۹/۳، ۳/۹ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد.

دانه‌روغنی گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius* از گیاهان بومی ایران بوده و از دیرباز کشت اکوتیپ‌های بومی آن به‌ویژه در حاشیه مزارع و با هدف‌های مختلف مانند پرچین مزارع، کاربرد گلبرگ‌های رنگی به‌عنوان رنگ غذا، کاربرد دارویی و حتی استفاده از روغن و سایر قسمت‌های دانه رواج داشته است. گلرنگ به‌عنوان یک گیاه بومی کشور ایران تحمل نسبتاً بالایی به خشکی دارد (Shir esmaeili et al., 2017; Tayebi et al., 2012).

از آنجایی که گیاهان روغنی نسبت به زوال بذر حساس می‌باشند و زوال بذر بر قدرت بذر اثرگذار است این تحقیق به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش اسمزی و زوال بذر بر تغییرات دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گلرنگ اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه بذر پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران-کرج به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش اسمزی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰ و زوال بذر بر تغییرات دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گلرنگ رقم صغه (تهیه‌شده از مرکز تحقیقات اصفهان، طبقه بذری گواهی‌شده) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل‌های صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال و زوال بذر برای مدت‌زمان‌های صفر و ۵ روز بود. بذرها در ۳ تکرار ۵۰ بذری در دماها و پتانسیل‌های اسمزی موردنظر قرار گرفتند. شمارش بذرها از جوانه‌زده هر ۱۲ ساعت یک‌بار انجام و تعداد بذرها از جوانه‌زده ثبت شد. شمارش و ثبت بذرها از جوانه‌زده تا ثابت شدن جوانه‌زنی ادامه

جدول ۱. معادلات مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا که برازش داده شده به سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ در دماهای مختلف.

Table 1. Segmented, dent-like and beta models that were fitted to germination rate data for determining cardinal temperatures for *Carthamus tinctorius* L. seeds.

Function	معادله	Formula	فرمول
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 $T \geq T_c$	
دو تکه‌ای (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) (Soltani et al., 2006)		$f(T) = ((T_c - T) / (T_c - T_o)) * ((T - T_b) / (T_o - T_b))^{(T_o - T_b) / (T_c - T_o)}$	

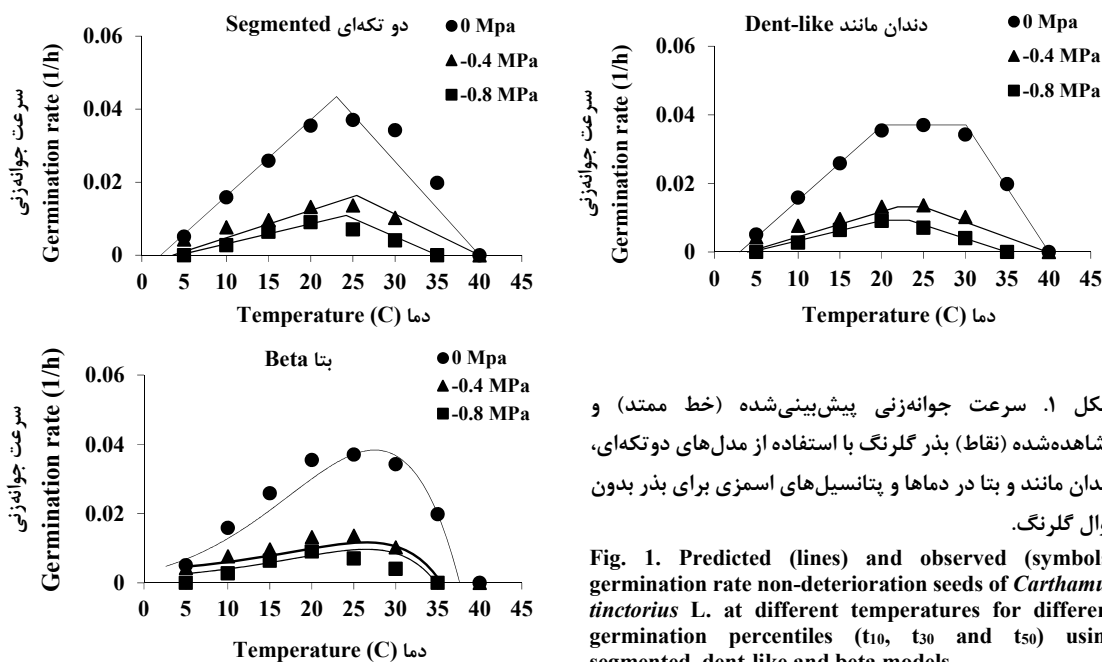
T_b دمای پایه، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی، T_o دمای مطلوب، T_c دمای بیشینه، f_0 و a ضریب ثابت و T دما (دمای مورد آزمایش) است.

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

کاهش یافت (نتایج نشان داده نشد)، همچنین نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش اسمزی مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد نهایی جوانه‌زنی به طور معنی‌داری افزایش یافت به عبارت دیگر سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (شکل ۱ و ۲).

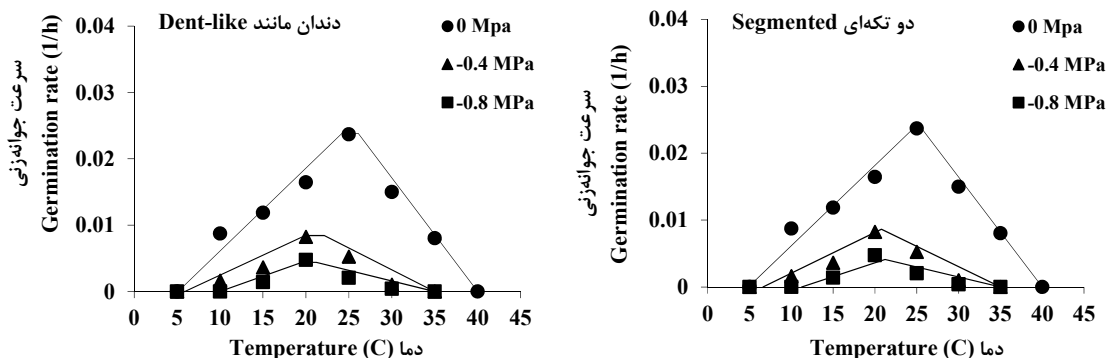
نتایج و بحث

نتایج نشان داد که در دماهای مورد آزمایش در بذره‌های بدون زوال و بذره‌های زوال یافته به مدت ۵ روز با منفی شدن پتانسیل اسمزی آب درصد جوانه‌زنی به طور معنی‌داری



شکل ۱. سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی شده (خط ممتد) و مشاهده شده (نقاط) بذر گلرنگ با استفاده از مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا در دماها و پتانسیل‌های اسمزی برای بذر بدون زوال گلرنگ.

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



شکل ۲. سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده (خط ممتد) و مشاهده‌شده (نقاط) بذر گلرنگ با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در دماها و پتانسیل‌های اسمزی برای بذر زوال یافته گلرنگ.

Fig. 2. Predicted (lines) and observed (symbols) germination rate deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L. at different temperatures for different germination percentiles (t_{10} , t_{30} and t_{50}) using segmented and dent-like models

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که بذر گلرنگ 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 گلرنگ (Jafari et al., 2017) *Bromus japonicas*، (Li et al., 2015) *Urena* و (Ansari et al., 2016) *Malva sylvestris* و (Wang et al., 2009) *lobate* در دامنه وسیعی از دماها اتفاق می‌افتد.

نتایج استادیان (Ansari et al., 2016; Tang et al., 2015) و بیدگلی و همکاران (Ostadian Bidgoly et al., 2017) روی گیاه گلرنگ نشان دادند که تنش خشکی در دماهای مختلف سبب کاهش در شاخص‌های جوانه‌زنی گلرنگ شد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. دماهای پایه، مطلوب و دمایی سقف با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی؛ دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا برای پتانسیل‌های اسمزی صفر، -0.4 و -0.8 مگاپاسکال و بذرهای بدون زوال و زوال یافته گلرنگ برآورد شد (جدول ۲ و ۳). 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 انصاری و همکاران (Ansari et al., 2016) برای برآورد D50 از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره استفاده کردند. شفیعی و پرایس (Shafii and Price, 2001) از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره جهت برآورد D50 استفاده نمودند. دومر و همکاران (Dumur et al., 1990) و درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2013) از مدل ویبول برای محاسبه D50 و درنهایت سرعت جوانه‌زنی استفاده نمودند.

نتایج نشان داد که برای بذرهای بدون زوال؛ تحت شرایط پتانسیل صفر، -0.4 و -0.8 مگاپاسکال، دمایی پایه تعیین شده با استفاده از مدل دوتکه‌ای به ترتیب 2.23 ، 3.67 و 4.33 درجه سانتی‌گراد، با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب 3 ، 3.96 و 4.33 درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که بذر گلرنگ 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 گلرنگ (Jafari et al., 2017) *Bromus japonicas*، (Li et al., 2015) *Urena* و (Ansari et al., 2016) *Malva sylvestris* و (Wang et al., 2009) *lobate* در دامنه وسیعی از دماها اتفاق می‌افتد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که بذر بدون زوال گلرنگ قادر به جوانه‌زنی تحت شرایط پتانسیل‌های اسمزی صفر و -0.4 مگاپاسکال و در تمامی دماها به جز دماهای 40 درجه سانتی‌گراد است و در پتانسیل -0.8 مگاپاسکال در دمای 35 درجه سانتی‌گراد قادر به جوانه‌زنی نبود. ولی بذرهای زوال یافته در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب قادر به جوانه‌زنی در دماهای 5 و 35 درجه سانتی‌گراد نبود به عبارت دیگر بذرهای زوال یافته در دامنه محدودتری از دماها قادر به جوانه‌زنی بود، اما به‌طور کلی در تمامی دماها سرعت جوانه‌زنی با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی کاهش یافت (شکل ۱ و ۲). مشابه نتایج به‌دست‌آمده برای بذر گلرنگ، برای دیگر گونه‌های گیاهی کاهش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در نتیجه منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی نیز گزارش شده است (Singh et al., 2012;)

۲۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد، دمای سقف با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۴۰، ۳۵ و ۳۵ با استفاده از مدل دندان مانند ۴۰، ۳۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد، تعداد ساعات بیولوژیکی با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۴۱/۰۱، ۴۱/۶۹، ۱۱۵/۳۸، ۲۴۳/۳۸ ساعت، با استفاده از مدل دندان مانند ۴۱/۹۸، ۱۱۸/۴۸ و ۲۲۷/۸۹ ساعت برآورد شد. قابل‌ذکر است که مدل بتا برای بذره‌های زوال یافته پیش‌بینی برای دماها کاردینال انجام نداد.

جهت بررسی دقت مدل‌های استفاده‌شده 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 به‌صورت جداگانه محاسبه شدند که RMSE و CV پائین و R^2 بالا نشان‌دهنده دقت بالاتر در مدل بود (جدول ۲ و ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مناسب‌ترین مدل برای بذره‌های بدون زوال گلرنگ و تحت شرایط تنش اسمزی صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال به‌ترتیب مدل دندان مانند، دوتکه‌ای و دوتکه‌ای بود (جدول ۲). مناسب‌ترین مدل برای بذره‌های بدون زوال گلرنگ و تحت شرایط تنش اسمزی صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال مدل دوتکه‌ای بود (جدول ۳).

به‌ترتیب ۲/۲۸، ۱/۲۸- و ۱/۲۲- درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۲۳/۰۵، ۲۵/۴۴ و ۲۴/۱۹ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا ۲۸/۸۹، ۲۸/۹۹ و ۲۶/۴۶ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند، ۲۱/۱۲، ۲۱/۹۲، ۲۰/۱۶ و ۳۰/۰۷، ۲۵ و ۲۳/۲۷ درجه سانتی‌گراد، دمای سقف با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۴۰، ۴۰ و ۳۵ با استفاده از مدل دندان مانند ۴۰، ۳۹/۸۳ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا ۴۰، ۳۵ و ۳۴/۸۲ درجه سانتی‌گراد، تعداد ساعات بیولوژیکی با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۲۳/۰۲، ۲۳/۵۱، ۶۹/۱۷، ۸۴/۱۷ ساعت، با استفاده از مدل دندان مانند ۲۷، ۷۵/۹۹ و ۸۳/۸۷ ساعت و با استفاده از مدل بتا ۲۶/۰۹، ۷۵/۰۹ و ۱۰۳/۴۱ ساعت برآورد شد. برای بذره‌های زوال یافته؛ تحت شرایط پتانسیل صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال، دمای پایه تعیین‌شده با استفاده از مدل دوتکه‌ای به‌ترتیب ۴/۸۸، ۶/۶۱ و ۱۱/۲۴ درجه سانتی‌گراد، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب ۵/۱، ۵/۸۸ و ۱۱/۳۳ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۲۵/۱۷، ۲۵/۷۸ و ۲۰/۲ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند، ۲۴/۱۷، ۱۹/۹۲، ۲۱/۲ و ۲۲/۱۴، ۲۶/۱۱ و ۲۲/۱۴ و

جدول ۲. برآورد دمای پایه (Tb)، دمای مطلوب (To)، دمای مطلوب تحتانی (To1)، دمای مطلوب فوقانی (To2)، دمای بیشینه (Tc)، تعداد ساعات بیولوژیکی (fo)، عرض از مبدأ (a) و شیب خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای بذره‌های بدون زوال گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Table 2. Estimated parameters for the non-linear regression models for non-deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L. Tb, To, Tm, To1, To2, fo, 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.

مدل Model	دوتکه‌ای Segmented			دندان مانند Dent-like			بتا Beta		
	0	-0.4	-0.8	0	-0.4	-0.8	0	-0.4	-0.8
ضرایب Parameter									
t_b	2.23(0.4)	3.67(0.1)	4.33(0.8)	3(0.26)	3.9(1.09)	4.3(0.8)	-2.3(1.3)	-1.3(1.3)	-1.22(1.4)
t_o	23.05(0.53)	25.44(0.59)	24.19(0.65)	-	-	-	28.9(0.3)	29.0(5.3)	26.46(0.7)
t_{o1}	-	-	-	20.1(1.9)	21.9(4.4)	20.2(7.3)	-	-	-
t_{o2}	-	-	-	30.1(0.5)	25(5.32)	23.3(3.5)	-	-	-
t_m	40(0.3)	40(0.53)	35(0.41)	40(0.3)	39.8(5.4)	35(0.51)	37.6(0.1)	35.0(3.1)	34.8(0.7)
f_o	23.0(0.9)	69.5(2.8)	84.2(3.1)	27(1.6)	76.0(10.4)	83.9(9.4)	26.1(0.4)	75.1(4.2)	103(25.1)
a	0.98	0.98	1.25	0.99	0.98	0.98	1.001	0.99	1.01
b	0.0004	0.0001	0.00009	0.0002	0.0002	0.0004	0.00003	0.0001	0.001
R^2	0.98	0.98	0.96	0.99	0.98	0.99	0.99	0.96	0.82
RMSE	0.002	0.0006	0.0007	0.0007	0.002	0.01	0.001	0.002	0.001
CV%	10.13	7.52	16.76	3.96	23.91	29.65	7.33	23.91	28.09

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 بذرهای زوال یافته گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Table 3. Estimated parameters for the non-linear regression models for deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L. 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.

مدل	دوتکه‌ای			دندان مانند			بتا		
Model	Segmented			Dent-like			Beta		
ضرایب	0	-0.4	-0.8	0	-0.4	-0.8	0	-0.4	-0.8
Parameter									
t_b	4.88(0.11)	6.61(0.21)	11.24(0.20)	5.1(0.85)	5.88(0.15)	11.33(0.65)	-	-	-
t_o	25.17(1.24)	20.78(1.7)	20.2(0.32)	-	-	-	-	-	-
t_{o1}	-	-	-	24.17(2.52)	19.92(3.54)	21.2(1.23)	-	-	-
t_{o2}	-	-	-	26.11(2.54)	22.14(2.54)	21.21(2.85)	-	-	-
t_m	40.0(0.3)	35.0(0.53)	35(0.41)	40.0(0.35)	35.0(5.43)	35(0.51)	-	-	-
f_o	41.01(0.87)	115.69(3.94)	243.38(5.75)	41.98(1.59)	118.48(9.14)	227.89(7.65)	-	-	-
a	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.98	-	-	-
b	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0004	0.0003	-	-	-
R^2	0.97	0.98	0.98	0.95	0.92	0.90	-	-	-
RMSE	0.001	0.0003	0.0005	0.0009	0.0007	0.006	-	-	-
CV%	7.43	9.07	8.46	12.98	16.47	21.55	-	-	-

بود و دمای پایه در بذرهای زوال یافته نسبت به بذرهای بدون زوال بیشتر بود، تفاوت بین دمای پایه در بذرهای بدون زوال و زوال یافته در پتانسیل $0/8$ - مگاپاسکال بیشتر بود به طوری که در این سطح تنش اسمزی دمای پایه از $4/33$ درجه سانتی‌گراد برای بذرهای بدون زوال به $11/24$ درجه سانتی‌گراد در بذرهای زوال یافته تغییر یافت (جدول ۴).

نتایج نشان داد که برای بذرهای بدون زوال و زوال یافته گلرنگ در تمامی مدل‌ها با افزایش در سطوح تنش اسمزی دمای پایه با توجه به خطای استاندارد تعیین شده توسط مدل تحت تأثیر قرار گرفت و با هم اختلاف معنی‌داری داشتند، در بذرهای بدون زوال و زوال یافته دمای پایه با افزایش پتانسیل اسمزی روند افزایشی را نشان داد (جدول ۴). در ادامه نتایج نشان داد که زوال بذر به طور معنی‌داری بر دمای پایه اثرگذار

جدول ۴. اثر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی بر دمای پایه بذر گلرنگ. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Table 4. Effect of different osmotic potentials on base temperatures of *Carthamus tinctorius* L. Numbers in parentheses represent standard error of the mean.

پتانسیل اسمزی	زوال بذر	مدل		
		دوتکه‌ای	دندان مانند	بتا
Osmotic potential (MPa)	Aged seed (Day)	Segmented	Dent-like	Beta
0	0	2.23(0.44)	3.0(0.26)	-2.28(1.34)
	5	4.88(0.11)	5.1(0.85)	-
-0.4	0	3.67(0.11)	3.96(1.09)	-1.28(1.32)
	5	6.61(0.21)	5.88(0.15)	-
-0.8	0	4.33(0.81)	4.33(0.87)	-1.22(1.44)
	5	11.24(0.20)	11.33(0.65)	-

استفاده شده در برابر پتانسیل آب قرار گرفتند و نمودار مربوط به هرکدام جهت بررسی روند تغییرات برای بذرهای بدون زوال و زوال یافته رسم شد که در شکل‌های ۳ الی ۸

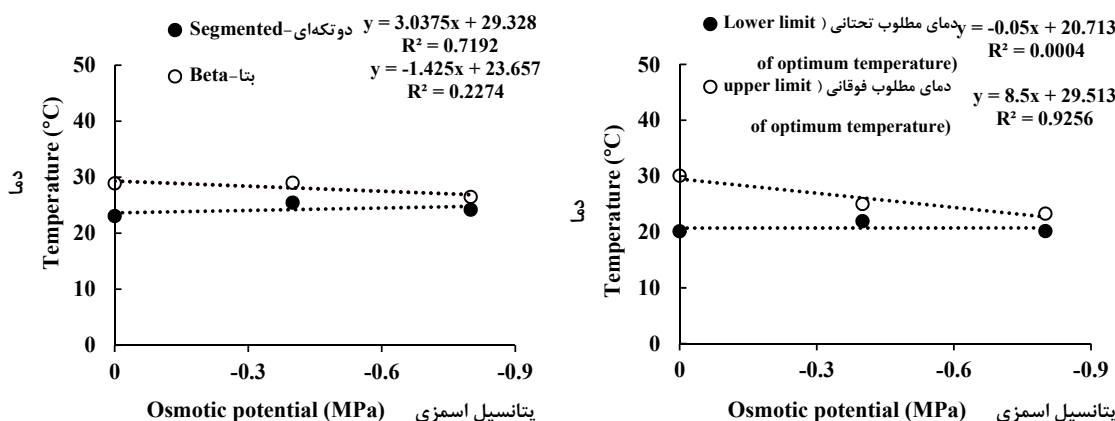
جهت نشان دادن روند تغییرات پارامترهای برآورد شده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در پتانسیل‌های اسمزی مختلف، پارامترهای تعیین شده توسط مدل‌های

جوانه‌زنی اثرگذار بود. همچنین نتایج نشان داد که مدل دندان مانند نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار بود، به‌طورکلی نتایج ایشان نشان داد زوال بذر بر روی دماهای کاردینال بذر گندم اثرگذار نبود.

جعفری و همکاران (Jafari et al., 2017) در مطالعه‌ای بر روی گلرنگ رقم گلدشت بیان داشتند که جهت برآورد دمای کاردینال بذر گلرنگ مناسب‌ترین مدل دوتکه‌ای و درجه ۲ بود.

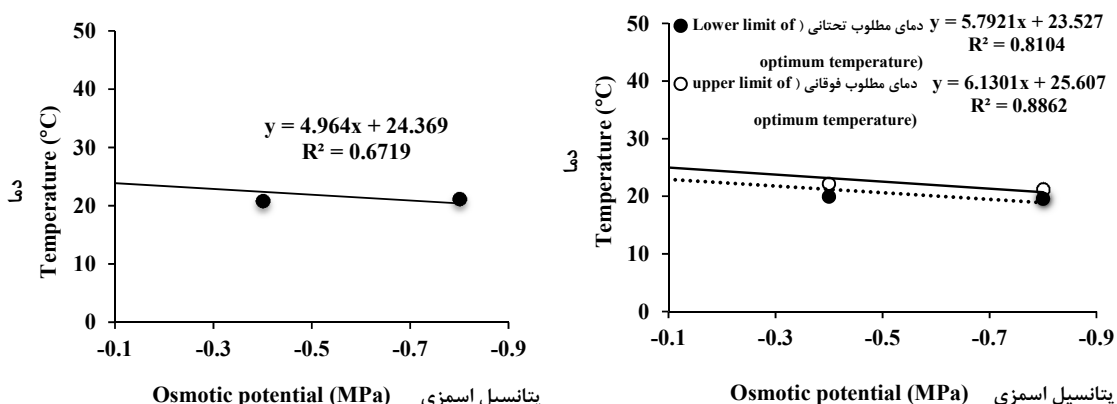
قابل‌مشاهده است. نتایج نشان داد که دمای مطلوب و دمای مطلوب تحتانی و فوقانی و دمای سقف در بذرهای بدون زوال و زوال یافته با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی کاهش یافت، اما با افزایش شدت تنش اسمزی تعداد ساعات بیولوژیکی افزایش یافت.

سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2008) در مطالعه‌ای روی گندم نشان دادند که زوال بذر، دما و اثر متقابل زوال و دما به‌طور معنی‌داری بر سرعت و درصد



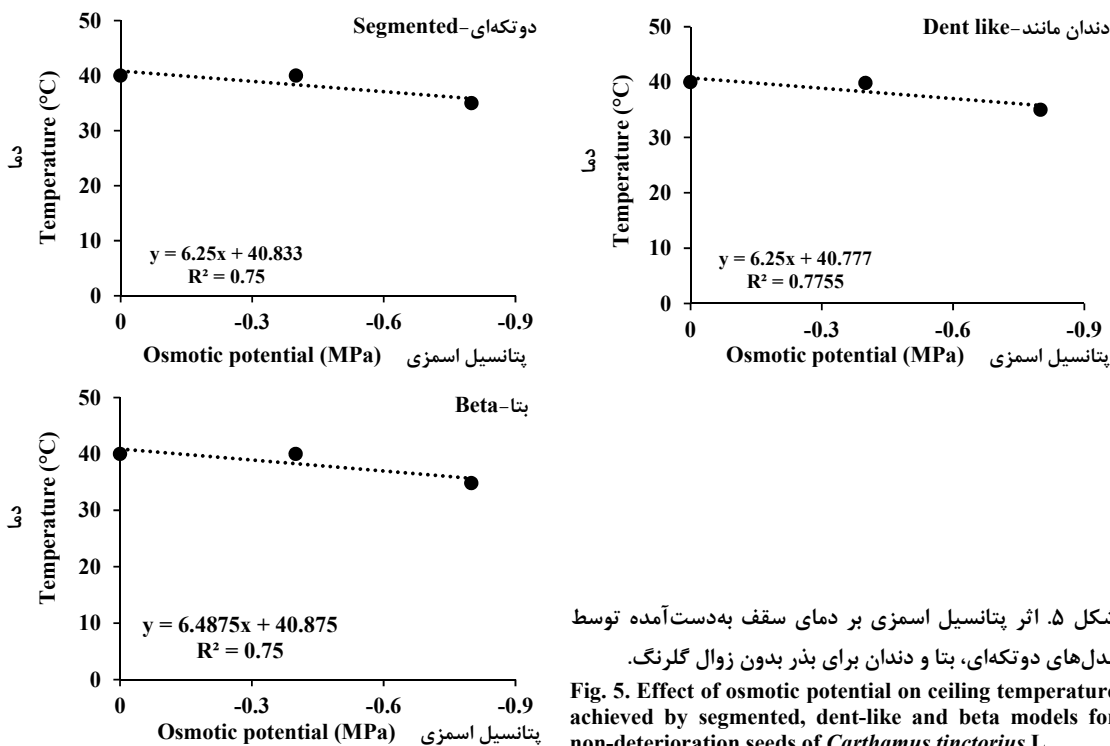
شکل ۳. اثر پتانسیل اسمزی بر دمای مطلوب، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به‌دست‌آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر بدون زوال گلرنگ.

Fig. 3. 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 non-deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L.



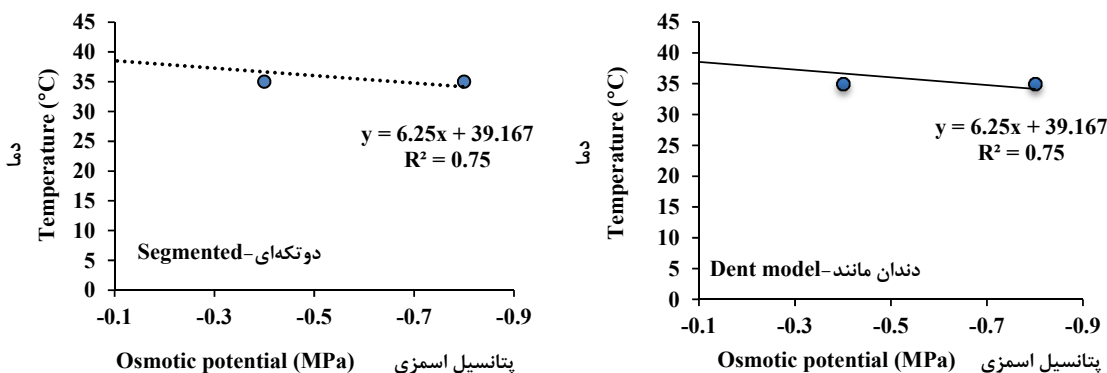
شکل ۴. اثر پتانسیل اسمزی بر دمای مطلوب، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به‌دست‌آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر زوال یافته زوال گلرنگ.

Fig. 4. 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 deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L.



شکل ۵. اثر پتانسیل اسمزی بر دمای سقف به دست آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر بدون زوال گلرنگ.

Fig. 5. Effect of osmotic potential on ceiling temperature achieved by segmented, dent-like and beta models for non-deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L.



شکل ۶. اثر پتانسیل اسمزی بر دمای سقف به دست آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر زوال یافته گلرنگ.

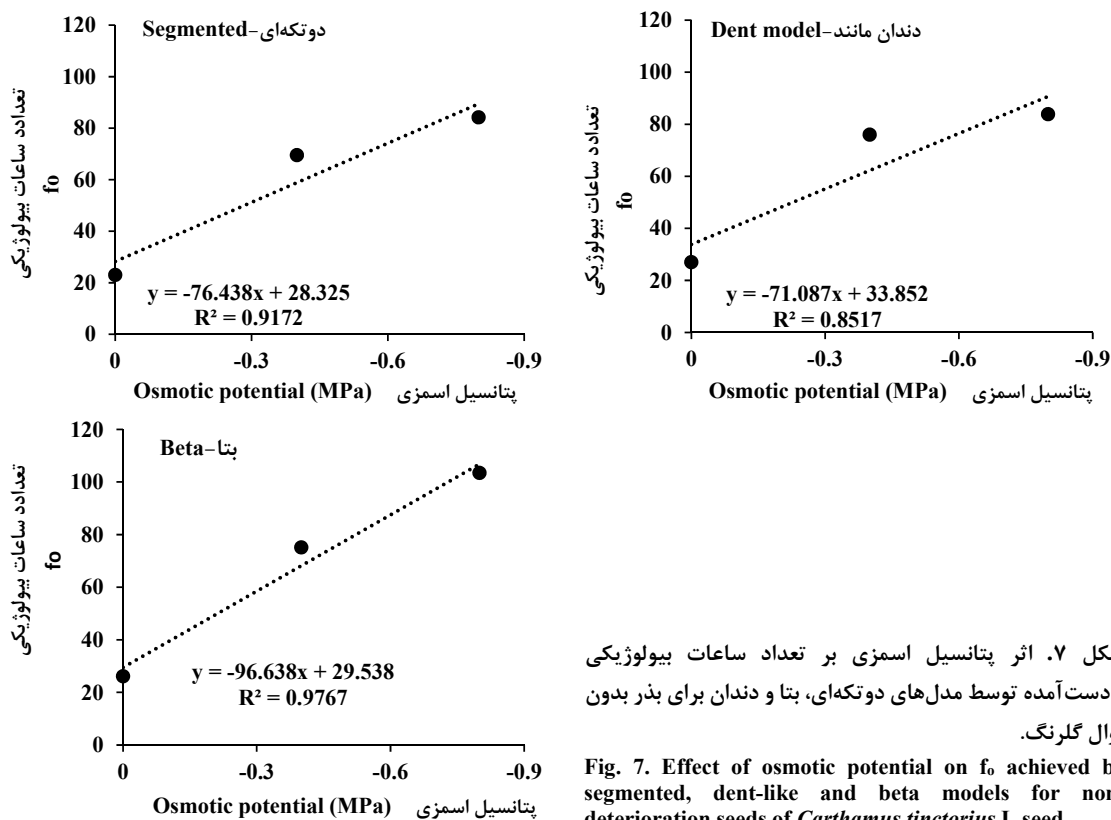
Fig. 6. Effect of osmotic potential on ceiling temperature achieved by segmented, dent-like and beta models for deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L.

کاهش یافت در ادامه بیان داشتند که تنش خشکی به طور معنی داری بر سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف اثرگذار بود. در مطالعه‌ای دیگر روی گلرنگ استادیان بیدگلی و همکاران (Ostadian Bidgoli et al., 2018) بیان داشتند که دمای پایه، مطلوب و سقف برای گلرنگ به ترتیب ۳/۹، ۳۹/۳ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. بلوچی و همکاران (Balouchi et al., 2015) در مطالعه‌ای روی گلرنگ نشان دادند زوال بذر به طور معنی داری

بر این اساس دماهای کاردینال شامل دمای پایه بین ۲/۲ تا ۴/۲ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب بین ۲۳/۱۵ و ۲۳/۹۸ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف بین ۴۲/۲ تا ۴۳/۸۹ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. استادیان بیدگلی و همکاران (Ostadian Bidgoli et al., 2017) در مطالعه‌ای روی بذر گلرنگ رقم صغه نشان دادند که سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ با افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و بعدازآن

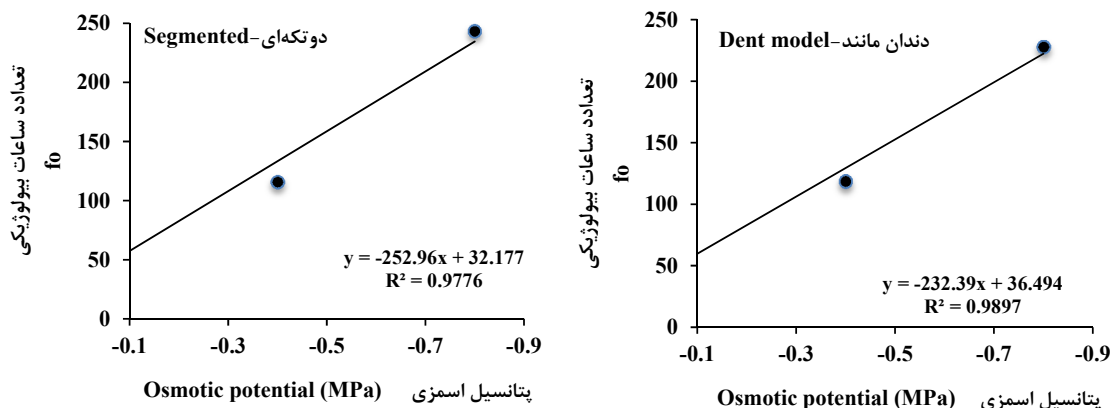
انصاری و همکاران (Ansari et al., 2018) با استفاده از مدل‌های بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای پاسخ جوانه‌زنی بذر پنیرک را به دما و پتانسیل اسمزی کمی‌سازی نمودند و اظهار داشتند که در پتانسیل‌های اسمزی مثبت‌تر مدل دندان مانند و در پتانسیل‌های منفی‌تر مدل دوتکه‌ای برآورد مناسب‌تری جهت تعیین دماهای کاردینال بذر پنیرک داشت. نوذری‌نژاد و همکاران (Nozari-nejad et al., 2014) 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 خدابخشی و همکاران (Khodabakhshi et al., 2015) واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه نسبت به دما و پتانسیل آب را با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی کمی‌سازی نمودند.

روی شاخص‌های جوانه‌زنی از قبیل درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه و سایر صفات جوانه‌زنی گلرنگ اثرگذار بود به‌طوری‌که با افزایش فرسودگی بذر شاخص‌های جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. به‌طورکلی، نتایج بر روی گیاهان مختلف نشان داده است که پیری بذر سبب کاهش در شاخص‌های جوانه‌زنی می‌شود (Ansari and Sharif, 2010; Zadeh, 2012; Mohsen Naseb et al., 2010). در سرعت جوانه‌زنی احتمالاً به دلیل وقفه‌ای است که در شروع فرآیند جوانه‌زنی در بذرهای پیر شده ایجاد می‌شود. علت وقفه ایجادشده احتمالاً این است که بذرهای پیر برای تعمیر خسارت‌های واردشده به غشاء و دیگر قسمت‌های سلول و همچنین آغاز مجدد فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانسی و جلوگیری از بروز تنش اکسیداتیو نیاز به زمان دارد و تعمیر این خسارت‌ها ممکن است پس از جذب آب توسط بذر امکان‌پذیر شود؛ بنابراین مدت‌زمان لازم برای تکمیل فرآیند جوانه‌زنی در بذرهای پیر شده در مقایسه با بذرهای پیر نشده افزایش می‌یابد که نتیجه آن کاهش شاخص جوانه‌زنی است (Bailly et al., 2000).



شکل ۷. اثر پتانسیل اسمزی بر تعداد ساعات بیولوژیکی به‌دست آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر بدون زوال گلرنگ.

Fig. 7. Effect of osmotic potential on f_0 achieved by segmented, dent-like and beta models for non-deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L. seed



شکل ۸. اثر پتانسیل اسمزی بر تعداد ساعات بیولوژیکی به دست آمده توسط مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان برای بذر زوال یافته گلرنگ.
 Fig. 8. Effect of osmotic potential on f_0 achieved by segmented, dent-like and beta models for deterioration seeds of *Carthamus tinctorius* L.

پارامترهای RMSE، CV، R2، SE مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال بذر گلرنگ برای بذرهای بدون زوال پتانسیل‌های صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال به ترتیب مدل دندان مانند، دوتکه‌ای و دوتکه‌ای بود ولی برای بذرهای زوال یافته گلرنگ در تمامی سطوح پتانسیل اسمزی مناسب‌ترین مدل، مدل دوتکه‌ای بود. نتایج به دست آمده نشان داد که در بذرهای زوال یافته دامنه دمایی جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ بدون زوال و زوال یافته به سطوح مختلف پتانسیل اسمزی 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 برای بذر گلرنگ پیش‌بینی نمود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که بذرهای بدون زوال گلرنگ با افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بعدازآن کاهش یافت ولی برای بذرهای زوال یافته تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و بعدازآن کاهش یافت، همچنین نتایج نشان داد که با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. دمای مطلوب و دمای سقف با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی کاهش اما تعداد ساعات بیولوژیکی (حداقل زمان لازم برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب) افزایش یافت. به‌طورکلی نتایج نشان داد که محدوده جوانه‌زنی برای بذرهای گلرنگ با منفی‌تر شدن پتانسیل آب و زوال بذر کمتر شد. در مقایسه ۳ مدل استفاده‌شده جهت تعیین دمای کاردینال و با توجه به

منابع

- Ansari, O., Sharif Zadeh, F., 2012. Slow moisture content reduction (SMCR) can improve some seed germination indexes in primed seeds of Mountain Rye (*Secale montanum*) under accelerated aging conditions. Journal of Seed Science and Technology. 2, 68-76. [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, 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, 1-14.
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B., Ghaderi-Far, F., 2018. Effect of osmotic potential on germination cardinal temperatures of tall mallow (*Malva sylvestris* L.). Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 11, 341-352. [In Persian with English Summary].

- Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F., Come, D., 2000. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. *Seed Science Research*. 10, 35–42.
- Balouchi, H.R., Kayednezami, R., Bagheri, F., 2015. Effect of seed deterioration stress on germination and seedling growth indices in three cultivars of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Productions*. 38, 27-40. [In Persian with English Summary].
- Bradford, K.J., 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*. 50, 248-260.
- Brown, R.F., Mayer, G.G., 1988. Representing cumulative germination. The use of the Weibull function and other empirically derived curves. *Annals of Botany*. 6, 127-138.
- Deluche, J.C., Baskin, C.C., 1973. Accelerated ageing techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*. 1, 427-452.
- 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.
- Hardegree, S.T., 2006. Predicting Germination Response to Temperature. I. Cardinal-temperature Models and Subpopulation-specific Regression. *Annals of Botany*. 97, 1115-1125.
- Jafari, B., Mohsenabadi, Gh., Sabouri, A., 2018. Estimation of cardinal temperatures and determination of the effects of temperature and osmotic potential on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germination. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11, 1073-1087. [In Persian with English Summary].
- 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 nonlinear regression models. *Industrial Crops and Products*. 35, 192-198.
- Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M.A., Amir, A., Kumar, H., 2010. Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated aging. *Asian Journal of Plant Science*. 9, 158-162.
- 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, 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.
- Macdonald, C.M., Floyd, C.D., Waniska, R.D., 2004. Effect of accelerated aging on maize, Sorghum and sorghum. *Journal of Cereal Science*. 39, 351- 301.
- McDonald, M.B., 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*. 27, 177-237.
- Mohsen Naseb, F., Sharafi Zadeh, M., Seiadat, A., 2010. Study the effect of aging acceleration test on germination and seedling growth of cultivars of wheat in vitro conditions. *Journal of crop plant and physiology*. 2, 59- 70. [In Persian with English Summary].
- Nonogaki, H., Bassel G.W., Bewley J.D., 2010. Germination still a mystery. *Plant Science*. 179, 574–81.
- 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, 117-135. [In Persian with English Summary].
- Ostadian Bidgoli, R., Balouchi, H.R., Soltani, E., Moradi, A., 2017. Effects of temperature and water potential on seed germination characteristics in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Sofeh var. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*. 6, 11-22. [In Persian with English Summary].
- Ostadian Bidgoli, R., Balouchi, H.R., Soltani, E., Moradi, A., 2018. Effect of temperature and water potential on *Carthamustinctorius* L. seed germination: Quantification of the cardinal temperatures and modeling using hydrothermal time. *Industrial Crops and Products*. 113, 121-127.

- 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.
- Rastegar, Z., Sedghi M., Khomari, S., 2011. Effects of accelerated aging on soybean seed germination indexes at laboratory conditions. *Not Science Biology*. 3, 126-129.
- Seiadat, S.A., Moosavi, A., Sharafizadeh, M., 2012. Effect of seed priming on antioxidant activity and germination characteristics of Maize seeds under different aging treatments. *Research Journal of Seed Science*. 5, 51-62.
- Shafii, B., Price, W.J., 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*. 6, 356–366.
- Shir esmaeili, Gh., Maghsoudi mood, A.A., Khajouei nezhad, Gh., Abdolshahi, R., 2017. Effect of irrigation cut treatment on yield and yield components of ten safflower cultivars in spring and summer crops. *Applied Research in Field Crops*. 30, 1-17. [In Persian with English Summary].
- 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, 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.
- Soltani, E., Galeshi, S., Kamkar, B., Akramghaderi, F., 2008. Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Science and Biotechnology*. 2, 32-36.
- Soltani, E., Kamkar, B., Galeshi, S., Akram Ghaderi, F., 2008. The effect of seed deterioration on seed reserves depletion and heterotrophic seedling growth of wheat. *Journal of Agricultural and Science Research*. 15, 193-196.
- Tang, W., Xu, X., Shen, G., Chen, J., 2015. Effect of environmental factors on germination and emergence of aryloxyphenoxy propanoate herbicide-resistant and -susceptible Aia minor bluegrass (*Polypogon fugax*). *Weed Science*. 63, 669-675.
- Tayebi, A. Afshari, H. Farahvash, F., Masood Sinki, J., 2012. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. *Iranian Journal of Plant Physiology*. 2, 445-453. [In Persian with English Summary].
- 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.