



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال پنجم / شماره سوم / ۱۳۹۷ (۱۴۲ - ۱۳۱)

DOI: 10.22124/jms.2018.2940

آیا کیفیت بذر بر آستانه‌های گرمایی جوانه‌زنی تأثیرگذار است؟ مطالعه موردی: بذر خودمصرفی گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم چمران

ابولفضل درخشان^۱، سید امیر موسوی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

چکیده

مدل‌های مبتنی بر مفهوم زمان گرمایی ابزار مفیدی برای توصیف جوانه‌زنی در رابطه با زمان و دما هستند. این مطالعه با هدف تعیین اثر کیفیت بذر بر آستانه‌های گرمایی جوانه‌زنی توده‌های بذری گندم از مشاء اولیه رقم چمران انجام شد. برای این منظور، جوانه‌زنی ۱۶ توده بذری با استفاده از مدل‌های زمان گرمایی مبتنی بر توزیع‌های نرمال و لوگ‌نرمال برحسب دو رویکرد متفاوت ارزیابی شد. در رویکرد نخست، دمای پایه (T_b) کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و تنوع زمان جوانه‌زنی میان بذرها به تنوع زمان گرمایی (θ_T) مورد نیاز برای جوانه‌زنی هر کسر معین نسبت داده شد. در رویکرد دوم، θ_T مورد نیاز برای جوانه‌زنی کل جمعیت ثابت فرض شد و تنوع زمان جوانه‌زنی میان بذرها به تنوع T_b آنها نسبت داده شد. شاخص‌های ارزیابی نکویی برازش نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل‌های زمان گرمایی در رویکرد نخست بیشتر از رویکرد دوم بود. برحسب رویکرد نخست، توزیع لوگ‌نرمال در مقایسه با توزیع نرمال برازش بهتر و دقیق‌تری به دوره‌های زمانی جوانه‌زنی توده‌های بذری گندم در پاسخ به دما ارائه داد. کیفیت بذر توده‌های گندم به‌طور معنی‌داری حداکثر جوانه‌زنی جمعیت بذری، آستانه تحمل به سرما، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی آنها را تحت تأثیر قرار داد. بر اساس پیش‌بینی‌های مدل زمان گرمایی لوگ‌نرمال، برآورد حداکثر جوانه‌زنی، T_b ، زمان گرمایی مورد نیاز برای شروع جوانه‌زنی و اندازه پراکنش θ_T توده‌های بذری به ترتیب بین ۷۳ تا ۹۹ درصد، ۰/۲۶ تا ۳/۶۸ درجه سانتی‌گراد، ۲۵/۳۲ تا ۵۹/۰۴ درجه سانتی‌گراد ساعت و ۳/۷۴ تا ۶/۴۹ درجه سانتی‌گراد ساعت متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: توزیع نرمال؛ توزیع لوگ‌نرمال؛ دمای پایه؛ مدل زمان گرمایی

۱- دانشجوی دکترای زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ملاتانی، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ملاتانی، ایران

*نویسنده مسئول: amirmoosavi@ramin.ac.ir

مقدمه

برای آن گونه یا ژنوتیپ مشخص می‌کند، زیرا جوانه‌زنی جمعیت بذری در دماهای کمتر از این حد آستانه به‌طور کامل متوقف می‌شود (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982; Covell *et al.*, 1986; Ellis *et al.*, 1986). ثابت θ_1 به‌طور کلی سرعت جوانه‌زنی جمعیت بذری را نشان می‌دهد و از این‌رو افزایش مقدار آن می‌تواند به‌عنوان شاخصی از زوال بذر در نظر گرفته شود. علاوه بر این، کیفیت بذر در یکنواختی جوانه‌زنی جمعیت بذری منعکس می‌گردد که با مقدار پارامتر σ_1 مشخص می‌گردد. بنابراین، هرچند مدل زمان‌گرمایی یک مدل تجربی است اما خروجی‌های آن از نظر زیست‌شناختی معنی‌دار بوده (Ellis *et al.*, 2002; Bradford, 1986) و از این‌رو به نظر می‌رسد می‌تواند به‌عنوان شاخص‌هایی برای سنجش کیفیت و قدرت بذر مورد استفاده قرار گیرد.

کیفیت هر توده بذری از یک ژنوتیپ معین از یک گیاه زراعی تحت تأثیر شرایط محیطی در طی دوره رسیدن بذر روی بوته مادری (Khaliliaqdam *et al.*, 2012) و نیز در طول دوره انبارداری بذر (Sadeghi *et al.*, 2014) قرار می‌گیرد. بنابراین، توده‌های مختلف بذری مربوط به یک ژنوتیپ معین ممکن است به دلیل تجربه شرایط محیطی متفاوت در طول نمو و یا دوره انبارداری بذر واکنش متفاوتی به محرک‌های جوانه‌زنی مانند دما نشان دهند. مطالعه فعلی با هدف پاسخ به چند پرسش به شرح زیر انجام شد:

کدام‌یک از فرض‌های مدل زمان‌گرمایی (شامل الف- ثابت بودن T_b و تنوع θ_1 در دورن جمعیت بذری و ب- ثابت بودن θ_1 و تنوع T_b در دورن جمعیت بذری) در مورد جوانه‌زنی توده‌های بذری گندم (رقم چمران) صادق است؟ کدام‌یک از مدل‌های جوانه‌زنی-گرمایی مبتنی بر توزیع‌های نرمال و لوگ‌نرمال توصیف بهتری از دوره‌های جوانه‌زنی توده‌های مختلف بذری گندم ارائه می‌دهند؟ کدام‌یک از آستانه‌های گرمایی جوانه‌زنی تحت تأثیر کیفیت توده‌های بذری قرار می‌گیرد؟

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: در این آزمایش از شانزده توده بذر خودمصرفی گندم استفاده شد. رقم چمران از ارقام گندم بهاره است که به‌طور گسترده‌ای در مناطق جنوبی کشور در فصل پاییز کاشت و تولید می‌گردد. به‌منظور بالا بردن

به‌منظور درک بهتر رفتار گونه‌ها و ارقام گیاهی در پاسخ به شرایط دمایی متغیر، مدل‌های جوانه‌زنی-گرمایی متعددی بر اساس تنوع پاسخ بذرها در دورن جمعیت بذری ابداع شده‌اند. بیشتر این مدل‌ها از دماهای کاردینال (پایه، بهینه و بیشینه) و زمان‌های گرمایی زیر بهینه (θ_1) و بیش‌بهینه (θ_2) برای کمی‌سازی تنوع دورن جمعیت‌های بذری استفاده کرده‌اند (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982; Covell *et al.*, 1986; Ellis *et al.*, 1986). موردپذیرش‌ترین رویکرد در شیوه تحلیل مدل‌های جوانه‌زنی-گرمایی در نظر گرفتن یک مقدار ثابت دمای پایه (T_b) برای کل جمعیت بذری و یک توزیع احتمال نرمال یا لوگ‌نرمال θ_1 برای دماهای زیر بهینه است (Covell *et al.*, 1986; Ellis *et al.*, 1986; Alvarado & Bradford, 2002). در مطالعه دماهای بیش‌بهینه، به‌طور معمول یک مقدار مشترک θ_2 و یک توزیع نرمال یا لوگ‌نرمال برای دماهای بیشینه جوانه‌زنی (T_m) در نظر گرفته می‌شود (Covell *et al.*, 1986; Ellis *et al.*, 1986; Ellis & Butcher, 1988). با این حال، نتایج مطالعه هاردگری (Hardegree, 2006) بر روی چهار گونه علف مرعی بیانگر برزش بهتر مدل جوانه‌زنی-گرمایی با فرض یک مقدار ثابت T_m و توزیع لوگ‌نرمال θ_2 بود. گروندی و همکاران (Grundy *et al.*, 2000) ایده دماهای آستانه برای جوانه‌زنی را به‌عنوان مکملی برای مفهوم دماهای کاردینال پیشنهاد دادند. بر طبق این رویکرد، هر بذر دارای دماهای آستانه حداقل و حداکثر برای جوانه‌زنی است که به‌طور نرمال در جمعیت بذری توزیع شده‌اند و محدوده دمایی که در خلال آن هر بذر قادر به جوانه‌زنی است را تعریف می‌کنند. بتلا و بنچ‌آرنولد (Batlla & Benech-Arnold, 2003) مفهوم آستانه‌های گرمایی را به وضعیت خواب یک جمعیت از بذرها گیاه بنددواش (*Polygonum aviculare*) مرتبط ساختند و با موفقیت یک مدل زمان‌گرمایی برای رفع خواب این گونه توسعه دادند.

مدل زمان‌گرمایی مبتنی بر توزیع احتمال نرمال رفتار جوانه‌زنی یک جمعیت بذری در پاسخ به دماهای زیر بهینه را با استفاده از سه پارامتر T_b ، θ_1 و σ_1 (پارامتر نشان‌دهنده اندازه پراکنش θ_1 در رویکردی که T_b جمعیت بذری ثابت فرض می‌گردد) توضیح می‌دهد. مقدار T_b یک جمعیت بذری آستانه ذاتی تحمل جوانه‌زنی به سرما را

ریشه‌چه) روزانه دو یا سه مرتبه تا اتمام دوره جوانه‌زنی (۸ روز) در هر دما شمارش و از ظرف پتری خارج شد. **تجزیه آماری:** درصد جوانه‌زنی تجمعی هر یک از توده‌های بذری گندم برای هر رژیم دمایی در هر ساعت شمارش محاسبه گردید. جوانه‌زنی بذرها درون یک جمعیت بذری به دلیل تنوع پاسخ هر بذر به دما از یک تابع توزیع تجمعی تبعیت می‌کند. در این مطالعه، دوره‌های زمانی جوانه‌زنی تجمعی مشاهده شده بر اساس تابع توزیع تجمعی دو احتمال نرمال و لوگ‌نرمال شبیه‌سازی و مقایسه شد. برای این منظور دو رویکرد متفاوت زمان‌گرایی برای توصیف تنوع زمان جوانه‌زنی در درون جمعیت‌های بذری مورد ارزیابی قرار گرفت. در رویکرد نخست، T_b کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و تنوع زمان جوانه‌زنی میان بذرها به تفاوت θ_1 بذرها نسبت داده شد. بر مبنای این رویکرد، تابع توزیع تجمعی توزیع نرمال برای پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی g به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$g = G_{max} \left(\Phi \left[\frac{(T - T_b) t_g - \theta_{T(50)}}{\sigma_{Tg}} \right] \right) \quad (1)$$

که در این رابطه G_{max} حداکثر درصد جوانه‌زنی توده بذری؛ T ، دما (درجه سانتی‌گراد)؛ t_g ، زمان (ساعت) تا جوانه‌زنی کسر g جمعیت بذری؛ $\theta_{T(50)}$ ، زمان گرمایی (درجه سانتی‌گراد ساعت) مورد نیاز برای وقوع ۵۰ درصد از حداکثر جوانه‌زنی جمعیت بذری؛ σ_{Tg} ، اندازه پراکنش زمان گرمایی در داخل جمعیت بذری (درجه سانتی‌گراد ساعت) و Φ ، تبدیل لاپلاس انتگرال یا تابع توزیع تجمعی برای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و خطای استاندارد یک هستند. همچنین، تابع توزیع تجمعی توزیع لوگ‌نرمال بر مبنای این رویکرد به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$g = G_{max} \left[\Phi \left(\frac{\ln((T - T_b) t_g \mu) - \sigma_{Tg}}{\lambda} \right) \right] \quad (2)$$

که در این رابطه پارامتر μ ، حداقل زمان گرمایی (درجه سانتی‌گراد ساعت) مورد نیاز برای شروع جوانه‌زنی و λ ، پارامتر شکل توزیع لوگ‌نرمال هستند. پارامتر λ چگونگی خمش منحنی را تعیین می‌کند و شکل‌پذیری بالایی به توزیع می‌دهد.

در رویکرد دوم، θ_1 کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و تنوع زمان جوانه‌زنی میان بذرها به تفاوت T_b بذرها نسبت داده شد. بر مبنای این رویکرد، تابع توزیع تجمعی توزیع

وجود تنوع در توده‌های بذر مورد مطالعه از نظر ویژگی‌های کیفی، همه توده‌های بذری مورد ارزیابی در این آزمایش از بذرهایی با مشاء رقم چمران که توسط کشاورزان بومی تولید و در شرایط انباری متنوعی نگهداری شده بود، استفاده شد. بذرها در مهرماه سال ۱۳۹۵ از کشاورزان شهرستان هویزه که بذر مورد نیاز برای کاشت سال بعد را در انبار نگهداری می‌کردند، تهیه شد. توده‌های بذری گندم به دلیل تفاوت در عملیات زراعی، منطقه کاشت و شرایط نگهداری توسط کشاورزان دارای کیفیت بذر متفاوتی بودند (در نتایج ارائه شد) و در واقع بذر خود تولید کشاورز بودند که تعلق به طبقه بذری گواهی شده است. این وضعیت می‌توانست تنوع لازم را از نظر میزان پراکندگی کیفیت در توده‌های بذر بیشتر نماید.

آزمون جوانه‌زنی: آزمایش طی زمستان سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان اجرا شد. در این مطالعه، پاسخ جوانه‌زنی ۱۶ توده بذری گندم به دما مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون جوانه‌زنی در دماهای زیر بهینه، درون ژرمیناتورهایی با تنظیم دماهای ثابت ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ (± 0.2) درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی انجام شد. این رژیم‌های دمایی دامنه دمایی زیر بهینه برای جوانه‌زنی گندم را پوشش می‌داد. سطح بذرها پیش از اجرای آزمایش با محلول ۰/۵ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو داده شد. برای هر توده بذری، آزمون جوانه‌زنی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در هر تکرار، ۵۰ بذر روی کاغذ صافی واتمن شماره یک در ظرف پتری پلاستیکی ۱۰ سانتی‌متری قرار گرفت و سپس کاغذهای صافی با ۸ میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب شدند. برای کاهش تلفات آب از طریق تبخیر، ظروف پتری با پارافیلیم پوشانده شدند. آبیاری ظروف پتری در صورت نیاز انجام شد. به‌منظور هم‌دمایی آب مقطر با دمای ژرمیناتور، آب مقطر ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش در ژرمیناتور قرار گرفت. بذرهایی که ریشه‌چه آن‌ها به‌اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر خارج شده بود، جوانه‌زده در نظر گرفته شدند. چنانچه بذری جوانه‌زنی غیر عادی در این مرحله داشت (خروج اندامی غیر از ریشه‌چه و یا ریشه‌چه‌های فاقد ظاهر طبیعی و به شکل دفرم شده)، به‌عنوان بذر جوانه‌زده شمارش نمی‌شد. تعداد بذرها جوانه‌زده (خروج دو میلی‌متر

مبنای مدل زمان گرمایی نرمال بین ۰/۲۰ (توده ۱۳) تا ۳/۸۵ درجه سانتی‌گراد (توده ۱۱) و بر مبنای مدل زمان گرمایی لوگ‌نرمال بین ۰/۲۶ (توده ۱۳) تا ۳/۶۸ درجه سانتی‌گراد (توده ۳) متغیر بود (جدول ۱). مقادیر خطای استاندارد برآوردها بر مبنای هر یک از دو مدل زمان گرمایی مورد ارزیابی نشان می‌دهد که تفاوت میان توده‌های بذری گندم از نظر برآورد T_b از نظر آماری معنی‌دار است.

زینلی و همکاران (Zeinali *et al.*, 2010) پاسخ جوانه‌زنی دوازده رقم گندم به دماهای ثابت را با برآزش رابطه رگرسیونی بین سرعت جوانه‌زنی (بدون در نظر گرفتن درصد جوانه‌زنی) و دما ارزیابی و T_b این ارقام را بین ۲/۰۴ تا ۲/۹۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. سیف‌لدت و همکاران (Seefeldt *et al.*, 2002) میزان T_b شش رقم بهار گندم را با برآزش رگرسیون ساده خطی بین عکس زمان تا شروع جوانه‌زنی و دما بین ۱/۲۰ تا ۱/۶۰ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. ربانی محمدیه (Rabbani Mohamadieh, 2013) پاسخ جوانه‌زنی نه توده بذری گندم (رقم N-80-19) به دما را بررسی و گزارش کردند که در همه دماهای مورد ارزیابی میان توده‌های گندم از نظر سرعت و درصد نهایی جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. آن‌ها تفاوت در سرعت و درصد جوانه‌زنی توده‌های بذری در دماهای ثابت ارزیابی شده را به کیفیت بذر متفاوت توده‌ها نسبت دادند، باین حال گزارشی در مورد تأثیر این اختلاف‌ها بر آستانه‌های دمایی جوانه‌زنی توده‌های بذری گزارش نکردند. جمالی (Jamali, 2013) با ارزیابی تأثیر دما بر سرعت جوانه‌زنی بذرها زوال یافته گندم میزان T_b شش توده بذری از رقم کوه‌دشت را بین ۲/۰۴ تا ۳/۲۶ گزارش کردند. در مطالعه ایشان نیز با وجود کاهش شدید درصد جوانه‌زنی بذرها در تیمارهای زوال تسریع شده نقش این پارامتر در برآورد آستانه‌های گرمایی جوانه‌زنی نادیده گرفته شد. دامنه تغییرات T_b در توده‌های بذری مورد ارزیابی در این پژوهش بر مبنای مدل‌های مبتنی بر توزیع نرمال و لوگ‌نرمال به ترتیب معادل ۳/۴۲ و ۳/۶۵ درجه سانتی‌گراد بود. دامنه تغییرات بزرگ‌تر T_b بین توده‌های بذری گندم در این تحقیق ممکن است به دلیل روش متفاوت برآورد پارامترها در مقایسه با سایرین باشد، چراکه

نرمال برای پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی g به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$g = G_{max} \left(\Phi \left[\frac{\left(-\frac{(g - T_b)}{\sigma_{T_b}} \right) - T_b(50)}{\sigma_{T_b}} \right] \right) \quad (3)$$

که در این رابطه $T_b(50)$ ، میانگین T_b جمعیت بذری (درجه سانتی‌گراد) و σ_{T_b} ، اندازه پراکنش T_b در داخل جمعیت بذری (درجه سانتی‌گراد) هستند. بر مبنای رویکرد دوم، تابع توزیع تجمعی توزیع احتمال لوگ‌نرمال برای پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی g به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g = G_{max} \left[\Phi \left(\frac{\left(\ln \left(\frac{(g - T_b)}{\sigma_{T_b}} \right) - \mu \right)}{\sigma_{T_b}} \right) \right] \quad (4)$$

که در این رابطه پارامتر μ کمترین مقدار توزیع T_b جمعیت بذری را نشان می‌دهد. برآزش مدل‌های جوانه‌زنی-گرمایی به داده‌های تجمعی توده‌های بذری گندم با استفاده از نرم‌افزار SAS و با روبه NLMIXED PROC و به روش بهینه‌سازی پیش‌فرض Dual Quasi-Newton در این نرم‌افزار انجام شد. برای ارزیابی برآزش مدل‌ها از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و برای انتخاب بهترین تابع توزیع از شاخص آکائیک تصحیح‌شده (AICc) استفاده شد (Burnham & Anderson, 2002).

(۱)

$$AICc = n \cdot \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2k + \left(\frac{2k(k+1)}{n-k-1} \right)$$

که RSS، جمع مربعات باقیمانده؛ n ، تعداد نمونه و k ، تعداد پارامترهای هستند. بهترین مدل در مقایسه مدل‌ها، مدلی است که کمترین میزان AICc محاسبه شده را دارا باشد.

نتایج و بحث

بر مبنای رویکرد نخست که در آن T_b کل جمعیت بذری ثابت فرض شده بود، برآورد حداکثر جوانه‌زنی توده‌های بذری گندم (G_{max}) با استفاده از توزیع نرمال بین ۰/۷۰ (توده ۱) تا ۰/۹۳ (توده ۲) و با کاربرد مدل مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال بین ۰/۷۳ (توده ۱) تا ۰/۹۹ (توده ۹) متغیر بود (جدول ۱). اختلاف در برآورد G_{max} جمعیت‌های بذری به وضوح نشان می‌دهد که توده‌های گندم مورد ارزیابی از کیفیت بذر متفاوتی برخوردار بودند. برحسب همین رویکرد، برآورد T_b توده‌های بذری گندم بر

جدول ۱- برآورد پارامترها و ارزیابی نکویی برازش برای مدل‌های زمان‌گرمایی مبتنی بر توزیع‌های نرمال و لوگ‌نرمال برازش داده شده به جوانه‌زنی تجمعی توده‌های بذری گندم در دامنه‌های از دماهای ثابت. در این مدل‌ها، دمای پایه کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و تنوع زمان جوانه‌زنی میان بذرها به تنوع زمان‌گرمایی مورد نیاز برای جوانه‌زنی هر کسر معین نسبت داده شد

Table 1. Parameters estimates and goodness of fit assessment for the Normal and Log-Normal thermal time models fitted to cumulative germination of wheat seed lots across a range of constant temperatures. In these models, the base temperature was assumed to be constant for entire seed population and variation in germination timing among seeds was attributed to variation in thermal time required for germination of each specific fraction

توده بذری Seed lot	توزیع نرمال Normal distribution						توزیع لوگ‌نرمال Log-Normal distribution						
	G_{max}	T_b (°C)	$\theta_{T(50)}$ (°C h)	σ_{θ_T} (°C h)	RMSE	AICc	G_{max}	T_b (°C)	μ (°C h)	σ_{θ_T} (°C h)	λ	RMSE	AICc
1	0.70±0.01	1.36±0.20	912.48±22.30	233.93±13.49	0.0478	-398.10	0.73±0.02	1.39±0.18	252.39±147.34	6.49±0.23	0.40±0.10	0.0447	-412.90
2	0.93±0.01	2.25±0.09	671.26±7.69	110.75±3.97	0.0399	-389.50	0.96±0.01	2.38±0.06	461.94±17.69	5.22±0.11	0.61±0.07	0.0298	-461.90
3	0.81±0.01	3.62±0.08	638.91±9.68	135.88±6.05	0.0468	-403.20	0.84±0.01	3.68±0.07	379.92±35.18	5.49±0.16	0.61±0.10	0.0417	-430.50
4	0.85±0.01	0.92±0.19	764.39±16.09	189.28±8.82	0.0495	-360.80	0.89±0.02	0.98±0.17	325.00±78.19	6.06±0.19	0.48±0.10	0.0445	-383.40
5	0.91±0.01	2.30±0.17	563.04±11.61	82.46±8.50	0.0742	-258.90	0.93±0.02	2.16±0.19	325.01±97.29	5.49±0.40	0.38±0.17	0.0707	-267.60
6	0.89±0.01	2.56±0.11	677.07±10.18	142.36±5.73	0.0462	-396.80	0.91±0.01	2.61±0.10	295.00±98.96	5.91±0.28	0.40±0.11	0.0416	-420.30
7	0.88±0.01	2.62±0.12	592.04±11.04	95.05±8.98	0.0576	-316.70	0.96±0.02	2.37±0.08	515.25±8.72	4.50±0.07	1.25±0.11	0.0356	-424.10
8	0.80±0.01	1.91±0.17	642.55±14.82	121.19±8.78	0.0545	-329.30	0.84±0.02	1.96±0.09	520.20±12.15	4.64±0.13	1.10±0.10	0.0409	-392.30
9	0.89±0.01	3.18±0.08	552.75±6.54	57.46±6.41	0.0645	-290.80	0.99±0.02	2.93±0.04	514.91±3.07	3.88±0.07	1.62±0.14	0.0403	-396.20
10	0.75±0.01	2.02±0.26	676.20±23.28	166.90±13.22	0.0733	-261.70	0.83±0.04	2.24±0.22	425.13±55.98	5.44±0.25	0.88±0.28	0.0675	-278.30
11	0.90±0.01	3.85±0.10	483.42±7.90	57.59±5.82	0.0764	-252.40	0.95±0.02	3.38±0.13	463.32±18.78	3.74±0.41	1.42±0.36	0.0753	-253.50
12	0.84±0.01	2.68±0.21	558.94±18.03	100.40±15.07	0.0850	-228.10	0.92±0.05	2.23±0.17	519.63±19.28	4.09±0.20	1.60±0.43	0.0747	-255.30
13	0.90±0.01	0.20±0.17	792.90±13.59	121.04±6.77	0.0522	-364.40	0.92±0.01	0.26±0.17	495.17±65.32	5.65±0.24	0.45±0.11	0.0483	-384.50
14	0.91±0.01	1.63±0.11	710.81±9.29	131.18±4.92	0.0400	-399.80	0.93±0.01	1.66±0.09	412.02±50.93	5.66±0.18	0.47±0.09	0.0346	-430.50
15	0.79±0.01	0.71±0.28	720.81±23.07	118.00±12.75	0.0646	-290.50	0.80±0.01	0.84±0.18	590.04±28.65	4.62±0.37	0.90±0.21	0.0545	-327.00
16	0.83±0.01	2.95±0.13	633.00±13.31	146.00±8.08	0.0572	-313.30	0.89±0.01	2.96±0.10	433.01±27.25	5.23±0.14	0.86±0.15	0.0474	-358.90

* G_{max} = حداکثر جوانه‌زنی جمعیت بذری؛ T_b = دمای پایه جمعیت بذری؛ $\theta_{T(50)}$ = زمان‌گرمایی مورد نیاز برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری؛ σ_{θ_T} = انحراف استاندارد توزیع نرمال زمان‌گرمایی؛ μ ، پارامتر جایگاه؛ λ ، پارامتر شکل؛ RMSE = ریشه میانگین مربعات خطا؛ AICc = شاخص آکائیک تصحیح شده

* G_{max} = Maximum germination of seed population; T_b = Base temperature of seed population; $\theta_{T(50)}$ = Thermal time required for 50% germination of seed population; σ_{θ_T} = Standard deviation of the normal distribution of thermal time; μ = Location parameter; λ = Shape parameter; RMSE = Root Mean Square Error; AICc = Akaike Information Criteria.

جدول ۲- برآورد پارامترها و ارزیابی نکویی برازش برای مدل‌های زمان گرمایی مبتنی بر توزیع‌های نرمال و لوگ‌نرمال برازش داده شده به جوانه‌زنی تجمعی توده‌های بذری گندم در دامنه‌ای از دماهای ثابت. در این مدل‌ها، زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه‌زنی کل جمعیت ثابت فرض شد و تنوع زمان جوانه‌زنی میان بذرها به تنوع دمای پایه آن‌ها نسبت داده شد

Table 2. Parameters estimates and goodness of fit assessment for the Normal and Log-Normal thermal time models fitted to cumulative germination of wheat seed lots across a range of constant temperatures. In these models, the thermal time required for germination was assumed to be a constant for entire seed population and variation in germination timing among seeds was attributed to variation in their base temperatures

توده بذری Seed lot	توزیع نرمال Normal distribution						توزیع لوگ‌نرمال Log-Normal distribution						
	G_{max}	θ_T (°C h)	$T_{b(50)}$ (°C h)	σ_{T_b} (°C)	RMSE	AICc	G_{max}	θ_T (°C h)	μ (°C h)	σ_{T_b} (°C)	λ	RMSE	AICc
1	0.68±0.01	883.01±27.26	1.27±0.27	2.16±0.26	0.0619	-332.90	0.73±0.04	873.98±19.48	-1.90±1.74	1.19±0.48	0.73±0.40	0.0595	-341.00
2	0.95±0.01	722.78±16.02	1.63±0.17	1.46±0.09	0.0615	-293.40	0.95±0.03	706.73±16.80	0.66±0.40	0.02±0.00	1.13±0.25	0.0654	-279.90
3	0.81±0.01	693.23±14.89	3.07±0.15	1.43±0.13	0.0690	-305.60	0.81±0.21	631.08±15.07	2.40±0.20	0.35±0.12	1.85±0.18	0.0750	-282.60
4	0.87±0.01	820.00±23.92	0.03±0.01	2.65±0.19	0.0685	-284.70	0.87±0.01	810.87±37.90	-2.17±0.34	1.70±0.26	0.68±0.16	0.0689	-281.20
5	0.92±0.01	576.84±6.87	2.12±0.13	1.06±0.11	0.0807	-239.10	0.96±0.08	595.61±3.54	1.54±0.07	-1.94±0.29	3.15±0.90	0.0802	-240.20
6	0.90±0.01	740.01±18.76	1.81±0.20	1.72±0.13	0.0710	-291.30	0.89±0.00	741.80±21.75	0.32±0.14	1.33±0.21	1.20±0.12	0.0712	-288.20
7	0.88±0.01	578.66±5.18	2.70±0.09	1.00±0.07	0.0598	-308.00	0.92±0.02	583.46±4.18	1.44±0.14	0.04±0.01	1.02±0.19	0.0540	-329.10
8	0.79±0.01	588.55±8.12	2.36±0.13	1.14±0.10	0.0612	-302.90	0.83±0.00	583.38±3.42	1.52±0.07	0.01±0.00	2.28±0.15	0.0600	-305.20
9	0.90±0.01	551.09±3.37	3.18±0.07	0.68±0.06	0.0603	-306.10	0.95±0.02	562.90±3.47	2.45±0.04	-0.82±0.18	1.48±0.27	0.0476	-358.10
10	0.77±0.02	747.00±37.44	1.08±0.43	2.31±0.26	0.0908	-212.90	0.81±0.06	801.54±31.36	-1.92±0.42	0.88±0.14	0.81±0.16	0.0952	-199.90
11	0.90±0.01	498.19±4.23	3.67±0.08	0.71±0.06	0.0821	-235.90	0.91±0.01	499.81±4.70	1.97±0.08	0.60±0.06	0.38±0.13	0.0785	-244.00
12	0.83±0.01	544.89±7.19	2.76±0.13	0.90±0.10	0.0867	-223.60	0.86±0.03	549.12±5.22	1.80±0.14	-0.37±0.13	1.17±0.39	0.0820	-233.90
13	0.91±0.01	846.99±12.70	-0.48±0.18	1.52±0.11	0.0588	-320.40	0.93±0.02	868.03±15.01	-2.34±0.55	0.40±0.04	0.78±0.30	0.0579	-321.70
14	0.90±0.01	658.98±12.21	1.97±0.16	1.37±0.11	0.0591	-310.80	0.90±0.01	648.17±9.76	0.16±0.05	0.66±0.20	0.94±0.15	0.0671	-281.90
15	0.78±0.01	658.99±9.72	1.32±0.16	1.10±0.10	0.0668	-283.10	0.80±0.01	656.91±7.75	-0.41±0.06	0.50±0.39	0.65±0.23	0.0649	-287.30
16	0.80±0.01	561.00±10.99	3.36±0.14	1.26±0.15	0.0741	-259.30	0.87±0.03	559.09±6.44	1.64±0.29	0.53±0.15	0.96±0.22	0.0679	-277.00

* G_{max} = حداکثر جوانه‌زنی جمعیت بذری؛ T_b = دمای پایه جمعیت بذری؛ θ_T = زمان گرمایی لازم برای تکمیل جوانه‌زنی در دماهای زیر بهینه؛ $T_{b(50)}$ = دمای پایه برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری؛ σ_{T_b} = انحراف استاندارد توزیع

نرمال دمای پایه جمعیت بذری؛ μ ، پارامتر جایگاه؛ λ ، پارامتر شکل؛ RMSE = ریشه میانگین مربعات خطا؛ AICc = شاخص آکانیک تصحیح شده

* G_{max} = Maximum germination of seed population; T_b = base temperature of seed population; θ_T = Thermal time required to complete the germination at sub-optimal temperatures; $T_{b(50)}$ = Base temperature for 50% germination of seed population; σ_{T_b} = Standard deviation of the normal distribution of base temperatures in seed population; μ = Location parameter; λ = Shape parameter; RMSE = Root Mean Square Error; AICc = Akaike Information Criteria.

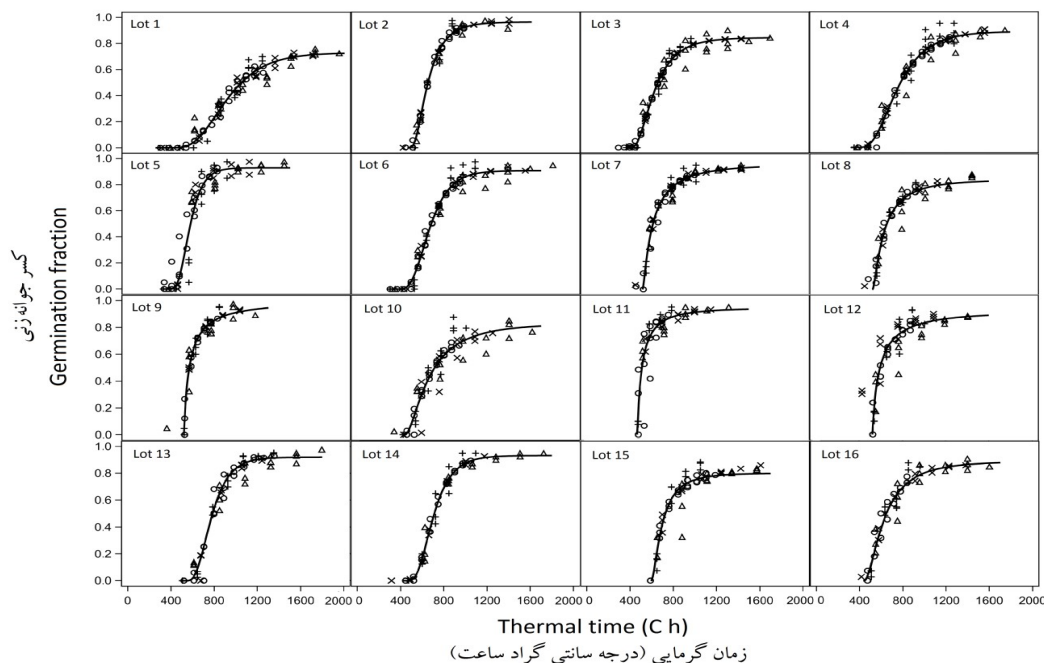
در این کار هم نقش درصد جوانه‌زنی و هم نقش سرعت جوانه‌زنی در برآورد T_b توده‌های بذری در نظر گرفته شد. برآورد زمان گرمایی مورد نیاز برای تکمیل نیمی از حداکثر جوانه‌زنی جمعیت بذری ($\theta_{T(50)}$) با توزیع نرمال نشان داد که میان توده‌های بذری گندم از نظر سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف دمایی تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای وجود داشت. به‌طوری‌که، این پارامتر برای توده‌های بذری مختلف بین ۴۸۳/۴۲ (توده ۱۱) تا ۹۱۲/۴۸ درجه سانتی‌گراد ساعت (توده ۱) برآورد شد (جدول ۱). همچنین، پارامتر تعیین‌کننده اندازه پراکنش θ_T جمعیت بذری با مدل مبتنی بر این توزیع (σ_{T_b}) نشان داد که میان توده‌های بذری گندم از نظر یکنواختی جوانه‌زنی در سطوح مختلف دمایی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. هرچه σ_{T_b} کوچک‌تر باشد یکنواختی جوانه‌زنی جمعیت بذری بیشتر است (Mesgaran *et al.*, 2014; Derakhshan *et al.*, 2017). برآورد این پارامتر برای توده‌های بذری گندم بین ۵۷/۴۶ (توده ۹) تا ۲۳۳/۹۳ درجه سانتی‌گراد ساعت (توده ۱) متغیر بود (جدول ۱). پارامتر جایگاه (μ) مدل زمان گرمایی مبتنی بر لوگ‌نرمال برحسب رویکرد نخست برای توده‌های بذری مختلف بین ۲۵۲/۳۹ (توده ۱) تا ۵۹۰/۰۴ درجه سانتی‌گراد ساعت (توده ۹) برآورد شد. این پارامتر تعیین‌کننده زمان درنگ یا زمان تا شروع جوانه‌زنی جمعیت بذری است (Mesgaran *et al.*, 2014; Derakhshan *et al.*, 2017). همچنین، برآورد پارامتر پراکنش توزیع لوگ‌نرمال (σ_{T_b}) برحسب این رویکرد برای توده‌های مختلف بذری بین ۳/۷۴ (توده ۱۱) تا ۶/۴۹ درجه سانتی‌گراد ساعت (توده ۱) و برآورد پارامتر شکل این توزیع (λ) برای توده‌های گندم مورد ارزیابی بین ۰/۳۷ تا ۱/۶۲ متغیر بود (جدول ۱). گزارش‌های مشابهی با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق در مورد تأثیر کیفیت بذر بر سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی توده‌های بذری گزارش شده است (Jamali, 2013; Rabbani Mohamadieh, 2013).

در رویکرد دوم θ_T کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و رفتار جوانه‌زنی توده‌های بذری به تفاوت T_b بذرها در درون جمعیت‌ها نسبت داده شد. پارامترهای برآورد شده با مدل‌های زمان گرمایی نرمال و لوگ‌نرمال برای توده‌های بذری گندم برحسب این رویکرد در جدول ۲ ارائه شده است. برحسب این رویکرد، برآورد G_{max} برای توده‌های

بذری گندم با مدل مبتنی بر توزیع نرمال بین ۰/۶۸ (توده ۱) تا ۰/۹۵ (توده ۲) و با مدل مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال بین ۰/۷۳ (توده ۱) تا ۰/۹۶ (توده ۵) متغیر بود (جدول ۲). زمان گرمایی مورد نیاز برای تکمیل جوانه‌زنی همه بذرها در دماهای زیر بهینه (θ_T) برحسب رویکرد دوم با مدل مبتنی بر توزیع نرمال بین ۴۹۸/۱۹ (توده ۱۱) تا ۸۸۳/۰۱ درجه سانتی‌گراد ساعت (توده ۱) برآورد شد. مدل مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال نیز کمترین میزان θ_T مورد نیاز برای تکمیل جوانه‌زنی را برای توده ۱۱ (۴۹۹/۸۱ درجه سانتی‌گراد ساعت) و بیشترین آن را برای توده ۱ (۸۷۳/۹۸ درجه سانتی‌گراد ساعت) پیش‌بینی کرد (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده در مورد سرعت جوانه‌زنی توده‌های بذری در این رویکرد با نتایج به‌دست‌آمده با مدل مبتنی بر توزیع نرمال در رویکرد نخست مشابه است. برآورد میانگین دمای پایه ($T_{b(50)}$) جمعیت‌های بذری گندم در این رویکرد و با استفاده از مدل زمان گرمایی نرمال بین ۰/۴۸- (توده ۱۳) تا ۳/۶۷ درجه سانتی‌گراد (توده ۱۱) متغیر بود. همچنین، این مدل اندازه پراکنش T_b در داخل جمعیت‌های بذری گندم (σ_{T_b}) را بین ۰/۶۸ (توده ۹) تا ۲/۶۵ درجه سانتی‌گراد (توده ۴) برآورد کرد (جدول ۲). در این رویکرد برای هر بذر از جمعیت بذری یک مقدار T_b در نظر گرفته می‌شود و تفاوت زمان جوانه‌زنی میان بذرها به تفاوت T_b آن‌ها نسبت داده می‌شود (Hardegree, 2006; Derakhshan *et al.*, 2017). بر طبق این رویکرد، بذرهایی از جمعیت که دارای T_b بزرگ‌تری هستند، سریع‌تر جوانه می‌زنند. همچنین، کوچک‌تر بودن σ_{T_b} جمعیت بذری نشان می‌دهد که گستره T_b در داخل جمعیت بذری و به عبارتی تنوع زمان جوانه‌زنی در داخل جمعیت بذری کوچک‌تر بوده و از این‌رو آن جمعیت یکنواختی جوانه‌زنی بالاتری دارد (Hardegree, 2006). بنابراین، در این رویکرد رفتار جوانه‌زنی توده بذری با مدل مبتنی بر توزیع نرمال به سهولت و با استفاده از سه پارامتر θ_T ، $T_{b(50)}$ و σ_{T_b} که به ترتیب سرعت جوانه‌زنی، تحمل جوانه‌زنی به سرما و یکنواختی جوانه‌زنی را نشان می‌دهند، قابل توصیف است. مدل زمان گرمایی مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال برای هر توده بذری یک مقدار آستانه برای T_b جمعیت بذری برآورد می‌کند (μ) که در دماهای فراتر از آن جوانه‌زنی جمعیت بذری رخ خواهد داد. بر اساس خروجی‌های مدل

به نوع رفتار جوانه‌زنی توده‌های بذری گندم بستگی داشت. به‌طوری‌که، در ۶ توده بذری گندم مدل زمان‌گرمایی مبتنی بر توزیع نرمال و در سایر توده‌ها مدل زمان‌گرمایی مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال دارای برآزش بهتری بود و دوره‌های زمانی جوانه‌زنی را با خطای کمتری پیش‌بینی کرد (جدول ۲). همچنین، با مقایسه شاخص‌های نکویی برآزش به‌دست‌آمده در دو رویکرد اول و دوم مشخص شد که فرض ثابت بودن T_b کل جمعیت بذری و تنوع $\theta_{T(g)}$ در داخل جمعیت بذری (برحسب توزیع لوگ‌نرمال) در مورد جوانه‌زنی توده‌های بذری گندم صادق بود و منجر به پیش‌بینی بهتر دوره‌های زمانی جوانه‌زنی این توده‌ها در پاسخ به دماهای ثابت شد (جدول ۱ و ۲). برحسب این رویکرد، رابطه بین $\theta_{T(g)}$ مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده برای هر کسر معین جوانه‌زنی با استفاده از مدل زمان‌گرمایی مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال برای هر یک از توده‌های بذری گندم در شکل ۱ ارائه شده است. انطباق بین مقادیر زمان‌گرمایی واقعی و پیش‌بینی‌شده نشان می‌دهد که مدل به‌درستی الگوهای جوانه‌زنی مشاهده‌شده برای توده‌های بذری گندم را توضیح داده است.

زمان‌گرمایی مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال، برآورد این پارامتر برای توده‌های بذری گندم بین ۲/۳۴- (توده ۱۳) تا ۲/۴۵ درجه سانتی‌گراد (توده ۹) متغیر بود. همچنین، این مدل میزان $\theta_{T(g)}$ جمعیت‌های بذری گندم را بین ۱/۹۴- (توده ۵) تا ۱/۷۰ درجه سانتی‌گراد (توده ۴) و پارامتر شکل توزیع T_b را بین ۰/۳۸ (توده ۱۱) تا ۳/۱۵ (توده ۵) برآورد کرد (جدول ۲). در مجموع، پارامترهای برآورد شده با مدل‌های زمان‌گرمایی نرمال و لوگ‌نرمال در این رویکرد نیز نشان داد که کیفیت بذر به‌طور معنی‌داری آستانه‌های گرمایی جوانه‌زنی توده‌های بذری را تحت تأثیر قرار داد. مقایسه شاخص‌های ارزیابی نکویی برآزش نشان داد که مدل زمان‌گرمایی مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال در رویکرد نخست برآزش بهتر و دقیق‌تری نسبت به مدل مبتنی بر توزیع نرمال به داده‌های دوره‌های زمانی جوانه‌زنی توده‌های بذری گندم در پاسخ به دماهای ثابت ارائه داد. به‌طوری‌که، مقادیر RMSE و AICc به‌دست‌آمده با این توزیع در همه توده‌های بذری گندم کوچک‌تر از مقادیر به‌دست‌آمده با توزیع نرمال بود (جدول ۱). با این حال، دقت برآزش مدل زمان‌گرمایی در رویکرد دوم



شکل ۱- رابطه بین زمان‌گرمایی مشاهده‌شده (نمادها) و پیش‌بینی‌شده (خط) برای کسرهای مختلف جوانه‌زنی

توده‌های مختلف بذری گندم بر مبنای مدل زمان‌گرمایی مبتنی بر توزیع لوگ‌نرمال

Figure 1. Relationship between the observed (symbols) and the predicted (line) thermal time for different germination fractions in various wheat seed lots according to the Log-Normal based thermal time model

الگوهای جوانه‌زنی بذر در پاسخ به دمای محیط با استفاده از مدل‌های زمان‌گرمایی توصیف می‌گردد (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982; Covell *et al.*, 1986; Derakhshan *et al.*, 2017). در این مدل‌ها، تنوع زمان جوانه‌زنی در میان کسرهای بذری با استفاده از یک توزیع آماری مناسب توصیف می‌شود (Mesgaran *et al.*, 2014). توزیع تجمعی توزیع‌های نرمال و لوگ‌نرمال و سایر توزیع‌های آماری در نهایت به یک می‌رسد (Mesgaran *et al.*, 2014; Derakhshan *et al.*, 2017). کاربرد این توزیع‌ها در مدل‌سازی جوانه‌زنی به این معناست که سرانجام جوانه‌زنی با گذشت زمان به ۱۰۰ درصد خواهد رسید. با این حال، درصد نهایی جوانه‌زنی توده‌های بذری مورد ارزیابی در این پژوهش متفاوت از هم و کمتر از ۱۰۰ درصد بود. همچنین، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای میان درصد جوانه‌زنی توده‌های بذری در دامنه دماهای ۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. از این رو، در این مطالعه پارامتر G_{max} به مدل زمان‌گرمایی مبتنی بر این دو توزیع احتمال اضافه شد. این پارامتر امکان تفکیک توده‌ها از نظر حداکثر درصد جوانه‌زنی جمعیت‌های بذری را فراهم آورد و به‌طور قابل‌توجهی دقت مدل در پیش‌بینی پیشرفت جوانه‌زنی در طی زمان را برای توده‌های بذری مورد ارزیابی بهبود بخشید (شکل ۲).

بر اساس نتایج مشاهده‌شده، دقیق‌ترین رویکرد زمان‌گرمایی برای شبیه‌سازی پاسخ جوانه‌زنی توده‌های بذری گندم به دماهای ثابت با فرض یک توزیع لوگ‌نرمال برای زمان‌گرمایی زیر بهینه و ثابت در نظر گرفتن T_b کل جمعیت بذری به دست آمد. بر مبنای این رویکرد، یک آستانه دمایی حداقل برای جوانه‌زنی کل بذرها هر توده بذری لازم است و جوانه‌زنی هر کسر معین از جمعیت بذری در دماهای زیر بهینه به تجمع واحدهای معین زمان‌گرمایی وابسته می‌باشد. برخلاف نتایج این پژوهش، چنتره و همکاران (Chantre *et al.*, 2009) گزارش کردند که برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی علف‌هرز سنگدانه متغیر بود و از این رو مدل زمان‌گرمایی مشمول این فرض پیش‌بینی دقیق‌تری از پیشرفت جوانه‌زنی ارائه داد. عدم ثبات و تنوع T_b درون جمعیت بذری در چندین مطالعه دیگر گزارش شده است (Forcella *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2004).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، توده‌های بذری مورد ارزیابی در این تحقیق به دلیل اختلاف در مدیریت زراعی و شرایط انبارداری از کیفیت بذر متفاوتی برخوردار بودند. اختلاف در کیفیت بذرها خودمصرفی کشاورزان با رفتار جوانه‌زنی متفاوت آن‌ها در پاسخ به دماهای ثابت همراه بود. به‌طوری‌که، میان توده‌های بذری گندم اختلاف معنی‌داری از نظر حداکثر جوانه‌زنی جمعیت بذری، تحمل به سرما و سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی مشاهده شد. ارزیابی فرض‌های مدل زمان‌گرمایی نشان داد که وقتی T_b برای کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و توزیع لوگ‌نرمال برای توصیف تنوع $\theta_{T(g)}$ بکار رفت، مدل برازش بهتر و دقیق‌تری به دوره‌های زمانی جوانه‌زنی هر توده‌های بذری گندم در پاسخ به دماهای ثابت داشت. مدل زمان‌گرمایی مبتنی بر این فرض الگوهای جوانه‌زنی مشاهده‌شده در توده‌های بذری گندم را به‌خوبی توصیف کرد. آستانه‌های گرمایی که در این مطالعه برای توده‌های بذری تعیین شد تأثیر کیفیت بذر بر جوانه‌زنی این جمعیت‌های بذری در پاسخ به دما را به‌خوبی توضیح می‌دهد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مراتب قدردانی و تشکر خود، نسبت به معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان به منظور همکاری در تهیه تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز این پژوهش را اعلام می‌دارند.

منابع

- Alvarado, V. & Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell & Environment*. 25(8): 1061-1069. **(Journal)**
- Baskin, C.C. & Baskin, J.M. 1998. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego, CA: Academic Press.
- Batlla, D. & Benech-Arnold, R.L. 2003. A quantitative analysis of dormancy loss dynamics in *Polygonum aviculare* L. seeds: Development of a thermal time model based on changes in seed population thermal parameters. *Seed Science Research*. 13(1):55-68.
- Bradford, K.J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*. 50(2): 248-260. **(Journal)**
- Burnham, K.P. & Anderson, D.R. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer, New York, USA.
- Chantre, G.R., Batlla, D., Sabbatini, M.R. & Orioli, G. 2009. Germination parameterization and development of an after-ripening thermal-time model for primary dormancy release of *Lithospermum arvense* seeds. *Annals of Botany*. 103(8): 1291-1301. **(Journal)**
- Covell, S., Ellis, R.H., Roberts, E.H. & Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean, and cowpea at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*. 37(5): 705-715. **(Journal)**
- Derakhshan, A., Bakhshandeh, A.M., Siadat, S.A., Moradi-Telavat, M.R. & Andarzian, B. (2017). Quantification of thermoinhibition response of seed germination in different oilseed rape cultivars. *Iranian Journal of environmental stresses in crop sciences*. In Publishing.
- Ellis, R.H. & Butcher, P.D. 1988. The effects of priming and 'natural' differences in quality amongst onion seed lots on the response of the rate of germination to temperature and the identification of the characteristics under genotypic control. *Journal of Experimental Botany*. 39(7): 935-950. **(Journal)**
- Ellis, R.H., Covell, S., Roberts, E.H. & Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*. 37(10): 1503-1515. **(Journal)**
- Forcella, F., Benech-Arnold, R.L., Sanchez, R. & Ghera, C.M. 2000. Modelling seedling emergence. *Field Crops Research*. 67(2): 123-139. **(Journal)**
- Garcia-Huidobro, J., Monteith, J.L. & Squire, G.R. (1982). Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). I. Constant temperature. *Journal of Experimental Botany*. 33(2): 288-296. **(Journal)**
- Grundy, A.C., Phelps, K., Reader, R.J. & Burston, S. 2000. Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytologist*. 148(3):433-444. **(Journal)**
- Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. III. Model validation under field-variable temperature conditions. *Annals of Botany*. 98(4): 827-834. **(Journal)**
- Jamali, M. 2013. Priming effects on seed germination of wheat with different levels of seed vigour under environmental stresses. M.Sc. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. **(Thesis)**
- Khaliliaqdam, N., Soltani, A., Latifi, N & Ghaderi-Far, F. 2012. Effect of environmental conditions on soybean seed vigor in different area of Iran. *Electronic Journal of Crop Production*. 5(4): 87-104. (In Persian) **(Journal)**
- Mesgaran, M.B., Rahimian Mashhadi, H.R., Alizadeh, H., Ohadi, S. & Zare, A. 2014. Modeling the germination responses of wild barley (*Hordeum spontaneum*) and littleseeded canary grass (*Phalaris minor*) to temperature. *Iranian Journal of Weed Science*. 9(2): 105-118. (In Persian) **(Journal)**
- Rabbani Mohamadieh, R. 2013. Seed vigor tests for predicting seedling emergence of wheat seed lots in field. M.Sc. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. **(Thesis)**
- Sadeghi, H., Shaeidaei, S., Gholami, H. & Yari, L. 2014. Effect of packaging materials, storage duration and conditions on seed germination traits in laboratory and field emergence of soybean (*Glycine max* L.) seedling. *Iranian Journal of Seed Science and Research*. 1(1): 67-82. (In Persian) **(Journal)**

- Seefeldt, S.S., Kidwell, K.K. & Waller, J.E. 2002. Base growth temperatures, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the US Pacific Northwest. *Field Crops Research*. 75(1): 47-52. **(Journal)**
- Wang, R., Bai, Y. & Tanino, K. 2004. Effect of seed size and sub-zero imbibitions temperature on the thermal time model of winterfat (*Eurotia lanata* (Pursh) Moq.). *Environmental and Experimental Botany*. 51(3): 183-197. **(Journal)**
- Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S. & Sadati, S.J. 2010. Cardinal temperatures, response to temperature and range of thermal tolerance for seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*. 3(3): 23-42. (In Persian) **(Journal)**



Does seed quality affect the thermal thresholds of seed germination? Case Study: Farm saved seeds of wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivar Chamran

Abolfazl Derakhshan¹, Seyed Amir Moosavi^{*2}

Received: December 25, 2017

Accepted: January 17, 2018

Abstract

The models based on thermal time concept are useful tools for describing germination in relation to the time and temperature. The aim of this study was to determine the effect of seed quality on the thermal germination thresholds of wheat seed lots. For this purpose, germination of 16 seed lots was evaluated using the thermal time models based on Normal and Log-Normal distributions according to two different approaches. In the first approach, the base temperature (T_b) was assumed constant for all seeds in the population and the variation of germination timing among seeds was attributed to the variation in thermal time (θ_T) required for germination of each given fraction. In the second approach, the θ_T required for germination of the whole population was assumed to be constant and the variation of germination timing among seeds was attributed to the variation of their T_b . Goodness of fit criteria showed that the prediction accuracy of thermal time models in the first approach was more than the second approach. According to the first approach, Log-Normal distribution in comparison with normal distribution gave better and more accurate fits to the germination time courses of wheat seed lots in response to temperature. Seed quality of wheat seed lots significantly affected their maximum germination, cold tolerance threshold, rate and uniformity of germination. Based on predictions of Log-Normal thermal time model, estimates of maximum germination, T_b , thermal time requirement for start of germination and Standard deviation of θ_T distribution ranged from 73 to 99%, 0.26 to 3.68 C, 250.32 to 590.04 C h and 3.74 to 6.49 C h depending on the seed lot, respectively.

Keywords: Base temperature; Log-Normal distribution; Normal distribution; Thermal time model

How to cite this article

Derakhshan, A. and Moosavi, S. A. 2018. Does seed quality affect the thermal thresholds of seed germination? Case Study: Farm saved seeds of wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivar Chamran. Iranian Journal of Seed Science and Research, 5(3): 131-142. (In Persian)(**Journal**)
DOI: [10.22124/jms.2018.2940](https://doi.org/10.22124/jms.2018.2940)

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. Ph.D student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Mollasany, Iran

2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Mollasany, Iran

*Corresponding author: amirmoosavi@ramin.ac.ir