

## ارزیابی تحمل به تنش‌های دمای بالا و پایین و خفتگی ثانویه ناشی از خشکی در ارقام کلزا

مژده عقیلی لاکه<sup>۱</sup>، الیاس سلطانی<sup>۲\*</sup>، ایرج اله‌دادی<sup>۳</sup>، فاطمه بناکاشانی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان-دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران

۲. استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان - دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران

۳. استاد گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۸

### چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در واکنش به تنش‌های دمایی مختلف بود. با استفاده از دماهای اصلی (کاردینال) شاخص‌های تحمل به دمای بالا و پایین تعیین گردید. سپس، ژنوتیپ‌های مختلف از این نظر ارزیابی شدند. به این منظور آزمایش جوانه‌زنی با ۳ تکرار ۵۰ بذری در درون اتاقک (انکوباتور)های رشد با دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد روی ۱۰ ژنوتیپ کلزا انجام گرفت. در نهایت، پاسخ سرعت جوانه‌زنی به دما با تابع دوتکه‌ای و درصد جوانه‌زنی با تابع بتا توصیف شد. با کمک دماهای اصلی برای درصد و سرعت جوانه‌زنی، تحمل به دماهای بالا و پایین برای ژنوتیپ‌های مختلف تعیین شد. نتایج نشان داد که میانگین دماهای کمینه، بهینه و بیشینه برای درصد جوانه‌زنی به ترتیب برابر ۴/۹۹، ۱۸/۲۳ و ۳۴/۲۰ درجه سانتی‌گراد بود و همچنین میانگین دماهای کمینه، بهینه و بیشینه برای سرعت جوانه‌زنی به ترتیب برابر ۶/۱۸، ۲۴/۷۶ و ۳۹/۴۳ درجه سانتی‌گراد بود. شاخص‌های تحمل به گرما و سرما نیز میان ارقام مختلف متفاوت بودند. رقم اکاپی هم در شاخص تحمل به گرما (۵/۹۵) و هم در تحمل به سرما (۸/۴۸) متحمل‌ترین رقم شناخته شد. رقم ایکس پاور پایین‌ترین تحمل را هم در شاخص‌های تحمل به گرما (۴/۷۸) و هم به سرما (۶/۵۰) داشت. همچنین، پتانسیل القای خفتگی ثانویه ناشی از تنش خشکی در رقم اکاپی (حدود ۴۰٪) در بالاترین مقدار نسبت به سایر ارقام بود. به نظر می‌رسد، ارتباطی بین پتانسیل القای خفتگی ثانویه و تحمل به تنش‌های دمایی وجود داشته باشد که نیاز به مطالعه بیشتر دارد.

واژه‌های کلیدی: تابع بتا، تابع دوتکه‌ای، تنش دما، دماهای کاردینال

### مقدمه

کلزا شده است (McWilliam et al., 1998; Farzaneh et al., 2014). در کلزا مشاهده شده است که دمای پایین‌تر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور فزاینده‌ای باعث کاهش جوانه‌زنی و سبز شدن می‌شود. همچنین، دماهای پایین می‌تواند اثرات نامطلوب بر کلزا پس از سبز شدن داشته باشد (Soltani et al., 2017). انجماد ممکن است باعث از بین رفتن بذور از طریق تأخیر در سبز شدن شود. تشکیل یخ در بافت‌ها و سرمازدگی ممکن است گیاهان را در طول زمستان از بین ببرد و روی استقرار گیاهچه اثر منفی داشته باشد (McWilliam et al., 1998). دماهای بالا نیز می‌توانند کل

گیاه کلزا دامنه سازگاری وسیعی دارد و در بسیاری از مناطق تحت دماهای متغیر به‌خوبی رشد می‌کند. با این حال توانایی ارقام در پاسخ به شرایط نامطلوب متفاوت است (McWilliam et al., 1998). تنش دمایی (دماهای بالا یا پایین) اثرات زیانباری بر گیاهان زراعی دارد. به‌طور کلی، دماهای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد باعث آسیب به جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه کلزا می‌شود. دماهای پایین می‌توانند بر مراحل پس از سبز شدن گیاهان زراعی تأثیر منفی داشته باشند. گاهی مشاهده شده است که دماهای پایین موجب از بین رفتن گیاهچه‌های تازه استقرار یافته، در

ارزیابی ارقام به دماهای پایین و بالا وجود دارد که بر پایه‌ی بررسی‌های مزرعه‌ای یا آزمایشگاهی هستند. بررسی‌های مزرعه‌ای دشوار، ناپایدار و دارای محدودیت فصلی هستند؛ زیرا در شرایط مزرعه، دما و رطوبت نوسان زیادی دارند (Setimela et al., 2005; Seepaul et al., 2011). شرایط محیطی کنترل‌شده برای ارزیابی ارقام به تحمل تنش دمایی پیش از آزمایش‌های مزرعه‌ای توصیه می‌شود. این شرایط منجر می‌شود، رقمی که در واقع قابلیت تحمل به تنش‌های گرما یا سرما را دارد شناسایی شود، زیرا در شرایط کنترل‌شده تنها تنش گرما یا سرما وجود دارد و نوسانی در دما یا رطوبت مشاهده نمی‌شود.

خفتگی<sup>۱</sup> به حالتی اطلاق می‌گردد، که بذرها حتی در شرایط محیطی مناسب برای جوانه‌زنی هم جوانه نمی‌زنند (Weber et al., 2010). گاهی اوقات بذرهایی که در حالت خفتگی نیستند تحت شرایط نامساعد جوی وارد خفتگی ثانویه می‌شوند. مهم‌ترین عواملی که باعث القای خفتگی ثانویه در کلزا می‌شود شامل دمای بالا، تنش خشکی و تنش بی‌هوایی است (Momoh et al., 2002). نتایج نشان داده است که در بین این سه عامل تنش خشکی بیشترین نقش در القای خفتگی ثانویه را دارا است (Momoh et al., 2002). تنش خشکی ابتدای فصل می‌تواند باعث القای خفتگی ثانویه در برخی از ارقام این گیاه شود. در نتیجه درصد سبز شدن کاهش می‌یابد و ممکن است در سال بعد به‌عنوان علف هرز مزرعه ظاهر شوند. در بذور یک گونه گیاهی درجه‌های مختلفی از شدت خفتگی مشاهده می‌گردد: در داخل یک رقم کلزا و یا داخل بذور تولیدی در چند سال مختلف از همان رقم این اختلافات مشاهده می‌گردد (Soltani et al., 2013; Weber et al., 2010). این اختلافات در شدت خفتگی به دلایل ژنتیکی و محیطی مربوط است. در کلزا ارقام مختلف پتانسیل القای خفتگی ثانویه متفاوتی دارند و پیش‌ازین، پتانسیل القای خفتگی در برخی ارقام مورد کاشت در چین (Momoh et al., 2002)، کانادا (Gulden, et al., 2004)، اروپا (Weber et al., 2010) و ایران (Soltani et al., 2017) مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های مختلفی برای ارزیابی تنوع جوانه‌زنی به تنش گرما یا سرما در گیاهان مختلفی مانند کاهو (Coons et al., 1990)، یونجه (Klos and Brummer, 2000a)

ماده خشک تولیدی، تعداد غلاف‌های در حال نمو، تعداد بذرها در غلاف، وزن دانه‌ها و در نهایت عملکرد گیاه را کاهش دهد (Abdul Baki, 1991). همچنین، دمای بالا روی توسعه و بلوغ دانه تأثیر می‌گذارد و در نتیجه عملکرد محصول کاهش می‌یابد (Charles and Harris, 1982; Hanna and Hernandez, 1982). دماهای بالا بر دیگر فرآیندهای غیر زایشی نظیر کارایی مصرف نور یا فتوسنتز (BarTsur et al., 1985)، انتقال آسمیلاتها (Tanaka, et al., 1974)، مقاومت میان‌برگی یا مزوفیلی (Stevens and Rudich, 1987) و غشاهای یاخته‌ای (Chen et al., 1982) تأثیر منفی دارد.

مارشال و اسکویئر (Marshall and Squire, 1996) نشان دادند که دمای کمینه ( $T_b$ ) برای جوانه‌زنی کلزا حدود ۳ درجه سانتی‌گراد بود. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) نشان دادند که دمای کمینه برای جوانه‌زنی کلزا ۲/۷ درجه سانتی‌گراد است و در شرایط خشکی (شرایط خشکی اعمال شده توسط PEG) تا ۶/۷ درجه سانتی‌گراد در پتانسیل آبی ۰/۸- مگاپاسکال افزایش می‌یابد. همچنین متوسط زمان حرارتی برای جوانه‌زنی (TT50) از ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد بر روز در پتانسیل صفر مگاپاسکال، به ۵۷/۹ درجه سانتی‌گراد بر روز در پتانسیل ۰/۸- مگاپاسکال افزایش یافت. برای توصیف رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما از توابع مختلف ریاضی استفاده شده است (Soltani et al., 2006; Soltani et al., 2013; et al., 2008). این توابع شامل پارامترهایی با مفهوم بیولوژیک هستند نظیر دماهای کاردینال و حداکثر میزان جوانه‌زنی یا سبز شدن. بررسی منابع نشان داده است که دانش در مورد دماهای کاردینال (کمینه، بهینه و بیشینه) کاربردهای مختلفی دارند: از جمله ارزیابی ژنوتیپ‌ها برای تحمل به دماهای بالا یا پایین (Bibi et al., 2004; Sitemela et al., 2005; Seepaul et al., 2011) شناسایی مناطق جغرافیایی مناسب رشد و جوانه‌زنی گیاهان و ساخت و توسعه مدل‌های مدیریت گیاهان زراعی (Jame et al., 2004; Soltani et al., 2006; Akramghaderi et al., 2013; Soltani et al., 2008). شناسایی ارقام متحمل به دماهای بالا یا پایین می‌تواند محققان را در اصلاح ارقام جدید یاری کرده و انعطاف‌پذیری انتخاب تاریخ کشت مناسب برای کشاورزان را نیز افزایش دهد. روش‌های مختلفی برای

$$R30 = 1/D30 \quad [۱]$$

برای کمی کردن واکنش سرعت و درصد جوانه‌زنی به دما رابطه زیر استفاده شد (Soltani et al., 2006):

$$R30 = f(T)R_{max} \quad [۲]$$

در این رابطه  $f(T)$  تابع دما است که از صفر در دمای کمینه و بیشینه تا یک در دمای بهینه تغییر می‌کند،  $R_{max}$  بیشترین سرعت جوانه‌زنی در دمای بهینه است. از همین مدل  $G = [f(T) G_{max}]$  برای کمی‌سازی درصد جوانه‌زنی بذرها در پاسخ به دما استفاده شد که در این رابطه  $G$  نشان‌دهنده درصد جوانه‌زنی و  $G_{max}$  حداکثر جوانه‌زنی در دمای مطلوب است. تابع دمایی دوتکه‌ای برای بررسی واکنش سرعت جوانه‌زنی بذرها کلزا به دما و تابع بتا برای بررسی رابطه بین درصد جوانه‌زنی و دما به داده‌ها برازش داده شد (Soltani et al., 2008; Akramghaderi et al., 2006; Soltani et al., 2013a):

$$\begin{aligned} f(T) &= (T - T_b)/(T_0 - T_b) & \text{if } T_b < T \leq T_0 \\ f(T) &= (T_c - T)/(T_c - T_0) & \text{if } T_0 < T < T_c \\ f(T) &= 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{aligned} \quad [۳]$$

تابع بتا:

$$f(T) = \left\{ \left[ \left( \frac{T - T_b}{T_0 - T_b} \right) \left( \frac{T_c - T}{T_c - T_0} \right) \right]^{\alpha} \right\} \quad \text{if } T > T_b \text{ and } T < T_c$$

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \quad [۴]$$

در این رابطه‌ها  $T$  دما،  $T_b$  دمای کمینه،  $T_0$  دمای بهینه و  $T_c$  دمای بیشینه است. پارامترهای مدل توسط رویه‌ی NLIN در SAS محاسبه شدند (Soltani, 2007). برای ارزیابی ارقام برای مقاومت به گرما و سرما، شاخص‌های مقاومت به گرما (H-CTRI) و سرما (C-CTRI) برای هر ژنوتیپ و هر تکرار به صورت زیر محاسبه شدند (Seepaul et al., 2011):

Setimela et al., 2005; Satia et al., 2000b)، سورگوم (Tuck et al., 2008)، سویچ گراس (2011)، پنبه (Seepaul et al., 2011) و کنجد (Soltani et al., 2015) انجام شده است. هرچند مطالعات مختلفی روی تعیین دماهای کاردینال در کلزا صورت گرفته است، ولی اطلاعات زیادی روی ارزیابی تحمل به تنش‌های دمایی روی ارقام کلزا وجود ندارد. از طرفی اطلاعات محدودی روی القای خفتگی ثانویه در کلزا وجود دارد. بدین منظور هدف از این تحقیق: (۱) تعیین دماهای کاردینال (۲) ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های مختلف به دماهای بالا یا پایین و (۳) مطالعه‌ی وجود خفتگی ثانویه در ارقام مورد کشت در ایران و پتانسیل القای آن در شرایط خشکی و تاریکی در ارقام مختلف بود.

### مواد و روش‌ها

آزمایش جوانه‌زنی در سال ۱۳۹۶ در پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار ۵۰ بذری در درون اتاقک‌های رشد آزمایشگاه تکنولوژی بذر با دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد (Squire, 1999; Seefeldt et al., 2002; Soltani et al., 2013) روی ۱۰ ژنوتیپ (R15، ناتالی، ایکس پاور، طلایه، RGS003، هیدرومل، ساری گل، اکاپی، لیکورد و KS7) صورت گرفت. بذرها درون ظرف‌های پتری‌دیش و روی کاغذ صافی قرار داده شدند (بستر بذر) و سپس درون اتاقک رشد و در دماهای موردنظر قرار گرفتند. در طول آزمایش بازدید از بذرها یکبار در روز صورت گرفت و معیار بذرها جوانه‌زده، خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود (Soltani et al., 2002). در طول آزمایش در صورت نیاز آب مقطر به بذور اضافه شد. برای محاسبه‌ی درصد و سرعت جوانه‌زنی از برنامه‌ی Germin<sup>v2</sup> (Soltani et al., 2013b) استفاده شد. این برنامه مدت‌زمان جوانه‌زنی تا D10 (مدت‌زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی)، D50 (مدت‌زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی) و D90 (مدت‌زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی) را محاسبه می‌کند به دلیل این که کمترین درصد جوانه‌زنی بین ارقام ۳۰ درصد بود، زمان تا ۳۰ درصد جوانه‌زنی برای محاسبه‌ی میزان جوانه‌زنی (R30) استفاده شد. میزان جوانه‌زنی (بر ساعت) از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Soltani et al., 2006):

$$H - CTRI = (MSG\ Tbs/MSG\ TbMax) + (MSG\ Tos/MSG\ ToMax) \\ + (MSG\ Tcs/MSG\ TcMax) + (GR\ Tbs/GR\ TbMax) \quad [5] \\ + (GR\ Tos/GR\ ToMax) + (GR\ Tcs/GR\ TcMax)$$

$$C - CTRI = (MSG\ TbMin/MSG\ Tbs) + (MSG\ ToMin/MSG\ Tos) \\ + (MSG\ TcMin/MSG\ Tcs) + (GR\ TbMin/GR\ Tbs) \quad [6] \\ + (GR\ ToMin/GR\ Tos) + (GR\ TcMin/GR\ Tcs)$$

اطمینان (CL) استفاده گردید. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دما، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر درصد و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج ارائه‌شده در شکل (۱) نشان می‌دهد که جوانه‌زنی بیشتر ژنوتیپ‌ها در دماهای پایین دیرتر آغاز شد و دیرتر به پایان رسید. با افزایش دما جوانه‌زنی زودتر آغاز شد و دیرتر به پایان رسید. البته افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد نیز باعث تأخیر در آغاز و پایان جوانه‌زنی شد (شکل ۱).

### کمی‌سازی رابطه درصد جوانه‌زنی و دما

با توجه به معنی‌دار بودن اثر دما بر درصد جوانه‌زنی (جدول ۱) جهت بررسی اثر دما از تجزیه رگرسیون غیرخطی استفاده شد. نتایج ارائه‌شده در جدول (۲) و شکل (۲) پارامترهای مدل برای توصیف روابط بین درصد جوانه‌زنی و درجه حرارت برای ارقام مختلف را نشان می‌دهد. همچنین، طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۲) و شکل (۲) مقادیر R2 از ۰/۹ (ارقام ناتالی و ایکس پاور) تا ۰/۹۹ (ارقام طلایه و هیدومل) با میانگین ۰/۹۵ تغییر داشت که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل برای تمام ارقام است. مقادیر دمای کاردینال و Gmax (حداکثر درصد جوانه‌زنی) در میان ارقام متفاوت بود (جدول ۲ و شکل ۲). بر اساس تابع بتا برآورد Tb از ۴/۹۶ درجه سانتی‌گراد (ایکس پاور) تا ۵ درجه سانتی‌گراد در بیشتر ارقام مشاهده شد. همچنین TO از ۱۵ درجه سانتی‌گراد (RGS) تا ۲۱/۸۳ درجه سانتی‌گراد (اکاپی) و Tc از حدود ۳۲ درجه سانتی‌گراد برای اکثر ارقام تا ۴۲ درجه سانتی‌گراد برای ارقام R15 و اکاپی بود. مقدار Gmax به‌طور میانگین ۸۳/۳۶ درصد در میان ارقام مختلف بود و دامنه آن از ۸۴/۰۹ درصد (R15) تا ۹۸/۶۴ درصد (KS7) تغییر داشت. ضریب  $\alpha$  از ۰/۰۴ در ارقام هیدرومل و KS7 تا ۰/۸۷ (اکاپی) متغیر بود (جدول ۲ و شکل ۲).

که در آن  $T_c$  و  $T_o$ ،  $T_b$  به ترتیب نشان‌دهنده دمای کمینه، بهینه و بیشینه هستند، برای هر دو میانگین جوانه‌زنی بذر (MSG) و سرعت جوانه‌زنی (GR)، Min و Max به ترتیب حداکثر و حداقل جوانه‌زنی مشاهده شده بین ارقام و S مقدار مخصوص دمای کاردینال برای رقم است.

در آزمایش دیگری پتانسیل ارقام مختلف برای القای خفتگی ثانویه بررسی شد. به این منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد که در آن بذر ۱۰ رقم کلزا در شرایط تنش خشکی قرار گرفت تا درصد القای خفتگی به دلیل خشکی برای هر رقم اندازه‌گیری شود. برای انجام این آزمایش از روش وبر و همکاران (Weber et al., 2010) استفاده شد که در آن بذرهای برای مدت ۱۴ روز در پتانسیل خشکی ۱۵ - بار (ایجاد تنش خشکی با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰) قرار گرفت بذرهای کلزا در این پتانسیل جوانه نخواهند زد. برای این عمل لازم است بذرهای در شرایط تاریکی، دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تحت تنش خشکی قرار گیرند. بعد از طی ۱۴ روز بذرهای به محیط آب مقطر منتقل شدند و ۱۴ روز دیگر در شرایط تاریکی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. طی این دوره بذرهایی که در آن‌ها خفتگی ثانویه القا نشده باشد، جوانه خواهند زد و بذرهای باقیمانده یا خفتگی دارند یا بذر مرده هستند. برای تشخیص بذرهای دارای خفتگی از بذرهای مرده، بذرهای باقیمانده برای مدت ۷ روز در شرایط دمای متناوب (۱۲ ساعت ۴ درجه سانتی‌گراد/ ۱۲ ساعت ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و نور (۱۲ ساعت نور/ ۱۲ ساعت تاریکی) قرار گرفتند. بذرهایی که دارای خفتگی هستند تحت این شرایط جوانه خواهند زد. به این ترتیب می‌توان درصد بذرهای جوانه‌زده، درصد بذرهای دارای خفتگی ثانویه و بذرهای مرده را تعیین نمود. در نهایت درصد القای خفتگی ثانویه برای هر رقم محاسبه شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (v 9.2) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، برای مقایسه میانگین خفتگی بذر از روش LSD با سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد و برای مقایسه شاخص تحمل به دما نیز از حدود

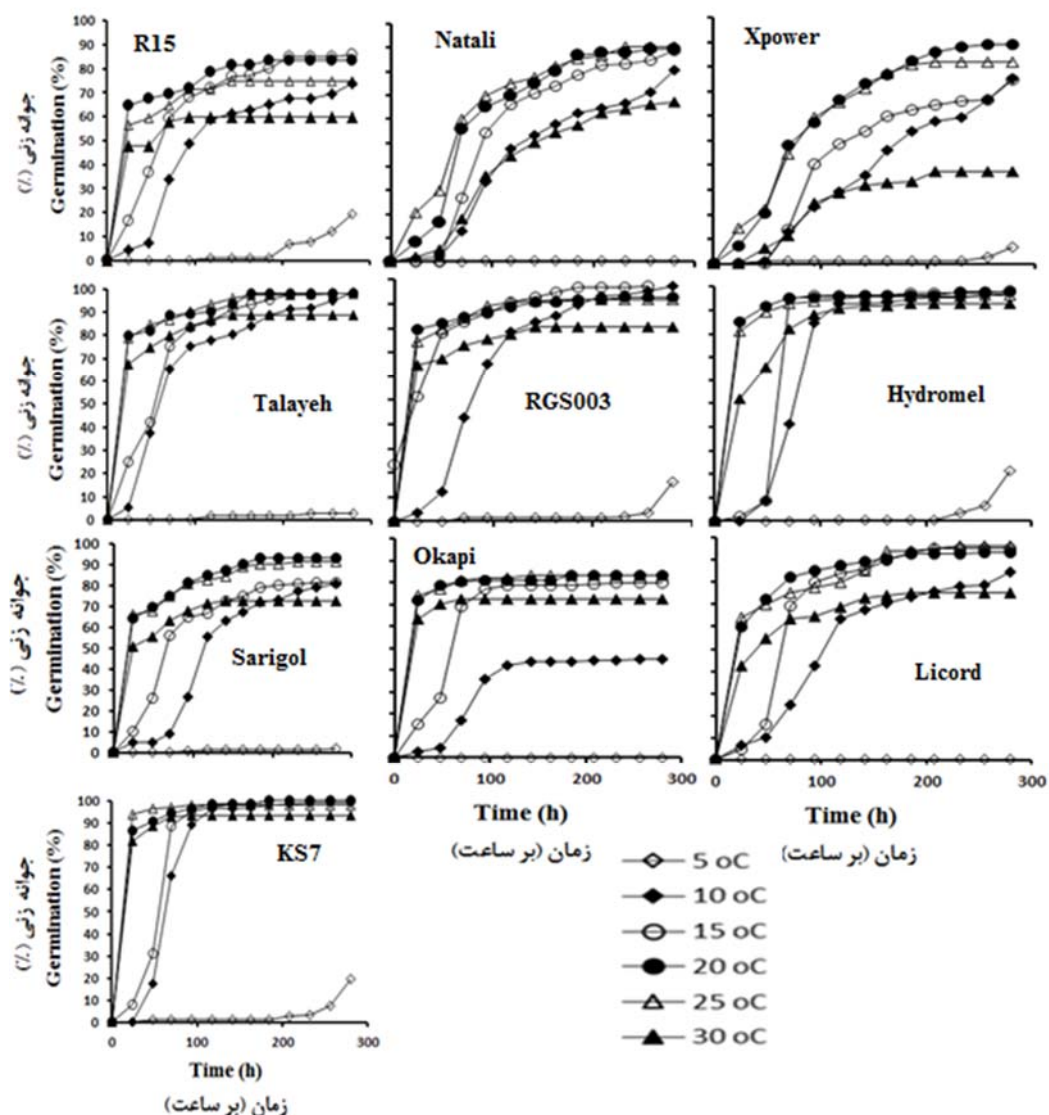
جدول ۱. درجه آزادی و میانگین مربعات برای درصد و سرعت جوانه‌زنی

Table 1. DF and Mean Square for germination rate and percentage.

Source of Variance	منبع تغییر	df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate
Cultivar	رقم	9	1417.39**	0.0068**
Temperature	دما	5	31097.84**	0.0442**
Interaction	اثر متقابل	45	198.28**	0.0011**
Error	خطا	120	52	0.00004
CV(%)		-	9.84	13.22

\*\* Significant at the 1% of probability level

\*\* معنی‌داری در سطح ۱ درصد



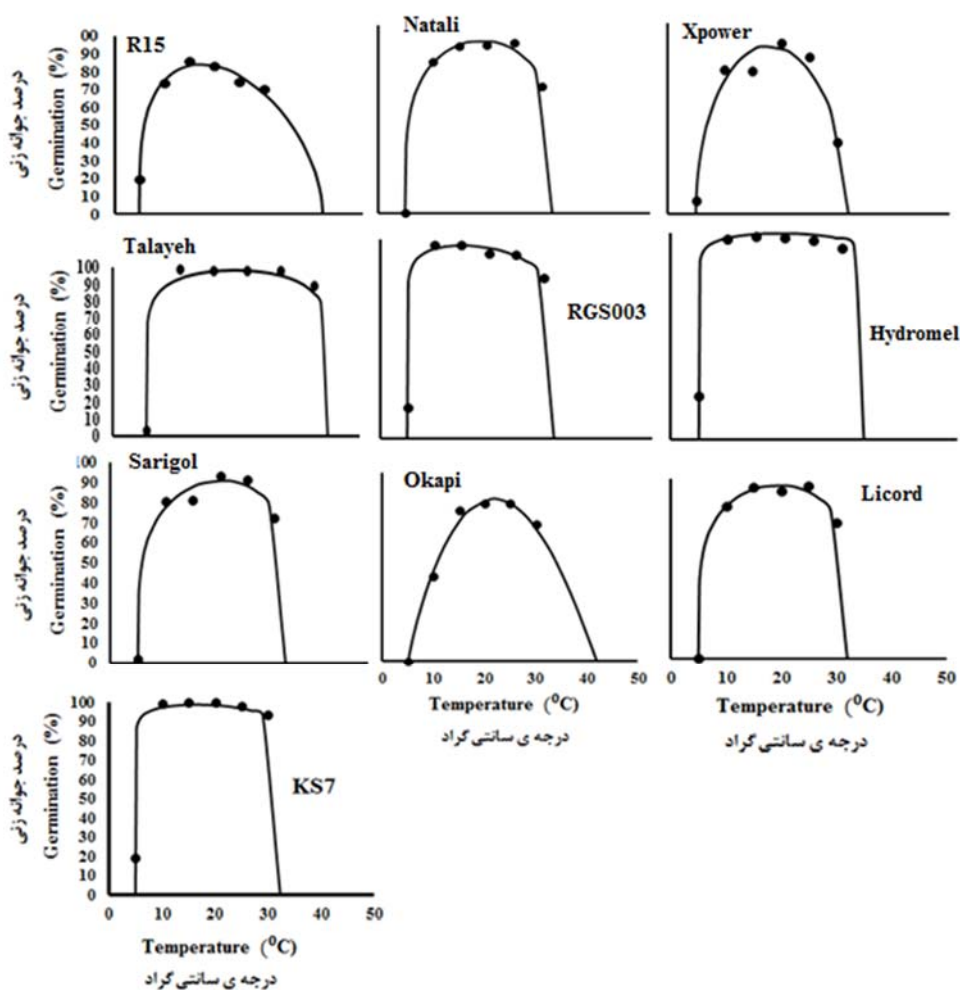
شکل ۱. جوانه‌زنی تجمعی ارقام کلزا در دماهای مختلف.

Fig. 1. Cumulative germination of oilseed rape cultivars at different temperatures.

جدول ۲. برآورد دمای کمینه، بهینه و بیشینه ( $T_b$ ،  $T_o$  و  $T_c$ )، حداکثر درصد جوانه‌زنی ( $G_{max}$ ) و پارامتر شکل ( $\alpha$ ) با استفاده از تابع بتا. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای هر رقم کلزا نشان داده شده است.

Table 2. Estimates of base, optimum and ceiling temperatures ( $T_b$ ,  $T_o$  and  $T_c$ , respectively), maximum germination percentage ( $G_{max}$ ), and the shape parameter ( $\alpha$ ) using beta function. Coefficients of determination ( $R^2$ ) for each oilseed rape cultivar are indicated.

Cultivars	ارقام	$T_b$	$T_o$	$T_c$	$G_{max}$	A	$R^2$
R15	R15	4.97 (0.0836)	17.39 (1.332)	42.00 (0.00)	84.09 (2.962)	0.29(0.1263)	0.92
Natali	ناتالی	5.00 (1.452E-6)	19.10 (1.824)	32.00 (0.00)	91.80 (4.572)	0.26 (0.1457)	0.90
Xpower	ایکس پاور	4.96 (0.0945)	17.95 (1.049)	32.00 (0.00)	87.87 (4.234)	0.50 0.1457	0.90
Talayeh	طلایه	5.00 (1.73E-14)	18.16 (1.6303)	32.00 (0.00)	98.53 (7.4281)	0.10 (0.1226)	0.99
RGS003	RGS003	5.00 (5.45E-11)	15.00 (0.00)	32.00 (0.00)	96.79 (1.763)	0.07 (0.160)	0.97
Hydromel	هیدرومل	5.00 (4.04E-14)	16.36 (2.483)	33.77(11.162)	97.99 (1.0835)	0.04 (0.0516)	0.99
Sarigol	ساریگل	5.00 (0.00015)	20.42 (1.1991)	32.00 (0.00)	91.07 (2.9826)	0.25 (0.0830)	0.95
Okapi	اکاپی	5.00 (0.0039)	21.83 (0.838)	42.00 (0.00)	85.92 (3.1879)	0.87 (0.162)	0.94
Licord	لیکورد	5.00 (7.57E-13)	19.54 (1.0056)	32.00 (0.00)	96.34 (2.472)	0.233 (0.0654)	0.97
KS7	KS7	5.00 (7.12E-14)	16.59 (4.5906)	32.32 (12.24)	98.64 (2.1811)	0.04 (0.093)	0.98



شکل ۲. واکنش درصد جوانه‌زنی ارقام کلزا به دما با استفاده از تابع بتا.

Fig. 2. The response of germination percentage of oilseed rape cultivars to temperature using beta function.

### کمی‌سازی رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما

اثر دما بر سرعت جوانه‌زنی ارقام معنی‌دار بود. مدل دوتکه‌ای توانست به خوبی رابطه سرعت جوانه‌زنی ارقام کلزا در پاسخ به درجه حرارت را توصیف کند (جدول ۳ و شکل ۳). مقادیر  $R^2$  از  $0/۸۱$  (هیدرومل) تا  $0/۸۸$  (طلایه) تغییر داشت و میانگین آن‌ها  $0/۸۵$  بود. دمای کاردینال برای سرعت جوانه‌زنی در بین ارقام بسیار متفاوت بود. مقدار  $T_b$  از  $۳/۰۶۲$  درجه سانتی‌گراد (ناتالی) تا دمای  $۷/۱۳$  درجه سانتی‌گراد (ساریگل) با میانگین

$۶/۱۸$  درجه سانتی‌گراد تغییر داشت. مقدار  $T_0$  از  $۲۳/۴۲$  درجه سانتی‌گراد (ایکس پاور) تا دمای  $۲۶/۸۲$  درجه سانتی‌گراد (KS7) متغیر بود. مقدار  $T_c$  نیز از دمای  $۳۲/۲۳$  درجه سانتی‌گراد (ایکس پاور) تا دمای  $۴۲$  درجه سانتی‌گراد (بیشتر ارقام) متغیر بود و میانگین آن در حدود  $۴۰$  درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۳ و شکل ۳). میانگین  $R_{max}$  برای ارقام  $0/۱۲$  (بر ساعت) بود و دامنه آن در میان ارقام متفاوت بود. کمترین مقدار  $R_{max}$   $0/۰۲۲$  (بر ساعت؛ ایکس پاور) و بیشترین مقدار آن  $0/۲۴$  (بر ساعت؛ ناتالی) بود (جدول ۳ و شکل ۳).

جدول ۳. برآورد دمای کمینه، بهینه و بیشینه ( $T_b$ ،  $T_0$  و  $T_c$ ) و حداکثر سرعت جوانه‌زنی ( $R_{max}$ ) با استفاده از تابع دوتکه‌ای. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای هر رقم کلزا نشان داده شده است.

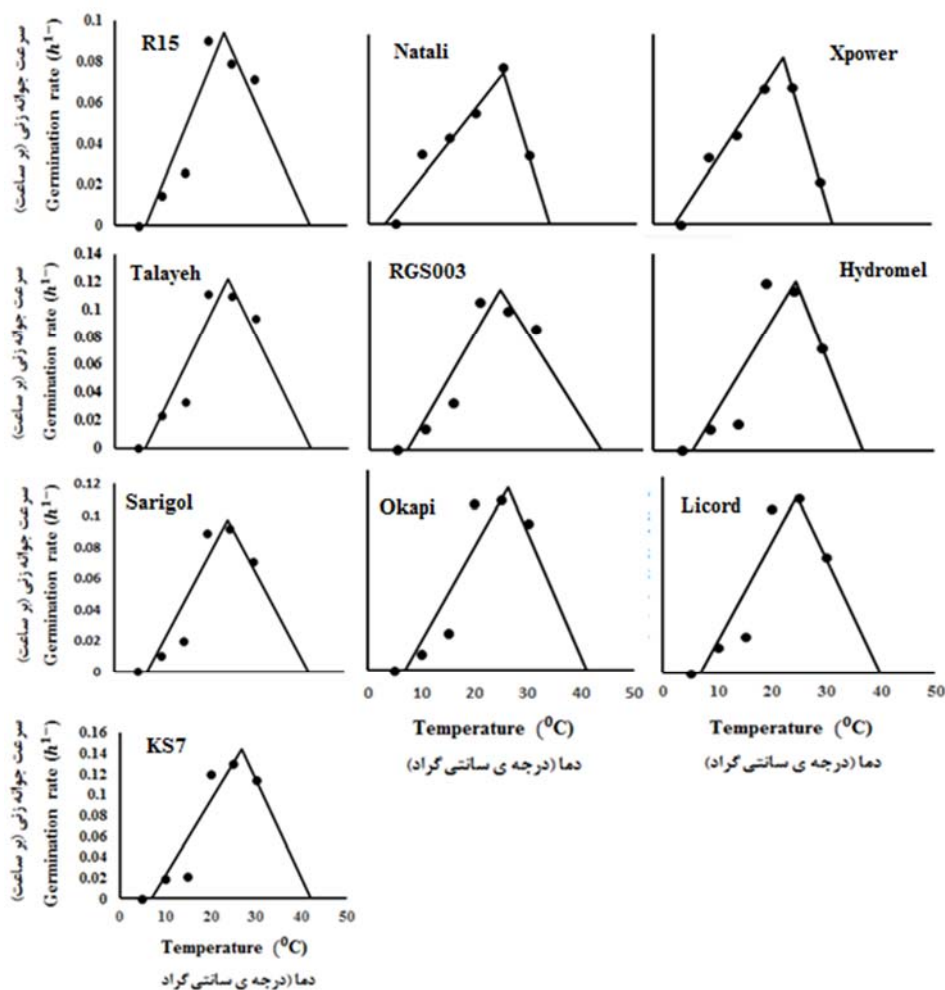
**Table 3. Estimates of base, optimum and ceiling temperatures ( $T_b$ ,  $T_0$  and  $T_c$ , respectively), and maximum rate of germination ( $R_{max}$ ) using segmented function. Coefficients of determination ( $R^2$ ) for each oilseed rape cultivar are indicated.**

Cultivar	رقم	$T_b$	$T_0$	$T_c$	$R_{max}$	$R^2$
R15	R15	6.70 (1.153)	23.45 (1.1905)	42/00 (0.00)	0.09 (0.0063)	0.83
Natali	ناتالی	3.06 (1.480)	25.07 (-)	33.86 (1.268)	0.24 (0.00148)	0.85
Xpower	ایکس پاور	4.00 (1.279)	23.42 (0.764)	32.23 (0.965)	0.02 (0.0013)	0.87
Talayeh	طلایه	6.40 (1.0535)	24.23 (1.0249)	42/00 (0.00)	0.12 (0.007)	0.88
RGS003	RGS003	6.72 (1.0530)	23.79 (1.078)	42/00 (0.00)	0.12 (0.0072)	0.86
Hydromel	هیدرومل	6.93 (1.3594)	25.18 (-)	37.27 (3.6807)	0.12 (0.10)	0.81
Sarigol	ساریگل	7.13 (1.1278)	24.61 (1.1813)	42/00 (0.00)	0.09 (0.0065)	0.86
Okapi	اکاپی	7.05 (1.1545)	26.39 (-)	41/00 (7.154)	0.11 (0.0086)	0.86
Licord	لیکورد	6.87 (1.164)	24.66 (1.2195)	40/00 (5.099)	0.09 (0.0068)	0.86
KS7	KS7	6.97 (1.1096)	26.82 (-)	42/00 (0.00)	0.14 (0.0087)	0.87

القای خفتگی ثانویه مربوط به رقم اکاپی (۴۳ درصد) بود و کمترین پتانسیل در ارقام ایکس پاور و طلایه مشاهده گردید (شکل ۶).

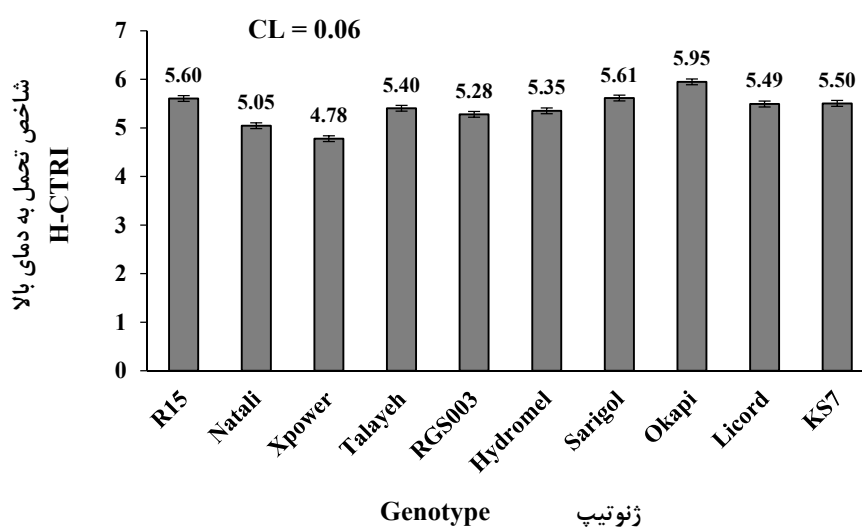
در بذرهایی که خفتگی ندارند، دما عامل اصلی تنظیم‌کننده جوانه‌زنی است به‌ویژه در اراضی زراعی که در ابتدای فصل رشد نور، اکسیژن، مواد غذایی و رطوبت به‌اندازه کافی فراهم است (Steinmaus et al., 2000). دامنه دمایی جوانه‌زنی بذور توسط دمای کاردینال مشخص می‌شود (Seefeldt et al., 2002; Jame and Cutforth, 2004; Ghaderi et al., 2008). برآورد دماهای کاردینال در غربالگری تحمل گیاهان به دماهای کم یا زیاد اهمیت دارد (Bibi et al., 2004; Setimela et al., 2005; Seepaul et al., 2011). گزارش‌هایی در خصوص تعیین

ارزیابی تحمل ارقام به سرما و گرما در شکل (۴ و ۵) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار شاخص تحمل به گرما ( $H-CTRI$ ) در رقم اکاپی (۵/۹۵) و رقم R15 (۵/۶۰) مشاهده شده که به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام در برابر گرما شناخته شدند و رقم ایکس پاور (۴/۷۸) کمترین تحمل را در برابر گرما داشت (شکل ۴). همچنین، بیشترین مقدار شاخص تحمل به سرما ( $C-CTRI$ ) در ارقام اکاپی (۸/۴۸)، ساریگل (۸/۰۵) و R15 (۷/۹۷) مشاهده شد که می‌توان گفت به ترتیب تحمل بیشتری را نسبت به سرما در بین سایر ارقام داشتند و ارقام ایکس پاور (۶/۵۰) و ناتالی (۶/۷۲) دارای کمترین تحمل به سرما بودند (شکل ۵). نتایج ارزیابی پتانسیل القای خفتگی ثانویه در ارقام مختلف کلزا نشان می‌دهد که در میان ژنوتیپ‌ها بیشترین پتانسیل



شکل ۳. واکنش سرعت جوانه‌زنی ارقام مختلف کلزا به دما با استفاده از تابع دوتکه‌ای

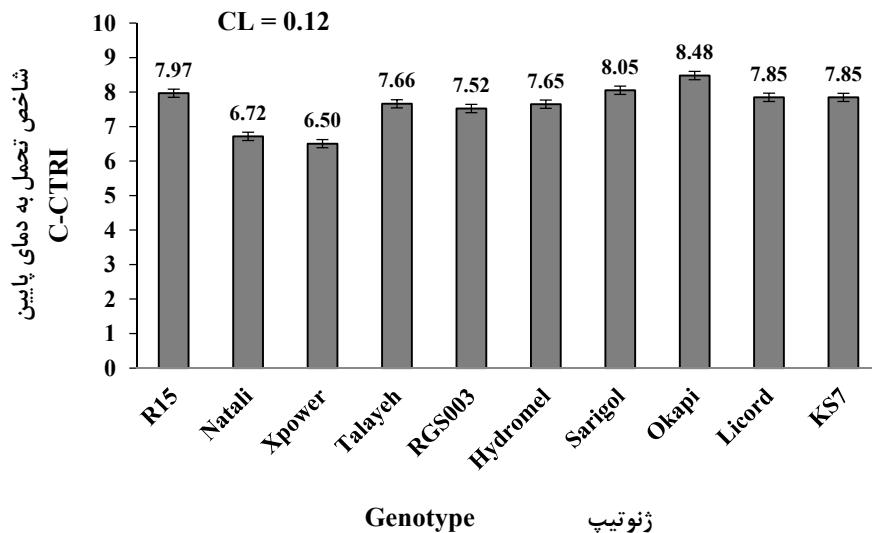
Fig. 3. The response of germination rate of oilseed rape cultivars to temperature using segmented function.



شکل ۴. مقادیر شاخص تحمل به دمای بالا برای ارقام کلزا. مقدار حدود اطمینان (CL) جهت مقایسه ارقام به صورت میل بار نشان داده شده است.

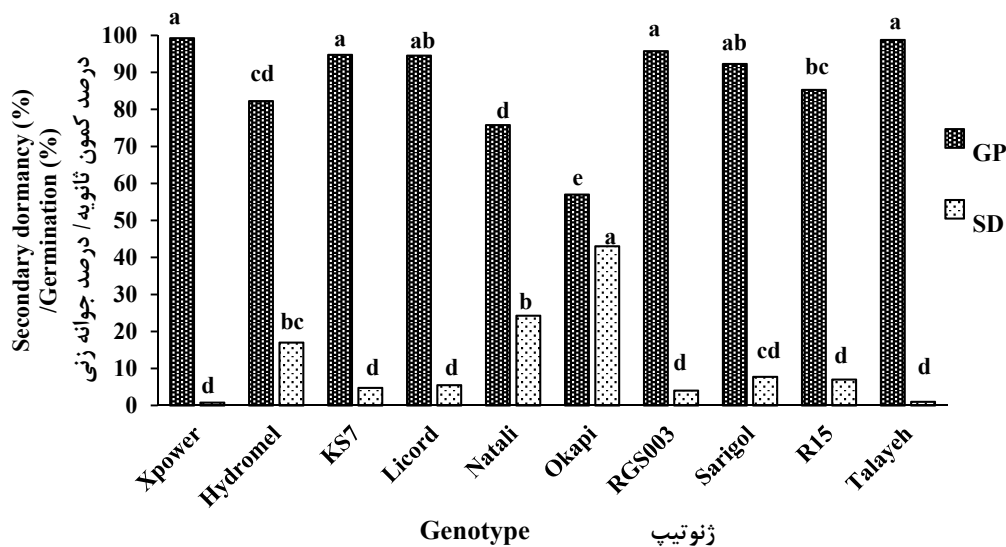
Fig. 4. The values of heat-tolerance index (H-CTRI) for oilseed rape cultivars. Confidence levels are indicated as bars to compare cultivars.





شکل ۵. مقادیر شاخص تحمل به دمای پایین برای ارقام کلزا. مقدار حدود اطمینان (CL) جهت مقایسه ارقام به صورت میل بار نشان داده شده است.

Fig. 5. The values of cold-tolerance index (C-CTRI) for oilseed rape cultivars. Confidence levels are indicated as bars to compare cultivars.



شکل ۶. مقایسه میانگین ارقام از نظر پتانسیل القای خفتگی ثانویه (SD) و درصد جوانه زنی (GP) در اثر تنش خشکی. مقدار F برای صفت درصد جوانه زنی و درصد خفتگی ثانویه به ترتیب ۱۶/۸۲ و ۱۶/۸۹ بود که هر دو در سطح یک درصد معنی دار بودند.

Fig. 6. Mean comparison of the potential of secondary dormancy induction (SD) and germination percentage (GP) as affected by drought stress. F value for germination percentage and secondary dormancy percentage were 16.82 and 16.89, respectively, which were significant at 1% level.

۲۴/۷۶ (T<sub>0</sub>) و ۳۹/۴۳ درجه سانتی گراد (T<sub>c</sub>) حاصل شد که در محدوده مقادیر گزارش شده در سایر مطالعات است (Marshall and Squire, 1996; Squire, 1999; Soltani

Marshall and Squire, 1996; Squire, 1999; Soltani et al., 2013). دماهای کاردینال برای سرعت جوانه زنی در این مطالعه ۶/۱۸ (T<sub>b</sub>،

پایداری آن‌ها در بانک بذر شوند (Weber et al., 2010) گزارش شده است که با افزایش قدرت بذر پتانسیل عملکرد از طریق کاهش تعداد روزهای کاشت تا پوشش کامل زمین و با افزایش سریع در استقرار و سایه‌اندازی کانوپی در محصولات سرمادوست افزایش می‌یابد (Soltani et al., 2001; Lopez-Castaneda et al., 1996)، گزارش کردند که جوانه‌زنی زودتر به قدرت بالای گیاهچه‌ها در جوانه‌زنی منجر شد. در صورتی که بذور قدرت بذر بالایی داشته باشند، گیاهان به‌طور یکنواخت و سریع رشد می‌کنند. دلیل این امر می‌تواند به‌طور مستقیم از طریق کاهش صدمه‌های فیزیولوژیکی و آسیب‌های سلولی بذور و به‌طور غیرمستقیم از طریق افزایش سرعت سبز شدن گیاهچه و کاهش زمان از کاشت تا سبز شدن باشد (TeKrony and Soltani et al., 2009; Ellis, 1992; Egli, 1991)؛ بنابراین، در ارقامی که  $R_{max}$  بالاتری داشتند، قدرت بذر بالاتر و سرعت رشد اولیه بالاتری خواهند داشت. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که  $R_{max}$  ارقام متغیر است و اصلاح‌کنندگان می‌توانند از این ویژگی برای اصلاح ارقامی با سرعت رشد اولیه بالاتر استفاده کنند.

موفقیت برنامه‌های اصلاحی برای بهبود تحمل به سرما و گرما در گیاهان زراعی، بستگی به شناسایی ژرم‌پلاسم‌هایی متحمل در برابر سرما یا گرما دارد. تنش سرما، یعنی تنش دماهای پایین (کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و تنش یخبندان (کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد)، از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که بر رشد و عملکرد گیاهان به‌ویژه گیاه سرمادوستی نظیر کلزا تأثیر می‌گذارد. میزان آسیب سرما بر کلزا به میزان آماس گیاه، مرحله‌ای که گیاه در آن قرار دارد و میزان سخت شدن گیاه به دماهای پایین بستگی دارد (Kasuga et al., 1999; Lang et al., 2005; Thakur et al., 2010). یخبندان در هنگام گلدهی به‌ندرت اتفاق می‌افتد. در نتیجه، اصلاح ارقام با تحمل سرما در زمان جوانه‌زنی و استقرار اهمیت زیادی دارد؛ زیرا ارقام متحمل به سرما شوک سرمای زمستانه را بهتر تحمل می‌کنند و امکان استقرار بهتری خواهند داشت و باعث کاهش هزینه کشت مجدد می‌شوند (Tuck et al., 2008). تنش گرما نیز ممکن است عملکرد کلزا را کاهش دهد. تنش گرما، در هنگام تشکیل گل یا تشکیل دانه، اهمیت بیشتری دارد چراکه در این زمان احتمال افزایش دما و تنش گرما بیشتر است. افزایش شدید

(Soltani et al., 2013) و همکاران (et al., 2013). سلطانی و همکاران نشان دادند که دماهای کاردینال کلزا  $T_c$ ،  $T_o$ ،  $T_b$  به ترتیب برابر ۲/۷، ۲۶/۹ و ۴۱/۵ درجه سانتی‌گراد بود. دمای کاردینال به ویژگی‌های ژنتیکی گیاه بستگی دارد و مقدار آن با تنش‌های محیطی در زمان جوانه‌زنی نیز تغییر می‌کند. به‌طور کلی، دمای کاردینال برای ارقام مشخص باید ثابت باشد اما تنش‌ها می‌توانند آن را تغییر دهند (Soltani et al., 2013). با این حال قدرت بذر هیچ تأثیری بر نوع تابع واکنش به دما یا دماهای کاردینال نداشت (Soltani et al., 2008). دماهای کاردینال ( $T_c$  و  $T_o$ ،  $T_b$ ) برای درصد جوانه‌زنی بذر به ترتیب، ۴/۹۴، ۱۸/۲۵ و ۳۴/۲ درجه سانتی‌گراد بود. مقادیر دماهای کاردینال برای درصد جوانه‌زنی، پایین‌تر از مقادیر مشابه برای سرعت جوانه‌زنی بود. گزارش‌های مشابهی در این زمینه وجود دارد که در بسیاری از گونه‌ها به‌طور معمول دماهای کاردینال برای درصد جوانه‌زنی کمتر از سرعت جوانه‌زنی بوده است (Roberts, 1988; Seepaul et al., 2011). سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر عمق خفتگی، سرعت جذب آب و سرعت مسیر کاتابولیک و آنابولیک قرار دارد که همه این موارد به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به دما وابسته هستند. در حالی که درصد جوانه‌زنی بذر بیشتر تحت تأثیر سرعت آگیری بذر است تا سرعت فرآیندهای فیزیولوژیک درگیر در جوانه‌زنی و توسعه سلولی، در نتیجه در دماهای پایین‌تر با سرعت کمتر امکان جوانه‌زنی وجود خواهد داشت (Seepaul et al., 2011). کلزا گیاهی سرمادوست است به همین دلیل امکان جوانه‌زنی آن در دماهای پایین بیشتر است ( $G_{max}$  Farzaneh et al., 2014; Soltani et al., 2017). در بین ارقام از ۸۴/۰۹ تا ۹۸/۶۴ درصد متغیر بود.  $G_{max}$  تحت تأثیر قابلیت حیات بذر و پتانسیل القای خفتگی ثانویه است. وبر و همکاران (Weber et al., 2010)، پتانسیل القای خفتگی ثانویه در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا را بررسی کردند و نشان دادند که تنوع زیادی در میان ارقام در زمینه خفتگی ثانویه وجود داشت. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) گزارش کردند که جوانه‌زنی بذرهای کلزا که در آزمایشگاه ذخیره شده بودند (بیش از ۳۵۰ روز) بین ۹۰ تا ۹۷ درصد متغیر بود و هیچ تفاوت معناداری در طول زمان مشاهده نشد؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که علت تفاوت‌های مشاهده شده تنوع ارقام در زمینه خفتگی ثانویه است. ارقام کلزا با پتانسیل کم در خفتگی ثانویه می‌توانند باعث کاهش مشکلات زراعی در مورد گیاهان داوطلب و

درصد جوانه‌زنی به ترتیب برابر ۴/۹۹، ۱۸/۲۳ و ۳۴/۲۰ درجه سانتی‌گراد و برای سرعت جوانه‌زنی به ترتیب برابر ۶/۱۸، ۲۴/۷۶ و ۳۹/۴۳ درجه سانتی‌گراد بود. با استفاده از شاخص پاسخ تجمعی دما (CTRI) رقم اکاپی هم در تنش گرما و هم تنش سرما مقاوم‌ترین رقم معرفی شد. از طرفی رقم اکاپی بیشترین پتانسیل القای خفتگی ثانویه را دارا بود که می‌تواند با تحمل تنش‌های دمایی در ارتباط باشد که نیاز به تحقیق بیشتر دارد. به‌هرحال شناسایی ارقام دارای خصوصیات تحمل به سرما و گرما از طریق روش آزمایشگاهی به‌تنهایی دشوار است و مطالعات لازم برای تأیید صحت آن‌ها در شرایط مزرعه موردنیاز است.

دما برای مدت‌زمان کوتاه، ممکن است به گیاه کلزا آسیب نرساند، درحالی‌که افزایش مقدار کمی در دمای محیط برای مدت طولانی می‌تواند باعث خسارت شدید روی این گیاه شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ارقام مناسبی برای تحمل به گرما وجود داشتند که از آن‌ها می‌توان در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

### نتیجه‌گیری نهایی

جوانه‌زنی بذور و دمای کاردینال برای کلزا در ارقام مختلف تفاوت داشت. میانگین دماهای کمینه، بهینه و بیشینه برای

### منابع

- Abdul-Baki, A.A., 1991. Tolerance of tomato cultivars and selected germplasm to heat stress. American Society for Horticultural Science, 116, 1113–1116.
- Akramghaderi, F., Soltani, A., Sadeghipour, H.R., 2008. Cardinal temperature of germination in medical pumpkin (*Cucurbita pepo* conver *pepo* var. *styriaca*), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Asian Journal of Plant Science, 2, 101-109.
- Bar-Tsur, A., Rudich, J., Bravdo, B., 1985. High temperature effects on CO<sub>2</sub> gas exchange in heat-tolerant and sensitive tomatoes. American Society for Horticultural Science, 110, 582–586.
- Bibi, A.C., Oosterhuis, D.M., Gonias, E.D., Bourland, F.M., 2004. Screening a diverse set of cotton cultivars for high temperature tolerance. Arkansas Agricultural Experiment Station Res. Series 533; Summaries Arkansas Cotton Res.
- Charles, W.B., Harris, R.E., 1972. Tomato fruit-set at high and low temperatures. Canadian Journal of Plant Science, 52, 497–506.
- Chen, H., Shen, Z.Y., Li, P.H., 1982. Adaptability of crop plants to high temperature stress. Crop Science, 22, 719–725.
- Coons, J.M., Kuehl, R.Q., Simons, N.R., 1990. Tolerance of ten lettuce cultivars to high temperature combined with NaCl during germination. American Society for Horticultural Science, 115, 1004–1007.
- Ellis, R.H., 1992. Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. Plant Growth Regulation, 11, 249–255.
- Farzaneh, S., Soltani, E., 2011. Relationships between hydrotimic parameters and seed vigor in sugar beet. Seed Science and Biotechnology, 5, 7–10.
- Farzaneh, S., Soltani, E., Zeinali, E., Ghaderi-Far, F., 2014. Screening oil seed rape germination for thermotolerance using a laboratory-based method. Seed Technology. 36(1), 15-27. [In Persian with English summary].
- Gulden, R.H., Thomas, A.G., Shirliffe, S.J., 2004. Relative contribution of genotype, seed size and environment to secondary seed dormancy potential in Canadian spring oilseed rape (*Brassica napus*). Weed Research 44, 97–106.
- Hanna, H.Y., Hernandez, T.F., 1982. Response of six tomato genotypes under summer and spring weather conditions in Louisiana. Horticultural Science, 17, 758–769.
- Jame, Y.W., Cutforth, H.W., 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agricultural and Forest Meteorology, 124, 207–218.
- Kasuga, M., Liu, Q., Miura, S., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., 1999. Improving plant drought, salt and freezing tolerance by gene transfer of a single stress inducible transcriptional factor. Nature Biotechnology, 17, 287–291.

- Klos, K.L.E., Brummer, E.C., 2000a. Response of six alfalfa populations to selection under laboratory conditions for germination and seedling vigor at low temperatures. *Crop Science*, 40, 959–964.
- Klos, K.L.E., Brummer, E.C., 2000b. Field response to selection in alfalfa for germination rate and seedling vigor at low temperatures. *Crop Science*, 40, 1227–1232.
- Lang, P., Zhang, C.K., Ebel, R.C., Dane, F., Dozier, W.A., 2005. Identification of cold acclimated genes in leaves of *Citrus unshiu* by mRNA differential display. *Gene*. 359, 111–118.
- Lopez-Castaneda, C., Richards, R.A., Farquhar, G.D., Williamson, R.E., 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science*. 36, 1257–1266.
- Marshall, B., Squire, G.R., 1996. Non-linearity in rate-temperature relations of germination in oilseed rape. *Experimental Botany*. 47, 1369–1375.
- McWilliam, S.C., Stokes, D.T., Scott, R.K., 1998. Establishment of oilseed rape: the influence of physical characteristics of seedbeds and weather on germination, emergence and seedling survival. Project Report. No. OS31, HGCA, London.
- Momoh, E.J.J., Zhou, W.J., Kristiansson, B., 2002. Variation in the development of secondary dormancy in oilseed rape genotypes under conditions of stress. *European Weed Research Society Weed Research*. 42, 446–455.
- Ramin, A.A., 1997. The influence of temperature on germination of taree Irani (*Allium ampeloprasum* L. spp. *iranicum* W.). *Seed Science and Technology*. 25, 414–426.
- Roberts, E.H., 1988. Temperature and seed germination. In: Long, S.P., Woodward, F.I., (eds.), *Plants and Temperature*. Symposia of the Society for Experimental Biology, 42, 109–132.
- Saita, A., Patanè, C., Guarnaccia, P., 2011. Genotypes screening for cold tolerance during germination in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] for energy biomass. Proc. 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, 552–555.
- 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, 47–52.
- Seepaul, R., Macoon, B., Reddy, K.R., Baldwin, B.S., 2011. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) intraspecific variation and thermo-tolerance classification using in vitro seed germination assay. *American Journal of Plant Sciences*, 2, 134–147.
- Setimela, P.S., Andrews, D.J., Partridge, J., Eskridge, K.M., 2005. Screening sorghum seedlings for heat tolerance using a laboratory method. *European Journal of Agronomy*, 23, 103–107.
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*. 98, 222–229.
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousedi-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, A., Galeshi, S., Zeinali, E., Latifil. N., 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Science and Technology*. 30, 51–60.
- Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, E., Zeinali, F., 2013. Seed bank modelling of volunteer oil seed rape: from seeds fate in the soil to seedling emergence. *Planta Daninha*. 31: 267–279.
- Soltani, A., 2007. Application and Using of SAS Program in Statistical Analysis. Jihad-Daneshgahi Press, Mashhad, Iran, 180p. [In Persian]
- 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., Galeshi, S., Kamkar, B., Akramghaderi, F., 2009. The effect of seed aging on seedling growth as affected by environmental factors in wheat. *Research of Environmental Sciences*. 3, 184–192.
- Soltani, E., Soltani, A., Oveisi, M., 2013. Modeling seed aging effects on the wheat seedling emergence in drought stress: optimizing Germin program to predict

- emergence pattern. *Crop Improvement*. 15, 147-160.
- Soltani, E., Adeli, R., Akbari, G.A., Ramshini, H., 2017. Application of hydrotimex model to predict early vigor of rapeseed (*Brassica napus* L.) under abiotic stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*. 39, 252.
- Squire, G.R., 1999. Temperature and heterogeneity of emergence time in oilseed rape. *The Annals of Applied Biology*. 135, 439-447.
- Steinmaus, S.J., Prather, T.S., Holt, J.S., 2000. Estimation of base temperatures for nine weed species. *Experimental Botany*. 5, 275-286.
- Stevens, M.A., Rudich, J., 1987. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield, and quality of the tomato. *Horticultural Science*. 13, 673-679.
- Tanaka, A., Fujita, K., Kikuchi, K., 1974. Nutritional-physiological studies on the tomato plant: photosynthetic rates of individual leaves in relation to the dry matter production in plants. *Soil Science and Plant Nutrition*. 20, 173-183.
- TeKrony, D.M., Egli, D.B., 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: a review, *Crop Science*. 31, 816-822.
- Thakur, P., Kumar, S., Malik, J.A., Berger, J.D. and Nayyar, H., 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview, *Environmental and Experimental Botany*. 67, 429-443.
- Tuck, C., Tan, D., Bange, M., Stiller, W., 2008. Cultivar cold tolerance screening using germination chill protocols. Australian Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy. Retrieved from [http://www.regional.org.au/au/asa/2010/crop-production/herbicide/6966\\_tuckca.htm](http://www.regional.org.au/au/asa/2010/crop-production/herbicide/6966_tuckca.htm) # TopOfPage (verified 21 Jan 2015).
- Weber, E.A., Frick, K., Gruber, S., Claupein, W., 2010. Research and development towards a laboratory method for testing the genotypic predisposition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) to secondary dormancy. *Seed Science and Technology*. 38, 298-310.
- 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, 23-42.