

کمی سازی جوانه زنی ارقام کلزا با استفاده از مدل زمان رطوبت دمایی

ترانه ثمرازده وزده فر^۱، مصطفی اویسی^{۲*}، امیرحسین شیرانی راد^۳، محمدحسین نعیمی^۴

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ۲ و ۳- دانشیار و دانش آموزته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۴- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۱۰

چکیده

این مطالعه با هدف پیش بینی شاخص های جوانه زنی پنج رقم کلزا شامل هایولا ۴۰۱، دلگان، RGS003، هایولا ۴۸۱۵ و زابل ۱۰ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی، شامل تیمارهای دما در شش سطح پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس و پتانسیل آب در پنج سطح صفر، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۵ مگاپاسکال در سه تکرار انجام شد. کاربرد این مدل در پیش بینی جوانه زنی دو رقم RGS003 و هایولا ۴۸۱۵ با ضرایب تبیین ۰/۹۰۴ و ۰/۹۰۰ و مجذور میانگین مربعات خطا ۰/۰۸۴ و ۰/۰۸۱، دارای بالاترین عملکرد بود. دمای پایه رقم هایولا ۴۰۱ برابر با ۲/۳۷ درجه سلسیوس و در سایر ارقام برابر با صفر به دست آمد. دمای بهینه از ۲۳/۳۶ درجه سلسیوس در رقم زابل ۱۰ تا ۲۹/۷۶ درجه سلسیوس در رقم هایولا ۴۰۱ متغیر بود. میانگین پتانسیل آب پایه جمعیت از ۰/۳- مگاپاسکال در رقم زابل ۱۰ تا ۰/۱۳۴- مگاپاسکال در رقم هایولا ۴۸۱۵ در بین ارقام کلزا تفاوت داشت. مدل بردفورد، برازش مناسبی به داده های ارقام مختلف کلزا داشت. پیش بینی مدل از شاخص های جوانه زنی، حاکی از تفاوت مقادیر شاخص ها بین ارقام بود. برازش مدل نشان داد که شاخص هایی مثل ضریب زمان رطوبت دمایی در جمعیت از توزیع نرمال تبعیت می کند. با توجه به واریانس دماهای کاردینال و نیز پاسخ رطوبتی مشاهده شده در درون رقمها، تحقیقات اصلاحی جهت کاهش واریانس مذکور و ایجاد یکنواختی جوانه زنی در ارقام توصیه می شود.

واژه های کلیدی: پتانسیل آب، پیش بینی جوانه زنی، شاخص های جوانه زنی، ضریب هیدروتایم، مدل بردفورد.

Quantification of the rapeseed cultivars germination using hydrothermal time model

Taraneh Samarzadeh Vajdefar¹, Mostafa Oveisi², Amirhossein Shirani-rad³,
Mohammad Hossein Naemi²

1. Karaj Islamic Azad University, Karaj, Iran. 2. Agronomy and Plant Breeding Dept., University College of Agriculture and Natural resources, University of Tehran, Iran. 3. Seed and Plant Improvement Insititute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received: October 5, 2019 - Accepted: March 29, 2020)

ABSTRACT

The objective of this study was to predict the hydrothermal time parameters of five rapeseed cultivars germination using Bradford's approach. The experiment was a completely randomized in a factorial arrangement of treatments with three replications. The factors were temperature at 6 levels (5, 10, 15, 20, 25 and 30°C) and 5 levels of water potentials (0, -0.3, -0.6, -0.9 and -1.2 Mpa). Application of this model had the highest performance in germination predicting of two cultivars RGS003 and Hayola 4815 with 0.904 and 0.900 coefficients of determinations and the 0.084 and 0.081 mean squared errors, of respectively. Base temperature was 2.37°C for Hyola401 and in other cultivars was 0°C. Optimum temperature was variable from 23.36°C in Zabol10 to 29.76°C in Hyola401. The mean base water potential varied from -0.3 in Zabol10 to -0.134 MPa in Hyola4815 between cultivars. The Bradford model fit well with data from different rapeseed cultivars. Model prediction of germination indices indicated Fitting of the model showed that indicators such as temperature-humidity coefficient in the population followed the normal distribution. While a large percentage of the population is around the average, large variances in cardinal temperatures and hydrotime parameters within cultivars necessitate further reaserches to improve the germination uniformity of rapeseed cultivars.

Keywords: Bradford, germination parameters, water potential.

* Corresponding author E-mail: moveisi@ut.ac.ir

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) با تولید جهانی حدود ۲۶ میلیون تن روغن در سال (FAO, 2014) و تولید حدود ۳۳۰ هزار تن روغن در سال زراعی ۹۶-۹۷ در ایران (MAJ, 2019) به‌عنوان یکی از گیاهان دانه روغنی مهم ایران و جهان می‌باشد. با وجود اقبال برای کشت روز افزون این محصول در جهان و نیز ایران، این گیاه دارای ویژگی‌های نامطلوبی از جمله عدم یکنواختی در جوانه‌زنی می‌باشد. همچنین با ریزش زیاد دانه در انتهای فصل، باعث ایجاد خسارت در فصل زراعی بعدی در مزارعی نظیر گندم و سویا به‌عنوان کلزای خودرو (Volunteer canola) خواهد شد (Soltani et al., 2011). از این رو، شناخت بیولوژی جوانه‌زنی کلزا از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. جوانه‌زنی بذر، یک فرآیند فیزیولوژیک پیچیده و از جمله مراحل مهم در چرخه زندگی گیاهان محسوب می‌شود که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار می‌گیرد (Meyer & Pendleton, 2000). در بین عوامل محیطی برای بذرهای بدون خواب، دما و رطوبت دارای اهمیت بیشتری می‌باشند (Bradford & Still, 2004). برای کمی‌سازی تأثیر دما بر جوانه‌زنی گیاهان در برخی مطالعات، از مدل زمان دمایی استفاده شده است (Larsen et al., 2004). برخی محققین نیز از این مدل برای به‌دست آوردن دماهای کاردینال شامل دمای پایه، مطلوب و بیشینه استفاده کرده‌اند (Hardegee, 2006; Jami Al-Ahmadi & Kafi, 2007). این مدل به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Bradford, 2002):

$$\theta T(g) = (T - Tb)tg \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$GRg = 1/tg = (T - Tb)/\theta T(g)$$

که در آن، $\theta T(g)$: ثابت زمان دمایی برای جوانه‌زنی (برحسب درجه سلسیوس در روز)، T : دمای محیط، Tb : دمای پایه برای جوانه‌زنی، tg : زمان برای جوانه‌زنی درصد خاصی از بذرهای جوانه‌زده می‌باشد. جهت توصیف رابطه بین جوانه‌زنی و پتانسیل آب نیز می‌توان از مدل هیدروتایم به‌صورت زیر استفاده نمود (رابطه ۲) (Bradford & Still, 2004; Larsen et al.,)

(Bradford, 2002):

$$\theta H = (\psi - \psi b(g))tg \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$GRg = 1/tg = (\psi - \psi b(g))/\theta H$$

$$\text{Probit}(g) = [\psi - (\theta H/tg) - \psi b(50)]/\sigma \psi b$$

که در آن، θH : ثابت هیدروتایم، GRg : سرعت جوانه‌زنی در کسر خاصی از بذرهای جوانه‌زده، ψ : پتانسیل آب محیط، $\psi b(g)$: پتانسیل آب پایه یا آستانه برای جوانه‌زنی کسر خاصی از بذرهای (g)، tg : زمان برای خروج ریشه‌چه کسر خاصی از بذرهای $\sigma \psi b$ انحراف معیار پتانسیل آب پایه داخل توده بذر می‌باشد. اگر θH ثابت باشد، tg به‌طور متناسب با ψ کاهش می‌یابد و به $\psi b(g)$ نزدیک می‌شود. در این مدل، مقادیر پتانسیل آب پایه برای کسر خاصی از بذرهای جوانه‌زده در یک توده بذر متفاوت بود که در اکثر موارد، برای توصیف آن از توزیع نرمال استفاده می‌شود (Bradford, 2002).

اساس نظری مدل‌های زمان رطوبتی، زمان دمایی و زمان رطوبت دمایی این است که جوانه‌زنی، پایین‌تر و بالاتر از سطوح آستانه دمایی معین (دمای پایه و دمای سقف) یا پایین‌تر از یک آستانه پتانسیل آبی مشخص (پتانسیل آب پایه) اتفاق نمی‌افتد (Onofri et al., 2018). یکی از مدل‌ها که جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر دما و رطوبت متغیر توصیف می‌کند، مدل زمان رطوبت دمایی است که برهمکنش دما و رطوبت بر جوانه‌زنی بذر را در طول زمان پیش‌بینی می‌نماید (Bewley et al., 2013). این مدل در دماهای پایین‌تر از دمای بهینه به‌صورت زیر توصیف می‌شود (رابطه ۳):

$$\theta HT = (\psi - \psi b(g))(T - Tb)tg \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن، θHT : ثابت زمان رطوبت دمایی، ψ : پتانسیل آب، $\psi b(g)$: پتانسیل آب پایه برای رسیدن به کسر خاص جوانه‌زنی، T : دمای محیط، Tb : دمای پایه و tg : زمان برای رسیدن به کسر خاصی از جوانه‌زنی می‌باشند. با توجه به این‌که این مدل نتوانست کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای بهینه را به خوبی پیش‌بینی نماید، Bradford (2002) مدل زمان رطوبت دمایی را به شکل زیر اصلاح نمود (رابطه ۴):

$$\theta HT = [\psi - \psi b(g) - (kT(T - To))]/(To - Tb)tg$$

$$\text{Probit}(g) = [\psi - kT(T - To) - \theta H / (T - Tb)tg]$$

ایجاد سطوح مختلف پتانسیل آب از محلول پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG 6000) و فرمول پیشنهاد شده توسط Michel & Kaufmann (1973) استفاده شد. تعداد ۳۰ عدد بذر روی دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک در داخل پتری دیش‌های نه سانتی‌متری قرار داده شد و برای ایجاد پتانسیل‌های مختلف آب، محلول PEG 6000 در سطوح مختلف به پتری دیش‌ها اضافه شد. سپس پتری دیش‌ها به داخل اتاقک جوانه‌زنی با دمای پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس و با ۱۲ ساعت روشنائی و ۱۲ ساعت تاریکی منتقل شدند. شمارش روزانه بذرهای جوانه‌زده، به مدت هفت روز صورت گرفت و درصد نهایی جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف به دست آمد. معیار جوانه‌زنی، خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر بود (ISTA, 2009).

فرض مدل زمان رطوبت دمایی بردفورد این است که پاسخ بذر به افزایش دما، دارای شکل دوتکه‌ای می‌باشد که از شاخص‌های دمای پایه (Tb)، دمای مطلوب (To) و دمای بیشینه (Tc) تشکیل شده است. دمای پایه در این مدل، ثابت و دمای بیشینه متغیر بود. همچنین در این مدل، شیب خط افزایش جوانه‌زنی تا دمای مطلوب متغیر بود اما بعد از دمای مطلوب، شیب کاهش جوانه‌زنی تا دمای بیشینه ثابت در نظر گرفته شده است (شکل ۱) (Bradford, 2002).

جهت برآزش مدل زمان رطوبت دمایی بردفورد، در ابتدا واحد دمایی (Thermal Unit) با توجه به فرض بردفورد در تیمارها و تکرارهای مختلف محاسبه شد؛ به این صورت که در دماهای پایین‌تر از دمای اپتیمم (To)، دمای پایه (Tb) از آن دما کسر و در دماهای بالاتر از اپتیمم، دمای پایه از دمای اپتیمم کسر می‌شود. با ضرب واحد دمایی محاسبه شده در زمان (ساعت)، پارامتر ترمال تایم به دست آمد. ضریب هیدروتایم (Theta) که نشان‌دهنده چگونگی تغییرات جوانه‌زنی نسبت به تغییرات رطوبت می‌باشد، در جمعیت عددی ثابت است. با تقسیم این ضریب ثابت بر ترمال تایم محاسبه شده در مرحله قبل و کسر عدد به دست آمده از مقدار رطوبت، پتانسیل آب پایه (Wb)

(رابطه ۴) $[\psi b(50)]/\sigma\psi b$

که در آن، kT عددی ثابت (شیب رابطه خطی بین پتانسیل آب پایه و دما در دماهای بالاتر از دمای بهینه)، To دمای بهینه و $\sigma\psi b$ انحراف معیار از پتانسیل آب پایه در توده بذری جوانه زده می‌باشد.

در این مدل، دمای پایه جوانه‌زنی در جمعیت، ثابت و روند افزایش جوانه‌زنی، تحت تأثیر افزایش دما، دارای توزیع نرمال است. همچنین با افزایش دما بعد از دمای اپتیمم، جوانه‌زنی با روند ثابتی در جمعیت کاهش می‌یابد، اما دمای سقف جوانه‌زنی در جامعه از توزیع نرمال برخوردار است. همچنین پتانسیل پایه رطوبتی برای جوانه‌زنی در جامعه، از توزیع نرمال برخوردار است (Alvarado & Bradford, 2002). *et al* (2000) به‌طور موفقیت‌آمیزی از مدل زمان رطوبت دمایی به عنوان ابزاری برای مقایسه واکنش جوانه‌زنی گونه‌های مختلف به رطوبت و دما استفاده کردند. تحقیقات متعددی در گیاهان مختلف از جمله گلرنگ (Ostadianbidgoli *et al.*, 2017) و دو گونه *Buddleja davidii* و *Pinus radiata* (Watt *et al.*, 2010) جهت تعیین ضرایب زمان رطوبت دمایی انجام شده است. با توجه به اهمیت شناخت زیست‌شناسی جوانه‌زنی گیاه کلزا، هم به عنوان گیاه زراعی و هم به عنوان علف‌هرز در مزارع گندم، این مطالعه با هدف پیش‌بینی و تعیین پارامترهای جوانه‌زنی ارقام مختلف کلزا با استفاده از مدل زمان رطوبت دمایی انجام شد.

مواد و روش‌ها

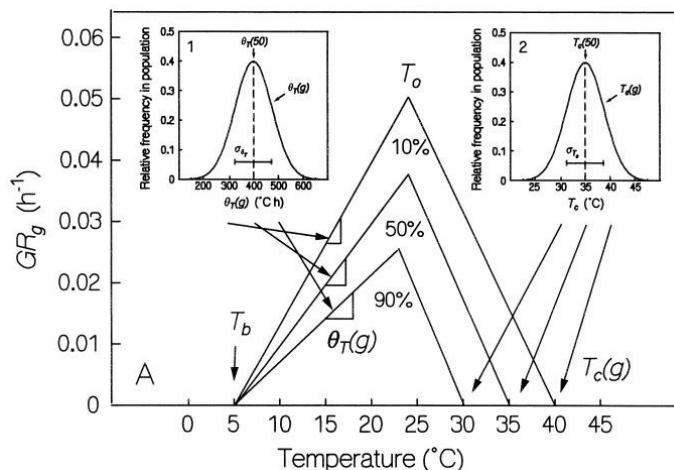
تحقیق حاضر در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه بخش دانه‌های روغنی مؤسسه اصلاح بذر انجام شد. در این مطالعه، پاسخ جوانه‌زنی بذر پنج رقم کلزا شامل Hyola401, Dalgan, RGS003, Hyola4815 و Zabol10 به سطوح مختلف دما و رطوبت مورد ارزیابی قرار گرفت. بذرهای کلزا از مؤسسه اصلاح بذر تهیه شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار صورت پذیرفت. فاکتورها شامل دما در شش سطح پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس و پتانسیل آب در پنج سطح صفر، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۳ مگاپاسکال بودند. برای

جمعیت در دمای بالاتر از اپتیمم، $Wb(\mu < T_o)$: میانگین پتانسیل آب پایه در جمعیت در دمای پایین‌تر از اپتیمم، b : ضریب ثابت یا ضریب تغییرات پتانسیل آب پایه با افزایش دما بالاتر از دمای اپتیمم، T : دمای محیط بذر و T_o : دمای اپتیمم می‌باشد (Bradford, 2002).

به‌دست آمد. میانگین پتانسیل آب پایه ($Wb(\mu < T_o)$) در جمعیت در دماهای پایین‌تر از دمای اپتیمم، عدد مشخصی است، اما در دماهای بالاتر از اپتیمم، با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید (رابطه ۵):

$$Wb(\mu) = Wb(\mu < T_o) + [b \times (T - T_o)] \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن، $Wb(\mu)$: میانگین پتانسیل آب پایه در



شکل ۱- رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما در مدل بردفورد.

Figure 1. Relationship between germination rates and temperature in the Bradford model.

در رطوبت‌ها و دماهای متغییر برازش داده شد (شکل ۲).

برای ارقام مختلف، توانایی توصیف و پیش‌بینی متفاوت بود؛ به این ترتیب که در توانایی پیش‌بینی مدل رقم RGS003، هایولا ۴۸۱۵، هایولا ۴۰۱، دلگان و زابل ۱۰، به‌ترتیب دارای ضرایب تبیین ۰/۹۰۰، ۰/۸۹۷، ۰/۸۸۰ و ۰/۸۳۴ بود. براساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، مشخص شد که پارامترهای مدل بردفورد در پنج رقم کلزای مورد مطالعه دارای تفاوت‌هایی بودند (جدول ۱).

پارامتر θ یا ضریب هیدروتایم که نشان دهنده شیب خط رابطه بین جوانه‌زنی و رطوبت می‌باشد، در رقم دلگان دارای بالاترین مقدار (۳۷۶۷/۹۱) مگاپاسکال ساعت) بود، درحالی‌که این ضریب در رقم هایولا ۴۰۱ برابر با ۴۹۷/۰۴ مگاپاسکال ساعت به‌دست آمد که کمترین مقدار در بین ارقام مورد مطالعه بود. بنابراین، درصد جوانه‌زنی در رقم هایولا ۴۰۱ کمتر

در نهایت، برازش مدل بردفورد که در آن پتانسیل آب پایه محاسبه شده دارای توزیع نرمال بود، با میانگین $Wb(\mu)$ و انحراف معیار σ انجام شد. دو پارامتر R^2 یا ضریب تبیین و $RMSE$ یا مجذور مربعات خطا نیز جهت بررسی میزان کاربرد این مدل در ارقام محاسبه شد. تمام مراحل یادشده برای پنج رقم کلزای مورد استفاده در این مطالعه جهت برازش مدل زمان رطوبت دمایی بردفورد انجام شد. فرمول محاسبه ضریب تبیین (رابطه ۶) و مجذور میانگین مربعات خطا (رابطه ۷) به‌صورت زیر می‌باشد (Bradford, 2002):

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

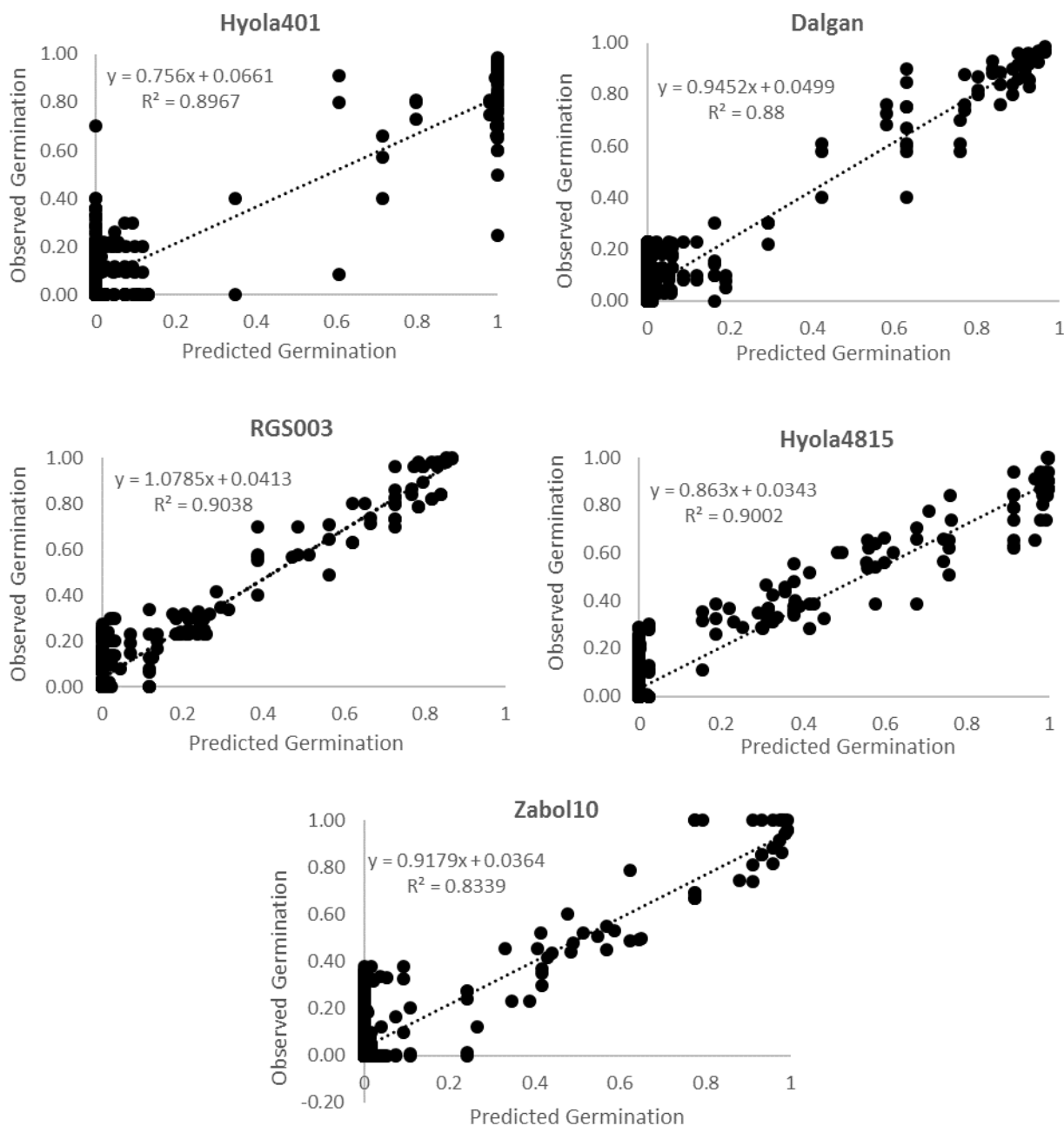
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - O_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

نتایج و بحث

مدل زمان رطوبت دمایی بردفورد به داده‌های جوانه‌زنی به‌دست آمده در پنج رقم مورد مطالعه کلزا

مرتعی گزارش شد که بذره‌های درشت‌تر نسبت به بذره‌های ریزتر، به ثابت هیدروتایم کمتری برای جوانه‌زنی نیاز دارند؛ به‌خصوص در دماهای پایین‌تر از دمای بهینه که نشان‌دهنده جوانه‌زنی سریع‌تر بذره‌های درشت‌تر در دماهای پایین می‌باشد (Wang, 2005).

تحت تأثیر تغییرات رطوبت قرار گرفت و بیشترین تأثیر تغییرات رطوبتی، بر جوانه‌زنی رقم دلگان بود. از پارامتر ثابت هیدروتایم می‌توان به عنوان شاخصی برای تعیین کیفیت فیزیولوژیکی و قدرت بذر در یک توده بذری استفاده نمود. به عنوان مثال، در یک گونه



شکل ۲- برازش مدل زمان رطوبت دمایی بردفورد با جوانه‌زنی بذور کلزا در پنج رقم هایولا ۴۰۱، دلگان، RGS003، هایولا ۴۸۱۵ و زابل ۱۰.

Figure 2. Hydro thermal time model fitted to seed germination of Hyola401, Dalgan, RGS003, Hyola4815 and Zabol10 cultivars of rapeseed.

جدول ۱- پارامترهای مدل بردفورد در پنج رقم کلزای مورد مطالعه.

Table 1. Parameters of Bradford model in the studied rapeseed cultivars.

| Cultivars | Parameters | | | | | | | |
|-----------|------------|---------|---------|------|--------------------------|-------|-------|-------|
| | Theta | Tb (°C) | To (°C) | b | Wb ($\mu < T_o$) (MPa) | Sigma | R2 | RMSE |
| Hyola401 | 497.04 | 2.37 | 29.76 | 7.46 | -0.279 | 0.3 | 0.897 | 0.135 |
| Dalgan | 3767.91 | 0 | 24.24 | 0.77 | -0.294 | 1 | 0.880 | 0.090 |
| RGS003 | 1291.28 | 0 | 24 | 1.85 | -0.15 | 1 | 0.904 | 0.084 |
| Hyola4815 | 1376.32 | 0 | 24.78 | 3.80 | -0.134 | 0.29 | 0.900 | 0.081 |
| Zabol10 | 3432.02 | 0 | 23.36 | 2.1 | -0.3003 | 0.819 | 0.834 | 0.093 |

خاصی از جمعیت بذور ($\psi b(g)$)، در دمای اپتیمم در حداقل می‌باشد و در دماهای بالاتر از اپتیمم، مثبت‌تر می‌شود (Meyer et al., 2000).

میانگین پتانسیل آب پایه جمعیت ($Wb(\mu)$) از -0.134 تا -0.3003 مگاپاسکال در رقم زابل ۱۰ تا -0.134 مگاپاسکال در رقم هایولا ۴۸۱۵ در بین ارقام کلزا متغیر بود که این موضوع نشان‌دهنده مقاومت بالاتر رقم زابل ۱۰ به خشکی نسبت به سایر ارقام بود و همچنین در بین ارقام مورد مطالعه، رقم هایولا ۴۸۱۵ دارای کمترین مقاومت به خشکی بود. مقدار انحراف معیار (σ) توزیع نرمال جهت برآزش مدل، از 0.135 در رقم هایولا ۴۸۱۵ تا 0.093 در ارقام دلگان و RGS003 متفاوت بود. دو پارامتر R^2 یا ضریب تبیین و RMSE یا مجذور مربعات خطا، نشان‌دهنده میزان عملکرد مدل در پیش‌بینی جوانه‌زنی در ارقام مختلف می‌باشند. به این ترتیب که با افزایش مقدار عددی R^2 و نزدیک شدن به عدد یک و کاهش مقدار RMSE و نزدیک شدن به صفر، کاربرد مدل بهتر خواهد بود. با توجه به این دو پارامتر در بین ارقام مورد مطالعه، کاربرد مدل هیدروترمال تایم بردفورد در پیش‌بینی جوانه‌زنی دو رقم RGS003 و هایولا ۴۸۱۵ با ضرایب تبیین 0.904 و 0.900 و مجذور مربعات خطا 0.084 و 0.081 دارای بالاترین عملکرد بود.

امتیاز مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی این است که شاخص‌های این مدل‌ها، دارای مفهوم زیستی مانند دماهای اصلی و سرعت ذاتی جوانه‌زنی و سبز شدن می‌باشند. همچنین با استفاده از این مدل‌ها می‌توان پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی و زمان جوانه‌زنی و سبز شدن را تعیین کرد (Soltani et al., 2008). Zeinali et al (2010) با بررسی جوانه‌زنی در دامنه دمایی ثابت پنج تا ۳۴ درجه سلسیوس، دماهای اصلی برای

دمای پایه (T_b) در رقم هایولا ۴۰۱ برابر با $2/37$ درجه سلسیوس و در سایر ارقام برابر با صفر به دست آمد. دمای بهینه (T_o) از $23/36$ درجه سلسیوس در رقم زابل ۱۰ تا $29/76$ درجه سلسیوس در رقم هایولا ۴۰۱ متغیر بود. Squire (1999) نشان داد که دمای پایه برای سبز شدن کلزا، منفی یک درجه سلسیوس است، در حالی که Marshall & Squire (1996) با استفاده از رگرسیون غیرخطی، دمای پایه برای جوانه‌زنی سه گونه کلزا را سه درجه سلسیوس به دست آورده بودند. Lakzaei et al. (2017) دمای پایه برای سبز شدن کلزا را $3/2$ درجه سلسیوس و دمای بهینه را $26/8$ درجه سلسیوس محاسبه کردند.

ضریب b ، نشان‌دهنده نرخ کاهش پتانسیل پایه جوانه‌زنی یک رقم تحت تأثیر افزایش دما از دمای بهینه می‌باشد. در بین ارقام کلزای مورد مطالعه، رقم دلگان دارای کمترین ضریب b مقدار بود که نشان می‌دهد با افزایش دما، پتانسیل آب پایه در این رقم کمتر از سایر ارقام تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بیشترین مقدار ضریب b نیز به رقم هایولا ۴۰۱ تعلق داشت که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر پتانسیل آب پایه در این رقم نسبت به افزایش دما می‌باشد.

مدل‌های زمان رطوبتی و زمان رطوبت دمایی، منجر به درک چگونگی اثرگذاری فاکتورهای فیزیولوژیکی و محیطی بر تنظیم رفتار جوانه‌زنی جمعیت بذر می‌شوند (Bradford, 2002). این مدل‌ها نشان دادند که در یک دمای مشخص، زمان جوانه زدن و درصد جوانه‌زنی بذر در یک جمعیت، از طریق تفاوت بین یک آستانه پتانسیل آب معین فیزیولوژیکی (که می‌تواند بین بذرهای درون یک جمعیت تفاوت داشته باشد) و پتانسیل آب بذر، کنترل می‌شوند. گزارش شده است که مقادیر پتانسیل آب پایه برای کسر

ضریب زمان رطوبت دمایی در جمعیت، از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. بنابراین ضمن این که درصد زیادی از جمعیت، حول میانگین می‌باشد ولی واریانس دماهای کاردینال و نیز پاسخ رطوبتی مشاهده شده در درون رقمها اهمیت تحقیقات بیشتر اصلاحی برای رسیدن به حداقل غیریکنواختی در جوانه‌زنی و کوچکتر کردن توزیع جوانه‌زنی کلزا را نشان می‌دهد. همچنین باید از فرآیندهای زراعی و روش‌های فناوری بذر جهت افزایش یکنواختی جوانه‌زنی کلزا استفاده شود.

جوانه‌زنی ۱۲ رقم گندم را به دست آوردند. Bakhshandeh *et al* (2011) نیز از مدل‌های زمان رطوبتی، زمان دمایی و زمان رطوبت دمایی در کمی‌سازی اثر متقابل دما و پتانسیل آب در دو گیاه گاوپنبه و سویا استفاده کردند.

نتیجه‌گیری کلی

مدل بردفورد، برازش مناسبی به داده‌های ارقام مختلف کلزا داشت. پیش‌بینی مدل از شاخص‌های جوانه‌زنی، حاکی از تفاوت مقادیر شاخص‌ها بین ارقام بود. برازش مدل نشان داد که شاخص‌هایی مثل

REFERENCES

- Allen, P. S., Meyer, S. E. & Khan, M. A. (2000). Hydrothermal time as a tool in comparative germination studies. In: Black, M., Bradford, K. J., Vázquez-Ramos, J., eds. *Seed biology: Advances and applications*. Wallingford, UK: CAB International, 401-410.
- Bakhshandeh, E., Ghadiryan, R., Galeshi, S. & Soltani, E. (2011). Modelling the effects water stress and temperature on seed germination of soybean (*Glycine max* L.) and Vevetleaf (*Abutilon thephrastii* med). *Journal of Plant Production*, 18, 29-47.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M. & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy (3rd ed.)*. Springer, New York.
- Bradford, K. J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50, 248-260.
- Bradford, K. J. & Still, D. W. (2004). Applications of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technology*, 26, 75-85.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2014). FAOSTAT, from <http://www.faostat.fao.org/>.
- Hardegree, S. P. (2006). Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals of Botany*, 97, 1115-1125.
- ISTA. (2009). International rules for seed testing. *International Seed Testing Association (ISTA)*. Edition 2009.
- Jami Al-Ahmadi, M. & Kafi, M. (2007). Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). *Journal of Arid Environment* 68, 308-314.
- Lakzaei, S., Soltani, A., Zeinali, E., Ghaderifar, F. & Jafarnideh, S. (2017). Quantifying response of seedling emergence to temperature in rapeseed (*Brassica napus* L.) under field conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19, 195-207. (In Persian).
- Larsen, S. U., Bailly, C., Côme, D. & Corbineau, F. (2004). Use of the hydrothermal time model to analysis interacting effects of water and temperature on germination of three grass species. *Seed Science Research*, 14, 35-50.
- Marshall, B. & Squire, G. R. (1996). Non-linearity in rate-temperature relations of germination in oilseed rape. *Journal of Experimental Botany*, 47, 1369-1375.
- Meyer, S. E. & Pendleton, R. L. (2000). Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentate* (Rosaceae). *Annals of Botany*, 85, 521-529.
- Meyer, S. E., Debaene-Gill, S. B. & Allen, P. S. (2000). Using hydrothermal time concepts to model seed germination response to temperature, dormancy loss, and priming effects in *Elymus elymoides*. *Seed Science Research*, 10, 213-223.
- Michel, B. E. & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51, 914-916.
- Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ). (2019). Agricultural statistics of Iran in 2017-18, from <http://www.maj.ir/>.
- Onofri, A., Benincasa, P., Mesgaran, M. B. & Ritz, C. (2018). Hydrothermal-time-to-event models for seed germination. *European Journal of Agronomy*, 101, 129-139.

18. Ostadianbidgoli, R., Balouchi, H. R., Soltani, E. & Moradi, A. (2017). Effects of temperature and water potential on seed germination characteristics in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Sofeh var. *Iranian Journal of Seed Science Technology*, 6, 11-22.
19. Soltani, E., Akramghaderi, F. & Soltani, A. (2008). Applications of germination modeling on the response to temperature and water potential in seed science research. *In: 1st Seed Science and Technology*, 13-14 Nov., Gorgan, Iran. (In Persian).
20. Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi Far, F. & Zeinali, E. (2011). Quantifying seed production by volunteer canola (*Brassica napus* L.) and *Sinapis arvensis*. *Planta Daninha*, 29(3), 489-497.
21. Squire, G. R. (1999). Temperature and heterogeneity of emergence time in oilseed rape. *Annals Applied Biology*, 135, 439-447.
22. Wang, R. (2005). *Modeling seed germination and seedling emergence in winterfat (Krascheninnikovia lanata (Pursh) A.D.J. Meeuse and Smit): Physiological mechanisms and ecological relevance*. Ph.D. Thesis. University of Saskatchewan, Saskatoon.
23. Watt, M. S., Xub, V. & Bloomberg, M. (2010). Development of a hydrothermal time seed germination model which uses the weibull distribution to describe base water potential. *Ecological Modeling*, 221, 1267-1272.
24. 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. *Journal of Plant Production*, 3(3), 23-42. (In Persian).