

Role of temperature in drought stress tolerance of ziziphus (*Ziziphus nummularia* L.) at seed germination stage

F. Pirmoradi¹, A.M. Bakhshandeh², S.A. Moosavi^{3*}, M.H. Gharineh², A. Moshatati³

1. Master student of seed science and technology, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

Received 26 April 2024; Accepted 27 September 2024

Extended abstract

Introduction

Seeds play a crucial role in the reproduction and dispersal of plants. *Ziziphus nummularia* is a valuable plant species suitable for cultivation in arid and semi-arid regions of Iran. This plant can provide ground cover, increase biodiversity, and produce raw materials for the pharmaceutical industry. *Z. nummularia* is well-adapted to dry and low-rainfall areas and can be cultivated and utilized as a multipurpose plant for forest restoration and the production of valuable medicinal materials. Successful planting and establishment of a plant species by humans depend on the availability of high-quality seeds and the necessary knowledge of its response to environmental stresses. Water resource limitations and changes in precipitation patterns and distribution due to climate change are among the most serious challenges facing most regions of the world. For the propagation of valuable plants such as *Z. nummularia*, it is necessary to investigate and study the role of these stresses, particularly during the germination stage, which is one of the most sensitive stages of plant life. The present study was conducted to investigate the simultaneous effect of temperature and salinity stress on the germination of *Z. nummularia* seeds.

Materials and methods

The present study was conducted to investigate the simultaneous effect of temperature and drought stress on the germination of sandy ziziphus seeds. The experiment was carried out as a factorial based on a completely randomized design with three replications. The experimental treatments included germination temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 degrees Celsius) and water stress levels (-0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1, -1.2, -1.4 MPa) that were created using polyethylene glycol 6000. Each experimental unit consisted of a petri dish with a diameter of 10 cm and 5 ml of osmotic solution was poured into each container. There were 25 sandy ziziphus seeds in each petri dish and they were transferred to germinators with a specified temperature setting for germination test. Each experimental treatment was repeated three times. The germination characteristics of the seeds included: final germination percentage, germination speed coefficient, mean germination time and germination index, which were calculated based on counting the germinated seeds 24 hours after the start of the experiment and every day at the same fixed time. Seeds with a radicle length of 2 mm or more were considered germinated. Also, the length of the root and stem, as well as the seed vigor, were measured and reported.

* Corresponding author: Seyed Amir Moosavi; E-Mail: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir



Results and discussion

The results of this experiment showed that under non-water stress conditions, seed germination began at 15°C up to a water potential of -0.4 MPa. With increasing water stress to -0.6 MPa, seeds were no longer able to germinate. Under non-water stress conditions, maximum germination was observed at 25°C (66.54%), which showed no significant difference from germination at 20 (52%), 30 (33.53%), and 35 °C (66.52%). At a water stress level of -0.2 MPa, *Z. nummularia* seed germination at 20, 25, 30, and 35°C was 66.28%, 66.48%, 66.44%, and 33.41%, respectively. The results showed that non-water stress conditions and 25°C resulted in the highest germination rate (24.42 seeds per day). With increasing water stress intensity to -0.2 MPa, the germination rate index significantly decreased at all temperature levels from 15 to 40°C, with a significant decrease at 25°C. The germination rate index was minimized at a water stress level of -0.8 MPa. The highest vigor index of *Z. nummularia* seeds was observed under non-water stress conditions and at 25°C (8.172). Increasing water stress level to -0.2 MPa resulted in a significant decrease in the vigor index, especially at 25°C (9.142).

Conclusion

Z. nummularia seed germination exhibits differential sensitivity to water stress under fluctuating temperature conditions. *Z. nummularia* was unable to germinate at temperatures below 10°C, and with increasing temperatures to 15 and 20°C, germination showed a significant increase in both percentage and germination index. Water stress beyond -0.2 MPa caused a significant decrease in most germination indices, including germination percentage, germination rate index, germination index, radicle length, hypocotyl length, and seedling vigor index (length), reaching a minimum at -0.8 MPa and resulting in germination inhibition.

Keywords: Osmotic potential, Regression Models, Vigor

نقش دما در میزان تحمل به تنش خشکی بذرهای کنار رملیک (*Ziziphus nummularia*) اکوتیپ هفتکل در مرحله جوانه زنی

فاطمه پیرمادی^۱، عبدالمهدی بخشنده^۲، سید امیر موسوی^{۳*}، محمدحسین قرینه^۲، علی مشتقی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، شهرستان باوی

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: بنیه پتانسیل اسمزی مدل رگرسیونی	کنار رملیک (<i>Ziziphus nummularia</i> L.) درختچه‌ای باارزش و مستعد کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. با هدف بررسی اثر هم‌زمان دما و تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر کنار رملیک انجام آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دماهای جوانه‌زنی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و سطوح تنش خشکی (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴ - مگاپاسکال) بودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، جوانه‌زنی بذر در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد آغاز شد و با افزایش تنش خشکی به ۰/۶ - مگاپاسکال، دیگر بذر قادر به جوانه‌زنی نبودند. حداکثر جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (۵۴/۶۶ درصد) مشاهده شد. در سطح تنش خشکی ۰/۲ - مگاپاسکال، جوانه‌زنی بذر رملیک در دماهای ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه به ترتیب، ۲۸/۶۶، ۴۸/۶۶، ۴۴/۶۶ و ۴۱/۳۳ درصد به دست آمد. بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۴۲/۲۴ بذر در روز) در شرایط بدون تنش خشکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. بیشترین مقدار بنیه بذر کنار رملیک در شرایط عدم تنش خشکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (۱۷۲/۸). جوانه‌زنی بذر کنار رملیک به تنش خشکی و دما به‌طور متفاوتی حساس است. تنش خشکی فراتر از ۰/۲ - مگاپاسکال باعث کاهش معنی‌دار اکثر شاخص‌های جوانه‌زنی می‌شود.

مقدمه

جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین مراحل در چرخه زندگی گیاهان محسوب می‌شود. جوانه‌زنی بذر با جذب آب توسط بذر آغاز می‌شود و با طی کردن سه مرحله آبنوشی تکمیل می‌شود. در طی جوانه‌زنی بذر به عوامل محیطی ازجمله نور، دما، اکسیژن و میزان رطوبت واکنش نشان می‌دهند (Dadlani and Yadava, 2023). در بین عوامل محیطی که بذر را تجربه می‌کنند، می‌توان دما و رطوبت را تعیین‌کننده‌ترین و مؤثرترین آن‌ها در نظر گرفت (Bradford and Bello, 2022). افزایش پنج‌درجه‌ای در دمای جوانه‌زنی

کنار رملیک (*Ziziphus nummularia* L.) درختچه‌ای است از تیره Rhamnaceae که میوه‌های آن قابل مصرف خوراکی بوده و طعمی ترش‌مزه دارند. اندام‌های مختلف این گیاه دارای خواص دارویی هستند و از میوه و برگ‌هایش در درمان یبوست و بیماری‌های پوستی استفاده می‌شود (Mesmar et al., 2022). رملیک، عموماً در مناطقی که بارندگی کمی دارند، رشد می‌کند و در مناطق مختلف کشور ازجمله استان خوزستان پراکنش دارد.

علف هرز ماستونکا از ۲۰ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش معنی‌دار در جوانه‌زنی بذر این گیاه خواهد شد (Payamani et al., 2020). وجود حد آستانه دمایی و رطوبتی برای جوانه‌زنی بذرها باعث می‌شود تا برهمکنش این دو عامل محیطی در مقایسه با سایر عوامل محیطی دیگر اهمیت بیشتری داشته باشد. در مطالعه‌ای که توسط (Vicente et al., 2020) بر روی تأثیر دما، نور و تنش شوری بر جوانه‌زنی (*Hypericum ericoides*) انجام شد مشخص گردید که بذر این گیاه برای جوانه‌زنی نیازی به نور ندارد اما با افزایش دما از ۲۰ درجه به بالای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، دیگر قادر به جوانه‌زنی نخواهد بود. سانتی‌گراد، تغییر در دما می‌تواند باعث اثر بر تنفس و متابولیسم قندها طی فرایند جوانه‌زنی شود. تنفس غیرطبیعی، باعث برهم خوردن هموستازی گونه‌های اکسیژن و اکنشگر هنگام جوانه‌زنی بذرها می‌شود (Andronis et al., 2014; Oracz and Karpiński, 2016; Singh et al., 2016; Bailly, 2019). این ترکیبات در متابولیسم گیاه تولید می‌شوند و نقش کلیدی برای تنظیم مسیرهای متابولیسم دارند. تنش دما می‌تواند باعث شود تا هموستازی گونه‌های و اکنشگر اکسیژن برهم بخورد و در نتیجه پروتئین‌ها و غشاء سلولی آسیب ببینند (Xue et al., 2021).

وجود آب کافی برای جوانه‌زنی بذرها ضروری است. آب با تأمین نمودن میزان رطوبت لازم برای فعالیت‌های حیاتی پروتوپلاسم، حل نمودن اکسیژن، نرم کردن پوسته بذر و افزایش نفوذپذیری آن شرایط جوانه‌زنی را مهیا می‌سازد (Liu et al., 2019; Xue et al., 2021). بذرها در شرایطی که میزان آب کافی در اختیارشان نباشد، از طریق مکانیسم‌های مختلفی تحمل و مقاومت خود را تا فراهم شدن مجدد رطوبت کافی افزایش می‌دهند. از جمله این مکانیسم‌ها تنظیم اسمزی است (Wang et al., 2022). تنش خشکی و دمایی به‌عنوان دو چالش محیطی اصلی در محدود کردن رشد و تولید گیاهان محسوب می‌شوند. این تنش‌های باعث ایجاد تغییرات زیادی در سطح مولکولی و بیوشیمیایی سلول‌ها می‌شوند که حاصل آن نهایتاً کاهش کیفیت و رشد و کمیت تولید گیاهان خواهد بود. رخ دادن هر کدام از تنش‌های دمایی و اسمزی یا خشکی می‌تواند به‌تنهایی یا در کنار هم اثر محدودکننده قابل توجهی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه داشته باشد، اما این تنش‌ها در عمل و در شرایط طبیعی معمولاً هم‌زمان با هم رخ می‌دهند و بنابراین نیاز به انجام مطالعاتی که هم‌زمان به بررسی تأثیر

رخ دادن تنش دما و تنش خشکی بپردازد بیشتر احساس می‌شود. در این پژوهش، تأثیر دما بر واکنش جوانه‌زنی بذر گیاه رملیک به تنش آبی در قالب تنش اسمزی موردبررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر هم‌زمان تنش دما و تنش آبی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنار رملیک، آزمایش فاکتوریلی بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. بذره‌های کنار رملیک از رویشگاه‌های طبیعی دشت دنا و دشت وندا شهرستان هفتکل در استان خوزستان جمع‌آوری شدند. قوه نامیه بذره‌های کنار رملیک قبل از شروع آزمایش بر اساس دستورالعمل استاندارد موسسه بین‌المللی آزمون بذر (ISTA, 2017) ارزیابی گردید و مشاهده شد که بذرها حداکثر توانایی جوانه‌زنی ۶۰٪ را از خود نشان دادند. قبل از شروع آزمایش پتری‌ها با استفاده از دستگاه اتوکلاو ضدعفونی شدند. عوامل آزمایشی شامل سطوح مختلف تنش آبی به‌عنوان عامل اول و دماهای جوانه‌زنی به‌عنوان عامل دوم بودند. برای تهیه غلظت‌های تنش آبی از رابطه ۱ استفاده شد (Michel and Kaufmann, 1973).

$$\Psi_s = -(1.18 \times 10^{-2})C - (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67 \times 10^{-4})CT + (8.39 \times 10^{-7})C^2T \quad [1]$$

در فرمول فوق، C نشان‌دهنده غلظت PEG6000 برحسب گرم بر کیلوگرم آب، T نشان‌دهنده دمای محلول برحسب درجه سانتی‌گراد و Ψ_s پتانسیل اسمزی محلول برحسب مگاپاسکال است. از ماده پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ ساخت شرکت مرک آلمان در تهیه غلظت‌های (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴ مگاپاسکال) استفاده شد. دماهای جوانه‌زنی شامل (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) بودند.

هر واحد آزمایش شامل پتری‌دیش با قطر ۱۰ سانتی‌متر بود و در هر ظرف، مقدار ۵ میلی‌لیتر از محلول اسمزی ریخته شد. تعداد ۲۵ عدد بذر کنار رملیک در هر پتری وجود داشت و برای آزمون جوانه‌زنی به ژرمیناتورهای با تنظیم دمایی مشخص‌شده منتقل شدند. هر تیمار آزمایشی سه بار تکرار گردید. ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر شامل: درصد جوانه‌زنی نهایی، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی بود که

موردبررسی و تحلیل قرار گرفتند. از نرم افزار مینی تب نسخه ۱۶ و سیگماپلات نسخه ۱۴ برای تجزیه و تحلیل آماری و رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات آزمایشی نشان داد که صفات جوانه زنی کنار رملیک به طور معنی داری تحت تأثیر اثر متقابل دما و تنش خشکی قرار گرفتند. بررسی میانگین مقادیر به دست آمده برای جوانه زنی در شرایط تنش خشکی و دماهای متغیر نشان داد که بذره‌های رملیک در سطوح صفر تا ۰/۴ - مگاپاسکال تنش خشکی از دمای ۱۵ درجه سانتی گراد قادر به تکمیل جوانه زنی خود بودند ولی در همین دما، با افزایش سطوح خشکی به ۰/۶ - مگاپاسکال و بالاتر دیگر جوانه زنی مشاهده نشد. حداکثر جوانه زنی در شرایط عدم تنش خشکی (صفر مگاپاسکال) و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد (۵۴/۶۶ درصد) به دست آمد. افزایش دما به ۲۰ تا ۳۵ درجه نیز اختلاف معنی داری در میزان جوانه زنی بذره‌های رملیک در شرایط تنش خشکی ایجاد ننمود. با افزایش سطح تنش خشکی به ۰/۲ - مگاپاسکال، درصد جوانه زنی بذره‌های رملیک در دماهای ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی گراد به طور معنی داری کاهش یافت (به ترتیب دمایی: ۲۸/۶۶ و ۴۱/۳۳ درصد). کمترین میزان جوانه زنی بذرها در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد مشاهده شد (جدول ۱). بیشترین سرعت جوانه زنی (۴۲/۲۴) بذر در روز) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و در شرایط عدم تنش خشکی مشاهده شد. افزایش تنش خشکی به سطح ۰/۲ - مگاپاسکال، باعث کاهش معنی دار در شاخص سرعت جوانه زنی را در مقایسه با سطح تنش خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) در سطوح دمایی ۱۵ تا ۴۰ درجه گردید. تنش خشکی به طور معنی داری شاخص جوانه زنی و ضریب سرعت جوانه زنی را کاهش داد. ضریب سرعت جوانه زنی با افزایش دما از ۱۵ به ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد افزایش یافت به طوری که، بیشترین مقدار ضریب سرعت جوانه زنی در دماهای ۲۵ تا ۴۰ درجه سانتی گراد مشاهده شد (جدول ۱).

با افزایش تنش خشکی به ۰/۶ - مگاپاسکال در دماهای ۵ تا ۱۵ درجه سانتی گراد میانگین زمان جوانه زنی بذره‌های کنار رملیک تفاوت معنی داری در مقایسه با شرایط بدون تنش نشان داد و با افزایش خشکی به ۰/۸ - تقریباً جوانه زنی متوقف شد. کمترین میانگین زمان جوانه زنی در دمای ۲۵ درجه

مبنای شمارش بذره‌های جوانه زده ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش آغاز و هر روز در همان ساعت معین محاسبه شدند (Kader, 2005). بذره‌هایی که طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی متر یا بیشتر بود، جوانه زده در نظر گرفته شدند. همچنین طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و بنیه بذر نیز سنجش و گزارش شد. شاخص‌های جوانه زنی بذر به شرح زیر با استفاده از روابط (۲)، (۳)، (۴)، (۵) و (۶) و (۷) محاسبه شدند.

درصد جوانه زنی نهایی = (تعداد کل بذور/تعداد بذره‌های جوانه زده) $\times 100$ [۲]

شاخص سرعت جوانه زنی = $G_1/1 + G_2/2 + G_3/3 + \dots + G_x/x$ [۳]

شاخص جوانه زنی = $(1 \times n_{10}) + (9 \times n_2) + (10 \times n_1) + \dots$ [۴]

شاخص طولی بنیه گیاهچه = قابلیت جوانه زنی $\times$ طول گیاهچه [۵]

متوسط زمان جوانه زنی = (تعداد بذره‌های جوانه زده در روز $\times$ تعداد روز $\times$) $\div$ کل تعداد بذره‌های جوانه زده [۶]

در این روابط، N_x تعداد بذره‌های جوانه زده در روز x ام، G_x درصد جوانه زنی در x امین روز پس از کشت، n_1 تا n_{10} تعداد بذره‌های جوانه زده از روز اول تا دهم می‌باشند.

برای کمی سازی درصد جوانه زنی به تنش آبی در دماهای مختلف جوانه زنی، از مدل سیگموئیدی سه پارامتره رابطه ۷ و همچنین مدل گوسین پیک (رابطه ۸) استفاده شد.

$Y = a / (1 + \exp(-(x - x_{50})/b))$ [۷]

در این مدل، X متغیر مستقل (دما)، Y متغیر وابسته (درصد جوانه زنی)، b انحنای منحنی و x_{50} سطحی از تنش آبی که حداکثر جوانه زنی (a) به ۵۰٪ از مقدار خود، کاهش یافت.

$Y = a * \exp[-0.5 * [(x - c)/b]^2]$ [۸]

در این مدل، X متغیر مستقل (دما)، Y متغیر وابسته (بنیه)، b دمای بهینه برای سطحی از تنش آبی که حداکثر بنیه (a) ایجاد می‌شود و c سرعت رشد منحنی را نمایش می‌دهد.

در پایان روز هفتم، پس از ثابت شدن تعداد بذره‌های جوانه زده در دو شمارش متوالی، ۵ گیاهچه به طور تصادفی از هر پتری انتخاب شد و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه گیری و شاخص طولی بنیه گیاهچه محاسبه شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار تجزیه واریانس شد. میانگین‌های به دست آمده از آزمایش توسط روش توکی در سطح احتمال خطای ۵ درصد

سانتی گراد بود که افزایش سطح تنش خشکی به مقادیر بالاتر از ۰/۲- سبب بیشتر شدن میانگین زمان جوانه زنی بذرها شد (جدول ۱).

در شرایط عدم تنش خشکی و دمای ۲۵ درجه، بیشترین مقدار شاخص جوانه زنی (۳۰۴) مشاهده شد (جدول ۱). تنش خشکی ۰/۲- مگاپاسکال باعث شد تا مقدار شاخص جوانه زنی در دامنه دمایی ۱۵ تا ۴۰ درجه سانتی گراد به طور معنی داری کاهش یابد. شاخص جوانه زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برابر (۲۶۰/۶) بود و تفاوت معنی داری با مقادیر به دست آمده برای این شاخص در سایر دماها داشت. با افزایش دما به دمای

۴۰ درجه سانتی گراد، شاخص جوانه زنی به کمترین مقدار خود رسید. نتایج نشان دهنده کاهش معنی دار طول ریشه چه در اثر افزایش سطح تنش خشکی بود. بیشترین طول ریشه چه کنار رملیک در سطح تنش خشکی صفر مگاپاسکال (شاهد) و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد مشاهده شد (۲/۱۰) سانتی متر) که با غالب ترکیب های تیماری اختلاف معنی داری نشان داد. بیشتر شدن غلظت تنش خشکی باعث شد تا در غلظت ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال طول ریشه چه کاهش معنی دار یافت و به ترتیب به ۱/۹۱ سانتی متر و ۱/۸۴ سانتی متر رسید (جدول ۱).

جدول ۱. اثر برهمکنش دما و تنش آبی بر ویژگی های جوانه زنی *Ziziphus nummularia*

Table 1. Interaction effects of temperature and water stress on seed germination properties of *Ziziphus nummularia*

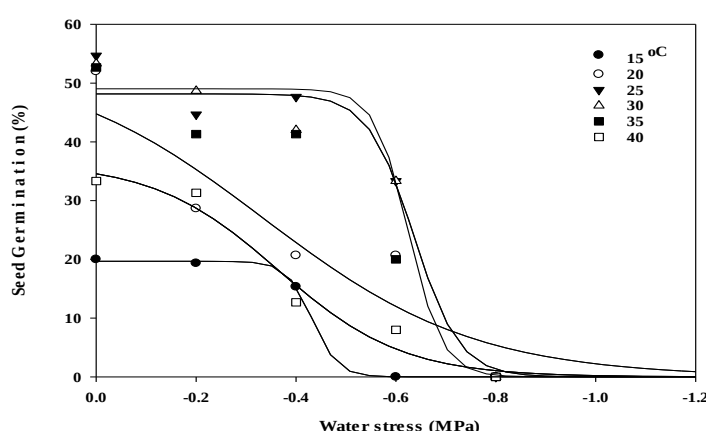
تنش آبی	دما	جوانه زنی	سرعت جوانه زنی	شاخص جوانه زنی	ریشه چه	ساقه چه	بنیه
Water Stress	Temperature	Germination	MGT	GI	Root	Shoot	Vigor
Mpa	°C	%	(1 day ⁻¹)	GI	cm	cm	
0	5	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	10	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	15	20 ^g	4.26 ^{ab}	81.33 ^k	0.5 ^f	0 ^f	10 ^j
	20	52b ^a	4.54 ^a	178.66 ^{ef}	1.77 ^{cb}	0.59 ^{cd}	123.26 ^{cd}
	25	54.66 ^{7a}	2.45 ^{ihj}	304 ^a	2.10 ^a	1.05 ^a	172.82 ^a
	30	53.33 ^a	2.84 ^{igh}	268 ^b	1.43 ^d	1.01 ^a	130.58 ^{cb}
	35	52.66b ^a	2.96 ^{ghf}	262 ^b	1.80 ^{cb}	0.63 ^c	128.42 ^{cbd}
	40	33.33 ^e	2.31 ^{ij}	182 ^e	0.5 ^f	0.5 ^e	33.33 ^h
-0.2	5	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	10	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	15	19.33 ^{hg}	4.06 ^{bac}	66 ^l	0.5 ^f	0 ^f	9.66 ^j
	20	28.66 ^f	3.69 ^{edc}	118 ⁱ	1.113 ^e	0.5 ^e	46.28 ^{hg}
	25	44.66 ^{dc}	2.52 ^{ihj}	260.66 ^b	1.83 ^{cb}	0.87 ^b	120.71 ^{cd}
	30	48.66 ^{bc}	2.92 ^{ghf}	239.33 ^c	1.91 ^{ab}	1.02 ^a	142.91 ^b
	35	41.33 ^d	3.17 ^{egf}	183.33 ^e	1.81 ^{cb}	1.10 ^a	120.93 ^{cd}
	40	31.33 ^{fe}	2.256 ^j	169.33 ^{gf}	0.51 ^f	0 ^f	16.16 ^{ji}
-0.4	5	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	10	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	15	15.33 ^{hi}	3.19 ^{egf}	61.33 ^l	0.5 ^f	0 ^f	7.66 ^j
	20	20.66 ^g	3.44 ^{df}	114 ⁱ	1.18 ^e	0.5 ^e	34.81 ^h
	25	47.66 ^c	3.06 ^{g f}	214 ^d	1.84 ^{cb}	0.52 ^{ed}	112.92 ^{ed}
	30	42 ^d	2.97 ^{ghf}	238 ^c	1.47 ^d	0.88 ^b	99.00 ^e
	35	41.33 ^d	3.27 ^{egf}	179.66 ^{ef}	1.80 ^{cb}	1.04 ^a	117.34 ^{cd}
	40	12.66 ⁱ	2.93 ^{ghf}	62.66 ^l	0.5 ^f	0 ^f	6.33 ^j
-0.6	5	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	10	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	15	0 ^k	0 ^k	0 ⁿ	0 ^g	0 ^f	0 ^j
	20	20.66 ^g	3.83 ^{bdc}	80.667 ^k	1 ^e	0.5 ^e	31 ^{hi}
	25	33.33 ^e	3.29 ^{egdf}	157.33 ^h	1.2 ^e	0.5 ^e	56.61 ^g
	30	33.33 ^e	3.40 ^{df}	160 ^{gh}	1.64 ^{cd}	0.80 ^b	81.54 ^f
	35	20 ^g	3.26 ^{egf}	94.66 ^j	1.07 ^e	0.50 ^{ed}	31.6 ^{hi}
	40	8 ^j	2.5 ^{ihj}	44 ^m	0.5 ^f	0 ^f	4 ^j

بر اساس آزمون توکی و در سطح احتمال خطای ۵ درصد، میانگین های با حروف مشابه تفاوت معنی دار ندارند

Means with the same letter are not significantly different

سطوح دمایی بنیه گیاهچه بسیار ضعیف خواهد شد (جدول ۱).

برازش مدل سیگموئید سه پارامتره بر روی داده‌های حاصل از جوانه‌زنی گیاه رملیک تحت تنش آبی و دماهای مختلف جوانه‌زنی نشان داد که بذرهای این گیاه در محدوده دمایی ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در تنش آبی حدود ۰/۶- مگاپاسکال قابلیت جوانه‌زنی خود را از دست می‌دهند و با افزایش دمای جوانه‌زنی حساسیت به تنش آبی افزایش یافته بود. با افزایش دمای جوانه‌زنی به ۳۵ و ۴۰ درجه، بذرها به ترتیب در سطح تنش آبی ۰/۵- و ۰/۳- مگاپاسکال نیمی از قابلیت جوانه‌زنی خود را از دست دادند (شکل ۱).



شکل ۱. برازش مدل سیگموئیدی سه پارامتره بر داده‌های جوانه‌زنی بذر *Ziziphus nummularia* تحت اثر تنش آبی و دمای متفاوت جوانه‌زنی

Fig. 1. Interaction effect of temperature and water stress on germination of *Ziziphus nummularia*

بحث

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، میزان نزولات جوی چه در بعد زمان و چه مکان بسیار متغییر هستند و بنابراین، تنش خشکی معمولاً ادامه می‌یابد و خاک نمی‌تواند ظرفیت زراعی خود را برای مدت‌زمان طولانی حفظ نماید (Whitford and Duval, 2019). یکی از بحرانی‌ترین مراحل رشد در چرخه زندگی گیاهان، جوانه‌زنی است (Baskin and Baskin, 2014). در محیط‌های بیابانی، پتانسیل آبی خاک و همین‌طور دما، کلیدی‌ترین عوامل مؤثر بر جوانه‌زنی محسوب می‌شوند (Flores and Briones, 2001; Gurvich et al., 2017). در مطالعه‌ای که بر روی بذرهای برنج صورت گرفت مشخص شد که در شرایط تنش خشکی و گرمای زیاد تجمع گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و هورمون آبسزیک اسید در بذرها افزایش

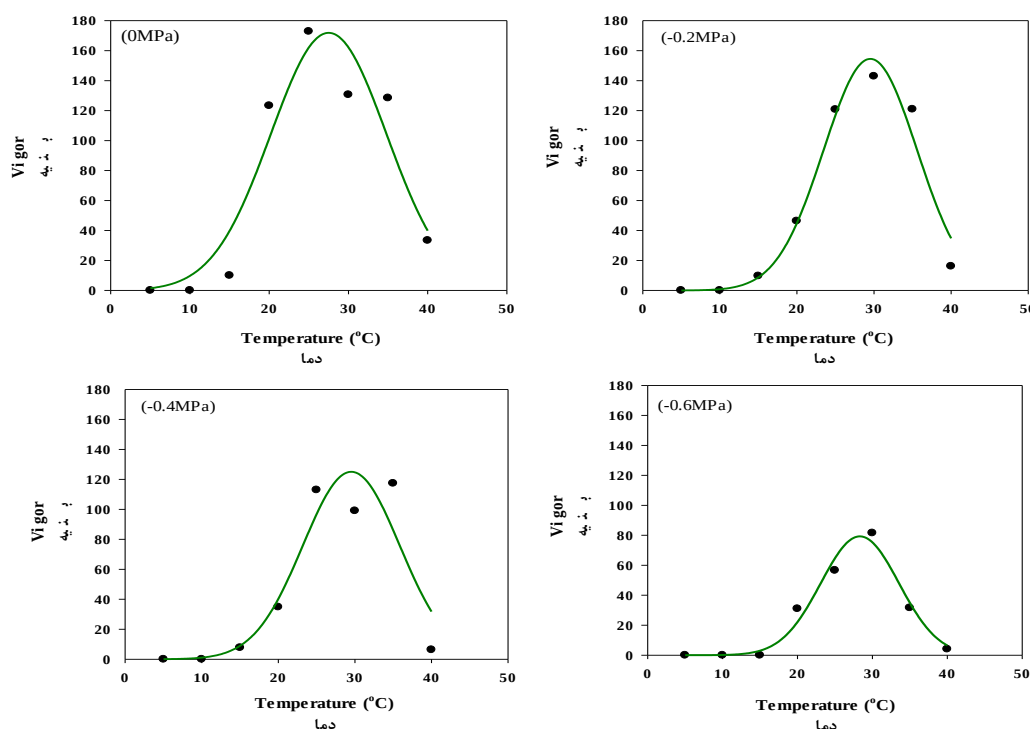
در سطوح تنش خشکی بیش از ۰/۶- مگاپاسکال رشد ساقه‌چه در کلیه سطوح دمایی مورد مطالعه متوقف شد. افزایش دما از ۱۰ درجه به ۲۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش رشد ساقه‌چه همراه بود و این روند افزایشی به گونه‌ای بود که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین طول ساقه‌چه بود. بیشترین بنیه گیاهچه در شرایط بودن تنش خشکی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (۱۷۲/۸). افزایش سطح تنش خشکی به ۰/۲- مگاپاسکال منجر به کاهش قابل‌توجه میزان شاخص بنیه گیاهچه خصوصاً در دماهای بیشتر از ۲۵ درجه شد (۱۴۲/۹). نتایج حاکی از آن بود که در سطح تنش خشکی ۰/۴- مگاپاسکال و فراتر از آن در کلیه

با افزایش سطح تنش آبی، مقدار بنیه بذر کاهش معنی‌دار نشان داد. نتایج استفاده از مدل گوسین-پیک نیز به خوبی کاهش بیشینه مقدار بنیه در سطوح تنش آبی را از ۱۷۱/۹۲ به ۱۵۴/۵۳، ۱۲۵/۰۶ و ۷۹/۲۸ به ترتیب در صفر، ۰/۲-، ۰/۴- و ۰/۶- مگاپاسکال را نشان می‌دهد (جدول ۲). بیشتر شدن تنش آبی باعث می‌شود تا دمای مطلوب برای بنیه بذر افزایش یابد. برای مثال، دما از ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد در صفر مگاپاسکال به ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد در ۰/۲- مگاپاسکال افزایش یافت. با افزایش سطح تنش آبی، یکنواختی بیشتری در پاسخ بنیه گیاهچه به دما دیده می‌شود. به نظر می‌رسد عدم موجود تنش آبی می‌تواند نقش سایر عوامل مؤثر بر جوانه‌زنی را افزایش بدهد (شکل ۲).

می‌یابد و جوانه‌زنی بذرها را به تأخیر می‌اندازند (Liu et al., 2019).

دما از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده مدت‌زمان جوانه‌زنی بذرها محسوب می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان استنباط نمود که زمانی که دمای مؤثر برای تأمین سطح لازم انرژی جهت تکمیل جوانه‌زنی فراهم شود، جوانه‌زنی صورت

خواهد پذیرفت. در این آزمایش، تأثیر گرادیان دمایی که از ۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد را شامل می‌شد بر جوانه‌زنی کنار رملیک مطالعه شد و پاسخ بذرها این گیاه به دماهای زیر ۱۵ درجه، عدم جوانه‌زنی بود و دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه دماهایی بودند که جوانه‌زنی به‌راحتی در آن‌ها انجام می‌شد.



شکل ۲. برازش مدل گوسیئن پیک بر بنیه بذر *Ziziphus nummularia* در اثر قرار گرفتن بذرها در شرایط تنش آبی و دماهای جوانه‌زنی متفاوت

Fig. 2. Gaussian peak model was fitted on seed vigor of *Ziziphus nummularia* seed under water stress condition and different germination temperatures

مقدار زیادی داشته باشد، به معنی جوانه‌زنی سریع‌تر بذرها و در نتیجه شرایط مطلوب جوانه‌زنی است. با افزایش دما از ۳۵ درجه سانتی‌گراد، شاخص جوانه‌زنی در تقریباً تمامی پتانسیل‌های آبی، کاهش یافت و این وضعیت در پتانسیل‌های خیلی منفی مانند $-0/6$ مگاپاسکال بیشتر خود را نشان داد. تأثیر برهمکنش دما و پتانسیل آب در مطالعه‌ای که بر روی گیاه *Retama raetam* انجام‌شده نیز معنی‌دار گزارش شده است. با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، در پتانسیل‌های کمتر از $-0/7$ مگاپاسکال کاهش ویژگی‌های جوانه‌زنی مشاهده شد. همچنین جوانه‌زنی در دمای بیشتر از ۲۰ درجه و کمتر از ۱۵ درجه کاهش معنی‌دار یافت (Abdellaoui et al., 2019).

نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که بیشترین جوانه‌زنی بذرها در پتانسیل آبی (صفر) به دست آمد و با کاهش پتانسیل به $-0/4$ و $-0/6$ مگاپاسکال (جوانه‌زنی کاهش قابل‌ملاحظه‌ای پیدا کرد. گونه‌های مختلف گیاهی از جمله *Agave salmiana*, *Prosopis laevigata* و *Ferocactus histrix* نیز در شرایط رطوبتی مناسب، بیشترین جوانه‌زنی را از خود نشان می‌دهند و با کاهش پتانسیل آبی، جوانه‌زنی نیز محدود خواهد شد (Flores et al., 2017).

بسیاری از فرایندهای جوانه‌زنی با افزایش دما از دمای پایه تا رسیدن به دمای بهینه افزایش و در دماهای بیشتر از دمای بهینه کاهش خواهند یافت. شاخص جوانه‌زنی، می‌تواند وضعیت کیفی جوانه‌زنی و سرعت آن را تحت تأثیر تغییرات دمایی به‌خوبی نمایان نماید. در شرایطی که شاخص جوانه‌زنی

نتیجه‌گیری نهایی

به ترتیب بنیه بذر برابر ۵۶/۶۱ و ۳۱/۶ بود. می‌توان نتیجه گرفت که تحمل به تنش خشکی در بذرهای کنار رملیک تابعی از دمای جوانه‌زنی است و بسته به شدت تنش خشکی، دمای بهینه افزایش می‌یابد. کنار رملیک می‌تواند سطح ۰/۶- مگاپاسکال از تنش خشکی را تحمل نماید و بنابراین گیاهی متحمل به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان، مراتب سپاس و تشکر خود را از حمایت معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان ابراز می‌نمایند.

نتایج نشان داد که بذرهای گیاه کنار رملیک اکوتیپ هفتکل قادر به جوانه‌زنی در دماهای زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد نبود. بیشترین میزان بنیه بذرهای کنار رملیک در شرایط بدون تنش خشکی برابر ۱۷۲/۸۲ بود که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. با افزایش سطح تنش خشکی بنیه کاهش پیدا کرد. با افزایش سطح تنش خشکی به ۰/۶- مگاپاسکال، بنیه بذر کاهش معنی‌داری نشان داد، هرچند سطح دمایی بر میزان کاهش بنیه به شدت معنی‌دار بود. برای مثال بیشترین بنیه بذر در سطح تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد برابر (۸۱/۵۴) بود، درحالی‌که در دمای ۲۵ درجه و یا ۳۵ درجه کمتر بود و

جدول ۲. پارامترهای مدل گوسیئن پیک بر تیمارهای دمایی در پتانسیل‌های مختلف آبی

Table 2. Gaussian Peak Model parameters of tempearrure treatment at various water potentials

مگاپاسکال	پارامتر	برآورد	خطای استاندارد	شاخص آیکائیک	مربعات خطا	ضریب تبیین
MPa	Parameter	Estimate	Std Error	AICc	RMSE	R-Square
0	a	171.92104	19.823246	92.297087	25.823835	0.9048787
	b	27.503994	0.9724624			
	c	7.3091984	1.002793			
-0.2	a	154.53319	10.736013	81.033197	12.772632	0.9686852
	b	29.52486	0.4858111			
	c	6.0643438	0.4963918			
-0.4	a	125.06181	18.735849	90.248283	22.720046	0.8694208
	b	29.525594	1.093786			
	c	6.3295661	1.1265608			
-0.6	a	79.285356	5.8299469	70.135439	6.4636548	0.9682998
	b	28.3342	0.442221			
	c	5.2154704	0.4439741			

b دمای بهینه برای سطحی از تنش آبی که حداکثر بنیه (a) ایجاد می‌شود و c سرعت رشد منحنی را نمایش می‌دهد

a: maximum seed vigor, b: optimum temperature, c: growth rate

منابع

- Abdellaoui, R., Boughalleb, F., Zayoud, D., Neffati, M., Bakhshandeh, E., 2019. Quantification of *Retama raetam* seed germination response to temperature and water potential using hydrothermal time concept. *Environmental and Experimental Botany*. 157, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.014>
- Andronis, E.A., Moschou, P.N., Toumi, I., Roubelakis-Angelakis, K.A., 2014. Peroxisomal polyamine oxidase and NADPH-oxidase cross-talk for ROS homeostasis which affects respiration rate in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*. 5, 132. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00132>
- Bailly, C., 2019. The signalling role of ROS in the regulation of seed germination and dormancy. *Biochemical Journal*. 476, 3019–3032. <https://doi.org/10.1042/BCJ20190159>
- Baskin, C.C., Baskin, J.M., 2014. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. 2nd ed. Academic Press: San Diego, CA, USA.
- Bradford, K.J., Bello, P., 2022. Applying population-based threshold models to quantify

- and improve seed quality attributes. In: Buitink, J., Leprince, O. (eds.), *Advances in Seed Science and Technology for more Sustainable Crop Production*. pp. 67–154. Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/as.2022.0105.05>
- Dadlani, M., Yadava, D.K., 2023. *Seed Science and Technology: Biology, Production, Quality*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5>
- Flores, J., Briones, O., 2001. Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environments*. 47, 485–497. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0726>
- Flores, J., Pérez-Sánchez, R.M., Jurado, E., 2017. The combined effect of water stress and temperature on seed germination of Chihuahuan Desert species. *Journal of Arid Environments*. 146, 95–98. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.06.009>
- Gurvich, D.E., Pérez-Sánchez, R., Bauk, K., Jurado, E., Ferrero, M.C., Funes, G., Flores, J., 2017. Combined effect of water potential and temperature on seed germination and seedling development of cacti from a mesic Argentine ecosystem. *Flora*. 227, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.12.006>
- Kader, M.A., 2005. A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. *Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales*. 138, 65–75. <https://doi.org/10.5962/p.361564>
- Liu, J., Hasanuzzaman, M., Wen, H., Zhang, J., Peng, T., Sun, H., Zhao, Q., 2019. High temperature and drought stress cause abscisic acid and reactive oxygen species accumulation and suppress seed germination growth in rice. *Protoplasma*. 256, 1217–1227. <https://doi.org/10.1007/s00709-019-01354-6>
- Mesmar, J., Abdallah, R., Badran, A., Maresca, M., Shaito, A., Baydoun, E., 2022. *Ziziphus nummularia*: A comprehensive review of its phytochemical constituents and pharmacological properties. *Molecules*. 27, 4240. <https://doi.org/10.3390/molecules27134240>
- Michel, B.E., and Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51, 914–916. <https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>
- Oracz, K., Karpiński, S., 2016. Phytohormones signaling pathways and ROS involvement in seed germination. *Frontiers in Plant Science*. 7, 864. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00864>
- Payamani, R., Nosratti, I., Amerian, M., 2020. The effect of thermal shock, burial depth and seed position on germination of seeds of heteromorphism hedge parsley (*Torilis arvensis*). *Plant Productions*. 43, 1–12. [In Persian]. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.26379.1621>
- Rezai, A., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., Adhami, I., 2018. Effect of different priming on seed germination indices and enzyme of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) SOR834 genotype under cadmium chloride and nitrate toxicity. *Plant Productions*. 41, 69–82. [In Persian]. <https://doi.org/10.22055/ppd.2018.13551>
- Singh, R., Singh, S., Parihar, P., Mishra, R.K., Tripathi, D.K., Singh, V.P., Chauhan, D.K., Prasad, S.M., 2016. Reactive oxygen species (ROS): beneficial companions of plants' developmental processes. *Frontiers in Plant Science*. 7, 1299. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01299>
- Vicente, M.J., Martínez-Díaz, E., Martínez-Sánchez, J.J., Franco, J.A., Bañón, S., Conesa, E., 2020. Effect of light, temperature, and salinity and drought stresses on seed germination of *Hypericum ericoides*, a wild plant with ornamental potential. *Scientia Horticulturae*. 270, 109433. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109433>
- Wang, W., Zhang, C., Zheng, W., Lv, H., Li, J., Liang, B., Zhou, W., 2022. Seed priming with protein hydrolysate promotes seed germination via reserve mobilization, osmolyte accumulation and antioxidant systems under PEG-induced drought stress. *Plant Cell Reports*. 41, 2173–2186. <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02902-w>
- Whitford, W.G., Duval, B.D., 2019. *Ecology of Desert Systems*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00641-9>
- Xue, X., Du, S., Jiao, F., Xi, M., Wang, A., Xu, H., Jiao, Q., Zhang, X., Jiang, H., Chen, J., 2021. The regulatory network behind maize seed germination: Effects of temperature, water, phytohormones, and nutrients. *The Crop Journal*. 9, 718–724. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.08.003>