

Research Article

Assessment of germination indices and early growth of camelina (*Camelina sativa*) seedlings in response to osmotic and salinity stresses

Rozita Kabiri¹, Mohadeseh Shamsaddin Saied^{2,*}, Babak Hassanzadeh Tajarogh³

Extended abstract

Introduction: Growth, development, and ultimately production of plants are affected by several environmental factors. Drought and salinity are major environmental stresses that have irreparable effects on all stages of germination, plant growth, and the structure and activity of organs. The germination stage and seedling establishment are more sensitive to osmotic and salinity stresses, so it is important to evaluate the germination indices under stress conditions for plant cultivation in dry and saline environments.

Materials and Methods: To investigate the effect of different levels of osmotic and salinity on germination and early growth of camelina (*Camelina sativa* L.), two experiments were conducted separately in a completely randomized design in the laboratory of Bardsir Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman in 2023. In the first experiment, polyethylene glycol solution (PEG 6000) at -0.2, -0.4, and -0.6 MPa levels was applied to generate the osmotic potential. In the second experiment, NaCl at 50, 100, and 150 mM concentrations was used. In both experiments, distilled water was used to create zero stress (control).

Results: The results showed that mild osmotic (-0.2 MPa) and salinity (50 mM) stresses had no significant adverse effect on seedling establishment. However, increased intensity of osmotic and salinity stresses significantly reduced germination percentage and rate, seedling vigor length index, seedling dry weight, radicle length and dry weight, and plumule length and dry weight, so that drought stress at -0.6 MPa reduced the length and dry weight of the root and the length and dry weight of the plumule by approximately 40.40%, 57.4%, 49.2%, and 53.3% compared with the control, respectively. The highest level of salinity stress (150 mM) caused a decrease of 37.8%, 56.8%, 45.3%, and 55.4% in the length and dry weight of the root and the length and dry weight of the plumule compared with the control, respectively. An increment of MDA content, soluble carbohydrates, and the amount of free amino acids was observed at moderate (-0.4 MPa) and severe (-0.6 MPa) osmotic stress and 100 and 150 mM salinity stress levels.

Conclusions: Since camelina is a new plant in Iran, evaluating the response of this plant to different levels of osmotic and salinity stress during germination and early growth stages of the seedling provides the possibility of its cultivation and development in the dry lands of different regions of the country. It seems that mild drought (-0.2 MPa) and salinity (50 mM) stresses did not have a significant adverse effect on camelina germination indicators, but if the stress level exceeds the plant's tolerance range, it leads to decreased germination traits. Recommending the cultivation of this species requires studying its stability, compatibility, and agroecological characteristics.

Keywords: *Camelina oil seed, Free amino acids, Seedling growth, Seedling vigor index*

Highlights:

1. Germination characteristics and initial growth of camelina seedlings were investigated under drought and salinity stress conditions.
2. The tolerance threshold of camelina seedlings was evaluated to different water potentials and salinity stress.
3. The sensitivity of germination components to salinity stress was higher than that of osmotic stress.

¹ Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman Iran.

² Assistant Professor, Department of Plant Productions, Bardsir Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

³ Expert of National Botanical Garden of Iran, Tehran, Iran.

*Corresponding author, E-mail: mohadesehsaid2014@uk.ac.ir

DOI: [10.61186/yujs.11.1.21](https://doi.org/10.61186/yujs.11.1.21)



CrossMark

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقاله پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه کاملینا (*Camelina sativa*) در پاسخ به تنش‌های اسمزی و شوری

رزیتا کبیری^۱، محدثه شمس‌الدین سعید^{۲*}، بابک حسن‌زاده تجرق^۳

چکیده مبسوط

مقدمه: رشد و نمو و در نهایت تولید محصول در گیاهان تحت تأثیر عوامل محیطی متعدد قرار می‌گیرند. خشکی و شوری عمده تنش‌های محیطی هستند که بر تمامی مراحل جوانه‌زنی، رشد گیاه، ساختار اندام و فعالیت آن‌ها آثار جبران ناپذیر برجا می‌گذارد. مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه حساسیت بیشتری نسبت به تنش‌های اسمزی و شوری دارند، در نتیجه ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی تحت شرایط تنش به منظور کشت گیاه در محیط‌های خشک و شور اهمیت دارد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش اسمزی و شوری بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه کاملینا (*Camelina sativa* L.)، دو آزمایش بصورت جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. در آزمایش نخست برای ایجاد پتانسیل اسمزی از محلول پلی اتیلن گلیکول با سطوح ۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و مگاپاسکال و در آزمایش دوم از کلرید سدیم با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار استفاده گردید. همچنین از آب مقطر برای ایجاد سطح تنش صفر (شاهد) در هر دو آزمایش استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش ملایم اسمزی (-۰/۲ MPa) و شوری (۵۰ mM) اثر نامطلوب معنی‌دار بر استقرار گیاهچه نداشت، ولی افزایش شدت تنش‌های اسمزی و شوری، درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه را بطور معنی‌داری کاهش داد. بطوری‌که تنش خشکی -۰/۶ مگاپاسکال، طول و وزن خشک ریشه‌چه و طول و وزن خشک ساقه‌چه را به ترتیب حدود ۴۰/۴، ۵۷/۴، ۴۹/۲ و ۵۳/۳ درصدی نسبت به شاهد کاهش داد. بالاترین سطح تنش شوری (۱۵۰ میلی‌مولار) موجب کاهش ۳۷/۸، ۵۶/۸، ۴۵/۳ و ۵۵/۴ درصد به ترتیب در طول و وزن خشک ریشه‌چه و طول و وزن خشک ساقه‌چه در مقایسه با شاهد گردید. افزایش محتوی مالون دی آلدئید، کربوهیدرات‌های محلول و میزان اسیدهای آمینه آزاد در تنش متوسط (-۰/۴ MPa) و شدید (-۰/۶ MPa) اسمزی و تنش شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری: از آنجا که کاملینا گیاه جدیدی در ایران است، ارزیابی پاسخ این گیاه به سطوح مختلف تنش اسمزی و شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه، امکان کشت و توسعه آن را در اراضی دیم مناطق مختلف کشور فراهم می‌سازد. بنظر می‌رسد که تنش ملایم خشکی (-۰/۲ MPa) و شوری (۵۰ mM) تأثیر نامطلوب معنی‌داری روی شاخص‌های جوانه‌زنی کاملینا نداشت ولی چنانچه سطح تنش از حد تحمل گیاه بالاتر رود منجر به کاهش مولفه‌های جوانه‌زنی می‌گردد. البته توصیه کشت این گونه گیاهی نیازمند مطالعه پایداری، سازگاری و خصوصیات زراعی-بوم‌شناسی آن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای آمینه آزاد، دانه روغنی کاملینا، رشد گیاهچه، شاخص بنیه گیاهچه

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- مولفه‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه کاملینا تحت شرایط تنش‌های خشکی و شوری بررسی گردید.
- ۲- آستانه تحمل گیاهچه کاملینا نسبت به پتانسیل‌های آبی مختلف و تنش شوری بررسی گردید.
- ۳- حساسیت مولفه‌های جوانه‌زنی به تنش شوری بیشتر از تنش اسمزی بود.

DOI: 10.61186/yujs.11.1.21



CrossMark

^۱ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
^۲ استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی بردسیر دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
^۳ کارشناس باغ گیاهشناسی ملی ایران، تهران، ایران.

*ایانامه نویسنده مسئول: mohadesehsaid2014@uk.ac.ir

مقدمه

به نظر می‌رسد، درصد فعلی زمین‌های تحت تنش شوری به چیزی حدود ۵۰ درصد تخمین زده شده است که در حال افزایش است. این افزایش در زمین‌های متأثر از نمک هم شامل علل طبیعی و هم علل انسانی است که خاک‌های شور و سدیمی ناشی از فعالیت‌های انسان، درصد کل زمین‌های تحت تأثیر نمک در سطح جهان را به شدت افزایش داده است (شاهید^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). توانایی جوانه‌زدن و ظهور گیاهچه‌های بذرهای در شرایط تنش شوری بیان‌گر داشتن سازوکارهای مختلف تحمل به نمک است که برای استقرار موفقیت‌آمیز گیاه ضروری می‌باشد. بنابراین، ارزیابی این دو مرحله رشد در شرایط تنش و درک ارتباط بین شکست جوانه‌زنی و به دنبال آن رویش گیاهچه ضروری است، به ویژه برای گیاهان حساس در مرحله جوانه‌زنی بسیار مهم است (فاضلی‌نسب^۷ و همکاران، ۲۰۲۳؛ کوکریک و همکاران، ۲۰۲۳).

تنش‌های خشکی و اسمزی تهدیدهای اصلی برای محصولات کشاورزی هستند زیرا در طول چرخه زندگی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بذرها در هنگام جوانه‌زنی و استقرار نهال‌ها بیشتر مستعد این تنش‌ها هستند (کاکار^۸ و همکاران، ۲۰۲۳). تنش شوری و کم آبیاری به ترتیب منجر به کاهش پتانسیل اسمزی و ماتریک در خاک می‌گردند که سبب کاهش جذب آب توسط ریشه گیاه می‌گردد (موکاری^۹ و همکاران، ۲۰۲۳). خاک به عنوان محیطی برای جوانه‌زنی بذر که حساس‌ترین مرحله در چرخه زندگی گیاه و رشد ریشه است که تأمین‌کننده مواد مغذی و آب برای گیاهان است (زوفوای^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰). جوانه‌زنی بذر، رشد و استقرار اولیه گیاهچه به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی هستند، جوانه‌زنی بذر یک فرآیند فیزیولوژیکی پیچیده است که به عوامل خارجی مانند دما، تنش آبی و شوری واکنش بالایی نشان می‌دهد (حسینی‌مقدم^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۴). در دسترس بودن آب خاک علاوه بر

تغییر اقلیم بزرگ‌ترین چالش قرن است که بر تمام اجزای یک بوم نظام تأثیر منفی می‌گذارد، تغییرات آب و هوایی مکرر چالش بزرگی برای صنعت کشاورزی و امنیت غذایی است. تنش غیرزیستی تهدیدی دایمی برای صنعت کشاورزی است. در میان تنش‌های غیرزیستی مختلف، تنش آبی یک تنش غیرزیستی مهم را تشکیل می‌دهد که بهره‌وری کشاورزی را متوقف می‌کند (کانگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). تنش اسمزی تأثیر منفی عمیقی بر رشد و نمو گیاهان دارد (جهان^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). تنش اسمزی در صورتی سبب فاجعه می‌گردد که به آن توجه زیادی نگردد، بطور عمده به این دلیل که ظهور تنش اسمزی در گیاهان تأثیر سایر عوامل تنش‌زا را بر گیاهان و آسیب به ساختارها و عملکرد سلولی را تشدید می‌کند. عدم تعادل اسمزی ظاهراً در گیاهان با آسیب اکسیداتیو اساسی همراه است که از تغییر زنجیره انتقال الکترون و کاهش تنفس میتوکندری ناشی می‌شود که سبب تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد مضر و گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد که در نتیجه باعث آسیب به تعرق، فتوسنتز و سازوکار سنتز DNA/RNA می‌شود که منجر به تأخیر در رشد و بهره‌وری گیاهان یا حتی مرگ می‌شود (ژائو^۳ و همکاران، ۲۰۲۳).

شوری خاک یکی از مهم‌ترین مشکلات جهانی است که منجر به کاهش پتانسیل بهره‌وری کشاورزی و تنوع زیستی می‌شود. نمک اصلی که معمولاً در سطح خاک و آب یافت می‌شود، کلرید سدیم (NaCl) است که بطور مستقیم بر رشد گیاهان و تخریب زمین تأثیر می‌گذارد (کوکریک^۴ و همکاران، ۲۰۲۳). شوری به دلیل استفاده روزافزون از آب با کیفیت پایین می‌باشد که این مشکل به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان جدی است (یوهانس^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس مطالعات اخیر انجام شده توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (United Nations Environment Programme)

⁶ Shahid

⁷ Fazeli-Nasab

⁸ Kakar

⁹ Mokari

¹⁰ Zuffo

¹¹ Hosseini-Moghadam

¹ Kang

² Jahan

³ Zhao

⁴ Kukrić

⁵ Yohannes

به این محصول باستانی را افزایش داده است. روغن کاملینا دارای سطوح بالاتری از اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه، لینولئات (۱۸:۲) و لینولئات (۱۸:۳) در مقایسه با روغن سویا و کانولا است (فلاح^۶ و همکاران، ۲۰۲۳). از کاملینا برای بهبود کیفیت مواد غذایی مانند لبنیات و گوشت می‌توان استفاده کرد و مصرف روغن آن فواید بالقوه‌ای برای سلامت انسان دارد، این روغن سرشار از اسیدهای چرب ضروری امگا ۳ است که با کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های عروق کرونر و التهابی مرتبط است. محتوای بالای اسیدهای چرب غیر اشباع می‌تواند سطح کلسترول سرم خون را کاهش دهد و پروفایل لیپیدی سرم را بهبود بخشد، در حالی که از عوامل خطر قلبی عروقی محافظت می‌کند. در طب سنتی از روغن کاملینا برای درمان زخم‌ها و سوختگی‌های پوستی استفاده می‌شد. علاوه بر فواید مختلف، سطوح بالای توکوفرول‌ها و فیتواسترول‌ها با فعالیت آنتی‌اکسیدانی ماندگاری و پایداری روغن را افزایش می‌دهد. وزن ۱۰۰۰ دانه در محدوده ۰/۲ تا ۰/۸ گرم است، کاملینا از طریق بذر تکثیر می‌یابد و در درجه اول یک گونه خود گرده‌افشان است (قیدولی^۷ و همکاران، ۲۰۲۳). کاملینا، به عنوان یک محصول مقاوم به خشکی، پتانسیل تبدیل شدن به یک محصول دانه روغنی مهم برای مناطق نیمه خشک و کم آبیاری را دارد. محصولی مقاوم به سرما، گرما، خشکی و گیاهی کارآمد از نظر مصرف مواد مغذی است (وارایچ^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). این دانه روغنی سازگاری خوبی با انواع مختلف خاک دارد و در آب و هوای سرد نیمه خشک بهترین رشد را دارد، با این وجود در مراحل حساس رشد مانند استقرار اولیه گیاهچه و گل‌دهی می‌تواند تحت تأثیر اثرات منفی تنش قرار گیرد (قیدولی و همکاران، ۲۰۲۳).

تغییرات اقلیم در سال‌های اخیر در سطح جهان افزایش یافته است، انتخاب بذرهای با کیفیت بالا و مقاوم که در مواجهه با تنش‌های محیطی، درصد، سرعت جوانه‌زنی بالاتر و شاخص‌های رشد و بنیه گیاهچه بالاتر داشته باشد و گیاهچه‌های نیرومندتری تولید کند، می‌تواند یکی از بهترین راهبردهای مدیریتی باشد،

تأثیر بر جوانه‌زنی، نقش مستقیم و غیرمستقیم در تمام فرآیندهای متابولیکی بعدی دارد، بنابراین، شرایط کمبود آب در مرحله آبنوشی بذر ممکن است بر درصد، یکنواختی و سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار باشد (خان^۱ و همکاران، ۲۰۲۳؛ بلوچی^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). شوری خاک یک تنش اصلی است که باعث کاهش، تأخیر و گاهی مهار جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه‌ها در مراحل اولیه می‌شود که به نوبه خود باعث کاهش انعطاف‌پذیری محصول به تنش‌های زیستی و غیرزیستی متنوع و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (همیسی^۳ و همکاران، ۲۰۲۳).

رشد، عملکرد و کیفیت روغن دانه‌های روغنی تحت تأثیر تحمل آن‌ها نسبت به تنش‌های غیر زیستی مانند گرما و خشکی است (وارایچ^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). گیاه کاملینا *Camelina sativa* L. یک محصول روغنی یکساله از تیره *Brassicaceae* است، این گیاه بومی اروپا و آسیای جنوبی است. کاملینا قبل از سال ۲۰۰۵ یک گیاه تجاری محسوب نمی‌شد، اما با شناخت اسیدهای چرب امگا ۳ در این گیاه، کشت آن افزایش یافت. محتوای روغن دانه کاملینا ۳۰-۴۰ درصد است. بخش عمده روغن دانه شامل اسید α -لینولنیک (۳۰-۴۰٪)، اسید لینولنیک (۱۵-۲۵٪)، اسید اولئیک (۱۰-۲۰٪) و سایر اسیدهای چرب است. علاوه بر این، کاملینا سازگاری بالایی با شرایط محیطی نامطلوب مانند شوری دارد (تیموری^۵ و همکاران، ۲۰۲۳a). کاملینا (۲n=۴۰) کرموزوم) با اندازه ژنوم ۷۵۰ Mbp، یک محصول دانه روغنی باستانی است که با نام‌های رایج مختلفی مانند کتان کاذب، منداب شتری و کنجد آلمانی نیز شناخته می‌شود. محصول کاملینا حدود ۶۰۰ سال قبل از میلاد در آلمان به وجود آمد و سپس به اروپای مرکزی گسترش یافت. سازگاری کاملینا با مناطق وسیعی از جهان، همراه با ترکیب روغن منحصراً به فرد و خواص مفید آن برای تولید سوخت‌های زیستی، سوخت جت، فرآورده‌های زیستی، خوراک و مواد غذایی، علاقه دوباره

¹ Khan

² Balouchi

³ Hmissi

⁴ Waraich

⁵ Teimoori

⁶ Fallah

⁷ Ghidoli

آزمایش دوم نیز ۱۰ میلی‌لیتر محلول کلرید سدیم به هر پتری اضافه گردید و پتری‌ها توزین و وزن اولیه هر کدام یادداشت و در دمای ۲۰/۲۵ درجه سلسیوس روز/شب با ۱۲ ساعت روشنایی و رطوبت نسبی ۵۰ درصد در داخل اتاقک رشد قرار داده شد. با توزین روزانه تمام پتری‌ها و اضافه نمودن آب مقطر به اندازه اختلاف وزن آن‌ها با وزن اولیه در هنگام شروع آزمایش، از تغییر پتانسیل هر یک از محلول‌ها بر اثر تبخیر آب جلوگیری به عمل آمد. سپس، بذره‌های جوانه‌زده (بر اساس خروج حداقل دو میلی‌متر ریشه‌چه) هر روز تا روز دهم در هر پتری روزانه شمارش و ثبت گردید. در پایان روز دهم، جهت سنجش فراسنجه‌های ریخت‌شناسی ریشه‌چه و ساقه‌چه، تعداد ده عدد گیاهچه از یکدیگر جدا گردید. طول ریشه‌چه از یقه تا نوک ریشه اصلی و طول ساقه‌چه از یقه تا جوانه انتهایی (بر حسب میلی‌متر) با خط‌کش اندازه‌گیری شد. با خشک شدن نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ °C به مدت ۴۸ ساعت وزن خشک ریشه‌چه و ساقه-چه با استفاده از ترازوی دیجیتالی (مدل TGAX-FA2205 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۱ mg اندازه‌گیری شد.

درصد جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی از رابطه (۲) استفاده شد (مگوایر^۲، ۱۹۶۲).
رابطه ۲:

$$\%GP = \left(\frac{n}{N}\right) \times 100$$

%GP درصد جوانه‌زنی، n تعداد بذره‌های جوانه‌زده و N تعداد بذره‌های کشت شده می‌باشد.

سرعت جوانه‌زنی

شمارش بذره‌های جوانه‌زده به‌صورت روزانه و طی مدت ده روز انجام گرفت و سرعت جوانه‌زنی نیز از طریق رابطه (۳) محاسبه گردید (مگوایر، ۱۹۶۲).
رابطه ۳:

$$GR = \sum_{i=1}^n \frac{ni}{ti}$$

GR سرعت جوانه‌زنی، n_i تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر شمارش و t_i زمان از ابتدای کاشت تا شمارش n ام بر حسب روز می‌باشد.

همچنین به دلیل اطلاعات اندک در مورد رشد اولیه کاملینا و عنایت به وسعت اراضی خشک و شور در ایران، پژوهش حاضر با هدف بررسی تحمل گیاهچه کاملینا به تنش‌های اسمزی و شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه، به منظور گسترش کشت این گیاه انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر سطوح مختلف تنش اسمزی و شوری روی مولفه‌های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی گیاهچه کاملینا، دو آزمایش جداگانه در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه تحقیقاتی مرکز آموزش عالی کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان به‌صورت طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. در آزمایش اول برای ایجاد پتانسیل اسمزی از محلول پلی اتیلن گلیکول (PEG₆₀₀₀) در چهار سطح (صفر، ۰/۲، ۰/۴، و ۰/۶- مگاپاسکال) استفاده شد. در آزمایش دوم از کلراید سدیم (NaCl) در چهار غلظت (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) استفاده گردید.

نحوه اعمال تنش اسمزی و شوری

غلظت‌های مورد نظر برای تامین پتانسیل اسمزی طبق روش میشل و کافمن^۱ (۱۹۷۳) طبق رابطه ۱ تهیه شدند.
رابطه ۱:

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

Ψ_s: پتانسیل اسمزی بر حسب بار، C: غلظت پلی اتیلن گلیکول بر حسب گرم در لیتر آب، T: دمای محیط بر اساس درجه سلسیوس.

قبل از انجام آزمایش، پتری‌ها و بستر بذر (کاغذ صافی واتمن) در اتوکلاو با دمای ۱۲۰°C به مدت ۱۲۰ دقیقه استرون شدند. تعداد ۵۰ عدد بذر هم اندازه (تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه استرون شد و پس از سه مرتبه شستشوی بذرها با آب مقطر، در داخل پتری‌ها روی کاغذ صافی قرار گرفتند، در آزمایش اول حدود ۱۰ میلی‌لیتر محلول پلی اتیلن گلیکول و در

² Maguire

¹ Michel and Kaufmann

وزن خشک گیاهچه

جهت محاسبه‌ی وزن خشک گیاهچه از رابطه ۴ استفاده گردید:
رابطه ۴:
وزن خشک ساقه‌چه + وزن خشک ریشه‌چه = وزن خشک گیاهچه

۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید. ۵ میلی‌لیتر معرف آنترون به ۲۰۰ μlit از هر نمونه اضافه گردید و در بن ماری به مدت ۱۷ دقیقه با دمای 90°C قرار گرفت و پس از سرد شدن، جذب نمونه‌ها در ۶۲۵ نانومتر قرائت شد و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش گردید (رو^۳، ۱۹۵۵).

شاخص طولی بنیه گیاهچه

جهت سنجش شاخص طولی بنیه گیاهچه از رابطه ۵ استفاده شد (عبدالباکی و اندرسون^۱، ۱۹۷۰).
رابطه ۵:

$$\text{شاخص طولی بنیه گیاهچه} = \frac{\text{میانگین طول گیاهچه‌ها} \times \text{درصد جوانه‌زنی}}{100}$$

مالون‌دی‌آلدئید

جهت سنجش شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، ۰/۲ گرم از بافت فریز شده با ۵ میلی‌لیتر TCA ساییده و عصاره حاصل در دور ۱۰۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. مخلوط واکنش که شامل یک میلی‌لیتر محلول شفاف رویی حاصل از سانتریفوژ، ۴ میلی‌لیتر TCA، که حاوی ۰/۵٪ TBA، در حمام آب‌گرم به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. نمونه‌ها پس از سرد شدن، مجدداً در دور ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ گردیدند. شدت جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب سایر رنگیزه‌های غیراختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه گردید (هیث و پکر^۲، ۱۹۶۹).

محتوی کربوهیدرات محلول

برای سنجش محتوی کربوهیدرات‌های محلول (SCC)، ۰/۱ گرم بافت اندام هوایی گیاه در ۲/۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪ و دمای 90°C به مدت ۶۰ دقیقه قرار گرفت تا کربوهیدرات‌های محلول استخراج شوند. رسوب حاصل از عبور عصاره از کاغذ صافی در

اسیدهای آمینه آزاد

محتوی آمینواسیدهای آزاد با روش رنگ سنجی و استفاده از معرف نین هیدرین اندازه‌گیری شد. ۰/۲ گرم بافت تازه برگ‌ی در ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات سرد ۵۰ میلی مولار (pH: ۶/۸) ساییده شد. هموژنه گیاهی به مدت ۲۰ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ سانتریفوژ گردید. از محلول رویی برای سنجش آمینواسیدهای آزاد استفاده شد. یک میلی‌لیتر از معرف نین هیدرین به ۵ میلی‌لیتر نمونه افزوده شد. درب لوله‌ها بسته شده و به مدت ۴ تا ۷ دقیقه در دمای ۱۰۰-۸۰ درجه سلسیوس در حمام آب گرم قرار گرفتند. در مدتی که مخلوط واکنش در حرارت قرار داشت از هم‌زن، برای هم‌زدن استفاده شد. بعد از سرد شدن در دمای اتاق، جذب نمونه‌ها در ۵۷۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه مقدار آمینواسیدهای آزاد از منحنی استاندارد گلیسین استفاده شد (هوانگ و ادر^۴، ۱۹۷۵).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (ver. 9.1) صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تنش اسمزی و شوری بر مولفه‌های جوانه‌زنی

³ Roe

⁴ Hwang and Ederer

¹ Abdul-baki and Anderson

² Heath and Packer

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر داده‌های تنش اسمزی و تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه کاملینا

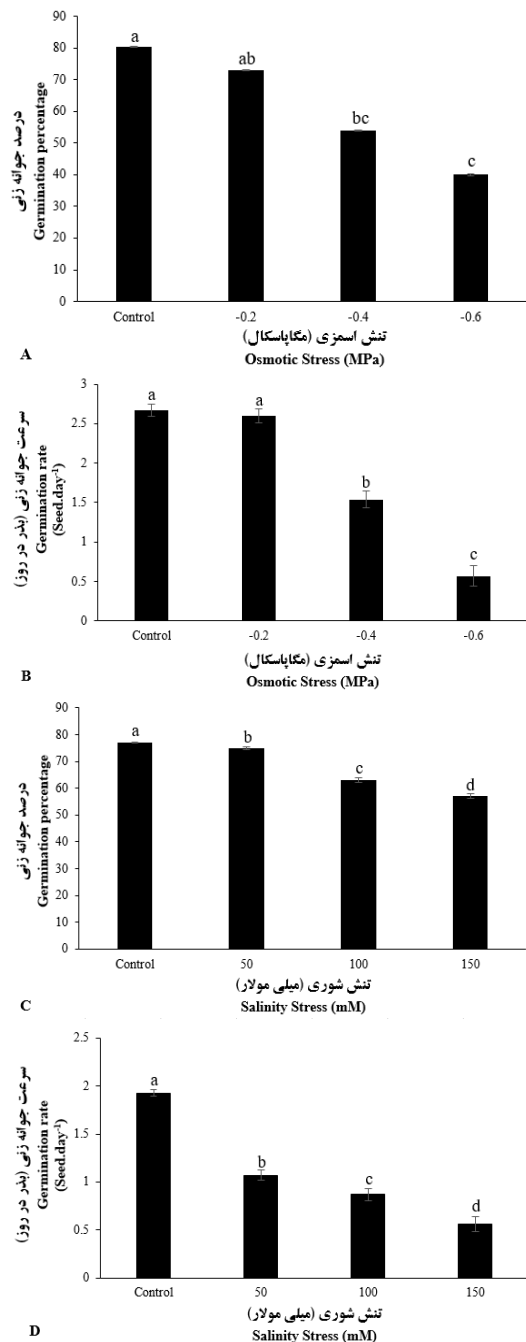
Table 1- Analysis of variance for the effect of osmotic and salinity stress on germination characteristics and early growth seedling of *Camelina sativa*

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	درصد جوانه- زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling vigor length index	طول ریشه چه Radicle length	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	طول ساقه- چه Plumule length	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight	مالون دی- آلدهید MDA	محتوی کربوهیدرات های محلول SCC	اسیدهای آمینه آزاد FAA
تنش اسمزی Osmotic Stress	3	1005*	2.97**	0.239**	393.63**	57.85**	0.035*	59.27**	0.11**	0.000526**	21.288*	10.731**
خطا Error	8	163.37	0.023	0.026	43.374	2.083	0.0056	2.329	0.013	0.0000385	2.334	0.3550
درصد ضریب تغییرات CV%		18.06	8.13	17.31	18.61	7.36	15.11	9.93	10.9	12.05	10.97	13.93
تنش شوری Salinity Stress	3	276**	1.034**	0.375**	272.85**	59.99**	0.051**	59.27**	0.127**	0.00125**	47.3325*	7.3953**
خطا Error	8	1	0.01	0.038	3.102	1.01	0.0061	2.32	0.0082	0.000076	3.54029	0.32445
درصد ضریب تغییرات CV%		1.47	9.03	9.85	6.57	4.69	9.55	5.82	10.41	11.86	11.48	9.76

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪.

* and ** denote significant differences at 5, 1 % levels respectively.

می‌شود که در نهایت منجر به مهار جوانه‌زنی بذر می‌گردد (همیسی و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل ۱- اثر تنش اسمزی و شوری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی کاملینا. میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند. $P \leq 0.05$ بعنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 1. Effect of osmotic and salinity stresses on germination percentage and rate of *Camelina sativa*. The mean comparisons were performed using LSD method at $P \leq 0.05$ significance level. Means followed by the same letter(s) are not significantly different.

شامل درصد و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). تیمار شاهد بدون اختلاف با سطح 0.2 - مگاپاسکال محلول پلی‌اتیلن گلیکول از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با سطوح 0.4 - و 0.6 - مگاپاسکال نشان داد (شکل ۱-A و B). درصد و سرعت جوانه‌زنی در سطح 0.6 MPa، در مقایسه با شاهد به ترتیب حدود $50/2$ ٪ و $78/6$ ٪ کاهش نشان داد (شکل ۱-A و B). تمام غلظت‌های محلول NaCl، با تیمار شاهد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۱-C و D)، بطوری‌که درصد و سرعت جوانه‌زنی در تیمار 150 میلی‌مولار NaCl، در مقایسه با شاهد به ترتیب حدود 71 ٪ و 26 ٪ کاهش نشان داد (شکل ۱-C و D).

شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه به عنوان معیارهای بسیار مهمی در جهت تشخیص گیاهان متحمل به تنش هستند، همچنین سرعت جوانه‌زنی به منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی شاخص دیگر کاربردی می‌باشد (بایرام^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). تنش شوری باعث غالب شدن نمک در لایه سطحی خاک می‌گردد که منجر به محدود کردن جوانه‌زنی می‌شود. علاوه بر این، استقرار گیاه به طور منفی تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب خاک است که باعث می‌شود گیاه در جذب آب و مواد مغذی با مشکل مواجه شود، در نهایت تنش شوری باعث عدم تعادل یونی، سمیت سلولی و تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی خواهد شد (کوکریک و همکاران، ۲۰۲۳؛ مرادی^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). شوری ریزوسفر بالا منجر به کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک و در نتیجه باعث ممانعت از جذب آب توسط بذر می‌شود. جذب یون‌های سمی اضافی سدیم و کلر از ریزوسفر منجر به تنش یونی می‌شود که علاوه بر سمیت یونی منجر به اختلال در فرآیندهای بیوشیمیایی کلیدی (مانند تولید اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و متابولیسم پروتئین)، تولید انرژی و تنفس، تعادل مواد مغذی و هورمون در طول جوانه‌زنی، تعادل بین تولید و حذف گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب ساختار سلولی

¹ Bayram

² Moradi

مشکلاتی در انتقال مواد غذایی و سنتز پروتئین‌های موجود در جنین‌های در حال جوانه‌زنی می‌شود که در نهایت جوانه‌زنی با مشکل مواجه و کاهش می‌یابد (بایرام و همکاران، ۲۰۲۲). درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه با افزایش تنش اسمزی (پلی‌اتیلن گلیکول) در گیاه کاملینا کاهش یافتند، به نحوی که کم‌ترین این خصوصیات رشدی گیاه در سطح تنش اسمزی ۰/۸- مگاپاسکال مشاهده شد (کاناک^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). تنش اسمزی باعث کاهش جوانه‌زنی، طول گیاهچه و طول ریشه‌چه شش ژنوتیپ کلزا گردید که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت (چاناوی^۶ و همکاران، ۲۰۱۹).

وزن خشک گیاهچه

نتایج حاصل از اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه کاملینا نشان داد که مقدار این صفت با افزایش تنش اسمزی و تنش شوری ($p \leq 0/01$) کاهش یافت (جدول ۱). این کاهش در دو سطح ۰/۴ و ۰/۶ MPa- محلول PEG نسبت به شاهد معنی‌دار بود (شکل A-۲). بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک گیاهچه کاملینا به ترتیب متعلق به تیمار شاهد با میانگین ۱/۱۱ میلی‌گرم و سطح تنش اسمزی ۰/۶- مگاپاسکال با میانگین ۰/۵۲ میلی‌گرم مشاهده شد (شکل A-۲). همان‌طور که در شکل B-۲ مشاهده می‌گردد، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین شاهد و سطح ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم از نظر وزن خشک گیاهچه وجود نداشت، اما با افزایش شوری به سطح ۱۵۰ میلی‌مولار مقدار این صفت حدود ۵۵/۸٪ در مقایسه با تیمار عدم تنش کاهش یافت (شکل B-۲).

تنش شوری به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر رشد گیاه و بهره‌وری محصولات گیاهی است، اثرات نامطلوب شوری در درجه اول منعکس‌کننده نتیجه کاهش شدید پتانسیل اسمزی و سمیت یونی در اطراف ریزوسفر است که منجر به مهار جذب آب توسط ریشه‌های مویی و افزایش جذب یون سدیم و کلرید توسط سلول‌های گیاهی می‌شود و در

تنش شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذرهای کاملینای مورد آزمایش شد که مطابقت داشت با افزایش غلظت هر دو نوع نمک (NaCl و KCl) در محیط کشت باعث کاهش معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، شاخص طولی بنیه گیاهچه، نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه و وزن تر گیاهچه در مقایسه با شاهد (بذرهای آبیاری شده با آب مقطر) در گیاه کاملینا شد. دلیل این امر آن است که تیمار نمک در مقایسه با شاهد به علت اثرات اسمزی نمک، دسترسی به آب و فشار سلولی را کاهش داده و در نهایت جذب و ورود آب از طریق آکوپورین‌ها در حضور نمک کاهش یافته است (یوهانس و همکاران، ۲۰۲۰). عدم تنش شوری نسبت به تمام سطوح تنش شوری باعث بیشترین درصد جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه رقم NS Slatka کاملینا شد (کوکریک و همکاران، ۲۰۲۳). درصد و سرعت جوانه‌زنی در شش ژنوتیپ کاملینا با افزایش سطح تنش شوری کاهش یافت (لو^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). پتانسیل آب در گیاه در شرایط تنش شوری کاهش می‌یابد و متعاقباً شرایط کمبود آب در گیاهان ایجاد می‌شود. در محلول خاک و هم در اندامک‌های گیاهی، شوری باعث عدم تعادل غلظت املاح می‌شود. بنابراین، تنش اسمزی به دلیل از دست دادن تورگر سلول گیاهی رخ می‌دهد. تنش شدید نمک تولید آکوپورین‌های تونوپلاست را در سلول‌های گیاهی مهار می‌کند و فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی مانند فعالیت مرستمی سلولی و طویل شدن سلول را مختل می‌نماید (رایحان^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). تنش اسمزی باعث کاهش مولفه‌های جوانه‌زنی می‌گردد که علت آن را می‌توان به کاهش سرعت و میزان جذب اولیه آب و نیز اثر منفی پتانسیل‌های اسمزی پایین بر فرآیندهای بیوشیمیایی و متابولیسم جوانه‌زنی بذر نسبت داد (پودینه^۳ و همکاران، ۲۰۱۸؛ پیری^۴ و همکاران، ۲۰۱۸).

تنش خشکی سبب کاهش شیب پتانسیل آب بین بذر و محیط غذایی می‌گردد که این امر سبب ایجاد

¹ Luo

² Raihan

³ Poudineh

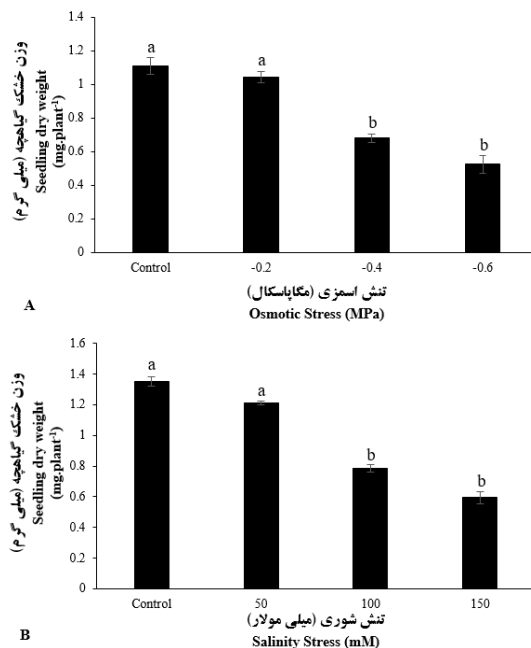
⁴ Piri

⁵ Çanak

⁶ Channaoui

اسمزی) یا عدم تعادل یونی (اثر یونی) را کاهش داده که در نهایت منجر به کاهش سرعت رشد می‌گردد (البدری^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). با افزایش شوری، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه-چه و نسبت آن‌ها و ماده خشک گیاه دارویی کدو (*Cucurbita pepo*) کاهش یافت (فارسایی^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). تنش اسمزی و شوری باعث کاهش جذب آب، جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه و وزن خشک و تر، طول ریشه‌چه و هیپوکوتیل در گیاه کرامب (*Crambe abyssinica Hochst*) شد و بذره‌های آن تحمل تنش شوری بیشتری نسبت به تنش اسمزی داشتند (سیلوا^۵ و همکاران، ۲۰۱۹).

عدم تنش رطوبتی (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) در ژنوتیپ ۷۱۲۶ کاملینا باعث بیشترین طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه به ترتیب با میانگین‌های ۲۲/۱ سانتی‌متر، ۲۳/۲ سانتی‌متر، ۲/۷ گرم و ۱/۱ گرم شد که علت آن را چنین بیان کردند که کاهش رشد گیاهچه به دلیل تقسیم سلولی محدود و بزرگ شدن تحت تنش خشکی رخ داد که این ممانعت از تقسیم سلولی و ازدیاد طول باعث کاهش طول ساقه و طول ریشه به دلیل غده شدن و لیگن شدن در سامانه ریشه بوده است که رشد کل سامانه گیاهی نیز تحت تنش آبی کاهش یافت. هم‌چنین کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل تخریب کلروفیل، تجزیه و سرکوب روبیسکو و بسته شدن روزنه باشد که در نهایت منجر به کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد کاملینا گردید (احمد^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). تنش اسمزی نسبت به عدم تنش اسمزی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه، شاخص وزنی بنیه گیاهچه و طول گیاهچه گیاه کاملینا گردید که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت (تیموری و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل ۲- اثر تنش اسمزی و شوری بر وزن خشک گیاهچه کاملینا. میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند. $P \leq 0.05$ بعنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 2. Effect of osmotic and salinity stresses on seedling dry weight of *Camelina sativa*. The mean comparisons were performed using LSD method at $P \leq 0.05$ significance level. Means followed by the same letter(s) are not significantly different.

نهایت به عنوان عدم تعادل یون و تنش اکسیداتیو ثانویه مشهود است. تنش شوری تقریباً بر تمام مراحل رشد (جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و مراحل بعدی رشد) تأثیر منفی دارد (پاولی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). مطابق با نتایج این آزمایش، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه در تیمار عدم تنش شوری نسبت به تنش شوری در بذره‌های کاملینا افزایش یافت (هوانگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش سطح تنش شوری از صفر به ۲۰۰ میلی‌مولار باعث کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه، وزن خشک و تر ساقه‌چه و ریشه‌چه در دو رقم کلزا گردید که شوری با ایجاد عدم تعادل در سامانه هورمونی و عملکرد سلولی بذرها بر فرآیند رشد تأثیر می‌گذارد به نحوی که فعالیت آنزیمی و متابولیسم را تغییر می‌دهد. استفاده از ذخایر بذر، جذب آب (اثر

³ El-Badri

⁴ Farsaraei

⁵ Silva

⁶ Ahmed

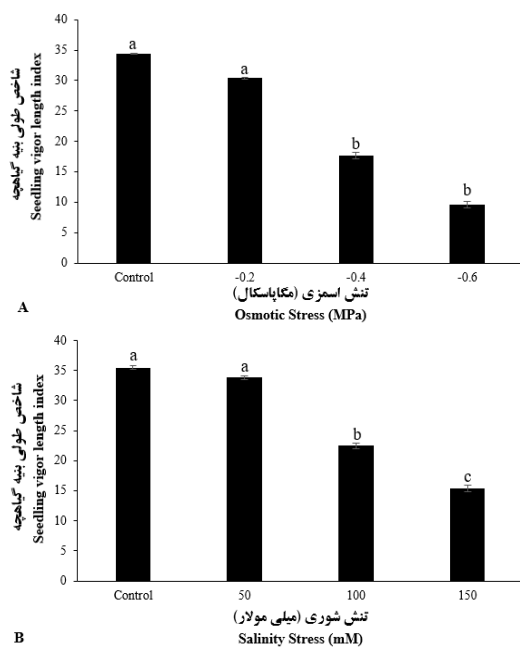
¹ Pavli

² Huang

شاخص طولی بنبه گیاهچه

جوانه‌زنی می‌گردد که به دنبال آن سبب کاهش بنبه گیاهچه می‌شود (بایرام و همکاران، ۲۰۲۲). بیشترین وزن خشک ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و شاخص بنبه گیاهچه در تیمار عدم تنش اسمزی در گیاه خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) به ترتیب با میانگین‌های ۳ میلی‌گرم، ۱۰۰، و ۱/۱۵۲۶ مشاهده شد که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت (کایاسیتین و همکاران، ۲۰۱۸). بیشترین درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص بنبه گیاهچه در مرحله I و II به ترتیب با میانگین ۱۱/۲، ۸۰/۵٪، ۱۱/۲ سانتی‌متر، ۹۰۹/۲ و ۱۰۸/۳ در شرایط عدم تنش اسمزی در گیاه سویا مشاهده شد (جمرانی و بهاتیا^۴، ۲۰۱۸).

تنش اسمزی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، شاخص بنبه گیاهچه در گیاه روغنی کنجد



شکل ۳- اثر تنش اسمزی و شوری بر شاخص طولی بنبه گیاهچه کاملینا. میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند. $P \leq 0.05$ بعنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 3. Effect of osmotic and salinity stresses on seedling vigor length index of *Camelina sativa*. The mean comparisons were performed using LSD method at $P \leq 0.05$ significance level. Means followed by the same letter(s) are not significantly different.

همان‌طور که در جدول ۱ و ۲ مشاهده می‌گردد تأثیر تنش اسمزی و شوری روی شاخص طولی بنبه گیاهچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بیشترین و کم‌ترین مقدار این صفت به ترتیب متعلق به تیمار شاهد و تیمار -0.6 MPa بود و کاهش در این شاخص در تیمار -0.6 MPa نسبت به شاهد حدود ۷۲/۲٪ بود (شکل ۳-A). تیمار شاهد بدون اختلاف معنی‌دار با سطح ۵۰ میلی‌مولار NaCl، تفاوت معنی‌داری با دو سطح دیگر NaCl (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) نشان داد، به طوری که بذرهایی که با غلظت‌های ۱۵۰ و ۱۰۰ mM کلرید سدیم تیمار شده بودند به ترتیب باعث کاهش حدود ۳۶/۶٪ و ۵۶/۵٪ در شاخص طولی بنبه گیاهچه در مقایسه با بذرهایی که با آب مقطر تیمار شده بودند، گردید (شکل ۳-B).

افزایش تنش شوری منجر به کند شدن تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها می‌شود، زیرا جذب مواد مغذی را کاهش داده و غشای سلولی را مختل می‌کند که منجر به از دست رفتن تیرگی سلول‌ها و تغییر تعادل هورمونی می‌گردد که در نهایت برآیند این عوامل بر رشد و نمو گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (ریحان و همکاران، ۲۰۲۳). غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلرید سدیم در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین شاخص بنبه گیاهچه در بذرهایی سویا ایجاد کرد (سیرکا^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). مطابق با نتایج این آزمایش، بیشترین وزن خشک ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و شاخص بنبه گیاهچه در تیمار عدم تنش شوری در گیاه خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) به ترتیب با میانگین‌های ۴/۶ میلی‌گرم، ۱۰۰ و ۱۴۵۱/۷٪ ملاحظه گردید (کایاسیتین^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و شاخص بنبه گیاهچه سویا در تیمار عدم تنش شوری نسبت به تنش شوری بیشتر بودند (آسیکباس^۳ و همکاران، ۲۰۲۳).

تنش خشکی با کاهش پتانسیل آب در خاک سبب کاهش جذب آب توسط گیاهان برای شروع فرآیند

¹ Cirka

² KAYAÇETİN

³ AÇIKBAŞ

⁴ Jumrani and Bhatia

مولار)، از لحاظ آماری با گیاهچه‌های شاهد تفاوت داشتند، به طوری که افزایش تنش شوری از صفر به ۱۵۰ میلی مولار، به ترتیب حدود ۴۵/۳٪ و ۵۵/۴٪ کاهش در صفات مذکور نسبت به شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). جوانه‌زنی بذر، سبز شدن و رشد گیاهچه ضعیف از جمله اولین اثرات تنش شوری بر گیاهان است، شوری از طریق سمیت یونی یا عدم دسترسی/ کاهش جذب مواد مغذی (بطور عمده پتاسیم) کندتر از حد طبیعی می‌گردد که باعث کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی می‌شود. به علاوه، فرآیند جوانه‌زنی بذر بطور عمده مربوط به دو آنزیم آلفا آمیلاز و پروتئاز است که تنش شوری شدید باعث کاهش فعالیت این دو آنزیم می‌گردد (ریحان و همکاران، ۲۰۲۳). کاهش زیست توده در کاملینا ممکن است به دلیل کاهش میزان آب موجود در بافت گیاهی تحت تنش اسمزی و یونی شوری باشد (یوهانس و همکاران، ۲۰۲۰). شوری سبب مهار سرعت رشد ریشه سویا شد و سپس ظرفیت جذب آب و مواد معدنی ضروری از خاک نیز کاهش یافت و در نهایت وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه کاهش یافت (ژوا و همکاران، ۲۰۱۴). با افزایش سطح شوری رشد شاخساره و ریشه گیاه *Centaurea ragusina* کندتر گردید و بعد از چند روز بیشتر ریشه‌ها خشک شدند، احتمالاً به دلیل این واقعیت است که شوری بالا ممکن است به دلیل کاهش سرعت جذب آب از کشیدگی ریشه و ساقه جلوگیری کند (رادبیچ^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). تنش شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاه کاملینا شد (یوهانس و همکاران، ۲۰۲۰). ارتفاع گیاه کاملینا تحت تأثیر تنش شوری کاهش ۵۹/۴۷٪ نسبت به عدم تنش شوری نشان داد (گوری^۱، ۲۰۲۳). تمام سطوح تنش شوری نسبت به عدم تنش شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و ریشه‌چه گیاه سویا شد (پاولی و همکاران، ۲۰۲۱).

شد که علت آن را چنین بیان کردند که، سطوح مختلف تنش خشکی به طور قابل توجهی تحمل به خشکی گیاهچه را کاهش داد که دلیل این کاهش را می‌توان به کاهش پتانسیل آب نسبت داد که بر روند جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تأثیر منفی داشت. همچنین، دلیل احتمالی دیگر ممکن است به علت کاهش فعالیت آنزیم‌های (α -amylase, β amylase, and α glucosidase) درگیر در فرآیند جوانه‌زنی باشد که منجر به کاهش فرآیند استقرار گیاهچه‌ها می‌گردد (احمد و همکاران، ۲۰۲۲).

خصوصیات رشدی گیاهچه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف بین سطوح مختلف تنش اسمزی و شوری از لحاظ طول ریشه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۱). در تنش ۰/۴ MPa، طول ریشه‌چه و وزن خشک آن به ترتیب حدود ۲۲/۱٪ و ۴۰/۲٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ۲). با کاهش پتانسیل آب از صفر به ۰/۶ MPa، طول و وزن خشک ریشه‌چه به ترتیب حدود ۴۰/۴٪ و ۵۷/۳٪ در مقایسه با گیاهچه‌های شاهد کاهش نشان داد (جدول ۲). در شرایط تنش شوری، بیشترین طول ریشه‌چه و وزن خشک آن متعلق به تیمار شاهد به ترتیب با میانگین ۲۵/۰۸ میلی‌متر و ۰/۵۱ میلی‌گرم مشاهده شده، هرچند این تیمار با سطح ۵۰ میلی‌مولار محلول کلرید سدیم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کم‌ترین طول و وزن خشک ریشه‌چه در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، به ترتیب با میانگین ۱۵/۵۹ میلی‌متر و ۰/۲۱۹ میلی‌گرم مشاهده گردید (جدول ۳).

تنش اسمزی موجب کاهش طول ساقه‌چه و وزن خشک آن گردید (جدول ۲). بطوریکه سطح تنش ۰/۶ MPa موجب کاهش طول ساقه‌چه در حدود ۴۹/۲٪ و وزن خشک آن در حدود ۵۳/۲٪ در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۲). هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین گیاهچه‌های شاهد با سطح تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار از نظر طول و وزن خشک ساقه‌چه مشاهده نگردید (جدول ۳)؛ اما طول ساقه‌چه و وزن خشک آن در هر دو سطح تنش شوری متوسط و شدید (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی

¹ Xue

² Radić

³ Göre

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تنش اسمزی بر رشد اولیه گیاهچه کاملینا

Table 2- Mean comparison of osmotic stress effect on early growth of *Camelina sativa* seedling

تنش اسمزی Osmotic stress (MPa)	طول ریشه‌چه Radicle length (mm)	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (mg.plant ⁻¹)	طول ساقه‌چه plumule length (mm)	وزن خشک ساقه‌چه plumule dry weight (mg.plant ⁻¹)
Control	23.47a	0.413a	19.073a	0.748a
-0.2	22.69a	0.362ab	18.720a	0.632ab
-0.4	18.27b	0.247bc	13.970b	0.432bc
-0.6	13.98c	0.176c	9.680c	0.3495c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار فاقد اختلاف آماری در سطح احتمال پنج درصد هستند
In each column, means followed by the same letter are not statistically significant based on LSD test at the $P < 0.05$ level

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر رشد اولیه گیاهچه کاملینا

Table 3- Mean comparison of salinity stress effect on early growth of *Camelina sativa* seedling

تنش شوری Salinity stress (mM)	طول ریشه‌چه Radicle length (mm)	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (mg.plant ⁻¹)	طول ساقه‌چه Plumule length (mm)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight (mg.plant ⁻¹)
Control	25.085a	0.507a	20.94a	0.801a
50	24.635a	0.435ab	20.5a	0.714a
100	19.885b	0.295bc	15.74b	0.478b
150	15.595c	0.219c	11.45c	0.357b

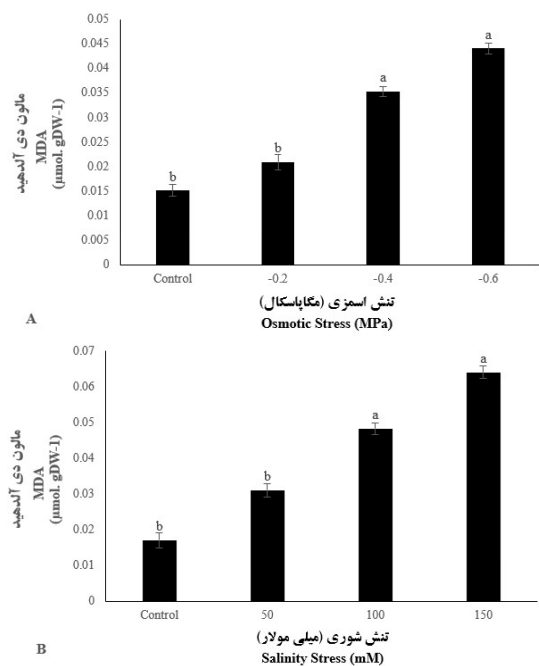
در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار فاقد اختلاف آماری در سطح احتمال پنج درصد هستند
In each column, means followed by the same letter are not statistically significant based on LSD test at the $P < 0.05$ level

بود (کایاسیتین و همکاران، ۲۰۱۸). کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و شاخص‌های بنیه وزنی و طولی در بذرهای گلرنگ از صفر مگاپاسکال به ۰/۸ - مگاپاسکال بسیار محسوس بود (انصاری و همکاران، ۲۰۲۳).

مالون‌دی‌آلدئید

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به مالون‌دی‌آلدئید نشان داد که تأثیر تنش اسمزی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش اسمزی باعث افزایش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء می‌شود و این افزایش از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین و کم‌ترین غلظت مالون‌دی‌آلدئید به ترتیب برای تنش اسمزی ۰/۶ - مگاپاسکال و شاهد ثبت گردید، به طوری که تنش اسمزی محتوی مالون‌دی‌آلدئید را حدود ۶۵/۷٪ در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل A-۴).

در مراحل اولیه تنش خشکی، رشد ریشه‌چه به دلیل حساسیت کم‌تر نسبت به تنش و جهت جذب بیشتر آب، بیشتر است، اما با افزایش سطح تنش خشکی و منفی‌تر شدن پتانسیل و در نتیجه کاهش جذب آب توسط بذر، کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، اختلال در رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه صورت خواهد گرفت. به علاوه، تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها نیاز به آب دارد که تنش خشکی منجر به کاهش تقسیم و رشد سلول و در نهایت کاهش رشد گیاه خواهد شد (بنگر و همکاران، ۲۰۱۹). افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ به ۴۰٪ ظرفیت نگهداری آب باعث کاهش ارتفاع گیاه کاملینا گردید (احمد و همکاران، ۲۰۱۹). هر دو تنش شوری و اسمزی باعث کاهش جوانه‌زنی بذر خردل شد، اما اثر بازدارندگی تنش شوری (کلرید سدیم) نسبت به تنش اسمزی (پلی‌اتیلن‌گلیکول) بر رشد گیاهچه نسبت به جوانه‌زنی بیشتر بود، در حالی که فراسنجه‌های جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری بهتر از تنش اسمزی



شکل ۴- اثر تنش اسمزی و شوری بر محتوی مالون دی آلدئید کاملینا. میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند. $P \leq 0.05$ بعنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 4. Effect of osmotic and salinity stresses on Malondialdehyde (MDA) content of *Camelina sativa*. The mean comparisons were performed using LSD method at $P \leq 0.05$ significance level. Means followed by the same letter(s) are not significantly different.

کربوهیدرات‌های محلول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های محتوی کربوهیدرات‌های محلول نشان داد که تأثیر تنش اسمزی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی محیط کشت گیاهچه‌های کاملینا موجب افزایش محتوی کربوهیدرات‌های محلول گردید. تنش اسمزی ۰/۶- مگاپاسکال بدون اختلاف با سطح ۰/۴- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری را با شاهد و پتانسیل اسمزی ۰/۲- مگاپاسکال نشاد داد (شکل A-۵). سطوح ۰/۴- و ۰/۶- مگاپاسکال به ترتیب حدود ۴۹/۲٪ و ۵۸/۸٪ افزایش در SCC را نسبت به شاهد داشت (شکل A-۵).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تنش شوری روی محتوی کربوهیدرات‌های محلول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اختلاف معنی‌دار بین گیاهچه شاهد و سطح ۵۰ میلی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری صفت مالون دی‌آلدئید گیاهچه کاملینا نشان داد که مقدار این صفت تحت تأثیر تنش شوری ($P \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۱). کاهش محتوی مالون دی‌آلدئید در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار تنش معنی‌دار بود (جدول ۱)، به طوری که غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار شوری به ترتیب حدود ۶۴/۵٪ و ۷۳/۳٪ افزایش را در محتوی مالون دی‌آلدئید در مقایسه با شاهد نشان دادند (شکل B-۴).

مالون دی‌آلدئید به عنوان شاخصی برای آسیب سمانه‌های غشای سلولی گیاهی در نظر گرفته شده است که تنش خشکی باعث افزایش تجمع آن در گیاه کاملینا شده است (وو^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). تنش خشکی باعث افزایش پرولین، آنتی‌اکسیدان‌ها و مالون دی‌آلدئید (در برگ و ریشه) کلزا گردید (خدابین^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). تنش خشکی باعث افزایش کربوهیدرات‌ها و مالون دی‌آلدئید بذرهای سوپا گردید (چو^۳ و همکاران، ۲۰۲۳).

تنش شوری نسبت به عدم تنش باعث افزایش شاخص‌های تنش‌زا مانند فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید در کاملینا گردید (خالد^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). میزان تجمع مالون دی‌آلدئید با افزایش سطح تنش شوری از ۳-، ۶- و ۹- بار به ترتیب ۱۰، ۱۳۳ و ۱۸۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (تیموری و همکاران، ۲۰۲۳b). با افزایش سطح تنش شوری از صفر به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر میزان مالون دی‌آلدئید در ریشه از ۲۹/۵ به ۷۸/۱ نانومول بر میلی‌گرم و در ساقچه از ۴۷/۹ به ۱۰۷/۴ نانومول بر میلی‌گرم در بذرهای لوبیا چیتی رقم صدی رسید (قنبری^۵ و همکاران، ۲۰۱۹).

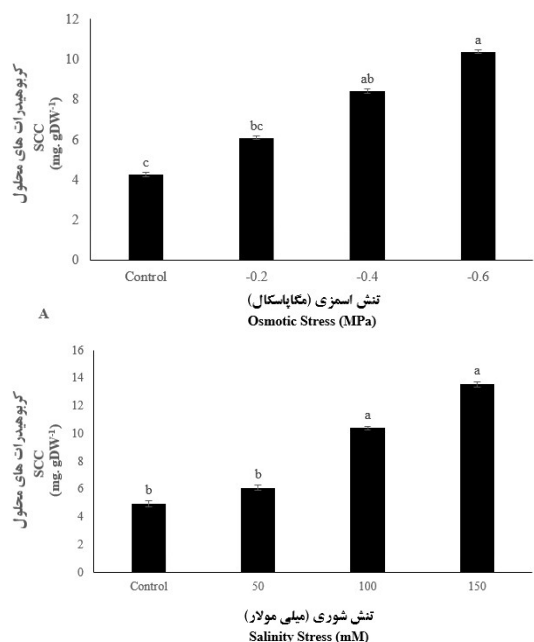
¹ Wu

² Khodabin

³ Qu

⁴ Khalid

⁵ Ghanbari



شکل ۵- اثر تنش اسمزی و شوری بر محتوی کربوهیدرات‌های محلول کاملینا. میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند. $0.05/P \leq$ بعنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 5. Effect of osmotic and salinity stresses on soluble carbohydrates content (SCC) of *Camelina sativa*. The mean comparisons were performed using LSD method at $P \leq 0.05$ significance level. Means followed by the same letter(s) are not significantly different.

اسیدهای آمینه آزاد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های محتوی اسیدهای آمینه آزاد نشان داد که تأثیر تنش اسمزی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد، سطوح ۰/۴- و ۰/۶- مگاپاسکال از محلول پلی اتیلن گلیکول بدون اختلاف با یکدیگر، تفاوت معنی‌داری را با سطح ۰/۲- مگاپاسکال و شاهد در محتوی اسیدهای آمینه آزاد نشان دادند. در بالاترین سطح تنش اسمزی (۰/۶- MPa)، محتوی اسیدهای آمینه آزاد حدود ۸۱/۶٪ نسبت به شاهد افزایش داشت (شکل ۶-A).

پاسخ محتوی اسیدهای آمینه آزاد به سطوح مختلف شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). محتوی اسیدهای آمینه آزاد در گیاهچه شاهد با سطح ۵۰ میلی‌مولار شوری تفاوت معنی‌دار نشان نداد

مولار شوری مشاهده نگردید (جدول ۱). با افزایش شدت تنش شوری، محتوی کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت و بالاترین سطح تنش حدود ۶۳/۴٪ افزایش را در صفت مذکور در مقایسه با گیاهچه شاهد به‌همراه داشت (شکل B-۵).

از رایج‌ترین واکنش‌های گیاهان در مقابل تنش‌های شوری و خشکی، تنظیم اسمزی است که با شکستن مولکول‌های درشت‌تر نظیر نشاسته به ساکارز و سپس به گلوکز و فروکتوز می‌گردد که منجر به منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌گردد (موسوی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). کمبود آب باعث کاهش محتوی روغن و افزایش محتوی پروتئین و کربوهیدرات کل در دانه‌های روغنی کاملینا گردید (برزو^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). تنظیم اسمزی یک سازوکار سازگاری با تنش کم‌آبی است که می‌تواند با افزایش میزان مواد معدنی (کربوهیدرات‌های محلول) در سلول‌ها، فرآیندهای مرتبط را در پتانسیل‌های کم آب حفظ کند. در همین راستا، تنش خشکی در گیاه روغنی کلزا باعث افزایش کربوهیدرات‌های محلول نسبت به تیمار آبیاری معمولی گردید (شفیقی^۳ و همکاران، ۲۰۲۱).

محتوی کربوهیدرات کل، پرولین، پراکسیداسیون لیپیدی، آسیب غشا، اسید اسکوربیک، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدهای کل به طور قابل توجهی و خطی با افزایش سطوح NaCl در دانه‌های روغنی چیا افزایش یافت (یونس^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). تنش شوری باعث افزایش محتوی کربوهیدرات محلول در گیاه نخود شد (مومن^۵ و همکاران، ۲۰۲۲). افزایش سطح تنش شوری و خشکی باعث افزایش کربوهیدرات محلول در بذرهای گیاه *Atriplex halimus* شد (دیلیم^۶ و همکاران، ۲۰۱۹).

¹ Mousavi

² Borzoo

³ Shafiqhi

⁴ Younis

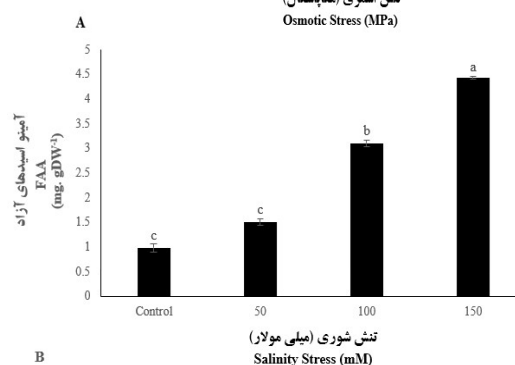
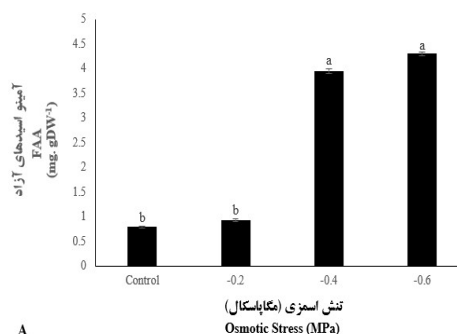
⁵ Momen

⁶ Deilam

در گندم تحت تنش خشکی افزایش یافتند که مطابق با نتایج این آزمایش است (گو^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش شوری منجر به افزایش محتوای اسید آسپارتیک، اسید گلوتامیک، پرولین و تیروزین شد، اما هیچ اثر قابل توجهی روی آلانین، گلیسین و سرین سویا نداشت (فرهنگی-آبریز و قاسمی-گلزانی^۴، ۲۰۱۶). تنش شوری باعث افزایش اسیدهای آمینه لیزین، والین، متیونین و پرولین در گیاه *Amaranthus cruentus* شد (لوکس^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). محتوای پرولین، گلیسین بتائین و اسیدهای آمینه آزاد کل همراه با فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در گیاه سویا تحت تنش شوری، افزایش یافت (رامانا^۶ و همکاران، ۲۰۱۲).

نتیجه‌گیری

با بررسی مولفه‌های جوانه‌زنی، خصوصیات رشدی و برخی صفات بیوشیمیایی گیاهچه کاملینا مشخص گردید، تنش ملایم اسمزی و شوری اثر نامطلوب معنی‌دار نداشت، ولی افزایش شدت تنش‌های اسمزی و شوری، درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. تنش‌های متوسط و شدید اسمزی و شوری موجب افزایش محتوی مالون دی‌آلدهید، میزان اسیدهای آمینه آزاد و محتوی کربوهیدرات‌های محلول گردید. به‌نظر می‌رسد که تنش ملایم خشکی (۰/۶ MPa-) و شوری (۱۵۰ mM) تأثیر نامطلوب معنی‌داری روی شاخص‌های جوانه‌زنی نداشت ولی چنانچه سطح تنش خشکی و شوری از حد تحمل کاملینا بالاتر رود منجر به کاهش مولفه‌های جوانه‌زنی گردید. در نهایت، مطالعه روی استقرار اولیه و خصوصیات رشدی گیاهچه کاملینا می‌تواند به عنوان گیاهی مناسب جهت تغییرات الگوی کاشت ترویج نمود.



شکل ۶- اثر تنش اسمزی و شوری بر محتوی اسیدهای آمینه آزاد کاملینا. میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند. $P \leq 0.05$ بعنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 6. Effect of osmotic stress and salinity stresses on free amino acids (FAA) content (SCC) of *Camelina sativa*. The mean comparisons were performed using LSD method at $P \leq 0.05$ significance level. Means followed by the same letter(s) are not significantly different.

(شکل B-۶). تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش حدود ۶۸/۴٪ در محتوی اسیدهای آمینه آزاد در مقایسه با شاهد گردید (شکل B-۶). بیشترین محتوی اسیدهای آمینه آزاد (۴/۴۳ میلی گرم بر گرم وزن خشک) متعلق به سطح ۱۵۰ میلی‌مولار شوری بود، به‌طوری‌که صفت مذکور حدود ۷۷/۸٪ افزایش را نسبت به شاهد نشان داد (شکل B-۶).

تنش خشکی می‌تواند اسیدهای آمینه آزاد مانند آرژنین، پرولین، آسپاراژین و آمید را تحریک کند (فورلان^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). تنش خشکی غلظت اسید آمینه آزاد، پرولین و قند محلول در برگ‌های سویا را افزایش داد تا قابلیت تنظیم اسمزی افزایش یابد (دیوآ و همکاران، ۲۰۲۰). کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه نیز به عنوان گروه‌های متابولیکی اصلی

³ Guo

⁴ Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani

⁵ Luyckx

⁶ Ramana

¹ Furlan

² Du

مولفه‌های جوانه‌زنی گردید. در نهایت، مطالعه روی استقرار اولیه و خصوصیات رشدی گیاهچه کاملینا جهت ترویج کشت آن در کشور می‌تواند مقدمه‌ای بر پژوهش‌های تکمیلی آینده باشد.

که تنش ملایم خشکی (۰/۶ MPa-) و شوری (mM) تأثیر نامطلوب معنی‌داری روی شاخص‌های جوانه‌زنی نداشت ولی چنانچه سطح تنش خشکی و شوری از حد تحمل کاملینا بالاتر رود منجر به کاهش

منابع

- Abdul-baki, A.A., and Anderson, J.D. 1970. Viability and leaching of sugars from germinating barely. *Crop Science*, 10: 31-34. <https://doi.org/10.2135/cropsci1970.0011183X001000010012x>
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., Biçakçı, E. and Özyazıcı, G. 2023. Germination and seedling development performances of some soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars under salinity stress. *Turkish Journal of Range and Forage Science*, 4(2): 108-118. <https://doi.org/10.51801/turkjrf.1387963>
- Ahmed, M., Kheir, A., Mehmood, M.Z., Ahmad, S. and Hasanuzzaman, M. 2022. Changes in germination and seedling traits of sesame under simulated drought. *Phyton*, 91(4): 713-726. <https://doi.org/10.32604/phyton.2022.018552>
- Ahmed, Z., Waraich, E.A., Ahmad, R. and Shahbaz, M. 2017. Morpho-physiological and biochemical responses of camelina (*Camelina sativa* Crantz) genotypes under drought stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19: 1-7. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0141>
- Ahmed, Z., Waraich, E.A., Qi, Z., Gui, D., Shreef, M., Iqbal, H. and Shabbir, R.N. 2019. Physio-biochemical and yield responses of two contrasting *Camelina sativa* breeding lines under drought stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 22: 1187-1196.
- Ansari, O., Shirghani, E. and Shabani, K. 2023. The effect of gibberellic acid application on germination and biochemical indices of deteriorated safflower seed (*Carthamus tinctorius*) under water stress conditions. *Iranian Journal of Seed Research*, 10(1): 19-41. [In Persian] <https://doi.org/10.61186/yuj.10.1.19>
- Balouchi, H., Soltani Khankahdani, V., Moradi, A., Gholamhoseini, M., Piri, R., Heydari, S.Z. and Dedicova, B. 2023. Seed fatty acid changes germination response to temperature and water potentials in six sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars: Estimating the cardinal temperatures. *Agriculture*, 13(10): 1-17. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101936>
- Bangar, P., Chaudhury, A., Tiwari, B., Kumar, S., Kumari, R. and Bhat, K.V., 2019. Morphophysiological and biochemical response of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] varieties at different developmental stages under drought stress. *Turkish Journal of Biology*, 43(1): 58-69. <https://doi.org/10.3906/biy-1801-64>
- Bayram, M., Homaei, M., and Khosasi Bidgoli, A. 2022. Modeling oilseed camelina response to water stress. *Iran Water and Soil Research*, 52(12): 2985-3000. [In Persian]
- Borzoo, S., Mohsenzadeh, S. and Kahrizi, D. 2021. Water-deficit stress and genotype variation induced alteration in seed characteristics of *Camelina sativa*. *Rhizosphere*, 20:100427. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100427>
- Čanak, P., Jeromela, A.M., Vujošević, B., Kiproviski, B., Mitrović, B., Alberghini, B., Facciolla, E., Monti, A. and Zanetti, F. 2020. Is drought stress tolerance affected by biotypes and seed size in the emerging oilseed crop *Camelina*?. *Agronomy*, 10(12): 1856. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121856>
- Channaoui, S., El Idrissi, I.S., Mazouz, H. and Nabloussi, A. 2019. Reaction of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to different drought stress levels during germination and seedling growth stages. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 26(23): 1-10. <https://doi.org/10.1051/ocl/2019020>

- Cirka, M., Kaya, A.R. and Eryigit, T. 2021. Influence of temperature and salinity stress on seed germination and seedling growth of soybean (*Glycine max* L.). *Legume Research*, 44(9): 1053-1059. <https://doi.org/10.18805/LR-628>
- Deilam, A., Rohani, H., Sabouri, H. and Pooralmadari, E.G.A. 2019. Effect of drought stress and salinity on germination, soluble carbohydrates and proline of *Atriplex halimus*. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(2): 245-255. [In Persian]
- Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X. and Xie, F. 2020. Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. *Agronomy*, 10(2): 302-322. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020302>
- El-Badri, A.M., Batool, M., AA Mohamed, I., Wang, Z., Khatab, A., Sherif, A., Ahmad, H., Khan, M.N., Hassan, H.M., Elrewainy, I.M. and Kuai, J. 2021. Antioxidative and metabolic contribution to salinity stress responses in two rapeseed cultivars during the early seedling stage. *Antioxidants*, 10(8): 1227. <https://doi.org/10.3390/antiox10081227>
- Fallah, F., Kahrizi, D., Rezaeizad, A., Zebarjadi, A., Zarei, L. and Doğan, H. 2023. A study of the morphological and agro-physiological characteristics of *Camelina sativa* (L.) doubled haploid lines. *Journal of Genetic Resources*, 9(1): 17-24.
- Farhangi-Abriz, S. and Ghassemi-Golezani, K. 2016. Improving amino acid composition of soybean under salt stress by salicylic acid and jasmonic acid. *Journal of applied botany and food quality*, 89: 243-248.
- Farsaraei, S., Mehdizadeh, L. and Moghaddam, M. 2021. Seed priming with putrescine alleviated salinity stress during germination and seedling growth of medicinal pumpkin. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3): 1782-1792. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00479-z>
- Fazeli-Nasab, B., Khajeh, H., Piri, R. and Moradian, Z. 2023. Effect of humic acid on germination characteristics of *Lallemantia royleana* and *Cyamopsis tetragonoloba* under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 9(2): 51-62. [In Persian]. <https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.51>
- Furlan, A.L., Bianucci, E., Giordano, W., Castro, S. and Becker, D.F. 2020. Proline metabolic dynamics and implications in drought tolerance of peanut plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 151: 566-578. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.010>
- Ghidoli, M., Ponzoni, E., Araniti, F., Miglio, D. and Pilu, R. 2023. Genetic Improvement of *Camelina sativa* (L.) Crantz: Opportunities and Challenges. *Plants*, 12(3): 570. <https://doi.org/10.3390/plants12030570>
- Ghorbani, M., Kahrizi, D. and Chaghakaboodi, Z. 2020. Evaluation of *Camelina sativa* doubled haploid lines for the response to water-deficit stress. *Journal of Medicinal Plants and By-product*, 9(2): 193-199.
- Göre, M. 2023. Salt sensitivity and some physiological and morphological mechanisms of adaptation to salt stress in camelina. *Journal of Elementology*, 28(1): 75-87. <https://doi.org/10.5601/jelem.2022.27.4.2346>
- Guo, R., Shi, L., Jiao, Y., Li, M., Zhong, X., Gu, F., Liu, Q., Xia, X. and Li, H. 2018. Metabolic responses to drought stress in the tissues of drought-tolerant and drought-sensitive wheat genotype seedlings. *AoB Plants*, 10(2): ly016. <https://doi.org/10.1093/aobpla/ply016>
- Heath, R.L., and Packer, L. 1969. Photo peroxidation in isolated chloroplast. I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125: 189-198.
- Hmissi, M., Chaieb, M. and Krouma, A. 2023. Differences in the physiological indicators of seed germination and seedling establishment of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars subjected to salinity stress. *Agronomy*, 13(7): 1718-1734. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071718>
- Hosseini-Moghaddam, M., Moradi, A., Piri, R., Glick, B.R., Fazeli-Nasab, B. and Sayyed, R.Z. 2024. Seed coating with minerals and plant growth-promoting bacteria enhances drought

- tolerance in fennel (*Foeniculum vulgare* L.). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 58: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103202>
- Huang, P., He, L., Abbas, A., Hussain, S., Hussain, S., Du, D., Hafeez, M.B., Balooch, S., Zahra, N., Ren, X. and Rafiq, M. 2021. Seed priming with sorghum water extract improves the performance of camelina (*Camelina sativa* (L.) crantz.) under salt stress. Plants, 10(4): 749. <https://doi.org/10.3390/plants10040749>
- Hwang, M., and Ederer, G.M. 1975. Rapid hippurate hydrolysis method for presumptive identification of group B streptococci. Journal of Clinical Microbiology, 1: 114-117. <https://doi.org/10.1128/jcm.1.1.114-115.1975>
- Jahan, M.S., Zhao, C.J., Shi, L.B., Liang, X.R., Jabborova, D., Nasar, J. and Zhou, X.B. 2023. Physiological mechanism of melatonin attenuating to osmotic stress tolerance in soybean seedlings. Frontiers in Plant Science, 14: 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1193666>
- Jumrani, K. and Bhatia, V.S. 2018. Combined effect of high temperature and water-deficit stress imposed at vegetative and reproductive stages on seed quality in soybean. Indian Journal of Plant Physiology, 23(2): 227-244. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0365-9>
- Kakar, H.A., Ullah, S., Shah, W., Ali, B., Satti, S.Z., Ullah, R., Muhammad, Z., Eldin, S.M., Ali, I., Alwahibi, M.S. and Elshikh, M.S. 2023. Seed priming modulates physiological and agronomic attributes of maize (*Zea mays* L.) under induced polyethylene glycol osmotic stress. American Chemical Society Omega (ACS Omega), 8(25): 22788-22808. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01715>
- Kang, S.M., Shaffioui, S., Peter, O., Injamum-ul-hoque, M.D. and LEE, I.J. 2024. Physiological and molecular adaptation responses of soybean seedling under osmotic stress. Pakistan Journal of Botany, 56(3): 871-878. [https://doi.org/10.30848/PJB2024-3\(34\)](https://doi.org/10.30848/PJB2024-3(34))
- Kayacetin, F., Efeoglu, B. and Alizadeh, B. 2018. Effect of NaCl and PEG-Induced osmotic stress on germination and seedling growth properties in wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 28(1): 62-68.
- Khalid, H., Kumari, M., Grover, A. and Nasim, M. 2015. Salinity stress to lence of camelina investigated in vitro. Scientia Agriculturae Bohemica, 46(4): 137-144. <https://doi.org/10.1515/sab-2015-0028>
- Khan, W., Shah, S., Ullah, A., Ullah, S., Amin, F., Iqbal, B., Ahmad, N., Abdel-Maksoud, M.A., Okla, M.K., El-Zaidy, M. and Al-Qahtani, W.H. 2023. Utilizing hydrothermal time models to assess the effects of temperature and osmotic stress on maize (*Zea mays* L.) germination and physiological responses. BioMed Central Plant Biology, 23(1): 414-427. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04429-y>
- Khodabin, G., Tahmasebi Sarvestani, Z., Rad, A.H.S. and Modarres Sanavy, S.A.M. 2020. Effect of drought stress on certain morphological and physiological characteristics of a resistant and a sensitive canola cultivar. Chemistry and Biodiversity, 17(2): p.e1900399. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201900399>
- Kukrić, T., Jeromela, A.M., Nikolić, Z. and Jovičić, D. 2023. Comparative study on salt stress response of *Camelina sativa* and *Carthamus tinctorius* during germination. Journal of Agricultural Sciences (Belgrade), 68(2): 141-154. <https://doi.org/10.2298/JAS2302141K>
- Luo, Z., Szczepanek, A. and Abdel-Haleem, H. 2020. Genome-wide association study (GWAS) analysis of camelina seedling germination under salt stress condition. Agronomy, 10(9): 1444-1457. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091444>
- Luyckx, A., Beghin, C., Quinet, M., Achadé, B., Prodjinoto, H., Gandonou, C.B. and Lutts, S. 2021. Salinity differently affects antioxidant content and amino acid profile in two cultivars of *Amaranthus cruentus* differing in salinity tolerance. Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(15): 6211-6219. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11272>

- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2: 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Michel, B.E. and Kaufman, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51: 914-916. <https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>
- Mokari, M., Ghaderi, A.H., and Alaei, J. 2023. Determining of optimum crop production function for estimating of camelina grain yield under deficit irrigation and saline water use in pot planting conditions. *Iranian Water Research Journal*. 51(17/4): 13. [In Persian]
- Momen, M.A., Khazaei, H. and Nabati, J. 2022. Effect of salinity stress on chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in seedling stage under hydroponic conditions. *Journal of Crop Breeding*, 14(44): 18-30. [In Persian] <https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.18>
- Moradi, A., Hoseini-moghadam, M. and Piri, R. 2018. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on some germination, biochemical indices and element contents of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(3): 151-165. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.247787.654420>
- Mousavi, E., Omidi, H., Ayatollah Saeedizadeh, A. and Aghighi Shahverdi, M. 2021. The effect of biological pre-treatments on germination and physiological indices of pumpkin (*Cucurbita pepo* var. Styriaca) seedling under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 7(2): 33-53. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/yujs.7.2.33>
- Pavli, O.I., Foti, C., Skoufogianni, G., Karastergiou, G., Panagou, A. and Khah, E.M. 2021. Effect of salinity on seed germination and seedling development of soybean genotypes. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 27(2): 556210. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2021.27.556210>
- Piri, R., Moradi, A., Salehi, A. and Balouchi, H. 2021. Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(4): 11-26. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/ijst.2019.109182.1054>
- Poudineh, Z., Fakheri, B.A., Sirosmehr, A.R. and Shojaei, S. 2018. Effect of drought stress on the morphology and antioxidant enzymes activity of *Foeniculum vulgare* cultivars in Sistan. *Indian Journal of Plant Physiology*, 23: 283-292. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0370-z>
- Qu, Z., Tian, Y., Zhou, X., Li, X., Zhou, Q., Wang, X. and Dong, S. 2023. Effects of exogenous sodium nitroprusside spraying on physiological characteristics of soybean leaves at the flowering stage under drought stress. *Plants*, 12(8): 1598-1613. <https://doi.org/10.3390/plants12081598>
- Radić, S., Štefanić, P.P., Lepeduš, H., Roje, V. and Pevalek-Kozlina, B. 2013. Salt tolerance of *Centaurea ragusina* L. is associated with efficient osmotic adjustment and increased antioxidative capacity. *Environmental and Experimental Botany*, 87: 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.11.002>
- Raihan, M.R.H., Nahar, K., Nowroz, F., Siddika, A. and Hasanuzzaman, M. 2023. Oilseed brassica responses and tolerance to salt stress. In *Oilseed Crops-Uses, Biology and Production*. IntechOpen.
- Ramana, G.V., Padhy, S.P. and Chaitanya, K.V. 2012. Differential responses of four soybean (*Glycine max* L) cultivars to salinity stress. *Legume Research*, 35(3): 185-193.
- Roe, J.H. 1955. The determination of sugar in blood and spinal fluid with anthrone reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 212: 335-343. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)71120-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)71120-4)
- Shafiqhi, A., Ardakani, M.R., Rad, A.H.S., Alavifazel, M. and Rafiei, F. 2021. Grain yield and associated physiological traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under different planting dates and drought stress at the flowering stage. *Italian Journal of Agronomy*, 16(1): 1648-1660. <https://doi.org/10.4081/ija.2020.1648>

- Shahid, S.A., Zaman, M. and Heng, L. 2018. Soil Salinity: Historical Perspectives and a World Overview of the Problem. In: Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. Springer, Cham. pp: 43-53. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_2
- Silva, M.F.D., Araújo, E.F., Silva, L.J.D., Amaro, H.T.R., Dias, L.A.D.S. and Dias, D.C.F.D.S. 2019. Tolerance of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) to salinity and water stress during seed germination and initial seedling growth. *Ciência e Agrotecnologia*, 43: e025418. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943025418>
- Teimoori, N., Ghobadi, M. and Kahrizi, D. 2023. The effect of silicon on improving the growth and biochemical characteristics of camelina (*Camelina sativa* L.) seedlings under saline conditions. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, (Scientific Journal of Agriculture)*, 46(1): 21-42. [In Persian]
- Teimoori, N., Ghobadi, M. and Kahrizi, D. 2023a. Improving the growth characteristics and grain production of camelina (*Camelina sativa* L.) under salinity stress by silicon foliar application. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 3(1): 1-13.
- Teimoori, N., Ghobadi, M. and Kahrizi, D. 2023b. The use of silicon in controlling osmotic stress and its effect on seed germination characteristics and seedling growth of camelina. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 12(3): 65-78. [In Persian].
- Waraich, E.A., Ahmed, Z., Ahmed, R., Ashraf, M.Y. and Naeem, M.S. 2015. Physiological and biochemical attributes of *Camelina sativa* (L.) Crantz under water stress conditions. In *Proceedings of the 17th ASA Conference*: 20-24.
- Wu, H.Z., Gao, Y., Zhang, Y., Yu, J., Kim, D.S., Chen, M., Wang, Y., Fan, Y., Zhang, H., Yan, X. and Zhang, C.J. 2023. Exogenous application of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and nano-Selenium (Nano-Se) alleviated the PEG-induced water deficit stress and improved the crop performance of camelina. *Agronomy*, 13(4): 979-992. <https://doi.org/10.3390/agronomy13040979>
- Xue, Z., Zhao, S., Gao, H. and Sun, S. 2014. The salt resistance of wild soybean (*Glycine soja* Sieb. et Zucc. ZYD 03262) under NaCl stress is mainly determined by Na⁺ distribution in the plant. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(1): 61-70. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1386-7>
- Yohannes, G., Kidane, L., Abraha, B. and Beyene, T. 2020. Effect of salt stresses on seed germination and early seedling growth of *Camelina sativa* L. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 12(1):1-19. <https://doi.org/10.4314/mejs.v12i1.1>
- Younis, M.E., Rizwan, M. and Tourky, S.M. 2021. Assessment of early physiological and biochemical responses in chia (*Salvia hispanica* L.) sprouts under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43: 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03285-3>
- Zhao, M., Zhang, Q., Liu, H., Tang, S., Shang, C., Zhang, W., Sui, Y., Zhang, Y., Zheng, C., Zhang, H. and Liu, C. 2023. The osmotic stress-activated receptor-like kinase DPY1 mediates SnRK2 kinase activation and drought tolerance in *Setaria*. *The Plant Cell*, 35(10): 3782-3808. <https://doi.org/10.1093/plcell/koad200>
- Zuffo, A.M., Steiner, F., Aguilera, J.G., Teodoro, P.E., Teodoro, L.P.R. and Busch, A. 2020. Multi trait stability index: A tool for simultaneous selection of soya bean genotypes in drought and saline stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(6): 815-822. <https://doi.org/10.1111/jac.12409>