



## Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

### Research Article

# The effect of priming and priming time on germination and some biochemical traits of *Camelina* (*Camelina sativa*) Sohail cultivar under drought stress

Mehdi Razmkhah<sup>1</sup>, Ali Moradi<sup>2\*</sup> , Hojatollah Latifmanesh<sup>3</sup> , Hamid Reza Balochi<sup>4</sup> 

1. MSc student of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.
2. Associate Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.
3. Assistant Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.
4. Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.

### Article Information

Received: 06 Nov. 2023  
Revised: 24 Dec. 2023  
Accepted: 31 Jan. 2024

#### Keywords:

Alpha amylase,  
Camelina,  
Drought stress,  
Priming,  
Rye

Corresponding Author:  
[amoradi@yu.ac.ir](mailto:amoradi@yu.ac.ir)



### Abstract

*Camelina* (*Camelina sativa*) is a one-year oil plant and one of the most important problems of its cultivation is the interaction of the seed germination stage and seed establishment with drought stress. Use of herbal treatments such as rye plant extract can speed up them, especially in drought-stress conditions. Therefore, this research was conducted to investigate the effect of priming and priming time on germination and some biochemical traits of *Camelina* under drought stress in the Agriculture and Genetics Laboratory of Yasouj University from 2021 to 2022. The experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with 4 replications. The first factor was priming with Danko variety of rye plant root extract at 3 levels (zero, 40 and 60%), The second factor was priming times at three levels (zero, 6 and 12 hours) and the third factor included drought stress at three levels (zero, -3 and -6 times). Based on the obtained results, it was observed that drought stress affected the biochemical indicators and germination of *Camelina* and pre-treatment with rye extract at a concentration of 60% along with prime in 12 hours with the improvement of some biochemical indicators and germination were able to increase the tolerance of *Camelina* seedlings under drought stress by affecting the non-enzymatic antioxidant defense system of the plant. The results of the experiment show that using Danko variety of rye root extract with a concentration of 60% in 12 hours improves physical characteristics of the seed, helping germination in optimal and drought stress conditions.

**How to cite this paper:** Razmkhah, M., Moradi, A., Latifmanesh, H., & Balochi, H.R. (2025). The effect of priming and priming time on germination and some biochemical traits of *Camelina* (*Camelina sativa*) Sohail cultivar under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (1), 87-105. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.363685.1501>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Camelina (*Camelina sativa*), an annual oilseed plant, has garnered increasing attention due to its potential as a drought-resistant crop. Known for its high oil yield and environmental adaptability, camelina is particularly valuable in regions facing water scarcity. However, its cultivation faces challenges during the seed germination and establishment stages under drought stress. Seed priming techniques, especially using herbal treatments like rye (*Secale cereale*) root extract, can significantly mitigate these issues by enhancing seed vigor and tolerance to adverse conditions. This study aimed to evaluate the effects of priming concentrations and durations on the germination and biochemical traits of camelina under drought stress, conducted in the Agriculture and Genetics Laboratory at Yasouj University during 2021–2022.

### Materials and Methods

The experiment utilized a factorial arrangement in a completely randomized design with four replications. The first factor was priming with Danko rye root extract at three concentrations (0%, 40%, and 60%). The second factor was priming durations (0, 6, and 12 hours), while the third factor involved drought stress levels (0, -3, and -6 bar). Rye root extracts were prepared through a meticulous extraction process, followed by their application to camelina seeds sourced from Shiraz Agricultural Research Center. The seeds were sterilized with 5% sodium hypochlorite before priming. Drought stress was simulated using polyethylene glycol (PEG 6000), and its osmotic potential was calculated using Michel and Kaufman's equation. Germination tests were conducted in a germinator set to a temperature cycle of 20–30°C for seven days. Germination-related metrics, including germination percentage, germination rate, root and shoot length, and biochemical indicators, were measured using standard protocols. Data were statistically analyzed using SAS software, with mean comparisons performed using Duncan's multiple range test.

### Results and Discussion

Drought stress significantly influenced camelina's biochemical parameters. Under severe drought (-6 bar), proline and soluble sugar contents increased, indicating an osmotic adjustment response. However, malondialdehyde (MDA) levels also rose, reflecting enhanced lipid peroxidation and membrane damage. Priming with 60% rye extract for 12 hours effectively mitigated these effects, reducing MDA levels by up to 33% compared to non-primed seeds. The enhanced proline accumulation likely contributed to osmotic balance, consistent with findings by Shahverdi et al. (2019), highlighting the role of non-enzymatic antioxidants in stress tolerance. Drought stress led to a marked reduction in germination percentage and seedling vigor, with non-primed seeds exhibiting the lowest performance. Priming significantly improved these

metrics, especially at 60% extract concentration for 12 hours, which achieved a germination rate 36% higher than untreated controls under -3 bar drought stress. This improvement is attributed to enhanced enzymatic activity, particularly alpha-amylase, which facilitates starch hydrolysis and energy release for seedling growth. Similar results were reported by Bajwa et al. (2018) in wheat seeds primed with herbal extracts. Root and shoot lengths were adversely affected by increasing drought intensity, with a 20% reduction observed at -6 bar stress compared to non-stressed conditions. However, priming significantly mitigated these effects, with 60% rye extract for 6 hours yielding the longest root and shoot lengths. Enhanced root development is critical under drought conditions, as it aids in water uptake and stress resilience. These findings align with Muscolo et al. (2014), who reported similar root elongation responses in lentils under osmotic stress. The interaction of priming duration and extract concentration revealed critical insights. Longer priming durations (12 hours) generally enhanced stress tolerance, improving germination rate, root and shoot growth, and biochemical traits. However, over-priming can lead to detrimental effects, possibly due to metabolic overactivation and oxidative stress, as suggested by previous studies. The optimal combination identified in this study—60% extract for 12 hours—maximized beneficial outcomes while minimizing risks. Priming improved biochemical markers such as soluble sugar content and alpha-amylase activity, which are vital for stress adaptation. Soluble sugars act as osmoprotectants, stabilizing cellular structures and maintaining turgor pressure under water-deficient conditions. The observed increase in alpha-amylase activity in primed seeds suggests enhanced mobilization of stored reserves, providing energy and building blocks for growth. These results corroborate findings by Huang et al. (2021), who demonstrated the efficacy of sorghum extracts in enhancing camelina's drought resilience.

### Conclusion

This study underscores the potential of herbal priming, particularly using rye root extract, as a cost-effective and environmentally friendly approach to enhancing camelina's drought tolerance. The optimal treatment—60% rye extract for 12 hours—significantly improved germination and seedling vigor under drought stress by bolstering biochemical defenses and promoting efficient resource utilization. The findings suggest that incorporating such bio-priming techniques in rainfed agriculture can enhance crop establishment and productivity in water-scarce regions. Further field studies are recommended to validate these results under diverse environmental conditions.

انجمن  
علمی  
بذر  
ایرانسازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
موسسه تحقیقات بذر و نهال

## نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

تأثیر پرایمینگ و زمان پرایمینگ بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی  
کاملینا (*Camelina sativa*) رقم سهیل تحت تنش خشکیمهدی رزمخواه<sup>۱</sup>، علی مرادی<sup>۲\*</sup> ID، حجت‌اله لطیف‌منش<sup>۳</sup> ID، حمید رضا بلوچی<sup>۴</sup> ID

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران.
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران.
۳. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران.
۴. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران.

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

## واژه‌های کلیدی:

آلفا آمیلاز،

تنش خشکی،

پرایمینگ،

چاودار،

کاملینا

نویسنده مسئول:

[amoradi@yu.ac.ir](mailto:amoradi@yu.ac.ir)

کاملینا (*Camelina sativa*) گیاهی روغنی یک‌ساله بوده و یکی از مهم‌ترین مشکلات زراعت آن برخورد مرحله جوانه‌زنی بذر و استقرار بذر با تنش خشکی می‌باشد. به همین دلیل استفاده از روش پرایمینگ بذر جهت سرعت بخشیدن به مرحله سبز شدن و استقرار به‌ویژه در شرایط تنش خشکی امری ضروری است. لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ و زمان پرایمینگ بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا تحت تنش خشکی در آزمایشگاه زراعت و ژنتیک دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ انجام گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. عامل اول پرایمینگ با عصاره ریشه گیاه چاودار رقم دانکو در ۳ سطح (صفر، ۴۰ و ۶۰ درصد)، عامل دوم زمان‌های پرایمینگ در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۲ ساعت) و عامل سوم شامل تنش خشکی در ۳ سطح (صفر، ۳- و ۶- بار) بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده گردید که تنش خشکی شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی کاملینا را تحت تأثیر قرار داد و پیش‌تیمار با عصاره چاودار در غلظت ۶۰ درصد به همراه پرایم در زمان ۱۲ ساعت با بهبود برخی شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی توانستند با تأثیر بر سامانه دفاع آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی گیاه باعث افزایش تحمل گیاهچه‌های کاملینا تحت تنش خشکی شوند. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که به‌کار بردن عصاره چاودار رقم دانکو با غلظت ۶۰ درصد در زمان ۱۲ ساعت ضمن بهبود ویژگی‌های فیزیکی بذر به جوانه‌زنی در شرایط بهینه و تنش خشکی کمک می‌نماید.

## نحوه استناد به این مقاله:

Razmkhah, M., Moradi, A., Latifmanesh, H., & Balochi, H.R. (2025). The effect of priming and priming time on germination and some biochemical traits of *Camelina* (*Camelina sativa*) Sohail cultivar under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (1), 87-105. <https://doi.org/10.22092/ijst.2024.363685.1501>

## مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات به‌عنوان دومین منبع مهم تأمین انرژی مورد نیاز بشر به‌شمار می‌روند (Klińska et al., 2019). گیاه کاملینا (*Camelina sativa*) از جمله گیاهان دانه روغنی مرسوم در بخش‌هایی از آسیا و اروپا و به خانواده *Brassicaceae* تعلق دارد که شناخت کمی در مورد آن وجود دارد. گیاه کاملینا، منبعی مهمی برای تولید انرژی شناخته می‌شود و همچنین به‌عنوان یک گیاه روغنی جدید شناخته شده که به‌دلیل تحمل به تنش‌های مختلف محیطی نظیر خشکی، سرما و خشکی، مقاومت بالا در برابر آفات و بیماری‌ها، نیاز آبی و کودی کمتر، دوره رسیدگی کوتاه ما بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز و همچنین قابلیت بالای تولید روغن، می‌تواند جایگزین روغن‌های دیگر شود (Ghidoli et al., 2023). این گیاه دارویی-روغنی، با ۲۸ تا ۴۰ درصد روغن و اسیدهای چرب امگا-۳ منبع غنی از روغن به‌شمار می‌رود که قابلیت بالایی در مصرف در رژیم‌های غذایی بشر دارد. از طرف دیگر، حدوداً ۹۰ درصد از اسیدهای چرب موجود در روغن کاملینا، اشباع نشده هستند که باعث منحصر به فرد بودن روغن آن شده است (Figuerola et al., 2017). از طرف دیگر با توجه به اینکه در ایران در نتیجه تنش خشکی مشکلات تأمین دانه‌های روغنی وجود دارد گیاه کاملینا به دلیل مقاومت نسبت به خشکی می‌تواند در راستای رفع این مشکل مورد استفاده قرار گیرد (Kahrizi et al., 2015).

در بین تنش‌های محیطی، تنش خشکی یکی از شایع‌ترین آن در سطح کره زمین برای تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است که موجب کاهش یا تأخیر در جوانه‌زنی، سرعت رشد اندام‌ها و کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (Chaudhry & Sidhu, 2022). پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که پدیده تغییر اقلیم، وضعیت بارندگی را در آینده از شرایط فعلی بدتر خواهد نمود (Malhi et al., 2021). این امر به‌ویژه در مرحله جوانه‌زنی حائز اهمیت است، زیرا نقش عمده‌ای را در تعیین تراکم نهایی گیاه از خود به جا می‌گذارد. از طرفی، جوانه‌زنی بذر به‌عنوان اساسی‌ترین مرحله تعیین‌کننده رشد گیاه می‌باشد و فرآیندی پیچیده و چند مرحله‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود (Nikkhah et al., 2022). بذرهای بالغ خشک، اندام‌های در حال رکودی هستند که فعالیت متابولیکی

آن‌ها تقریباً در حال سکون می‌باشد و برای جوانه‌زنی و انجام فعالیت‌های متابولیکی آنزیم‌های هیدرولیزکننده موجود در جنین، نیازمند جذب آب، دمای مناسب و اکسیژن کافی می‌باشند (Shahverdi et al., 2019). خشکی منجر به کاهش قابلیت دسترسی به آب شده و در نتیجه اثرگذاری نامطلوبی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دارد (Hussain et al., 2018). یکی از پیامدهای رایج ناشی از تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب در بستر بذر است که در مراحل اولیه جوانه‌زنی، منجر به کاهش جذب آب توسط دانه و بازدارنده تداوم فرآیندهای مربوط به جوانه‌زنی شده و در نتیجه باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه می‌شود (Abdellaoui et al., 2019).

در همین راستا، محققین پس از بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی گیاه کلزا گزارش کردند که با افزایش سطح خشکی درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی افزایش یافت (Channaoui et al., 2017). در مطالعاتی بر رقم‌های بهاره و زمستانه‌ی گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی نشان داده شد که افزایش سطوح تنش خشکی موجب کاهش پروتئین محلول بذر و همچنین افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول بذر گردید (Çanak et al., 2020). در پژوهشی پس از بررسی اثر چهار سطح خشکی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حاصل از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاه کاملینا گزارش شد که افزایش سطح خشکی تا ۲۰ درصد (معادل ۵/۰- مگاپاسکال در دمای ۲۵ درجه سلسیوس) موجب کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در کاملینا گردید (Yadav et al., 2017).

یکی از روش‌های ساده و ارزان برای افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، خروج یکنواخت‌تر و سریع‌تر گیاهچه، کاهش ناهمگنی فیزیولوژیکی در استقرار گیاهچه، حذف یا ضعیف کردن موانع برای رشد جنین، مقاومت به تنش‌های زنده مانند حمله آفات و مقابله با تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، تنش شوری و درجه حرارت‌های پایین، حذف خواب بذر و اصلاح سلول‌های زوال‌یافته با استفاده از پرایمینگ بذر است (Hasanuzzaman et al., 2019). پرایمینگ در حقیقت روشی است که قبل از جوانه‌زنی بذر اعمال می‌شود و در آن سطح جذب

ساقه (۳۲ درصد)، وزن خشک ریشه‌چه (۷۵ درصد) و فعالیت آلفا آمیلاز (۶۶/۴۳ درصد) نسبت به تیمار عدم پرایمینگ گردید. Al-Hussaini & Alsaadawi (2013) اظهار نمودند در شرایط تنش خشکی، محلول پاشی با عصاره گیاه چاودار به طور معنی داری تولید زیست توده، محتوای کلروفیل و پرولین و عملکرد دانه گیاه ماش را افزایش داد.

گزارش شده است که افزایش مدت زمان پرایمینگ بیش از ۲۴ ساعت روی ویژگی‌های جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و شاخص جوانه‌زنی همیشه بهار اثر منفی داشته است (Hussain et al., 2008). اثر مدت زمان پرایمینگ و پتانسیل اسمزی در رونویسی هسته و نقش فرایندهای مولکولی برای بهبود یکنواختی و جوانه‌زنی بذر بررسی شده است و گزارش شده است که رونویسی از هسته در بذرهایی که تحت پتانسیل اسمزی پائین پرایم شده بودند، بیشتر بوده است (Hardegree & Emmerich, 1994). مطالعات در بررسی تاثیر مدت زمان هیدرو پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر تریچه نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر تریچه در هیدرو پرایمینگ ۱۵ ساعت و غلظت ۴ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم افزایش یافت (Farzane et al., 2012).

به طور کلی به دلیل اهمیت پتانسیل آب در مرحله جوانه‌زنی تأثیر آن بر استقرار گیاهان از جمله کاملینا به ویژه در شرایط تنش خشکی، انجام مطالعه و بررسی در این زمینه ضروری می‌باشد. بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ با عصاره گیاه چاودار و مدت زمان پرایمینگ بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا تحت تنش خشکی طراحی و اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. عامل اول پرایمینگ با عصاره ریشه گیاه چاودار رقم دانکو در ۳ سطح (صفر، ۴۰ و ۶۰ درصد)، عامل دوم زمان‌های پرایمینگ در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۲ ساعت) و عامل سوم شامل تنش خشکی در ۳ سطح (صفر، ۳- و ۶- بار) بود. جهت به‌دست آوردن عصاره ریشه گیاه چاودار، ابتدا خاک

آب در بذر کنترل شده و تا سطحی ادامه می‌یابد که فعالیت‌های اولیه جوانه‌زنی مثل فعال شدن هورمون‌ها، آنزیم‌ها و شکستن بافت‌های ذخیره شده در بذر شروع شده اما از خروج ریشه‌چه جلوگیری می‌شود (Farooq et al., 2010).

امروزه استفاده از عصاره‌های گیاهی نیز جهت پیش‌تیمار بذرها در شرایط تنش قوت گرفته است. عصاره‌های گیاهی شامل دامنه متنوعی از مواد آلی هستند که می‌توانند منجر به فعالیت‌ها و واکنش‌های مختلفی شوند (Farooq et al., 2009). بسیاری از عصاره‌های گیاهی می‌توانند در فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با جوانه‌زنی و رشد و نمو گیاهان مداخله نمایند و زمانی که گیاه در هر یک از مراحل رشد خود در معرض مواد آللوپاتیک عصاره‌های گیاهی قرار می‌گیرد، شروع به تولید گونه‌های اکسیژن فعال ROS نموده و تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد که القاء تنش اکسیداتیو به وسیله عصاره گیاهی می‌تواند منجر به تحریک فعالیت آنزیم‌های جاروب‌کننده گونه‌های اکسیژن فعال از قبیل کاتالاز و پراکسیداز و همچنین پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء در گیاه شود (Alivand & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2017). چاودار (*Secale cereale*) از گیاهان پوششی و علوفه‌ای بوده و از کارایی زیادی در تولید مواد آلوشیمیایی برخوردار هستند و مواد مترشح چاودار در سطح خاک انباشته شده، مانع جوانه‌زنی و رشد و نمو علف‌های هرز ریز بذر نزدیک سطح خاک می‌شود. این در حالی است که روی گیاهان زراعی چنین پدیده‌ای دیده نمی‌شود (Pandey, 1996). به گفته (Bajwa et al., 2018)، پرایمینگ بذر گندم با بنزیل آمینوپورین (BAP) و عصاره گیاه چاودار باعث افزایش فعالیت آلفا آمیلاز شد. Pourghasemian & Moradi (2021) طی پژوهشی مشاهده نمودند پرایمینگ بذر گیاه کنجد با عصاره گیاه شیرین بیان موجب افزایش طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه نسبت به تیمار شاهد در شرایط تنش خشکی گردید. در آزمایشی (Huang et al., 2021) مشاهده نمودند پرایمینگ بذر گیاه کاملینا با عصاره گیاه سورگوم موجب افزایش درصد سبز شدن (۹۶/۹۸ در صد)، افزایش طول ریشه‌چه (۸۲ در صد)، طول

<sup>1</sup> Reactive Oxygen Species

<sup>2</sup> Benzylaminopurine



به منظور ارزیابی جوانه‌زنی، نمونه‌های ۲۵ تایی بذر کاملینا در هر پتری به همراه کاغذ صافی به روش روی کاغذ، در دمای متناوب ۳۰-۲۰ درجه سلسیوس درون ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۷ روز، بر اساس سطوح تیماری قرار گرفت (ISTA, 2010). بدین منظور بذور آغشته شده با تیمارهای عصاره گیاه چاودار و آغشته نشده بلافاصله درون پتری‌های ۹۰ میلی‌متری که به میزان ۵ میلی‌لیتر آب مقطر جهت تیمار شاهد و ۵ میلی‌لیتر محلول اسمزی جهت اعمال تنش خشکی کشت شد و طی آزمون جوانه‌زنی استاندارد، تعداد بذورهای جوانه‌زده به صورت روزانه شمارش شد. در آزمون جوانه‌زنی استاندارد نمونه‌ها بذر در ۴ تکرار به روش روی کاغذ درون پتری با قطر ۹ قرار داده شد و به هر پتری ۶ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و چهار پتری نمونه بذر بدون پرایم به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و در ژرمیناتور به مدت ۷ روز قرار داده شد و شمارش بذورهای جوانه‌زده از روز اول در ساعتی معین صورت گرفت. به هنگام شمارش، بذورهای جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها از ۲ میلی‌متر بیشتر بوده است (Miller & Chapman, 1978). در پایان دوره ۷ روزه پس از شمارش تعداد بذورهای جوانه‌زده، از هر پتری ۱۰ عدد گیاهچه به صورت تصادفی انتخاب شد. طول گیاهچه (طول ساقه‌چه و ریشه‌چه) با خط کش و برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. صفاتی از قبیل درصد جوانه‌زنی (رابطه ۲) و سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۳) اندازه‌گیری شد.

رابطه (۲): درصد جوانه‌زنی (GP) (Ikic et al., 2012)

$$GP = 100 \times (\text{تعداد کل بذرها} / \text{تعداد بذورهای جوانه زده})$$

GP: درصد جوانه‌زنی، n: مجموع کل بذورهای جوانه‌زده در پایان آزمایش، N: کل بذورهای کاشته شده

رابطه (۳): سرعت جوانه‌زنی (GR) (Verma et al., 2005)

$$GR = \sum \frac{Ni}{Ti}$$

Ni: تعداد بذورهای جوانه‌زده در هر روز، Ti: تعداد روزها پس

از شروع آزمایش

برای اندازه‌گیری قند محلول از روش ایریگوئن و همکاران (Irigoyen et al., 1992) استفاده شد و میزان جذب نمونه‌ها در

گلدان (نسبت ۲ به ۱، خاک مزرعه به ماسه نرم) در دستگاہ اتوکلاو ضدعفونی شد. سپس تعداد ۱۶ گلدان نایلونی به ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۸ سانتی‌متر به نحوی پر شدند که سطح خاک هر گلدان تا دهانه آن ۵ سانتی‌متر فاصله داشت. سپس ۱۰ بذر چاودار رقم دانکو در عمق یک سانتی‌متری کاشته شد. پس از استقرار گیاهچه‌ها و در مرحله چهار برگی، بوته‌ها در گلدان تنک و در نهایت پنج بوته در هر گلدان نگه داشته شد. آبیاری گلدان‌ها هر ۲ روز یکبار انجام شد. پس از سه هفته از زمان کاشت نمونه‌برداری از ریشه‌ها انجام و جهت عصاره‌گیری مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت از عصاره استخراج شده از هر نمونه غلظت مورد نظر تهیه شد (جهت عصاره‌گیری ابتدا ریشه‌های گیاه چاودار به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شد و پس از آن نمونه‌ها پودر شدند. سپس ۱۰ گرم از نمونه پودر شده در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر به صورت محلول در آورده و به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده شد، بعد از آن محلول به دست آمده از کاغذ صافی عبور داده و از آن نسبت‌های مورد نظر جهت آزمایش به دست آمد).

ابتدا بذورهای کاملینا رقم سهیل که از مرکز تحقیقات شیراز تهیه شده بود با هیپوکلریت سدیم پنج در صد به مدت یک دقیقه ضدعفونی شد (Cuero et al., 1982). پس از به دست آوردن عصاره ریشه چاودار تیمارهای مورد بررسی برای پرایمینگ انتخاب و بذرها در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد سلسیوس در تاریکی در عصاره‌های ریشه چاودار در غلظت‌های تعیین شده غوطه‌ور شدند، پس از پرایمینگ در زمان‌های تعیین شده، بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شد. از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ (PEG 6000) برای ایجاد سطوح پتانسیل اسمزی استفاده شد، جهت محاسبه مقدار پلی اتیلن گلایکول برای هر سطح از پتانسیل مورد نظر از رابطه (Michel & Kaufman, 1973) استفاده شد.

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

در این رابطه  $\Psi_s$  پتانسیل آبی بر اساس واحد بار، T دمای محیط کشت بذر بر اساس درجه سلسیوس و C غلظت پلی اتیلن گلایکول بر حسب گرم بر لیتر آب می‌باشد.

طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید. محتوای پرولین بذر نمونه‌ها با استفاده از روش پاکوئین و لچازر (Paquin & Le chasseur, 1979) اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر قرائت گردید. برای سنجش محتوای مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید غشای سلولی از روش هیت و پاکر (Heath & Packer, 1968) با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از ضریب خاموشی ( $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) گردید. سنجش فعالیت آلفا آمیلاز با استفاده از روش لورتو و ولیکوا (Xiao et al., 2006) انجام و در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، ۹،۱ و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel، نسخه ۲۰۱۳ انجام گردید. مقایسه میانگین اثرات اصلی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش‌ها از رویه L.S.Means برای مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر سه‌گانه تنش خشکی، غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ بر محتوای قندهای محلول و محتوای مالون‌دی‌آلدئید، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه در کاملینا در سطح احتمال خطای یک درصد دارد. در محتوای پرولین اثر دوگانه غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ، خشکی و غلظت پرایمینگ و خشکی و زمان پرایمینگ در سطح احتمال خطای یک درصد، فعالیت آلفا آمیلاز نیز نشان از معنی‌داری اثر دوگانه غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ و خشکی و غلظت پرایمینگ در سطح احتمال خطای یک درصد و در طول ساقه‌چه نیز اثر دوگانه خشکی و زمان پرایمینگ و خشکی و غلظت پرایمینگ در سطح احتمال خطای یک درصد دارد. (جدول ۱).

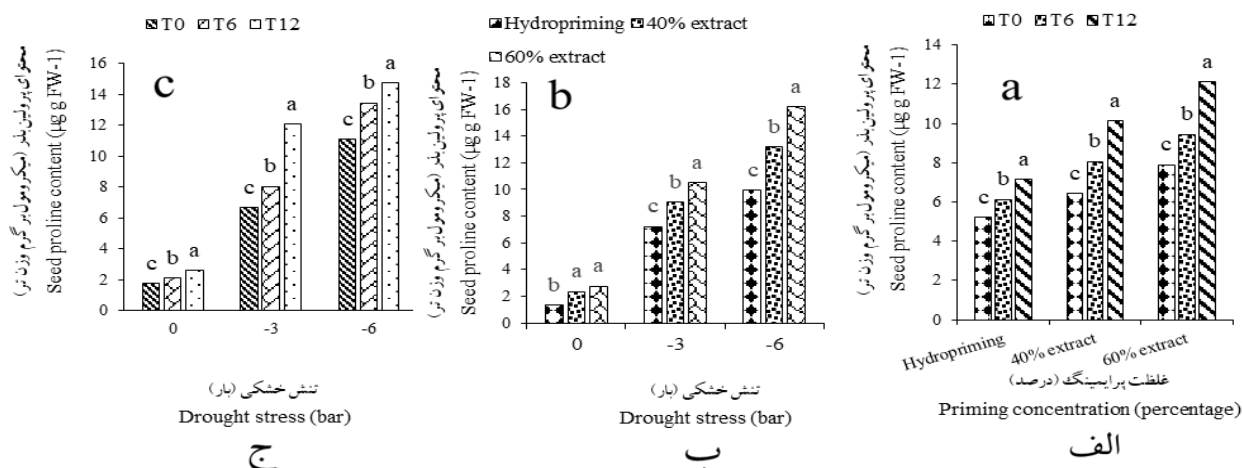
## محتوای پرولین

نتایج مقایسه میانگین سطوح زمان پرایمینگ در هر سطح

غلظت پرایمینگ نشان داد با افزایش غلظت پرایمینگ به ۶۰ درصد به محتوای پرولین افزوده شد و زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت نیز اثر مثبتی بر محتوای پرولین بذر داشت. به‌طوریکه در غلظت‌های هیدروپرایمینگ، پرایمینگ با عصاره ۴۰ و عصاره ۶۰ درصد بیشترین محتوای پرولین بذر به ترتیب با میانگین‌های ۷/۹۰، ۹/۴۵ و ۱۲/۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر بذر از زمان ۱۲ ساعت حاصل شد که به ترتیب موجب افزایش ۵۱/۳۴، ۵۴/۴۱ و ۶۹/۳ درصدی محتوای پرولین بذر نسبت به زمان صفر شد (شکل ۱-الف). شکل ۱-ب بیانگر این است که در تنش خشکی صفر، ۳- و ۶- بار بیشترین محتوای پرولین (۲/۷۶، ۱۰/۵۰ و ۱۶/۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) مربوط به عصاره ۶۰ درصد بود که با کمترین میزان آن (۱/۳۳، ۷/۲۳ و ۹/۹۲ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) در سطح هیدروپرایمینگ به ترتیب اختلاف ۵۱/۸۱، ۳۱/۱۴ و ۳۸/۷۲ درصدی داشتند.

نتایج مقایسه میانگین سطوح زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی نشان داد به‌طور کلی با افزایش سطوح تنش و همچنین زمان پرایمینگ به محتوای پرولین بذر کاملینا افزوده شد که در هر سه سطح صفر، ۳- و ۶- بار تنش خشکی بیشترین محتوای پرولین بذر از زمان ۱۲ ساعت پرایمینگ حاصل شد و به ترتیب موجب افزایش ۴۸/۲۷، ۸۰/۹۵ و ۳۲/۵۵ درصدی نسبت به زمان صفر شد (شکل ۱-ج).

آمینواسید پرولین از جمله تنظیم‌کننده‌های اسمزی است که در بسیاری از گیاهان عالی شناسایی شده است و معمولاً در مقادیر زیاد در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابد؛ شکسته شدن سریع پرولین پس از پایان یافتن شرایط تنش، تأمین‌کننده عوامل لازم برای فسفریلاسیون اکسیداتیو میتوکندریایی و تولید ATP برای ترمیم آسیب‌های ناشی از تنش است (Shahverdi et al., 2019). Yadav et al. (2017) پس از بررسی اثر چهار سطح خشکی حاصل از پلی‌اتیلن گلاکول ۶۰۰۰ بر جوانه‌زنی گیاه کاملینا گزارش کردند که افزایش سطح خشکی تا ۲۰ درصد موجب افزایش محتوای پرولین بذر شد. مطالعات Çanak et al. (2020) بر رقم‌های بهاره و زمستانه گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی نشان داد که خشکی اثر مثبت معنی‌داری بر افزایش محتوای پرولین بذر کاملینا داشت.



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف زمان پرایمینگ در هر سطح غلظت پرایمینگ (الف)، سطوح مختلف غلظت پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (ب) و سطوح مختلف زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (ج) برای محتوای پرولین بذر کاملینا. (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی داری با هم ندارند).

Figure 1- Comparison of the average effect of different levels of priming at each level of priming time (a), different levels of priming in each level of drought stress (b) and different levels of time in each level of drought stress (c) for the proline content of Camelina seeds. (The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی، پرایمینگ و زمان پرایمینگ بر برخی از خصوصیات مورد بررسی بذر کاملینا

Table 1- analysis of variance (mean square) of the effect of drought stress, priming and priming time on some investigated characteristics of Camelina seeds

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	محتوای پرولین Proline content	محتوای قندهای محلول soluble sugars content	محتوای مالون دی آلدیید Malondialdehyde content	فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز Alpha amylase activity	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقچه Shoot length
خشکی Drought (D)	2	1102.54**	7194.96**	0.24**	377.21**	6312.44**	386.44**	4447.44**	177.09**
زمان Time (T)	2	98.06**	1177.71**	0.1 <sup>ns</sup>	91.02**	324.00**	21.83 <sup>ns</sup>	196.40 <sup>ns</sup>	38.05 <sup>ns</sup>
پرایمینگ Priming (P)	2	120.89**	465.41**	0.03**	101.51**	2061.77**	103.53**	1021.64**	53.28**
خشکی × زمان D × T	4	19.32**	137.20**	0.002**	0.31 <sup>ns</sup>	19.11 <sup>ns</sup>	4.23**	263.63**	9.79**
خشکی × پرایمینگ D × P	4	17.96**	31.37**	0.0001 <sup>ns</sup>	1.73**	39.55*	9.69**	54.02**	4.39**
پرایمینگ × زمان P × T	4	4.58**	11.32**	0.0001 <sup>ns</sup>	1.38**	179.11**	29.78**	46.02**	0.61 <sup>ns</sup>
خشکی × زمان × پرایمینگ D × T × P	8	0.69 <sup>ns</sup>	9.66**	0.001**	0.31 <sup>ns</sup>	42.88*	6.27**	30.51**	0.79 <sup>ns</sup>
خطا آزمایش Error	81	0.59	2.06	0.0002	0.33	19.9	3.13	9.61	0.89
ضریب تغییرات C.V		9.58	3.51	4.25	5.25	5.7	12.14	7.01	9.47

\*\*، \*، ns به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد و عدم تفاوت معنی دار.

\*\*، \*، ns significant at 1 and 5 percent levels of probability and non-significant, respectively



سطح ۶- بار تنش خشکی از تیمار پرایمینگ با عصاره ۴۰ درصد به همراه زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت بیشترین محتوای قندهای محلول بذر حاصل شد که موجب افزایش ۶۴/۷۵ درصدی در محتوای قندهای محلول بذر نسبت به تیمار شاهد (زمان صفر و هیدروپرایمینگ) شد (شکل ۲).

قندهای محلول به عنوان محافظت کننده های اسمزی در تنظیم اسمزی سلول نقش دارند و در پاسخ به تنش های محیطی تجمع می یابند. این ترکیبات موجب ثبات غشای سلولی و حفظ فشار تورژ سانس سلولی در طول تنش می شوند (Vurukonda et al., 2016). در شرایط تنش خشکی رادیکال های آزاد افزایش می یابند و موجب بروز تنش اکسیداتیو و آسیب زدن به ساختار غشای سلول می گردد. سلول های گیاهی با افزایش آنزیم های سرکوب کننده ی رادیکال های آزاد و قندهای محلول در آب، در صدد جبران و مقابله با تنش و آسیب های وارد شده می شوند (Shahverdi et al., 2019). نقش قندها به عنوان پیش ماده در متابولیسم کربن و انرژی شناخته شده است و حفاظت از گیاه در برابر از دست دادن آب به افزایش قندها در اندام های گیاه بستگی دارد. تنش خشکی، تبدیل قندها و سایر کربوهیدرات ها مانند ساکارز و نشاسته به قندهای الکلی را در پی دارد (Koca et al., 2007).

پرایمینگ در زمان بیشتر با استفاده از افزایش تجمع قندهای محلول در سلول و تنظیم اسمزی سلول های گیاهی باعث تعدیل آثار مخرب تنش خشکی می شود (Hasanuzzaman & Fotopoulos, 2019). در تحقیقی کاربرد خارجی پرایمینگ موجب افزایش تجمع قندهای محلول در شرایط تنش خشکی در کلزا گردید (Channaoui et al., 2017). Al-Hussaini & Alsaadawi (2013) اظهار نمودند در شرایط تنش خشکی، محلول پاشی با عصاره گیاه چاودار به طور معنی داری تولید قندهای محلول را افزایش داد. به بیان آن ها پیش تیمار بذر با عصاره گیاه چاودار در رفع آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش نقش دارد و باعث ترمیم غشاها و پویایی ذخایر قندی و پروتئینی و در نهایت باعث افزایش شاخص های جوانه زنی گیاهچه می شود. عصاره گیاهی با افزایش کشش دیواره سلولی یعنی انبساط دیواره از طریق هیدرولیز نشاسته به قند که کاهش پتانسیل آب سلول را به دنبال دارد، باعث ورود آب به درون سلول و طولیل شدن سلول می شود

عصاره گیاهی با افزایش میزان پرولین در بذر باعث ایجاد مقاومت و کمتر شدن آسیب های ناشی از تنش ها می شود (Huang et al., 2021). (Al-Hussaini & Alsaadawi, 2013). مطالعه اثر عصاره چاودار بر گیاه ماش بیان نمودند حضور تیمار عصاره چاودار باعث کمک به افزایش میزان پرولین بوده است به طوری که بیشترین میزان پرولین در با حضور تیمار عصاره چاودار و کمترین میزان تیمار شاهد بود. (Ramezani & Rezaei, 2012) بیان کردند انجام پرایمینگ در زمان بیشتر با محتوای پرولین بذر را افزایش می دهد و با افزایش آن در سلول و تنظیم اسمزی سلول های گیاهی باعث تعدیل آثار مخرب تنش می شود. در راستا با نتایج محققین می توان بیان نمود که در پژوهش حاضر غلظت و زمان بالای پرایمینگ (غلظت ۶۰ درصد و زمان ۱۲ ساعت) می تواند در شرایط تنش خشکی با تنظیم اسمزی سلول ها اثرات مخرب تنش خشکی را کاهش دهد.

### محتوای قندهای محلول بذر

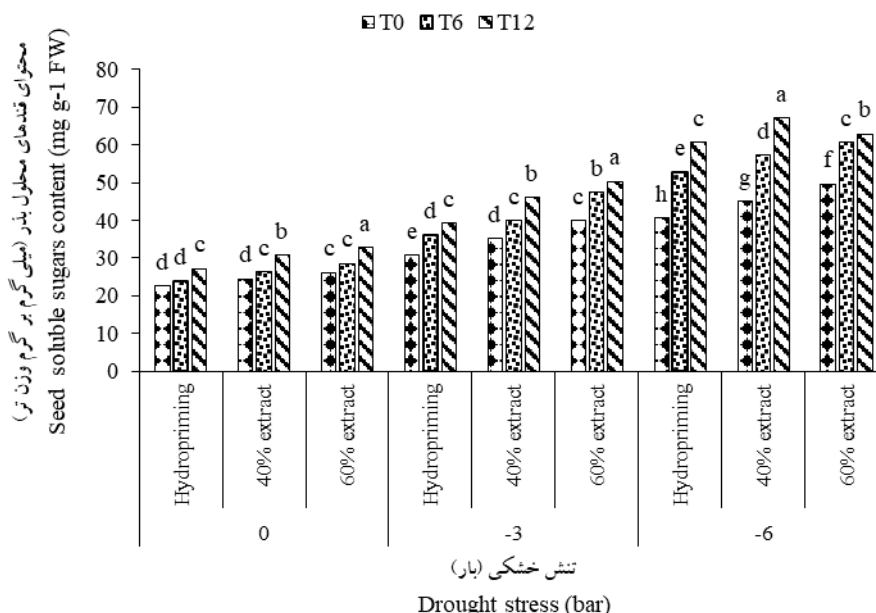
نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش خشکی به محتوای قندهای محلول بذر افزوده شد و کاربرد پرایمینگ نیز موجب ایجاد بیشترین محتوای قندهای محلول بذر نسبت به شاهد شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین سطوح غلظت و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی نشان داد در سطح بدون تنش، پرایمینگ با عصاره ۶۰ درصد به همراه زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت با میانگین ۳۲/۸۸ میلی گرم بر گرم وزن تر بذر از بیشترین محتوای قندهای محلول بذر برخوردار بود که موجب افزایش ۴۶/۱۳ درصدی محتوای قندهای محلول بذر نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۲).

در سطح ۳- بار تنش خشکی نیز پرایمینگ با عصاره ۶۰ درصد به همراه زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت با میانگین ۵۰/۲۷ میلی گرم بر گرم وزن تر بذر از بیشترین محتوای قندهای محلول بذر و تیمار شاهد (زمان صفر و عدم پرایمینگ) از کمترین محتوای قندهای محلول بذر (۳۰/۷۶ میلی گرم بر گرم وزن تر بذر) برخوردار بودند که بین آن ها اختلاف ۳۸/۸۱ درصدی مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد بین تیمارهای عصاره ۶۰ درصد + زمان پرایمینگ ۶ ساعت و پرایمینگ عصاره ۴۰ درصد + ۱۲ ساعت اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۲). در

چاودار به خصوص غلظت ۶۰ و زمان‌های ۶ و ۱۲ ساعت جهت افزایش محتوای قندهای محلول استفاده کرد تا در شرایط تنش آسیب‌های اکسیداتیو رفع شود و آب بیشتری به درون سلول وارد شود و موجب طویل شدن سلول و رشد طولی گردد.

(Alivand & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2017).

از آنجا که استفاده از غلظت و همچنین زمان بیشتر موجب افزایش قندهای محلول گردیده است، نتیجه گرفته می‌شود که می‌توان در شرایط تنش خشکی از پرایمینگ عصاره ریشه گیاه



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای محتوای قندهای محلول بذر کاملینا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 2- Comparison of the average effect of different levels of concentration priming and priming time at each level of drought stress for the content of soluble sugars in *Camelina* seeds.

(The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

زمانی که گیاهان در معرض تنش محیطی قرار می‌گیرند، پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشای پلاسمایی اتفاق افتاده و سبب تولید مالون‌دی‌آلدئید می‌شود، این امر سبب خسارت به سامانه غشایی، مختل شدن نفوذپذیری انتخابی و افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود. بنابراین محتوای مالون‌دی‌آلدئید می‌تواند منعکس‌کننده شدت پراکسیداسیون غشا باشد (Canak et al., 2020). گزارش شده است که غلظت مالون‌دی‌آلدئید در گیاهان می‌توانند معیارهای مناسبی در جهت ارزیابی مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی باشد. رادیکال‌های آزاد اکسیژن یا واکنش‌های پراکسیداسیون لیپیدها، در غشای گیاهی به‌طور انتخابی اسیدهای چرب غیراشباع را تجزیه کرده و باعث تجمع آلدئیدها، هیدروکربن و غیره می‌شود. برای سنجش میزان آسیب وارده به سلول‌های گیاهی در نتیجه تنش‌ها، مالون‌دی‌آلدئید را نیز اندازه

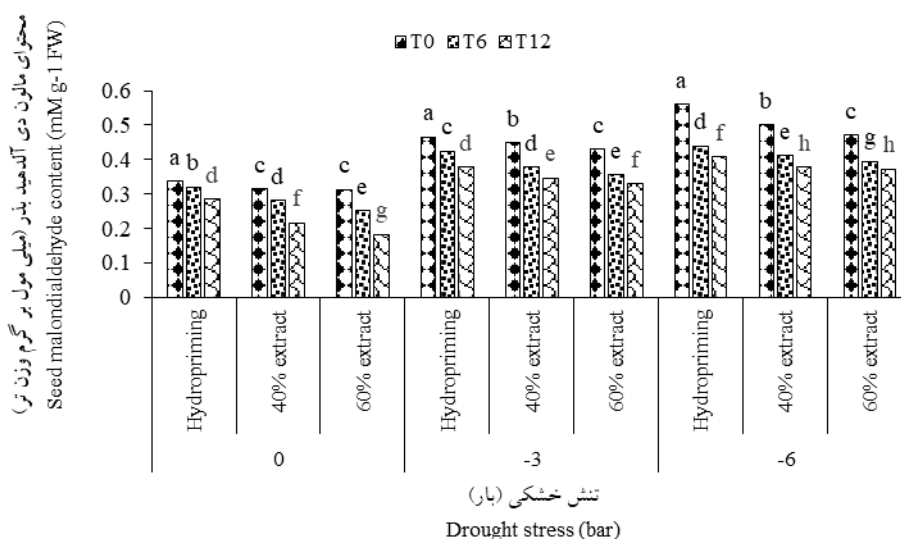
### محتوای مالون‌دی‌آلدئید بذر

نتایج مقایسه میانگین سطوح غلظت و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی نشان دهنده آن است که با افزایش سطوح تنش خشکی محتوای مالون‌دی‌آلدئید نیز افزایش یافته است اما کاربرد پرایمینگ موجب کاهش این روند نسبت به تیمار شاهد گردیده است. در هر سه سطح تنش صفر، ۳- و ۶- بار بیشترین محتوای مالون‌دی‌آلدئید به ترتیب با میانگین ۰/۳۳۷، ۰/۴۶۵ و ۰/۵۶۰ میلی‌مول بر گرم تر بذر از تیمار شاهد (زمان صفر و هیدرو پرایمینگ) و کم‌ترین آن نیز به ترتیب با میانگین‌های ۰/۱۸۲، ۰/۳۳۰ و ۰/۳۷۲ میلی‌مول بر گرم تر بذر از تیمار پرایمینگ با عصاره ۶۰ درصد + زمان ۱۲ ساعت حاصل شد که به ترتیب با یکدیگر اختلاف ۴۵/۹۹، ۲۹/۰۳ و ۳۳/۵۷ درصدی داشتند (شکل ۳).

دی آلدئید گیاهچه‌ها را کاهش داد. آن‌ها بیان داشتند که کاهش مالون دی آلدئید توسط عصاره گیاهی احتمالاً به این دلیل است که عصاره گیاهی می‌تواند با کلاته کردن یون‌های فلزی یا ترکیب شدن با لیپیدها، اکسیداسیون لیپیدها را کاهش دهد. (Estekhdami et al., 2017) در پژوهشی مشاهده نمودند که پرایمینگ بذر سویا با عصاره گیاه مرزنجوش به مدت ۹ ساعت و با غلظت ۶۰ درصد دارای کم‌ترین محتوای مالون دی آلدئید بذر بود.

می‌گیرند (Heidari et al., 2021). در پژوهشی نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش محتوای مالون دی آلدئید بذر ذرت شد (Manu et al., 2019).

عصاره‌های گیاهی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی در گیاه باعث پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال شناخته شده‌اند (Pandey, 1996). (Alivand & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2017) گزارش کردند که پرایمینگ بذرهای گلرنگ با عصاره‌های گیاه راز یا نه، نعنای و زیره سبز محتوای مالون



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای محتوای مالون دی آلدئید بذر کاملینا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 3- Comparison of the average effect of different levels of concentration priming and priming time at each level of drought stress for the Malondialdehyde camelina in camelina seeds. (The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

شد (شکل ۴-الف).

نتایج شکل ۴-ب بیانگر این است که با افزایش سطوح تنش خشکی از فعالیت آلفا امیلاز کاسته شد اما کاربرد پرایمینگ به‌ویژه سطح عصاره ۶۰ درصد موجب افزایش آن شد. در تنش خشکی صفر، ۳- و ۶- بار بیشترین فعالیت آلفا امیلاز بذر (۱۶/۳۳، ۱۱/۶۲ و ۹/۹۵ نانومول بر بذر بر دقیقه) مربوط به عصاره ۶۰ درصد بود که با کمترین میزان آن (۱۲/۸۳، ۸/۹۹ و ۶/۰۲ نانومول بر بذر بر دقیقه) در سطح هیدروپرایمینگ به ترتیب اختلاف ۲۱/۴۳، ۲۲/۶۳ و ۳۹/۴۲ درصدی داشتند. نتایج این پژوهش با نتایج (Kruger et al., 2014) بر روی

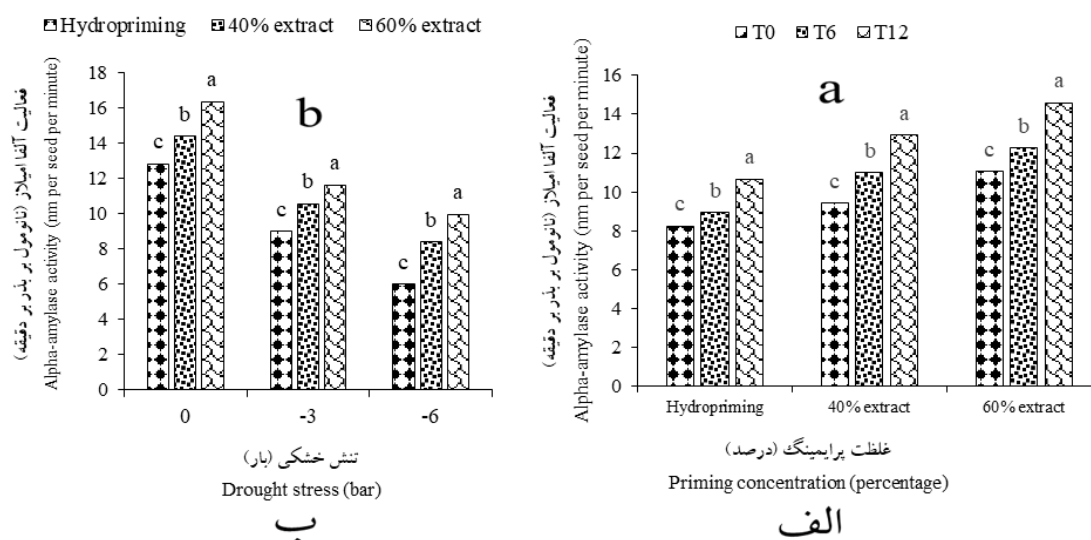
### فعالیت آلفا آمیلاز

نتایج مقایسه میانگین سطوح غلظت در هر سطح زمان پرایمینگ نشان داد با افزایش غلظت پرایمینگ به عصاره ۶۰ درصد به فعالیت آلفا امیلاز بذر کاملینا افزوده شد و کاربرد زمان ۱۲ ساعت نیز اثر مثبتی بر فعالیت آلفا امیلاز بذر داشت. به‌طوریکه در سطوح هیدروپرایمینگ، عصاره ۴۰ و عصاره ۶۰ درصد بیشترین فعالیت آلفا امیلاز بذر به ترتیب با میانگین‌های ۱۱/۰۵، ۱۲/۲۶ و ۱۴/۵۹ نانومول بر بذر بر دقیقه از زمان ۱۲ ساعت حاصل شد که به به ترتیب موجب افزایش ۳۳/۹۳، ۲۹/۳۷ و ۳۶/۸۶ درصدی فعالیت آلفا امیلاز بذر نسبت به تیمار زمان صفر

رشد گیاهچه شود.

مطابق تحقیقات، پرایمینگ باعث ایجاد آنزیم‌های سامانه مهار گونه‌های فعال اکسیژن، مانند گلوکوتاتیون ردوکتاز و پراکسیداز می‌شود. بنابراین افزایش سطح عصاره گیاهی ممکن است به گیاه کمک کند تا با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش کنار بیاید (Pourghasemian & Moradi, 2021). گزارشی وجود دارد که نشان می‌دهد پرایمینگ با عصاره گیاهی موجب افزایش فعالیت آلفا آمیلاز در گندم می‌شود (Bajwa et al., 2018).

گیاه سویا مطابقت داشت؛ این محققین ضمن دستیابی به نتایج مشابه دریافتند که کاهش معنی‌دار فعالیت آلفا آمیلاز به دنبال کاهش پتانسیل اسمزی ممکن است به طولانی شدن فاز تأخیر بین مرحله جذب آب مربوط باشد. زیرا در طی این دوره افزایش محتوای رطوبتی بذر به کندی صورت می‌گیرد و از طرفی کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در اثر شرایط تنش خشکی، احتمالاً از طریق کاهش آب در دسترس موجب اختلال در فعالیت آنزیم‌ها برای انتقال مواد غذایی آندوسپرم و بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین شده و همچنین کاهش ترشح هورمون‌ها موجب اختلال در



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف زمان پرایمینگ در هر سطح غلظت پرایمینگ (الف) و سطوح مختلف غلظت پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (ب) برای فعالیت آلفا آمیلاز بذر کاملینا. (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 4- Comparison of the average effect of different levels of priming time at each level of priming concentration (a) and different levels of priming concentration in each level of drought stress (b) for the Alpha-amylase activity of Camelina seeds. (The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

جوانه‌زنی (۷۹ درصد) به‌دست آمد (شکل ۵).

در سطح تنشی ۳- بار بیشترین درصد جوانه‌زنی از تیمار عصاره ۶۰ درصد + زمان ۱۲ ساعت (۸۹ درصد) حاصل شد که موجب افزایش ۳۶/۹۲ درصدی در صد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۵). در سطح تنش ۶- بار بیشترین درصد جوانه‌زنی در عصاره ۶۰ درصد + زمان ۶ ساعت به‌دست آمد اما در این سطح تنشی با افزایش زمان به ۱۲ ساعت از درصد جوانه‌زنی کاسته شد. کم‌ترین این صفت نیز با میانگین ۵۰ درصد از تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۵).

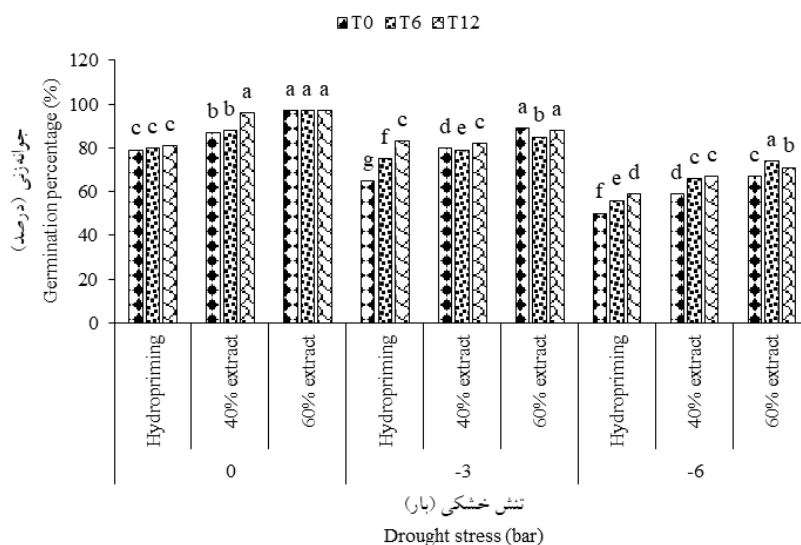
### درصد جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین حاصل از داده‌ها نشان داد با افزایش سطوح تنش خشکی از درصد جوانه‌زنی کاسته شد اما کاربرد پرایمینگ در غلظت بالای عصاره و در زمان‌های بالا موجب افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. در سطح بدون تنش بیشترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۹۷ درصد از تیمارهای عصاره ۶۰ درصد + زمان صفر، عصاره ۶۰ درصد + زمان ۶ ساعت و عصاره ۶۰ درصد + زمان ۱۲ ساعت حاصل شد اما از تیمار شاهد (زمان صفر + هیدرو پرایمینگ) کم‌ترین درصد

افزایش بنیه، و ظهور گیاهان مقاوم و در نتیجه رسیدن گیاهان پاییزه به درجه‌ای از تحمل به تنش خشکی محسوب می‌شود. در شرایط پرایمینگ به دلیل وقوع یک‌سری فرایندهای فیزیولوژیکی در بذر مانند فعال شدن آنزیم‌های هیدرولاز و تجزیه سریع‌تر مواد ذخیره‌ای لازم برای جوانه‌زنی بذر، افزایش تنفس بذر و تولید ATP، جوانه‌زنی تحت تنش خشکی سریع‌تر رخ می‌دهد (Bajwa et al., 2018).

عصاره گیاهی چاودار تغییرات ایجاد شده در فیتوهورمون‌ها که تحت تنش محیطی در گیاه اتفاق می‌افتد را کاهش می‌دهد و از طریق جلوگیری از کاهش سطح هورمون‌های اکسین و سیتوکینین، از کاهش رشد ناشی از تنش جلوگیری کرده و موجب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌گردد (Al-Hussaini & Alsaadawi et al., 2013). Huang et al. (2021) مشاهده نمودند کاربرد عصاره گیاه چاودار موجب افزایش درصد جوانه‌زنی در بذر کاملینا گردید که نتایج تحقیق حاضر همسو با آن بود.

در بیشتر گیاهان جوانه‌زنی بذر حساس‌ترین مرحله در برابر کم‌آبی است به طوری که جوانه‌زنی بذر در گونه‌های حساس به تنش خشکی آهسته شده یا کاهش یافته و در نتیجه استقرار ضعیف است (Kayacetin et al., 2017). Channaoui et al. (2017) بیان کردند که درصد جوانه‌زنی بذر کلزا تحت تنش خشکی کاهش یافت. به نظر می‌رسد کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی و مختل شدن آن‌ها و کاهش انتقال و مصرف اندوخته بذر توسط جنین علت اصلی کاهش درصد جوانه‌زنی است. تنش خشکی در طی جوانه‌زنی می‌تواند باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و اختلال در خروج ریشه‌چه بذر در گونه‌های مختلف ارقام زراعی گردد (Dawadi et al., 2019). پرایمینگ بذر یک تیمار پیش از کاشت است که کارایی جوانه‌زنی را به وسیله افزایش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بهبود می‌بخشد. پرایمینگ بذر، به عنوان یک روش معمول به منظور افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی در مزرعه،



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای درصد جوانه‌زنی کاملینا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 5- Comparison of the average effect of different levels of priming concentration and priming time at each level of drought stress for Germination percentage in camellia seeds.

(The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

تنش با کاربرد عصاره ۴۰ درصد و زمان ۱۲ ساعت بیشترین و در تیمار شاهد نیز کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی حاصل شد. در سطوح تنش خشکی ۳- و ۶- بار بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۱۸/۲۴ و

### سرعت جوانه‌زنی

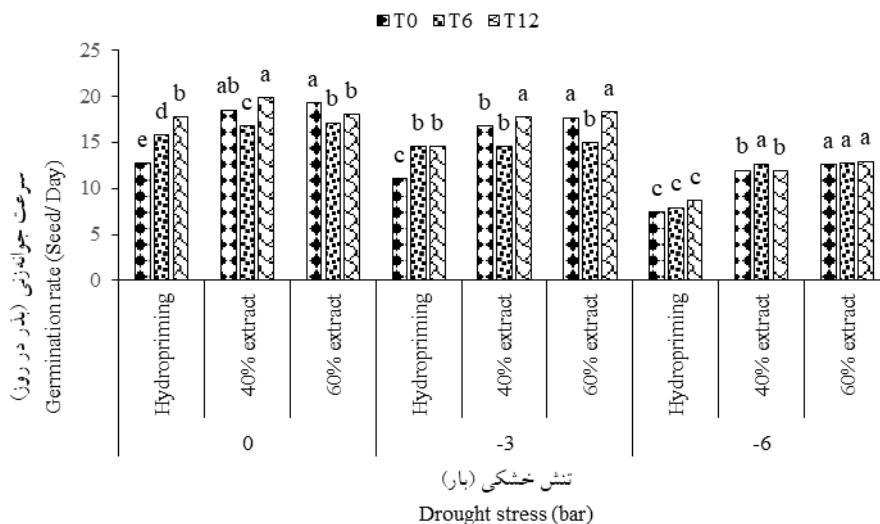
با انجام مقایسه میانگین مشاهده شد با افزایش سطوح تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی روند کاهشی داشت. در سطح بدون



زراعی معرفی شده است (Gupta & Hunsigi, 2010). مطالعه‌ای طی (Khorramdel et al., 2013) روی گیاه سیاهدانه مشاهده نمودند پرایمینگ باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی در سطوح تنش‌های مختلف نسبت به بذرهای شاهد شد. Pourghasemian & Moradi, (2021) گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی در تمام تیمارهای پرایمینگ با عصاره چاودار در بذر گیاه کنجد بالاتر از شاهد بود و اختلاف معنی‌داری با عدم پرایمینگ داشتند. پرایمینگ بذر توسط عصاره چاودار از طریق افزایش جذب آب توسط بذر موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد. در بذرهای پرایم شده، تغییرات متابولیک و بیوشیمیایی به نفع جوانه‌زنی تحقق می‌یابد.

۱۲/۸۹ بذر جوانه‌زده در روز) مربوط به عصاره ۶۰ درصد + زمان ۱۲ ساعت بود که به ترتیب باعث افزایش ۶۴/۹۱ و ۷۳/۹۵ درصدی سرعت جوانه‌زنی نسبت به کمترین میزان آن (۱۱/۰۶ و ۷/۴۱ بذر جوانه‌زده در روز) در شاهد شد (شکل ۶).

تنش خشکی می‌تواند سرعت جوانه‌زنی گیاه را با محدودیت مواجه نماید زیرا مرحله جوانه‌زنی بسیار حساس به تنش خشکی است (Dawadi et al., 2019). (Channaoui et al., 2017) پس از بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی گیاه کلزا گزارش کردند که با افزایش سطح خشکی سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت که نتایج پژوهش حاضر همسو با آن بود. پرایمینگ به عنوان یک فناوری جهت افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، بنیه بالا و بهبود عملکرد در گونه‌های



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای سرعت جوانه‌زنی کاملینا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 6- Comparison of the average effect of different levels of priming concentration and priming time at each level of drought stress for Germination rate in camellia seeds.

(The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

۳۸/۳۰ درصدی طول ریشه‌چه نسبت به کمترین میزان آن (۳۸/۳۰ و ۳۵/۹۷ میلی‌متر) در شاهد شد. در سطح ۶- بار تنش خشکی بیشترین و کمترین طول ریشه‌چه به ترتیب در تیمار پرایمینگ با عصاره ۶۰ درصد + ۶ ساعت و زمان ۱۲ ساعت + هیدروپرایمینگ مشاهده شد (شکل ۷).

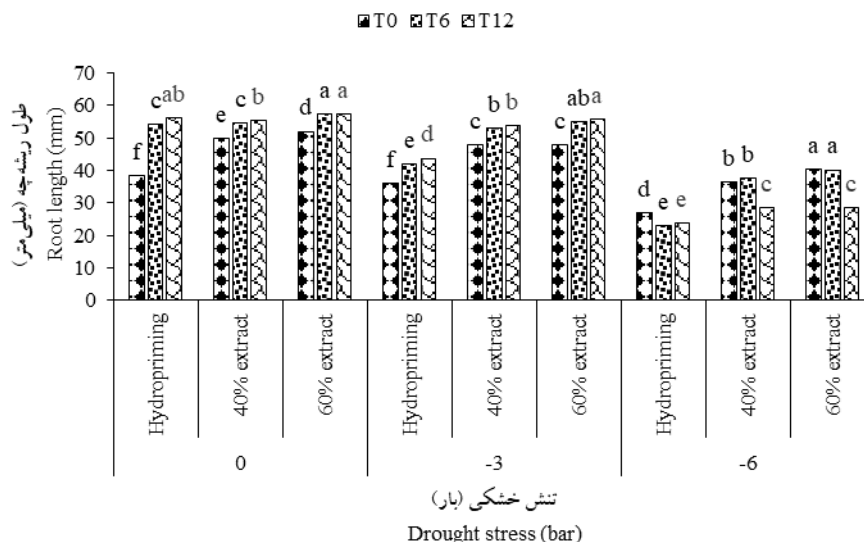
### طول ریشه‌چه

با انجام مقایسه میانگین مشاهده شد با افزایش سطوح تنش خشکی طول ریشه‌چه روند کاهشی داشت. در سطوح صفر و ۳- بار تنش خشکی با کاربرد پرایمینگ با غلظت عصاره ۶۰ درصد و در زمان ۱۲ ساعت در هر سه سطح تنش‌های بیشترین طول ریشه‌چه (۵۷/۳۲ و ۵۵/۷۲ میلی‌متر) که به ترتیب باعث افزایش ۴۹/۸۶ و

فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذر علف بره (*Festuca ovina*) داشته و با افزایش شدت تنش، درصد و سرعت جوانه زنی، بینه بذر، طول ساقه چه، طول ریشه چه کاهش و متوسط زمان جوانه زنی افزایش یافت.

عصاره گیاهی از طریق تنظیم فشار اسمزی سلول، باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی ضروری توسط گیاه شده و در نتیجه رشد گیاه چه در شرایط تنش افزایش پیدا می کند (Faroq et al., 2009). همچنین طی پژوهشی مشخص گردید عصاره های گیاه رازیانه، نعنای و زیره سبز با غلظت یک و دو درصد موجب افزایش درصد جوانه زنی (تا ۱۱/۶ درصد) و بهبود رشد ریشه چه گلرنگ در شرایط تنش کم آبی شد (Alivand & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2017).

Manu et al. (2019) در بررسی تنش خشکی بر طول ریشه چه ذرت نشان دادند که طول ریشه چه، تأثیر پذیری نسبت به تنش داشت و نتیجه گرفتند که ریشه چه حساس ترین قسمت گیاه، نسبت به این تنش است. در بررسی حاضر نیز دیده شد که طول ریشه چه کاملینا نسبت به تنش خشکی حساس بوده، بنابراین می توان گفت که طول ریشه چه معیار مناسبی برای اندازه گیری تحمل به تنش خشکی در گیاهان مختلف است. طبق مشاهدات Muscolo et al. (2014) ریشه اندامی است که وظیفه جذب آب و املاح معدنی را به عهده دارد و تنش خشکی بیشتر از ناحیه ریشه به گیاه وارد می شود، بنابراین ریشه اولین اندامی است که با تنش خشکی مواجه می شود. نتایج آزمایش (Rouhi et al. 2021) نشان داد تنش خشکی اثرات منفی بر شاخص های جوانه زنی،



شکل ۷- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای طول ریشه چه کاملینا (میانگین های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی داری با هم ندارند).

Figure 7- Comparison of the average effect of different levels of priming concentration and priming time at each level of drought stress for Root length in camellia seeds. (The mean comparison was performed using the L.S.Means procedure, and at each level of chitosan, mean with at least one similar letter did not differ significantly).

طول ساقه چه از زمان ۱۲ ساعت پرایمینگ حاصل شد و به ترتیب موجب افزایش ۳۱/۴۰ و ۳۰/۴۷ درصدی نسبت به زمان صفر شد. در سطح ۶- بار نیز هر سه سطح زمانی پرایمینگ در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۱۰). نتایج حاصل از مقایسه میانگین سطوح پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (شکل ۴-۱۱) بیانگر

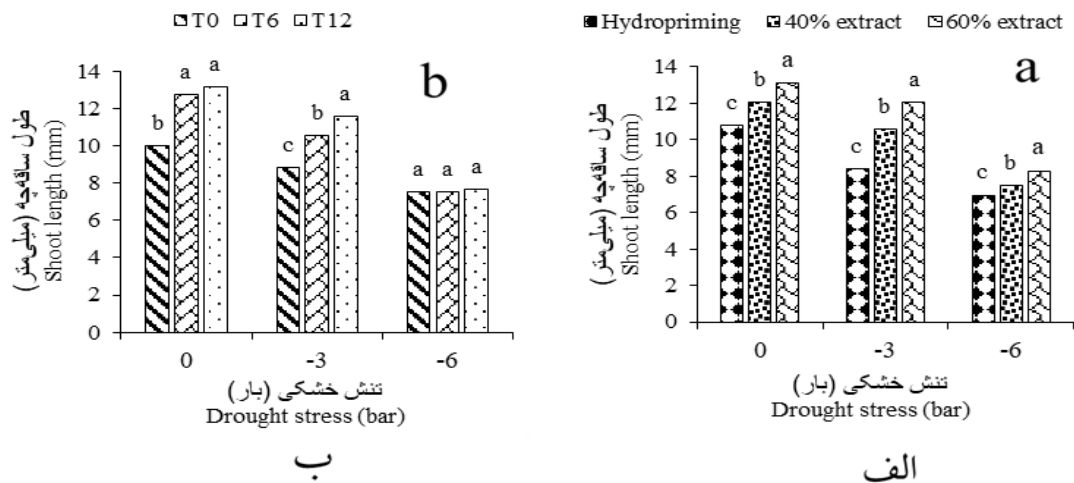
### طول ساقه چه

نتایج مقایسه میانگین سطوح زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی نشان داد به طور کلی با افزایش سطوح تنش از طول ساقه چه کاسته شد ولی زمان پرایمینگ اثر مثبتی بر افزایش طول ساقه چه داشت. در سطوح صفر و ۳- بار تنش خشکی بیشترین

خشکی تا ۲۰ درصد (معادل ۰/۵- مگاپاسکال در دمای ۲۵ درجه سلسیوس) طول ساقه‌چه کاملینا را کاهش داد. عصاره گیاهی از طریق جذب و نگهداری رطوبت و همچنین از طریق تنظیم فشار اسمزی سلول، به رشد اندام‌های رویشی گیاهان کمک می‌کند (Faroq et al., 2009). و احتمالاً یکی از دلایل رشد ساقه‌چه در تحقیق حاضر، همین موضوع است. در پژوهشی Estekhdami et al. (2017) مشاهده نمودند پرایمینگ بذر سویا با عصاره گیاه مرزنجوش به مدت ۹ ساعت و با غلظت ۶۰ درصد دارای بالاترین طول ریشه‌چه بود و کم‌ترین فعالیت آنزیم‌ها در تیمار شاهد مشاهده گردید.

این است که در تنش خشکی صفر، ۳- و ۶- بار بیشترین طول ساقه‌چه (۱۳/۰۹، ۱۲/۰۵ و ۸/۲۷ میلی‌متر) مربوط به عصاره ۶۰ درصد و کمترین میزان آن (۱۰/۷۶، ۸/۳۹ و ۶/۹۶ میلی‌متر) مربوط به تیمار بدون پرایمینگ بود.

کاهش رشد طولی ساقه‌چه در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت کاهش رشد سلول و سنتز مواد دیواره‌ای باشد زیرا شرایط کم‌آبی و پتانسیل منفی بر جذب آب سلول‌ها تأثیر گذاشته و در نتیجه فشار تورژسانس لازم مهیا نمی‌شود و طول سلول کاهش می‌یابد (نظامی و همکاران، ۱۳۹۶). (Yadav et al. (2017). پس از بررسی اثر سطوح تنش خشکی حاصل از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بر جوانه‌زنی گیاه کاملینا گزارش کردند که افزایش سطح



شکل ۸- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (الف) و سطوح مختلف پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (ب) برای طول ساقه‌چه بذر کاملینا. (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 8- Comparison of the average effect of different levels of priming time at each level of drought stress (a) and different levels of priming in each level of drought stress (b) for the Shoot length of Camelina seeds. (The mean comparison was performed using the L.S.Means procedure, and at each level of chitosan, mean with at least one similar letter did not differ significantly).

شوند. با افزایش سطوح تنش خشکی شاخص‌های بیوشیمیایی مانند محتوای پرولین بذر، محتوای قندهای محلول بذر و محتوای مالون دی‌آلدهید افزایش اما از فعالیت آلفا آمیلاز بذر کاسته شد. همچنین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافتند. پرایم بذر با عصاره چاودار در اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به عدم پرایمینگ برتری داشت و مشاهده گردید که پیش‌تیمار بذرها توانست تا حدودی باعث افزایش صفاتی چون

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق مشاهده گردید که تنش خشکی شاخص‌های بیوشیمیایی، گیاهچه‌ای و جوانه‌زنی کاملینا را تحت تأثیر قرار داد و پیش‌تیمار با عصاره آبی چاودار در غلظت ۶۰ درصد و زمان ۱۲ ساعت با بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی توانستند با تأثیر بر سامانه دفاع آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی گیاه باعث افزایش تحمل گیاهچه‌های کاملینا تحت تنش خشکی

**Bajwa, A. A., Farooq, M., & Nawaz, A. (2018).** Seed priming with sorghum extracts and benzyl aminopurine improves the tolerance against salt stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24, 239–249. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0517-6>

**Čanak, P., Jeromela, A., Vujošević, B., Kiproviski, B., Mitrović, B., Alberghini, B., Facciolla, E., Monti, A., & Zanetti, F. (2020).** Is drought stress tolerance affected by biotypes and seed size in the emerging oilseed crop camelina? *Agronomy*, 12, 1856. <https://doi.org/10.3390/agronomy12121856>

**Channaoui, S., El Kahkahi, R., Charafi, J., Mazouz, H., El Fechтали, M., & Nabloussi, A. (2017).** Germination and seedling growth of a set of rapeseed (*Brassica napus*) varieties under drought stress conditions. *International Journal of Environment, Agriculture and Biology*, 2(1), 487–494.

**Chaudhry, S., & Sidhu, G. P. S. (2022).** Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*, 41(1), 1–31. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5>

**Cuero, R. G., Smith, J. E., & Lacey, J. (1986).** The influence of gamma irradiation and sodium hypochlorite sterilization on maize seed microflora and germination. *Journal of Food Microbiology*, 3, 107–113. [https://doi.org/10.1016/0740-0020\(86\)90011-7](https://doi.org/10.1016/0740-0020(86)90011-7)

**Dawadi, D., Seepaul, R., George, S., Groot, J., & Wright, D. (2019).** Drought tolerance classification of common oilseed species using seed germination assay. *Journal of Oilseed Brassica*, 10, 97–105.

**Estekhdami, P., Baradaran FiroozAbadi, M., Makarian, H., & Ghorbani, H. (2017).** Investigating the antioxidant and physiological response of soybean to seed pretreatment and spraying with the extract of the medicinal plant marjoram. *Applied Research in Ecophysiology*, 6(1), 115–125.

**Farzane, M., Ghanbari, M., & Eftekhariyan Jahromi, A. R. (2012).** Effect of proline content and seed germination of radish (*Raphanus sativus* L.) in terms of salinity. *Plant Science Research*, 8(1), 65–74. [In Persian]

**Figueroa, C., Padilla, R., Uribe, J. M., & Paneque, M. (2017).** Land suitability assessment for camelina (*Camelina sativa* L.) development in Chile. *Sustainability*, 9(1), 154. <https://doi.org/10.3390/su9010154>

**Ghidoli, M., Ponzoni, E., Araniti, F., Miglio, D., & Pilu, R. (2023).** Genetic improvement of *Camelina sativa* (L.) Crantz: Opportunities and challenges. *Plants*, 12(3), 570. <https://doi.org/10.3390/plants12030570>

**Gupta, M., & Hunsigi, J. (2010).** Yield components and weed control potential in intercropping of mungbean and basil. *Indian Journal of Medical Plants*, 13, 15–21.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شوند. همچنین نتایج بررسی اثر زمان پرایمینگ بر صفات بیوشیمیایی نشان داد زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت بذرهای کاملینا از بیشترین محتوای پرولین، قندهای محلول و فعالیت آلفا آمیلاز بذر و کمترین محتوای مالون‌دی‌آلدهید برخوردار بود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که استفاده از پرایمینگ بذر با عصاره جهت سرعت بخشیدن به مرحله سبز شدن و استقرار به‌ویژه در شرایط دمایی پایین توصیه می‌شود. نتایج حاصل از پژوهش به کار بردن تیمارهایی با منشأ زیستی مانند عصاره ریشه چاودار جهت پرایمینگ کردن بذر کاملینا می‌تواند موجب استقرار بهتر بذر و افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای کاملینا تحت تنش خشکی شود. با توجه به هزینه پایین تهیه و تولید عصاره‌های آبی، سازگاری با محیط زیست استفاده از این عصاره‌ها در کشت‌های دیم در صورت تأیید نتایج مزرعه‌ای قابل توصیه است.

### تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

### References

**Abdellaoui, R., Boughalleb, F., Zayoud, D., Neffati, M., & Bakhshandeh, E. (2019).** Quantification of *Retama raetam* seed germination response to temperature and water potential using hydrothermal time concept. *Environmental and Experimental Botany*, 157, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.005>

**Abdul-Baki, A., & Anderson, D. (1973).** Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13, 630–633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>

**Al-Hussaini, M. K., & Alsaadawi, I. S. (2013).** Mitigation of drought stress effect on growth and productivity of mung bean by foliar application of sorghum water extract. *Iraqi Journal of Science*, 54, 560–568.

**Alivand, M., & Farajzadeh Memari Tabrizi, A. (2017).** The enhancing effect of different concentrations of fennel, cumin, and mint extracts on the physiological characteristics of seed germination and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit conditions. *Environmental Stress in Agricultural Sciences*, 11(3), 675–690.

- Hardegree, S. P., & Emmerich, W. E. (1994).** Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. *Seed Science and Technology*, 22, 1–7.
- Hasanuzzaman, M., & Fotopoulos, V. (2019).** Priming and pretreatment of seeds and seedlings: Implication in plant stress tolerance and enhancing productivity in crop plants. *Springer Nature Singapore*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1>
- Heath, R. L., & Packer, L. J. (1968).** Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Heidari, M., Esmailzadeh Bahabadi, S., & Sangtarash, M. H. (2021).** Effect of salicylic acid on growth, physiological, and biochemical characteristics of *Melissa officinalis* L. under cadmium stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(1), 37–49. [In Persian]
- Huang, P., He, L., Abbas, A., Hussain, S., Hussain, S., Du, D., Hafeez, H., Balooch, H., Zahra, N., Ren, X., Rafiq, M., & Saqib, M. (2021).** Seed priming with sorghum water extract improves the performance of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) under salt stress. *Plants*, 10(749), 1–15. <https://doi.org/10.3390/plants10040749>
- Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., & Wang, L. (2018).** Chilling and drought stresses in crop plants: Implications, cross-talk, and potential management opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 9, 393. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00393>
- Hussain, S. A. J., Akhtar, M. A., Riaz, M. A., & Saqib, Z. A. (2008).** Ionic concentration and growth response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes under saline and/or sodic water application. *Soil and Environment*, 27(2), 177–184.
- Ikic, I., Maric'evic, M., Tomasovic, S., Gunjaca, J., Atovic, Z. S., & Arcevic, H. S. (2012).** The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. *Euphytica*, 188, 25–34. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0588-5>
- Irigoyen, J. J., Emerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992).** Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Journal of Plant Physiology*, 141(1), 55–60. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80417-6](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80417-6)
- Kahrizi, D., Rostami, A. H., & Akbarabadi, A. (2015).** Feasibility of cultivating camelina (*Camelina sativa*) as a medicinal-oil plant in rainfed conditions in Kermanshah: Iran's first report. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 47(3), 117–125. [In Persian]
- Kayacetin, F., Efeoğlu, B., & 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.
- Khorramdel, S., Rizvani-Moghadam, P., Amin Ghafouri, A., & Shabahang, C. (2013).** Investigating the effect of priming with salicylic acid and drought stress on the germination characteristics of black seed. *Iranian Agricultural Research Journal*, 10(4), 709–725. [In Persian]
- Klińska, S., Gazarkiewicz, K., & Banaś, A. (2019).** Acyl-CoA: Lysophosphatidylcholine acyltransferases (LPCATs) of *Camelina sativa* seeds: Biochemical properties and function. *Planta*, 250(5), 1655–1670. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03266-w>
- Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., & Türkan, İ. (2007).** The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes, and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 60(3), 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.12.005>
- Krüger, G. H. J., De Villiers, M. F., Strauss, A. J., De Beer, M., Van Heerden, P. D. R., Maldonado, R., & Strasser, R. J. (2014).** Inhibition of photosystem II activities in soybean (*Glycine max*) genotypes differing in chilling sensitivity. *South African Journal of Botany*, 95, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.08.007>
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021).** Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- Manu, N., Opit, G. P., Osekre, E. A., Arthur, F. H., Mbata, G., Armstrong, P., & Campbell, J. F. (2019).** Moisture content, insect pest infestation, and mycotoxin levels of maize in markets in the northern region of Ghana. *Journal of Stored Products Research*, 80, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.11.005>
- Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973).** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51(5), 914–916. <https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>
- Miller, T., & Chapman, S. J. (1978).** Germination responses of three forage grasses to different concentrations of six salts. *Journal of Range Management*, 31(2), 123–124. <https://doi.org/10.2307/3897501>
- Muscolo, A., Sidari, M., Anastasi, U., Santonoceto, C., & Maggio, A. (2014).** Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 354–363. <https://doi.org/10.1080/17429145.2013.878633>



- Nikkhah, H. R., Tajali, H., Tabatabaei, S. A., & Taheri, M. (2022).** Evaluation of yield stability and drought tolerance of barley genotypes in temperate regions of Iran. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), 1–17. <https://doi.org/10.1001.1.22286128.1401.14.44.1.8> [In Persian]
- Pandey, D. K. (1996).** Phytotoxicity of sesquiterpene lactone parthenin on aquatic weeds. *Journal of Chemical Ecology*, 22, 151–160. <https://doi.org/10.1007/BF02055197>
- Pourghasemian, N., & Moradi, A. (2021).** Alleviating drought stress in sesame seedlings by priming and irrigation of beeswax waste and licorice extracts. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 8(1), 45–62. [In Persian]
- Ramezani, M., & Rezaei, R. (2012).** Comparison of different times and priming concentrations on the seedling characteristics of winter rapeseed (*Sarigol*). *Journal of Agricultural Plant Breeding*, 8(1), 145–159. [In Persian]
- Rouhi, H. R., Vafaei, M. H., Saman, M., & Shahbodaghloo, A. R. (2021).** Study of ascorbic acid priming on germination and biochemical indices of sheep fescue (*Festuca ovina*) seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 10(1), 29–42. [In Persian]
- Shahverdi, M., Omidi, H., Mosanaiey, H., Pesarakli, M., Mousavi, S. E., & Ghasemzadeh, M. (2019).** Effects of light and temperature treatments on germination and physiological traits of stevia seedlings (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Journal of Plant Nutrition*, 42(10), 1125–1132. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617300>
- Verma, S. K., Bjpai, G. C., Tewari, S. K., & Singh, J. (2005).** Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. *Legume Research*, 28(2), 143–145.
- Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & Skz, A. (2016).** Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth-promoting rhizobacteria. *American Journal of Microbiology Research*, 184, 13–24.
- Yadav, P. V., Khatri, D., & Nasim, M. (2017).** Salt and PEG-induced osmotic stress tolerance at germination and seedling stage in *Camelina sativa*: A potential biofuel crop. *Journal of Seed Science*, 10, 27–32. <http://dx.doi.org/10.3923/rjss.2017.27.32>

