

## بررسی جوانه‌زنی بذر گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) رقم فرامان، تحت تنش کمبود آب و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی

عباس هاشمی<sup>۱</sup>، فرزاد شریف زاده<sup>۲\*</sup>، رضا معالی امیری<sup>۳</sup>، رضا توکل افشاری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و تکنولوژی بذر، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳. دانشیار و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱)

### چکیده

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از گیاهان مهم صنعتی است که در دسته گیاهان روغنی طبقه‌بندی می‌شود. دامنه تحمل گیاهان مختلف، نسبت به تنش کمبود آب متفاوت است و همچنین گیاهان دارای نیازهای دمایی و رطوبتی مختلفی می‌باشند و شناخت این نیازها می‌تواند به بقا و تکثیر آن‌ها کمک کند. هدف از این تحقیق ارزیابی پاسخ‌های دما رطوبتی و امکان پیش‌بینی قدرت سازگاری گیاه گلرنگ تحت شرایط دمایی و رطوبتی مختلف می‌باشد. بدین منظور جوانه‌زنی بذر گلرنگ (رقم فرامان) در دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در آنکوباتور مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از سه تابع دوتکه‌ای، بتا و دندان‌مانند برای تعیین دماهای کاردینال گلرنگ استفاده شد. سپس به منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گلرنگ نسبت به سطوح مختلف تنش کمبود آب آزمایش دیگری با ۵ سطح تنش کمبود آب، شامل ۵-، ۷-، ۹-، ۱۰- بار و شاهد (پتانسیل ۰) در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بر اساس مدل‌های محاسبه شده، دمای پایه جوانه‌زنی گلرنگ در مدل‌های بتا، دندان‌مانند و دوتکه‌ای به ترتیب برابر ۴/۶، ۴/۱، ۴/۱ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه جوانه‌زنی نیز برابر با ۲۲/۰۲، ۲۰ تا ۲۴/۳ و ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه شامل ۴۳/۳، ۵۰/۳ و ۵۰/۳ درجه سانتی‌گراد بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: سرعت جوانه‌زنی، مدل دوتکه‌ای، مدل بتا، مدل دندان‌مانند، رقم فرامان

## Evaluation of Germination of Safflower Seed (*Carthamus tinctorius* L.) Faraman Cultivar, Under Water Deficite Stress and Determination of Cardinal Germination Temperatures

A. Hashemi<sup>1</sup>, F. Sharif Zadeh<sup>2\*</sup>, R. Maali Amiri<sup>3</sup>, R. Tavakkol Afshari<sup>4</sup>

1. Ph.D Students, Seed Science and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

2 and 3. Associate Professor and Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

4. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(Received: Dec. 12, 2019 – Accepted: Jul. 11, 2020)

### Abstract

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an important industrial plant, which classified in the category of oil plants. The tolerance of plants to drought is different, as well as Plants have different temperature and water requirements, and understanding this requirement helps them survive and reproduce. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the germination characteristics of safflower seeds at different temperatures and humidity and the adaptation power of this plant under these conditions. For this purpose, germination of safflower seed (Faraman cultivar) was investigated in incubator at constant temperatures of 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 °C. In this study, 3 regression model including, Beta model, Dent like model and segmented model were used to determine cardinal safflower temperatures. Then, to investigate germination and seedling growth response of *Carthamus tinctorius* toward different levels of Water Deficite Stress at an optimum temperature, another test was conducted. In this experiment, seed germination was assessed in five levels of Water Deficite Stress with the osmotic potential of 0, - 5, -7 and -9 bar (in temperatures of 20 °C). Based on Beta model, Dent like model and segmented model, the cardinal temperatures of *Carthamus tinctorius* seeds germination including, (Tbase, Topt and Tmax) were: (4.6, 4.1, 4.1), (22.02, 20 – 24.3, 22.5) and (43.3, 50.3, 50.3) °C, respectively.

**Keywords:** germination rate, segmented model, Beta model, Dent like model, Faraman Cultivar

\* Email: sharifz@ut.ac.ir

سرعت جوانه‌زنی اثر بگذارند (Bloomberg *et al.*, 2009). وقتی رطوبت مناسب باشد، سرعت و درصد جوانه‌زنی یک نمونه بذری دارای قابلیت حیات، توسط دما کنترل می‌شود (Bradford and Still, 2004). جوانه‌زنی مطلوب و در پی آن استقرار مناسب و یکنواخت محصول در مزرعه می‌تواند راه را برای تولید محصولی قابل قبول از نظر کمی و کیفی هموار سازد. تنش کم آبی می‌تواند آناتومی، مرفولوژیکی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان و نیز رشد و نمو جنین بذر را تحت تاثیر قرار دهد و همچنین روی جنبه‌های مختلف جوانه‌زنی مانند قدرت آبنوشی بذرها، درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی و بنیه بذر اثر بگذارد. در کل می‌توان گفت که در سراسر دنیا یکی از مهمترین عوامل غیرزیستی و محدودکننده جوانه‌زنی و همچنین رشد اولیه گیاهچه‌ها، به طور معمول تنش کمبود آب است (Kaya *et al.*, 2006).

کشور ایران از لحاظ جغرافیایی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع شده و همین خشکی یکی از معضلات اراضی زراعی کشور به حساب می‌آید، بنابراین مشکل خشکی و کم آبی باید مورد توجه خاصی قرار گیرد (Raziei *et al.*, 2009). تنش کمبود آب از تنش‌های غیر زنده مهمی است که اثرات زیانباری بر عملکرد گیاه و کیفیت محصول دارند (Mizrahi and Pasternak, 1985). دامنه تحمل گیاهان نسبت به خشکی متفاوت است و انتخاب گیاه برای کشت در زمین‌های کم آب باید از دیدگاه‌های مختلف (آستانه تحمل به تنش، مرحله رشدی مقاومت و ...) مورد بررسی قرار گیرد (Khan and Gulzar, 2003). اگرچه تنش کمبود آب در تمام مراحل رشدی گیاه می‌تواند تأثیر منفی داشته باشد، اما مرحله گیاهچه‌ای را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rauf *et al.*, 2007). گیاهان دارای نیازهای دمایی و رطوبتی مختلفی می‌باشند و شناخت این نیازها می‌تواند به بقا و تکثیر آن‌ها کمک کند. گیاهان دارای سه دمای ویژه شامل دمای پایه یا حداقل، دمای مطلوب و دمای

## مقدمه

بخش اعظم روغن خوراکی در کشور از طریق واردات تامین می‌شود که بسیار هزینه‌بر است. بنابراین توسعه کشت و کار گیاهان روغنی از اهمیت خاصی در کشور برخوردار است. گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) از گیاهان مهم روغنی است که در مناطق خشک و نیمه خشک جهان توسعه یافته و به دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق رشد خوبی در این مناطق دارد (Armah-Agyeman *et al.*, 2002; Merrill *et al.*, 2002). گلرنگ دارای ۳۵ تا ۴۵ درصد روغن گیاهی با کیفیت بالا است (Mahasi *et al.*, 2009). همچنین بذر این گیاه به عنوان غذای پرندگان نیز می‌تواند استفاده شود. از گلبرگ گلرنگ برای تولید رنگ و چاشنی غذا نیز استفاده می‌شود (Bagheri and Sam-Daliri, 2011). گلرنگ دارای ارقام بسیار متنوعی است که از نظر رنگ گل، ارتفاع، شکل برگ، خاردار بودن، میزان روغن و پروتئین دانه، مقاومت به عوامل محیطی، طول فصل رشد، وزن دانه و صفات دیگر با هم تفاوت دارند. بررسی‌های انجام شده توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور نشان داد که رقم فرمان عملکرد بهتری از سایر ارقام مخصوص مناطق دیم دارد. رقم فرمان با دارا بودن این ویژگی‌های می‌تواند به منظور افزایش خوداتکائی دانه‌های روغنی و نیز ایجاد گزینه‌ای جدید در تناوب محصولات دیم کشور بکار گرفته شود. جوانه‌زنی بذر شامل شروع فعالیت متابولیکی سریع، رشد جنین، خروج ریشه‌چه و سرانجام ظهور اندام‌های هوایی در گیاه است (Grzesik and Romanowska-Duda, 2014). عوامل فیزیکی تنظیم کننده جوانه‌زنی برای بذرها بدون خواب، به طور معمول شامل دما، آب و اکسیژن و برای بذرها دارای خواب، علاوه بر این عوامل، نور و محرک‌های شیمیایی می‌باشد (Baskin and Baskin, 2004). دما و رطوبت می‌توانند با هم یا به طور جداگانه بر درصد و

بیماری زنگ، مقاوم است (Poordad, 2018). همچنین در شرایط دارای آبیاری تکمیلی و در سال‌های پرباران نیز دارای پتانسیل عملکرد بالائی است. در این پژوهش، جوانه‌زنی بذرهای این گیاه در دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد درانکوباتور مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار انجام شد. در هر تکرار ۵۰ عدد بذر انتخاب شد و در ظروف پتری به قطر ۹ سانتی‌متر، حاوی یک لایه کاغذ صافی واتمن مرطوب شده، قرار داده شدند و به دماهای ثابت مورد نظر انتقال یافتند. به منظور حفظ رطوبت و تبادل حرارتی مناسب، ظروف پتری در طول دوره آزمایش به میزان مناسب مرطوب نگهداشته شد. شمارش بذور جوانه زده ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش و به طور روزانه انجام گرفته و بذرهای جوانه زده (دارای طول ریشه چه ۲-۱ میلی‌متر یا بیشتر) ثبت شد (Adam et al., 2007) و (Brindle et al., 2005). عمل شمارش بذور تا زمان اتمام جوانه‌زنی و یا تا زمانی که جوانه‌زنی به میزان ثابتی می‌رسید، به طور منظم ادامه پیدا کرد. درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور در هر درجه حرارت محاسبه شد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی تعداد کل بذرهای جوانه‌زده نرمال بر تعداد بذرهای کشت شده تقسیم و عدد بدست آمده ضربدر ۱۰۰ شد (رابطه ۱).

#### رابطه ۱

$$100 \times \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده}}{\text{تعداد کل بذرها}} = \text{درصد جوانه زنی}$$

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی نیز از رابطه زیر استفاده شد (Saha et al., 2008).

$$R_{50} = \frac{1}{D_{50}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در رابطه بالا،  $D_{50}$  مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، و  $R_{50}$  سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. تعیین درجه حرارت‌های کاردینال (پایه، مطلوب و حداکثر)

حداکثر یا سقف برای جوانه‌زنی هستند. دمای پایه و حداکثر دماهایی هستند که به ترتیب در دماهای پایین‌تر و بالاتر از آن دماها، سرعت جوانه‌زنی صفر است و در واقع جوانه‌زنی متوقف می‌شود و دمای مطلوب، دمایی است که در آن بالاترین سرعت جوانه‌زنی مشاهده می‌شود. از روابط ریاضی و متدهای مختلفی برای تعیین این دماها در گیاهان مختلف استفاده می‌شود که می‌توان به مدل‌های رگرسیونی غیر خطی که شامل توابع دو تکه‌ای، دندان‌مانند، بتا و چند جمله‌ای درجه دوم است، اشاره کرد (Alvarado and Bradford, 2002). در نتیجه هدف از این تحقیق ارزیابی پاسخ‌های دما رطوبتی و امکان پیش‌بینی قدرت سازگاری گیاه گلرنگ تحت شرایط دمایی و رطوبتی مختلف می‌باشد که ممکن است در آینده‌ای نه چندان دور به وقوع بپیوندد. تعیین دمای مناسب جوانه‌زنی برای بذر گلرنگ می‌تواند به تعیین بهترین زمان کشت این گیاه در مزرعه کمک شایانی کند. همچنین آگاهی از آستانه تحمل جوانه‌زنی و استقرار به تنش کمبود آب در این گیاه نیز می‌تواند به استقرار و شناسایی مکان‌های مناسب برای کشت آن‌ها کمک کند، به گونه‌ای که با سنجش خاک منطقه از لحاظ میزان رطوبت آب قابل دسترس می‌توان راجع به کشت و یا عدم کشت این گیاه با توجه به آستانه تحمل آن به تنش کمبود آب اقدام کرد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران انجام شد. بدین منظور بذر گلرنگ رقم فرامان از موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور واقع در استان کرمانشاه تهیه شد. گلرنگ فرامان رقمی متحمل به تنش کمبود آب، زودرس با تیپ رشد بینابین، بدون خار، دانه درشت، دارای گل‌های قرمز و با متوسط ارتفاع بوته ۹۰ سانتی‌متر است. رقم فرامان در مناطق دیم معتدل سرد، عملکرد مناسب دارد و از نظر

نظر گرفته شدند. در این مطالعه از سه تابع دوتکه‌ای، بتا و دندان‌مانند برای تعیین دمای ویژه گلرنگ استفاده شد (Hardegree, 2006; Jame and Cutforth, 2004).

با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بین سرعت جوانه‌زنی و درجه حرارت‌های مختلف صورت گرفت، که در آنها درجه حرارت‌های مختلف به عنوان متغیر مستقل (محور x) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور y) در

$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b) \quad \text{if } T_b < T \leq T_o$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_o) \quad \text{if } T_o < T < T_c$ $f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$	تابع دو تکه‌ای
$f(T) = \left\{ \left[ \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \right] \left[ \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \right] \right\}^a \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$ $f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$	تابع بتا
$f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b) \quad \text{if } T_b < T < T_{o1}$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{o2}) \quad \text{if } T_{o2} < T < T_c$ $f(T) = 1 \quad \text{if } T_{o1} < T < T_{o2}$ $f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$	تابع دندان‌مانند

به عنوان تست اولیه برای تعیین محدوده تحمل به کمبود آب، مورد بررسی قرار گرفت. سپس با توجه به اینکه جوانه‌زنی بذر گلرنگ در پتانسیل تنش کمبود آب (خشکی) بالای ۱۰- بار متوقف شد از پتانسیل‌های کمتر از ۱۰- بار برای بررسی خصوصیات جوانه‌زنی بذر گلرنگ استفاده شد. پتانسیل‌های ایجاد شده برای تنش کمبود آب شامل ۵-، ۷- و ۹-، ۱۰- و شاهد (پتانسیل ۰) بودند. برای ایجاد سطح تنش صفر بار (شاهد) در آزمایش، از آب مقطر استفاده شد. همچنین به منظور ایجاد تنش کمبود آب، پتانسیل‌های مورد نظر طبق دستور العمل کافمن و میشل با استفاده از پلی اتیلن گلابکول ۶۰۰۰ ایجاد شد (مطالعات نشان داده که این ماده برای شبیه‌سازی شرایط تنش خشکی مناسب است) (Kaufman and Michel, 1973).

### نتایج و بحث

طبق نتایج بدست آمده، اثر دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ رقم فرامان معنی‌دار شد ( $p \leq 0.01$ ) (جدول ۱). مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی در تیمارهای

در این توابع T: درجه حرارت (بر حسب سانتی‌گراد)،  $T_b$ ،  $T_c$ ،  $T_o$ ،  $T_{o1}$ ،  $T_{o2}$  و a به ترتیب دمای پایه، دمای بهینه، دمای بیشینه، دمای مطلوب پایینی (برای تابع دندان‌مانند)، دمای مطلوب بالایی (برای تابع دندان‌مانند) و پارامتر شکل برای تابع بتا است که انحنا را تعیین می‌کند. دماهای ویژه جوانه‌زنی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیونی و به کمک مدل‌های ارائه شده و با استفاده از سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد. محاسبه دماهای ویژه بر اساس رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما، روشی مرسوم در مطالعات مربوط به تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی به حساب می‌آید (Bradford, 2002; Colbach et al., 2002). جهت برآزش مدل با استفاده از روش‌های رگرسیونی، از نرم افزار sigmaplot version 12 استفاده شد.

سپس به منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گلرنگ نسبت به سطوح مختلف تنش کمبود آب در دمای بهینه آزمایش دیگری به اجرا در آمد. در این آزمایش جوانه‌زنی بذرهای در ابتدا در چهار سطح تنش کمبود آب، با پتانسیل (صفر، ۵-، ۱۰-، ۱۵- و ۲۰- بار)

بسیار متغیر است (جدول ۲). به نحوی که سرعت جوانه‌زنی تا دمای بهینه افزایش یافته و بعد از آن شروع به کاهش می‌کند به همین دلیل محققین از سرعت جوانه‌زنی که عامل مهم‌تری در استقرار گیاهچه و در نهایت تراکم مناسب بوته در مزرعه است، برای تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی بذرها استفاده می‌کنند (Hardegree, 2006). مطالعات متعددی بر تاثیر دما روی خصوصیات جوانه‌زنی بذرهای مختلف انجام شده که از این مدل‌ها برای تعیین دماهای کاردینال بهره گرفته اند و از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه بر روی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata*) اشاره کرد، که نتایج آن نشان داد بالاترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید و با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی کاهش یافته است (Hashemi et al., 2016). ماک کورمیک و همکاران دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر هویج (*Daucus carota*) را محاسبه کردند و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد را به عنوان دمای اپتیمم جوانه‌زنی بذر هویج تعیین نمودند (McCormick et al., 2014). در نتایج نجفی و همکاران نیز بالاترین درصد جوانه‌زنی در بذر گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*) به میزان ۷۸ درصد در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد و بین درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌دار گزارش نشد (Nadjafi et al., 2009).

مختلف درجه حرارت، نشان داد بذرهای این گیاه در محدوده دمایی ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد از لحاظ جوانه‌زنی شرایط مناسبی را داشتند. نتایج نشان داد که جوانه‌زنی بذر گلرنگ با افزایش دما به بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد روندی کاهشی را نشان داد، به طوری که در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد ۷۲/۶ درصد جوانه‌زنی در بذر گلرنگ رقم فرامان بدست آمد. کمترین میزان جوانه‌زنی در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمد که نشان‌دهنده حساسیت جوانه‌زنی این گیاه به دماهای پایین است. اگرچه اختلاف معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی بذر گلرنگ در دماهای ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد، اما بررسی سرعت جوانه‌زنی نشان داد که برخلاف درصد جوانه‌زنی در این محدوده دمایی، سرعت جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری را دارد. بالاترین سرعت در دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمد و بعد از آن روندی نزولی در سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد و این بدین معنی است که افزایش دما به بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ رقم فرامان را کاهش می‌دهد. کمترین سرعت جوانه‌زنی نیز همانند درصد جوانه‌زنی در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین درصد و سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف نشان داد که سرعت جوانه‌زنی فرآیند حساس‌تری نسبت به دما است و با تغییرات دما میزان سرعت جوانه‌زنی

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات خصوصیات جوانه‌زنی گلرنگ (رقم فرامان) در شرایط اعمال دماهای مختلف

Table1- mean square of Analysis of variance of the effect of temperature on germination characteristics

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی
SOV	DF	Germination (%)	Germination rate
درجه حرارت	7	839.14**	0.00202**
Temperature			
خطا	16	14.33	0.0000023
Error			
کل	23	-	-
Total			
ضریب تغییرات CV		4.62	3.19

\*\* - significantly different P= 0.01

\*\* - معنی دار در سطح ۱ درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین سرعت جوانه‌زنی (تعداد/روز) جوانه‌زنی نهایی (درصد) بذر گلرنگ

Table2- Mean comparison of temperature treatments for seed germination rate and percentage

دما (سانتی‌گراد) Temperature C°	جوانه‌زنی نهایی (درصد) Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی (R <sub>50</sub> ) Germination rate
5	49.333 c	0.00896 g
10	96.66 a	0.0233 f
15	96 a	0.0451 d
20	94.66 a	0.0809 a
25	93.33 a	0.0785 a
30	80 b	0.0646 b
35	72 b	0.0501 c
40	72.6 b	0.0309 e

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند

Values followed by different letters are significantly different according to Duncan test, P= 0.01

میانگین مربعات خطای کمتر نشان‌دهنده همبستگی بیشتر مدل با واقعیت است. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است RMSE هر سه مدل پایین می‌باشد، اما در بین سه مدل ارائه شده ضریب تبیین مدل دو تکه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها بالاتر است و مقدار آن به ۹۷ درصد رسیده است. بنابراین می‌توان گفت که مدل دو تکه‌ای دقت بالاتری را در تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر گلرنگ دارد (جدول ۳). رابطه‌های حاصل از مدل‌های رگرسیونی محاسبه شده، نیز برآورد و نمودار مربوط به آن‌ها رسم شد (شکل ۱). در این آزمایش از سه مدل مختلف برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گلرنگ استفاده شد. گزارش‌های متعددی از تعیین دمای ویژه جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف با استفاده از این مدل‌ها وجود دارد. جام و کاتفورس (Jame and Cutforth, 2004) از مدل بتا برای تعیین دمای ویژه گندم استفاده کردند و بیان کردند که دمای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی بذر گندم به ترتیب صفر، ۳۰ و ۴۲ درجه سانتی‌گراد است. کازرونی منفرد و همکاران نیز از مدل دو تکه‌ای برای تخمین دماهای کاردینال تاج ریزی استفاده نمودند. (Kazeruni monfared *et al.*, 2012).

کامکار و همکاران با استفاده از سه مدل دو تکه‌ای، دندان‌مانند و بتا، دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر سه رقم آفتابگردان را محاسبه کردند و با ارزیابی مدل‌ها بیان کردند که مدل دندان‌مانند برازش مناسب‌تری را در تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر آفتابگردان دارد (Kamkar *et al.*, 2016).

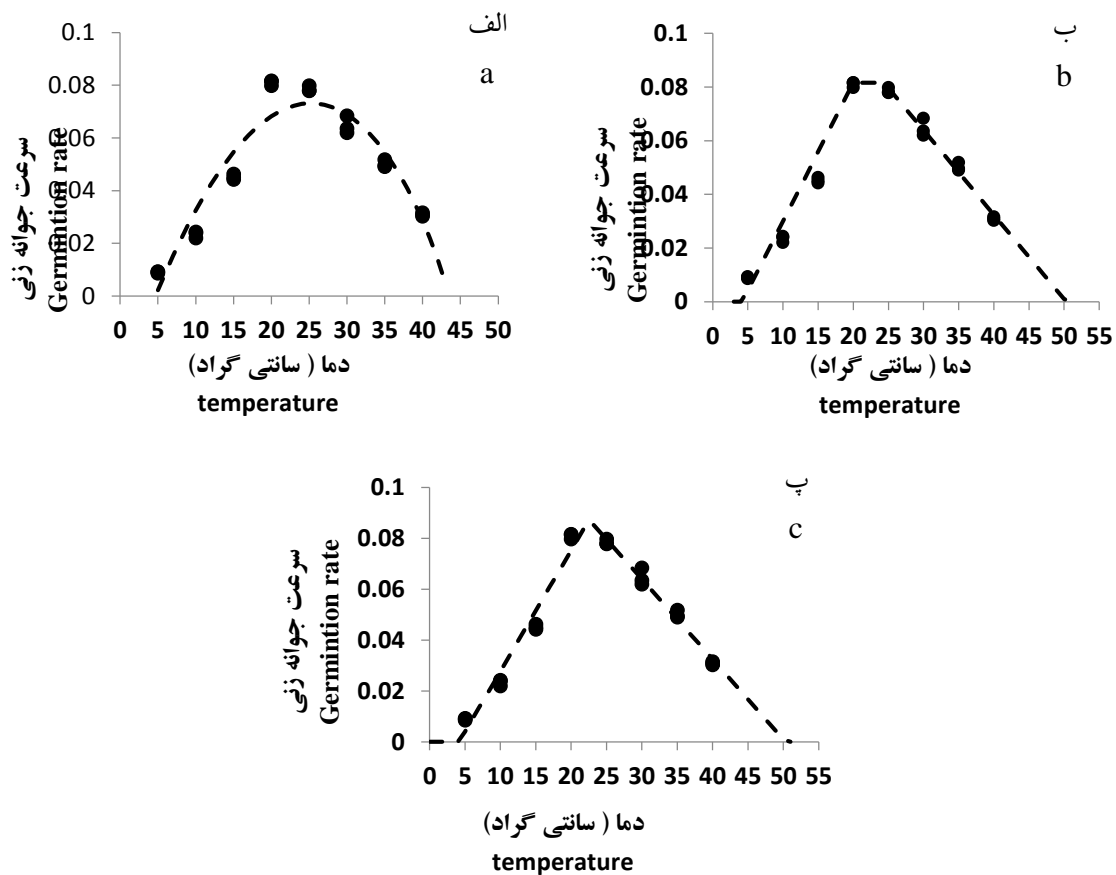
در جدول ۳ مقادیر دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر گلرنگ بر اساس مدل‌های مختلف نشان داده شده است. بر اساس مدل‌های محاسبه شده، دمای پایه جوانه‌زنی بذر گلرنگ در مدل‌های بتا، دندان‌مانند و دو تکه‌ای به ترتیب برابر ۴/۶، ۴/۱، ۴/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و دمای بهینه جوانه‌زنی نیز برابر با ۲۲/۰۲، ۲۰ تا ۲۴/۳ و ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شد. دمای بیشینه جوانه‌زنی گلرنگ نیز در مدل‌های مختلف شامل ۴۳/۳، ۵۰/۳ و ۵۰/۳ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در مدل‌های بتا، دندان‌مانند و دو تکه‌ای بدست آمد. آماره‌های محاسبه شده برای مدل‌های استفاده شده، شامل ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و جذر میانگین مربعات خطا بود که معیاری برای سنجش دقت مدل می‌باشند، به گونه‌ای که ضریب تبیین بالاتر و جذر

جدول ۳- مقادیر پیش بینی دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر گلرنگ (رقم فرامان) بر اساس مدل‌های برازش شده

Table 2- Estimated parameters for the, beta, Dent like and segmented models

مدل دو تکه ای	مدل دندان مانند	مدل بتا	دمای کاردینال
Segmented model	Dent like model	Beta model	Cardinal Temperature
4.1	4.1	4.6	دمای پایه Base temperature
22.5	20-24.3	22.02	دمای بهینه Optimum temperature
50.3	50.3	43.3	دمای حداکثر Maximum temperature
0.0038%	0.0047%	0.0013%	RMSE*
0.97	0.96	0.9	ضریب تبیین R2

Root Mean Square Error: این شاخص معیاری برای دقت نتایج است و معمولاً هرچه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق (fit) باشد مقدار آن کمتر می‌شود.



شکل ۱- رابطه بین سرعت جوانه‌زنی ( $R_{50}$ ) و دما (درجه سانتی گراد) در گلرنگ (رقم فرامان) بر اساس مدل‌های

(الف) بتا، (ب) دندان مانند و (پ) دو تکه ای

Figure 1- Relation between Germination Rate (GR), and Temperature in *Cannabis sativa* by using Beta model (a), dent like (b) and Segmented model (c)

کمبود آب مورد بررسی قرار گیرد. نتایج تجزیه واریانس آزمایش تنش کمبود آب نشان داد که اثر پتانسیل رطوبتی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ معنی‌دار بود (جدول ۴).

پس از تعیین دمای بهینه، بذرهای گلرنگ در سطوح مختلف تنش کمبود آب در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت تا عکس‌العمل خصوصیات جوانه‌زنی بذر گلرنگ در سطوح مختلف تنش

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر گلرنگ (رقم فرامان) تحت تیمار تنش کمبود آب

Table 4- Mean square of Analysis of variance of the effect of temperature and water deficit (drouth) on germination characteristics

منابع تغییر	درجه آزادی	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی
SOV	DF	Germination rate	Germination (%)
تنش کمبود آب	4	0.00252**	4505.73**
Water Deficite			
خطا	10	0.0000005	3.2
Error			
کل	14	-	-
Total			
ضریب تغییرات CV	-	2.3	3.1

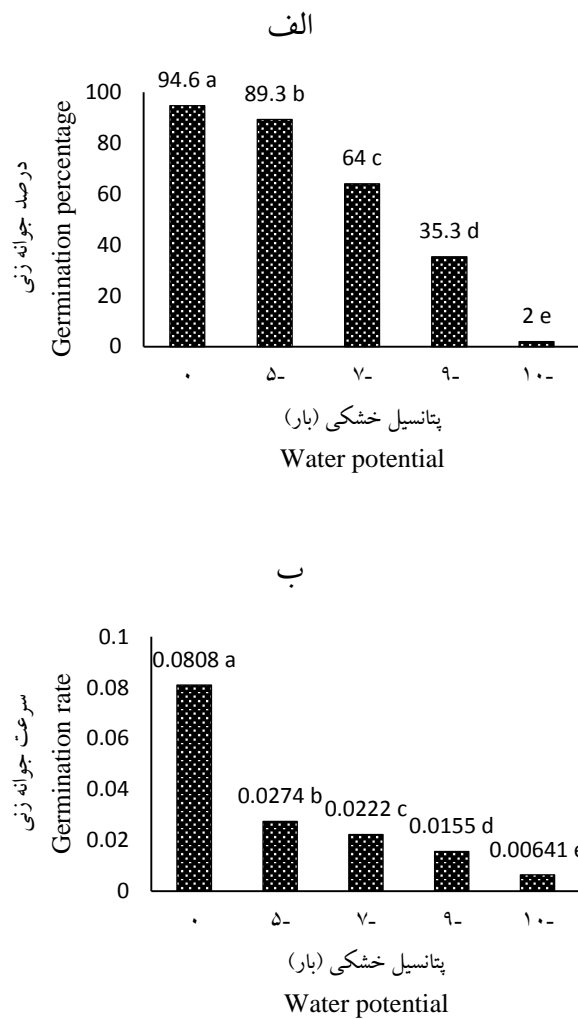
\*\* - significantly different P= 0.01

\*\* - معنی‌دار در سطح ۱ درصد

بدست آمده در این پژوهش با گزارش‌های سایر محققان نیز هم‌خوانی دارد. کاروانی و همکاران گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی در دماهای مختلف، کلیه خصوصیات جوانه‌زنی بذر گل‌سازویی شامل درصد جوانه‌زنی کل و نرمال، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و شاخص بینه کاهش یافت (Karevani *et al.*, 2014). در تعدادی از مطالعات کاهش جوانه‌زنی تحت تأثیر تنش خشکی به کاهش رطوبت سلول و تأثیر آن بر ساخت پروتئین‌ها و ترشح هورمون‌ها نسبت داده شده است. به طور کلی به دلیل کاهش پتانسیل آب سلول‌های در حال رشد، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. در حقیقت تنش کمبود آب با محدود کردن جذب آب توسط بذر، تأثیر بر حرکت و انتقال ذخایر بذر در هنگام جوانه‌زنی و یا با تأثیر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین جنین، جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (Dodd and Donovan, 1999).

مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ (رقم فرامان) در سطوح مختلف تنش کمبود آب نشان داد که با افزایش تنش کمبود آب درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ کاهش یافت (شکل ۲ الف). با افزایش شدت تنش درصد جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ به شکل معنی‌داری روند نزولی داشت. افت درصد جوانه‌زنی در پتانسیل‌های منفی بالاتر از ۵- شدیدتر بود و در تنش کمبود آب ۱۰- بار تنها ۲ درصد از بذرهای گلرنگ قادر به جوانه‌زنی بودند. در رابطه با سرعت جوانه‌زنی نیز روندی مشابه با درصد جوانه‌زنی مشاهده شد (شکل ۲ ب). مقایسه میانگین سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ در شدت‌های مختلف تنش کمبود آب، نشان داد که با افزایش شدت تنش، سرعت جوانه‌زنی به شدت کاهش یافت. این کاهش سرعت نسبت به کاهش درصد جوانه‌زنی شیب تندتری را داشت به طوری‌که حتی در تنش کمبود آب ۵- بار نیز نسبت به حالت شاهد، سرعت جوانه‌زنی به کمتر از یک سوم رسید. نتایج





شکل ۲- مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی (الف) و سرعت جوانه‌زنی (ب) بذر گلرنگ (رقم فرامان) در سطوح مختلف تنش کمبود آب (خشکی)  
 Figure 2- Mean comparison of germination percentage and germination rate of *Carthamus tinctorius* under different levels of water deficit (drouth)

برآورد مدل‌های مختلف و سنجش این مدل‌ها مشخص شد که مدل دو تکه‌ای تخمین بهتری را از تعیین دمای ویژه جوانه‌زنی گلرنگ بدست می‌دهد و طبق این مدل دمای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی گلرنگ رقم فرامان به ترتیب برابر ۴/۱، ۲۲/۵ و ۵۰/۳ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. قابلیت جوانه‌زنی مناسب این گیاه در محدوده حرارتی وسیع، می‌تواند عامل مهمی در موفقیت کشت آن در اقلیم‌های مختلف باشد که برای تایید این موضوع، باید

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که بذره‌های گلرنگ رقم فرامان در محدوده وسیعی از دما قادر به جوانه‌زنی هستند، به گونه‌ای که در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نیز ۷۲ درصد جوانه‌زنی در بذره‌های گلرنگ مشاهده شد. نتایج نشان داد که جوانه‌زنی بذره‌های گلرنگ به دماهای پایین حساس تر است. با توجه به نتایج حاصل از

که با افزایش تنش کمبود آب درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ با کاهش شدیدی مواجه شد به طوری که در تنش کمبود آب بالای ۱۰- بار جوانه‌زنی بذر گلرنگ کاملاً متوقف شد.

سایر خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی آن نیز در شرایط مختلف دمایی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین مقایسه میانگین درصد جوانه‌نی و سرعت جوانه‌زنی بذر گلرنگ (رقم فرامان) در سطوح مختلف تنش کمبود آب نشان داد

## Reference

## منابع

- Adam, N. R., D. A. Dierig., T. A. Coffelt., M. J. Wintermeyer., B. E. Mackey., and G. W. Wall. 2007. Cardinal temperatures for germination and early growth of two *Lesquerella* species. *Indus. Crops Prod.* 25: 24-33.
- Alvarado, V., and K.J. Bradford, 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25: 1061-1069.
- Armah-Agyeman, G., Loiland, J., Karrow, R., Hang, A. 2002. Safflower. Corvallis, Or.: Extension Service, Oregon State University.
- Bagheri, H., Sam-Daliri, M. 2011. Effect of water stress on agronomic traits of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 5(12): 2621-2624.
- Baskin, J. M and C.C. Baskin, 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 14: 1-16.
- Bloomberg, M., J.R. Sedcole, E.G. Mason, and G. Buchan, 2009. Hydrothermal time germination models for radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *Seed Sci Res.* 19: 171-182.
- Bradford, K.J., and D.W. Still, 2004. Applications of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technol.* 26: 74-85.
- Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50(2): 248-260.
- Brindle, M., and K. Jensen. 2005. Effect of temperature on dormancy and germination of *Eupatorium* L. achenes. *Seed Sci. Res.* 15: 143-151
- Colbach, N., B. Chauvel, C. Dürr, and G. Richard. 2002. Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination. I. Effect of temperature and light. *Weed Res.* 42(3): 210-221.
- Dodd, G.L., and L.A. Donovan. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *Am. J. Bot.* 86(8):1146-1153.
- Ellis, R.H., and E.H. Roberts. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Sci. Technol.* 9: 373-409.
- Grzesik, M., and Z. Romanowska-Duda. 2014. Improvements in germination, growth, and metabolic activity of corn seedlings by grain conditioning and root application with cyanobacteria and microalgae. *Polish J. Environ. Stud.* 23(4):1147-1153.
- Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann. Bot.* 97(6):1115-11.125
- Hashemi, A, R. Tavakkol Afshari, and L. Tabrizi. 2016. investigation of germination properties and important temperatures of *Plantago ovate* seed. *J. Iran Agric. Plants Sci.* 47(1): 1-7. (In Persian, with English Abstract)
- Jame, Y., and H. Cutforth. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agric. Forest Meteorol.* 124(3): 207-218.

- Kamkar, B., H. Zolfagharnezhad, and N. Khalili. 2016.** Quantifying of germination rate response to temperature of three sunflower varieties using nonlinear regression models. *J of plant product research*. 22(2)(119-136).
- Karavani, B., R. Tavakol Afshari, N. Majnoon Hoseini, and S.A. Moosavi. 2014.** Investigation of seed germination peroperties of *Scrophularia Striata* under droght and salinity stressess in different temperatures. *J. Iran Agric. Plants Sci.* 45(2): 265-275. (In Persian, with English Abstract)
- Kaufman R, E. Barlyn, and N. Michel.1973.** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 51: 914-916.
- Kaya, M.D., G. Okcu, M. Atak, Y. Cıkkılı, and O. Kolsarıcı. 2006.** Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Eur. J. Agron.* 24: 291-295.
- Kazeruni Monfared, A., P. Rezvani Moghadam., M. Nasiri Mahalati, and S. Tokasi. 2012.** Proc. Iranian Weed Sci. Congr., 4th, Ahvaz, Iran. 6-7 Feb. Investigation on the cardinal temperatures for germination of *Solanum nigrum*.
- Khan, M.A., and S. Gulzar. 2003.** Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass. *J. Arid Environ.* 53(3): 387-394.
- Mahasi, M., F. Wachira, R. Pathak, and T. Riungu. 2009.** Genetic polymorphism in exotic safflower (*Carthamus tinctorious L.*) using RAPD markers. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 1(1): 008-012.
- McCormick, J.I., R.A. Goodger, and R.J. Chynoweth. 2014.** Cardinal temperatures and vernalisation requirements for a selection of vegetables for seed production. *Agro. New Zealand.* 44: 71-83.
- Merrill, S.D., D.L. Tanaka, and J.D. Hanson. 2002.** Root length growth of eight crop species in Haplustoll soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(3): 913-923.
- Mizrahi, Y., and D.O.V. Pasternak. 1985.** Effect of salinity on quality of various agricultural crops. *Plant and Soil*, 89(1-3), 301-307.
- Nadjafi, F., L.Tabrizi., J. Shabahang., and A.M. Damghani. 2009.** Cardinal germination temperatures of some medicinal plant species. *Seed Technol.* 31(2): 156-163.
- Poordad, S. 2018.** *Carthamus tinctorius L.* Faraman Cultivar Suitable for cultivation in dryland areas. *Agric. Educ. Publ.*
- Rauf, M., M. Munir, M. ul Hassan, M. Ahmad, and M. Afzal. 2007.** Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *Afr. J. Biotechnol.* 6(8): 971-975.
- Raziei, T., B. Saghafian, A.A. Paulo, L.S. Pereira, and I. Bordi. 2009.** Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water Resour. Manage.* 23(3): 439-455.
- Saha, P., S. Raychaudhuri, D. Mishra, A. Chakraborty, and M. Sudarshan. 2008.** Role of trace elements in somatic embryogenesis – A PIXE study. *Nucl. Instrum. Methods in Physics Res. Section B.* 266(6): 918–920.

