نسخه پذیرفته شده پیش از انتشار

Study of yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) under water deficit stress conditions with the application of zeolite and wood vinegar

DOI: 10.22055/ppd.2024.46482.2155

Amirmohammad Abedi [1], Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy [2]*and Ali Heidarzadeh [3]

1- **M.Sc. Graduate of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran**
2- ***Corresponding Author: Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran**
(Email: modaresa@modares.ac.ir)
3- **Graduated Ph.D. from the Department of Agronomy, Faculty of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran**

Abstract

Introduction: The agricultural sector bears the responsibility of ensuring food security through domestic production and natural resource conservation. Oilseeds are among the essential food items that require a significant amount of water. Introducing Camelina plant as a suitable alternative with characteristics compatible with unfavorable environmental conditions and low requirements for water and nutrients can serve as an effective solution for diversifying cultivation and meeting the country's oil needs.

Materials and Methods: This study was conducted to investigate the yield and yield components of Camelina under zeolite and wood vinegar application in water deficit stress conditions. The experiment was carried out in 2023 in a split-plot factorial design with three replications at the Agricultural Faculty Farm of Tarbiat Modares University. The factors examined included irrigation regimes at four levels: optimal irrigation, mild water stress, moderate water stress, and severe water stress, corresponding to 20, 40, 60, and 80 percent of available water capacity after depletion (absorption in the root zone or evaporation), followed by irrigation to field capacity. These regimes were studied in main plots, combined with two levels of zeolite application (no application and 8 tons per hectares) and four levels of wood vinegar application (0, 5000, 10000, 15000 ppm) in subplots in a factorial combination.

Results and Discussion: According to the results, it can be concluded that the use of zeolite and foliar spraying of wood vinegar in optimal irrigation conditions can have significant improvements in all the measured traits. Also, in moderate and severe irrigation conditions, these effects become more significant. But it should be noted that in severe irrigation, no significant effects of zeolite were observed, while the use of wood vinegar with a concentration of 10,000 ppm can have significant improvements in some plant characteristics, such as grain yield and harvest index. Overall, these results show that the use of zeolite and wood vinegar can be used as effective methods in improving the performance of plants, especially in low water conditions.

Conclusion: For increasing seed yield and biological yield, moderate water stress along with zeolite application is recommended as the most cost-effective treatment. In severe water stress conditions, the application of wood vinegar foliar application at 10000 ppm concentration is recommended to enhance seed yield and biological yield.

Keywords: Biological yield, Harvest index, Seed yield, Straw yield

مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا (*Camelina sativa* L.) با کاربرد زئولیت و سرکه‌چوب در شرایط تنش کم‌آبی

امیر محمد عابدی [۱]، سید علی محمد مدرس ثانوی [۲]*و علی حیدرزاده [۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲-***نویسنده مسئول:** استاد تمام گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (ایمیل: modaresa@modares.ac.ir)

۳- دانش آموخته دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

گیاهان روغنی مثل سویا و آفتابگردان از جمله مواد غذایی ضروری هستند که به مقدار قابل توجهی آب نیاز دارند. معرفی گیاه کاملینا به عنوان جایگزین مناسب با ویژگی‌های سازگار با شرایط نامساعد محیطی و نیاز کم به آب و عناصر غذایی می‌تواند به عنوان راهکاری موثر برای تنوع بخشی به کشت و تامین نیازهای روغنی کشور باشد. این پژوهش به منظور مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا با کاربرد زئولیت و سرکه‌چوب در شرایط تنش کم‌آبی، به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. عوامل مورد بررسی در این تحقیق شامل رژیم‌های آبیاری در چهار سطح مختلف بوده‌اند: آبیاری مطلوب (I1)، کم آبیاری ملایم (I2)، کم آبیاری متوسط (I3) و کم آبیاری شدید (I4)، که به ترتیب بعد از تخلیه (جذب در منطقه ریشه یا تبخیر) ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه اعمال شده است. رژیم‌های آبیاری در کرت‌های اصلی و استفاده از زئولیت در دو سطح مختلف (بدون کاربرد زئولیت و هشت تن بر هکتار تن در هکتار) و سرکه چوب در چهار سطح مختلف (صفر، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام) بصورت ترکیب فاکتوریلی در کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. استفاده از زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب سبب بهبود قابل توجهی در تمامی صفات اندازه‌گیری شده، گردد. همچنین، در شرایط کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید، این تأثیرات چشمگیرتر می‌شود. اما باید توجه داشت که در کم آبیاری شدید، تأثیرات معنی‌داری از زئولیت مشاهده نشد، در حالی که استفاده از سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام می‌تواند نتایج قابل توجهی در برخی از ویژگی‌های گیاه، مانند عملکرد دانه و شاخص برداشت، داشته باشد. با توجه به نتایج، می‌توان چنین استنباط نمود برای افزایش سطح برگ، طول ریشه، ارتفاع، تعداد خورجینک در بوته، و وزن هزار دانه، آبیاری مطلوب و همچنین از زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام توصیه می‌شود. برای افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی، در صورت امکان کم‌آبیاری متوسط و همچنین کاربرد زئولیت به‌عنوان بصرفه ترین تیمار معرفی می‌شود. در شرایط کم آبیاری شدید، استفاده از محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام به جهت افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی توصیه می‌گردد.

کلید واژه ها: شاخص برداشت، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، عملکرد کاه

مقدمه

دانه‌های روغنی در بین محصولات زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از جمله ذخایر بزرگ غذایی در جهان محسوب می‌شوند. این محصولات دارای ذخایر غنی از اسیدهای چرب هستند. با توجه به وابستگی کشور به واردات روغن‌های گیاهی و از طرفی افزایش سالانه مصارف روغن در کشور، واردات روغن موجب خروج

سالانه ارز از کشور می‌شود (Qamarnia *et al.*, 2019) این موضوع از جمله موضوعات قابل تأمل در کشاورزی و صنایع غذایی کشور می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه تقریباً یک سوم میانگین جهانی بارندگی را تشکیل می‌دهد. همچنین، پتانسیل تبخیر و تعرق در ایران سه برابر پتانسیل جهانی گزارش شده است که کشور را در گروه کشورهای خشک و نیمه‌خشک قرار می‌دهد (Shakiba *et al.*, 2009). دانه‌های روغنی مانند سویا، کلزا و آفتابگردان، با وجود فواید فراوان، نیاز به مصرف آب بالایی برای تولید دارند. به همین دلیل، معرفی محصول جدید دانه‌روغنی که بتواند در شرایط خشکسالی و در اراضی دیم عملکرد اقتصادی و رضایت‌بخشی داشته باشد، می‌تواند راه‌حلی مؤثر و کلیدی در این زمینه باشد. جستجوی محصولات جایگزین دانه‌های روغنی به دلیل نیاز روزافزون به تولید روغن‌های گیاهی یک ضرورت شناخته می‌شود (Waraich *et al.*, 2020). گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.)، یک محصول دانه روغنی متعلق به خانواده Brassicaceae، حاوی ۳۵ تا ۴۵ درصد روغن است که بیش از ۹۰ درصد آن از اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل شده است (Kim *et al.*, 2019). کاملینا به دلیل الگوی اسید چرب منحصر به فرد و کیفیت روغن آن شناخته شده است، روغن کاملینا منبع بالقوه ای از اسید α-لینولنیک، پیش‌ساز اسید چرب امگا ۳ است (Amiri-Darban *et al.*, 2020). روغن کاملینا به عنوان یک روغن گیاهی تجدیدپذیر و منبع انرژی سازگار با محیط زیست برای تولید کالاهای مهم بسیاری از صنایع استفاده می‌شود (Chaturvedi *et al.*, 2018). نیاز کم به آب و مواد مغذی، سازگاری با شرایط نامساعد محیطی و مقاومت در برابر آفات از جمله ویژگی‌های کاملینا می‌باشند. در واقع کاملینا محصولی است که می تواند با شرایط محیطی سرد و خشک سازگار شود و در مناطق گرم نیز یافت می‌شود. این گیاه همچنین می‌تواند تنش کم‌آبی را در اوایل فصل رشد تحمل کند. آزمایشات اولیه در ایران نشان داده است که کشت کاملینا می‌تواند در مناطق دیم به خوبی توسعه یابد و تا حد زیادی نیاز کشور به دانه‌های روغنی را برطرف کند (Rostami Ahmadvandi *et al.*, 2021).

در پاسخ به تنش کم‌آبی، گیاهان نسبت جذب آب و نسبت ریشه به ساقه را از طریق رشد ریشه افزایش می‌دهند. این عمل باعث می‌شود آب قابل دسترس در خاک به ریشه‌ها منتقل شده و گیاهان به آن دسترسی داشته باشند. بنابراین یکی از اولین نشانه‌های کم‌آبی کاهش گسترش سلولی و توسعه سلولی به ویژه در ساقه و برگ‌ها می‌باشد. دیواره‌های سلولی ریشه کمتر به تنش حساسیت نشان می‌دهند در حالی که رشد ساقه کاملاً متوقف شده است و رشد در برگ‌ها نیز کاهش یافته است (Zhang *et al.*, 2018). کاهش رشد سلول‌ها در اثر کم آبی در درجه‌ی اول باعث کاهش رشد برگ‌ها می‌گردد. به علاوه در شرایط کم آبی جذب مواد و عناصر غذایی نیز کاهش یافته و بنابراین رشد و توسعه‌ی برگ‌ها محدود می‌شود و با کاهش سطح برگ گیاه آب کمتری را از طریق تعرق از دست می‌دهد. بنابراین محدود شدن سطح برگ را می‌توان به عنوان اولین ساز و کار دفاعی گیاه در برابر کم‌آبی در نظر گرفت که با کم شدن میزان فتوسنتز و تولید آسمیلات-ها در نهایت باعث کاهش عملکرد می‌شود (Hlavacova *et al.*, 2018; Gao *et al.*,2018). کاهش میزان آبیاری به میزان ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب باعث کاهش عملکرد دانه کاملینا به میزان ۳۱/۴ و ۴۰/۰ درصد در مقایسه با تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد (آبیاری کامل) شد. از طرفی میزان شاخص برداشت در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۲۲/۶، ۱۹/۰ و ۲۵/۱ درصد بود (Yazdani *et al.*, 2024).

زئولیت‌ها خانواده بزرگی از کانی‌ها هستند که از جمله مهم‌ترین‌ها در مواد ریز متخلخل به‌شمار می‌روند. کلمه "زئولیت" یک پلی مورف سیلیس یا آلومینوسیلیکات کریستالی را نشان می‌دهد که بر اساس چندین چهار وجهی TO4 با گوشه مشترک (T = معمولاً سیلیکون و آلومینیوم) است که یک چارچوب چهار وجهی، سه بعدی، منفذ دار با

ابعاد مولکولی و اندازه منظم را تشکیل می‌دهد (Ghasemi *et al.*, 2018). در خاک‌های شنی، زئولیت‌ها می‌توانند به ظرفیت نگهداری آب بالاتری منجر شوند. ظرفیت خاک تیمار شده با زئولیت طبیعی از نظر نگهداری آب در شرایط خشکسالی و شرایط عمومی در مقایسه با خاک تیمار نشده افزایش یافت (Chmielewská, 2014). به طور خلاصه، زئولیت‌ها می‌توانند تخلخل کل را افزایش داده و چگالی ظاهری را کاهش دهند و در نتیجه میزان آب خاک را افزایش دهند (Nakhli *et al.*, 2017). زئولیت‌ها راندمان مصرف آب (WUE) را با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و در دسترس بودن آن برای محصولات به دلیل ساختار فوق العاده متخلخل خود بهبود می‌بخشند (Gholamhoseini *et al.*, 2013). بنابراین با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی به ویژه کاهش نزولات جوی و در نتیجه افزایش کمبود آب، زئولیت‌ها می‌توانند اهمیت زیادی در کاهش تنش آبی در کشاورزی داشته باشند. سرکه چوب مایع متراکم شده از دودهای کربنیزه شده برای تولید بیوچار از ضایعات کشاورزی و جنگلداری در دمای بالا است. بیوچار یک ماده زیستی سبز و سازگار با محیط زیست بهمراه اثرات ضدعفونی کننده و کنترل حشرات است (Grewal *et al.*, 2018). سرکه چوب به دلیل کاربردهای متنوع آن از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. خواص متمایز آن، مانند اسیدیته بالا، ترکیبات فرار متعدد و فعالیت ضد میکروبی و همچنین به دلیل کاربردهای بالقوه آن در کشاورزی به دلیل اثرات آن بر رشد گیاه، کنترل آفات، بهبود خاک، جوانه زنی بذر، رشد ریشه و سرکوب بیماری مورد توجه قرار گرفته است (Xu *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2021). افزایش تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد اسانس شد؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و شدید به‌ترتیب ۹/۳۷ و ۴۰/۱۷ درصد کاهش عملکرد اسانس اتفاق افتاد. محلول‌پا شی سرکه چوب باعث افزایش عملکرد اسانس نعناع فلفلی شد؛ به‌طوری‌که با افزایش غلظت محلول‌پا شی سرکه‌چوب از صفر به ۱۲ در صد، عملکرد ا سانس ۸۱/۲۹ در صد افزایش یافت (Alavi Asl *et al.*, 2023).

بدون شک با محدودیت منابع آبی و تغییرات نامتوازن آب و هوایی احتمال مواجه شدن گیاهان زراعی با تنش کم‌آبی روز به روز بیشتر می‌شود. بدین جهت این مطالعه با هدف مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا در شرایط تنش کم‌آبی همراه با کاربرد زئولیت و سرکه چوب به منظور افزایش رشد، عملکرد و تعدیل اثرات تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در کیلومتر ۱۷ اتوبان تهران-کرج در مختصات جغرافیایی ´۱۰ °۵۱ طول شرقی و ´۴۴ °۳۵ و ارتفاع ۱۳۵۲ متر از سطح دریا و در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ انجام شده است. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی چیتگر این منطقه با ۲۴۲ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک است و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

عوامل مورد بررسی در این تحقیق شامل رژیم‌های آبیاری در چهار سطح مختلف بوده‌اند: آبیاری مطلوب (I1)، کم آبیاری ملایم (I2)، کم آبیاری متوسط (I3) و کم آبیاری شدید (I4)، که به ترتیب بعد از تخلیه (جذب در منطقه ریشه یا تبخیر) ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه اعمال شده است. این چهار سطح در کرت‌های اصلی، استفاده از زئولیت در دو سطح مختلف (بدون کاربرد زئولیت و هشت تن بر هکتار) و سرکه چوب در چهار سطح مختلف (صفر، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام) بصورت ترکیب فاکتوریلی در کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. برای تعیین زمان و حجم آبیاری و همچنین مقدار نفوذ عمقی آب، از دستگاه Time-Domain Reflectometry یا TDR استفاده شد. پس از اجرای عملیات شخم زمین، زئولیت در محل انجام آزمایش و برای کرت‌هایی که بر

اساس نقشه آزمایش دارای زئولیت هستند، به طور یکنواخت بر روی سطح خاک پخش و سپس با خاک مخلوط شد. همچنین، محلول‌پاشی سرکه‌چوب به منظور اثر بخشی بهینه‌تر، در چهار مرحله مختلف از رشد گیاه (۱-ده روز قبل از گلدهی، آذین گلدهی کامل ۴-میوه‌دهی) انجام گرفت. کاشت به صورت دستی در تاریخ ۲۰ مهرماه سال ۱۴۰۱ انجام شد و بذرها به عمق یک سانتی‌متری خاک کاشته شدند. هر واحد آزمایشی شامل چهار خط کشت با طول دو متر و با فاصله خطوط ۰/۳ متر (عرض کرت ۱/۲ متر) بود. فاصله بین بوته‌ها روی هر خط پنج سانتی‌متر بود و به منظور جلوگیری از اختلاط اثر هر یک از تیمارها، فاصله بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. همچنین، فاصله بین کرت‌های اصلی درون هر تکرار یک متر بود. تراکم نهایی در هر مترمربع حدود ۶۷ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد و تنک کردن بوته‌ها به منظور رسیدن به تراکم مورد نظر در مرحله دو برگی انجام شد. برای ارزیابی عملکرد و اجزای آن در انتهای فصل رشد با در نظر گرفتن اثر حاشیه، ۱۰ گیاه که نماینده هر کرت بودند به طور تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تعیین سطح برگ با حذف تأثیرات حاشیه، از هر کرت پنج بوته گیاه برداشت شد و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل DELTA-T DEVICES ساخت کشور انگلستان اندازه گیری شد.

درصد آب قابل استفاده (D) بر اساس معادله ۱ (Martin *et al.*, 1990) تعیین و سپس با استفاده از معادله ۲ درصد تخلیه آب قابل استفاده محاسبه شد.

$$D\,(\%) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{Fci - \theta i}{Fci - Wp} \times 100 \quad [1]$$

در این معادله n تعداد نمونه خاک گرفته شده از عمق موثر توسعه ریشه، FCi رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه در نمونه iام، θi رطوبت خاک در نمونه i ام و Wp رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم

$$\text{درصد تخلیه آب قابل استفاده} = 100 - D \quad [2]$$

از مقایسه رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگرها با روش نمونه‌برداری و توزین، اعتبارسنجی صورت گرفت (Vanclooster *et al.*, 1994).

برای آنالیز واریانس از روش مدل خطی عمومی (GLM) استفاده شد. برای مقایسه اثرات اصلی آزمون LSD (حداقل تفاوت معنی‌دار) در سطح پنج درصد به‌کار رفت. برای مقایسه میانگین اثرات متقابل از روش برش دهی و بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد. در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه شد.

Table 1. Soil Characteristics of the Experimental Site

Soil Depth (cm)	Texture	OM (%)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	pH	EC (dS/m)	OC (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
0-30	loamy sand	1.04	187	4.14	0.05	7.95	0.75	0.55	72.5	16.0	11.5
0-60	loamy sand	1.97	147	4.12	0.02	8	0.74	0.21	77.0	14.0	9.0

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

جداول تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده مشخص کرد که برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلولپاشی سرکه چوب برای صفات سطح برگ در بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح یک درصد و برای صفات تعداد خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک، وزن خورجینک با دانه و وزن خورجینک بدون دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جداول ۲تا ۴). برای صفت طول ریشه اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و زئولیت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول۲). اثر متقابل آبیاری ومحلول‌پاشی سرکه چوب در سطح پنج درصد برای صفات طول ریشه (جدول ۲) و وزن ساقه (جدول ۳)

و همچنین اثر اصلی زئولیت به ترتیب برای طول ریشه در سطح پنج درصد و وزن ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار شدند (جداول ۲و۳). برای صفت وزن هزار دانه اثر متقابل محلول‌پاشی سرکه چوب و زئولیت درسطح یک درصد و اثر اصلی رژیم‌های آبیاری در سطح ۵٪ معنی‌دار شدند (جدول ۳). اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری × محلول‌پاشی سرکه چوب و رژیم‌های آبیاری × زئولیت درسطح ۱٪ و اثر متقابل زئولیت × محلول‌پاشی سرکه چوب در سطح ۵٪ برای صفت عملکرد زیستی معنی‌دار شدند (جدول ۴) در نهایت برای صفت عملکرد کاه اثرات متقابل متقابل رژیم‌های آبیاری × محلول‌پاشی سرکه چوب و رژیم‌های آبیاری × زئولیت هر دو درسطح ۱٪ معنی دار شدند (جدول۴).

Table 2. Analysis of variance of physiologic traits, number of silique per plant and number of grain per silique

S.O.V	df	Mean of squares				
		Leaf area	Root length	Height	Number of silique per plant	Number of grain per Silique
Block	2	1.10	4.14	5.95	111083.23	0.88
Irrigation regimes (I)	3	883.11**	4.34	125.01	157657.93**	1.54
Error (a)	6	10.71	2.24	41.31	3608.58	0.81
Zeolite(Z)	1	481.55**	7.71*	75.26*	4822.76	9.28**
Foliar application (F)	3	62.50**	0.41	15.00	29274.92**	1.10
F*Z	3	49.22**	2.82	8.14	533.48	0.05
I*Z	9	31.46**	6.65*	5.09	10507.49	0.54
I*F	3	99.32**	1.17	88.73*	9756.49	2.49*
I*Z*F	9	31.47**	0.88	18.28	10574.54*	2.85*
Error (b)	56	7.12	1.60	14.57	4289.63	1.17
CV(%)		7.30	13.67	7.16	17.79	8.19

no sign, * and ** show not significant and sigficant at 5% and 1% level, respectively

Table 3. Analysis of variance of Camelina performance components

S.O.V	df	Mean of squares			
		Stem weight	Weight of silique with seeds	Weight of silique without seeds	Weight of thousand grains
Block	2	35071.45	150062.34	5×10^{-4}	0.0268*
Irrigation regimes (I)	3	909311.83**	1722417.90**	$85\times10^{-4**}$	0.0262*
Error (a)	6	16119.37	34639.58	2×10^{-4}	0.0031
Zeolite(Z)	1	1211326.28**	964072.31**	$163\times10^{-4**}$	0.0098
Foliar application (F)	3	191733.10**	162153.23**	$18\times10^{-4**}$	0.0346**
F*Z	3	22152.99	109763.80	6×10^{-4}	0.0255**
I*Z	9	70825.76	149336.69*	$15\times10^{-4**}$	0.0145
I*F	3	89715.69*	132755.30**	$15\times10^{-4**}$	0.0078
I*Z*F	9	23895.62	90726.09*	$8\times10^{-4*}$	0.0096
Error (b)	56	33931.09	40122.82	3×10^{-4}	0.0060
CV(%)		9.37	15.97	0.83	6.61

no sign, * and ** show not significant and sigficant at 5% and 1% level, respectively

Table 4. Analysis of variance of biological yield, straw yield , grain yield and harvest index

S.O.V	df	Mean of squares			
		Biological yield	Straw yield	Grain yield	Harvest index
Block	2	329675.95*	127256.82	48239.88*	7.14
Irrigation regimes (I)	3	5070105.57**	1747599.60**	913690.17**	132.29**
Error (a)	6	49557.04	34966.80	5095.49	5.25
Zeolite(Z)	1	4336593.90**	2999588.92**	122864.94**	49.12*
Foliar application (F)	3	706251.40**	298389.96**	100102.75**	13.11
F*Z	3	204773.57*	65773.73	63956.43**	16.34
I*Z	9	397402.21**	250708.23**	28587.56	9.63
I*F	3	292392.39**	167390.76**	48769.01**	27.69**
I*Z*F	9	47260.16	7893.49	43663.96**	25.21**
Error (b)	56	707.14	48783.85	15040.18	8.82
CV(%)		8.21	9.39	14.13	11.13

no sign, * and ** show not significant and sigficant at 5% and 1% level, respectively

سطح برگ بوته

براساس جدول مقایسه میانگین‌ها در آبیاری مطلوب بیشترین سطح برگ در بوته با ۵۲/۲۱ سانتیمتر مربع مربوط به عدم کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام می‌باشد و کمترین آن با ۳۳/۵۸ متعلق به عدم کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب می‌باشد. در دیگر سطوح از کم آبیاری اختلاف معنی دار دیده نشد (جدول ۵). هر گونه کمبود آب موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم و توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ‌ها می‌شود. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (Beyki and Khashei, 2019). طول و عرض برگ‌های تیمار شده با کم‌آبی به طور قابل توجهی کوتاه‌تر از برگ‌های با آبیاری مطلوب می‌باشد، که ممکن است نتیجه کاهش قابل توجه پارامترهای مربوط به فتوسنتز، از جمله میزان فتوسنتز، محتوای کلروفیل و فلورسانس باشد (Zhang *et al.*, 2018).

Table 5. Mean comparison of the triple interaction of irrigation regimes, zeolite and wood vinegar solution on camelina traits (slicing based on irrigation regimes)

Irrigation	Zeolite	Wood vingar	Leaf area	Number of silique per plant	Number of grain per silique	Weight of silique with seeds	Weight of silique without seeds	Grain yield	Harvest index
-	ton.ha^{-1}	ppm	(cm^{2})	-	-	(Kg.ha^{-1})	(Kg.ha^{-1})	(Kg.ha^{-1})	%
Optimal irrigation	0	0	33.58^{c}	457.56	12.50	1402.16^{cd}	380.29^{cd}	1021.88^{bc}	31.29^{ab}
		5000	46.95^{b}	412.57	13.72	1404.91^{cd}	362.76^{d}	1042.15^{bc}	32.18^{ab}
		10000	52.21^{a}	456.29	13.40	1454.61^{cd}	380.48^{cd}	1074.13^{b}	30.59^{ab}
		15000	34.44^{c}	438.04	12.55	1561.06^{bc}	422.35^{cd}	1138.71^{b}	29.21^{bc}
	8	0	48.76^{ab}	295.09	13.75	2002.99^{a}	606.23^{ab}	1396.76^{a}	33.68^{a}
		5000	49.29^{ab}	449.33	13.51	1348.19^{d}	437.94^{c}	910.24^{c}	25.28^{c}
		10000	50.10^{ab}	468.51	14.70	1730.50^{b}	562.13^{b}	1168.37^{b}	29.06^{bc}
		15000	46.59^{b}	407.54	13.89	2000.84^{a}	649.95^{a}	1350.89^{a}	28.72^{bc}
Mild water deficit stress	0	0	31.27	350.91	14.77	1074.85	298.81	776.04	28.82
		5000	32.18	396.14	11.73	1173.96	323.26	850.69	26.69
		10000	31.00	364.38	12.35	1231.64	320.21	911.43	28.20
		15000	36.01	410.99	12.45	968.22	238.21	730.02	25.20
	8	0	38.02	433.41	13.44	1211.29	387.39	823.90	23.63
		5000	34.36	413.05	13.89	1622.16	827.86	794.30	21.39
		10000	36.44	403.96	13.09	1374.15	439.47	934.68	26.29
		15000	39.79	519.60	14.09	1555.08	497.33	1057.74	27.42
erate water deficit stress	0	0	28.55	242.14^{d}	12.53	995.46	284.42	711.04	24.52
		5000	31.17	322.72^{cd}	12.33	943.56	269.59	673.97	25.68

		10000	35.78	416.73^{a-c}	13.78	1057.56	302.16	755.40	26.38
		15000	41.22	514.22^{a}	13.75	1232.82	371.83	860.98	27.85
	8	0	31.04	388.31^{bc}	12.94	1285.07	404.69	880.38	27.63
		5000	33.93	408.23^{a-c}	13.82	1125.84	354.55	771.29	25.40
		10000	36.30	357.16^{b-c}	14.39	1157.27	364.45	792.82	25.99
		15000	41.03	464.07^{ab}	13.37	1332.35	419.58	912.77	26.93
Severe water deficit stress	0	0	28.07	228.87	11.87^{c}	606.85^{d}	179.49	427.36^{d}	18.71^{d}
		5000	29.69	238.47	12.67^{bc}	885.05^{b-d}	261.78	623.28^{b-d}	24.07^{bc}
		10000	28.46	261.91	12.50^{bc}	1378.24^{a}	426.88	951.36^{a}	30.31^{a}
		15000	28.15	263.42	14.13^{a}	1083.51^{a-c}	320.48	763.04^{ab}	28.69^{ab}
	8	0	37.84	253.35	14.33^{a}	770.83^{cd}	242.72	528.11^{cd}	20.59^{cd}
		5000	30.32	179.62	12.00^{c}	1162.64^{ab}	366.09	796.55^{ab}	27.19^{ab}
		10000	37.26	276.42	12.25^{c}	882.10^{b-d}	277.75	604.34^{b-d}	21.51^{cd}
		15000	29.32	284.51	13.54^{ab}	1099.94^{ab}	366.84	733.10^{bc}	24.81^{bc}

The means with same letters in each column from each level of water deficit stress, do not have a significant difference in the probability level %5 errore in the LSD test.

طول ریشه

جدول مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و زئولیت نشان داد که بیشترین طول ریشه در آبیاری مطلوب و کم آبیاری شدید مربوط به‌عدم کاربرد زئولیت به ترتیب با ۹/۳۵ و ۱۰/۲۹ سانتیمتر حاصل شد، اما در سایر سطوح کم آبیاری اختلاف معنی‌دار دیده نشد (جدول ۶). بررسی‌ها مشخص کرد که ترکیبی از طول ریشه بلند و قطر ریشه ریز برای سازگاری با کم‌آبی سودمند است (Awad *et al.*, 2018). افزایش تخصیص زیست توده به ریشه‌ها در شرایط خشکسالی و همچنین گسترش سیستم ریشه گیاه، به طور معمول منجر به افزایش توانایی جذب آب می‌شود (Ismail *et al.*, 2012).زئولیت توانایی جذب رطوبت و ارائه به گیاه در دوره‌های کمبود آب را دارد و بدین ترتیب امکان کاهش پیامدهای مضر ناشی از تنش ناشی از خشک شدن و محدود کردن رشد ریشه در مقایسه با شرایط عدم وجود زئولیت را فراهم می‌کند.

Table 6. Mean comparison of the interaction of irrigation regimes and zeolite on root length, biological yield and straw yield(slicing based on irrigation regimes)

Irrigation	Zeolite	Root length	Biological yield	Straw yield
-	ton.ha^{-1}	(cm)	(Kg.ha^{-1})	(Kg.ha^{-1})
Optimal irrigation	0	9.35^{a}	3485.44^{b}	2416.22^{b}
	8	8.08^{b}	4125.99^{a}	2919.43^{a}
Mild water deficit stress	0	8.69	3003.04^{b}	2185.99^{b}
	8	9.68	3642.94^{a}	2740.28^{a}
Moderate water deficit stress	0	9.84	2870.45^{b}	2120.10^{b}
	8	9.01	3162.68^{a}	2323.36^{a}
Severe water deficit stress	0	10.29^{a}	2667.60	1976.35^{b}
	8	9.15^{b}	2795.24	2129.71^{a}

The means with same letters in each column From each level of dehydration stress, do not have a significant difference in the probability level%5 errore in the LSD test.

ارتفاع

جدول مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول پاشی سرکه چوب نشان که بالاترین ارتفاع در تنش کم‌آبیاری متوسط و محلول پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام با ۵۸/۹۳ سانتیمتر مشاهده شد سایر سطوح از کم آبیاری اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۷). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی کاربرد زئولیت نشان داد که کاربرد زئولیت تا ۳/۲۶ درصد می‌تواند موجب افزایش ارتفاع گردد. (شکل ۱). رشد سلول یکی از حساس‌ترین فرایندهای فیزیولوژیکی به کم‌آبی است که دلیل آن کاهش فشار آماس سلولی می‌باشد. تنش کم‌آبی از طریق کاهش فتوسنتز و در نتیجه افت شیره پرورده باعث کوتاه شدن ارتفاع گیاه و در نتیجه کاهش محصول دانه گلرنگ

می‌شود (Farrokhiniya *et al.*, 2011). در تنش شدید کم‌آبی، جریان آب، از آوندهای چوب به سلول‌های در حال رشد متوقف شده که این اختلال در نهایت باعث مختل شدن فرایند میتوز، کاهش رشد و حجیم شدن سلول و در نهایت کاهش ارتفاع ساقه می‌شود (Anjum *et al.*, 2011). به نظر می‌رسد دوره رشد طولانی‌تر فرصت کافی برای استفاده از شرایط رشد از جمله نور، رطوبت و دمای مناسب در طول دوره رشد رویشی و زایشی کاملینا را فراهم کرده است و عدم برخورد مراحل حساس گلدهی و دانه‌بندی گیاه با دمای بالا، سبب افزایش ساخت مواد فتوسنتزی و در نهایت افزایش رشد رویشی و ارتفاع کاملینا شده است (Zaefarian *et al.*, 2023).

Table 7. Mean comparison of the interaction of irrigation regimes and wood vinegar solution on height, stem weight, biological yield and straw yield(Slicing based on irrigation regimes)

Irrigation	Wood vingar	Height	Stem weight	Biological yield	Straw yield
-	ppm	(cm)	($Kg.ha^{-1}$)	($Kg.ha^{-1}$)	($Kg.ha^{-1}$)
Optimal irrigation	0	59.00	2002.46^{b}	3705.04^{b}	2495.72^{b}
	5000	53.75	2053.85^{b}	3430.40^{b}	2454.20^{b}
	10000	56.83	2187.91^{b}	3780.47^{b}	2659.22^{b}
	15000	52.83	2526.01^{a}	4306.96^{a}	3062.16^{a}
Mild water deficit stress	0	52.96	1882.61	3025.68	2225.71
	5000	53.26	2091.40	3489.46	2666.96
	10000	54.63	2090.00	3392.89	2469.84
	15000	54.32	2122.27	3383.92	2490.04
Moderate water deficit stress	0	45.44^{c}	1901.28	3041.55^{ab}	2245.84^{ab}
	5000	54.77^{b}	1793.85	2828.55^{c}	2105.92^{b}
	10000	55.38^{b}	1849.04	2956.45^{bc}	2182.34^{b}
	15000	58.93^{a}	1957.13	3239.71^{a}	2352.84^{a}
Severe water deficit stress	0	52.75	1709.21	2398.05^{b}	1920.31
	5000	49.33	1733.07	2756.92^{a}	2047.00
	10000	47.50	1843.43	2973.60^{a}	2195.75
	15000	51.00	1705.39	2797.11^{a}	2049.04

The means with same letters in each column From each level of dehydration stress, do not have a significant difference in the probability level%5 error in the LSD test.

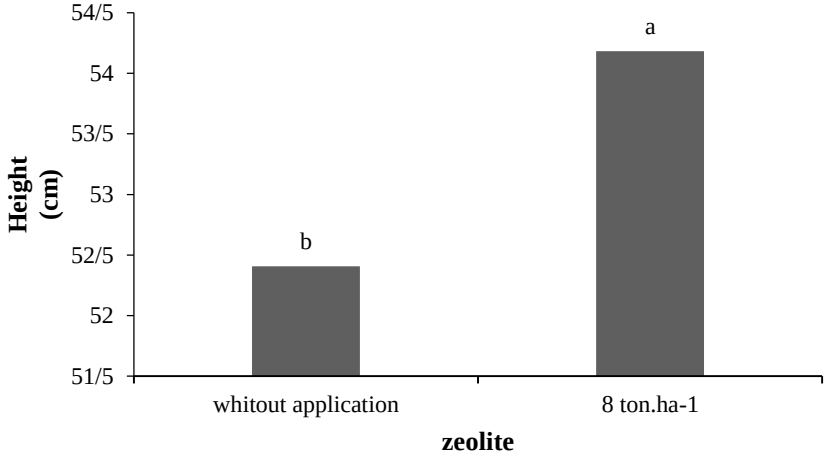

Fig. 1. Mean Comparisons of effects zeolite on camelina height

تعداد خورجینک در بوته

بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه تنش کم‌آبی، زئولیت و سرکه چوب مشخص کرد که در کم آبیاری متوسط بیشترین تعداد خورجینک در بوته مربوط به عدم کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام می‌باشد. سایر رژیم‌های آبیاری از نظر آماری تفاوت معنی داری با هم ندارند (جدول ۵). علت کاهش تعداد غلاف در بوته، کاهش دوره رشد است که درنتیجه آن تولید مواد غذایی کاهش پیدا می‌کند. کاهش

سنتز آسمیلات ها و از طرف دیگر افزایش رقابت درون بوته‌ای و نیز ریزش گل‌ها در اثر تنش کمبود آب، باعث کاهش تعداد غلاف در بوته می‌شود (Liu *et al.*, 2004). نتیجه بررسی تأثیر کاربرد زئولیت و کوددهی نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت باعث افزایش تعداد غلاف در بوته شد(Azarpour *et al.*, 2011). از طرفی سرکه چوب به دلیل افزایش نرخ فتوسنتز و تولید آسمیلات ها باعث تعدیل اثرات منفی تنش گردید.

وزن هزار دانه

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه با ۱/۲۵ گرم در تیمار کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام بدست آمد (شکل ۲). بر اساس مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رژیم‌های آبیاری، تیمار آبیاری مطلوب با ۱/۲۱ گرم بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد کمترین وزن هزار دانه مربوط به کم آبیاری شدید با ۱/۱۳ گرم می‌باشد (شکل ۳). وزن هزار دانه از یکسو به میزان مواد فتوسنتزی موجود، به ویژه در مراحل اولیه رشد دانه و از سوی دیگر به ظرفیت و توانایی دانه در حال رشد برای استفاده از این مواد بستگی دارد. اثر تیمار زئولیت به تنهایی بر روی وزن هزار دانه موثر نبود که این را می‌توان به ناتوانی جذب از منبع نسبت داد (Aghaalikhani *et al.*, 2012). سرکه چوب حاوی عناصر پرمصرف و کم مصرف شامل پتاسیم، آهن، منگنز، فسفر، آلومینیوم، مس، کلسیم، روی و سدیم است. اکثر این عناصر در فعالیت‌های حیاتی گیاه و افزایش فتوسنتز نقش دارند. گیاهان در بین همه ریزمغذی‌ها بیشترین نیاز را به آهن دارند. آهن برای سنتز کلروفیل مورد نیاز است (Taiz and Zeiger, 2006). از این رو استفاده از سرکه چوب به دلیل افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه موجب بهبود وزن هزار دانه در گیاه می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که تنش از طریق قطع فتوسنتز گیاه، مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای پر شدن دانه را کاهش داده و سبب چروکیدگی دانه‌ها و کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Manvelian *et al.*, 2021).

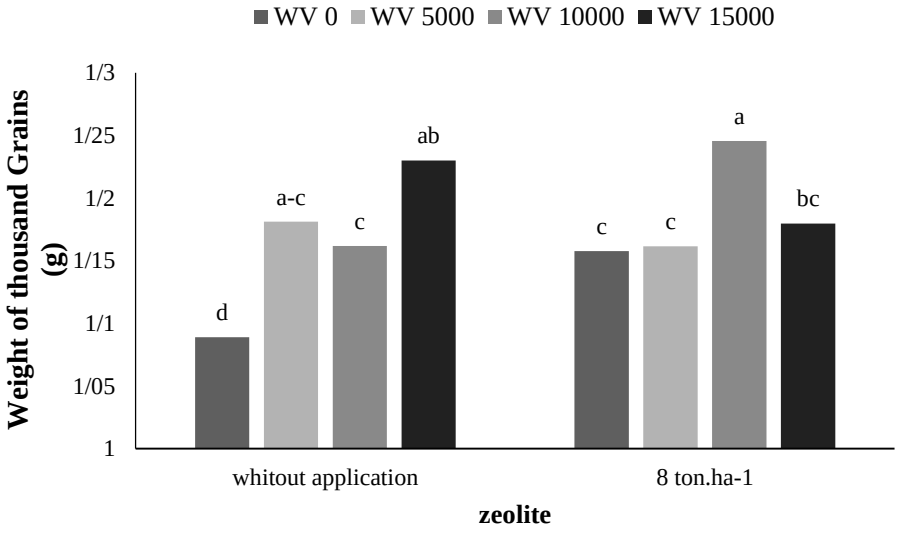

Fig. 2. Mean comparisons of the interaction between zeolite and wood vinegar on the camlina weight of thousand grains

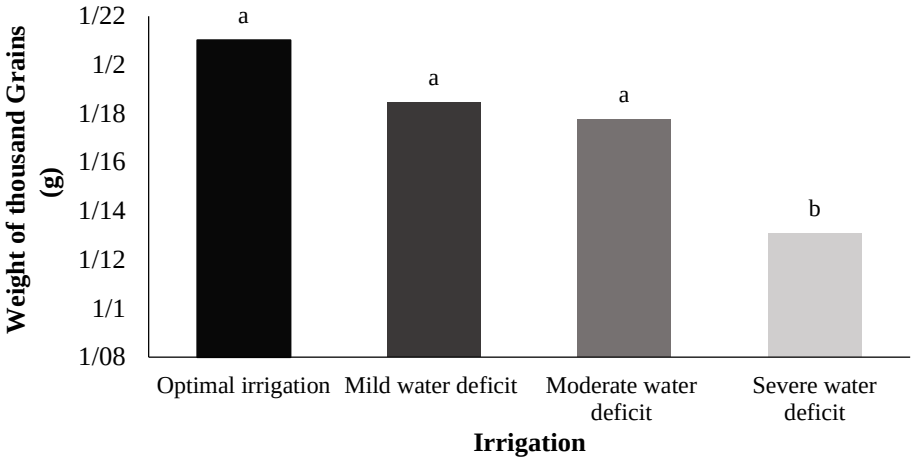

Fig. 3. Mean comparisons of the main effect of irrigation regimes on camlina weight thousand seed weight.

تعداد دانه در خورجینک

مشاهده نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه تنش کم‌آبی، زئولیت و سرکه چوب نشان داد که در کم آبیاری شدید بیشترین تعداد دانه در خورجینک به ترتیب مربوط به کاربرد زئولیت و عدم محلول پاشی سرکه چوب با ۱۴/۳۳ دانه در خورجینک می‌باشد که با عدم کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام با تعداد ۱۴/۱۳ دانه در خورجینک در یک گروه آماری قرار گرفتند. مابقی رژیم‌های آبیاری از نظر آماری تفاوت معنی-دار با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). در زمان تنش کم‌آبی، کاهش فتوسنتز جاری باعث کاهش دسترسی مخازن، که همان خورجین‌ها و دانه‌ها می‌باشند، به فرآورده‌های فتوسنتزی می‌شوند که این امر باعث کاهش وزن هزار دانه، تعداد دانه‌ها و وزن خورجینک‌ها می‌شود (Amini Pak Soltani *et al.*, 2022). استفاده از سرکه چوب عمدتاً با بهبود تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه کلزا را به طور قابل توجهی افزایش داد (Kunmiao *et al.*, 2021). تعداد دانه در غلاف حساس‌ترین جز عملکرد دانه نسبت به تنش کم‌آبی است، به نظر می‌رسد ارقامی که دارای تعداد بالای دانه در غلاف هستند بدلیل تحمل تنش کم‌آبی مطلوب تر هستند، اما افزایش تعداد دانه در غلاف دارای محدودیت است، زیرا ظرفیت تولید این جز از عملکرد بیش تر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است (S.A *et al.*, 2012).

وزن ساقه

بر اساس مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول پاشی سرکه چوب در آبیاری مطلوب بیشترین وزن ساقه با ۲۵۲۶/۰۱ کیلوگرم در هکتار در غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام بدست آمد. سایر رژیم‌های آبیاری از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۷). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی زئولیت نشان داد که کاربرد زئولیت باعث افزایش ۱۰/۸۱ درصدی وزن ساقه در زمان برداشت نهایی شد (شکل ۴). اثر بازدارندگی تنش کم‌آبی روی رشد ساقه را احتمالاً می‌توان به محدود شدن فتوسنتز تحت این شرایط نسبت داد (Preuss *et al.*, 2012). تنش کم-آبی باعث کاهش رشد و شاخص‌های مربوط به آن می‌گردد. با کاهش مقدار آب، میزان تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد و افت قابل توجه سرعت رشد نسبی بیانگر کاهش ماده خشک تولید شده در اثر کاهش رشد شاخه و برگ در زمان تنش است (Molden *et al.*, 2005).

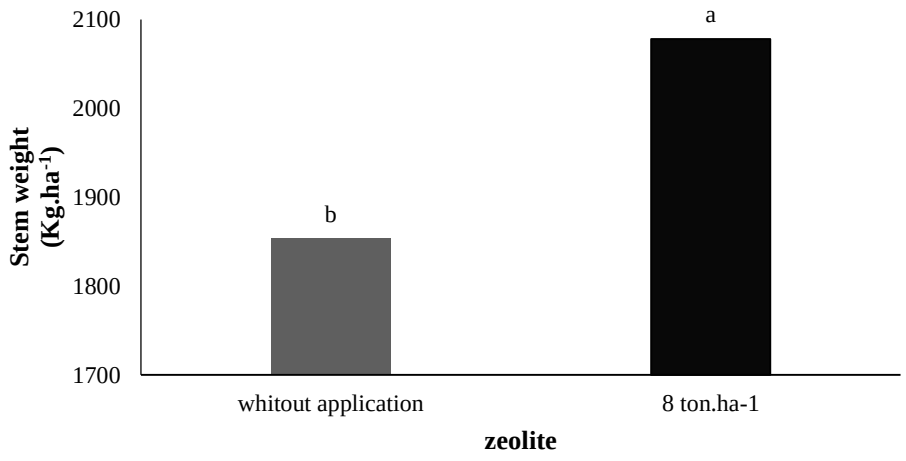

Fig. 4. Mean Comparisons of effects zeolite on camelina stem weight

وزن خورجین به همراه دانه

بر اساس جدول مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه تنش کم‌آبی، زئولیت و سرکه چوب، تیمارهای کاربرد زئولیت و عدم محلول‌پاشی سرکه چوب و همچنین کاربرد زئولیت، محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام (۲۰۰۰/۸۴ کیلوگرم در هکتار) با یکدیگر از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند و بیشترین وزن خورجین به همراه دانه در آبیاری مطلوب به ثبت رساندند. در کم آبیاری شدید عدم کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام بالاترین وزن خورجین به همراه دانه (۱۳۷۸/۲۴ کیلوگرم در هکتار) را ثبت کرد. سایر سطوح از کم آبیاری از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار با هم نداشتند (جدول ۵).

وزن خورجینک بدون دانه

جدول مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه تنش کم‌آبی، زئولیت و سرکه چوب مشخص کرد که در آبیاری مطلوب بیشترین وزن خورجینک بدون دانه در کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام بدست آمد. سایر رژیم‌های آبیاری تفاوت معنی دار از نظر آماری با یکدیگر نداشتند. (جدول ۵). این معنی داری را می‌توان به همبستگی مثبت با وزن خورجینک به همراه دانه و عملکرد کاه نسبت داد.

عملکرد زیستی

جدول مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و زئولیت نشان داد که در تمامی سطوح از کم‌آبیاری کاربرد زئولیت موجب افزایش عملکرد زیستی شده اما در کم آبیاری شدید این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود(جدول ۶). بر اساس جدول مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و سرکه چوب در آبیاری مطلوب بیشترین عملکرد زیستی در آبیاری مطلوب، محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام با ۴۳۰۶/۹۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در کم آبیاری ملایم اختلاف معنی-دار بین میانگین‌ها دیده نشد اما در کم آبیاری متوسط با ۳۲۳۹/۷۱ کیلوگرم در هکتار، محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین عملکرد را بدست آورد. در کم آبیاری شدید بیشترین عملکرد مربوط به محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام بود که با تیمارهای محلول‌پاشی ۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۷). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرکه چوب و زئولیت مشخص کرد که بالاترین عملکرد زیستی در تیمار عدم کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام با عملکرد ۳۷۲۸/۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۵). به‌کارگیری ترکیب‌هایی با ویژگی‌های زئولیت‌ها با جلوگیری از هدرروی عناصر غذایی و نگهداری یون‌های مغذی موجب افزایش کارایی کودهای موجود، جذب عناصر غذایی (Nus and

Brauen, 1991) و حفظ رطوبت شده و در نهایت به توسعه و بهبود رشد گیاه، افزایش وزن ریشه، اندام‌ها ی هوایی و در مجموع افزایش وزن خشک و عملکرد زیستی منجرمی شود. در بررسی ها بر روی گیاه کلزا نیز مشخص شد که کاربرد زئولیت می‌تواند سبب افزایش عملکرد اقتصادی و زیستی گردد (Gholamhoseini *et al.*, 2007).

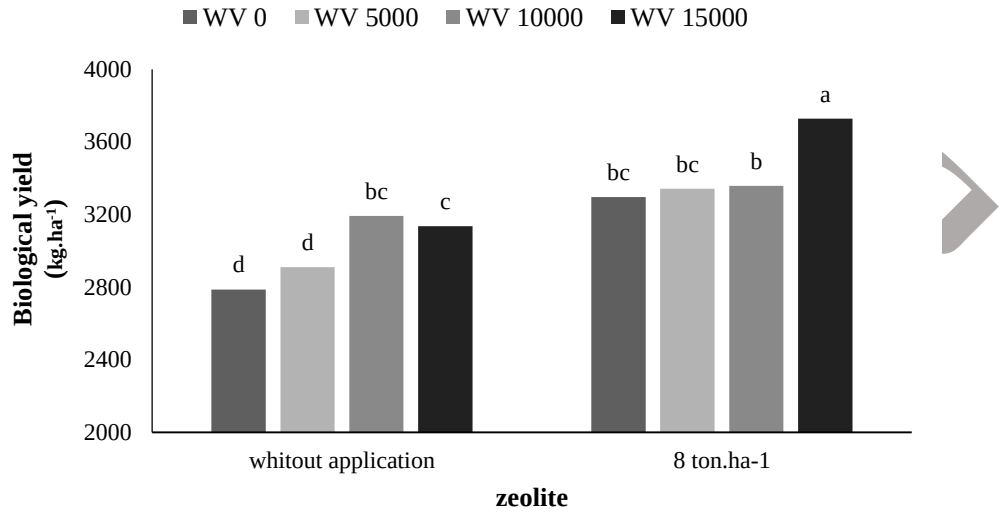

Fig. 5. Mean Comparisons of the interaction between zeolite and wood vinegar on the trait of biological yield

عملکرد کاه

جدول مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و زئولیت نشان داد که در تمامی سطوح از کم‌آبیاری کاربرد زئولیت موجب افزایش عملکرد دانه شده (جدول ۶). بر اساس جدول مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و سرکه چوب در آبیاری مطلوب و کم آبیاری متوسط بیشترین عملکردها به ترتیب با ۳۰۶۲/۱۶ و ۲۳۵۲/۸۴ کیلوگرم در هکتار در محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام بدست آمد. سایر سطوح از کم آبیاری، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار با هم نداشتند (جدول ۷). بهبود پیامدهای نامطلوب آبیاری بر عملکرد کاه را می‌توان به پیشرفت در اجزای عملکرد، به ویژه وزن ساقه در برداشت نهایی و همچنین سایر ویژگی‌ها از جمله شاخص برداشت، شاخص سطح برگ از برگ و ارتفاع نسبت داد (Galeshi *et al.*, 2005). تیمار سرکه چوب، تعادل ترکیبات گیاهی همچون تنظیم کننده‌های رشد را افزایش داده و بر میزان رشد گیاه تأثیر می‌گذارد، که با افزایش طول ساقه، میزان وزن تر و به تبع آن وزن خشک افزایش می‌یابد (Abdolahipour *et al.*, 2019).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌های اثر سه گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و سرکه چوب نشان داد که، در آبیاری مطلوب بیشترین عملکرد دانه، در کاربرد زئولیت و عدم کاربرد سرکه چوب حاصل شد که با تیمار کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام (۱۳۵۰/۸۹ کیلوگرم در هکتار) از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. در کم‌آبیاری شدید با ۹۵۱/۳۶ کیلوگرم در هکتار، عدم کاربرد زئولیت، محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین عملکرد را بدست آورد. سایر رژیم‌های آبیاری از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). کم‌آبیاری عملکرد و اجزای عملکرد دانه را در مقایسه با آبیاری معمولی در دو محصول کلزا و کاملینا به طور معنی‌داری کاهش می دهد (Waraich *et al.*, 2020). وقوع تنش از طریق کاهش دوره فعالیت منبع (برگ‌ها) و کاهش میزان فتوسنتز جاری،

سبب کاهش قدرت مخزن (دانه‌ها) در جذب مواد فتوسنتزی می‌گردد، این عامل به همراه ریزش گل‌ها، بارور نبودن دانه‌های گرده و سقط دانه‌ها سبب افت اجزای عملکرد می‌شود (Mohtashami *et al.*, 2020). زئولیت به دلیل داشتن ساختار حفره‌ای و سطح ویژه بالا، توانایی بالایی در اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک، نگهداشت آب و حفظ رطوبت خاک دارد در نتیجه عملکرد را در گیاه افزایش می‌دهد (Ozbahce *et al.*, 2018).

شاخص برداشت

مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه تنش کم‌آبی، زئولیت و سرکه چوب مشخص کرد که در آبیاری مطلوب بیشترین شاخص برداشت مربوط به کاربرد زئولیت و عدم محلول پاشی سرکه‌چوب بدست آمد، اما در کم آبیاری شدیدعدم کاربرد زئولیت و محلول پاشی با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین شاخص برداشت را ثبت کرد. دیگر سطح‌های رژیم آبیاری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۵). کمبود آب باعث کاهش قابل توجه عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت، ژنوتیپ‌های کاملینا نسبت به آبیاری معمولی شد (Ahmed *et al.*, 2020). بهبود جذب آب توسط گیاه یکی از دلایل افزایش شاخص برداشت در تیمار زئولیت است. ذخیره آب توسط زئولیت‌ها باعث سایر صفات مربوط به مرحله رشد زایشی شده و در نتیجه سبب بهبود شاخص برداشت می‌گردد. مصرف ۹ تن زئولیت در هکتار در مقایسه با تیمار عدم مصرف زئولیت، توانسته شاخص برداشت دانه گلرنگ را افزایش داد (Sibi *et al.*, 2011).

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که استفاده از زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب، کم آبیاری ملایم، کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید به ترتیب ۳۲/۱۹، ۳۶/۲۹، ۲۸/۳۷ و ۴۱/۰۴ درصد عملکرد دانه را بهبود بخشید. از طرفی استفاده از سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام به تنهایی در شرایط آبیاری مطلوب، کم آبیاری ملایم، کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید به ترتیب ۱۶/۲۴، ۱۱/۸۷، ۴/۷۶ و ۶/۷۰ درصد عملکرد زیستی را افزایش داد. به‌طور کلی، این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از زئولیت و سرکه چوب می‌تواند به عنوان روش‌های مؤثری در بهبود عملکرد گیاهان، به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری، مورد استفاده قرار گیرد. برای افزایش سطح برگ، طول ریشه، ارتفاع، تعداد خورجینک در بوته، و وزن هزار دانه، آبیاری مطلوب و همچنین از زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام توصیه می‌شود. برای افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی، در صورت امکان کم آبیاری متوسط و همچنین کاربرد زئولیت به‌عنوان بصرفه ترین تیمار معرفی می‌شود. در شرایط کم آبیاری شدید، استفاده از محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام به برای افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی توصیه می‌گردد.

منابع

Abdolahipour, B., & Haghighi, M. (2019). Effect of pine wood vinegar on germination, growth and physiological characteristics, and uptake of elements in basil. *Journal of soil and plant relations*.Isfahan University of Technology, 10(2), 11-24.[In Persian]

Aghaalikhani, M., Gholamhoseini, M., Dolatabadian, A., Khodaei-Joghan, A., & Sadat Asilan, K. (2012). Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen-use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *58*(10), 1149-1169.

Ahmed, Z., Liu, J., Waraich, E. A., Yan, Y., Qi, Z., Gui, D., ... & Zhang, Z. (2020). Differential physio-biochemical and yield responses of *Camelina sativa* L. under varying irrigation water regimes in semi-arid climatic conditions. PLoS One, 15(12), e0242441.

Alavi Asl, S. A., Majidian, M., Modares Sanavy, S. A. M., & Esfahani, M. (2023). Effect of Wood Vinegar and Humic Acid on Morphological and Biochemical Traits, Antioxidant Enzymes, and Essential Oil of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under Water Deficit Stress Conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 163-176. doi: 10.22059/ijfcs.2023.356625.654990.[In Persian]

Amini Pak Soltani, S., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Sadat Asylan, K. (2022). The effect of wood vinegar and biochar on the quantitative and qualitative yield of soybean in water shortage condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(4), 907-920.[In Persian]

Amiri-Darban, N., Nourmohammadi, G., Rad, A.H.S., Mirhadi, S.M.J. & Heravan, I.M. (2020) Potassium sulfate and ammonium sulfate affect quality and quantity of Camelina oil grown with different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 148, 112308

Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6(9), 2026-2032.

Awad, W., Byrne, P. F., Reid, S. D., Comas, L. H., & Haley, S. D. (2018). Great plains winter wheat varies for root length and diameter under drought stress. *Agronomy Journal*, 110(1), 226-235.

Azarpour, E., Motamed, M. K., Moraditochaee, M., & Bozorgi, H. R. (2011). "Effects of zeolite application and nitrogen fertilization on yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) ". *World Applied Sciences Journal*, 14(5), 687-692.

Beyki, A., & Khashei, A. (2019). Application of Clinoptilolite Natural Zeolite and Irrigation Management on Yield and Yield Components of Black Cumin Plant (*Nigella sativa* L.). *Journal of Water Research in Agriculture*, 33(1), 137-148.

Chaturvedi, S., Bhattacharya, A., Khare, S.K. & Kaushik, G. (2018) *Camelina sativa*: an emerging biofuel crop. In: Hussain, C. (Ed.) Handbook of environmental materials management. Springer: Cham, pp. 1–38.

Chmielewská, E. (2014). Designing clinoptiloliterich tuff columns for adsorptive filtration of water with enhanced ammonium concentration. *Fresenius Environ. Bull*, *23*, 1277-1283.

Farrokhiniya M, Roshdi M, Paseban Eslam B & Sasandoust R. (2011). Investigation of some physiological characteristics and spring safflower under water stress. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 545-553, .[In Persian]

Galeshi, S., Farzaneh, S., & Soltani, A. (2005). Investigation of drought tolerance at seedling stage in forty genotypes of cotton (*gossypium hirsutum* l.). Seed and Plant Journal, 21(1), 65-79.

Gao, Q., Sun, J., Tong, H., Wag, W., Zhang, Y., Zhang, G., Ma, D & Chen, W. (2018). Evaluation of rice drought stress response using carbon isotope discrimination. *Plant Physiology and Biochemistry*. 132: 80-88.

Ghasemi, Z.; Sourinejad, I.; Kazemian, H.; Rohani, S.(2018) Application of zeolites in aquaculture industry: A review. Rev. Aquac. 10, 75–95

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., & Farmanbar, E. (2013). Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, 126, 193-202.

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Modarres Sanavy, S. A. M., & Jamshidi, E. (2007). Effect of Zeolite Compost Application in Loamy Sand Field on Grain yield and other Traits of Sunflower. *Environmental Sciences*, 5(1).

Grewal, A., Abbey, L., & Gunupuru, L. R. (2018). Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 135, 152-159.

Habib Porkashef, E., Gharineh, M. H., Shafeinia, A. R., & Roozrokh, M. (2017). Effect of different levels of zeolite on yield of red bean *(Phasaeolus vulgaris* L.) under drought stress in Kermanshah climate condition. *Crop Production Technology*, 17(1), 141-151.[In Persian]

Hlavacova, M., Klem, K., Rapantova, B., Novotna, K., Urban, O., Hlavinka, P., Smutna, P., Horakova, V., Skarpa, P., Wimmerova, M., Orsag, M., Jurecka. F. & Trnka, M. (2018). Interactive effects of high temperature and drought stress during stem elongation, anthesis and early grain filling on the yield formation and photosynthesis of winter wheat. *Field Crops Research*. 221:182-195.

Ismail, M.D., Mofizur, R., & Hiroshi, H. (2012). *Water stress*. IL: In Teck 300 Pp. Craotia.

Kim, R. J., Kim, H. U., & Suh, M. C. (2019). Development of camelina enhanced with drought stress resistance and seed oil production by co-overexpression of MYB96A and DGAT1C. *Industrial crops and products*, 138, 111475.

Kunmiao, Z., Sicheng, G., Jiahuan, L., Tao, L., Zaid, K., Kangkang, Z., & Liyong, H. (2021). Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. Agron., 11 (3): 510.

Liu, F., Jensen, C.R., & Andersen, M.N., (2004). "*Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set*". Field Crops Research. 86, 1–13.

Manvelian, J., Weisany, W., Tahir, N. A. R., Jabbari, H., & Diyanat, M. (2021). Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 172, 114069.

Martin, G. A., Viskoohil, D., Bollag, G., McCabe, P. C., Crosier, W. J., Haubruck, H., ... & McCormick, F. (1990). The GAP-related domain of the neurofibromatosis type 1 gene product interacts with ras p21. Cell, 63(4), 843-849.

Mohtashami, R., Dehnavi, M. M., Balouchi, H., & Faraji, H. (2020). Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. Agricultural Water Management, 232, 106046.

Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., & Makin, I. (2003). A water-productivity framework for understanding and action. *In Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement* (pp. 1-18). Wallingford UK: Cabi Publishing.

Nakhli, S. A. A., Delkash, M., Bakhshayesh, B. E., & Kazemian, H. (2017). Application of zeolites for sustainable agriculture: a review on water and nutrient retention. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228, 1-34.

Nus, J. L., & Brauen, S. E. (1991). Clinoptilolitic zeolite as an amendment for establishment of creeping bentgrass on sandy media. *HortScience*, 26(2), 117-119.

Ozbahce, A., Tari, A. F., Gonulal, E. and Simsekli, N. (2018). Zeolite for enhancing yield and quality of potatoes cultivated under water-deficit conditions. *Potato Research*, 61(3), 247-259.

Preuss, S. B., Meister, R., Xu, Q., Urwin, C. P., Tripodi, F. A., Screen, S. E., ... & Petracek, M. E. (2012). Expression of the Arabidopsis thaliana BBX32 gene in soybean increases grain yield. *PloS one*, *7*(2), e30717.

Qamarnia, h. Kehrizi, D. & Rostami Ahmadvandi, h. (2019). *Camelina is a less expected and adaptable plant*. Razi University .[In Persian]

Rostami Ahmadvandi, H., Zeinodini, A., Ghobadi, R., & Gore, M. (2021). Benefits of adding camelina to rainfed crop rotation in Iran: a crop with high drought tolerance. *Agrotechniques in Industrial Crops*, *1*(2), 91-96.

S.A, A., GH, M., B, A., F, G., & N, A. (2012). Study of Terminal Drought Stress on Yield, yield Components Oil and Protein, Percentage and Root Growth Canola Under Ahvaz Climate Conditions. Plant Productions, 34(2), 53-66. .[In Persian]

Shakiba A., Bahak B. & Monavarian Z. (2009). The likely effect of precipitation change on runoff, case study: Jajrood river. Journal of the Studies of Human Settlements Planning 3(7): 111-134.[In Persian]

Sibi, M., Mirzakhani, M., & Gomarian, M. (2011). "Effect of water stress, taking zeolite and salicylic acid on yield and yield components of spring safflower ". New Finding in Agriculture, 5(3 (Spring 2011), 275-290

Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). " *Plant Physiology* ". 4th Edition, Sinauer Associates, Inc. Publishers, Massachusetts, 676 p

Vanclooster, M., Viaene, P., Diels, J. & Chistiaens, K. (1994). WAVE, A mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment, Release 2.1

Wang, J., Potoroko, I., & Tsirulnichenko, L. (2021). Wood vinegar and chitosan compound preservative affects on fish balls stability. *Food Bioscience*, 42, 101102.

Waraich, E. A., Ahmad, R., Ahmad, R., Ahmed, Z. E. E. S. H. A. N., Ahmad, Z., Barutcular, C., & Sabagh, A. (2020). Comparative study of growth, physiology and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L.) and canola (*Brassica napus* L.) under different irrigation regimes. Pak. J. Bot, 52(5), 1537-1544**.**

Waraich, E.A., Ahmed, Z., Zahoor, A., Rashid, A., Erman, M., Cig, F. et al. (2020) Alterations in growth and yield of Camelina induced by different planting densities under water deficit stress. *Phyton*, 89, 587–597.

Xu, J., Zhang, S., Zhou, Y., Liu, S., Lang, S., Yang, J., & Wu, Y. (2022). Comparative study on the properties of wood vinegar prepared from the pretreated Chinese fir: Effect of hydrothermal parameters and hydrogen peroxide. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *167*, 105674.

Yazdani, S., Hosseini, S., & Ranjbar, G. (2024). Effect of Different Amounts of Irrigation Water on Yield and Proline Content of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz). *Journal of Water Research in Agriculture*, *38*(1), 81-90. doi: 10.22092/jwra.2024.364723.1030.[In Persian]

Zaefarian, F., Ghorbani, H., Majidian, P., & Kaveh, M. (2023). Response of camellia yield and yield components to planting date and distance in Mazandaran province. *Plant Productions*, 46(3), 427-440.[In Persian]

Zhang, X., Lei, L., Lai, J., Zhao, H., & Song, W. (2018). Effects of drought stress and water recovery on physiological responses and gene expression in maize seedlings. *BMC plant biology*, *18*(1), 1-16.