



The Effect of Drought Stress on Germination Indices of *Rudbeckia hirta* L. at Different Temperatures

Asadollah Sohrabnezhad^{1*} 

¹ Expert of Landscape and Greenspace Organization of Shiraz Municipality, Shiraz, Iran.

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	This study investigated the reaction of daffodil germination to drought stress. The experiment was conducted as a factorial design with four repetitions in 2024 and at Islamic Azad University-Shiraz branch. Various levels of water potential were applied using polyethylene glycol-6000 at four germination temperatures (15, 20, 25, and 30 °C). The evaluation metrics included final germination percentage, average germination day, germination index, germination rate index, and germination stress tolerance index. Additionally, stem and root length, as well as fresh and dry weight, were measured at 20 °C under different water potential levels. The results indicated that <i>Rudbeckia hirta</i> exhibited greater sensitivity to suboptimal temperatures compared to above-optimal temperatures. A gradual decrease in water potential inhibited and delayed seed germination. Furthermore, the cultivars demonstrated better performance at temperatures below 30 °C. Water stress during seed germination adversely affected the subsequent growth of seedlings under favorable conditions, significantly reducing shoot and root length, as well as fresh and dry weights, in seedlings derived from seeds germinated at water potentials below -0.45 MPa.
Article history: Received: 2025-1-7 Accepted: 2025-3-17	
Keywords: Bedding Flower Propagation Stress Growth Rate Tolerance	

Cite this article: Sohrabnezhad, A. (2024). The Effect of Drought Stress on Germination Indices of *Rudbeckia hirta* L. at Different Temperatures. *Seed Research*, 13 (4), 55-70.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

تأثیر تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه زیتنی کوکب کوهی (*Rudbeckia hirta* L.) در دماهای مختلف

اسداله سهراب‌نژاد^{۱*}

^۱ کارشناس فضای سبز سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهرداری شیراز، شیراز، ایران، رایانامه: asadollah.sohrabnezhad@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی	بررسی آستانه تحمل گل‌های فصلی نسبت به شرایط محیطی، یکی از راه‌کارهای افزایش بهره‌ری در فضای سبز می‌باشد. در همین راستا، به‌منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی کوکب کوهی به تنش خشکی در دماهای مختلف، آزمایشی در سال ۱۴۰۳ در دانشگاه آزاد اسلامی-واحد شیراز انجام شد. آزمایش به‌صورت طرح فاکتوریل با چهار تکرار در صورت گرفت و سطوح مختلف پتانسیل آب با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول-۶۰۰۰ در چهار دمای جوانه‌زنی (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) اعمال شد. درصد نهایی جوانه‌زنی، میانگین روز جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص نرخ جوانه‌زنی و شاخص تحمل تنش جوانه‌زنی برای ارزیابی استفاده شد. طول ساقه و ریشه و وزن تازه و خشک در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تحت سطوح مختلف پتانسیل آب اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد کوکب کوهی حساسیت بیشتری به دمای زیر بهینه نسبت به دمای بالای بهینه نشان دادند. کاهش پتانسیل آب به‌تدریج جوانه‌زنی بذر را مهار و به تأخیر انداخت. همچنین نتایج نشان داد رقم مورد استفاده در دمای کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد بهتری داشتند. تنش آب در طول جوانه‌زنی بذر، رشد بعدی دانه‌های را تحت شرایط مطلوب کاهش داد. در نتیجه، طول ساقه و ریشه و وزن تازه و خشک به‌طور قابل‌توجهی در دانه‌های حاصل از بذر جوانه‌زده در پتانسیل آب کمتر از ۰/۴۵- مگاپاسکال کاهش یافت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷	
واژه‌های کلیدی: ازدیاد تحمل تنش سرعت رشد گل فصلی	

استناد: سهراب‌نژاد، اسداله. (۱۴۰۲). تأثیر تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه زیتنی کوکب کوهی (*Rudbeckia hirta* L.) در دماهای مختلف. تحقیقات بذر، ۱۳(۴)، ۷۰-۵۵.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.



همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که دانه‌های فرفیون که تحت شرایط تنش آبی جوانه زده‌اند، هنگامی که تحت شرایط بهینه قرار گرفتند، رشد بهتری نسبت به گیاهان بدون تنش نشان دادند.

کوکب کوهی (*Rudbeckia hirta* L.) یکی از حساس‌ترین گونه‌های گیاهی فضای سبز به تنش آبی، به‌ویژه در طول جوانه‌زنی بذر است (Ahmad et al., 2009). این گونه متعلق به خانواده Asteraceae، و یکی از گیاهان رایج در فضای سبز کلان‌شهر شیراز است. گل‌آذین جذاب و شاخ‌وبرگ آن را به یک گیاه زینتی ایده‌آل تبدیل می‌کند (Dasoju et al., 1998). اخیراً، علاقه به استفاده‌های جایگزین از کوکب کوهی برای اهداف زینتی دیگر به‌عنوان گل بریده، گیاه گلدانی، گیاه منظره و غیره افزایش یافته است و کشت آن در سراسر جهان به‌طور گسترده‌ای انجام می‌شود (Hayata and Imaizumi, 2000). در پایان قرن بیستم، استفاده از این گونه به‌عنوان گیاه گلدانی به یک نوآوری جدید تبدیل شد (Vernieri et al., 2003). در دو دهه گذشته، تولید کوکب کوهی به دلیل پرورش ارقام تجاری جدید ممکن شده است (Wien, 2014). تنش آبی به‌شدت رشد گیاهان فضای سبز را در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند و بر جوانه‌زنی بذر و رشد دانه‌های بعدی تأثیر می‌گذارد (Salehi Salmi, 2022). Ahmad و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده کردند که جوانه‌زنی بذر کوکب کوهی در پتانسیل آب کمتر از ۰/۵- مگاپاسکال متوقف می‌شود. در مقابل، Lenzi و همکاران (۱۹۹۵) دریافتند که بذرهای جهش‌یافته کوکب کوهی تحمل بالایی به تنش آبی نشان می‌دهند و حتی در پتانسیل آب بسیار پایین (۱/۸- مگاپاسکال) قادر به جوانه‌زنی هستند. نتایج مشابهی توسط El Midaoui و همکاران (۲۰۰۱) به دست آمد که تحت شرایط تنش آبی شدید (۱/۶-

جوانه‌زنی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، یک مرحله حیاتی در چرخه زندگی گیاهان است. در چنین محیط‌هایی، محدودیت آب می‌تواند به‌طور جدی بر جوانه‌زنی بذر و مراحل بعدی رشد تأثیر گذارد. موفقیت تکثیر یک گیاه عمده‌تاً به پاسخ جوانه‌زنی بذر به تعدادی از عوامل خارجی بستگی دارد (Krichen et al., 2014). در میان این عوامل، دما یکی از عوامل محیطی است که به میزان زیادی بر سرعت و نرخ جوانه‌زنی، جذب آب، واکنش‌های بیوشیمیایی و فرآیندهای فیزیولوژیکی مؤثر است (Taiz and Zeiger, 2010). تعداد بذرهای جوانه‌زده معمولاً به‌صورت خطی با افزایش دما تا یک سطح بهینه افزایش می‌یابد و سپس با رسیدن به دمای حداکثر، رابطه خطی منفی نشان می‌دهد (Steinmaus et al., 2000; Bradford, 2002). علاوه بر این، آب و دما اغلب در تنظیم جوانه‌زنی بذر تعامل دارند و دماهای بالا همراه با پتانسیل‌های آب پایین خاک ممکن است موفقیت استقرار یک گیاه را محدود کنند. در کشور ایران، کمبود آب عامل اصلی تأثیرگذار بر رشد و بقای گیاهان است (Salehi Salmi, 2022). باین‌حال، اثرات تنش خشکی، به میزان زیادی به گونه و رقم بستگی دارد (Sharma, 1976). کاهش نرخ جوانه‌زنی بذر در سه گونه خشک‌زی که در معرض پتانسیل آب پایین تحت تیمارهای دمایی مختلف قرار داشتند، گزارش شده است. این نتایج بعداً توسط نویسندگان دیگری تأیید شد (Bonvissuto and Busso, 2007; Ghebrehewot et al., 2008). از سوی دیگر، رشد و توسعه دانه‌ها پس از جوانه‌زنی تحت شرایط نامساعد هنوز به‌طور کامل روشن نیست (Ungar, 1995). مشاهده شده است که رشد دانه‌های گیاهان هالوفیت که تحت شرایط تنش جوانه زده‌اند، به ژنوتیپ مرتبط است. Zahiri و

مگاپاسکال) پتانسیل آب، ۲۰ درصد جوانه‌زنی در بذر کوکب کوهی به دست آمد.

پلی اتیلن گلیکول (PEG) یک ترکیب آلی است که به‌طور گسترده‌ای در بررسی جوانه‌زنی بذر تحت پتانسیل‌های آب پایین برای شبیه‌سازی شرایط تنش آبی استفاده می‌شود (Young *et al.*, 1983; Jajarmi, 2014; Muscolo *et al.*, 2009). درواقع، PEG دارای وزن مولکولی بالایی است و بنابراین نمی‌تواند از دیواره‌های سلولی گیاه عبور کند (Carpita *et al.*, 1979). علاوه بر این، این ترکیب بی‌اثر، غیریونی و تقریباً غیرقابل نفوذ است و پتانسیل آب یکنواختی را در طول آزمایش حفظ می‌کند (Lu and Neumann, 1998). افزایش غلظت PEG در محلول باعث کاهش نرخ جوانه‌زنی، رشد ریشه و ساقه و قدرت بذر در گیاهان می‌شود (Khodarahmpour, 2011). Somers و همکاران (۱۹۸۳) استفاده از پتانسیل آب پایین القا شده توسط PEG را به‌عنوان ابزاری برای غربالگری ژنوتیپ‌های آفتاب‌گردان برای تحمل تنش آبی در طول جوانه‌زنی پیشنهاد کردند. یک مطالعه نشان داد که جوانه‌زنی بذر کوکب کوهی تحت پتانسیل‌های آب کمتر از ۰/۵- مگاپاسکال مهار می‌شود (Smok *et al.*, 1993).

کوکب کوهی، به دلیل تنوع رنگ‌ها و عادات رشد، به‌عنوان گل‌های بریده تازه در تمام طول سال بسیار محبوب هستند (Nau, 2011). آن‌ها همچنین به‌راحتی از توسط بذر رشد می‌کنند و زمان کشت نسبتاً کوتاهی (۶۰ تا ۸۰ روز بسته به رقم) دارند (Armitage and Laushman, 2003). پتانسیل تولید سالانه کوکب کوهی در بسیاری از کشورها مورد بررسی قرار گرفته و کشت آن عمدتاً در گلخانه انجام می‌شود (Garfinkel and Panter, 2014). برای این محصول زینتی، بستر رشد، به‌ویژه برای کشت گلدانی، معمولاً از نرخ بالای پیت اسفاگونوم

تشکیل شده و بذرها مستقیماً در بستر کاشته می‌شوند؛ این شرایط می‌تواند در طول فرآیند جوانه‌زنی تنش آبی ایجاد کند. علاوه بر این، در طول کشت گلخانه‌ای سرد در فصول مختلف سال، محصول می‌تواند شرایط حرارتی زیر بهینه برای جوانه‌زنی را تجربه کند. در این چارچوب، اثرات پتانسیل‌های آب کاهش‌یافته با استفاده از محلول‌های PEG بر جوانه‌زنی بذرها در کوکب کوهی تحت شرایط حرارتی بهینه و زیر بهینه بررسی شد. همچنین شبیه‌سازی دماهای متوسطی که در مراحل اولیه فصل رشد در کوکب کوهی رخ می‌دهد، مطالعه شد. علاوه بر این، رشد دانه‌ها از بذرهایی که در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تحت سطوح مختلف پتانسیل آب جوانه زده‌اند، تجزیه و تحلیل شد تا ظرفیت بازیابی دانه‌های کوکب کوهی ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش روی بذرهایی هیبرید کوکب کوهی (*Rudbeckia hirta* L.) به نام 'Best Golden' در سال ۱۴۰۳ و در دانشگاه آزاد اسلامی-واحد شیراز انجام شد. بذرها تحت هفت سطح پتانسیل آب جوانه‌زنی شدند: صفر (شاهد) ۰/۱۵-، ۰/۳۰-، ۰/۴۵-، ۰/۶۰-، ۰/۷۵- و ۰/۹۰- مگاپاسکال. پایین‌ترین سطح پتانسیل آب بر اساس نتایج پیش آزمایش انتخاب شد، جایی که هیچ جوانه‌زنی در پتانسیل‌های آب کمتر از ۰/۹۰- مگاپاسکال مشاهده نشد. سطوح مختلف پتانسیل آب با استفاده از پلی اتیلن گلیکول (PEG6000) ایجاد شدند. محلول‌های PEG با حل کردن غلظت‌های مختلف PEG در آب دیونیزه و بر اساس فرمول پیشنهادی Michel و Kaufmann (۱۹۷۳) تهیه شدند (۱۳۶، ۱۷۳، ۲۰۵، ۲۳۲ و ۲۵۷ گرم در لیتر در ۱۵ درجه سانتی‌گراد؛ ۹۴، ۱۴۴، ۱۸۱، ۲۱۴، ۲۴۲ و ۲۶۸ گرم در لیتر در ۲۰ درجه سانتی‌گراد؛ ۱۰۱، ۱۵۱، ۱۹۱،

که در آن $nd_1, nd_2, nd_3, \dots, nd_n$ بیانگر تعداد بذر جوانه زده در روز اول، دوم، سوم و ...

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

- شاخص نسبی جوانه زنی (GRI): بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (Maguire 1962):

$$GRI (\%) = \sum \left(\frac{G_i - G_{i-1}}{i} \right)$$

که نشان دهنده درصد جوانه زنی در هر روز از دوره جوانه زنی است (هرچه GRI بیشتر باشد، جوانه زنی سریع تر است)، و جایی که G_i درصد جوانه زنی بذر در روز i و G_{i-1} درصد جوانه زنی بذر در روز شمارش قبلی است.

- شاخص تحمل جوانه زنی به خشکی (GSI): بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (Ahmad et al. 2009):

$$= \frac{\text{شاخص سرعت جوانه زنی بذر در تیمار تنش}}{\text{شاخص سرعت جوانه زنی بذر شاهد}} \times 100$$

که برابر است با:

$$GSI = \frac{[(nd_2 \times 1) + (nd_4 \times 0.75) + (nd_6 \times 0.50) + (nd_8 \times 0.25)](\text{تنش تیمار})}{[(nd_2 \times 1) + (nd_4 \times 0.75) + (nd_6 \times 0.50) + (nd_8 \times 0.25)](\text{شاهد})}$$

که nd بیانگر تعداد بذر جوانه زده در روز مشخص است.

بذرهایی که در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد در پتانسیل های آب مختلف جوانه زدند، به مدت ۲ هفته در گلخانه در گلدان های ۸ سانتی متری پر شده با شن و با آب دیونیزه آبیاری شدند. در پایان آزمایش، طول ریشه و ساقه و وزن تازه و خشک اندازه گیری شدند. وزن خشک پس از خشک کردن مواد گیاهی تازه در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت (۴۸ ساعت) اندازه گیری شد. واکاوی داده ها: آزمایش به صورت طرح فاکتوریل با چهار تکرار انجام شد. تفاوت بین میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد مقایسه شد. داده های مربوط به

۲۲۳، ۲۵۳ و ۲۸۰ گرم در لیتر در ۲۵ درجه سانتی گراد؛ ۱۰۸، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۳۵، ۲۶۴ و ۲۹۲ گرم در لیتر در ۳۰ درجه سانتی گراد، به ترتیب برای ۰/۱۵، ۰/۳۰، ۰/۴۵، ۰/۶۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰ مگاپاسکال).

که در آن C غلظت PEG گرم در لیتر آب، T دما برحسب درجه سانتی گراد و Ψ پتانسیل آب (بار) است. مقادیر به دست آمده بر ۱۰ تقسیم شدند تا مقدار در مگاپاسکال به دست آمد.

بذر ها در پتری دیش های ۹ سانتی متری، بین دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره ۱ قرار داده شدند و با ۸ میلی لیتر آب دیونیزه (شاهد) یا محلول های مختلف PEG مرطوب شدند. پتری دیش ها در شرایط تاریکی در چهار انکوباتور با دماهای ثابت ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند، جایی که ۲۰ درجه سانتی گراد به عنوان دمای بهینه برای جوانه زنی بذر کوکب کوهی در نظر گرفته شد. برای هر ترکیب دما و پتانسیل آب، چهار تکرار (هر تکرار ۲۵ بذر) استفاده شد. سپس، بذر های جوانه زده روزانه از روز اول برای مجموع ۲۱ روز شمارش شدند. بذر ها زمانی جوانه زده در نظر گرفته شدند که ریشه اولیه حداقل ۲ میلی متر طول داشت. در پایان آزمایش، شاخص های زیر ارزیابی شدند:

- درصد جوانه زنی: بر اساس تعداد بذر جوانه زده به تعداد کل بذر محاسبه گردید (Ren and Tao 2004).

- میانگین روز جوانه زنی (MGT): بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (Refka et al. 2013):

$$MGT = \sum \left(\frac{n_i \times d_i}{n} \right)$$

که در آن n بیانگر تعداد بذر جوانه زده در روز d_i زمان شمارش بذر در روز i می باشد.

- شاخص جوانه زنی (GI): بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (Salehzade et al. 2009):

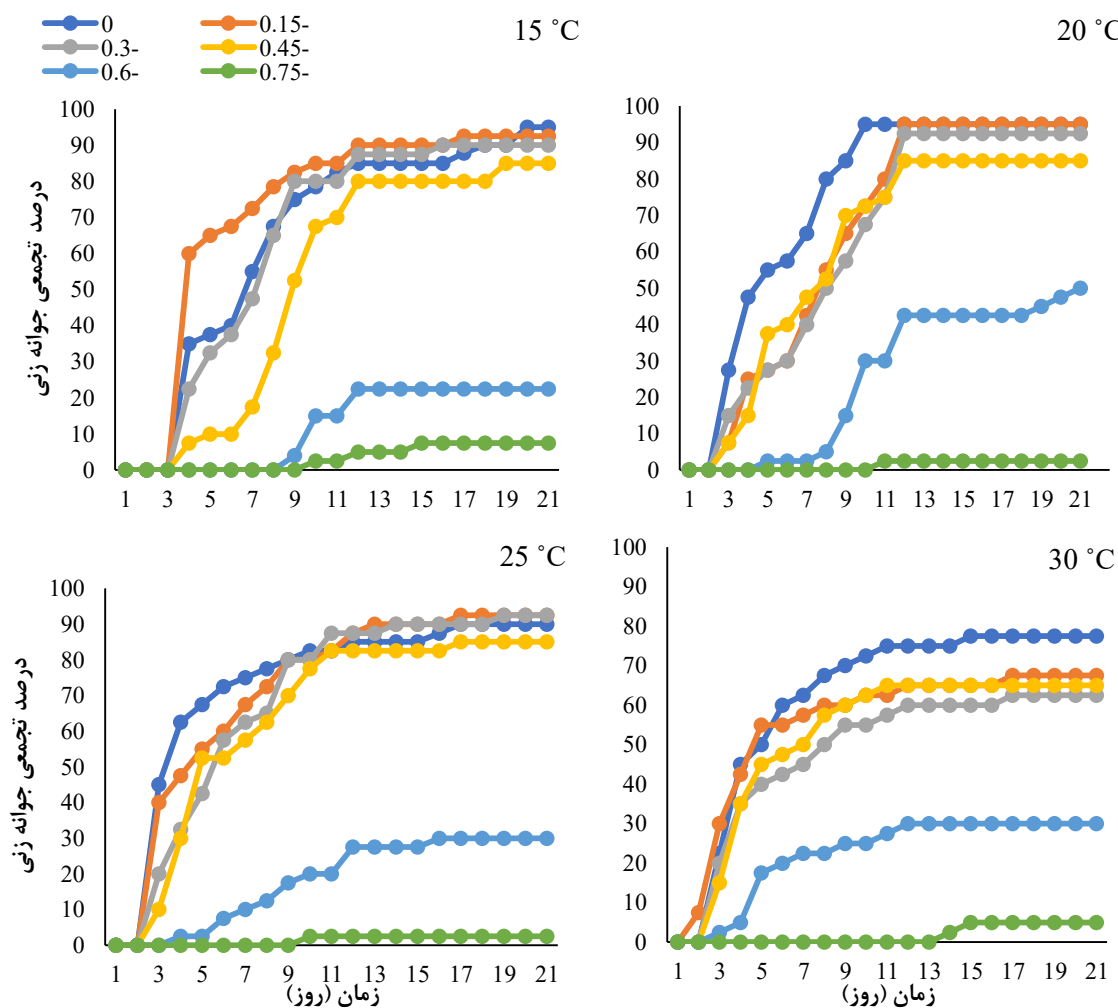
$$GI = \left(\frac{nd_1}{1} \right) + \left(\frac{nd_2}{2} \right) + \left(\frac{nd_3}{3} \right) + \dots + \left(\frac{nd_i}{i} \right)$$

حساس‌تر از دماهای زیر حد مطلوب به نظر می‌رسد. باین‌حال، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، بذرها زودتر از دماهای پایین‌تر شروع به جوانه‌زنی کردند، به‌ویژه در پتانسیل آب کمتر (شکل ۱). کاهش پتانسیل آب محلول به تدریج جوانه‌زنی بذر را مهار و به تأخیر انداخت. باین‌حال، میزان اثر نامطلوب پتانسیل آب پایین بسته به دما متفاوت بود. در دماهای کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد بهتری داشت. در پتانسیل آب ۰/۴۵- مگاپاسکال، جوانه‌زنی بذر حتی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بیش از ۸۰ درصد بود (شکل ۱).

تیمار ۰/۹- مگاپاسکال، به جز درصد جوانه‌زنی، از تحلیل‌های آماری حذف شدند، زیرا بذرها تحت این شرایط آزمایشی جوانه نزدند.

نتایج

جوانه‌زنی تجمعی بذر: روندهای زمانی جوانه‌زنی تجمعی بذر در پتانسیل‌های مختلف آب، در شکل ۱ نشان داده شده است. در شرایط بدون تنش آبی (صفر مگاپاسکال)، جوانه‌زنی بذر در تمامی دماها به جز ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیش از ۹۰ درصد بود. به این معنا، گل‌کوکب کوهی به دماهای بالاتر از حد مطلوب



شکل ۱: تأثیر دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل آبی مختلف (۰، ۰/۱۵، ۰/۳۰، ۰/۴۵، ۰/۶۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰- مگاپاسکال) بر درصد جوانه‌زنی تجمعی بذر کوکب کوهی

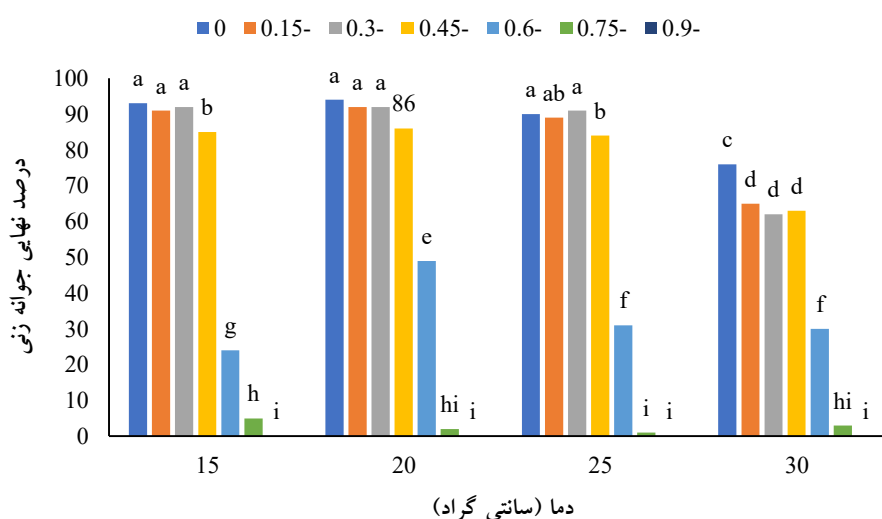
۰/۹۰- مگاپاسکال، هیچ جوانه‌زنی بذری مشاهده نشد. برهمکنش عوامل اصلی در آنالیز واریانس نشان داده شد که پاسخ‌های متفاوت به افزایش پتانسیل آب را بسته به دما نشان داد. نتایج نشان داد بذور مورد آزمایش بسته به دما رفتار متفاوتی نسبت به تنش خشکی نشان دادند (شکل ۲).

درصد جوانه‌زنی: آنالیز واریانس نشان داد که درصد نهایی جوانه‌زنی به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر دما و پتانسیل آب قرار گرفته است ($P < 0.001$) (جدول ۱). صرف‌نظر از پتانسیل آب، جوانه‌زنی بذر به‌طور جزئی توسط دماهای بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد مهار شد. در پتانسیل آب کمتر از ۰/۶۰- مگاپاسکال، درصد نهایی جوانه‌زنی به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت و در

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر دما و پتانسیل آبی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کوکب کوهی

F values				درجه آزادی	عوامل
شاخص نسبی جوانه‌زنی	شاخص جوانه‌زنی	میانگین روز جوانه‌زنی	درصد نهایی جوانه‌زنی		
۱۱/۶۵ ***	۴۱/۱۳ ***	۵/۲۲ **	۳۷/۶۵***	۳	دما
۷۵۳/۷۷ ***	۷۵۶/۹۸ ***	۵۰۴/۷۳***	۹۰۵/۱۳***	۶	پتانسیل آبی
۲/۳۳ ***	۳/۵۵ ***	۹/۲۰ ***	۳/۱۶ ***	۱۸	دما × پتانسیل آبی

*** و ** به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۱ و ۱۰ درصد

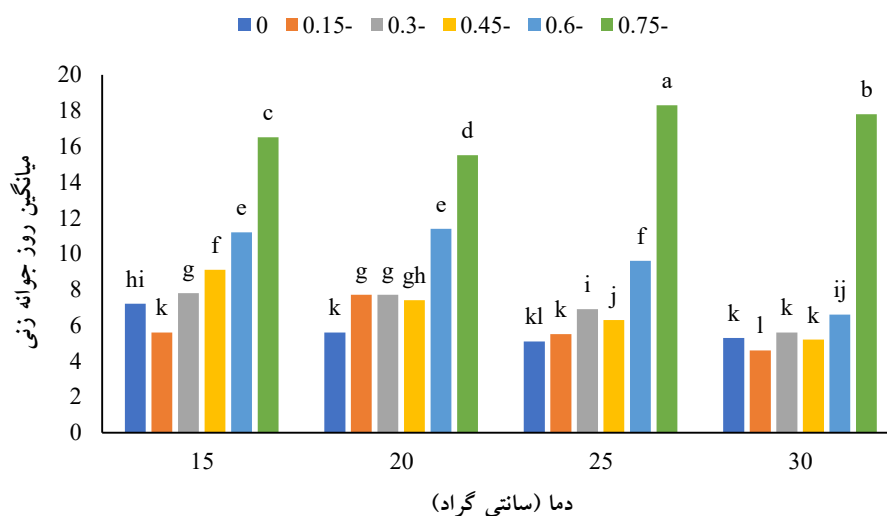


شکل ۲: تأثیر دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل آبی مختلف (۰، -۰/۱۵، -۰/۳۰، -۰/۴۵، -۰/۶۰، -۰/۷۵ و -۰/۹۰ مگاپاسکال) بر درصد جوانه‌زنی نهایی بذر کوکب کوهی. ستون‌های دارای حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

گرفت ($P < 0.01$) (جدول ۱). میانگین روز جوانه‌زنی با افزایش دما کاهش یافت (از ۸/۳ روز در ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ۷/۲ روز در ۳۰ درجه سانتی‌گراد).

میانگین روز جوانه‌زنی: میانگین روز جوانه‌زنی به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر دما و پتانسیل آب قرار

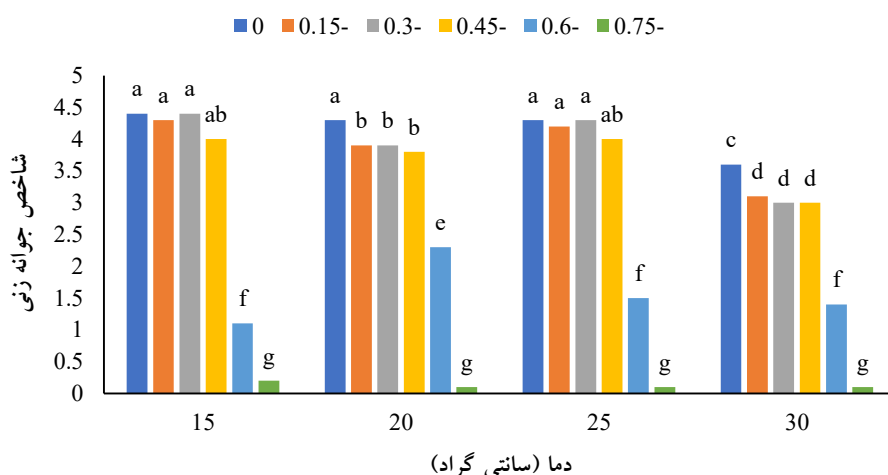
پتانسیل‌های آب کمتر از ۰/۴۵- مگاپاسکال به‌طور قابل‌توجهی زمان متوسط جوانه‌زنی را طولانی کردند و بذرها در ۰/۶۰- مگاپاسکال ۱۷/۸ روز طول کشید تا جوانه بزنند (شکل ۳).



شکل ۳: تأثیر دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل آبی مختلف (۰، ۰/۱۵، ۰/۳۰، ۰/۴۵، ۰/۶۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰- مگاپاسکال) بر درصد جوانه‌زنی نهایی بذر کوکب کوهی. ستون‌های دارای حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

نداشت که نشان می‌دهد این سطوح تنش آبی بر جوانه‌زنی تأثیری نداشتند. برای پتانسیل آب کمتر از ۰/۴۵- مگاپاسکال، شاخص جوانه‌زنی به‌طور قابل‌توجهی به مقادیر پایین‌تر تغییر کرد (شکل ۴). شاخص نسبی جوانه‌زنی در روز با افزایش دما افزایش یافت (از ۲۵/۸ درصد در روز در ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ۲۷/۸ درصد در روز در ۳۰ درجه سانتی‌گراد). کاهش پتانسیل آب به‌طور قابل‌توجهی این شاخص را کاهش داد (از ۴۲/۹ درصد در روز در صفر مگاپاسکال به ۰/۹ درصد در روز در ۰/۷۵- مگاپاسکال) (شکل ۵).

شاخص‌های جوانه‌زنی: جهت توصیف و مقایسه بهتر جوانه‌زنی بذر کوکب کوهی در پتانسیل‌های مختلف آب، شاخص‌های جوانه‌زنی زیر نیز محاسبه شدند: شاخص جوانه‌زنی، شاخص نسبی جوانه‌زنی و شاخص تحمل جوانه‌زنی به خشکی. شاخص جوانه‌زنی و شاخص نسبی جوانه‌زنی بذر در روز در دماهای بالاتر از حد مطلوب کاهش یافتند. علاوه بر این، برای این شاخص‌ها، نتایج آنالیز واریانس معنی‌داری بود (جدول ۱). شاخص جوانه‌زنی با افزایش دما کاهش یافت، از ۳/۴ در ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ۲/۸ در ۳۰ درجه سانتی‌گراد. شاخص جوانه‌زنی در پتانسیل آب تا ۰/۵۰- مگاپاسکال تفاوتی



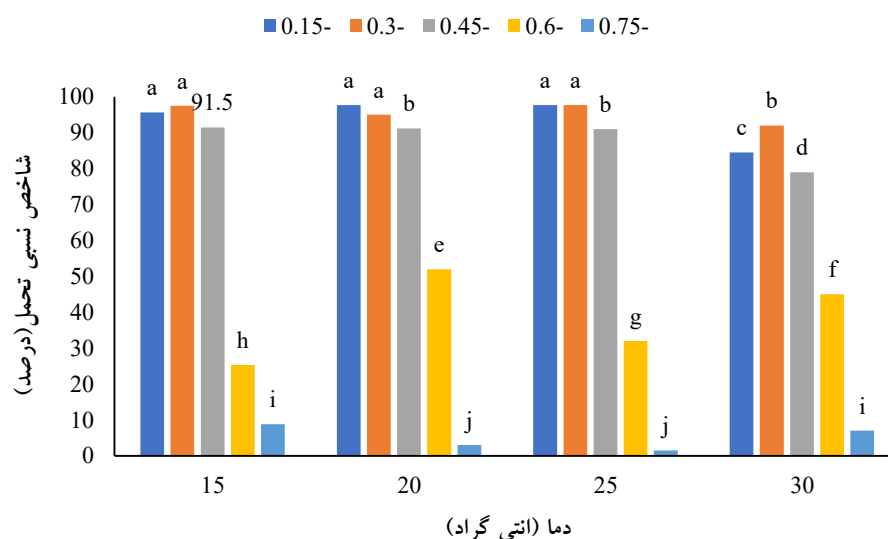
شکل ۴: تأثیر دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد) و پتانسیل آبی مختلف (۰، ۰/۱۵، ۰/۳۰، ۰/۴۵، ۰/۶۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰ - مگاپاسکال) بر شاخص جوانه زنی بذر کوکب کوهی. ستون‌های دارای حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.



شکل ۵: تأثیر دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد) و پتانسیل آبی مختلف (۰، ۰/۱۵، ۰/۳۰، ۰/۴۵، ۰/۶۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰ - مگاپاسکال) بر شاخص نسبی جوانه زنی (درصد در روز) بذر کوکب کوهی. ستون‌های دارای حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

بود. تا پتانسیل آب ۰/۴۵ - مگاپاسکال مقادیر بالایی ۹۰ درصد در دماهای مختلف اتفاق افتاد؛ در پتانسیل آب کمتر از ۶۰ - مگاپاسکال شاخص تحمل جوانه زنی به خشکی به مقادیر کمتر از ۵۲ درصد کاهش یافت (شکل ۶).

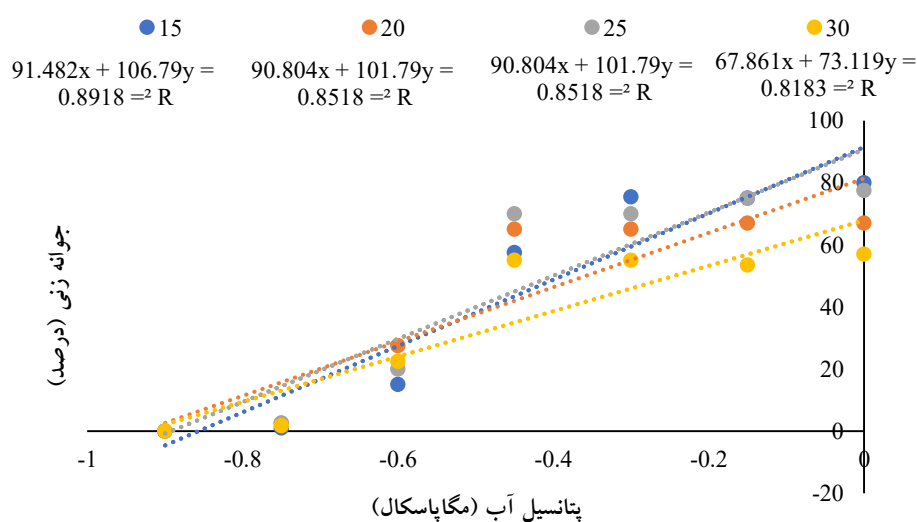
شاخص تحمل جوانه زنی: شاخص تحمل جوانه زنی به خشکی با کاهش پتانسیل آب در تمامی دماها کاهش یافت. شاخص تحمل جوانه زنی به خشکی در پایین ترین پتانسیل (۰/۷۵ - مگاپاسکال) حداقل بود، در حالی که در ۰/۱۵ و ۰/۳۰ - مگاپاسکال حداکثر



شکل ۶: تأثیر دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل آبی مختلف (۰، -۰/۱۵، -۰/۳۰، -۰/۴۵، -۰/۶۰، -۰/۷۵ و -۰/۹۰ مگاپاسکال) بر شاخص نسبی تحمل جوانه‌زنی (درصد) بذر کوکب کوهی. ستون‌های دارای حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

شیب $b = 73.0$ کمترین بود در حالی که بین دماهای پایین‌تر تفاوت چندانی نداشت (شیب b از ۱۰۱/۷ تا ۱۰۶/۷).

شکل ۷ رابطه درصد جوانه‌زنی در مقابل پتانسیل آب را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، درصد جوانه‌زنی در دمای بالاتر از حد مطلوب (۳۰ درجه سانتی‌گراد،



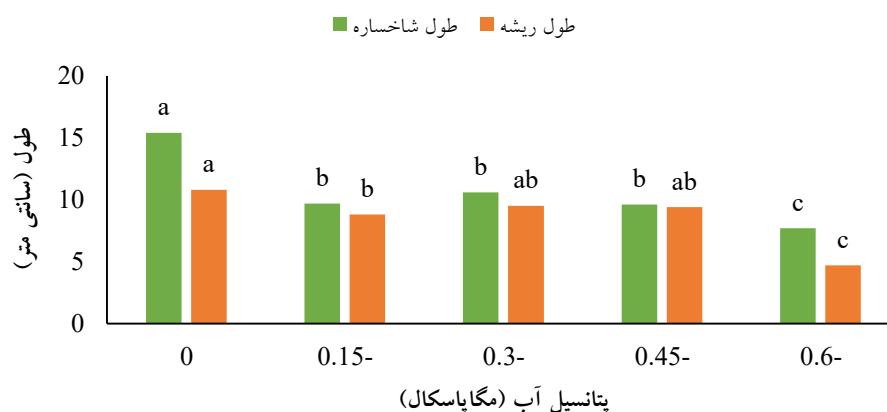
شکل ۷: رابطه بین دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل آبی مختلف (۰، -۰/۱۵، -۰/۳۰، -۰/۴۵، -۰/۶۰ و -۰/۷۵ مگاپاسکال) بر درصد جوانه‌زنی بذر کوکب کوهی.

مورفوبیومتریک مورد بررسی، اثر معنی‌داری پتانسیل آبی که بذرها در طول آزمایش جوانه‌زنی در معرض آن قرار گرفتند را نشان داد (شکل ۸). بذرهایی که در

پارامترهای مورفوبیومتریک: تفاوت‌های معنی‌داری بین عوامل آزمایشی در ارزیابی رشد ساقه و ریشه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. پارامترهای

رشد ریشه مشاهده شد. به طور خاص، طول ریشه در به طور معنی داری کاهش یافت (تا ۵۰ درصد کوتاه تر) و حداقل این شاخص در دانهال های حاصل از بذرهایی که در ۰/۶ مگاپاسکال جوانه زدند، بود (شکل ۸).

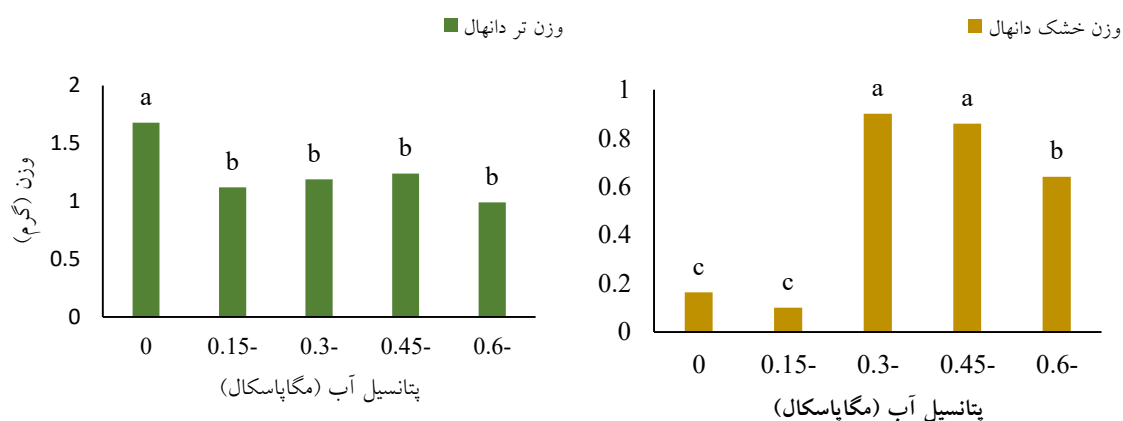
معرض پتانسیل آب ۰/۷۵ مگاپاسکال قرار گرفتند، رشد طبیعی ساقه و ریشه را تجربه نکردند (داده ها نشان داده نشده است). بذرهایی که در پتانسیل آب کمتر از صفر مگاپاسکال جوانه زدند، ساقه های مشابهی تولید کردند؛ اما همه به طور معنی داری کوچک تر از کنترل (صفر مگاپاسکال) بودند. نتایج مشابهی برای



شکل ۸: رشد شاخساره و ریشه کوکب کوهی تحت تأثیر پتانسیل آبی مختلف (۰، -۰/۱۵، -۰/۳۰، -۰/۴۵، -۰/۶۰، -۰/۷۵ و -۰/۹۰ مگاپاسکال). ستون های هم رنگ با حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

بذر ها در طول جوانه زنی تجربه کردند، نسبت به کنترل کاهش یافت.

نتایج معنی داری بین سطوح تنش آبی بر وزن تازه و خشک دانهال ها به دست آمد (شکل ۹). وزن تازه و خشک کل دانهال ها به طور کلی توسط تنش آبی که



شکل ۹: وزن تر و خشک کوکب کوهی تحت تأثیر پتانسیل آبی مختلف (۰، -۰/۱۵، -۰/۳۰، -۰/۴۵، -۰/۶۰، -۰/۷۵ و -۰/۹۰ مگاپاسکال). ستون های هم رنگ با حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

بحث

جوانه‌زنی بذر یکی از مهم‌ترین مراحل در زندگی گیاه است (El-Keblawy and Al-Rawai, 2005). این فرآیند تحت تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی بذر (مانند خواب و ضخامت پوسته بذر) و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Sy *et al.*, 2001) که دما و پتانسیل آب مهم‌ترین عوامل خارجی مؤثر بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر هستند (Alvarado and Bradford, 2002; Norsworthy and Oliveira, 2006). گزارشی شده است که تنش آبی به‌طور منفی بر جوانه‌زنی بذر و رشد نهال در کوکب کوهی تأثیر می‌گذارد و به‌شدت تولید بذر را در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاهش می‌دهد (El Midaoui *et al.*, 2001).

نتایج حاضر نشان داد که بذره‌های کوکب کوهی قادر به جوانه‌زنی بالا (بیش از ۸۷ درصد) در محدوده دمایی ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد هستند، که نشان می‌دهد شرایط حرارتی موجود در کشت گلخانه‌ای سرد در فصل بهار ممکن است محدودیتی برای کشت آن نباشد. با این حال، زمانی که بذرها در شرایط محدودیت آب قرار گرفتند، نتایج متفاوتی به‌دست آمد.

بر اساس گزارش Smok و همکاران (۱۹۹۳)، Hu و Jones (۲۰۰۴)؛ محلول‌های PEG شرایط تنش آبی را برای آزمایش‌های جوانه‌زنی شبیه‌سازی کردند. در آزمایش حاضر، درصد جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب، به‌عنوان نتیجه کاهش جذب آب (Delachieve and De Pinho, 2003) به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. مشاهده شده است که بذرهایی که در پتانسیل آب بسیار پایین نگهداری می‌شوند، حداقل مقدار آب لازم برای شروع جوانه‌زنی را جذب نمی‌کنند (Delachieve and De Pinho, 2003).

کاهش نهایی جوانه‌زنی بذر با نتایج گزارش شده توسط Kaya و همکاران (۲۰۰۶) در آفتاب‌گردان

همسویی دارد. طبق Mayer و Poljakoff-Mayber (۱۹۸۹)، این نتیجه می‌تواند به کمبود انرژی برای شروع فرآیند جوانه‌زنی نسبت داده شود، زیرا به‌طور کلی انرژی با افزایش مسیر تنفسی پس از جذب آب به دست می‌آید، و در حضور سطوح پایین پتانسیل آبی، جذب آب به آرامی پیش می‌رود. در شرایط محدودیت آب، درصد نهایی جوانه‌زنی بذر با کاهش پتانسیل آب کاهش یافت و اثر مهاری در دماهای بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بود. حداکثر جوانه‌زنی بذر در ۰/۷۵- مگاپاسکال در ۲۰ درجه سانتی‌گراد رخ داد که به‌وضوح نشان می‌دهد بذره‌های کوکب کوهی به‌شدت به تنش خشکی حساس هستند. با این حال، حساسیت به تنش آبی نیز به دمای جوانه‌زنی بستگی دارد، زیرا اثرات کاهشی بیشتر پتانسیل آب پایین در دماهای بالاتر از حد مطلوب برای جوانه‌زنی (۲۰ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد.

با کاهش پتانسیل آب، تفاوت‌های میانگین روز جوانه‌زنی نسبت به کنترل به تدریج بیشتر شد. طبق گزارش Willenborb و همکاران (۲۰۰۴)، تنش آبی نه تنها بر جوانه‌زنی بذر تأثیر می‌گذارد؛ بلکه زمان متوسط جوانه‌زنی را نیز در گیاهان زراعی (*Brassica napus* L.) افزایش می‌دهد. نتایج مشابهی نیز برای کوکب کوهی گزارش شده است (El Midaoui *et al.*, 2001).

شاخص دیگری که در مطالعات جوانه‌زنی بذر به‌طور مکرر مورد توجه قرار می‌گیرد، شاخص جوانه‌زنی است (Anjum and Bajwa, 2005; Salehzade *et al.*, 2009; Sadeghi *et al.*, 2011). شاخص جوانه‌زنی، مانند میانگین روز جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی را نشان می‌دهد و به‌عنوان معکوس زمانی که بذرها برای تکمیل جوانه‌زنی نیاز دارند محاسبه می‌شود؛ بنابراین، هرچه مقدار بالاتر باشد،

به تنش و کیفیت بذر را نشان دهد. همسو با نتایج ما، Sapra و همکاران (۱۹۹۱) گزارش دادند که ژنوتیپ-های گندم با مقادیر بالای تحمل جوانه‌زنی به خشکی نیز شاخص تحمل جوانه‌زنی به خشکی نشان دادند. مقادیر بالای شاخص تنش جوانه‌زنی ممکن است معیاری برای غربال‌گری و انتخاب ژنوتیپ‌ها برای مقاومت به خشکی باشد. باین‌حال، معیارهای جوانه‌زنی به نظر نمی‌رسد که تحمل تنش در گیاهان را منعکس کنند، بلکه تفاوت‌های کیفیت بذر را نشان می‌دهند و بنابراین، این روش نباید پایداری عملکرد را منعکس کند (Ashraf et al., 1996).

جوانه‌زنی در ۰/۷۵- مگاپاسکال رخ داد، باین‌حال، بذرها قادر به توسعه به دانه‌های سالم نبودند. نتایج مشابهی توسط Okcu (۲۰۰۵) در بذره‌های ارقام مختلف نخود (*Pisum arietinum*) که در شرایط تنش آبی جوانه‌زنی قرار گرفتند، به دست آمد، جایی که ناتوانی در توسعه دانه‌ها تا پتانسیل آب ۰/۸۰- مگاپاسکال مشاهده شد.

براساس گزارش Zahiri و همکاران (۲۰۲۳)، تنش آبی که بذرها در طول جوانه‌زنی تجربه می‌کنند، همیشه به معنای کاهش رشد دانه‌ها (از نظر طولی) در شرایط مطلوب نیست. در واقع، در مطالعه حاضر، رشد ساقه تنها در بذرهایی که در پایین‌ترین پتانسیل آب (۰/۶۰- مگاپاسکال) جوانه زدند، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این نتیجه نشان می‌دهد که بذرهایی که در طول جوانه‌زنی تحت تنش آبی قرار می‌گیرند، ممکن است زمانی که به شرایط بدون تنش منتقل می‌شوند، بهبود یابند.

وزن تازه و خشک دانه‌ها به‌طور مشابه به تنش آبی پاسخ دادند، هر دو به‌طور پیوسته با کاهش پتانسیل آب کاهش یافتند، وزن تازه دانه‌ها با افزایش تنش آبی کاهش یافت، اما وزن خشک افزایش یافت که نشان می‌دهد افزایش تنش آبی باعث کاهش

جوانه‌زنی سریع‌تر است (Black et al., 2006). مقادیر شاخص جوانه‌زنی محاسبه شده تأیید می‌کند که این‌گونه در تمامی شرایط آزمایشی سریع جوانه می‌زنند. باین‌حال، شاخص جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب کاهش یافت، که نشان‌دهنده حساسیت کوکب کوهی به افزایش سطوح تنش آبی در طول جوانه‌زنی است. به‌طور مشابه، Silva و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده کردند که شاخص جوانه‌زنی در بذره‌های *Bowdichia virgilioides* در پتانسیل‌های آب پایین کاهش یافت و جوانه‌زنی در ۰/۹۰- مگاپاسکال به‌طور کامل متوقف شد، که نشان می‌دهد مقدار آستانه پتانسیل آب برای جوانه‌زنی *B. virgilioides* بین ۰/۷۰- و ۰/۹۰- مگاپاسکال است.

شاخص نسبی جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی را که در هر روز از دوره جوانه‌زنی رخ می‌دهد نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر شاخص نسبت جوانه‌زنی نشان‌دهنده جوانه‌زنی بالاتر و سریع‌تر بذر است و بنابراین، این پارامتر ممکن است نمایان‌گر قدرت بذر باشد (Emmerich and Hardegree, 1990). نتایج حاضر نشان می‌دهد که شاخص نسبت جوانه‌زنی به میزان بیشتری با پتانسیل آب نسبت به دما تغییر می‌کند. این موضوع همچنین با رابطه بین نرخ جوانه‌زنی و پتانسیل آب در دماهای مختلف که در شکل ۵ گزارش شده است، تأیید شد. از این نظر، شاخص نسبت جوانه‌زنی ممکن است به عنوان ابزاری مفید برای تمایز ژنوتیپ‌ها برای تحمل تنش آبی در نظر گرفته شود.

نتایج شاخص تحمل جوانه‌زنی به خشکی نشان داد که با افزایش سطح تنش، مقادیر شاخص کاهش یافت. بسیاری از محققان معتقدند که این می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی تحمل خشکی گیاه باشد (Ahmad et al., 2009). براساس بررسی‌های پیشین این شاخص می‌تواند به خوبی مقاومت گونه‌ها

پیوسته محتوای آب نهال می‌شود، اما بر تجمع جرم دان‌ها تأثیر نمی‌گذارد.

پتانسیل‌های اسمزی ۰/۷۵- مگاپاسکال تأثیر گذاشت. شاخص تحمل جوانه‌زنی به خشکی به نظر می‌رسد که بهترین شاخص برای نشان‌دادن تحمل بذر به شرایط تنش آبی در طول جوانه‌زنی در کوکب کوهی باشد که به‌طور هم‌زمان درصد و نرخ جوانه‌زنی را در نظر می‌گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

کوکب کوهی توانایی جوانه‌زنی بالایی در دماهای بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد نشان دادند. به‌طور متفاوت، کمبود آب به‌طور منفی بر جوانه‌زنی بذر در

References

- Ahmad, S., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., Ashraf, M. and Waraich, E.A. 2009. Black-eyed-susans (*Rudbeckia hirta* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages. *Pak J Bot* 41(2):647–654
- Alvarado, V. and Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ* 25:1061–1069. doi:10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x
- Anjum, T. and Bajwa, R. 2005. Importance of germination indices in interpretation of allelochemical effects on seed germination. *Int J Agric Biol* 7(3):417–419
- Armitage, A.M. and Laushman, J.M. 2003. Specialty cut flowers, 2nd edn. Timber Press, Portland
- Ashraf, M.Y., Naqvi, M.H. and Khan, A.H. 1996. Evaluation of four screening techniques for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agron Hung* 44(3):213–220
- Black, M., Bewley, J.D. and Halmer, P. 2006. The encyclopedia of seeds: science, technology and uses. CABI, Wallingford
- Bonvissuto, G.L. and Busso, C.A. 2007. Germination of grasses and shrubs under various water stress and temperature conditions. *Uyton* 76: 119–131
- Bradford, K.J. 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci* 50: 248–260.
- Carpita, N., Sabulase, D., Montezinos, D. and Delmer, D.P. 1979. Determination of the pore size of cell walls of living plant cells. *Science* 205: 1144–1147. doi:10.1126/science.205.4411.1144
- Dasoju, S., Evans, M.R. and Whipker, B.E. 1998. Paclobutrazol drenches control growth of potted) Black-eyed-susans. *HortTechnology* 8(2): 235–237
- Delachieve, M.E.A. and De Pinho, S.Z. 2003. Scarification, temperature and light in germination of *Senna occidentalis* seed (Caesalpinaceae). *Seed Sci Technol* 31(2):225–230.
- El Midaoui, M., Talouizte, A., Benbella, M., Serieys, H., Griveau, Y. and Berville, A. 2001. Effect of osmotic pressure on germination of *Rudbeckia* seed. *Helia* 24(35):129–134.
- El-Keblawy, A. and Al-Rawai, A. 2005. Effect of seed maturation time and dry storage on light and temperature requirements during germination in invasive *Prosopis juliflora*. *Flora* 201:135–143. doi:10.1016/j.flora.2005.04.009
- Emmerich, W.E. and Hardegree, S.P. 1990. Polyethylene glycol solution contact effects on seed germination. *Agron J* 82:1103–1107. doi:10.2134/agronj1990.00021962008200060015x
- FAOSTAT database. 2014. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Accessed 22 Feb 2017
- Garfinkel, A.R. and Panter, K.L. 2014. Year-round greenhouse production of cut *Rudbeckia* in the rocky mountain west. *HortTechnology* 24(6): 743–748
- Ghebrehiwot, H.M., Kulkarni, M.G., Kirkman, K.P. and Van Staden, J. 2008. Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve germination and seedling vigour of *Eragrostis tef* (Zucc.). *Trotter* under high temperature and low osmotic potential. *J Agron Crop Sci* 194:270–277.
- Gonzalez Belo, R., Tognetti, J., Benech-Arnold, R. and Izquierdo, N.G. 2014. Germination responses to temperature and water potential as affected by seed oil composition in sunflower. *Ind Crop Prod* 62: 537–544. doi:10.1016/j.indcrop.2014.09.029
- Hayata, Y. and Imaizumi, Y. 2000. Effect of photoperiod on flower bud development of) Black-eyed-susans (*Rudbeckia hirta* L.). *J Jpn Soc Hortic Sci* 69: 708–710. doi:10.2503/jjshs.69.708
- Hu, F.D. and Jones, R.J. 2004. Effects of plant extracts of *Bothriochloa pertusa* and *Urochloa mosambicensis* on seed germination and seedling growth of *Stylosanthes hamata* cv. Verano and *Stylosanthes scabra* cv. Seca. *Aust J Agric Res* 48:1257–1264.

- International Seed Testing Association (ISTA). 2013. International rules for seed testing, Zurich, p 64
- Jajarmi V (2009) Effect of water stress on germination indices in seven wheat cultivar. Acad Sci Eng Technol 49:105–106
- Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y. and Kolsarici, O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Eur J Agron 24: 291–295.
- Khodarahmpour, Z. 2011. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) on germination indices in corn (*Zea mays* L.) hybrids. Afr J Biotechnol 10:18222–18227.
- Krichen, K., Ben Mariem, H. and Chaieb, M. 2014. Ecophysiological requirements on seed germination of a Mediterranean perennial grass (*Stipa tenacissima* L.) under controlled temperatures and water stress. S Afr J Bot 94:210–217.
- Lenzi, A., Fambrini, M., Barotti, S., Pugliesi, C. and Vernieri, P. 1995. Seed germination and seedling growth in a wilty mutant of Black-eyed-susans (*Rudbeckia hirta* L.): effect of abscisic acid and osmotic potential. Environ Exp Bot 35:427–434.
- Lu, Z. and Neumann, P.M. 1998. Water-stressed maize, barley and rice seedlings show species diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. J Exp Bot 49:1945–1952.
- Luan, Z., Xiao, M., Zhou, D., Zhang, H., Tian, Y., Wu, Y., Guan, B. and Song, Y. 2014. Effects of salinity, temperature, and polyethylene glycol on the seed germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Sci World J 2014:9.
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci 2: 176–177. doi:10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
- Mayer, A.M. and Poljakoff-Mayber, A. 1989. The germination of seeds, 4th edn. Pergamon Press, Oxford
- Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiol 51:914–916.
- Muscolo, A., Sidari, M., Anastasi, U., Santonoceto, C. and Maggio, A. 2014. Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. J Plant Interact 9:354–363.
- Nau, J. 2011. Rudbeckia. In: Nau J (ed) Ball red book, vol 2, 18th edn. Ball Publishers, West Chicago, pp 436–437
- Norsworthy, J.K. and Oliveira, M.J. 2006. Sicklepod (*Senna obtusifolia*) germination as affected by environmental factors and seedling depth. Weed Sci 54:903–909.
- Okcu, G. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). Turk J Agric For 29:237–242
- Refka, Z., Mustapha, K. and Ali, F. 2013. Seed germination characteristics of *Rhus tripartitum* (Ucria) Grande and *Ziziphus lotus* (L.): effects of water stress. Int J Ecol 819810:7.
- Ren, J. and Tao, L. 2004. Effects of different pre-sowing seed treatments on germination of 10 Calligonum species. For Ecol Manag 195(3):291–300.
- Sadeghi, H., Khazaei, F., Yari, L. and Sheidaei, S. 2011. Effect of seed osmopriming on seed germination behavior and vigor of soybean (*Glycine max* L.). ARPN J Agr Biol Sci 6:39–43
- Salehi Salmi, M. 2022. Comparison of germination indices and alpha-amylase activity of four tropical turf grass species in response to drought and salinity stresses. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 2022; 9(4): 41-57.
- Salehzade, H., Shishvan, M.I., Ghiyasi, M., Forouzin, F. and Siyahjani, A.A. 2009. Effect of seed priming on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Res J Biol Sci 4(5):629–631
- Sapra, V.T., Sarage, E., Anaele, A.O. and Beyl, C.A. 1991. Varieties differences of wheat and tritcale to water stress. J Agron Crop Sci 167:23–28.
- Sharma, M.L. 1976. Interaction of water potential and temperature effects on germination of three semi-arid plant species. Agron J 68:390–394.
- Silva, L.M.M., Aguiar, I.B. and Rodrigues, T.J.D. 2001. Seed germination of *Bowdichia virgilioides* Kunth, under water stress. Rev Bras Eng Agr Ambient 5:115–118.
- Smok, M.A., Chojnowsky, M., Corbineau, F. and Come, D. 1993. Effects of osmotic treatments on Rudbeckia seed germination in relation with temperature and oxygen. In: Come D, Corbineau F (eds) Proceedings of the 4th International Workshop on seed: basic and applied aspects of seed biology. Angers, France, pp 1033–1038
- Somers, D.A., Ulrich, S.E. and Ramsay, M.F. 1983. Sunflower germination under simulated drought stress. Agron J 75(3):570–572.
- Steinmaus, S.J., Timonhy, S.P. and Jodie, S.H. 2000. Estimation of base temperature for nine weed species. J Exp Bot 51:275–286.
- Sy, A., Grouzis, M. and Danthu, P. 2001. Seed germination of seven Sahelian legume species. J Arid Environ 49(4):875–882.

- Taiz, L. and Zeiger, E. 2010. Plant physiology, 5th edn. Sinauer Associates Inc., Sunderland
- Ungar, I.A. 1995. Seed germination and seed-bank ecology of halophytes. In: Kigel J, Galili G (eds) Seed development and germination. Marcel Dekker Inc., New York, pp 599–628
- Vernieri, P., Incrocci, G., Tognoni, F. and Serra, G. 2003. Effect of cultivar, timing, growth retardants, potting type on potted *Rudbeckia* production. Acta Hort 614(1):313–318.
- Wien, H.C. 2014. Screening *Rudbeckia* in the seedling stage for flowering reaction to photoperiod. HortTechnology 24(5):575–579
- Willenborb, C.J., Gulden, R.H., Jhonson, E.N. and Shirtliffe, S.J. 2004. Germination characteristics of polymer-coat canola (*Brassica napus* L.) seeds subjected to moisture stress at different temperatures. Agron J 96(3):786–791. doi:10.2134/agronj2004.0786
- Young, J.A., Evans, R.A., Roundy, B.A. and Cluff, G.J. 1983. Moisture stress and seed germination. USDA, Science and Education Administration Publication Armw-36, Oakland, CA
- Zahiri, M., Salehi salmi, M., Negaresh, K. and Almasieh, K. 2023. Evaluation of the aesthetic attributes and germination parameters of *Euphorbia hypericifolia*, a native species, for incorporation into the landscape of Ahwaz city. FOP. 8 (2) :353-370