

## مطالعه رابطه میان اندازه و کیفیت بذر با دماهای کاردینال جوانه‌زنی کلزا (*Brassica napus*)

سید عطاءالله سیادت<sup>۱</sup>، سید امیر موسوی<sup>۲\*</sup>، قاسم پرمون<sup>۳</sup>، سمانه کیانی<sup>۴</sup>

۱. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. دانشجوی سابق دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی

۴. دانشجوی سابق دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۶)

### چکیده

به منظور مطالعه رابطه میان اندازه و پیری بذر بر میزان دماهای کاردینال جوانه‌زنی کلزا رقم هیولا ۵۰، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اول، اندازه بذر بر اساس قطر (۱/۴، ۱/۸، ۲ و ۲/۲ میلی‌متر) در نظر گرفته شد. عامل دوم سطوح مختلف کیفیت بذر با استفاده از ۶ سطح پیری تسریع شده (۰، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۰۰٪) و عامل سوم نیز دمای جوانه‌زنی (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس) بود. به منظور برآورد دماهای کاردینال مورد نیاز برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی از مدل‌های بتا، بتای اصلاح شده، دندانه‌ای و دو تکه‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد، مدل بتا نسبت به سایر مدل‌ها سرعت جوانه‌زنی را بهتر برآورد کرده است و پیری و اندازه‌های مختلف بذر بر مدل تغییرات تأثیری نداشت. دمای پایه در اندازه‌های ۱/۴ در حدود ۱/۱۵ درجه سلسیوس بوده و با افزایش اندازه بذر تا ۲/۲ میلی‌متر به ۰/۱۱ درجه سلسیوس کاهش یافت. نوسانات دمای بهینه در حدود ۲۱/۳۷ تا ۲۱/۵۸ درجه سلسیوس و دمای بیشینه ۴۰/۲ تا ۴۰/۸ درجه سلسیوس بود. همچنین مشخص شد، بذرها با اندازه‌های مختلف از نظر ترمال‌تایم دارای تفاوت معنی‌دار نبوده و پیری موجب افزایش دمای پایه جوانه‌زنی و ضریب ترمال‌تایم و کاهش دمای بهینه و بیشینه شد که این می‌تواند ضرورت تأخیر در تاریخ کاشت در مناطق سردسیری و یا کشت زود هنگام در مناطق گرمسیری در این نوع بذرها را نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: اندازه بذر، مدل ترمال‌تایم، مدل بتا، جوانه‌زنی، پیری

## Study the relationship between seed size and aging on cardinal temperatures of Canola

S. A. Siadat<sup>1</sup>, S. A. Moosavi<sup>2\*</sup>, Gh. Parmoon<sup>3</sup>, S. Kiani<sup>4</sup>

1. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
2. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.
3. Former Ph.D student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant breeding, Mohaghegh Ardabili University.
4. Former Ph.D Student of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

(Received: Aug. 04, 2020 – Accepted: Oct. 27, 2020)

### Abstract

To study the relationship between seed size and aging on cardinal temperatures of canola cv. Hyola 50, seed germination an experiment was conducted based on a randomized complete design with three replications. Seeds were classified in to four groups based on their diameter (1.4, 1.8, 2 and 2.2 mm) and considered as the first experimental factor. The Second factor was various durations of accelerated aging treatment (0, 24, 48, 72, 96 and 120 hours (40°C, RH=100%) and the third factor was nine constant temperatures in which seeds were germinated (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 °C). Cardinal temperatures were quantified for germination fraction of 50% using four nonlinear model: beta, beta modify, dent-like and segmented. The result indicted beta model better described responses germination rate to temperature compared with others models and accelerated aging and sizes did not affect the change model base temperature was about 1.15 °C in sizes 1.4 mm and increase in size to 2.2 mm deceased to 0.11 °C. The optimal temperature range was about 21.37 to 21.58 °C and the maximum temperature was 40.2 to 40.8 °C. it was also found that different seed sizes did not have a significant difference in terms of thermal time and deterioration increased the basal germination temperature and thermal time coefficient and reduced the optimal and maximum temperature, that it can show necessity delay in planting date in cold areas or early planting in tropical areas in these types of seeds.

**Keywords:** Seed size, thermal model, beta model, germination, accelerated aging.

\* Email: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

## مقدمه

شناخت ماهیت بذر به عنوان واحد اساسی در تکمیل چرخه حیات بسیاری از گیاهان و همچنین موفقیت آمیز بودن فعالیت‌های زراعی و باغی در کشاورزی ضروری است. دانستن ویژگی‌های فیزیکی، مورفولوژی یک و بیوشیمیایی تشکیل دهنده بذر، باعث کاهش آسیب‌ها و تنش‌های وارد شده به گیاهچه در حال رشد و افزایش موفقیت آمیز بودن استقرار آن می‌شود (Oskouei and Sheidaei, 2017). کیفیت بذر به خصوص در گیاهان روغنی مانند کلزا، تحت تأثیر عوامل متعددی مانند خلوص ژنتیکی، قوه نامیه، جوانه‌زنی، بنیه بذر، سلامت، میزان رطوبت، اندازه و وزن بذر، کیفیت انبارداری و طول عمر می‌باشد (Agrawal, 2005).

پیری بذر به یک سری فرآیندهای بیوشیمیایی در طی انبارداری و نگهداری گفته می‌شود که با خسارت به غشاء و اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی آغاز شده و کاهش کیفیت بذر و قابلیت حیات بذر را به همراه دارد. پیری موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و افزایش گیاهچه‌های غیر نرمال می‌شود (Walters et al., 2010; Kapoor et al., 2010). پیری به صورت کاهش درصد جوانه‌زنی، تولید گیاهچه ضعیف، کاهش بنیه، کاهش قابلیت حیات و در نهایتاً مرگ بذر قابل مشاهده است (Oskouei et al., 2015). پتانسیل انبارداری در بین ارقام و یا در بین تک تک توده‌های یا حتی داخل یک توده بذری و بین تک تک بذرهای متفاوت می‌باشد و پیری در بین همه جمعیت‌ها بذر متفاوت اتفاق می‌افتد (Oskouei and Sheidaei, 2017).

اندازه بذر از عوامل مهم مؤثر بر سبزشدن یکنواخت بوته‌ها بوده و از مهم‌ترین ویژگی کیفی آن به شمار می‌رود که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله گونه گیاهی، رقم و شرایط محیطی هنگام نمو و تشکیل بذر قرار می‌گیرد (Khurana and Sing, 2004; Sadeghi et al., 2011).

مطالعات متعددی طیف گسترده‌ای به منظور بررسی میزان تأثیر گذاری اندازه بذر در شرایط بدون تنش و تنش برای جوانه‌زنی و استقرار بوته‌ها در بسیاری از گیاهان گزارش شده است و برخی گزارش‌ها حاکی از وجود رابطه مثبت و قوی بین حجم بذر، زنده مانی، قدرت بذر و سرعت جوانه‌زنی در شرایط مطلوب محیطی می‌باشد (Nizam, 2011; Moussavi et al., 2011). در بررسی اثر اندازه بذر بر جوانه‌زنی، ظهور، رشد و بقای گیاهچه سنا (*Senna occidentalis* Link) مشخص شد، جوانه‌زنی به اندازه بذر بستگی داشته و بذره‌های درشت دارای بیشترین درصد جوانه‌زنی بودند، اما سرعت جوانه‌زنی در بذره‌های ریز بیشتر از بذره‌های درشت بود (Saeed and Shaukat, 2000). همچنین گزارش شد که بذره‌های کوچک گندم، دارای سرعت جوانه‌زنی بالاتری نسبت به بذره‌های درشت بودند، ولی با افزایش اندازه دانه در یولاف، جوانه‌زنی در شرایط تنش بیشتر می‌شود (Ghorbani et al., 2008).

جوانه‌زنی تا حدود زیادی تحت تأثیر دما و رطوبت قرار می‌گیرد و دما به عنوان مهمترین عامل در موفقیت یا عدم موفقیت جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه دارای نقش بسزایی می‌باشد و می‌توانند برخی از محدودیت‌های زیست محیطی برای توزیع جغرافیایی گونه‌ها را تعیین کنند (Hakansson et al., 2002). اثر دما بر جوانه‌زنی را بر اساس دماهای کاردینال محاسبه می‌کنند که شامل سه دمای پایه ( $T_b$ )، بهینه ( $T_o$ ) و بیشینه ( $T_c$ ) می‌باشد. دمای پایه به کمترین دمایی که در آن جوانه‌زنی آغاز شده و سرعت جوانه‌زنی در حداقل مقدار خود می‌باشد، گفته می‌شود. دمای بهینه نیز دمایی است که در آن بالاترین سرعت جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد این در حالی است که دمای بیشینه نیز بالاترین دمایی که در آن جوانه‌زنی متوقف می‌شود تعریف می‌شود (Alvarado and Bradford, 2002).

پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبزشدن یکی از راهبردهای مناسبی برای مدیریت کشت گیاهان به شمار می‌آید. مدل‌های غیرخطی بسیاری برای توصیف سرعت جوانه‌زنی در برابر

## مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه تأثیر قدرت بذر بر کمی سازی دمای کاردینال جوانه‌زنی کلزا رقم هایولا ۵۰، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. برای تعیین نقش قدرت بذر از اندازه بذر و سطوح مختلف پیری که هر دو تعیین کننده قدرت متفاوت یک توده بذر می‌باشند استفاده شد. در این مطالعه عامل اول آزمایش شامل اندازه‌های مختلف بذر در ۴ سطح (قطر بذر ۱/۴، ۱/۸، ۲ و ۲/۲ میلی‌متر) و عامل دوم سطوح مختلف پیری در شش سطح (۰، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۰۰٪) و عامل سوم نیز دمای جوانه‌زنی در نه سطح (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس) بود.

بذرهای مورد استفاده در این مطالعه از مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول تهیه شد. بذرهای ابتدا برای اندازه بندی از الک‌های با قطرهای ۲/۲ سپس ۲ و بعد از آن ۱/۸ و ۱/۴ میلی‌متری عبور داده شده‌اند و بذرهای باقی مانده در هر الک به عنوان اندازه بذری آن گروه در نظر گرفته شد. مشخصات گروه‌های بذری بدست آمده نیز در جدول ۱ آمده است. بعد از تقسیم بندی بذرها بر اساس اندازه آن‌ها را در ظروف مخصوص پیری که حاوی اندازه بذر مورد نظر و ۴۰۰ میلی لیتر آب قرار داده شده و به طور کامل مهر و موم شده و در آون با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت زمان‌های مورد نظر قرار داده شد (Balouchi et al., 2014). بعد از پایان دوره پیری بذرها از آون خارج شده و برای تعیین دمای کاردینال آن‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

دما پیشنهاد شده است (Hardegree, 2006). انواعی از توابع ریاضی از قبیل دو تکه‌ای، دندانه‌ای، بتا و بتای اصلاح شده برای توصیف رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما و پیش‌بینی مقدار آن‌ها استفاده شده است (Shafi and Price, 2001; Soltani et al., 2006; Parmoon et al., 2015). از مزایای این توابع به مفهوم بیولوژیکی پارامترهای این مدل‌ها می‌توان اشاره کرد. انتخاب مدل مناسب برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما، در تعیین دقیق دماهای کاردینال بسیار مهم است. Parmoon و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی دمای کاردینال ماریتیغال گزارش شد که مدل بتا مدل مناسبتری جهت پیش‌بینی جوانه‌زنی این گیاه بوده و دمای بهینه این گیاه ۲۵ درجه سلسیوس برآورد شد. Savaedi و همکاران (۲۰۱۹) نیز مدل بتا را مدل مناسب جهت تخمین جوانه‌زنی سیاهدانه تحت تیمارهای مختلف پرایمینگ برآورد کردند. Wang و همکاران (۲۰۰۴) نیز در بررسی اندازه بذر بر مدل‌های ترمال تایم Eurotia lanata گزارش کردند، دمای پایه در بذرهای درشت (۴/۴۸-) کمتر از بذرهای ریز (۳/۵۳-) بود و اندازه‌های بذر از نظر ترمال تایم با یک دیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. در بررسی تأثیر پیری بر پاسخ گندم به دماهای مختلف گزارش شد، مدل دندانه‌ای مناسب‌ترین مدل بوده و دمایی پایه، حد پایین، حد بالا و دمای بیشینه برای این گیاه به ترتیب ۲/۲، ۲۸/۶، ۳۸ و ۴۵ درجه سلسیوس تخمین زده شد. همچنین آن‌ها گزارش دادند، تنها بیشترین سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر پیری قرار گرفته و مدل در اثر پیری تغییر پیدا نکرده است (Soltani et al., 2008).

با توجه به مطالب بیان شده هدف از این مطالعه بررسی رابطه میان اندازه بذر و کیفیت آن بر مبنای تفاوت در سطوح پیری بذر و کمی سازی دماهای کاردینال جوانه‌زنی کلزا با استفاده از مدل‌های غیر خطی می‌باشد.

جدول ۱- خصوصیات گروه‌های بذری مورد استفاده در این مطالعه

Table1- Characters such as seed weight, frequency seed lot use in this experiment.

اندازه بذر (میلی متر) Seed size (mm)	وزن تک بذر (میلی گرم) Seed weight (mg)	فراوانی Frequency (%)
1.4	2.58±0.017	6.89
1.8	4.17±0.035	39.31
2.0	6.11±0.043	34.87
2.2	8.40±0.136	18.57

برای برازش این مدل‌ها از نرم افزار سیگما پلات ۱۴ استفاده شد. برای تعیین مدل از ضریب تبیین ( $R^2$ ) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و شاخص آکاییک تصحیح شده (AICc) استفاده شد. شاخص ریشه میانگین مربعات خطا و شاخص آکاییک تصحیح شده طبق روابط زیر محاسبه شد (Anderson and Burnham, 2002).

$$RMSE = 1 - \sqrt{\frac{SS_{\text{residual}}}{n - p - 1}}$$

در این رابطه n تعداد نقاط داده، p تعداد پارامترهای مدل است و SS باقی مانده و مجموع مربعات باقی مانده از مدل رگرسیون است (Archontoulis and Miguez 2015).

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

$$AIC = n \cdot \ln \left( \frac{RSS}{n} \right) + 2K$$

RSS، جمع مربعات باقی مانده؛ n، تعداد نمونه و k، تعداد پارامترهای مدل مورد نظر می‌باشد. تحلیل واریانس داده‌های بدست آمده بعد از آزمون نرمال بودن دادها نیز با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، درصد جوانه‌زنی بذرهای کلزا تحت تأثیر اندازه بذر، پیری تسریع شده، دما، برهمکنش اندازه بذر در پیری، اندازه بذر در دما، پیری در

برای آزمون جوانه‌زنی بذر در دماهای مختلف در ابتدا، بذر با هیپوکلریت سدیم یک در صد به مدت یک دقیقه ضدعفونی شده و بعد از آن به داخل پتری‌های با قطر نه سانتی متری دارای دو لایه کاغذ صافی قرار داده شده و به هر کدام پنج میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و سپس به ژرمیناتور با دماهای مورد نظر منتقل شدند. شمارش جوانه‌زنی به صورت روزانه تا ۱۴ روز ادامه یافته و بعد از پایان دوره جوانه‌زنی اطلاعات بدست آمده برای تعیین دمای کاردینال مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور مدل‌سازی دمای کاردینال بعد از محاسبه متوسط زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی با استفاده از جرمین از آن‌ها برای مدل کاردینال استفاده شد (Soltani *et al.*, 2001).

در برنامه جرمین پارامترهای یادشده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. مدت زمان رسیدن ۵۰ درصد جوانه‌زنی بر اساس فرمول زیر محاسبه شد. در این رابطه N جوانه‌زنی نهایی و  $n_i$  و  $n_j$  نیز تعداد بذرهای جوانه‌زده در مدت زمان  $t_j - t_i$  می‌باشد (Coolbear, 1984).

$$D_{50} = t_i + [(N/2 - n_i) (t_j - t_i)] / (n_j - n_i)$$

جهت تعیین دمای کاردینال از چهار مدل رگرسیون غیرخطی شامل، بتا (Yin *et al.*, 1995)، بتا اصلاح شده (Mwale *et al.*, 1994)، دندانه‌ای (Yan and Hunt, 1999) و دو تکه‌ای (Mobli *et al.*, 2018; Soltani and Sinclair, 2012) استفاده شد (Parmoon *et al.*, 2015; Soltani *et al.*, 2006).

بذرهای کلزا شده به طوری که در بذور پیر نیافته درصد جوانه زنی در دماهای ۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس نیز صورت گرفته است این در حالی بوده که در سطوح بالای پیری (۱۲۰ ساعت) جوانه زنی کلزا در دماهای زیر ۱۰ و بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس صورت نگرفته است (شکل ۱). همچنین مشخص شده است که اندازه بذر در این شرایط موجب کاهش تأثیرات پیری شده و محدوده دمایی جوانه زنی در بذور پیری یافته در اندازه‌های ۲/۲ و ۲ بیشتر از ۱/۸ و ۱/۴ میلی متر بود که این نشان دهنده نقش قدرت بذر در تعیین دامنه دمایی جوانه زنی می‌باشد (شکل ۱).

دما و برهمکنش سه گانه اندازه بذر در پیری در دما قرار گرفت، این در حالی بود که سرعت جوانه زنی علاوه بر اثرات اصلی تحت تأثیر برهمکنش دو گانه اندازه در پیری، اندازه در دما و پیری در دما قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مربوط به روند تغییرات درصد جوانه زنی نشان داد که با افزایش اندازه بذر، تأثیرات پیری بر جوانه زنی کاهش یافته به طوری که شیب تغییرات درصد جوانه زنی با افزایش زمان پیری در اندازه‌های ۲ و ۲/۲ کمتر از اندازه‌های ۱/۴ و ۱/۸ میلی متر بود. همچنین نتایج نشان داد که پیری بذر موجب کاهش محدوده دمایی جوانه زنی

جدول ۲- آنالیز واریانس درصد و سرعت جوانه زنی بذرهای کلزا تحت تاثیر اندازه بذر، پیری تسریع شده و دماهای مختلف.

Table 2 - Results of analysis of variance (mean squares) for germination percentage (GP) and germination rate (GR) of affected by seed size (SS) and accelerated aging (AA) under different levels of temperature.

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Means square	
		درصد جوانه زنی Germination percentage	سرعت جوانه زنی Germination rate
اندازه بذر Seed Size (SS)	3	468.11**	0.048**
پیری تسریع شده Accelerated aging (AA)	5	30841.56**	1.285**
دما Temperature (T)	6	35630.63**	1.621**
SS × AA	15	221.02**	0.045**
SS × T	18	327.82**	0.040*
AA × T	30	1526.39**	0.049**
SS × AA × T	90	136.04**	0.010 <sup>ns</sup>
خطا Error	336	69.18	0.010
ضریب تغییرات Coefficient of Variations (%)	-	11.25	18.24

\*\*، \* به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد

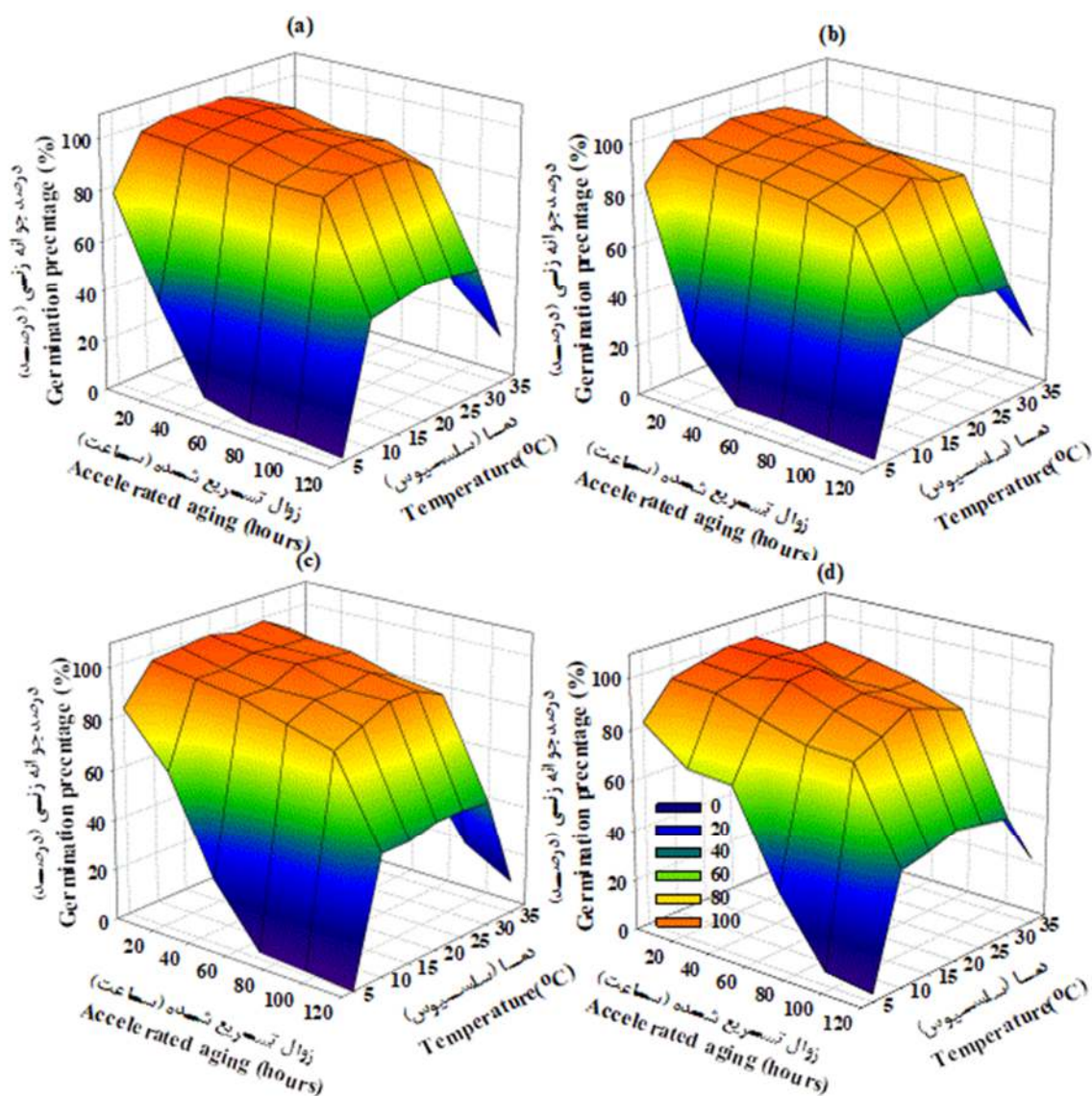
\*\*، \* Significant at 0.01 and 0.05 level of probability, respectively

مشخص شد که جوانه زنی در بذور درشت بیشتر از بذرهای ریز می‌باشد (Saeed and Shaukat, 2000). همچنین گزارش شد که بذرهای کوچک گندم، دارای سرعت جوانه زنی بالاتری نسبت به بذرهای درشت بوده، ولی با افزایش اندازه دانه در یولاف جوانه زنی در شرایط تنش

در بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده که اندازه بذر بر جوانه زنی و استقرار بوته‌ها تاثیر گذار بوده و بین اندازه بذر و میزان زندمانی و قدرت بذر رابطه مثبت وجود دارد (Nizam, 2011; Moussavi *et al.*, 2011). همچنین در مطالعه که بر روی گیاه سنا صورت گرفته است

تخریب (Kapoor *et al.*, 2010; Oskouei *et al.*, 2015). پایداری غشاء، و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، ممانعت در تحریک ذخایر بذر و در نهایت تخریب ساختار پروتئینی و DNA در طی پیری از علت‌های کاهش جوانه‌زنی در اثر پیری می‌باشد (Parmoon *et al.*, 2015; Kibinza *et al.*, 2011).

بیشتر می‌شود (Ghorbani *et al.*, 2008). بالا بودن درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذرهای درشت را به دلیل توانایی دانه‌های بزرگ در تأمین انرژی و مواد مغذی بالاتر برای ظرفیت جوانه‌زنی نسبت می‌دهند (Humara *et al.*, 2002; Vaughton and Ramsey, 1998). همچنین در مطالعات دیگر کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در اثر پیری نیز گزارش شده است (Walters *et al.*, 2010;).



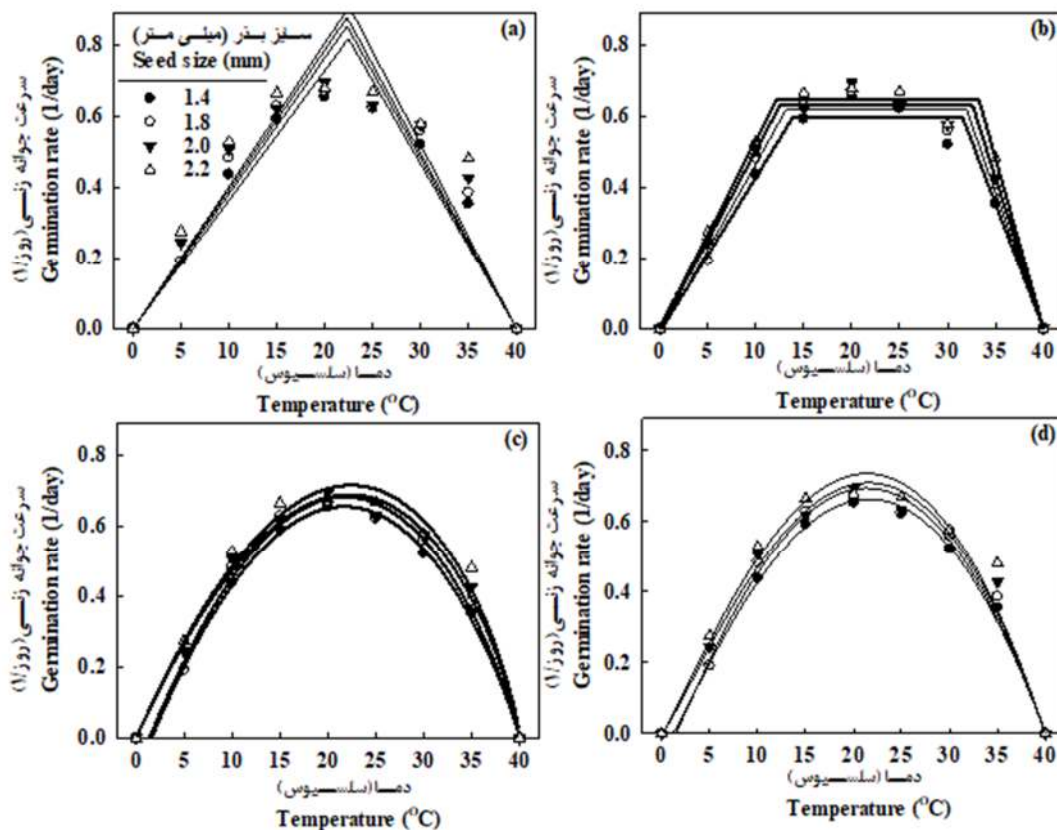
شکل ۱- نمودار سه بعدی تاثیر اندازه بذر و پیری تسریع شده بر درصد جوانه‌زنی کلزا در دماهای مختلف.

a: قطر ۱/۴ میلی متر، b: قطر ۱/۸ میلی متر، c: قطر ۲ میلی متر و d: قطر ۲/۲ میلی متر.

Figure 1- 3D plot of effect seed size and accelerated aging on germination percentage of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds at different constant temperatures. Seed size 1.4 mm (a), 1.8 mm (b), 2.0 mm (c) and 2.2 mm (d).

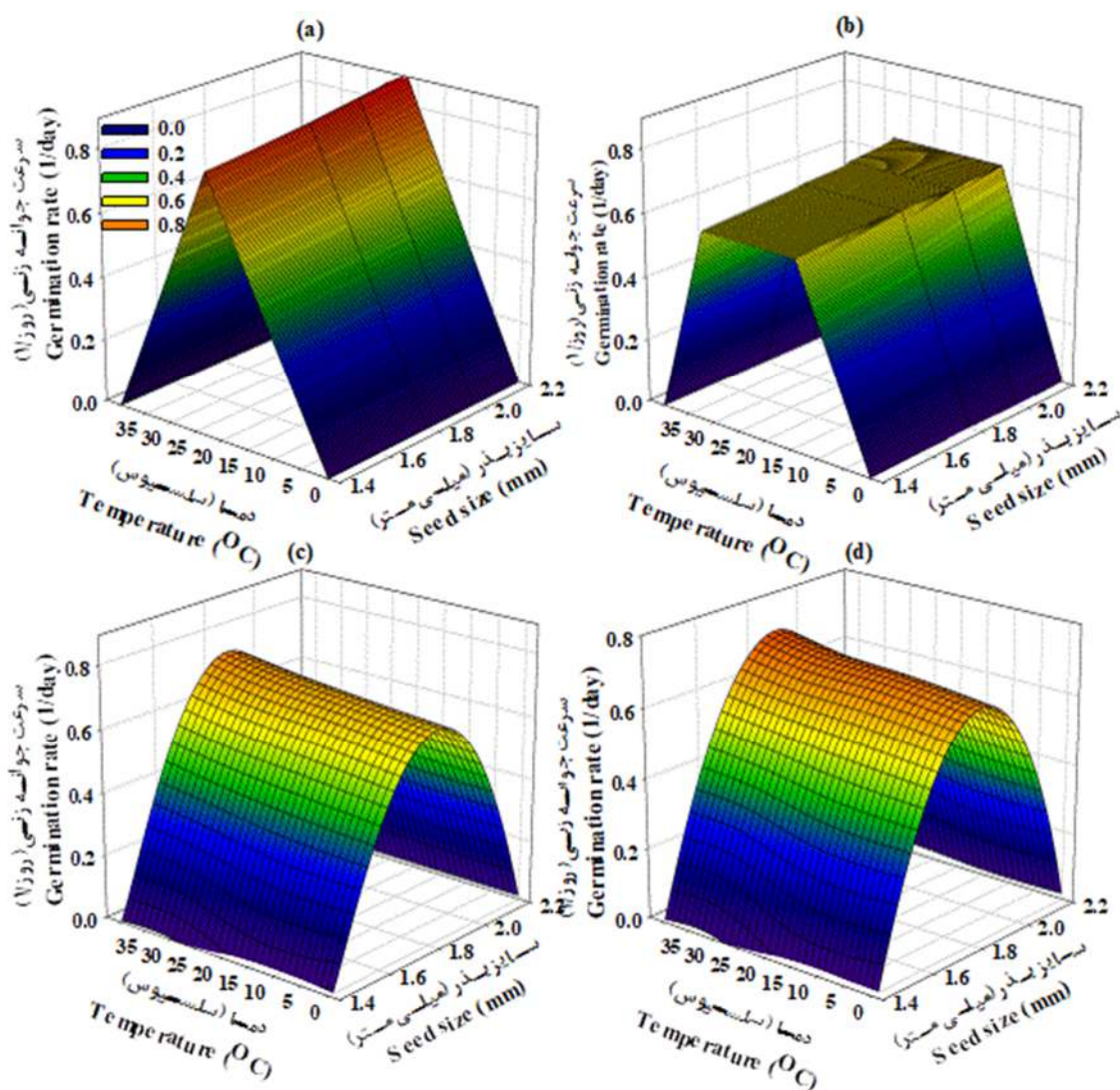
به صورت دویبعدی و سه‌بعدی در شکل ۲ و ۳ و در سطوح مختلف پیری در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. طبق پارامترهای این مدل، دمای پایه جوانه‌زنی کلزا از ۰/۴ تا ۱/۱۵ درجه سلسیوس در اندازه‌های مختلف متغیر است. دمای بهینه نیز در این مدل برای این بذور ۲۲/۳۲ تا ۲۲/۵۶ درجه سلسیوس و دمای بیشینه نیز ۴۰ تا ۴۰/۵ درجه سلسیوس تخمین زده شد. تغییرات دمای پایه در سطوح پیری در این مدل نیز ۰/۳۱ تا ۰/۷۰ درجه سلسیوس، تغییرات دمای بهینه ۲۲/۳۷ تا ۲۳/۳۷ درجه سلسیوس و تغییرات دمای بیشینه نیز ۴۰ تا ۴۰/۶ درجه سلسیوس برآورد شد (جدول ۳).

نتایج مدل‌های غیره خطی کمی‌سازی پاسخ سرعت جوانه‌زنی به دماهای مختلف نشان داد (شکل ۲ تا ۵)، میزان ضریب تبیین ( $R^2$ ) تغییرات سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر اندازه‌های مختلف در مدل دو تکه‌ای بین ۰/۸۲۴ تا ۰/۹۳۰ بود. همچنین تغییرات شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در این مدل نیز ۰/۰۹ تا ۰/۱۵ و تغییرات شاخص آکایک تصحیح شده (AICc) نیز ۳/۱۸ تا ۷/۷۵ بود. تغییرات  $R^2$ ، RMSE و AICc برای پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر پیری در این مدل نیز به ترتیب ۰/۸۳۱-۰/۸۹۸، ۰/۰۹-۰/۱۴ و ۳/۱۸-۷/۶۷ بود (جدول ۳). روند تخمین سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف و اندازه بذر با استفاده از مدل دو تکه‌ای هم



شکل ۲- مقدار پیش‌بینی شده (خطوط) و مشاهده شده (نقاط) سرعت جوانه‌زنی کلزا در دماها و اندازه‌های مختلف با استفاده از مدل‌های دوتیکه (a)، دندانه‌ای (b)، بتا (c) و بتای اصلاح (d) شده.

Figure 2- Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds at different constant temperatures and seed size using segmented (a), Dent- like (b), Beta (c) and Beta modified (d) models.



شکل ۳- نمودار سه بعدی سرعت جوانه زنی کلزا در دماهای و سایزهای مختلف با استفاده از مدل‌های دوتیکه (a)، دندان‌ای (b)، بتا (c) و بتای اصلاح (d) شده.

Figure 3- 3D plot germination rate of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds at different constant temperatures and seed size using segmented (a), Dent-like (b), Beta (c) and Beta modified (d) models.

این مدل نیز دمای پایه جوانه زنی کلزا،  $0.07$  تا  $0.35$  درجه سلسیوس، دمای حد پایین بهینه  $12/17$  -  $13/88$  درجه سلسیوس و دمای حد بالا نیز  $31/56$  تا  $33/27$  درجه سلسیوس متغیر است. همچنین مشخص شد که دمای بیشینه در این مدل نیز در محدوده  $40$  تا  $40/7$  درجه سلسیوس می‌باشد. دمای بهینه در سطوح مختلف پیری نیز بین  $0/16$  تا  $0/38$  درجه سلسیوس، حد پایین بین  $12/10$  تا  $14/34$  درجه سلسیوس و حد بالا نیز بین  $32/48$  تا  $33/33$  درجه

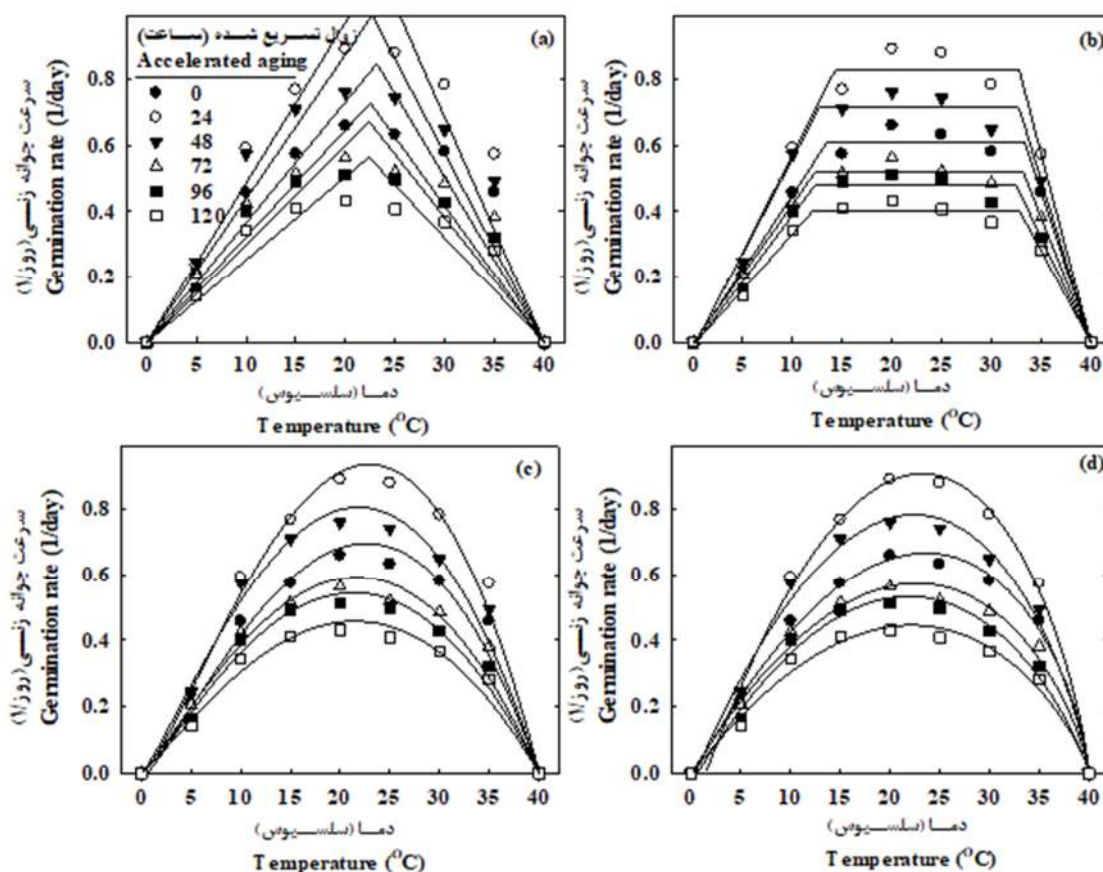
نتایج مدل دندان‌ای نیز نشان داد، این مدل در مقایسه با مدل دو تکه‌ای توانست تغییرات سرعت جوانه زنی را به خصوص در شرایط پیری بهتر پیش‌بینی نماید (شکل ۲ تا ۵). ضریب تبیین این مدل در اندازه‌های مختلف بذر از  $0/981$  تا  $0/989$ ، RMSE از  $0/04$  تا  $0/05$  و AICc نیز از  $4/45$  تا  $6$  متغیر بود. همچنین این ضرایب در سطوح مختلف پیری نیز به ترتیب از  $0/985$  -  $0/992$ ،  $0/03$  -  $0/06$  و  $0/77$  -  $7/46$  تخمین زده شد (جدول ۴). طبق پارامترهای



۰/۹۹۴ و RMSE در محدوده ۰/۰۳ تا ۰/۰۴ و دارای AICc بین ۰/۰۲ تا ۵/۰۳ بود (جدول ۵). طبق پارامترهای تخمین شده این مدل، دمای پایه جوانه‌زنی کلزا در محدوده ۰/۱۲ تا ۱/۶۱ درجه سلسیوس، دمای بهینه بین ۲۱/۶۸ تا ۲۲/۴۲ درجه سلسیوس و دمای بیشینه این بذور نیز ۴۰ تا ۴۰/۵ درجه سلسیوس می‌باشد. محدوده دمایی در شرایط پیری نیز در مورد دمای پایه ۰/۱۲ تا ۰/۶۲ درجه سلسیوس، در مورد دمایی بهینه ۲۱/۸۹ تا ۲۳/۵۹ درجه سلسیوس و در مورد دمای بیشینه ۴۰/۱ تا ۴۰/۵ درجه سلسیوس می‌باشد (جدول ۵).

سلسیوس متغیر بود. دمای بیشینه نیز در این مدل در محدوده ۴۰/۲ تا ۴۰/۷ درجه سلسیوس تخمین زده شد (جدول ۴).

نتایج پرازش مدل بتای اصلاح شده نیز نشان داد که این مدل در مقایسه با دو مدل قبلی (دو تکه‌ای و دندان‌های) توانست تغییرات سرعت جوانه‌زنی کلزا را در دما، اندازه بذر و پیری بهتر تخمین بزند (شکل ۲ تا ۵) به طوری که ضریب تبیین در اندازه‌های مختلف بذر از ۰/۹۵۴ تا ۰/۹۹۶ و RMSE نیز در محدوده ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ و AICc نیز از ۴- تا ۹/۸ متغیر بود (جدول ۵). همچنین مشخص شد، تغییرات ضریب تبیین در سطوح مختلف پیری در محدوده ۰/۹۵۷ تا

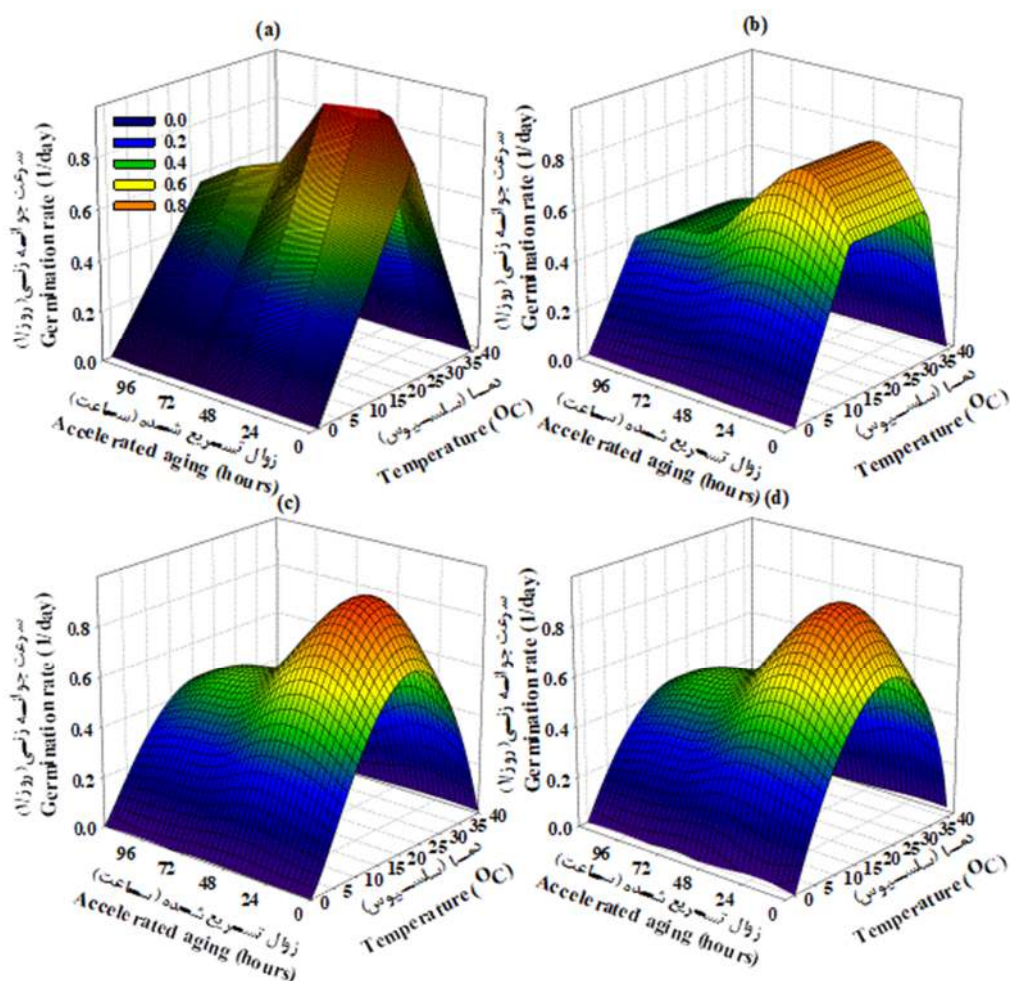


شکل ۴- مقدار پیش‌بینی شده (خطوط) و مشاهده شده (نقاط) سرعت جوانه‌زنی کلزا در دماها و سطوح پیری تسریع شده با استفاده از مدل‌های دوتیکه (a)، دندان‌های (b)، بتا (c) و بتای اصلاح (d) شده.

Figure 4- Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds at different constant temperatures and accelerated aging using segmented (a), Dent-like (b), Beta (c) and Beta modified (d) models.

مختلف و ۰/۹۴۷ تا ۰/۹۸۲ در سطوح مختلف پیری بود. در این مدل RMSE نیز کمترین مقدار را در مقایسه با سه مدل دیگر داشته به طوری که نوسانات آن در اندازه‌های مختلف بذری بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۷ و در سطوح مختلف پیری ۰/۰۳۸ تا ۰/۰۵۷ بود. میزان AICc در این مدل نیز خیلی پایین‌تر از مدل‌های دیگر بود و نوسانات آن از ۹/۴۹- تا ۱/۳ و ۴/۰۵- تا ۰/۲۰- بود (جدول ۶).

نتایج مربوط به مدل بتا نیز نشان داد که این مدل توانست در مقایسه با سه مدل دیگر برازش مناسبتری در مورد تغییرات سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف تحت تأثیر پیری و اندازه بذر داشته باشد (جدول ۶ و شکل‌های ۲ تا ۵). در این مدل ضریب تبیین دارای بالاترین میزان نوسان در هر دو تیمار اندازه بذر و پیری داشت به طوری که محدوده نوسان آن از ۰/۹۴۳ تا ۰/۹۹۴ در اندازه‌های



شکل ۵- نمودار سه بعدی سرعت جوانه‌زنی کلزا در دماهای و سطوح مختلف پیری تسریع شده با استفاده از مدل‌های دو تیکه (a)، دندان‌های (b)، بتا (c) و بتای اصلاح (d) شده.

Figure 5- 3D plot germination rate of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds at different constant temperatures and accelerated aging using segmented (a), Dent- like (b), Beta (c) and Beta modified (d) models.

پیری بین ۰/۱۱ تا ۰/۷۴ درجه سلسیوس می‌باشد. دمای بهینه در این مدل ۲۱/۳۷ تا ۲۱/۵۸ درجه سلسیوس در اندازه‌های مختلف و ۲۱/۱۶ تا ۲۲/۶۴ درجه سلسیوس در سطوح مختلف

طبق پارامترهای تخمین شده مدل بتا مشخص شد که نوسانات دمای پایه در این مدل در اندازه‌های مختلف از ۰/۱۱ تا ۱/۱۸ درجه سلسیوس می‌باشد که این نوسانات در سطوح

پیری بود و در مقایسه با مدل‌های دیگر نوسانات کمتری داشت. دمای بیشینه در این مدل نیز بین محدوده ۴۰/۲ تا ۴۰/۸ و ۴۰ تا ۴۰/۶ درجه سلسیوس بود (جدول ۶).

جدول ۳- پارامترهای تخمین شده از مدل دو تیکه برای بذرهای کلزا تحت تاثیر اندازه بذر و پیری تسریع شده.

Table 3- Estimated parameters for segmented models for of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds effected by seed size and accelerated aging conditions.

تیمار Treatments	دمای کمینه T <sub>b</sub>	دمای بهینه T <sub>o</sub>	دمای بیشینه T <sub>c</sub>	ضریب fo	R <sup>2</sup>	RMSE	AICc
اندازه بذر Seed size (mm)	← درجه سلسیوس (°C) →			-	-	-	-
1.4	0.41±1.82	22.56±2.16	40.0±1.54	1.22±0.09	0.930	0.09	3.18
1.8	1.15±2.20	22.46±1.41	40.5±1.88	1.17±0.10	0.898	0.11	5.21
2.0	0.92±2.80	22.33±1.72	40.3±2.07	1.14±0.11	0.868	0.12	6.31
2.2	0.70±2.42	22.32±1.90	40.2±2.34	1.10±0.12	0.824	0.15	7.75
پیری تسریع شده Accelerated aging (hours)							
0	0.52±2.66	23.16±1.96	40.1±2.09	1.18±0.12	0.857	0.13	6.42
24	0.31±2.30	23.37±1.67	40.2±2.31	0.88±0.08	0.898	0.14	7.67
48	0.61±2.47	22.69±1.89	40.0±2.25	1.01±0.10	0.870	0.14	7.37
72	0.64±2.45	22.52±2.13	40.3±2.08	1.38±0.15	0.831	0.12	5.70
96	0.70±2.63	22.41±1.91	40.4±2.04	1.49±0.14	0.871	0.09	4.03
120	0.76±2.76	22.35±2.06	40.6±1.77	1.77±0.18	0.848	0.09	3.18

جدول ۴- پارامترهای تخمین شده از مدل دندان‌های برای بذرهای کلزا تحت تاثیر اندازه بذر و پیری تسریع شده.

Table 4- Estimated parameters for dent-like models for of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds effected by seed size and accelerated aging conditions.

تیمار Treatments	دمای کمینه T <sub>b</sub>	حد پایین بهینه T <sub>o1</sub>	حد بالایی بهینه T <sub>o2</sub>	دمای بیشینه T <sub>c</sub>	ضریب fo	R <sup>2</sup>	RMSE	AICc
اندازه بذر Seed size (mm)	← درجه سلسیوس (°C) →				-	-	-	-
1.4	0.20±1.02	13.88±1.69	31.56±1.34	40.0±0.71	1.673±0.070	0.981	0.05	6.00
1.8	0.35±0.82	13.21±1.30	31.96±1.05	40.4±0.58	1.610±0.058	0.986	0.05	5.03
2.0	0.05±0.77	12.51±1.10	32.62±0.81	40.3±0.50	1.586±0.054	0.987	0.04	4.45
2.2	-0.07±0.71	12.17±0.97	33.27±0.62	40.7±0.42	1.545±0.048	0.989	0.04	4.45
پیری تسریع شده Accelerated aging (hours)								
0	0.16±0.72	13.53±1.15	33.33±0.59	40.2±0.56	1.64±0.05	0.990	0.04	2.99
24	0.26±0.58	14.34±1.54	33.18±0.54	40.4±0.52	1.21±0.04	0.986	0.06	7.46
48	0.28±0.72	12.69±1.07	32.79±0.74	40.2±0.47	1.40±0.05	0.989	0.05	5.54
72	0.32±0.89	12.31±0.83	32.76±0.83	40.3±0.47	1.92±0.05	0.992	0.03	0.77
96	0.33±0.79	12.30±1.15	32.76±0.75	40.6±0.40	2.08±0.08	0.985	0.04	2.99
120	0.38±0.67	12.10±0.96	32.48±0.94	40.7±0.36	2.48±0.08	0.989	0.03	0.77

جدول ۵- پارامترهای تخمین شده از مدل بتای اصلاح شده برای بذرهای کلزا تحت تاثیر اندازه بذر و پیری تسریع شده.

Table 5- Estimated parameters for Beta modified models for of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds effected by seed size and accelerated aging conditions.

تیمار Treatments	دمای کمیته T <sub>b</sub>	دمای بهینه T <sub>o</sub>	دمای بیشینه T <sub>c</sub>	ضریب fo	ضریب C	R <sup>2</sup>	RMSE	AICc
اندازه بذر Seed size (mm)	← درجه سلسیوس (°C) →			-	-	-	-	-
1.4	1.61±1.73	21.68±0.51	40.0±2.80	1.52±0.03	1.0±0.31	0.996	0.02	-4.00
1.8	1.37±3.92	21.70±1.08	40.2±5.94	1.46±0.05	1.0±0.68	0.981	0.04	9.80
2.0	0.37±6.45	22.42±1.76	40.4±7.09	1.45±0.06	1.0±0.92	0.978	0.04	2.99
2.2	0.12±8.63	22.22±1.25	40.5±9.67	1.40±0.07	1.0±1.23	0.954	0.05	6.41
پیری تسریع شده Accelerated aging (hours)								
0	0.12±8.09	23.59±1.34	40.1±6.93	1.50±0.05	1.0±0.80	0.983	0.03	2.02
24	0.19±8.80	22.69±1.68	40.2±3.82	1.10±0.02	1.0±0.40	0.994	0.03	2.02
48	0.23±5.48	22.44±1.36	40.2±7.49	1.28±0.05	1.0±0.92	0.975	0.04	5.03
72	0.41±6.09	22.21±0.76	40.3±9.21	1.75±0.08	1.0±1.15	0.963	0.04	3.78
96	0.45±2.29	22.17±1.76	40.5±8.33	1.88±0.09	1.0±1.04	0.966	0.04	2.99
120	0.62±6.63	21.89±1.48	40.4±9.93	2.25±0.12	1.0±1.28	0.957	0.03	2.02

جدول ۶- پارامترهای تخمین شده از مدل بتا برای بذرهای کلزا تحت تاثیر اندازه بذر و پیری تسریع شده.

Table 6- Estimated parameters for Beta models for of Rapeseed (*Brassica napus*) seeds effected by seed size and accelerated aging conditions.

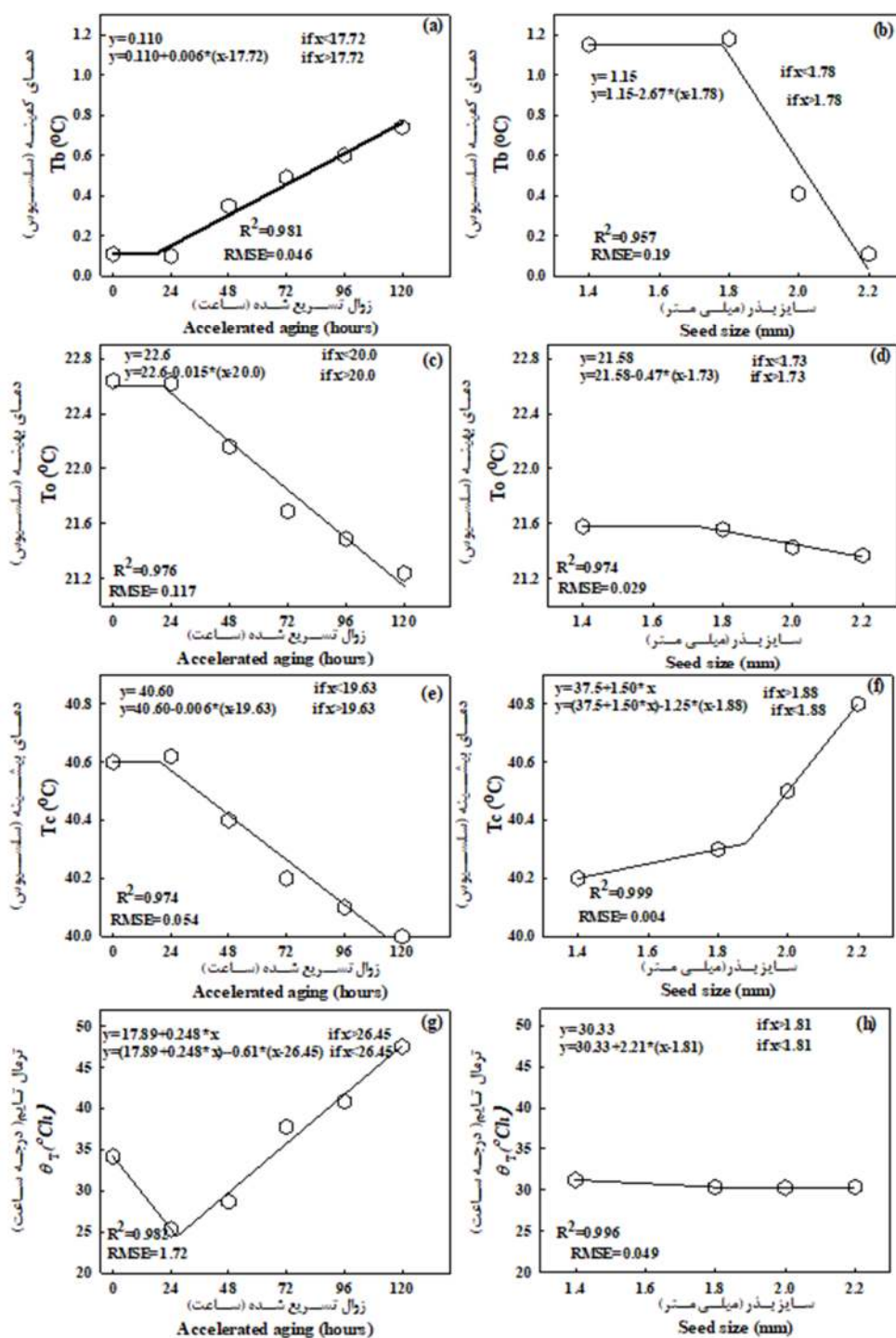
تیمار Treatments	دمای کمیته T <sub>b</sub>	دمای بهینه T <sub>o</sub>	دمای بیشینه T <sub>c</sub>	ضریب fo	R <sup>2</sup>	RMSE	AICc
اندازه بذر Seed size (mm)	← درجه سلسیوس (°C) →			-	-	-	-
1.4	1.15±1.05	21.58±0.45	40.2±0.26	1.51±0.03	0.994	0.02	-9.49
1.8	1.18±1.74	21.56±1.04	40.3±0.47	1.44±0.04	0.982	0.04	-4.05
2.0	0.41±3.03	21.43±1.41	40.5±0.29	1.41±0.05	0.970	0.05	-1.71
2.2	0.11±4.07	21.37±0.79	40.8±0.39	1.36±0.07	0.943	0.07	1.30
پیری تسریع شده Accelerated aging (hours)							
0	0.11±3.56	22.64±1.15	40.6±0.35	1.44±0.06	0.958	0.057	-0.46
24	0.10±3.94	22.65±0.76	40.6±0.40	1.07±0.03	0.982	0.052	-1.36
48	0.35±3.64	22.16±1.05	40.4±0.34	1.24±0.05	0.968	0.058	-0.20
72	0.49±3.10	21.69±1.34	40.2±0.62	1.69±0.08	0.947	0.054	-1.04
96	0.60±2.77	21.49±1.26	40.1±0.19	1.84±0.07	0.969	0.039	-3.47
120	0.74±2.42	21.24±1.07	40.0±0.42	2.19±0.10	0.957	0.038	-4.05

افزایش شدت پیری و افزایش اندازه بذر دمای بهینه جوانه‌زنی کاهش پیدا می‌کند. با توجه به معادله تغییرات این پارامتر مشخص شد تا ۲۰ ساعت پیری تغییر قابل توجه در دمای بهینه کلزا صورت نمی‌گیرد، ولی بعد از این مدت زمان به ازای هر یک ساعت افزایش مدت زمان پیری، ۰/۱۵ درجه سلسیوس از دمای بهینه جوانه‌زنی کاسته می‌شود. همچنین مشخص شد، دمای بهینه تا قطر ۱/۷۳ میلی‌متر تحت تأثیر قرار نگرفته ولی بعد از این مقدار به ازای هر ۱ میلی‌متر افزایش قطر دمای بهینه ۰/۴۷ درجه سلسیوس کاهش پیدا می‌کند (شکل ۶).

روند تغییرت دمای بیشینه نیز نشان داد تا ۱۹/۶۳ ساعت پیری دمای بیشینه تغییر پیدا نکرده ولی بعد از این زمان پیری، به ازای هر یک ساعت پیری، دمای بیشینه ۰/۰۰۶ درجه سلسیوس کاهش پیدا می‌کند. همچنین مشخص شد برخلاف پیری، افزایش در اندازه بذر موجب افزایش محدود دمای بیشینه بذرهای کلزا شد. با توجه به معادله بدست آمده شیب افزایش دمای بیشینه در قطرهای کمتر از ۱/۸۸ ملایم‌تر از قطرهای بالاتر از ۱/۸۸ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۶). همچنین مشخص شد که پیری دارای تأثیرات دوگانه بر میزان ترمال‌تایم بذرهای کلزا می‌باشد. در سطوح کمتر از ۲۶/۴۵ ساعت پیری، ترمال‌تایم لازم برای جوانه‌زنی کاهش یافته به طوری که به ازای هر ساعت تغییر در سطح پیری، ۰/۲۵ درجه ساعت از ترمال‌تایم کاسته می‌شود ولی با شدت یافتن پیری بیشتر از ۲۶/۴۵ ساعت تأثیرات پیری عکس شده و موجب افزایش ترمال‌تایم لازم برای جوانه‌زنی در بذرهای کلزا شد. همچنین نتایج نشان داد که ضریب ترمال‌تایم در اندازه‌های مختلف بذر کمتر تحت تأثیر قرار گرفته و روند تغییرات آن در اندازه‌های مختلف یکنواخت‌تر بوده است، ولی با این وجود با توجه به روند تغییرات مشخص شد که ضریب ترمال‌تایم در بذر درشت بیشتر از بذر ریز بود (شکل ۶).

در مطالعه که بر روی ماریتغال (Parmoon *et al.*, 2015) و سیاهدانه (Savaedi *et al.*, 2019) صورت گرفته نیز گزارش شده است که مدل بتا مدل مناسبی جهت برآورد تغییرات در اثر دما بود. Soltani و همکاران (۲۰۰۸) نیز مدل دندان‌های را مدل مناسب تغییرات گندم در سطوح مختلف پیری بیان کردند. ایشان نیز بیان کردند که پیری نمی‌توانست مدل تغییرات سرعت جوانه‌زنی در طی زمان را تغییر کند که با نتایج ما در این مطالعه مطابقت دارد. Andreucci و همکاران (۲۰۱۶) نیز در کمی‌سازی پاسخ به دما با استفاده از مدل‌های خطی و غیره خطی گزارش کردند برای *B. napus* دمای پایه ۰ تا ۳، دمای بهینه ۲۹ تا ۳۳ و دمای بیشینه ۳۸ درجه سلسیوس می‌باشد. Nikoumaram و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند مدل دندان‌های براپیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی کلزا مناسب می‌باشد و دمای پایه، بهینه حد پایین، بهینه حد بالا و ماکزیموم برای این گیاه ۳/۵۴، ۲۴/۶، ۲۷/۱۸ و ۴۰/۱۷ درجه سلسیوس می‌باشد.

با توجه به روند تغییرات پارامترهای مدل بتا در سطوح پیری و اندازه‌های مختلف مشخص شد که با افزایش پیری بذر دمای پایه جوانه‌زنی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به مدل دو تیکه‌ای برازش شده برای این پارامتر مشخص شد که تا ۱۷/۷ ساعت پیری دمای پایه تغییر قابل توجه نداشت و ثابت بوده ولی بعد از این مدت، به ازای هر یک ساعت افزایش در مدت زمان پیری دمای پایه ۰/۰۰۶ درجه سلسیوس افزایش پیدا می‌کند (شکل ۶). همچنین مشخص شد که تا بذور با اندازه ۱/۷۸ میلی‌متر دمای پایه تفاوت چندانی نداشته است، ولی بعد از آن دمای پایه در بذرهای با اندازه درشت‌تر به شدت کاهش یافته به طوری که به ازای هر ۲/۶۷ میلی‌متر افزایش در قطر بذر، دمای پایه ۱ درجه سلسیوس کاهش پیدا می‌کند (شکل ۶). تغییرات دمای بهینه در اثر پیری و اندازه بذر نیز مشخص نمود که با



شکل ۶- آنالیز رگرسیون تاثیر پیری تسريع شده و اندازه بذر بر دمای پایه، دمای بهینه، دمای بیشینه و ترمال تایم بذور کلزا. تمام رگرسیون‌ها معنی‌دار بوده و از مدل بتا هستند.

Figure 6- Regression analysis to examine the effect of accelerated aging and seed size on Tb, To, Tc and  $\Theta_T$ , Rapeseed (*Brassica napus*) seeds. All regressions are statistically significant and beta models (see Table 4 for more details)

### نتیجه گیری

به طور کلی مشخص شد که مدل بتا مدل مناسبی جهت کمی سازی پاسخ بذرهای کلزا با قدرت بذرهای متفاوت بوده و پیری بذر و اندازه های مختلف نتوانست مدل تغییرات را تغییر بدهد. همچنین مشخص شد که دمای پایه جوانه زنی کلزا در بذر با قطرهای ۱/۴ و کمتر در حدود ۱/۱۵ درجه سلسیوس بوده که با افزایش اندازه بذر تا ۰/۱۱ درجه سلسیوس کاهش پیدا می کند این در حالی بود که نوسانات دمای بهینه (۲۱/۳۷ تا ۲۱/۵۸ درجه سلسیوس) و دمای بیشینه (۴۰/۲ تا ۴۰/۸ درجه سلسیوس) در این اندازه ها کمتر از دمای پایه بود و اندازه های مختلف بذر از نظر ترمال تایم دارای تفاوت قابل توجهی نبودند. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که پیری موجب افزایش دمای پایه جوانه زنی و کاهش دمای بیشینه در کلزا شده بود. این امر می تواند در مدیریت تاریخ کشت نقش به سزایی داشته باشد و کشت زود هنگام در مناطق گرمسیری در پاییز را قابل توصیه نماید.

### سپاسگزاری

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت مادی و معنوی از طرح پژوهشی به شماره ۹۷۱/۳۳ که امکان ارائه نتایج آن به صورت مقاله حاضر فراهم شد را اعلام می دارند.

در مطالعه که بر روی *Eurotia lanata* صورت گرفت گزارش شد که دمای پایه در بذرهای درشت (۴/۴۸-) کمتر از بذرهای ریز (۳/۵۳-) بود و اندازه های بذر از نظر مقدار ترمال تایم لازم برای جوانه زنی با یک دیگر تفاوت معنی داری نداشتند (Wang *et al.*, 2004) در این مطالعه نیز مشاهده شد که بذرهای درشت تر از نظر میزان ترمال تایم مورد نیاز برای جوانه زنی با یک دیگر تفاوت معنی داری نداشتند و این پارامتر تنها تحت تاثیر پیری قرار گرفت. در بررسی دیگر که بر روی گندم صورت گرفته مشخص شد پارامترهای مدل ترمال تایم تحت تاثیر پیری قرار نگرفته و تنها مقدار سرعت جوانه زنی در اثر تیمار پیری تسریع شده کاهش یافت (Soltani *et al.*, 2008). این در حالی بود که در این مطالعه پیری موجب افزایش دمای پایه و کاهش دمای بهینه و بیشینه جوانه زنی کلزا شد. تخریب پایداری غشاء، کاهش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت و تخریب برخی پروتئین های ساختاری در اثر پیری می تواند علت کاهش محدوده دمایی جوانه زنی باشد (Bhattacharjee and Mukherjee 2002; Parmoon *et al.*, 2015; Kibinza *et al.* 2011). همچنین در اثر پیری فعالیت هورمون در بذر مختل شده که این امر موجب کاهش تحرک ذخایر بذر و کاهش سرعت جوانه زنی می شود که این امر افزایش نیاز دمایی برای جوانه زنی یا ترمال تایم در بذرهای را به همراه دارد (McDonald 1999; Parmoon *et al.*, 2015; Soltani *et al.*, 2008).

### Reference

- Agrawal, R. 2005.** Seed technology. Oxford and IBH Publishing Co, New Delhi, India.
- Alvarado, V., and K. J. Bradford. 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25(8): 1061-1069.
- Anderson, D.R., and K. P. Burnham. 2002.** Avoiding pitfalls when using information-theoretic methods. *J. Wildlife Manage.* 912-918.

### منابع

- Andreucci, M. P., D. J. Moot, A. D. Black, and R. Sedcole. 2016.** A comparison of cardinal temperatures estimated by linear and nonlinear models for germination and bulb growth of forage brassicas. *Eur. J. Agron.* 81: 52-63.
- Archontoulis, S.V., and F.E. Miguez. 2015.** Nonlinear regression models and applications in agricultural research. *Agron. J.* 107(2):786-798.
- Balouchi, H.R., F. Bagheri, R. Kayednezami, M. Movahedi Dehnavi, and A.R. Yadavi. 2014.** Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *Brassica napus* L. *J. Plant Res. (Iranian J. Biol.)* 26(4): 397-411. (In Persian)
- Bhattacharjee, S. and A .K. Mukherjee. 2002.** Salt stress induced cytosolute accumulation, antioxidant response and membrane deterioration in three rice cultivars during early germination. *Seed Sci. Technol.* 30: 279-287
- Coolbear, P. 1984.** The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. *J. Exp. Bot.* 35:1609-1617.
- Ghorbani, M.H., A. Soltani, and S. Amiri. 2008.** The effect of salinity and seed size on response of wheat germination and seedling growth. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14: 44-52.
- Håkansson, I., Å. Myrbeck, and A. Etana. 2002.** A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil Tillage Res.* 64(1-2): 23-40
- Hardegree, S. P. 2006.** Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann. Bot.* 97(6):1115-1125.
- Humara, J.M., A. Casares, and J. Majada. 2002.** Effect of seed size and growing media water availability on early seedling growth in *Eucalyptus globulus*. *For. Ecol. Manage.* 167: 1-11.
- Kapoor, R., A. Arya, M.A. Siddiqui, A. Amir, and H. Kumar. 2010.** Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated aging. *As. J. Plant Sci.* 9 (3):158-162.
- Khurana, E. and J.S. Sing. 2004.** Germination and seedling growth of five tree species from tropical dry forest in relation to water stress: impact of seed size. *J. Trop. Ecol.* 20 (4): 385-396.
- Kibinza, S., J. Bazin, C .H. Bailly, J.M. Farrant, F. Corbineau, and H.E. Maarouf-Bouteau. 2011.** Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Sci.* 181: 309-315.
- McDonald, M.B. 1999.** Seed deterioration. Physiology, repair and assessment. *Seed Sci. Technol.* 27: 177-237.
- Mobli, A., A. Ghanbari, and M. Rastgoo. 2018.** Determination of Cardinal Temperatures of Flax-leaf Alyssum (*Alyssum linifolium*) in Response to Salinity, pH, and Drought Stress. *Weed Sci.* 66(4): 470-476.
- Moussavi Nik, M., M. Babaeian, and A. Tavassoli. 2011.** Effect of seed size and genotype on germination characteristic and seed nutrient content of wheat. *Sci. Res. Essays.* 6: 2019-2025.
- Mwale, S.S., S.N. Azam-Ali, JA. Clark, RG. Bradley, and MR. Chatha. 1994.** Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Sci. Technol.* 22: 565-571
- Nikoumaram, S., N. Bayatian, and O. Ansari. 2020.** Quantification of the Priming Effect of Canola (*Brassica napus* cv. Zafar) Response to Temperature Using Nonlinear Regression Models. *Iranian J. Seed Res.* 6(2):111-123.
- Nizam, I. 2011.** Effects of salinity stress on water uptake, germination and early seedling growth of perennial ryegrass. *Afr. J. Biotechnol.* 10(51): 10418-10424.
- Oskouei, B. and S. Sheidaei. 2017.** Seed Deterioration. *Iranian J. Seed Sci. Res.* 4(3):125-143.
- Oskouei, B., E. Majidi Heravan, A. Hamidi, F. Moradi, and A. Moghadam. 2015.** Study of accelerated aging time effect on seed different size and shapes vigor of hybrid corn (*Zea mays*), cv. single cross 704. *Iranian J. Seed Sci. Res.* 2(1): 45-53. (In Persian)
- Parmoon, G., A. Ebadi, S. Janbakhsh, and S.A. Moosav. 2015.** Effects of seed priming on catalase activity and storage reservoirs of aged milk thistle seeds (*Silybum marianum* (L.) Gaertn). *Tari. Bili. Der. J. Agric. Sci.* 21: 363-372.



- Parmoon, G., S.A. Moosavi, H. Akbari, and A. Ebadi. 2015.** Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. *Crop J.* 3(2):145-151.
- Sadeghi, H., F. Khzaei, S. Sheidaei, and L. Yari. 2011.** Effect of seed size on seed germination behavior of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *J. Agric. Biol. Sci.* 6(4): 5-8.
- Saeed, S. and S.S. Shaukat. 2000.** Effect of seed size on germination, emergence, growth and seedling survival of *Senna occidentalis* Link. *Pakistan J. Biol. Sci.* 3: 292-295.
- Savaedi, Z., G. Parmoon, S.A. Moosavi, and A. Bakhshande. 2019.** The role of light and Gibberellic Acid on cardinal temperatures and thermal time required for germination of Charnushka (*Nigella sativa*) seed. *Ind. Crops Prod.* 132: 140-149.
- Shafii, B. and W.J. Price. 2001.** Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *J. Agric. Boil. Environ. Stat.* 6(3): 356-366.
- Soltani, A. and TR. Sinclair. 2012.** Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI; University of Florida, USA.
- Soltani, A., M.J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Daz, and R. Sarparast. 2006.** Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agric. For. Meteorol.* 138(1-4): 156-167.
- Soltani, A., S. Galeshi, E. Zainali, and N. Latifi. 2001.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Technol.* 30: 51-60.
- Soltani, E., B. Kamkar, S. Galeshi, and F. Akram Ghaderi. 2008.** The effect of seed deterioration on seed reserves depletion and heterotrophic seedling growth of wheat. *J. Agric. Sci. Natural Res.* 27: 13-17. (In Persian)
- Soltani, E., S. Galeshi, B. Kamkar, and F. Akramghaderi. 2008.** Modeling seed aging effects on response of germination to temperature in wheat. *Seed Sci. Biotechnol.* 2(1):32-36.
- Vaughton, G. and M. Ramsey. 1998.** Sources and consequences of seed mass variation in *Banksia marginata* (Proteaceae). *J. Ecol.* 86:563-573.
- Walters, C., D. Ballesteros, and V.A. Vertucci. 2010.** Structural mechanics of seed deterioration: Standing the test of time. *Plant Sci.* 179: 565-573.
- Wang, R., Y. Bai, and K. Tanino. 2004.** Effect of seed size and sub-zero imbibition-temperature on the thermal time model of winterfat (*Eurotia lanata* (Pursh) Moq.). *Environ. Exp. Bot.* 51(3):183-197.
- Yan, W. and L.A. Hunt. 1999.** An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Ann. Bot.* 84: 607-614.
- Yin, X., M.J. Kropff, G. McLaren, and RM. Visperas. 1995.** A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agric. Meteorol.* 77: 1-16.

