

Investigating the effect of cold plasma with different gases on improving seed germination and seedling growth of *Prosopis koelziana* under salt stress

Zahra Mousavi Shahabi¹, Fatemeh Nasibi^{1,2}, Hadi Noori³, Amir Saadat far^{4*}

¹ Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran,

Email: Mousavizahra6776@gmail.com

² Research and Technology Institute of Plant production (RTIPP). Shahid Bahonar University of Kerman, Iran,

Email: nasibi.f@uk.ac.ir

³ Faculty of Physic, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, Email: hadi-noori@hotmail.com

⁴ Research and Technology Institute of Plant production (RTIPP). Shahid Bahonar University of Kerman,

Email: saadatfar.amir@uk.ac.ir

Article type:

Research article

Abstract

The *Prosopis* plant is native to dry and desert areas and is widely used to rejuvenate dried forests, degraded and infertile lands with high salinity, and deserts. Unfortunately, due to rising soil salinity in these dry regions and the sensitivity of Iranian *Prosopis* seedlings to salinity stress, this plant is at risk of extinction, leading to the destruction of its communities. In recent years, the use of cold plasma technology in plants has increased significantly, as it can enhance germination and boost resistance to both biotic and abiotic stresses. This research aims to study the impact of cold plasma technology on priming *Prosopis* plant seeds under various conditions, including different exposure times, gases, and voltages. The goal is to increase the seed germination rate and improve seedling establishment, particularly under salt stress conditions. This is important for preserving and preventing the extinction of this valuable desert plant. *Prosopis* seeds were collected from their natural habitat for the experiment, which used a factorial design with three replications in a completely randomized setup. The experimental treatments included various salt concentrations (100, 200, 300, and 400 mM NaCl), different plasma exposure times (0, 6, 8, and 10 minutes), and a range of input gases (helium, argon, and oxygen). The results showed no germination at salt concentrations of 300 and 400 mM, leading to their exclusion from further stages of the experiment, which then focused on 100 mM and 200 mM concentrations. The research indicated that exposing plant seeds to cold plasma for 8 minutes using helium gas and a voltage of 10 volts produced the best results. These seeds germinated well, and this treatment had a significant positive effect on the growth of seedlings, particularly under salt stress conditions. Thus, cold plasma treatment appears to be an effective method for enhancing seed germination and improving the resistance of mesquite seedlings to salt stress.

Article history

Received: 31.01.2024

Revised: 09.05.2024

Accepted: 24.05.2024

Published: 21.12.2024

Keywords

Cold plasma

Germination

Priming

Prosopis koelziana

Salinity stress

Cite this article as: Mousavi Shahabi, Z., Nasibi, F., Noori, H., Saadat Far, A. (2024). Investigating the effect of cold plasma with different gases on improving seed germination and seedling growth of *Prosopis koelziana* under salt stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 19(4): 17-34.



©The author(s) Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2024.984461>

بررسی اثر پلاسمای سرد با گازهای ورودی متفاوت بر بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه کهور (*Prosopis koelziana*) تحت تنش شوری

زهرا موسوی شهابی^۱، فاطمه نصیبی^۲، هادی نوری^۳، امیر سعادتفر^۴*

^۱ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، رایانامه: Mousavizahra6776@gmail.com

^۲ گروه گیاهان دارویی، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، رایانامه: nasibi.f@uk.ac.ir

^۳ گروه فیزیک هسته‌ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، رایانامه: hadi-noori@hotmail.com

^۴ گروه گیاهان دارویی، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، رایانامه: saadatfar.amir@uk.ac.ir

نوع مقاله:	چکیده
مقاله پژوهشی	گیاه کهور یکی از گیاهان بومی مناطق خشک و بیابانی است و برای احیای جنگل‌های خشک شده، زمین‌های تخریب شده و کم بارور با شوری بالا و بیابان‌ها کاربرد بسیاری دارد. با توجه به افزایش شوری خاک در مناطق خشک و حساسیت نهال‌های کهور ایرانی به تنش شوری، این گیاه در معرض انقراض قرار گرفته و جوامع پوششی آن در حال نابود شدن هستند. در سال‌های اخیر استفاده از پلاسمای سرد جهت افزایش بهبود جوانه زنی و همچنین افزایش مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در حوزه گیاهان رونق پیدا کرده است. لذا هدف از این پژوهش بررسی اثر پرایمینگ بذر گیاه کهور با فناوری پلاسمای سرد در شرایط زمان‌های مختلف و تحت تاثیر گازها و ولتاژ متفاوت، در افزایش درصد جوانه زنی بذر و بهبود استقرار گیاهچه آن در شرایط تنش شوری است که می‌تواند در حفظ و جلوگیری از انقراض این گیاه ارزشمند بیابانی موثر باشد. بذرهای کهور از رویشگاه طبیعی آن جمع‌آوری و اعمال تیمارها با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی در این گیاه شامل غلظت‌های مختلف شوری (۱۰۰ و ۲۰۰ و ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی مولار NaCl)، زمان‌های مختلف پلاسمای سرد (۶، ۸ و ۱۰ دقیقه) و گازهای ورودی متفاوت (هلیوم، آرگون و اکسیژن) بودند. نتایج نشان داد که در غلظت‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی مولار نمک هیچ جوانه زنی مشاهده نشد و به همین دلیل در مراحل بعدی آزمایش حذف شدند و غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که زمان پلاسمای سرد در محدوده‌ای ۸ دقیقه‌ای با گاز هلیوم و ولتاژ ۱۰ بهترین تیمار بود و بذرهای گیاه به خوبی جوانه زدند و بر رشد گیاهچه خصوصاً تحت تنش شوری نیز موثر بود و باعث افزایش رشد گیاهچه تحت تنش شوری گردید بنابراین می‌تواند به عنوان یک تیمار موثر برای افزایش جوانه زنی و مقاومت گیاهچه کهور به تنش شوری پیشنهاد گردد.

واژه‌های کلیدی:

پلاسمای سرد

جوانه زنی

پرایمینگ

Prosopis Koelziana

استرس شوری

استناد: موسوی شهابی، زهرا؛ نصیبی، فاطمه؛ نوری، هادی؛ سعادتفر، امیر. (۱۴۰۳). بررسی اثر پلاسمای سرد با گازهای ورودی متفاوت

بر بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه کهور (*Prosopis koelziana*) تحت تنش شوری. فیزیولوژی محیطی گیاهی،

۱۹ (۴)، ۳۴-۱۷.

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2024.984461>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.



مقدمه

در سال‌های اخیر بیابان‌زایی یکی از مشکلات بزرگ زیست‌محیطی است که در بسیاری از کشورها از جمله کشور ایران نیز وجود دارد. کاشت گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از راه‌های جلوگیری از فرسایش آبی و بادی خاک است. گیاهانی که به منظور بیابان‌زدایی در این مناطق کشت می‌شوند بهتر است از جنس‌ها و گونه‌های گیاهی بومی آن منطقه باشند تا مقاومت بهتری در برابر شرایط سخت محیطی داشته باشند. گیاه کهور یکی از گیاهان بومی مناطق خشک و بیابانی است. جنس کهور *prosopis* متعلق به خانواده Fabaceae، می‌باشد و در مناطق خشک و نیمه خشک می‌روید (Bhojvaid and Timmer, 1998; Zhong et al., 2022). این گیاه ارزشمند برای احیای جنگل‌های خشک شده، زمین‌های تخریب شده و کم بارور با شوری بالا و بیابان‌ها کاربرد بسیاری دارد (Zare et al., 2011). در مقایسه با سایر گیاهان خانواده نخود، گیاه کهور کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد اما دارای پتانسیل‌های زیادی است. این گیاه نه تنها منبع خوبی از چوب برای استفاده در ساختمان سازی و تولید بیوپچار و زغال است، بلکه می‌تواند برای غذا، نوشیدنی، خوراک و دارو نیز استفاده شود. کهور حاوی ترکیبات فیتوشیمیایی متعددی از جمله کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای چرب، مواد معدنی و ویتامین‌ها است. علاوه بر این انواع ترکیبات فنلی نیز از قسمت‌های مختلف این گیاه شناسایی شده است. علاوه بر این، از پوست میوه کهور به عنوان قابض، مقوی و تصفیه کننده خون استفاده می‌شود و گفته می‌شود که داروی قوی برای بسیاری از بیماری‌ها مانند جذام، اسهال خونی، برونشیت، لوکودرما، لرزش عضلانی، آسم، روماتیسم، و التهابات است (Zhong et al., 2022). همچنین گیاه کهور دارای صمغی است که

از پوست آن تراوش می‌شود و دارای چندین ویژگی از جمله حالیت بالا، امولسیون کننده و ویسکوزیته بالا است که شبیه صمغ عربی است و می‌تواند به عنوان نوعی تثبیت کننده عمل کند (López-Franco et al 2012).

جنس کهور دارای ۴۴ گونه است و هر کدام از این گونه‌ها دارای ویژگی‌ها و مشخصات متفاوتی از جمله ارتفاع، شکل و اندازه برگ‌ها و توزیع جغرافیایی هستند (Dzikiti et al 2013). از این جنس در ایران چهار گونه درختی و درختچه ای شامل *cineraria Prosopis koelziana* (کهور معمولی)، *Prosopis farcta* (کهورک یا جغجغه) و *Prosopis juliflora* (کهور آمریکایی یا کهور پاکستانی) گزارش شده است (Emtahani and Elmi, 2006). کهور دره ای با نام علمی *Prosopis koelziana* یک گونه درختی با ارتفاع حدود ۶ تا ۱۰ متر است که در مناطق جنوبی و جنوب شرقی ایران عمدتاً در استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان یافت می‌شود این گیاه به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی خاص، به خوبی در مناطق خشک و بیابانی با شرایط محیطی سخت مقاومت می‌کند و در واقع نماینده‌ای از بوم‌شناسی مناطق خشک و بیابانی ایران می‌باشد. این گیاه در مقابل دماهای بسیار گرم تابستانی و سرماهای سرد زمستانی مقاومت بالایی دارد. ساقه‌های این گیاه خاردار و رنگ برگ‌های آن از سبز تا سبز خاکستری متغیر است. ریشه‌های عمیق این گیاه به‌طور مستقیم به منابع آبی در لایه‌های زیرین خاک دسترسی دارند و باعث حفاظت خاک و کاهش فرسایش آن می‌شود. به دلیل توانایی رشد در خاک‌های شور مناطق خشک و بیابانی نقش مهمی در این مناطق دارد. این گیاه باعث کنترل فرسایش خاک، تثبیت تپه‌های شنی، بهبود حاصلخیزی خاک و کاهش شوری خاک می‌شود

انتقال یونها و مواد مغذی ایجاد کند و فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه را تحت تأثیر قرار دهند (Ali et al., 2023).

پلاسمای سرد یکی از فناوریهای جدیدی است که اثرات مثبت آن در جوانه زنی، رشد و تحمل گیاهان به تنشهای زیستی و غیر زیستی در سالهای اخیر گزارش شده است (Jiang et al., 2014). پلاسمای که عنوان عنصر چهارم طبیعت را به خود اختصاص داده است، در حقیقت گاز یونیزه شده‌ای متشکل از یون‌ها، الکترون‌ها، اتم‌های خنثی، رادیکال‌ها و گونه‌های برانگیخته است. به بیان ساده، اگر محفظه‌ای پر از گاز (بخار آب، هوا، اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، نیتروژن، آرگون، فلئوئورکربن و...) وجود داشته باشد، بر اثر اختلاف ولتاژ، الکترون‌ها در فاصله بین دو الکترود شتاب گرفته و با برخورد به مولکول‌های گاز آنها را یونیزه می‌کنند و به این ترتیب، پلاسمای شکل می‌گیرد که به این ساختارها اصطلاحاً تخلیه سد دی الکتریک (DBD) Dielectric Barrier Discharge گفته می‌شود (Dhakal et al., 2023). در این ساختار ایجاد ولتاژهای متفاوت و وجود گازهای گوناگون منجر به ایجاد پلاسمایی با ویژگی‌های متفاوت می‌شود (Laroussi, 2002). ویژگی مهم پلاسمای سرد، شکل‌گیری آن در دمای پایین (حدود دمای اتاق) است. بنابراین، می‌توان از آن برای تیمار سطوح زنده استفاده کرد. وجود یون‌ها، الکترون‌ها، اتم‌ها و رادیکال‌ها، پلاسمای را به شدت واکنش‌پذیر کرده و به همین علت می‌تواند هر سطحی را دستخوش تغییرات کند (Laroque et al., 2022). از اثرات پلاسمای بر گیاهان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: افزایش میزان و سرعت جوانه‌زنی بذر گیاهان از طریق تغییر در پوشش بذر و افزایش فعالیت آنزیم‌های جوانه‌زنی، بهبود ویژگی‌های گیاه از جمله گسترش بیشتر و بهتر ریشه گیاه از طریق جذب بهتر عناصر غذایی و آب،

(Zare et al., 2011, Dzikiti et al., 2013). از آنجاییکه این گیاه قادر است با باکتری‌های خاک همزیست شود و تثبیت ازت انجام دهد نقش مهمی در احیا خاک‌های فقیر دارد. علاوه بر این از برگ و میوه آن برای تامین خوراک و علوفه حیوانات و از چوب آن در تامین سوخت، تولید الوار ساختمانی و چوب مبلمان استفاده می‌شود. همچنین از گل‌های آن نیز برای پرورش زنبور عسل استفاده می‌شود. قسمتهای مختلف این گیاه همچنین در طب سنتی نیز کاربردهای دارویی زیادی دارد. به دلیل اهمیت آن در مناطق بیابانی به آن لقب سلطان بیابان داده اند (Emtahani and Elmi, 2006; Shiferaw et al., 2004). علیرغم مقاومت بالای درخت کهور به شوری، گیاهک آن به شوری بسیار حساس بوده و تحت تنش شوری رشد بسیار کمی داشته و اغلب از بین می‌رود. به همین دلیل با افزایش میزان شوری خاک در مناطق بیابانی و خشک، و برداشت بی رویه از این گیاه به عنوان علوفه، جمعیت این گیاه به طور طبیعی رو به کاهش و جنگلهای طبیعی آن رو به انقراض است (Zhong et al., 2022).

شوری به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان است و از مهمترین مشکلات محیطی می‌باشد که علت عمده آن، حضور بیش از حد نمک به دلیل تبخیر و تعرق بالا و کمبود آب باکیفیت در مناطق خشک و نیمه خشک است (Munns and Tester, 2008). خاک‌های شور و قلیایی اغلب در مناطق خشک و نیمه خشک توسعه یافته و رشد گیاهان را مختل می‌کنند که این اختلال ناشی از سمیت یونی و تنش اسمزی می‌باشد (Ahmed and Khalid, 2023). شوری خاک می‌تواند تأثیرات منفی زیادی بر گیاهان داشته باشد مثلاً غلظت نمک‌ها در خاک می‌تواند توازن آبی گیاه را مختل کند و باعث کاهش رشد عملکرد گیاه شود، اختلال در جذب و

افزایش جذب و نفوذ آب به بذر و گیاه و کاهش مصرف آب آبیاری، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود تغذیه گیاه، افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش‌های محیطی (شوری آب و خاک و کمبود آب) و نابودی آلودگی قارچی و باکتریایی سطح بذر بدون نیاز به مصرف مواد شیمیایی (Sera et al., 2010; Jiang et al., 2014; Auguste et al., 2023).

تنش شوری یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که می‌توان برای مقابله با آن از پلاسمای سرد استفاده کرد. مهمترین مزایای استفاده از پلاسمای سرد در افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد: سهولت پرایمینگ بذرها با پلاسمای سرد، اقتصادی و آسان بودن این روش جهت پرایمینگ بذر، کاهش استفاده از مواد شیمیایی و نمکهای معدنی برای پرایمینگ و یا محلولپاشی گیاهان، استفاده از آن در شرایط گوناگون بدون داشتن عوارض زیست محیطی (Lu et al., 2012).

با توجه به افزایش شوری خاک در مناطق خشک و حساسیت نهال‌های کهور به تنش شوری، این گیاه در معرض انقراض قرار گرفته و جوامع پوششی آن در حال نابود شدن هستند. لذا در ادامه تحقیقات بر روی اثر پلاسمای سرد بر گیاهان، هدف از این پژوهش بررسی اثر پرایمینگ بذر گیاه کهور با فناوری پلاسمای سرد در شرایط زمانهای مختلف و تحت تاثیر گازهای ولتاژ متفاوت، در افزایش درصد جوانه زنی بذر و بهبود استقرار گیاهچه آن در شرایط تنش شوری است. با بکارگیری این روش در مراحل اولیه رشد گیاه، احتمالاً می‌توان نهال‌های مقاوم را تولید نمود که قابلیت انتقال به محیط شور و تحمل تنش شوری را در طبیعت داشته باشند.

مواد و روش‌ها

محل جمع‌آوری بذر: بذر گیاه کهور از منطقه شهداد

در ۸۷ کیلومتری (فاصله هوایی ۵۸ کیلومتر) شمال شرق کرمان جمع‌آوری شد. شهداد از جنوب غرب به مناطق کوهستانی و سردسیر سیرچ و از شمال شرق به مناطق کویری‌گردشگری بکر کلوت‌های شهداد و دریاچه جوان شهداد منتهی می‌شود. در ابتدا بذرها سالم و عاری از حشره انتخاب شدند. بذرها قبل از کشت با هیپوکلریت سدیم ۰/۱ درصد به مدت ۵ دقیقه ضد عفونی شدند، سپس سه بار با آب مقطر شستشو گردیدند. بذرها به مدت ۲۴ ساعت در آب ولرم قرار داده شدند سپس به طور کامل خشک شدند تا در مجاورت الکترودهای دستگاه پلاسمای چهار هیچگونه آسیب و سوختگی نشوند. بهینه سازی شوری: در ابتدا به منظور بهینه سازی غلظت سدیم کلرید و آستانه تحمل بذرها گیاه به تنش شوری، در آزمایش حاضر، بذرها ضد عفونی شده در ظروف پتری با غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی مولار نمک تیمار شدند. در هر پتری دیش به قطر ۹ سانتی متر، تعداد ۱۵ عدد بذر کهور قرار داده شد (برای هر تیمار سه پتری دیش به عنوان سه تکرار در نظر گرفته شد که مجموعاً ۴۵ بذر را شامل شد). بذرها کنترل با آب مقطر تیمار شدند. تمام آزمایشات جوانه زنی بصورت جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در آزمایشگاه اجرا شدند و در نهایت با در نظر گرفتن نتایج حاصل از آزمایش جوانه زنی، غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید به عنوان غلظت‌های بهینه انتخاب شدند و در مراحل بعدی، بذرها با این غلظت‌های بهینه شده تیمار شدند.

دستگاه تولید پلاسمای سرد: برای تولید پلاسمای سرد تخلیه دی الکتریک (DBD) جهت تیمار بذرها، دستگاه پلاسمای در آزمایشگاه طراحی و ساخته شد که دارای اجزا زیر می‌باشد (Thiyagarajan et al., 2013).

فلومتر: این جزء کنترل گاز را در دستگاه تولید پلاسما بر عهده دارند. این وسیله سهم مهمی در تضمین ایجاد و حفظ شرایط مناسب برای تولید پلاسما دارد. منابع تغذیه دی-سی: این منابع برای تأمین انرژی الکتریکی لازم برای فرایند تولید پلاسما استفاده می‌شوند. این انرژی موجب جدا شدن الکترون‌ها از اتم‌های گاز و ایجاد پلاسما می‌شود.

محفظه دی‌بی‌دی: این محفظه جایی است که پلاسمای سرد تولید می‌شود. این محفظه به صورت مخصوصی طراحی شده تا بتواند برای تولید پلاسما در شرایط مختلف تنظیم شود.



شکل ۱: نمونه دستگاه پلاسمای طراحی شده جهت تیمار بذرهاي كهور

الکترودها: الکترودها اجزایی هستند که انرژی الکتریکی را از منابع تغذیه به داخل محفظه پلاسما منتقل می‌کنند. این انرژی باعث تولید پلاسما در گاز می‌شود. الکترودها می‌توانند از مواد و اشکال مختلفی بسته به نوع پلاسما و شرایط کاری که مورد نیاز است، تشکیل شوند.

بهینه‌سازی زمان پلاسما: به منظور بهینه‌سازی زمان مناسب پلاسما جهت پیش تیمار بذرها، در آزمایش حاضر، بذرها در زیر دستگاه پلاسمای طراحی شده، با

زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه تیمار شدند (این بازه‌های زمانی با توجه به مقالات منتشر شده بر روی بذرهاي مختلف مدنظر قرار گرفت تا بهترین زمان برای بذر كهور انتخاب شود). سپس بذرها در درون ظروف پتری به قطر ۹ سانتی متر قرار گرفتند. چون هم بررسی میزان جوانه زنی و هم رشد گیاهچه مد نظر بود، ظروف پتری به اتاق کشت با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و دوره نوری ۱۶ ساعت نور ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند تا گیاهچه‌ها در شرایط دوره نوری رشد کنند. تمام آزمایشات جوانه زنی بصورت جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار (هر تکرار یک پتری دیش با ۱۵ بذر در نظر گرفته شد) انجام شدند. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از جوانه زنی و رشد گیاهچه، زمان بهینه ۶، ۸، و ۱۰ دقیقه برای تیمار پلاسما انتخاب گردید و در مراحل بعدی، بذرها با زمان بهینه شده تحت تیمار پلاسما قرار گرفتند.

بهینه‌سازی گاز ورودی: به منظور بهینه سازی گاز ورودی در آزمایش حاضر، بذرها در زیر دستگاه پلاسما با ولتاژ ۱۰ ولت و با مدت زمان‌های بهینه شده و گازهای ورودی هلیوم، آرگون و اکسیژن قرار گرفتند. سپس بذرهاي تیمار شده در شرایط کنترل و تنش شوری قرار گرفتند و درصد جوانه زنی و میزان رشد گیاهچه محاسبه گردید.

سنجش درصد جوانه‌زنی بذرها: درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$GP = \frac{\text{Number of germination seed}}{\text{Total number of seeds}} \times 100$$

در این فرمول GP نشان‌دهنده درصد جوانه‌زنی، صورت کسر برابر با تعداد بذرهاي جوانه زده و مخرج کسر تعداد کل بذرها را نشان می‌دهد است.

اندازه گیری وزن تر ریشه چه و هیپوکوتیل: وزن تر ریشه چه و هیپوکوتیل گیاهچه های هفت روزه با ترازوی (Sartorius مدل BPSIID) با دقت ۰/۰۰۱ گرم، بر حسب گرم سنجش شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به روش فاکتوریل با سه تکرار انجام شد و داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS آنالیز شدند و نمودارها با نرم افزار اکسل رسم شدند.

نتایج

بهینه سازی شوری: نتایج حاصل از تحقیق حاضر

نشان داد که جوانه زنی بذر گیاه کهور در تمام غلظت های نمک بکار رفته کاهش معنی داری نسبت به کنترل داشت. در غلظت های ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی مولار نمک، هیچ جوانه زنی مشاهده نشد و به همین دلیل این غلظتها به عنوان شوری خیلی شدید در نظر گرفته و در مراحل بعدی آزمایش حذف شدند (جدول ۱). در مراحل بعدی آزمایش، غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار نمک به عنوان شوری متوسط و شدید در نظر گرفته شدند.

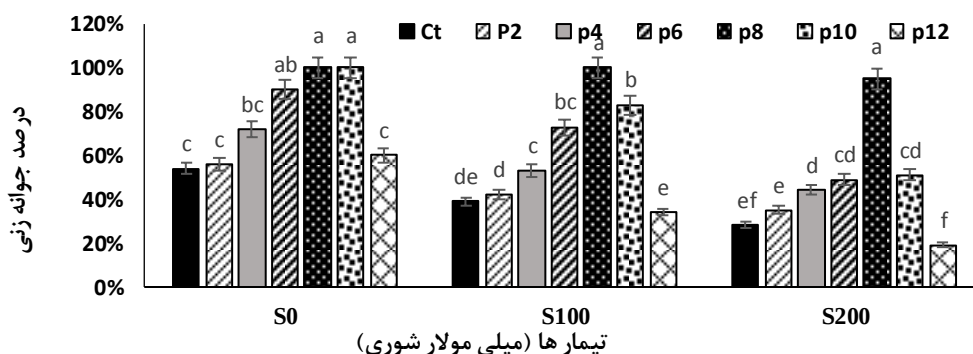
جدول ۱: اثر تیمار بذرهای کهور درختچه ای با غلظت های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی مولار سدیم کلرید بر درصد جوانه زنی بذر.

شوری (میلی مولار سدیم کلراید)	۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰
جوانه زنی (درصد)	۶۵% ^a	۵۹% ^b	۳۹% ^c	۰% ^d	۰% ^d

میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

بهینه سازی زمان پلاسم: نتایج آزمایش نشان داد پیش تیمار بذر ها با پلاسم هم در شرایط کنترل و هم در شرایط شوری، باعث افزایش درصد جوانه زنی می شود اما همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده

است، زمان های ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه ای بیشترین تاثیر را بر جوانه زنی بذر داشتند لذا در مراحل بعدی آزمایش، از این زمان ها به عنوان زمان های بهینه شده برای تیمار بذر با پلاسمای سرد استفاده شد.



شکل ۲: اثر پیش تیمار بذرهای کهور درختچه ای با پلاسمای ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه ای بر درصد جوانه زنی بذر تحت شرایط کنترل و تنش شوری. S0= شوری صفر (شاهد)، S100= شوری ۱۰۰ میلی مولار NaCl و S200= شوری ۲۰۰ میلی مولار NaCl. ستون ها شامل میانگین تکرارها $\pm$ خطای استاندارد می باشد که با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن تفاوت می باشد و میانگین های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

بهینه‌سازی گاز ورودی: در این قسمت از آزمایش، گازهای در نظر گرفته شده به ترتیب شامل هلیوم، آرگون و اکسیژن بودند. نتایج آزمایش نشان داد که درصد جوانه‌زنی با گاز هلیوم در شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ (جدول‌های ۲، ۳ و ۴).

و با زمان‌های ۶، ۸، ۱۰ دقیقه با گازهای دیگر تفاوت معنی‌دار داشت و اثر آن بیشتر از سایر گازها بود لذا گاز هلیوم به عنوان گاز بهینه شده در نظر گرفته شد

جدول ۲: اثر پرایمینگ بذرهای کهور درختچه‌ای با پلاسمای سرد در زمان‌های ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه در شرایط کنترل و تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار با اعمال گاز ورودی هلیوم بر درصد جوانه زنی بذر.

تنش شوری	تنش شوری	کنترل
۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید	۱۰۰ میلی مولار سدیم کلرید	
۲۱% (f)	۳۴% (e)	۴۴% (d) بدون پلاسما
۳۵% (e)	۶۷% (c)	۸۰% (b) پلاسما ۶ دقیقه
۹۸% (a)	۱۰۰% (a)	۱۰۰% (a) پلاسما ۸ دقیقه
۳۲% (e)	۶۲% (c)	۱۰۰% (a) پلاسما ۱۰ دقیقه

میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

جدول ۳: اثر پرایمینگ بذرهای کهور درختچه‌ای با پلاسمای سرد در زمان‌های ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه در شرایط کنترل و تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار با اعمال گاز ورودی آرگون بر درصد جوانه زنی بذر.

تنش شوری	تنش شوری	کنترل
۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید	۱۰۰ میلی مولار سدیم کلرید	
۲۷% (e)	۳۷% (de)	۴۵% (d) بدون پلاسما
۳۷% (de)	۵۹% (c)	۶۵% (c) پلاسما ۶ دقیقه
۷۸% (b)	۹۳% (a)	۸۰% (b) پلاسما ۸ دقیقه
۴۹% (d)	۶۲% (c)	۹۰% (a) پلاسما ۱۰ دقیقه

میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

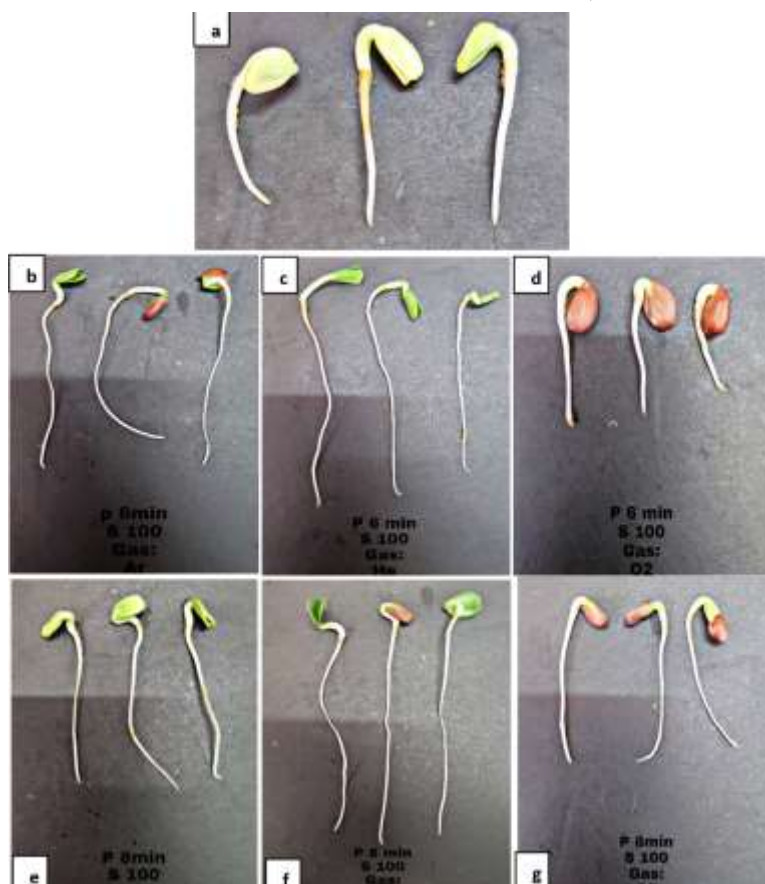
جدول ۴: اثر پرایمینگ بذرهای کهور درختچه‌ای با پلاسمای سرد در زمان‌های ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه در شرایط کنترل و تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار با اعمال گاز ورودی اکسیژن بر درصد جوانه‌زنی بذر.

تنش شوری	تنش شوری	کنترل
۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید	۱۰۰ میلی مولار سدیم کلرید	
۲۴% (f)	۴۰% (d)	۴۳% (d) بدون پلاسما
۳۱% (e)	۴۰% (d)	۶۷% (b) پلاسما ۶ دقیقه
۳۹% (d)	۵۴% (c)	۸۰% (a) پلاسما ۸ دقیقه
۳۷% (de)	۵۰% (c)	۶۹% (b) پلاسما ۱۰ دقیقه

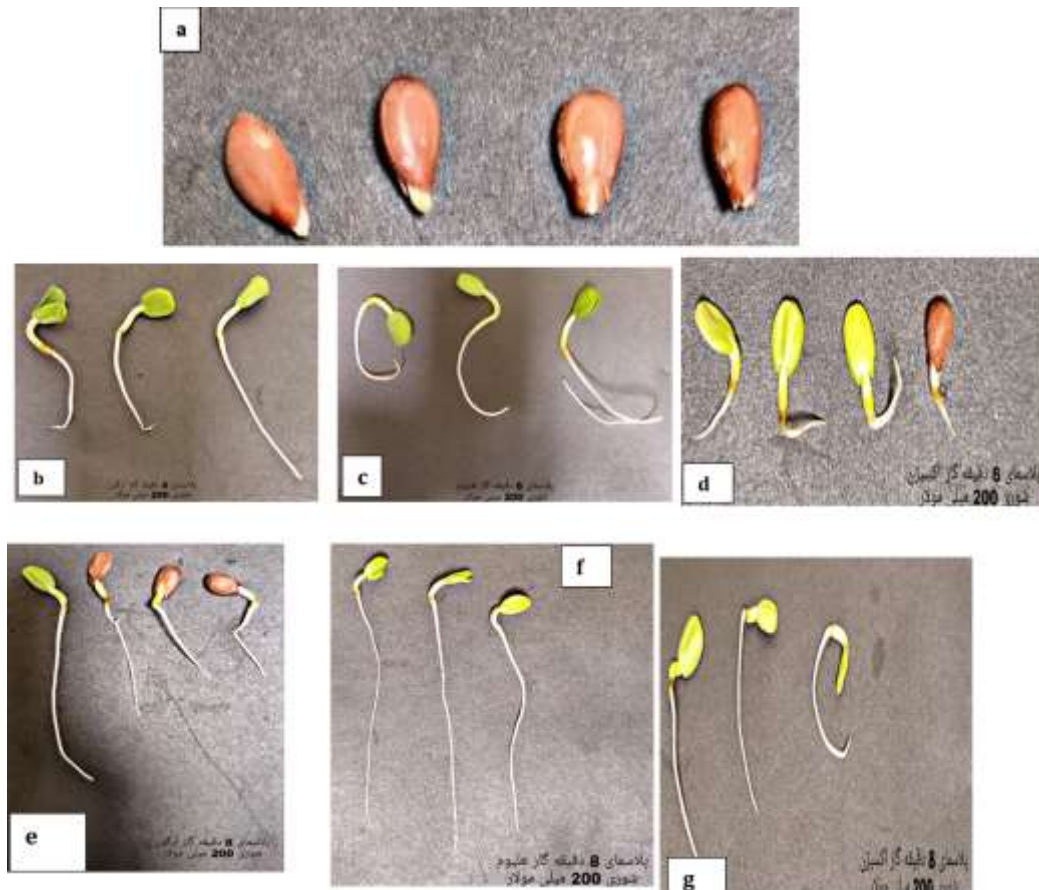
میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه شدند $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

با استفاده از گازهای هلیوم، آرگون و اکسیژن پیش تیمار شدند و سپس در شرایط کنترل و شوری ۱۰۰ (شکل ۳) و ۲۰۰ میلی مولار (شکل ۴) قرار گرفتند. تصاویر زیر به ترتیب مربوط به جوانه زنی و رشد گیاهچه‌های کهور پیش تیمار شده با زمانهای بهینه شده پلاسما (۶ و ۸ دقیقه‌های) با گازهای آرگون، هلیوم و اکسیژن است که بعد از آن تحت تاثیر شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار بوده اند.

همانطور که از نتایج پیداست تاثیر پلاسمای ۶ و ۸ دقیقه‌ای هم در شرایط کنترل و هم تنش شوری بیشتر از تیمار ۱۰ دقیقه‌ای بود و بنابراین تیمار ۱۰ دقیقه‌ای نیز در قسمتهای بعدی آزمایش حذف گردید و گیاهچه‌ها فقط تحت تیمار ۶ و ۸ دقیقه پلاسما با گازهای مختلف قرار گرفتند. پس از انجام آزمایشات جداگانه برای بهینه کردن هر کدام از تیمارها و انتخاب بهترین تیمارها، در آزمایش جداگانه ای بذرهای کهور به مدت ۶ و ۸ دقیقه با پلاسمای سرد و



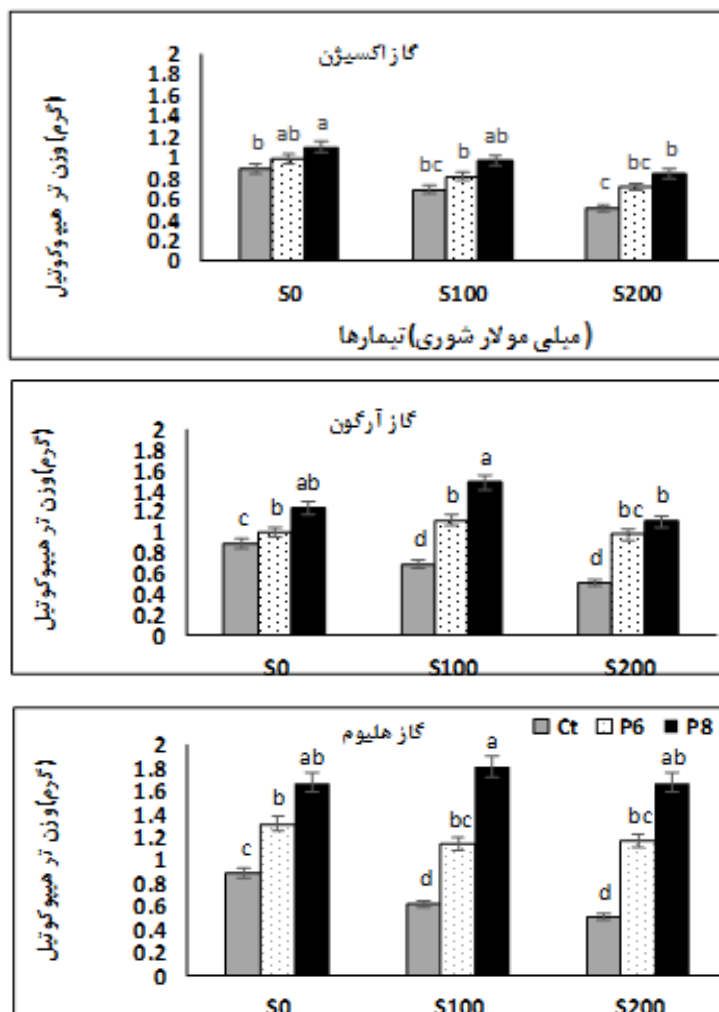
شکل ۳: اثر پیش تیمار بذر با پلاسمای سرد بر رشد گیاهچه‌های کهور درختچه ای در شرایط شوری ۱۰۰ میلی مولار نمک کلرید سدیم. تصویر بالا (a) رشد گیاهچه‌هایی را نشان می دهد که بذر آنها با پلاسما پیش تیمار نشده اند و تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار قرار گرفته اند. تصویر پایین (b، c و d) رشد گیاهچه‌هایی را نشان می دهد که بذرهای آنها ابتدا به مدت ۶ دقیقه با پلاسمای سرد و با استفاده از گاز آرگون (b)، گاز هلیوم (c) و گاز اکسیژن (d) پیش تیمار شدند و سپس تحت تیمار ۱۰۰ میلی مولار نمک NaCl قرار گرفتند. تصاویر (e)، (f) و (g) به ترتیب مربوط به گیاهچه‌هایی است که بذرهای آنها به مدت ۸ دقیقه با پلاسمای سرد و با استفاده از گازهای آرگون، هلیوم و اکسیژن پیش تیمار شدند و سپس تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار NaCl قرار گرفته اند (عکسها چهار روز بعد از جوانه زنی گرفته شده اند).



شکل ۴: اثر پیش تیمار بذر با پلاسمای سرد بر رشد گیاهچه‌های کهور درختچه‌ای در شرایط شوری ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم. تصویر بالا (a) رشد گیاهچه‌هایی را نشان می‌دهد که بذر آنها با پلاسما پیش تیمار نشده‌اند و تحت تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار قرار گرفته‌اند. تصویر پایین (b، c و d) رشد گیاهچه‌هایی را نشان می‌دهد که بذرهای آنها ابتدا به مدت ۶ دقیقه با پلاسمای سرد و با استفاده از گاز آرگون (b)، با گاز هلیوم (c) و یا با گاز اکسیژن (d) پیش تیمار شدند و سپس تحت تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl قرار گرفتند. تصاویر (e)، (f) و (g) به ترتیب مربوط به گیاهچه‌هایی است که بذرهای آنها به مدت ۸ دقیقه با پلاسمای سرد و با استفاده از گازهای آرگون، هلیوم و اکسیژن پیش تیمار شدند و سپس تحت تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl قرار گرفته‌اند (عکس‌ها چهار روز بعد از جوانه زنی گرفته شده‌اند).

و اکسیژن نیز باعث افزایش معنی‌دار وزن تر هیپوکوتیل در سطح ۵٪ نسبت به نمونه‌های پیش تیمار نشده در شرایط کنترل و تنش شوری شد. در این مورد اثر پیش تیمار با پلاسمای ۸ دقیقه‌ای از بقیه بیشتر بود (شکل ۵).

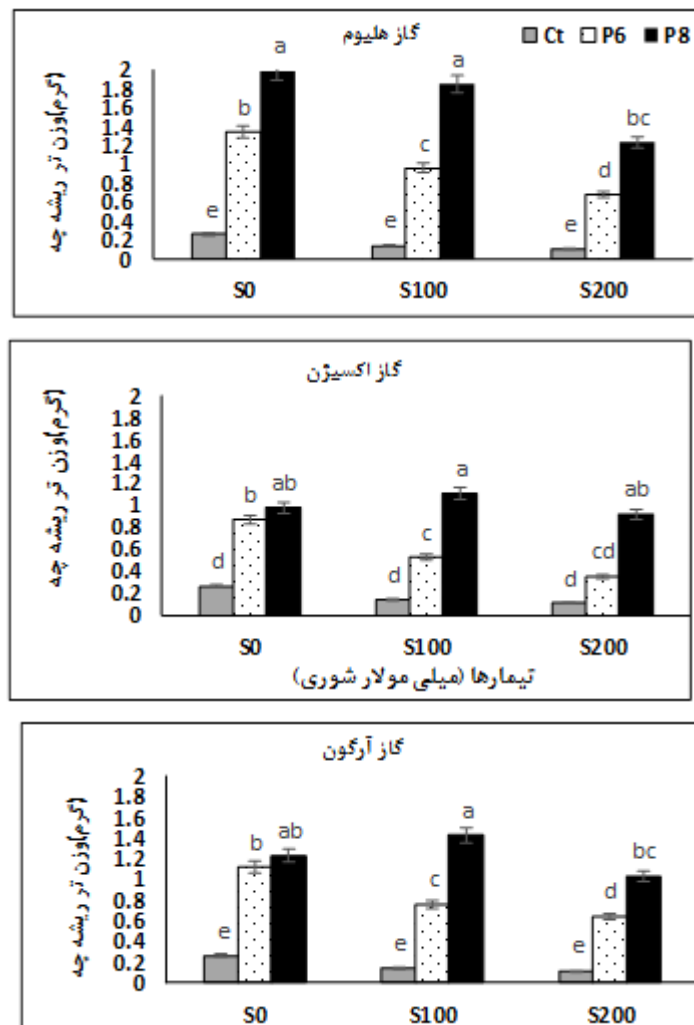
وزن تر هیپوکوتیل: نتایج نشان داد که در گیاهچه‌های کهور، تنش شوری بر وزن تر هیپوکوتیل، در سطح ۵٪ اثر معنی‌دار داشته و باعث کاهش وزن هیپوکوتیل‌ها در شرایط شوری شد. با افزایش میزان شوری این کاهش وزن مشهود تر بود. پیش تیمار بذر با پلاسمای سرد ۶ و ۸ دقیقه‌ای با گازهای مختلف آرگون، هلیوم



شکل ۵: اثر پیش تیمار بذرهای کهور با پلاسمای ۶ و ۸ دقیقه ای با گازهای مختلف هلیوم، آرگون و اکسیژن بر وزن تر هیپوکوتیل تحت شرایط کنترل و شوری. S0= شوری صفر (شاهد)، S100= شوری ۱۰۰ میلی مولار NaCl و S200= شوری ۲۰۰ میلی مولار NaCl. ستون‌ها شامل میانگین تکرارها $\pm$ خطای استاندارد می‌باشد که با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن تفاوت می‌باشد و میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

مختلف آرگون، هلیوم و اکسیژن باعث افزایش معنی دار وزن تر ریشه نسبت به نمونه‌های پیش تیمار نشده در شرایط کنترل و تنش شوری شد (در سطح ۰.۵٪). در این مورد نیز اثر پیش تیمار با پلاسمای ۸ دقیقه ای از بقیه بیشتر بود (شکل ۶).

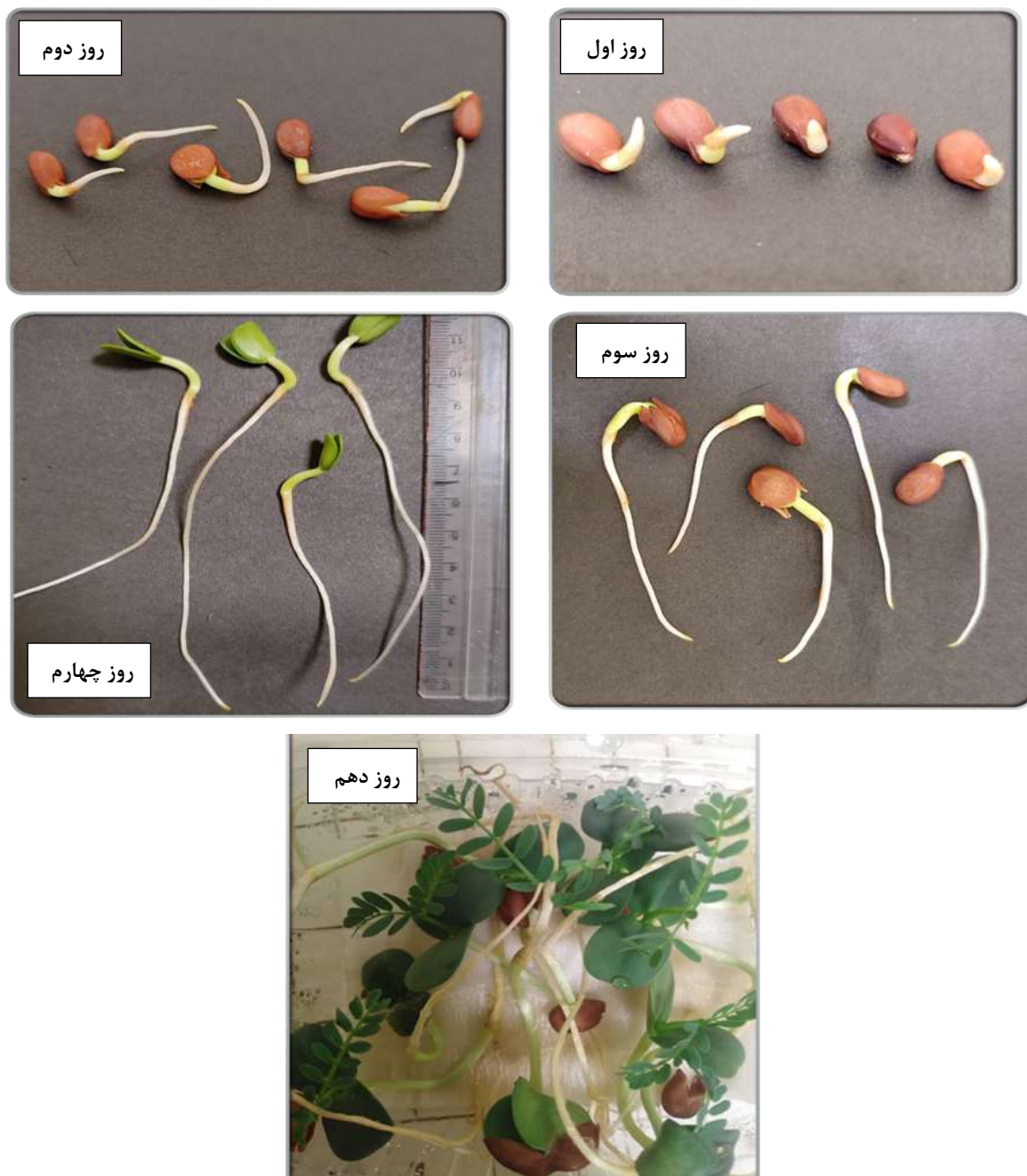
وزن تر ریشه چه: نتایج این پژوهش نشان داد که در گیاهچه‌های کهور، تنش شوری بر وزن تر ریشه چه، در سطح ۰.۵٪ اثر معنی دار داشته و باعث کاهش وزن ریشه‌ها در شرایط شوری شده است. با افزایش میزان شوری این کاهش وزن بیشتر قابل مشاهده بود. پیش تیمار بذر با پلاسمای سرد ۶ و ۸ دقیقه ای با گازهای



شکل ۶: اثر پیش تیمار بذرهای کهور با پلاسماهای ۶ و ۸ دقیقه ای با گازهای مختلف هلیوم، آرگون و اکسیژن بر وزن تر ریشه چه تحت شرایط کنترل و شوری. S0= شوری صفر (شاهد)، S100= شوری ۱۰۰ میلی مولار NaCl و S200= شوری ۲۰۰ میلی مولار NaCl. ستون‌ها شامل میانگین تکرارها $\pm$ خطای استاندارد می‌باشد که با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن تفاوت می‌باشد و میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

دقیقه با استفاده از گاز هلیوم تحت تاثیر پلاسماهای سرد قرار گرفتند و رشد آنها در روزهای اول تا دهم مشاهده شد (شکل ۷).

با توجه به نتایج بدست آمده و همانطور که در تصاویر مشخص شده است، بهترین زمان ۸ دقیقه و مناسب ترین گاز در میان گازهای استفاده شده، هلیوم است. بنابراین در مرحله نهایی بذرها به مدت ۸



شکل ۷: اثر پیش تیمار بذر با پلاسمای سرد (۸ دقیقه با استفاده از گاز هلیوم) بر روند رشد گیاهچه‌های کهور. پس از بهینه شدن زمان و نوع گاز استفاده شده، بذرهای گیاه کهور به مدت ۸ دقیقه با استفاده از گاز هلیوم تحت تیمار پلاسمای قرار گرفتند. تصاویر به ترتیب مربوط به روزهای اول، دوم، سوم، چهارم و دهم رشد گیاهچه در شرایط آزمایشگاه می باشد.

بحث

یکی از اثرات تنش‌های محیطی از جمله شوری بر گیاهان، کاهش جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه است. برای برطرف کردن این معضل در بسیاری از موارد از روشهای پیش تیمار بذر (پرایمینگ) استفاده می‌شود که باعث افزایش آمادگی بذرهای برای مقابله با شرایط تنش می‌شوند. برای اعمال پرایمینگ بذر از روشهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی متعددی استفاده می‌شود و در مطالعات اخیر معمولاً روشها و تکنولوژی‌های مدرنی مورد توجه قرار گرفته است که کمترین آسیب را به محیط زیست وارد کند و اصطلاحاً سازگار با محیط زیست باشند (Majeed et al., 2019).

یکی از تکنولوژی‌های مدرن استفاده از پلاسما سرد است. پلاسما، که به عنوان چهارمین حالت ماده شناخته می‌شود، قادر است تأثیرات مثبت بسیاری را بر روی بذرهای داشته باشد (Alashti et al., 2023). تأثیر پلاسما بر جوانه زنی بذر گیاهان می‌تواند از طریق مکانیزم‌های مختلفی باشد. تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که تیمار بذر با پلاسما DBD نفوذپذیری پوشش بذر را افزایش می‌دهد، فرایندهای بیوشیمیایی ضروری را آغاز می‌کند و جذب آب و جذب مواد مغذی را تسریع می‌کند و در نهایت باعث رشد سریع‌تر و هماهنگ‌تر جوانه‌زنی می‌شود (Guragain et al., 2023). علاوه بر این گزارش شده است که بر اثر تابش پلاسما، میزان پروتئین‌های محلول، میزان قند محلول و فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و آنتی‌اکسیدان‌ها در داخل بذر افزایش می‌یابد و به همین دلیل جوانه‌زنی و رشد گیاه سریع‌تر حاصل می‌شود (Yoshimura et al., 2020). در این مطالعه استفاده از فناوری پلاسما باعث افزایش جوانه زنی بذر خصوصاً تحت تنش شوری گردیده است. تأثیر مثبت پلاسما بر جوانه زنی بذر در مطالعات پیشین نیز

گزارش شده است. به عنوان مثال در یک تحقیق توسط Los و همکاران (۲۰۱۹) نشان داده شد که پلاسما می‌تواند سرعت رشد و جوانه‌زنی بذر گندم را افزایش دهد. همچنین Štěpánová و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که پلاسما می‌تواند به بهبود جوانه‌زنی بذر فلفل کمک کند. در این مطالعه جوانه زنی و رشد گیاهچه‌های کهور تحت تنش شوری کاهش معنی داری نشان داد که احتمالاً به دلیل تنش اسمتیک ناشی از شوری و کاهش جذب آب توسط بذر باشد. شوری شدن محیط اطراف بذر، باعث سخت تر شدن جذب آب توسط بذر می‌شود. بنابراین، بذر ممکن است آب کافی برای جوانه‌زنی نداشته باشد. علاوه بر این غلظت زیاد نمک می‌تواند از طریق سمیت یونی تأثیر منفی بر فعالیت‌های متابولیکی بذر داشته باشد. همچنین تنش شوری با تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند منجر به تخریب ماکرومولکولهای بیولوژیکی در سلولهای بذر شود (Khan et al., 2000). شوری همچنین با کاهش مقدار هورمون‌های گیاهی موثر بر جوانه زنی بذر مانند جبرلین نیز می‌تواند درصد و سرعت جوانه زنی را کاهش دهد (Zhu et al., 2002). گزارش شده است که پلاسما می‌تواند با از بین بردن آلاینده‌ها، تغییر ساختار سطحی، و یا ایجاد گروه‌های فعال که به جذب آب کمک می‌کنند، سبب بهبود جوانه زنی بذرها گردد.

پیش تیمار بذر با پلاسما سرد علاوه بر افزایش درصد جوانه زنی بذر می‌تواند رشد گیاهچه را در گیاهان تحریک کند. بوردوسیا و همکاران گزارش کرده اند که پلاسما منجر به افزایش مقدار هورمون جبرلین در گیاه گندم گردیده است و این افزایش هورمون باعث افزایش جوانه زنی و رشد گیاهچه گندم شده است. (Burducea et al., 2023). به علاوه تولید گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن تحت شرایط پلاسما سرد می‌تواند تنش اکسیداتیو خفیفی را در

پیش تیمار با پلاسما نقش مهمی در کاهش خسارات ناشی از شوری در گیاهان داشته است که این نقش را از طریق افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی سلولهای گیاهی، افزایش اسمولیتهای گیاهی و کاهش جذب یون سدیم اعمال کرده است (Perea-Brenes et al., 2023).

نتیجه گیری نهایی

به طور کلی داده های این تحقیق نشان داد که پیش تیمار بذر با پلاسما سرد خصوصا در محدوده ای خاص، ۸ دقیقه ای و با گاز هلیوم، می تواند تأثیرات بیولوژیکی مثبتی بر روی جوانه زنی گیاه ارزشمند کهور در شرایط کنترل و تنش شوری داشته باشد. به نظر می رسد که پلاسما سرد با تغییر پوشش بذر و احتمال افزایش جذب آب و کاهش جذب یون سدیم توانسته است که مقاومت بیشتری در برابر تنش شوری به بذرها بدهد و درصد جوانه زنی و رشد گیاهچه را افزایش دهد. البته مطالعات تکمیلی برای بررسی مکانیسم دقیق این اثر لازم است که در تحقیقات بعدی مد نظر قرار خواهد گرفت. با توجه به نتایج اولیه این پژوهش استفاده تکنولوژی نوین پلاسما می تواند به عنوان راهکار مناسب و مقرون به صرفه جهت بهبود جوانه زنی و رشد گیاهچه کهور در شرایط سخت بیابانی باشد.

بذر ایجاد کند. این تنش اکسیداتیو مانند واکسیناسیون عمل کرده و می تواند باعث تحریک فرآیند جوانه زنی و رشد گیاهچه شود. در پاسخ به این تنش خفیف، گیاهان یک سری سیگنال ها را ارسال می کنند که می تواند فرآیند جوانه زنی و رشد را تحریک کند. این سیگنال ها می توانند شامل تغییرات در سطح بذر، تغییرات در فعالیت آنزیمی، تقویت جذب آب و تنظیم هورمون ها و دیگر متابولیت ها گیاهی باشد. این سیگنال ها در نهایت می توانند به تغییرات در فرآیندهای رشد و توسعه سلولهای گیاهی منجر شوند (Rasooli et al., 2021). نقش تیمار با پلاسما سرد در افزایش جوانه و رشد در گیاهان سویا (Sayahi et al., 2019) و سایر محصولات زراعی مهم (Bozhanova et al., 2024) نیز گزارش شده است.

در این مطالعه کاهش رشد گیاهچه های کهور تحت تنش شوری مشاهده شد که با پیش تیمار بذر به وسیله پلاسما سرد این خسارت ناشی از شوری کاهش یافت. کاهش رشد ناشی از شوری در مراحل اولیه رشد گیاهچه در گیاهان مختلف از جمله گیاه گوار گزارش شده است (Suthar et al., 2019) که عمدتا آن را به سمیت ناشی از تجمع یون سدیم و تنش اکسیداتیو ناشی از آن نسبت داده اند (Riaz et al., 2021). پژوهش های پیشین نیز نشان داده اند که

References

- Ahmed, A.M. and Khalid, K.A. (2023). Glutathione to ameliorate growth criterions and chemical constituents of geranium irrigated with salt water. *Heliyon*. 9(7).
- Alashti, F.J., Sohbatzadeh, F., Ahmadian, S., Kenari, R.E. and Nazifi, E. (2023). Impact of atmospheric cold plasma pretreatment on morphology, structure, and chemical properties of clove (*Syzygium aromaticum*). *LWT*. 115-639
- Ali, Q., Shabaan, M., Ashraf, S., Kamran, M., Zulfiqar, U., Ahmad, M., and Arslan, M. (2023). Comparative efficacy of different salt tolerant rhizobial inoculants in improving growth and productivity of *Vigna radiata* L. under salt stress. *Scientific Reports*. 13(1): 17442.
- Auguste, S., Buonopane, G.J., Tanielyan, S., Guerrero, D.E. and Lopez, J.L. (2023). Effects of cold plasma treatment on growth enhancement and on the chemical

- composition of sweet basil plants (*Ocimum basilicum*). The European Physical Journal D. 77(4): 64.
- Bhojvaid, P.P. and Timmer, V.R. (1998). Soil dynamics in an age sequence of *Prosopis juliflora* planted for sodic soil restoration in India. Journal of Forest Ecology and Management. 106(2-3): 181-193.
- Bozhanova, V., Marinova, P., Videva, M., Nedjalkova, S. and Benova, E. (2024). Effect of cold plasma on the germination and seedling growth of Durum Wheat genotypes. Processes. 12(3): 5-44.
- Burducea, I., Burducea, C., Mereuta, P.E., Sirbu, S.R., Iancu, D.A., Istrati, M.B., Straticiuc, M., Lungoci, C., Stoleru, V., Teliban, G.C. and Robu, T. (2023). Helium atmospheric pressure plasma jet effects on two cultivars of *Triticum aestivum* L. Journal of Foods. 12(1): 208.
- Dzikiti, S., Schachtschneider, K., Naiken, V., Gush, M., Moses, G. and Le Maitre, D.C. (2013). Water relations and the effects of clearing invasive *Prosopis* trees on groundwater in an arid environment in the northern cape. South Africa. Journal of Arid Environments 90: 103-113.
- Emtahani, M. and Elmi, M. (2006). The ecological studies of *Prosopis koelziana* in south of Iran.
- Guragain, R. P., Baniya, H. B., Shrestha, B., Guragain, D. P. and Subedi, D. P. (2023). Germination enhancement of mustard (*Brassica nigra*) seeds using dielectric barrier discharge (DBD). AIP Advances, 13 (3).
- Islam, S., Farjana, B. O., Sajib, S. A., Nepal, C. R., Reza, A., Hasan, M.. and Kabir, A. H. (2019). Effects of LPDBD plasma and plasma activated water on germination and growth in rapeseed (*Brassica napus*). Gesunde Pflanzen. 71(3): 175-185.
- Jiang, J., He, X., Li, L., Li, J., Shao, H., Xu, Q., Ye, R. and Dong, Y. (2014). Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. Plasma Science and Technology. 16(1): 54.
- Khan, M.A., Ungar, I.A. and Showalter, A.M. (2000). The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, (*Suaeda fruticosa* L.) Forssk. Journal of Arid Environments. 45(1): 73-84.
- Laroque, D. A., Seo, S. T., Valencia, G. A., Laurindo, J. B. and Carciofi, B. A. M. (2022). Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. Journal of Food Engineering, 312: 110-748.
- Laroussi, M. (2002). Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: review, analysis, and prospects. IEEE Transactions on Plasma Science. 30(4): 1409-1415.
- López-Franco, Y.L., Córdova-Moreno, R.E., Goycoolea, F.M., Valdez, M.A., Juárez-Onofre, J. and Lizardi-Mendoza, J.J.F. (2012). Classification and physicochemical characterization of mesquite gum (*Prosopis spp.*). Food Hydrocolloids. 26: 159–166.
- Los, A., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P.J. and Bourke, P. (2019). Investigation of mechanisms involved in germination enhancement of wheat (*Triticum aestivum*) by cold plasma: Effects on seed surface chemistry and characteristics. Journal of Plasma Processes and Polymers. 16(4): 1800148.
- Lu, X., Laroussi, M. and Puech, V. (2012). On atmospheric-pressure non-equilibrium plasma jets and plasma bullets. Plasma Sources Science and Technology. 21(3): 034005.

- Majeed, A., Muhammad, Z., Islam, S. and Ahmad, H. (2019). Salinity imposed stress on principal cereal crops and employing seed priming as a sustainable management approach. *Acta Ecologica Sinica*, 39(4): 280-283.
- Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59: 651-681.
- OatBahadur, D., Dhakal, R., Acharya, T.R., Lamichhane, P., Gautam, S., Lama, B., Khanal, R., Kaushik, N.K., Choi, E.H. and Chalise, R. (2023). Effects of spark dielectric barrier discharge plasma on water sterilization and seed germination. *Current Applied Physics* 54: 49-58
- Perea-Brenes, A., Garcia, J. L., Cantos, M., Cotrino, J., Gonzalez-Elipe, A. R., Gomez-Ramirez, A. and Lopez-Santos, C. (2023). Germination and first stages of growth in drought, salinity, and cold stress conditions of plasma-treated barley seeds. *ACS Agricultural Science & Technology* 3(9): 760-770.
- Rasooli, Z., Barzin, G., Mahabadi, T.D. and Entezari, M. (2021). Stimulating effects of cold plasma seed priming on germination and seedling growth of cumin plant. *South African Journal of Botany*. 142: 106-113.
- Riaz, S., Hussain, I., Ibrahim, M., Rasheed, R., and Ashraf, M. A. (2021). Choline chloride mediates salinity tolerance in cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba L.*) by improving growth, oxidative defense, and secondary metabolism. *Dose-Response*, 19(4).
- Sayahi, K., Sari, A. H., Hamidi, A., Nowruzzi, B. and Hassani, F. (2024). Application of cold argon plasma on germination, root length, and decontamination of soybean cultivars. *BMC Plant Biology*, 24(1): 59.
- Sera, B., Spatenka, P., Šerý, M., Vrchotova, N. and Hruskova, I. (2010). Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 38(10): 2963-2968.
- Shiferaw, H., Teketay, D., Nemomissa, S. and Assefa, F. (2004). Some biological characteristics that foster the invasion of *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. at Middle Awash Rift Valley Area, north-eastern Ethiopia. *Journal of Arid Environments*. 58: ۱۵۴-۱۳۵.
- Štěpánová, V., Slavíček, P., Kellar, J., Prášil, J., Smékal, M., Stupavská, M., Jurmanová, J. and Černák, M. (2018). Atmospheric pressure plasma treatment of agricultural seeds of cucumber (*Cucumis sativus L.*) and pepper (*Capsicum annuum L.*) with effect on reduction of diseases and germination improvement. *Journal of Plasma Processes and Polymers*. 15(2): 1700076.
- Suthar, J. D., Rajpar, I., Ganjegunte, G. K., Shah, Z. U. H., Niu, G. and Grover, K. (2019). Germination, growth, and ion uptake of 15 Guar accessions under elevated salinity. *Agrosystems, geosciences & environment*, 2(1): 1-9.
- Tomeková, J., Švubová, R., Slováková, L., Holubová-Čerevková, L., Kyzek, S., Gálová, E. and Zahoranová, A. (2024). Interaction of cold atmospheric pressure plasma with soybean seeds: Effect on germination and DNA, seed surface characteristics and plasma diagnostics. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 44(1): 487-507
- Yoshimura, S., Otsubo, Y., Yamashita, A. and Ishikawa, K. (2020). Insights into normothermic treatment with direct irradiation of atmospheric pressure plasma for biological applications. *Japanese Journal of Applied Physics*. 60(1): 010-502.
- Zare, S., Tavili, A. and Darini, M.J. (2011). Effects of different treatments on seed germination and breaking seed dormancy of *Prosopis koelziana* and *Prosopis juliflora*. *Journal of Forestry Research*. 22: 35-38.

- Zhong, J., Lu, P., Wu, H., Liu, Z., Sharifi-Rad, J., Setzer, W.N. and Suleria, H.A.R. (2022). Current insights into phytochemistry, nutritional, and pharmacological properties of *Prosopis* plants. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2218029: ۱۸-۱.
- Zhu, J.K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual review of plant biology*. 53(1): 247-273.