

## اثرات دما و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) رقم صفه

رسول استادیان بیدگلی<sup>۱</sup>، حمیدرضا بلوچی<sup>۲\*</sup>، الیاس سلطانی<sup>۳</sup> و علی مرادی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۳. استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران پردیس ابوریحان

۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰)

### چکیده

اطلاعات کمی در مورد اثرات دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی بذر گلرنگ وجود دارد. به منظور بررسی تأثیر دما و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی در بذر گلرنگ (رقم صفه) آزمایشی به صورت تجزیه مرکب در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار ۲۵ بذری در آزمایشگاه تکنولوژی بذر گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل آب (۰، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶، -۰/۸، -۱، -۱/۲، -۱/۴ و -۱/۶ مگاپاسکال) در نظر گرفته شد. صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه و شاخص بینه گیاهچه اندازه‌گیری گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر دما، پتانسیل آب و اثر متقابل آن‌ها بر کلیه شاخص‌های جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین با کاهش پتانسیل آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد با تغییر پتانسیل آب از صفر به -۱/۶ مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی از ۹۸ درصد به صفر رسید و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با تغییر پتانسیل آب از صفر به -۱/۶ مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی از ۹۵ درصد به ۱ درصد کاهش یافت. با افزایش دما تا دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و پس از آن کاهش یافت.

**کلمات کلیدی:** پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی، دما، سرعت جوانه‌زنی، گلرنگ.

## Effects of temperature and water potential on seed germination characteristics in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Sofeh var.

R. Ostadian Bidgoli<sup>1</sup>, H. Balouchi<sup>2\*</sup>, E. Soltani<sup>3</sup> and A. Moradi<sup>4</sup>

1. M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University

2. Associate Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University

3. Assistant Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Pardis Aboryhan, Tehran University

4. Assistant Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University

(Received: 20.Sep. 2016 – Accepted: 28. Feb. 2017)

### Abstract

There is a little information about the effects of temperature and water potential on safflower. In order to study the effects of temperature and water potential on seed germination characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.), an experiment as combined analysis was conducted base on a completely randomized design with 4 replications by 25 seeds in laboratory of seed technology at Yasouj University in 2015. The factors included temperature (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45°C) and water potential (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1, -1.2, -1.4 and -1.6 MPa). The percentage and rate of germination, root length, shoot length, ratio of root length to shoot length and seedling vigor index were measured in this experiment. The results of analysis of variance showed that main effects of temperature and water potential and interactions were significant on all indicators of germination at 1% probability level. Also, by decreased water potential, germination percentage and germination rate reduced. At 5°C and at zero potential germination percentage was 98% while the potential of -1.6 MPa germination percentage dropped to zero. At 35°C and at zero potential germination percentage was 95% while the using potential of -1.6 MPa germination percentage decreased to 1%. By increasing the temperature up to 20°C increasing germination percentage and germination rate detected and afterwards reduced.

**Keywords:** Water potential, Germination percentage, Temperature, Germination rate, Safflower.

\* Email: balouchi@yu.ac.ir

## مقدمه

(Larsen et al., 2004).

بخش اعظم اراضی کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود و با توجه با این که تنش خشکی و دمایی شایع‌ترین تنش غیر زنده می‌باشد، بررسی راهکارهایی مناسب جهت برخورد با این موضوع برای کشاورزان اهمیتی اساسی دارد. یکی از ویژگی‌های مهم گیاهان زراعی زادآوری و تجدید نسل آن‌ها از طریق بذر می‌باشد. بذر به‌عنوان یکی از عوامل مهم در توسعه کشاورزی و افزایش تولید محصولات زراعی است، لذا تولید بذر با کیفیت بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه از مراحل بحرانی و مهم در چرخه زندگی گیاهان و همچنین از عوامل تعیین‌کننده عملکرد و زمان رسیدگی می‌باشند (Windauer et al., 2007). جوانه‌زنی اولین و مهم‌ترین مرحله‌ی نمو در گیاه است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار می‌گیرد. تأخیر و استقرار نامناسب گیاهچه از معضلات مهم در نواحی است که گیاهان با تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی، شوری و دمای پایین مواجه هستند (Meyer and Pendleton, 2000). از این‌رو هر عاملی که از طریق کاهش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی منجر به استقرار نامناسب و تراکم پایین گیاهچه شود، باعث کاهش عملکرد می‌گردد. بنابراین جوانه‌زنی مطلوب تحت محدوده وسیعی از شرایط محیطی، برای استقرار مناسب گیاهچه و تولید عملکرد مطلوب ضروری است (Jacobsen and Bach, 1998). دما، آب و اکسیژن از عوامل محیطی تأثیرگذار بر جوانه‌زنی در بذرهای بدون کمون می‌باشد، همچنین برای بذرهای دارای خواب علاوه بر این عوامل ممکن است نور و محیط شیمیایی نیز نیاز باشد. از بین عوامل محیطی ذکر شده در بالا، دما و پتانسیل آبی از جمله عوامل بسیار مهم برای جوانه‌زنی بذرهای بدون خواب هستند (Bradford, 2002). این دو عامل هر کدام به تنهایی و یا همراه باهم، می‌توانند بر روی درصد و سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار باشند

دما یکی از عواملی است که بر درصد و سرعت جوانه‌زنی مؤثر است. حداکثر درصد جوانه‌زنی در گیاهان، در دامنه خاصی از دماها رخ می‌دهد و در پایین‌تر و بالاتر از این دامنه دمایی، درصد جوانه‌زنی به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد. همچنین، سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا دمای مطلوب جوانه‌زنی افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد (Kebreab and Murdoch, 2000). علاوه بر دما پتانسیل آب خاک نیز یکی از مهمترین عوامل محیطی است که بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه تأثیر می‌گذارد. در مورد اثرات کاهش پتانسیل آب، مطالعات بیانگر آن است که کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش شانس استقرار گیاه، ظاهر شدن یکنواخت گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی و عملکرد می‌شود (Springer, 2005). همچنین، توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط تنش رطوبتی شانس استقرار بیش‌تر گیاه و تراکم گیاهی بالاتر را در پی دارد که در نتیجه منجر به افزایش عملکرد می‌شود (Balbaki et al., 1999). زبرجدی و همکاران (Zabarjadi et al., 2012) در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ نشان دادند که با کاهش پتانسیل آب از صفر تا ۴- بار، تفاوت معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی تمامی ژنوتیپ‌ها حاصل نشد و حداکثر درصد جوانه‌زنی در تمامی ژنوتیپ‌ها در سطح شاهد و ۴- بار به‌طور متوسط بیش از ۸۵ درصد بود. با افزایش تنش در درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها کاهش مشاهده شد. در مورد اثرات متقابل دما و تنش خشکی بر جوانه‌زنی مطالعاتی در گیاهان مختلف انجام شده است. در مطالعه‌ای که توسط (Anda and Pinter, 1994) بر روی سورگوم انجام دادند گزارش کردند که واکنش درصد ظاهر شدن گیاهچه این گیاه با افزایش دما در پتانسیل‌های مختلف متفاوت است. آنها گزارش کردند که در پتانسیل ۰/۲- مگاپاسکال بین دماها از لحاظ درصد سبز شدن تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. اما در پتانسیل ۰/۴- مگاپاسکال با افزایش دما درصد سبز شدن به‌طور خطی افزایش یافت که به‌ازای هر درجه

طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار ۲۵ بذری از گیاه گلرنگ رقم صنفه که بذر این گیاه از مرکز تحقیقات استان اصفهان (برداشت سال ۱۳۹۲) تهیه و اجرا شد به طوری که دما به عنوان محیط و پتانسیل آب به عنوان تیمار داخل محیط در نظر گرفته شدند. تیمارهای آزمایشی شامل ۹ سطح دما (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی گراد) و ۹ سطح پتانسیل آب (صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶ - مگاپاسکال) می باشد. پتانسیل های لازم متناسب با دمای مورد نظر توسط محلول پلی اتیلن گلايکول ۶۰۰۰ (مرک، آلمان) از طریق رابطه میشل و کافمن (Michel and Kaufman, 1973) محاسبه شدند:

معادله (۱)

$$\psi_s = (1.18 \times 10^{-2})C - (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67 \times 10^{-4})CT + (8.39 \times 10^{-7})C^2T$$

در این رابطه  $\Psi_s$  پتانسیل اسمزی برحسب پاسکال (بار)، C غلظت پلی اتیلن گلايکول برحسب گرم در کیلوگرم آب و T درجه حرارت محیط آزمایش برحسب درجه سانتی گراد است. همچنین، برای تهیه سطح شاهد از آب مقطر استفاده گردید. بذرها با قرار گرفتن در محلول قارچ کش کربوکسین تیرام یک در هزار به مدت ۱ دقیقه ضدعفونی شده و به داخل پتری ها منتقل شدند و به هر یک از پتری ها مقدار ۱۰ سانتی متر مکعب محلول پلی اتیلن گلايکول و آب مقطر (شاهد) اضافه شد. سپس هر یک از پتری ها در داخل دماهای مورد آزمایش و مطابق با قوانین انجمن بین المللی آزمون بذر (Anonymus, 2010b) به مدت ۱۴ روز در این سطوح دمایی قرار گرفتند. شمارش بذور جوانه زده دو بار در روز به فاصله زمانی ۱۲ ساعت انجام شد و به هنگام شمارش بذوری جوانه زده تلقی می شود که طول ریشه چه آن ها دو میلی متر یا بیش تر باشد. در آخرین روز پس از شمارش بذورهای جوانه زده از هر پتری ۱۰ نمونه به طور تصادفی انتخاب و طول ریشه چه و ساقه چه آن ها با خط کش مدرج میلی متری اندازه گیری

افزایش دما از ۹ تا ۱۶ درجه سانتی گراد، درصد افزایش سبز شدن سورگوم در پتانسیل ۰/۴ - مگاپاسکال، ۴/۲ درصد و در پتانسیل ۰/۲ - مگاپاسکال، ۰/۶۴ درصد بود.

گلرنگ با نام علمی (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی از تیره کاسنی<sup>۱</sup> می باشد که به دلیل ویژگی های سازگاری و زراعی مطلوب این گیاه نظیر استفاده های طبی، صنعتی و غذایی از گلبرگ های آن، کیفیت بالای روغن دانه و وجود بیشتر از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع به خصوص اسیدهای چرب لینوئیک و اولئیک، مقاومت نسبتاً بالا به خشکی، سازگاری وسیع به درجه حرارت های پایین زمستان و بالای تابستان و فصل رشد کوتاه در کشت تابستانه از جمله مواردی است که آن را به عنوان گیاه روغنی با ارزش مطرح نموده است. سطح زیر کشت گلرنگ در جهان در سال ۲۰۱۴ معادل ۷۸۲۶۴۱ هکتار با متوسط عملکرد ۸۲۷۲ کیلوگرم در هکتار و تولید دانه آن ۶۴۷۳۷۴ تن بوده است. سطح زیر کشت گلرنگ در ایران حدود ۸۱۰ هکتار با متوسط عملکرد ۷۱۲۵ کیلوگرم در هکتار و تولید دانه آن ۵۷۰ تن بوده است، بیشترین سطح زیر کشت این گیاه به ترتیب مربوط به استان های اصفهان، خراسان و یزد است. با توجه به شرایط اقلیمی خشک ایران، نیاز شدید کشور به روغن و تحمل گلرنگ به خشکی و شوری، توسعه کشت این گیاه بسیار راه گشا می باشد. برای توسعه کشت گلرنگ انجام مطالعات به زراعی و به نژادی این گیاه ضروری است (Anonymus, 2016). هدف از این بررسی، مطالعه اثرات دما و پتانسیل آب بر شاخص های جوانه زنی بذر گلرنگ رقم صنفه بود.

## مواد و روش ها

این آزمایش در آزمایشگاه تکنولوژی بذر گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۳ به صورت تجزیه مرکب در قالب

<sup>۱</sup> Asteraceae

آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. در صورت معنی دار بودن اثرات متقابل برش دهی اثر پتانسیل های مختلف آبی در هر سطح دمایی انجام و مقایسه میانگین آنها به روش L.S.Means در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان داد که اثرات اصلی دما و پتانسیل آب و همچنین اثرات متقابل آنها برای کلیه صفات شامل درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی ( $R_{50}$ )، طول ریشه چه، طول ساقه چه، نسبت طول ریشه چه به ساقه چه و شاخص بنیه گیاهچه (طولی) در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۱).

شد. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه زنی ( $R_{50}$ ) بذور از برنامه جرمین (Soltani and Maddah, 2010) استفاده شد. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون یابی منحنی افزایش جوانه زنی در مقابل زمان محاسبه می کند. سرعت جوانه زنی نیز با رابطه زیر محاسبه شد:

$$R50 = 1/T50 \quad \text{معادله (۲)}$$

در این رابطه،  $T_{50}$  معادل زمان تا ۵۰ درصد جوانه زنی است.

شاخص بنیه گیاهچه از حاصل ضرب درصد جوانه زنی نهایی در طول گیاهچه محاسبه شد. همچنین ضریب آلومتری از نسبت طول ریشه چه به ساقه چه به دست آمد (Reddy and Khan, 2001). محاسبات آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین اثرات اصلی با

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر دما و پتانسیل آب بر شاخص های جوانه زنی بذر گلرنگ

Table 1. Analysis of variance for the effect of temperature and water potentials on seed germination characteristics of Safflower

| منابع تغییر<br>S.O.V.         | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات (Mean Squares)               |                                       |                                  |                                   |  |  |
|-------------------------------|---------------------|---|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
|                               |                     | درصد جوانه زنی<br>Germination<br>percentage | سرعت جوانه زنی<br>Germination<br>rate | طول<br>ریشه چه<br>Root<br>length | طول<br>ساقه چه<br>Shoot<br>length | نسبت طول<br>ریشه چه به<br>ساقه چه<br>R/S | شاخص بنیه<br>گیاهچه<br>Seedling vigor<br>index |
| دما<br>Temperature            | 8                   | 39961.3**                                   | 0.012**                               | 171.7**                          | 16.08**                           | 1198.2**                                 | 250.03**                                       |
| خطا<br>Error                  | 27                  | 64.4  | 0.000005                              | 0.070                            | 0.018                             | 1.85                                     | 0.115  |
| پتانسیل آب<br>Water potential | 8                   | 15300.8**                                   | 0.023**                               | 56.9**                           | 23.6**                            | 390.7**                                  | 119.8**  |
| اثر متقابل دما و آب<br>T*W    | 64                  | 1216.3**                                    | 0.002**                               | 13.9**                           | 3.32**                            | 364.1**                                  | 17.8**   |
| خطا<br>Error                  | 216                 | 34.4  | 0.00004                               | 0.074                            | 0.018                             | 3.84                                     | 0.106  |
| CV (%)                        | -                   | 10.7  | 24.4                                  | 12.9                             | 18.6                              | 34.5                                     | 12.7   |

\*\* Significant at 1% probability level.

\*\* معنی داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می دهد.

سطح دمایی انجام شد و نتایج برش دهی نشان داد که اثر پتانسیل آب در دماهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد

با توجه به معنی دار شدن اثرات متقابل برای همه شاخص های جوانه زنی، برش دهی اثر پتانسیل آب در هر

نمود ولی برای بقیه صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. در دماهای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد، اثر پتانسیل آب برای صفت‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی ( $R_{50}$ ) در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود ولی برای بقیه صفات معنی داری وجود نداشت. اثر پتانسیل آب برای کلیه صفات در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد عدم معنی داری را نشان داد (جدول ۲).

برای همه شاخص‌های جوانه‌زنی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است ولی در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد اثر پتانسیل آب برای سرعت جوانه‌زنی ( $R_{50}$ ) در سطح احتمال ۵ درصد و برای بقیه شاخص‌های جوانه‌زنی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. اثر پتانسیل آب در دمای ۵ درجه سانتی گراد برای صفت‌های سرعت جوانه‌زنی ( $R_{50}$ ) و نسبت طول ریشه‌چه و ساقه‌چه معنی دار

جدول ۲- تجزیه واریانس برش‌دهی اثر پتانسیل آب در هر سطح دمایی برای شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گلرنگ

Table 1. Analysis of variance for the effect of water potential that sliced on each level temperature for safflower seed germination characteristics

| دما Temperature | درجه آزادی df | میانگین مربعات (Mean Squares)         |                                 |                         |                          |                                 |                                       |
|-----------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
|                 |               | درصد جوانه‌زنی Germination percentage | سرعت جوانه‌زنی Germination rate | طول ریشه‌چه Root length | طول ساقه‌چه Shoot length | نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه R/S | شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index |
| 5               | 8             | 6834.1**                              | 0.00003 <sup>ns</sup>           | 1.06**                  | 0.21**                   | 4.14 <sup>ns</sup>              | 2.42**                                |
| 10              | 8             | 5161**                                | 0.00009*                        | 9.08**                  | 3.20**                   | 16.44**                         | 25.6**                                |
| 15              | 8             | 1024.7**                              | 0.0003**                        | 13.17**                 | 8.94**                   | 8/51 <sup>ns</sup>              | 36.15**                               |
| 20              | 8             | 275.4**                               | 0.006**                         | 30.08**                 | 18.77**                  | 635.6**                         | 53.33**                               |
| 25              | 8             | 837.4**                               | 0.006**                         | 86.54**                 | 18.38**                  | 526.4**                         | 113.5**                               |
| 30              | 8             | 6432.4**                              | 0.008**                         | 28.55**                 | 5.65**                   | 2100.5**                        | 31.48**                               |
| 35              | 8             | 4100.1**                              | 0.007**                         | 0.039 <sup>ns</sup>     | 0.004 <sup>ns</sup>      | 3.93 <sup>ns</sup>              | 0.065 <sup>ns</sup>                   |
| 40              | 8             | 366.1**                               | 0.011**                         | 0.085 <sup>ns</sup>     | 0.009 <sup>ns</sup>      | 8.50 <sup>ns</sup>              | 0.005 <sup>ns</sup>                   |
| 45              | 8             | 2.80 <sup>ns</sup>                    | 2.11 <sup>ns</sup>              | 3.83 <sup>ns</sup>      | 5.29 <sup>ns</sup>       | 3.72 <sup>ns</sup>              | 1.07 <sup>ns</sup>                    |

\*\* , \* , <sup>ns</sup> به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی داری را نشان می‌دهد.

\*\* , \* , <sup>ns</sup> significant at 1%, 5%, Non- significant probability level.

سانتی گراد درصد جوانه‌زنی افزایش یافته ولی با بیشتر شدن دما از ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی گراد، درصد جوانه‌زنی روند کاهش داشته و در نهایت در دماهای ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی گراد به صفر رسید. در پتانسیل‌های ۱/۴- و ۱/۶- مگاپاسکال، در دمای ۵ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی صفر بود ولی با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی روندی افزایشی داشته است که این روند با بیشتر شدن دما از ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی گراد شروع به کاهش کرده و در نهایت در دو دمای ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی گراد به صفر رسید. بیشترین درصد جوانه‌زنی در

## درصد جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های آب در دماهای جوانه‌زنی مختلف برای درصد جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ در جدول ۳ نشان داد که در پتانسیل‌های صفر تا ۰/۶- مگاپاسکال با افزایش دما از ۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی تا حدودی ثابت است ولی با افزایش دما از ۳۵ تا ۴۵ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی شروع به کاهش کرده به طوری که در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به صفر رسید. در پتانسیل‌های ۰/۸- تا ۱/۲- مگاپاسکال نیز با افزایش دما از ۵ تا ۲۰ درجه

جوانه‌زنی می‌شود. صبوری‌راد و همکاران (Saboori-rad *et al*, 2011) در بذر کوشیا نشان دادند که بالاترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد و در چهار سطح اول پتانسیل آب (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱- مگاپاسکال) رخ داد که اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان ندادند.

محدوده پتانسیل‌های آبی اعمال شده در دو دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد بوده است (جدول ۳). در این آزمایش مشخص شد که به‌طور کلی کاهش پتانسیل آب و خارج شدن از محدوده دمای بهینه باعث کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود. در حقیقت پلی‌اتیلن گلایکول با ایجاد تنش خشکی باعث کاهش هیدرولیز ماده اندوخته بذر و در نتیجه کاهش درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های آب در دماهای جوانه‌زنی مختلف برای درصد جوانه‌زنی بذر گلرنگ

Table 3. Mean comparison for the effect of water potentials in different germination temperatures for seed germination of safflower

| پتانسیل آب<br>Water potential<br>(MPa) | دما (°C) Temperature |       |        |      |       |       |       |      |     |
|--|----------------------|-------|--------|------|-------|-------|-------|------|-----|
|  | 5                    | 10    | 15     | 20   | 25    | 30    | 35    | 40   | 45  |
| 0                                      | 98 a                 | 100 a | 100 a  | 98 a | 100 a | 95 a  | 74 ab | 24 a | 0 a |
| -0.2                                   | 96 ab                | 96 ab | 98 ab  | 92 a | 92 bc | 89 a  | 77 a  | 20 a | 0 a |
| -0.4                                   | 88 b                 | 95 ab | 94 abc | 94 a | 92 bc | 92 a  | 76 a  | 11 b | 0 a |
| -0.6                                   | 87 b                 | 92 bc | 92 abc | 97 a | 95 ab | 93 a  | 52 c  | 3 c  | 0 a |
| -0.8                                   | 49 c                 | 86 c  | 91 abc | 95 a | 87 dc | 86 a  | 62 bc | 0 c  | 0 a |
| -1                                     | 43 c                 | 77 d  | 90 bc  | 93 a | 87 dc | 50 b  | 25 d  | 0 c  | 0 a |
| -1.2                                   | 12 d                 | 74 d  | 85 c   | 97 a | 84 d  | 16 c  | 8 e   | 0 c  | 0 a |
| -1.4                                   | 0 e                  | 11 e  | 64 d   | 79 b | 60 e  | 10 dc | 9 e   | 0 c  | 0 a |
| -1.6                                   | 0 e                  | 8 e   | 53 e   | 75 b | 60 e  | 1 d   | 0 f   | 0 c  | 0 a |

میانگین‌ها در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون L.S.Means در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Mean in each column followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, by using of L.S.Means Test.

سانتی گراد سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت؛ اما با بیشتر شدن دما سرعت جوانه‌زنی کاهش یافته و در نهایت در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به صفر رسید. در محدوده دمایی ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد بیشترین سرعت جوانه‌زنی در پتانسیل‌های ۰/۲ تا ۱/۶- مگاپاسکال رخ داده است (جدول ۴). نتایج نشان داد که با کاهش پتانسیل آب از سرعت جوانه‌زنی کاسته شده است؛ زیرا اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال شود و یا به‌کندی صورت گیرد فعالیت‌های داخل بذر به‌کندی صورت گرفته و مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش می‌یابد و یا به عبارتی سرعت جوانه‌زنی بذر کاهش می‌یابد.

### سرعت جوانه‌زنی ( $R_{50}$ )

نتایج مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های آب در دماهای جوانه‌زنی مختلف برای سرعت جوانه‌زنی ( $R_{50}$ ) بذرهای گلرنگ در جدول ۴ نشان داده شده است. در تمام تیمارهای دمایی همراه با کاهش پتانسیل آب سرعت جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ روند نزولی نشان داد. در پتانسیل صفر مگاپاسکال با افزایش دما از ۵ تا ۴۰ درجه سانتی گراد سرعت جوانه‌زنی روندی افزایشی دارد و در نهایت در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد سرعت جوانه‌زنی صفر می‌شود. در سایر پتانسیل‌های آب نیز (به جز ۱/۴- و ۱/۶- مگاپاسکال) با افزایش دما از ۵ تا ۲۵ درجه

اکرام‌قادری و همکاران (Akramghaderi *et al.*, 2008) اما با افزایش دما از ۳۵ به ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت در کدوی تخم کاغذی نشان دادند که با افزایش دما از ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت؛ جوانه‌زنی کاهش و در نهایت در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به صفر رسید.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های آب در دماهای جوانه‌زنی مختلف برای سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت) بذر گلرنگ

Table 4. Mean comparison for the effect of water potentials in different germination temperatures for germination rate (hour<sup>-1</sup>) of safflower

| پتانسیل آب<br>Water potential<br>(MPa) | دما (Temperature (°C)) |         |          |          |         |          |          |         |     |
|--|------------------------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|-----|
|  | 5                      | 10      | 15       | 20       | 25      | 30       | 35       | 40      | 45  |
| 0                                      | 0.009 a                | 0.020 a | 0.032 a  | 0.112 a  | 0.110 b | 0.123 a  | 0.143 a  | 0.154 a | 0 a |
| -0.2                                   | 0.007 ab               | 0.019 a | 0.028 b  | 0.106 a  | 0.125 a | 0.112 b  | 0.049 b  | 0.090 b | 0 a |
| -0.4                                   | 0.006 bc               | 0.015 b | 0.019 c  | 0.079 b  | 0.031 c | 0.045 c  | 0.034 c  | 0.036 c | 0 a |
| -0.6                                   | 0.005 cd               | 0.013 c | 0.018 cd | 0.034 c  | 0.044 c | 0.029 d  | 0.033 c  | 0.013 c | 0 a |
| -0.8                                   | 0.0047 de              | 0.010 d | 0.015 d  | 0.034 c  | 0.039 c | 0.023 de | 0.030 cd | 0 d     | 0 a |
| -1                                     | 0.0040 ef              | 0.008 e | 0.009 e  | 0.019 cd | 0.033 c | 0.019 ef | 0.021 de | 0 d     | 0 a |
| -1.2                                   | 0.002 f                | 0.008 e | 0.008 ef | 0.013 d  | 0.015 d | 0.012 fg | 0.015 e  | 0 d     | 0 a |
| -1.4                                   | 0 g                    | 0.008 e | 0.007 ef | 0.009 d  | 0.014 d | 0.006 gh | 0.012 e  | 0 d     | 0 a |
| -1.6                                   | 0 g                    | 0.008 e | 0.006 f  | 0.009 d  | 0.016 d | 0.002 h  | 0 f      | 0 d     | 0 a |

میانگین‌ها در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون L.S.Means در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Mean in each column followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, by using of L.S.Means Test.

اختلال در کار غشاها از جمله عواملی است که موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی بذور در دماهای بیشتر از دمای مطلوب می‌شود. همچنین کاهش کارایی متابولیکی بذور نیز از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بیشتر از دمای مطلوب مشاهده شده است (Ueno, 2003).

### طول ریشه‌چه

نتایج مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های آب در دماهای جوانه‌زنی مختلف برای طول ریشه‌چه بذرها گلرنگ در جدول ۵ نشان داد که طول ریشه‌چه به‌عنوان شاخصی مناسب جهت ارزیابی مقاومت به خشکی نیز در تیمارهای مختلف پتانسیل آب و دما متفاوت بود. آستانه تحمل‌پذیری ریشه‌چه با کاهش پتانسیل آب، کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در پتانسیل آب ۰/۶- مگاپاسکال در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین طول ریشه‌چه

سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی شاخص حساس‌تری به دما است (Soltani *et al.*, 2006). واکنش متفاوت مرحله جوانه‌زنی به دماهای مختلف به این دلیل است که با افزایش دما تا دمای مطلوب، فعالیت آنزیم‌ها و به‌تبع آن کارایی واکنش‌های آنزیمی افزایش می‌یابد که این امر بهبود درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را به دنبال دارد. از طرف دیگر، درجه حرارت‌های خیلی کم و زیاد نیز موجب غیرفعال شدن برخی آنزیم‌ها و کاهش سرعت این واکنش‌ها و در نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود. در دماهای کم، فعالیت متابولیکی به‌طور نسبی کاهش می‌یابد و واکنش‌های گیاهی نمی‌توانند در گیاه انجام گیرند، از طرف دیگر دماهای زیاد برای مدت زمان طولانی موجب تخریب پروتئین‌ها و در نهایت از بین رفتن بذر می‌شوند (Kamkar *et al.*, 2012). انعقاد پروتئین و

درجه حرارت و پتانسیل های خشکی در ارقام مختلف گندم نتیجه گرفتند که کاهش پتانسیل آب موجب کاهش طول ریشه چه شد. به طوری که کمترین مقدار طول ریشه چه در تیمار ۹- بار و حداکثر این مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد. علت وقوع این امر را می توان نتیجه افزایش غلظت محلول پلی اتیلن گلاکول و همچنین افزایش فشار و پتانسیل اسمزی محیط کشت دانست.

مشاهده شد. با افزایش دما از ۵ تا ۴۵ درجه سانتی گراد، در همه پتانسیل های آب طول ریشه چه کاهش یافت به طوری که بیشترین طول ریشه چه در تمام پتانسیل های آب در دو دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد بود.

آخوندی (Akhoondi, 2010) گزارش می کند که با افزایش تنش خشکی کلیه صفات مرفولوژیکی از جمله طول ریشه چه کاهش می یابد. رحیمیان و همکاران (Rahimiyan Mashhadi *et al*, 1991) در بررسی اثر

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر پتانسیل های آب در دماهای جوانه زنی مختلف برای طول ریشه چه (سانتی متر) بذر گلرنگ

Table 5. Mean comparison for the effect of water potentials in different germination temperatures for root length (cm) of safflower

| پتانسیل آب<br>Water potential<br>(MPa) | دما (°C) Temperature |        |         |         |        |        |        |        |     |  |
|--|----------------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-----|--|
|  | 5                    | 10     | 15      | 20      | 25     | 30     | 35     | 40     | 45  |  |
| 0                                      | 1.55 a               | 4.04 b | 3.47 b  | 5.05    | 5.80 c | 2.32 d | 0.30 a | 0.30 a | 0 a |  |
| -0.2                                   | 1.02 b               | 4.80 a | 4.51 a  | 4.59 dc | 5.04 d | 2.47 d | 0.30 a | 0.30 a | 0 a |  |
| -0.4                                   | 1.01 b               | 2.75 c | 4.67 a  | 4.48 d  | 5.23 d | 3.23 c | 0.30 a | 0.30 a | 0 a |  |
| -0.6                                   | 0.88 c               | 1.50 e | 3.34 b  | 11.4 a  | 17.9 a | 6.41 b | 0.30 a | 0.15 b | 0 a |  |
| -0.8                                   | 0.50 d               | 2.23 d | 2.49 c  | 5.83 bc | 5.68 c | 7.03 a | 0.30 a | 0 c    | 0 a |  |
| -1                                     | 0.50 d               | 1.55 e | 0.75 d  | 6.03 b  | 6.28 b | 0.30 e | 0.30 a | 0 c    | 0 a |  |
| -1.2                                   | 0.37 e               | 1.17 f | 0.67 de | 3.80 d  | 3.42 e | 0.30 e | 0.22 a | 0 c    | 0 a |  |
| -1.4                                   | 0 f                  | 0.50 g | 0.45 e  | 2.13 e  | 2.63 f | 0.22 e | 0.22 a | 0 c    | 0 a |  |
| -1.6                                   | 0 f                  | 0.50 g | 0.10 f  | 2.06 e  | 2.56 f | 0.07 e | 0 b    | 0 c    | 0 a |  |

میانگین ها در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بر اساس آزمون L.S.Means در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

Mean in each column followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, by using of L.S.Means Test.

می شود که طول ساقه چه نسبت به ریشه چه خسارت بیشتری را تحمل کرده است.

توکلافشاری و همکاران (Tavakkol-Afshari *et al.*, 2002) گزارش کردند که یکی از علل کاهش طول ساقه چه در شرایط تنش خشکی را کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت های ذخیره ای بذر به جنین است. به طور کلی جوانه زنی بذور گیاهان در محیط های در معرض تنش دارای ساقه چه و ریشه چه های کوتاه تری هستند و اعتقاد بر این است کاهش ویژگی های جوانه زنی

### طول ساقه چه

طول ریشه چه و ساقه چه از مهمترین صفات تعیین کننده کیفیت بذور می باشد که تحت تأثیر ژنوتیپ و شرایط محیطی قرار می گیرد. نتایج مقایسه میانگین اثر پتانسیل های آب در دماهای جوانه زنی مختلف برای طول ساقه چه بذرهای گلرنگ در جدول ۶ نشان داد که بیشترین طول ساقه چه نیز همانند طول ریشه چه در تمامی پتانسیل های آب در دو دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد بود. با مقایسه بین نتایج طول ریشه چه و ساقه چه مشخص



بدور را می توان به کاهش سرعت و میزان جذب اولیه آب و نیز اثرات منفی پتانسیل های اسمزی پایین نسبت داد (Lynch and Lanchli, 1988). در مطالعه ای که ایزدی و همکاران (Izadi *et al.*, 2014) بر روی ویژگی های جوانه زنی بذر سه رقم کنجد در شرایط تنش خشکی انجام دادند مشخص شد که با کاهش پتانسیل اسمزی طول ساقه چه نسبت به ریشه چه به این کاهش پتانسیل اسمزی حساس تر است.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر پتانسیل های آب در دماهای جوانه زنی مختلف برای طول ساقه چه (سانتی متر) بذر گلرنگ

Table 6. Mean comparison for the effect of water potentials in different germination temperatures for shoot length (cm) of safflower

| پتانسیل آب<br>Water potential<br>(MPa) | دما (°C) Temperature |        |        |         |        |         |        |        |     |  |
|--|----------------------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|-----|--|
|  | 5                    | 10     | 15     | 20      | 25     | 30      | 35     | 40     | 45  |  |
| 0                                      | 0.58 a               | 2.30 b | 4.70 a | 6.25 a  | 6.35 a | 3.45 a  | 0.10 a | 0.10 a | 0 a |  |
| -0.2                                   | 0.55 a               | 2.39 a | 2.29 b | 3.25 b  | 3.77 b | 1.84 b  | 0.10 a | 0.10 a | 0 a |  |
| -0.4                                   | 0.48 b               | 1.16 c | 1.18 d | 1.90 c  | 2.42 c | 1.36 c  | 0.10 a | 0.10 a | 0 a |  |
| -0.6                                   | 0.45 b               | 0.57 d | 1.62 c | 1 d     | 1.10 d | 0.30 d  | 0.10 a | 0.05 b | 0 a |  |
| -0.8                                   | 0.20 c               | 0.63 d | 0.88 e | 0.59 de | 0.69 e | 0.10 de | 0.10 a | 0 c    | 0 a |  |
| -1                                     | 0.20 c               | 0.23 e | 0.37 f | 0.34 e  | 0.55 e | 0.10 de | 0.10 a | 0 c    | 0 a |  |
| -1.2                                   | 0.15 c               | 0.20 e | 0.15 g | 0.12 e  | 0.12 f | 0.10 de | 0.07 a | 0 c    | 0 a |  |
| -1.4                                   | 0 d                  | 0.20 e | 0.10 g | 0.10 e  | 0.10 f | 0.07 e  | 0.07 a | 0 c    | 0 a |  |
| -1.6                                   | 0 d                  | 0.20 e | 0.10 g | 0.10 e  | 0.10 f | 0.02 e  | 0 b    | 0 c    | 0 a |  |

میانگین ها در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بر اساس آزمون L.S.Means در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

Mean in each column followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, by using of L.S.Means Test.

کاهش کرده که در نهایت در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد صفر شده است. با کاهش پتانسیل آب، بیشترین میزان نسبت طول ریشه چه به ساقه چه در دو دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد بود.

آزمایشات مختلف بیانگر این است که در اثر تنش خشکی طول ریشه چه و ساقه چه هر دو کاهش می یابد ولی نسبت طول ریشه چه به ساقه چه افزایش می یابد. زیرا در مراحل اولیه تنش خشکی سرعت رشد ریشه چه به دلیل حساسیت کمتر آن به تنش خشکی و به منظور افزایش جذب آب بیشتر است (Kafi *et al.*, 2005).

### نسبت طول ریشه چه به ساقه چه (R/S)

ضریب آلومتری از تقسیم میانگین طول ریشه چه به ساقه چه بدست می آید. افزون بر این برخی از منابع از این ضریب به عنوان نمایانگر نوعی از تحمل به تنش ها یاد نموده اند. اگرچه نسبت بین قسمت های هوایی و ریشه تحت کنترل ژنتیکی است، ولی به طور شدیدی تحت تأثیر محیط هم قرار می گیرد. نتایج مقایسه میانگین اثر پتانسیل های آب در دماهای جوانه زنی مختلف برای نسبت طول ریشه چه به ساقه چه بذرهای گلرنگ در جدول ۷ نشان داد که با افزایش دما از ۵ تا ۲۵ درجه سانتی گراد نسبت طول ریشه چه به ساقه چه افزایش یافته ولی با افزایش دما از ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی گرا این نسبت شروع به

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های آب در دماهای جوانه‌زنی مختلف برای نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه گلرنگ  
Table 7. Mean comparison for the effect of water potentials indifferent germination temperatures for R/S of safflower

| پتانسیل آب<br>Water potential<br>(MPa) | دما (°C) Temperature |         |        |         |         |        |        |       |     |
|--|----------------------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|-------|-----|
|  | 5                    | 10      | 15     | 20      | 25      | 30     | 35     | 40    | 45  |
| 0                                      | 2.67 a               | 1.75 d  | 0.73 e | 0.81 e  | 0.91 e  | 0.67 c | 3 a    | 3 a   | 0 a |
| -0.2                                   | 1.84 c               | 2 d     | 1.97 d | 1.31 e  | 1.34 e  | 1.34 c | 3 a    | 3 a   | 0 a |
| -0.4                                   | 2.08 abc             | 2.37 d  | 3.94 b | 2.51 de | 2.16 e  | 2.51 c | 3 a    | 3 a   | 0 a |
| -0.6                                   | 1.97 bc              | 2.65 cd | 2.06 d | 11.5 cd | 16.3 c  | 21.3 b | 3 a    | 1.5 b | 0 a |
| -0.8                                   | 2.50 ab              | 3.50 c  | 2.83 c | 10.7 d  | 8.17 d  | 70.3 a | 3 a    | 0 b   | 0 a |
| -1                                     | 2.50 ab              | 6.99 a  | 1.80 d | 21.3 b  | 11.3 d  | 3 c    | 3 a    | 0 b   | 0 a |
| -1.2                                   | 1.87 c               | 5.85 b  | 5.09 a | 33.7 a  | 29.7 a  | 3 c    | 2.25 a | 0 b   | 0 a |
| -1.4                                   | 0 d                  | 2.50 d  | 4.32 b | 21.3 b  | 26.3 ab | 2.25 c | 2.25 a | 0 b   | 0 a |
| -1.6                                   | 0 d                  | 2.50 d  | 1 e    | 20.6 bc | 25.6 b  | 0.75 c | 0 b    | 0 b   | 0 a |

میانگین‌ها در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون L.S.Means در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.  
Mean in each column followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, by using of L.S.Means Test.

کنند. نتایج مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های آب در دماهای جوانه‌زنی مختلف برای بنیه طولی گیاهچه بذرهای گلرنگ در جدول ۷ نشان داد که شاخص بنیه گیاهچه به عنوان تابعی از طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی نیز تحت تأثیر پتانسیل آبی و دما قرار گرفت.

#### شاخص بنیه گیاهچه

یکی دیگر از شاخص‌های تعیین‌کننده کیفیت بذر، شاخص بنیه بذر می‌باشد که از طریق درصد جوانه‌زنی نهایی و طول گیاهچه روی کیفیت بذر مؤثر است. بذرهایی که دارای بنیه قوی‌تر باشند، توانایی بالایی در تحمل تنش‌های محیطی دارند و ضمن داشتن درصد بالایی از جوانه‌زنی، قادرند گیاهچه‌های قوی‌تری تولید

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های آب در دماهای جوانه‌زنی مختلف برای شاخص بنیه گیاهچه بذر گلرنگ  
Table 8. Mean comparison for the effect of water potentials in different germination temperatures for seedling vigor index of safflower

| پتانسیل آب<br>Water potential<br>(MPa) | دما (°C) Temperature |        |        |         |         |         |          |        |     |
|--|----------------------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|--------|-----|
|  | 5                    | 10     | 15     | 20      | 25      | 30      | 35       | 40     | 45  |
| 0                                      | 2.09 a               | 6.34 b | 8.17 a | 11.06 a | 12.1 b  | 5.48 b  | 0.296 ab | 0.09a  | 0 a |
| -0.2                                   | 1.52 b               | 6.91 a | 6.67 b | 7.67 b  | 8.09 c  | 3.84 c  | 0.308 a  | 0.08 a | 0 a |
| -0.4                                   | 1.32 c               | 3.72 c | 5.50 c | 6 c     | 7.04 d  | 4.23 c  | 0.304 a  | 0.04 b | 0 a |
| -0.6                                   | 1.16 d               | 1.91 e | 4.53 d | 12.02 a | 18.04 a | 6.26 a  | 0.208 c  | 0.01 c | 0 a |
| -0.8                                   | 0.34 e               | 2.46 d | 3.03 e | 6.14 bc | 5.54 e  | 6.11 ab | 0.248 bc | 0 d    | 0 a |
| -1                                     | 0.30 e               | 1.37 f | 0.96 f | 5.91 c  | 5.95 e  | 0.200 d | 0.100 d  | 0 d    | 0 a |
| -1.2                                   | 0.08 f               | 1.01 g | 0.77 f | 3.79 d  | 2.98 f  | 0.064 d | 0.032 e  | 0 d    | 0 a |
| -1.4                                   | 0 g                  | 0.05 h | 0.35 g | 1.78 e  | 1.64 g  | 0.040 d | 0.036 e  | 0 d    | 0 a |
| -1.6                                   | 0 g                  | 0.07 h | 0.10 g | 1.65 e  | 1.59 g  | 0.004 d | 0 f      | 0 d    | 0 a |

میانگین‌ها در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون L.S.Means در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.  
Mean in each column followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, by using of L.S.Means Test.

و پتانسیل آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی گلرنگ تأثیر معنی‌داری دارند. حساسیت درصد جوانه‌زنی نسبت به دما کمتر از سرعت جوانه‌زنی در این گیاه بود. نکته قابل توجه افزایش ریشه‌چه گلرنگ با افزایش تنش بود که اهمیت طول ریشه‌چه را در گلرنگ در شرایط تنش خشکی و دمایی نشان می‌دهد. در محدوده دمایی ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و پنج سطح اول پتانسیل آبی (صفر، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال) در همه شاخص‌های جوانه‌زنی بهترین محدوده دمایی و پتانسیل آبی بود که در آن تمامی این شاخص‌ها در بهترین حالت خود بودند. همچنین آستانه تأثیرپذیری اغلب صفات جوانه‌زنی در تنش پتانسیل ۰/۸- مگاپاسکال بود که با منفی‌تر شدن پتانسیل آب اغلب صفات تحت تأثیر پتانسیل آب قرار می‌گیرند.

در این صفت در تمامی پتانسیل‌های آبی با افزایش دما از ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، بنیه طولی گیاهچه در همه پتانسیل‌های آبی افزایش یافت به گونه‌ای که در دو دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان بنیه گیاهچه در تمام پتانسیل‌های آب رخ داده بود. با کاهش پتانسیل آب در همه تیمارهای دمایی، بنیه طولی گیاهچه کاهش یافت به طوری که بیشترین بنیه طولی گیاهچه در پتانسیل صفر در همه تیمارهای دمایی رخ داد.

### نتیجه‌گیری

جوانه‌زنی بذر از جمله مراحل حساس رشد گیاه محسوب می‌شود. وجود هر گونه عوامل نامساعد و تنش‌زا در این مرحله، می‌تواند رشد و تکامل گیاه را با خطر روبرو کند. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که دما

### References

### منابع

- Akhoondi, M. 2010.** Effects of PEG stress on alfalfa genotypes in hydroponics, Eleventh Iranian Crop Science Congress, Shahid Beheshti University, Iran. (In Persian, with English Abstract).
- Akram Ghaderi, F., A. Soltani, and H.R. Sadehipour. 2008.** Effect of temperature and water potential on germination of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo. convar. pepo var. styriaca*), black cumin (*Nigella sativa* L.) and borago (*Borago officinalis* L.). (In Persian, with English Abstract). *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15(5): 157-170.
- Anda, A., and L. Pinter. 1994.** Sorghum germination and development at influenced by soil temperature and water content. *Agron. J.* 86: 621-624.
- Anonymous. 2016.** FAOSTAT [Online]. Available at [www.fao.org/faostat/en/#data/QC](http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC) (accessed 7 Jun. 2016).
- Anonymus. 2010.** International rules for seed testing. International Seed Testing Association (ISTA). Seed Science and Technology. Zurich, Switzerland.
- Bradford, K.J. 2002.** Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50: 248-260.
- Izadi, E., H. Zarghan, M. Mohamadian, and A.J. Yanegh. 2012.** Evaluation of germination and seedling growth characteristics of three sesame (*Sesamum indicum*) cultivars in salt and drought stress condition. (In Persian, with English Abstract). *Agron. J. (Pajouhesh & Sazandegi)* 102: 92-100.
- Jacobsen, S.E. and A.P. Bach. 1998.** The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Seed Sci. Technol.* 26: 515-523.
- Kafi, M., A. Nezami, H. Hoseyni, and A. Masoomi. 2005.** Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. (In Persian, with English Abstract). *J. Iranian Field Crop Res.* 3:69-81.
- Kamkar, B., M. Jami Al-Ahmadi, A. Mahdavi Damghani, and F. Villalobos. 2012.** Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy *Papaver somniferum* L. seeds germinate using non-linear regression models. *Ind. Crops. Prod.* 35: 192-198.

- Kebreab, E., and A.J. Murdoch. 2000.** The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanches aegyptiaca* seeds. *Seed Sci. Res.* 10: 127-133.
- Larsen, S.U., C. Bailly, D. Côte, and F. Corbineau. 2004.** Use of the hydrothermal time model to analysis interacting effects of water and temperature on germination of three grass species. *Seed Sci. Res.* 14: 35-50.
- Lynch, J., and A. Lauchli. 1988.** Salinity affects intracellular calcium in corn root protoplasts. *Plant Physiol.* 87: 351-356.
- Meyer, S.E., and R.L. Pendleton. 2000.** Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentata* (Rosaceae). *Ann. Bot.* 85: 521-529.
- Michel, B.E., and M.R. Kaufmann. 1973.** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 51(5): 914-916.
- Rahimian Mashhadi, H., A. Bagheri Kazemabadi, and A. Payab. 1991.** Various potential effect of sodium chloride with PEG and temperature on germination of wheat. (In Persian, with English Abstract). *J. Agric. Sci. Technol.* 50: 37-47.
- Reddy, Y.T.N., and M.M. Khan. 2001.** Effect of osmopriming on germination, seedling growth and vigour of khirni (*Mimusops hexandra*) seeds. *Seed Res.* 29 (1): 24-27.
- Saburi-rad, S., M. Kafi, A. Nezami, and M. Bannayan-aval. 2011.** Study on seed germination behavior of *Kochia scoparia* L. Schard in response to temperature and water potential. (In Persian, with English Abstract). *Iranian J. Range. Desert. Res.* 18(4): 578-592.
- Soltani, A., and V. Maddah. 2010.** Simple Applications for Education and Research in Agriculture. Publications Ecological Society of martyr Beheshti University, 80pp. (In Persian).
- Soltani, A., M. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Daz, and R. Sarparast. 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agric. Meteorol.* 138: 156-167.
- Springer, T.L. 2005.** Germination and early seedling growth of chaffy-seeded grasses at negative water potentials. *Crop Sci.* 45: 2075-2080.
- Tavakkol-Afshari, R., and N. Majnoun-Hossini. 2002.** Responses of wheat and canola cultivars simulated drought conditions. Abstracts of Int. Conf. on environmentally sustainable agriculture for dry areas for 3rd millennium. China. September 16-19, p: 24-25.
- Ueno, K. 2003.** Effect of temperature during of immature seed germination. *Seed Sci. Technol.* (31): 587-595.
- Windauer, L., A. Altuna, and R. Benech-Arnold. 2007.** Hydrottime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Ind. Crops. Prod.* 25: 70-74.
- Zebarjadi, A.R., ZH. Soheilikhah, H.R. Ghasempour, and A. Vaisipour. 2012.** Effect of drought-induced stress by PEG6000 on physiological and morphological traits of Safflower (*Carthamus tinctorius*) seed germination in order to selection of drought tolerant genotypes. (In Persian, with English Abstract). *Iranian J. Biol.* 25(2): 252-263.