

The Effect of Zeolite and Wood Vinegar on Physiological and Biochemical Properties of Camelina (*Camelina sativa* L.) under Water-Deficient Conditions

Amir Mohammad Abedi¹, Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy^{2*}, Ali Heidarzadeh³

Received: 13 March 2024

Accepted: 12 August 2024

1-M.Sc. Graduate of Agronomy, Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Tehran, Iran

2-Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Tehran, Iran

3- Ph.D. from the Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: E-mail: modaresa@modares.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Considering the critical challenges in food security, environmental quality improvement, and societal well-being, this research aimed to investigate the impact of zeolite and wood vinegar on the physiological traits, biochemical characteristics, and yield of quinoa under water deficit conditions, aiming to enhance sustainable nutrition for the population as a vital challenge in food security, environmental quality improvement, and community welfare enhancement.

Materials and Methods: Four irrigation levels (optimal irrigation, mild water deficit, moderate water deficit, severe water deficit) were considered as main plots, two levels of zeolite (zero and eight tons per hectare) and four levels of wood vinegar (zero, 5000, 10000, and 15000 ppm) were considered as sub-plots in a split-plot factorial design within a randomized complete block design with three replications. Analysis of variance (ANOVA) was conducted using the General Linear Model (GLM) method. LSD (Least Significant Difference) test at the 0.05 level was used to compare the main effects. Mean separation for interaction effects was performed using the LSD test at the 5% level based on the slicing method. Finally, data were analyzed using SAS software version 9.4.

Results: Based on the results of this research, water deficit stress, application of zeolite, and foliar application of wood vinegar significantly affected physiological and biochemical traits of quinoa plants. Generally, water deficit stress conditions led to a significant reduction in fresh and dry weight of aerial parts of the plants. Seed yield and photosynthetic indices (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids) notably decreased during water deficit stress, while water deficit increased the anthocyanin and flavonoid contents in the leaves. The highest seed yield of 1396 kilograms per hectare was achieved under optimal irrigation + zeolite application + no wood vinegar application, showing a 36.67% increase compared to the control treatment.

Conclusion: The application of zeolite and foliar spray of wood vinegar can be considered as an effective strategy to enhance plant resistance to water deficit stress. Under optimal irrigation, mild water deficit, and moderate water deficit conditions, the use of zeolite and foliar spray of 15000 ppm wood vinegar showed the highest yield and is recommended as the best treatment. However, under severe water deficit conditions, it is recommended not to apply zeolite, and a foliar spray of 10000 ppm wood vinegar is suggested. This approach aims to optimize the use of these amendments based on the severity of water deficit stress, ensuring better adaptation and productivity of quinoa plants.

Keywords: Camelina, Chlorophyll, Proline, Water deficit stress, Wood Vinegar, Zeolite



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2025 Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy E-mail: modaresa@modares.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.60905.3196>



تأثیر زئولیت و سرکه چوب بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا (*Camelina sativa* L.) در شرایط کم آبی

امیر محمد عابدی^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۲*}، علی حیدرزاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲
--------------------------	-------------------------

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

۲- استاد تمام گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

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

*مسئول مکاتبه: E-mail: modaresa@modares.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: با توجه به چالش‌های حیاتی در حوزه امنیت غذایی، ارتقای کیفیت محیط زیست و رفاه جامعه، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر زئولیت و سرکه چوب بر صفات فیزیولوژیک، خصوصیات بیوشیمیایی و عملکرد دانه کاملینا در شرایط کم آبی به جهت ارتقا تغذیه پایدار جمعیت به عنوان یک چالش حیاتی در حوزه امنیت غذایی و ارتقای کیفیت زیست محیطی و بهبود رفاه جامعه انجام شده است.

مواد و روش‌ها: چهار سطح آبیاری (آبیاری مطلوب، کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید) به عنوان کرت‌های اصلی، دو سطح زئولیت (صفر و هشت تن در هکتار) و چهار سطح سرکه چوب (صفر، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام) به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. طرح به صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. برای آنالیز واریانس از روش مدل خطی عمومی (GLM) استفاده شد. برای مقایسه اثرات اصلی آزمون LSD (حداقل تفاوت معنی‌دار) در سطح ۰/۰۵ بکار رفت. برای مقایسه میانگین اثرات متقابل از روش برش‌دهی و بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ استفاده شد. در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج این پژوهش، تنش کم آبیاری، کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کاملینا تأثیر معنی‌داری داشت. به طور کلی شرایط تنش کم آبیاری باعث کاهش قابل توجه وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه شد. عملکرد دانه و شاخص‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کارتنوئید) به طور قابل توجهی در طول تنش کم آبی، کاهش پیدا کرد و از طرفی کم آبی باعث افزایش محتوای آنتوسیانین و فلاونوئید در برگ‌ها شد. بیشترین عملکرد دانه با ۱۳۹۶ کیلوگرم در هکتار در آبیاری مطلوب + کاربرد زئولیت + عدم کاربرد سرکه چوب تولید شد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۳۶/۶۷ درصدی را نشان داد.

نتیجه گیری: کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب می‌تواند به عنوان یک راهبرد مناسب برای افزایش مقاومت گیاه به تنش کم آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. در شرایط آبیاری مطلوب، کم آبیاری ملایم و متوسط استفاده از زئولیت و

محلول پاششی ۱۵۰۰۰ پی پی ام سرکه چوب به دلیل افزایش عملکرد به عنوان بهترین تیمار معرفی می شود. همچنین، در شرایط کم آبیاری شدید عدم کاربرد زئولیت و محلول پاششی ۱۰۰۰۰ پی پی ام توصیه می شود.

واژه های کلیدی: پرولین، تنش کم آبی، زئولیت، سرکه چوب، کاملینا، کلروفیل

مقدمه

کشاورزی ارگانیک، به عنوان یک جزء برجسته کشاورزی پایدار، طی دو دهه گذشته با موانع متعددی در مناطق مختلف جهان روبرو شده است. علت اصلی این چالش ها را می توان به نگرانی های عمومی در مورد سلامت، ایمنی مواد غذایی و رفاه محیط زیست نسبت داد. اهداف اصلی نظام کشاورزی ارگانیک حول بهینه سازی تولید ارگانیک، ارتقای کیفیت زیست محیطی و بهبود رفاه جامعه می چرخد (حسن پناه ۲۰۱۰). کاملینا گیاهی است یک ساله، دولپه از خانواده *Brassicaceae* است (زانتی و همکاران ۲۰۲۱). محتوای روغن دانه کاملینا بین ۳۰ تا ۵۰ درصد که سرشار از اسیدهای چرب امگا ۳ (۲۵ تا ۵۰ درصد کل اسیدهای چرب) و آنتی اکسیدان می باشد. خواص سلامتی روغن کاملینا به دلیل وجود آلفا لینولنیک اسید و آنتی اکسیدان ها بوده و ترکیبات اصلی ضد تغذیه در کاملینا گلوکوزینولات ها، تانن ها و اسید اروسیک هستند. این روغن را می توان برای بیماری های پوستی، بیماری های قلبی عروقی، سرطان و بیماری های مزمن استفاده کرد. علاوه بر این، روغن کاملینا دارای پتانسیل غذایی به عنوان روغن خوراکی و یک ماده کاربردی، در صنعت است (سینگ و همکاران ۲۰۲۱).

یکی از اولین نشانه های کمبود آب کاهش تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به ویژه در ساقه و برگ ها بوده و پیچش در ساقه ها و برگ نشان دهنده کمبود آب است. این امر منجر به محدود شدن رشد سلول و اندازه آن شده و در نتیجه برگ ها کوچکتر و گیاهان کوتاه تر می گردد. تنش کم آبی همچنین جذب مواد مغذی را محدود و مانع رشد برگ می شود. با کاهش سطح برگ، جذب نور و ظرفیت فتوسنتز کاهش و اختلال در رشد و عملکرد گیاه ایجاد می شود (هالاواکوا و همکاران ۲۰۱۸). کاهش فتوسنتز در شرایط تنش کم آبی به علت بسته شدن روزنه ها و یا

کاهش سطح برگ ها رخ می دهد. از علائم تنش های محیطی در گیاهان کاهش میزان کلروفیل می باشد که این کاهش به ژنوتیپ و گونه گیاه بستگی دارد. از آنجایی که میزان بهینه سطح برگ برای فتوسنتز و تولید ماده خشک لازم است، بنابراین در شرایط تنش کم آبی فتوسنتز و تولید ماده خشک در گیاهان کاهش یابد (مرشدلو و همکاران ۲۰۱۵).

زئولیت ها آلومینوسیلیکات های کریستالی طبیعی به عنوان تهویه کننده خاک برای بهبود خواص شیمیایی و فیزیکی خاک، مانند هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، نرخ نفوذ، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و ظرفیت نگهداری آب (WHC) در نظر گرفته می شوند، این مواد با توجه به خواصی که دارند، می توانند آبشویی نیترات و تبخیر آمونیاک را کاهش دهند علاوه بر این زئولیت ها همچنین به دلیل ظرفیت حمل درشت مغذی ها، ریزمغذی ها و کودهای کند رهش شناخته می شوند. (کاتالدو و همکاران ۲۰۲۱). زئولیت ها به دلیل اسفنجی بودن فوق العاده خود می توانند تا ۶۰ درصد حجم خود آب جذب کنند و از این رو می توانند برای مدت طولانی تری آب را به ریشه گیاهان برسانند (دسمت و همکاران ۲۰۱۷). زئولیت علاوه بر تأمین برخی از عناصر به عنوان تنظیم کننده کودهای معدنی در خاک عمل کرده و با افزایش کارایی کودهای نیتروژنه و فسفره در خاک میزان نیاز آن ها جهت حصول عملکرد مطلوب را کاهش می دهد (خسروشاهی ۲۰۱۶). در مطالعه ای که حضرتی و همکاران بر روی تنش خشکی و کاربرد زئولیت در گیاه صبرزرد انجام دادند به این نتایج رسیدند که استفاده از زئولیت باعث کاهش عوارض جانبی تنش خشکی شده و رشد و عملکرد گیاه صبرزرد را بهبود می بخشد همچنین تجمع حداکثری پرولین و آلوتین در برگ در ۹۰ FC% و عدم کاربرد زئولیت به وجود آمد و همچنین بالاترین وزن تر ژل و بیشترین تعداد برگ و پاجوش در تیمار کاربرد زئولیت به میزان ۸ گرم در کیلوگرم خاک

با آبیاری در ۱۰٪ FC نمایان شد (حضرتی و همکاران ۲۰۱۷). همچنین اثر مثبت و معنادار زئولیت در کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر خصوصیات گیاهی کلزا و افزایش وزن خشک گیاه با کاربرد زئولیت گزارش شده است (آرمند پیشه و همکاران ۲۰۰۹).

سرکه چوب یا اسید پیرولگنیوس نوعی مایع خام قرمز مایل به قهوه‌ای است که از تقطیر زیست توده در طی فرآیند پیرولیز تولید می‌شود (ژای و همکاران ۲۰۱۵). سرکه چوب به عنوان یک ماده آلی، علاوه بر کاربردهای مبارزه با قارچ‌ها و حشرات، در افزایش عملکرد گیاه نیز نقش بسزایی دارد. از کاربردهای سرکه چوب می‌توان به بهبود کیفیت خاک، دفع آفات، کنترل‌کننده‌های رشد گیاهی، تسریع توسعه ریشه، ساقه، غده، برگ، گل و میوه اشاره کرد (لو و همکاران ۲۰۲۳). سرکه چوب و ترکیبات آن وزن خشک و وزن تر کلزا را در هر دوره به طور معنی‌داری افزایش داد (کونمیاو و همکاران ۲۰۲۱). سرکه چوب می‌تواند از طریق افزایش محتوای کلروفیل و افزایش سرعت فتوسنتز و قدرت ریشه، رشد گیاهان را تحریک کند (باس و همکاران ۲۰۱۶). محلول پاشی سرکه چوب باعث افزایش محتوای کلروفیل و ظاهر براق برگ‌های گیاه می‌شود که باعث افزایش فتوسنتز، سنتز قندها و اسیدهای آمینه می‌شود. علاوه بر این، استرهای مانند متیل استات و متیل فرمات موجود در سرکه چوب نیز

رشد گیاه را تسریع می‌کنند. (گری‌وال و همکاران ۲۰۱۸). بررسی اثر سرکه چوب نارگیل (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) بر رشد و عملکرد گیاه سویا نشان داد که تمامی تیمارهای سرکه چوب بر اساس ارتفاع ثبت شده هفتگی تأثیری بر رشد گیاه سویا نداشتند. تیمار سرکه چوب ۳۰ درصد چوب تفاوت معنی‌داری بر عملکرد سویا نسبت به تیمار شاهد نشان داد (تراورو و میهارا ۲۰۱۶). این پژوهش با هدف بررسی تأثیر زئولیت و سرکه چوب روی خصوصیات بیوشیمیایی کاملینا در شرایط کم آبی به جهت ارتقا تغذیه پایدار جمعیت به عنوان یک چالش حیاتی در حوزه امنیت غذایی و ارتقای کیفیت زیست محیطی و بهبود رفاه جامعه انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس- تهران، با طول و عرض جغرافیائی به ترتیب ۵۱°/۱۰' طول شرقی و ۳۵°/۴۴' عرض شمالی و ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۵۲ متر اجرا شد. بر اساس گزارش سازمان هواشناسی، متوسط بارندگی سالیانه در حدود ۱۹۰ تا ۲۳۰ میلی‌متر بوده که این بارندگی‌ها عمدتاً در اواخر پاییز و اوایل بهار روی می‌دهد و با داشتن زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک جزو رژیم رطوبتی نیمه خشک شناخته می‌شود.

جدول ۱- مشخصات آب و هوایی محل آزمایش

زمان کاشت تا برداشت	میانگین سرعت باد	میانگین حداکثر دما	میانگین حداقل دما	میانگین دما	بارش	میانگین حداکثر رطوبت نسبی	میانگین حداقل رطوبت نسبی	تعداد ساعات آفتابی
۲۰ مهر الی آبان	۱/۹۴	۲۶/۲۵	۱۷/۳۵	۲۱/۸	۰	۳۲/۷۲	۱۹/۷۲	۱۰۳/۸
آبان	۱/۷۷	۱۸/۶۹	۹/۸۷	۱۴/۲۸	۱۲/۲	۵۷/۲۳	۲۸/۸۳	۲۱۷/۱
آذر	۱/۱۴	۱۱/۶۸	۵/۴۸	۸/۵۸	۱۹/۸	۶۵/۶	۴۵/۵	۱۴۲/۴
دی	۱/۱۱	۶/۰۱	۰/۲۳	۳/۱۲	۱۰	۷۴/۳۳	۴۷/۹۷	۱۴۸/۶
بهمن	۱/۷۶	۷/۲۱	-۰/۳۵	۳/۴۳	۴۱/۲	۷۴/۲۷	۴۳/۳۳	۱۹۱/۴
اسفند	۲/۴۱	۱۷/۵۳	۹/۱۹	۱۳/۳۶	۳۵/۲	۵۶/۳۸	۲۶/۶۹	۲۲۲/۳
فروردین	۲/۶	۲۰/۴۶	۱۱/۱۶	۱۵/۸۱	۲۵	۵۳/۳۲	۲۵/۱۹	۲۷۴/۹
اردیبهشت	۲/۸۲	۳۸/۳۸	۱۶/۲۲	۲۲/۳۳	۳/۴	۳۸	۱۵/۲۷	۲۷۲/۸
۱ تا ۵ خرداد	۳/۳۲	۳۰/۵۲	۱۷/۷۶	۲۴/۱۴	۰	۴۰/۲	۱۴/۲	۴۶/۹

عوامل مورد بررسی شامل رژیم‌های آبیاری در چهار سطح (آبیاری مطلوب، کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید به ترتیب آبیاری بعد از تخلیه ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰

درصد آب قابل استفاده) به عنوان کرت‌های اصلی و ترکیب فاکتوریل زئولیت در دو سطح (صفر و هشت تن بر هکتار) و سرکه چوب در چهار سطح (صفر، ۵۰۰۰

۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰ پی پی ام) به عنوان کرت های فرعی در نظر گرفته و آزمایش به صورت کرت های خرد شده تکرار اجرا شد.

جدول ۲- ویژگی های فیزیکی شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

عمق خاک	بافت	شن	رس	سیلت	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	نیترژن کل	مواد خنثی شونده TNV	کربن آلی	ماده آلی	سنگریزه	pH	هدایت الکتریکی
(Cm)	-	%	%	%	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	%	%	%	%	%	dS m ⁻¹	
۰-۳۰	شنی لومی	۷۲/۵	۱۶/۰	۱۱/۵	۶/۸	۲۲۰	۰/۰۴۲	۵/۰	۰/۶۰۵	۱/۰۴۱	۴۸/۴	۸/۰۱	۱/۳۰۵
۳۰-۶۰	شنی لومی	۷۷/۰	۱۴/۰	۹/۰	۵/۵	۲۰۷	۰/۰۴۹	۵/۵	۰/۵۶۶	۰/۹۷۴	۴۴/۰	۸/۱۱	۱/۰۸۹

کاشت به صورت دستی در تاریخ ۲۰ مهرماه سال ۱۴۰۱ و بذرها در عمق یک سانتی متری خاک قرار گرفت. هر واحد آزمایشی شامل چهار خط کشت به طول دو متر با فاصله خطوط ۰/۳ متر (عرض کرت ۱/۲ متر) و فاصله بوته ها روی هر خط پنج سانتی متر و به منظور جلوگیری از اختلاط اثر هر یک از تیمارها، فاصله بین تکرارها دو متر و فاصله بین کرت های اصلی درون هر تکرار، نیم متر در نظر گرفته شد. تراکم نهایی در هر مترمربع حدود ۲۰۰ بوته در مترمربع بود. تنک کردن بوته ها به منظور رسیدن به تراکم مورد نظر در مرحله دو برگی انجام و وجین علف های هرز به صورت دستی در طول فصل زراعی صورت گرفت. برای تعیین زمان و حجم آبیاری و همچنین مقدار نفوذ عمقی آب از دستگاه TDR مدل Trime-FM استفاده گردید. زئولیت پس از اجرای عملیات شخم زمین، برای کرت هایی که بر اساس نقشه آزمایش دارای زئولیت هستند، به میزان هشت تن در هکتار اضافه و به صورت دستی با خاک مخلوط شد. تیمار سرکه چوب به صورت محلول پاشی روی برگ ها با غلظت های مختلف در چهار مرحله رشدی گیاه (۱۰ روز قبل از گلدهی (BBCH:309)، ظهور گل آذین

(BBCH:501)، پایان گلدهی (BBCH:605) و پر شدن دانه (BBCH:703)) بود. برای محلول پاشی از سمپاش بادی پشتی با فشار متناوب به حجم ۱۰ لیتر استفاده شد. نوع نازل سمپاش از نوع مارپیچی با طرح پاشش مخروط توپر و میزان پاشش ۰/۱ لیتر در متر مربع (هزار لیتر در هکتار) بود. از دو ردیف وسط هر کرت آزمایشی با در نظر گرفتن تأثیر حاشیه، نمونه هایی به مساحت نیم مترمربع به صورت کفبر برداشت و سپس مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. اندازه گیری میزان کلروفیل ها و کارتنوئید به روش هیسکوکس و ايسرائيلستام (۱۹۷۹)، انجام گرفت. اندازه گیری میزان فلاونوئید و آنتوسیانین کل برگ بر طبق روش کریزک (۱۹۹۳) انجام شد. برای آنالیز واریانس از روش مدل خطی عمومی (GLM) استفاده و برای مقایسه اثرات اصلی آزمون LSD (حداقل تفاوت معنی دار) در سطح ۰/۰۵ بکار رفت. برای مقایسه میانگین اثرات متقابل از روش برشدهی و بر اساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ استفاده و در نهایت داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه گردیدند.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی شیمیایی زئولیت استفاده شده

Mg	Li	La	K	Fe	Cu	Cd	Ca	Be	Ba	As	Al	Ag
ppm												
۴۳۰۸	۳۱	۲۶	۲۳۴۳۵	۵۶۳۴	۲۵	<۰/۱	۸۵۹۵	۲۰۱	۲۹۹	<۰/۵	۵۳۶۹۰	<۰/۵

جدول ۴- مشخصات فیزیکی شیمیایی سرکه چوب استفاده شده

B	Fe	Zn	C/N	N total	Humic acid	OC	OM	folic acid
ppm			-			%		
۴۰۰	۱۴۰۴	۵۴/۸	۱۰/۵۲	۰/۹۵	۰/۵۵	۱۰	۱۷/۲۴	۸/۱۲

نتایج و بحث

وزن تر ساقه

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد، برهمکنش سه گانه رژیم های آبیاری، زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب برای وزن تر ساقه، در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین های اثر سه گانه رژیم های آبیاری، زئولیت و سرکه چوب نشان داد که بیشترین وزن تر ساقه در آبیاری مطلوب (۴۲۳۹/۳۵) کیلوگرم در هکتار) مربوط به کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام است. در کم آبیاری ملایم کاربرد زئولیت و عدم محلول پاشی سرکه چوب با ۴۰۹۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین وزن تر ساقه را به

ثبت رساند که با محلول پاشی های ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی پی ام در یک گروه آماری قرار گرفته، در کم آبیاری متوسط عدم کاربرد زئولیت و محلول پاشی ۱۵۰۰ پی پی ام (۳۷۰۶/۹۴) کیلوگرم در هکتار) بیشترین وزن تر ساقه را به ثبت رساند که با محلول پاشی ۱۰۰۰ پی پی ام از لحاظ آماری تفاوت نداشته و در یک گروه قرار گرفتند. در کم آبیاری شدید نیز کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام با ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین وزن تر ساقه را ثبت کرد که سبب به عدم کاربرد زئولیت و سرکه چوب ۵۲/۸۵ درصد افزایش را نشان میدهد (جدول ۹).

جدول ۵- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) وزن تر ساقه، وزن تر برگ، وزن تر خورجین با دانه و وزن تر کل گیاه کاملینا تحت تاثیر تیمار رژیم های آبیاری، زئولیت و محلول پاشی

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
وزن تر کل	وزن تر خورجین با دانه	وزن تر برگ	وزن تر ساقه	(df)	
۱۲۸۴۱۴۳/۶۵	۶۰۸۹۶۸/۵۸	۰/۰۱۷	۱۳۳۵۹۴/۴۰	۲	بلوک
۳۱۳۸۴۱۴۴/۳۳**	۷۱۹۲۲۷۸۶۶**	۰/۴۹۵	۴۹۹۷۱۲۹/۶۵**	۳	رژیم های آبیاری (I)
۱۱۳۶۱۷۹/۴۵	۶۴۸۶۳۵/۳۵	۰/۱۰۴	۱۴۲۲۵۹/۹۹	۶	خطای کرت اصلی
۱۶۲۳۶۳۸۰/۳۰**	۱۳۳۷۷۵۶/۷۷	۰/۵۱۴*	۷۲۸۱۶۸۶/۱۷**	۱	زئولیت (Z)
۵۲۹۷۴۳۰/۲۸**	۴۰۹۷۷۱/۰۳	۰/۸۹۸**	۱۴۳۲۵۲۴/۵۵**	۳	محلول پاشی (F)
۱۴۶۰۱۸۰/۵۲	۱۱۸۴۳۰/۱۱	۰/۳۲۳*	۹۶۱۰۲۰/۰۹**	۳	F×Z
۸۷۳۴۹۲۵/۲۵**	۱۹۵۳۶۳۶/۱۶**	۰/۳۶۷*	۱۴۷۲۵۵۰/۲۲**	۹	I×Z
۷۴۰۶۸۱۱/۹۸**	۱۸۷۲۳۸۵/۳۶**	۰/۳۰۵**	۱۸۵۹۸۴۴/۱۶**	۳	I×F
۵۶۰۷۵۲۵/۵۳**	۱۲۴۳۵۶۰/۰۲**	۰/۳۸۶**	۱۴۷۱۱۰۴/۸۱**	۹	I×Z×F
۷۶۵۸۳۵/۱۰	۳۸۴۶۶۳/۸۴	۰/۰۹۵	۱۵۵۵۳۰/۴۲	۵۶	خطای کرت فرعی
۱۲/۲۵	۱۷/۳۲	۴/۷۲	۱۳/۵۹		ضریب تغییرات (%)

بدون علامت، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۶- آنالیز واریانس وزن خشک ساقه، برگ و کل، وزن خشک خورجین با دانه و عملکرد دانه تحت تاثیر رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات			
		وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک کل	وزن خشک خورجین با دانه
بلوک	۲	۴۹۵۹۳/۶۶	۱۲۱۲/۸۶	۹۲۹۳۴/۸۵	۱۵۰۵۷/۶۲
رژیم‌های آبیاری (I)	۳	۱۷۰۵۰۳۶/۵۵**	۵۹۷۵۰/۱۶	۸۵۵۷۱۱۷/۶۴**	۲۳۹۸۲۸۸/۹۶**
خطای کرت اصلی	۶	۱۳۱۲۳۲/۰۹۱	۳۴۹۰/۲۴	۱۹۰۳۴۸/۷۱	۲۰۱۶۹/۱۰
زئولیت (Z)	۱	۳۱۳۶۴۱/۴۹	۱۷۳۷۵/۵۱*	۲۸۶۳۴۵۹/۲۶**	۱۰۰۰۶۴۱/۲۶**
محلول پاشی (F)	۳	۱۶۵۱۰/۶۲	۱۴۶۷/۲۷	۵۶۸۷۶/۶۱	۲۳۱۱۳/۳۵
F×Z	۳	۶۲۹۰۴۶/۱۵**	۷۲۷/۳۵	۸۸۴۸۱۹/۹۲*	۳۴۷۴۱/۹۴
I×Z	۹	۱۳۴۹۲۵۲/۴۷**	۱۴۰۱۱/۰۲**	۲۶۳۳۷۴۸/۱۶**	۲۱۸۳۷۵/۹۲
I×F	۳	۸۳۳۴۱۲/۵۹**	۱۰۶۵۷/۵۲**	۱۳۴۴۱۷۶/۱۸**	۸۰۷۹۴/۸۲
I×Z×F	۹	۲۴۶۰۹۱/۸۲**	۹۷۶۶/۵۹**	۴۴۷۷۴۹/۷۲	۷۵۵۵۳/۴۰
خطای کرت فرعی	۵۶	۶۴۹۴۶/۴۷	۳۱۴۶/۳۷	۲۴۲۰۷۵/۲۲	۱۱۷۲۳۹/۴۳
ضریب تغییرات (%)		۲۰/۶۵	۲۴/۸۸	۱۶/۴۹	۲۲/۴۸

بدون علامت، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۷- آنالیز واریانس صفات کلروفیل (a, b و کل) و کارتنوئید تحت تاثیر رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
بلوک	۲	۸۴×۱۰ ^{-۳*}	۹×۱۰ ^{-۴}	۱۴۹×۱۰ ^{-۴}	۹×۱۰ ^{-۴}
رژیم‌های آبیاری (I)	۳	۰/۱۵۴۲**	۲۶۶×۱۰ ^{-۴**}	۰/۳۰۷۷**	۰/۰۲۲۲**
خطای کرت اصلی	۶	۱۴×۱۰ ^{-۴}	۱۲×۱۰ ^{-۴}	۳۳×۱۰ ^{-۴}	۳×۱۰ ^{-۴}
زئولیت (Z)	۱	۲۴×۱۰ ^{-۴*}	۵۵×۱۰ ^{-۴**}	۵۳۲×۱۰ ^{-۴*}	۹×۱۰ ^{-۵}
محلول پاشی (F)	۳	۲۰۷×۱۰ ^{-۴**}	۴۶×۱۰ ^{-۴**}	۴۲۹×۱۰ ^{-۴**}	۲۵×۱۰ ^{-۴**}
F×Z	۳	۷۵×۱۰ ^{-۴}	۲×۱۰ ^{-۴}	۹۸×۱۰ ^{-۴}	۶×۱۰ ^{-۴}
I×Z	۹	۶۳×۱۰ ^{-۴}	۴×۱۰ ^{-۴}	۹۲×۱۰ ^{-۴}	۳×۱۰ ^{-۴}
I×F	۳	۴۳×۱۰ ^{-۴}	۱۸×۱۰ ^{-۴*}	۹۹×۱۰ ^{-۴}	۳×۱۰ ^{-۴}
I×Z×F	۹	۸۹×۱۰ ^{-۴}	۱۲×۱۰ ^{-۴}	۱۴۳×۱۰ ^{-۴}	۵×۱۰ ^{-۴}
خطای کرت فرعی	۵۶	۴۸×۱۰ ^{-۴}	۷×۱۰ ^{-۴}	۷۷×۱۰ ^{-۴}	۴×۱۰ ^{-۴}
ضریب تغییرات (%)		۸/۴	۱۱/۷۳	۸/۴۷	۸/۱۳

بدون علامت، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

وزن تر برگ

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود که برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب برای وزن تر برگ، در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول پاشی

سرکه چوب مشخص کرد که بیشترین میزان وزن تر برگ با ۱۰۰۱/۷۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام برای آبیاری مطلوب مشاهده شد و در کم‌آبیاری شدید کاربرد سرکه چوب با غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام در یک گروه آماری قرار گرفته

وزن تر کل

برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب برای صفت وزن تر کل، در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و سرکه چوب، در کم‌آبیاری ملایم کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب با ۹۴۲۲/۷۵ و ۹۷۳۶/۸۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین وزن تر کل را به خود اختصاص دادند که به ترتیب ۶۲/۵۹ و ۶۸/۰۱ درصد افزایش را نشان دادند و همچنین از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند. در کم‌آبیاری متوسط عدم کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام (۹۱۳۷/۶۶ کیلوگرم در هکتار) بیشترین وزن تر کل را به خود اختصاص داد. در کم‌آبیاری شدید بیشترین وزن تر کل در تیمار کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام (۶۱۸۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده و در مقایسه با عدم کاربرد زئولیت و سرکه چوب افزایش ۲۳/۱۵ درصدی را نشان داد. میانگین‌ها در آبیاری مطلوب از لحاظ آماری اختلاف قابل توجهی با یکدیگر نداشتند (جدول ۹).

و بیشترین وزن تر برگ را ثبت کردند که به ترتیب نسبت به عدم کاربرد زئولیت و سرکه چوب ۲۶/۷۶ و ۲۵/۱۳ درصد افزایش را نشان دادند. باقی سطوح از کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۹).

وزن ترخوریچک با دانه

نتایج تجزیه واریانس وزن ترخوریچک با دانه نشان داد، برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب، در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). بر اساس جدول مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب، در کم‌آبیاری ملایم بیشترین وزن ترخوریچک با دانه مربوط به تیمار کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام با ۴۷۵۴/۴۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که از لحاظ آماری با محلول‌پاشی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام اختلاف معنی‌داری نداشت. در کم‌آبیاری متوسط بیشترین وزن ترخوریچک با دانه در عدم کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام (۲۶۶۱/۴۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که در مقایسه با شاهد ۴۲/۳۱ درصد رشد داشته و در کم‌آبیاری شدید بیشترین وزن ترخوریچک با دانه در کاربرد زئولیت و عدم محلول‌پاشی سرکه چوب با ۳۵۱۵/۳۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۹).

جدول ۸- آنالیز واریانس آنتوسیانین، فلاونوئید و پرولین تحت تاثیر رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول‌پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات		
		آنتوسیانین	فلاونوئید	پرولین
بلوک	۲	2×10^{-4}	25×10^{-4}	۰/۷۲
رژیم‌های آبیاری (I)	۳	$23 \times 10^{-4**}$	۰/۱۳۳۳**	۱۱۰۴/۵۲**
خطای کرت اصلی	۶	9×10^{-5}	25×10^{-4}	۲/۱۲
زئولیت (Z)	۱	3×10^{-5}	$83 \times 10^{-4**}$	۲۲/۸۶*
محلول‌پاشی (F)	۳	$39 \times 10^{-5*}$	27×10^{-4}	۱۰۴/۵۷**
F×Z	۳	24×10^{-5}	5×10^{-4}	۱۲/۱۵
I×Z	۹	5×10^{-5}	16×10^{-4}	۱۵/۴۸*
I×F	۳	$39 \times 10^{-5**}$	12×10^{-4}	۹/۸۱
I×Z×F	۹	$3 \times 10^{-4*}$	12×10^{-4}	۲/۸۴
خطای کرت فرعی	۵۶	12×10^{-5}	1×10^{-3}	۵/۵۱
ضریب تغییرات (%)		۱۱/۹۵	۲/۸۱	۸/۴۷

بدون علامت، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۹- مقایسه میانگین بر همکنش سه گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب بر صفات وزن تر ساقه، وزن تر برگ، وزن تر خورجینک با دانه و وزن تر کل.

وزن تر کل (kg.ha ⁻¹)	وزن تر خورجینک با دانه (kg.ha ⁻¹)	وزن تر برگ (kg.ha ⁻¹)	وزن تر ساقه (kg.ha ⁻¹)	تیمارها		
				سرکه چوب (ppm)	زئولیت	رژیم‌های آبیاری
۸۹۸۴/۶۲	۴۷۵۲/۱۷	۵۶۷/۶۵d	۳۶۶۴/۸۰ab	۰	عدم کاربرد	آبیاری مطلوب
۸۰۵۷/۸۱	۴۷۲۲/۴۳	۹۶۷/۱۸ab	۲۳۶۷/۲۰c	۵۰۰۰		
۹۲۳۹/۱۹	۴۷۱۹/۷۴	۹۶۲/۶۵ab	۳۵۵۶/۸۰b	۱۰۰۰۰		
۷۸۳۹/۴۶	۳۶۸۰/۶۴	۶۷۵/۲۲cd	۳۴۸۳/۶۰b	۱۵۰۰۰		
۷۹۷۹/۱۴	۳۵۵۶/۱۸	۵۸۰/۳۵d	۲۸۴۲/۶۱ab	۰	کاربرد	کم‌آبیاری ملایم
۸۶۴۶/۲۴	۴۱۷۸/۵۸	۸۰۱/۷۸bc	۳۶۶۸/۸۹ab	۵۰۰۰		
۱۰۰۰۵۸/۶۰	۴۸۱۷/۵۳	۱۰۰۱/۷۶a	۴۲۳۹/۳۵a	۱۰۰۰۰		
۶۰۱۸/۴۵	۳۵۰۵/۱۲	۲۸۲/۸۷e	۲۱۳۰/۴۶c	۱۵۰۰۰		
۵۷۹۵/۳۶e	۳۱۱۹/۶۹d	۳۵۸/۴۰	۲۳۱۷/۲۷cd	۰	عدم کاربرد	کم‌آبیاری متوسط
۶۷۰۱/۵۲de	۳۰۰۷/۳۰d	۵۶۹/۶۰	۳۱۲۴/۶۲b	۵۰۰۰		
۵۸۷۵/۳۱e	۳۴۱۰/۳۳cd	۷۱۷/۲۷	۱۷۴۷/۷۱d	۱۰۰۰۰		
۸۲۶۲/۲۴bc	۴۶۶۳/۵۳a	۶۷۱/۶۸	۲۹۲۷/۰۲bc	۱۵۰۰۰		
۹۰۷۲/۲۳ab	۴۳۳۴/۹۸ab	۶۴۰/۳۶	۴۰۹۷/۰۰a	۰	کاربرد	کم‌آبیاری شدید
۷۵۱۷/۶۲cd	۳۷۸۲/۴۶bc	۸۹۳/۵۱	۲۸۴۱/۶۴bc	۵۰۰۰		
۹۴۲۲/۷۵a	۴۶۴۴/۲۶a	۸۲۸/۴۴	۳۹۵۰/۰۴a	۱۰۰۰۰		
۹۷۳۶/۸۹a	۴۷۵۴/۴۰a	۸۹۴/۹۳	۴۰۸۷/۵۶a	۱۵۰۰۰		
۴۲۸۷/۱۲e	۲۱۷۴/۵۷b	۲۹۵/۵۶	۱۸۱۶/۹۹de	۰	عدم کاربرد	کم‌آبیاری متوسط
۴۳۲۹/۰۵e	۲۴۶۸/۲۱b	۲۷۰/۳۵	۱۵۹۰/۵۰e	۵۰۰۰		
۹۱۳۷/۶۶a	۳۹۹۸/۲۴a	۱۴۶۳/۷۰	۳۶۷۵/۷۳a	۱۰۰۰۰		
۸۵۰۴/۳۵ab	۳۹۱۱/۴۹a	۸۸۵/۹۳	۳۷۰۶/۹۴a	۱۵۰۰۰		
۵۳۸۴/۴۱ed	۲۷۰۴/۴۵b	۴۰۰/۵۶	۲۲۷۹/۴۱d	۰	کاربرد	کم‌آبیاری شدید
۷۰۰۶/۴۵bc	۳۶۷۶/۰۹a	۸۹۸/۱۵	۲۴۳۲/۲۱cd	۵۰۰۰		
۶۱۰۱/۷۷cd	۲۶۶۱/۴۲b	۴۴۵/۱۹	۲۹۹۵/۱۷bc	۱۰۰۰۰		
۷۹۲۸/۹۵ab	۳۵۷۹/۲۰a	۶۹۰/۰۰	۳۶۵۹/۷۶ab	۱۵۰۰۰		
۵۰۲۰/۲۹cd	۳۱۰۴/۷۴ab	۴۵۴/۰۷b	۱۴۶۱/۴۸e	۰	عدم کاربرد	کم‌آبیاری شدید
۶۶۹۷/۷۳ab	۳۵۱۲/۱۸a	۴۸۰/۰۰b	۲۷۰۵/۵۶a-c	۵۰۰۰		
۴۳۶۰/۷۱d	۱۸۱۰/۷۱c	۵۲۴/۱۷b	۲۰۲۵/۸۳c-e	۱۰۰۰۰		
۴۶۰۲/۲۰d	۲۳۲۰/۵۳bc	۴۶۱/۶۷b	۱۸۲۰/۰۰ed	۱۵۰۰۰		
۶۹۰۳/۶۶ab	۳۵۱۵/۳۳a	۵۵۵/۰۰b	۲۸۳۳/۳۳ab	۰	کاربرد	کم‌آبیاری شدید
۵۶۵۱/۸۸b-d	۳۰۲۶/۸۹ab	۴۲۸/۳۳b	۲۱۹۶/۶۷c-e	۵۰۰۰		
۷۲۳۹/۶۰a-c	۳۴۳۶/۲۷a	۷۰۳/۳۳a	۳۱۰۰/۰۰a	۱۰۰۰۰		
۶۱۸۲/۹۳a	۲۹۸۱/۸۲ab	۷۵۰/۰۰a	۲۴۵۱/۱۱a-d	۱۵۰۰۰		

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر سطح رژیم آبیاری، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین بر همکنش سه گانه رژیم‌های آبیاری، ژئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب بر صفات وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، عملکرد دانه و آنتوسیانین

آنتوسیانین (mg.g ⁻¹ F.W.)	عملکرد دانه (Kg.ha ⁻¹)	وزن خشک برگ (kg.ha ⁻¹)	وزن خشک ساقه (kg.ha ⁻¹)	تیمارها		
				سرکه چوب (ppm)	ژئولیت	رژیم‌های آبیاری
۰/۰۸۸	۱۰۲۱/۸۸bc	۲۴۱/۶۷	۱۵۵۱/۶۷bc	۰		
۰/۰۸۷	۱۰۴۲/۱۵bc	۲۷۴/۰۷	۲۵۰۷/۷۸a	۵۰۰۰	عدم	
۰/۰۸۰	۱۰۷۴/۱۳b	۲۹۲/۵۹	۱۷۶۷/۷۸b	۱۰۰۰۰	کاربرد	
۰/۰۹۰	۱۱۳۸/۷۱b	۲۳۷/۲۲	۱۲۶۱/۶۷c	۱۵۰۰۰		
۰/۰۷۷	۱۳۹۶/۷۶a	۲۲۲/۹۶	۱۴۷۱/۱۱bc	۰		آبیاری مطلوب
۰/۰۷۴	۹۱۰/۲۴c	۲۷۵/۵۶	۱۱۹۸/۸۹c	۵۰۰۰	کاربرد	
۰/۰۹۳	۱۱۶۸/۳۷b	۲۵۵/۹۳	۱۶۱۶/۶۷bc	۱۰۰۰۰		
۰/۰۸۶	۱۳۵۰/۸۹a	۱۱۰/۷۴	۶۴۵/۱۹d	۱۵۰۰۰		
۰/۰۷۲	۷۷۶/۰۴	۱۷۳/۸۹	۱۲۵۲/۹۶	۰		
۰/۰۹۲	۸۵۰/۶۹	۲۳۷/۲۲	۱۴۴۰/۸۳	۵۰۰۰	عدم	
۰/۰۹۱	۹۱۱/۴۳	۱۹۷/۴۱	۶۲۸/۸۹	۱۰۰۰۰	کاربرد	
۰/۰۹۳	۷۳۰/۰۲	۲۳۹/۷۸	۱۰۶۷/۷۸	۱۵۰۰۰		
۰/۰۹۷	۸۲۳/۹۰	۲۹۳/۷۰	۱۸۴۶/۶۷	۰		کم آبیاری ملایم
۰/۰۸۳	۷۹۴/۳۰	۱۹۶/۲۲	۱۳۷۳/۳۳	۵۰۰۰	کاربرد	
۰/۰۷۸	۹۳۴/۶۸	۲۳۷/۷۸	۱۴۹۳/۳۳	۱۰۰۰۰		
۰/۰۹۲	۱۰۵۷/۷۴	۳۱۱/۸۵	۱۴۸۰/۰۰	۱۵۰۰۰		
۰/۱۰۲ a	۷۱۱/۰۴	۱۹۷/۷۸cd	۶۶۱/۱۱b	۰		
۰/۰۹۹ a	۶۷۳/۹۷	۱۲۰/۳۷e	۸۲۰/۳۷b	۵۰۰۰	عدم	
۰/۱۰۹ a	۷۵۵/۴۰	۲۱۰/۳۷cd	۱۶۸۶/۶۷a	۱۰۰۰۰	کاربرد	
۰/۱۰۰ a	۸۶۰/۹۸	۲۴۴/۰۷bc	۱۶۵۸/۳۳a	۱۵۰۰۰		
۰/۱۰۵ a	۸۸۰/۳۸	۲۰۲/۰۴cd	۱۱۱۰/۵۶b	۰		کم آبیاری متوسط
۰/۱۰۶ a	۷۷۱/۲۹	۲۸۶/۳۰b	۹۷۰/۱۰b	۵۰۰۰	کاربرد	
۰/۱۱۲a	۷۹۲/۸۲	۱۷۰/۳۷ed	۹۷۶/۳۰b	۱۰۰۰۰		
۰/۰۷۳b	۹۱۲/۷۷	۳۴۸/۸۹a	۲۰۴۱/۳۸a	۱۵۰۰۰		
۰/۰۸۵	۴۲۷/۳۶d	۱۸۱/۴۸	۴۶۶/۶۷c	۰		
۰/۱۱۳	۶۲۳/۲۸b-d	۲۰۸/۸۹	۷۶۰/۰۰bc	۵۰۰۰	عدم	
۰/۱۱۲	۹۵۱/۳۶a	۱۵۱/۶۷	۵۵۰/۸۳c	۱۰۰۰۰	کاربرد	
۰/۱۰۳	۷۶۳/۰۴ab	۱۸۲/۷۸	۷۴۳/۸۹bc	۱۵۰۰۰		
۰/۰۹۱	۵۲۸/۱۱cd	۲۴۸/۳۳	۱۳۶۰/۰۰a	۰		کم آبیاری شدید
۰/۱۰۱	۷۹۶/۵۵ab	۱۷۸/۳۳	۷۱۱/۱۱c	۵۰۰۰	کاربرد	
۰/۱۲۱	۶۰۴/۳۴b-d	۲۶۱/۶۷	۱۰۷۸/۳۳ab	۱۰۰۰۰		
۰/۱۰۸	۷۳۳/۱۰bc	۲۲۱/۱۱	۱۲۸۳/۳۳a	۱۵۰۰۰		

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر سطح رژیم آبیاری، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

وزن خشک ساقه

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد، برهمکنش

سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، ژئولیت و محلول‌پاشی سرکه

وزن خشک برگ

تجزیه واریانس وزن خشک برگ نشان داد، برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر سه گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و سرکه‌چوب روی وزن خشک برگ مشخص کرد که، در کم‌آبیاری متوسط بیشترین وزن خشک برگ با ۳۴۸/۸۹ کیلوگرم در هکتار و ۳۶/۸۳ درصد افزایش نسبت به عدم کاربرد زئولیت و سرکه چوب مربوط به کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام بدست آمد. سایر سطوح از رژیم‌های آبیاری از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۱۰).

چوب برای وزن خشک ساقه، در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۶). بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها، بیشترین وزن خشک ساقه در آبیاری مطلوب با ۲۵۰۷/۷۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به عدم کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام می‌باشد که در مقایسه با شاهد ۶۱/۶۱ درصد افزایش پیدا کرده است. در کم‌آبیاری شدید کاربرد زئولیت و عدم محلول‌پاشی سرکه چوب با ۱۳۶۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین وزن خشک ساقه را دارا است، همچنین میانگین‌ها در کم‌آبیاری ملایم و کم‌آبیاری متوسط از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۱۰).

جدول ۱۱- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رژیم‌های آبیاری روی صفات وزن خشک خورجینک با دانه، کلروفیل a، کلروفیل کل، کارتنوئید، فلاونوئید

تیمار	وزن خشک خورجینک با دانه (kg.ha ⁻¹)	کلروفیل a (mg.g ⁻¹ F.W.)	کلروفیل کل (mg.g ⁻¹ F.W.)	کارتنوئید (mg.g ⁻¹ F.W.)	فلاونوئید (mg.g ⁻¹ F.W.)
آبیاری مطلوب	۱۸۴۲/۷۸a	۰/۹۰a	۱/۱۷a	۰/۳۰a	۱/۰۹d
رژیم‌های کم‌آبیاری ملایم	۱۶۶۴/۹۸b	۰/۸۴b	۱/۰۹b	۰/۲۹a	۱/۱۴c
آبیاری کم‌آبیاری متوسط	۱۴۷۸/۶۰c	۰/۷۹c	۱/۰۰c	۰/۲۵b	۱/۲۱b
کم‌آبیاری شدید	۱۱۰۴/۱۹d	۰/۷۱d	۰/۹۱d	۰/۲۳c	۱/۲۶a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

وزن خشک خورجینک با دانه

تجزیه واریانس وزن خشک خورجینک با دانه نشان داد، اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و زئولیت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رژیم‌های آبیاری نشان داد که آبیاری مطلوب با ۱۸۴۲/۷۸ کیلوگرم در هکتار بالاترین وزن خشک خورجینک با دانه را در مقایسه با سایر رژیم‌های آبیاری تولید نمود. همچنین مشاهده شد

که کم‌آبیاری شدید با ۱۱۰۴/۱۹ کیلوگرم در هکتار پایین‌ترین میزان وزن خشک خورجینک با دانه را داراست که کاهش ۴۰/۰۸ درصدی را نشان می‌دهد (جدول ۱۱). همچنین مقایسه میانگین‌های اثر اصلی زئولیت مشخص کرد که، کاربرد زئولیت باعث افزایش ۱۲/۵۶ درصدی وزن خشک خورجینک با دانه نسبت به عدم کاربرد زئولیت شد (جدول ۱۲).

جدول ۱۲- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی زئولیت بر صفات وزن خشک خورجینک با دانه، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، فلاونوئید

تیمار	وزن خشک خورجینک با دانه (kg.ha ⁻¹)	کلروفیل a (mg.g ⁻¹ F.W.)	کلروفیل b (mg.g ⁻¹ F.W.)	کلروفیل کل (mg.g ⁻¹ F.W.)	فلاونوئید (mg.g ⁻¹ F.W.)
عدم کاربرد	۰/۸۰b	۰/۸۰b	۰/۲۲۱b	۱/۰۲b	۱/۱۷b
کاربرد	۰/۸۳a	۰/۸۳a	۰/۲۳۶a	۱/۰۶a	۱/۱۹a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

وزن خشک کل

اثر متقابل تنش کم‌آبی و کاربرد زئولیت و نیز اثر متقابل تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی سرکه چوب، در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثر متقابل کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب در سطح احتمال پنج درصد بر صفت وزن خشک کل معنی‌دار شدند (جدول ۶). جدول مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و کاربرد زئولیت نشان داد که در تمام سطوح رژیم‌های آبیاری به غیر از آبیاری مطلوب، کاربرد زئولیت باعث افزایش وزن خشک کل در زمان پرشدن دانه شد. بالاترین وزن خشک کل در زمان پرشدن دانه در آبیاری مطلوب و عدم کاربرد زئولیت با ۳۹۰۲/۸۷ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۱۴). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی سرکه چوب نشان می‌دهد که در آبیاری مطلوب بیشترین وزن خشک کل با ۳۹۸۴/۶۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام می‌باشد که با عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با غلظت ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام در یک گروه آماری قرار می‌گیرد و اختلاف معنی‌داری ندارند. در کم‌آبیاری متوسط بیشترین وزن خشک کل (۳۷۴۶/۵۲ کیلوگرم در هکتار) با ۵۲/۹۴ درصد افزایش نسب به عدم محلول‌پاشی سرکه چوب، در تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام بدست آمد. سایر سطوح کم‌آبیاری از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۱۳). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل محلول‌پاشی سرکه چوب و

کاربرد زئولیت نشان داد که کاربرد زئولیت و عدم محلول‌پاشی سرکه چوب با وزن ۳۲۹۷/۵۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین وزن خشک کل را به خود اختصاص داد و پایین‌ترین وزن خشک کل مربوط عدم کاربرد زئولیت و عدم محلول‌پاشی سرکه چوب بود که اختلاف ۲۲/۳۵ درصدی را نشان می‌دهد (شکل ۱).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد، برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب، در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه 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 و به ترتیب افزایش ۳۶/۶۸ و ۳۲/۱۹ درصدی را نسبت به عدم کاربرد زئولیت و سرکه چوب نشان دادند. 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 ۱۰).

جدول ۱۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و سرکه چوب برای صفات وزن خشک کل و کلروفیل b

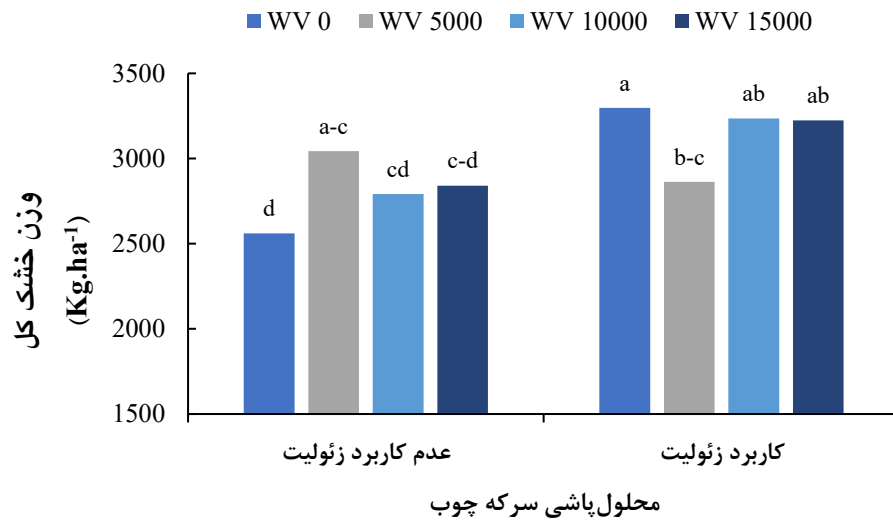
کلروفیل b (mg.g ⁻¹ F.W.)	وزن خشک کل (kg.ha ⁻¹)	تیمارها	
		سرکه چوب (ppm)	رژیم‌های آبیاری
۰/۲۳۶b	۳۵۱۵/۴۶a	۰	آبیاری مطلوب
۰/۲۶۵ab	۳۹۶۴/۶۳a	۵۰۰۰	
۰/۲۹۴a	۳۹۸۴/۶۳a	۱۰۰۰۰	
۰/۲۷۳a	۲۸۷۲/۱۳b	۱۵۰۰۰	
۰/۲۲۲b	۳۵۵۸/۸۹	۰	کم آبیاری ملایم
۰/۲۴۱b	۳۱۳۳/۹۰	۵۰۰۰	
۰/۲۷۰a	۳۰۱۸/۴۶	۱۰۰۰۰	
۰/۲۴۲b	۳۱۸۴/۴۸	۱۵۰۰۰	
۰/۲۰۰	۲۴۴۳/۵۷c	۰	کم آبیاری متوسط
۰/۲۱۹	۲۵۸۶/۴۴bc	۵۰۰۰	
۰/۲۰۱	۲۹۹۰/۳۷b	۱۰۰۰۰	
۰/۲۲۷	۳۷۴۶/۵۲a	۱۵۰۰۰	
۰/۱۹۷a	۲۱۹۷/۷۶	۰	کم آبیاری شدید
۰/۱۵۸b	۲۱۲۹/۳۲	۵۰۰۰	
۰/۲۱۴a	۲۰۵۷/۴۳	۱۰۰۰۰	
۰/۱۹۹a	۲۳۲۶/۴۷	۱۵۰۰۰	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر سطح رژیم آبیاری، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

جدول ۱۴. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و زئولیت برای صفات وزن خشک کل و پروکلین

پروکلین (μmol g ⁻¹ F.W.)	وزن خشک کل (kg.ha ⁻¹)	تیمارها	
		زئولیت	رژیم‌های آبیاری
۲۱/۳۸a	۳۹۰۲/۸۷a	عدم کاربرد	آبیاری مطلوب
۱۹/۵۰b	۳۲۶۵/۵۶b	کاربرد	
۲۶/۴۹a	۲۸۶۱/۴۹b	عدم کاربرد	کم آبیاری ملایم
۲۴/۱۱b	۳۵۸۶/۳۷a	کاربرد	
۲۸/۸۹	۲۶۷۴/۲۹b	عدم کاربرد	کم آبیاری متوسط
۲۷/۹۸	۳۲۰۹/۱۷a	کاربرد	
۳۵/۹۶	۱۷۹۸/۱۴b	عدم کاربرد	کم آبیاری شدید
۳۷/۲۲	۲۵۵۷/۳۵a	کاربرد	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر سطح رژیم آبیاری، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.



شکل ۱- اثر متقابل کاربرد زئولیت و محلول پاشی سرکه چوب روی وزن خشک کل

کلروفیل a

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی محلول پاشی رژیم‌های آبیاری و سرکه چوب در سطح یک درصد و زئولیت در سطح پنج درصد برای کلروفیل a معنی‌دار شدند (جدول ۷). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رژیم‌های آبیاری نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a در آبیاری مطلوب با ۰/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین میزان آن در کم آبیاری شدید با ۰/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ وجود دارد که

کاهش ۲۱/۱۱ درصدی را نشان می‌دهد (جدول ۱۱). جدول مقایسه میانگین‌های اثر اصلی زئولیت مشخص کرد که کاربرد زئولیت باعث افزایش کلروفیل a به میزان ۳/۶۱ درصد می‌شود (جدول ۱۲). بر اساس جدول مقایسه میانگین‌های اثر اصلی محلول پاشی سرکه چوب بیشترین مقدار کلروفیل a به ترتیب با ۰/۸۳۷ و ۰/۸۳۶ در تیمارهای محلول پاشی ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام ثبت شد که از نظر آماری در یک گروه قرار می‌گیرند (جدول ۱۵).

جدول ۱۵. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی محلول پاشی سرکه چوب روی صفات کلروفیل a، کلروفیل کل، کارتنوئید، پرولین

تیمار	کلروفیل a (mg.g ⁻¹ F.W.)	کلروفیل کل (mg.g ⁻¹ F.W.)	کارتنوئید (mg.g ⁻¹ F.W.)	پرولین (μmol g ⁻¹ F.W.)
۰	۰/۷۹۲b	۱/۰۰۵b	۰/۲۶۱b	۲۵/۴۱c
۵۰۰۰	۰/۷۸۱b	۱/۰۰۱b	۰/۲۵۷b	۲۶/۶۸c
۱۰۰۰۰ (ppm)	۰/۸۳۷a	۱/۰۸۱a	۰/۲۷۸a	۳۰/۱۸a
۱۵۰۰۰	۰/۸۳۶a	۱/۰۷۱a	۰/۲۷۴a	۲۸/۴۹b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × محلول پاشی سرکه چوب در سطح ۵ درصد و همچنین اثر اصلی زئولیت در سطح یک درصد برای کلروفیل b معنی‌دار شدند (جدول ۷).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول پاشی سرکه چوب نشان داد. در آبیاری مطلوب، کم آبیاری ملایم و کم آبیاری شدید به ترتیب با ۰/۲۹۴، ۰/۲۷۰ و ۰/۲۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، بالاترین میزان کلروفیل b مربوط به محلول پاشی با غلظت

مقایسه میانگین‌های اثر اصلی محلول‌پاشی سرکه چوب مشخص کرد که بالاترین میزان کارتنوئید به ترتیب با ۰/۲۸۷ و ۰/۲۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، در محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام بدست آمد که از نظر آماری اخلاقی بایکدیگر ندارند و در یک گروه قرار می‌گیرند (جدول ۱۵).

آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری در سطح یک و محلول‌پاشی سرکه چوب در سطح پنج درصد برای فلاونوئید معنی دار شدند (جدول ۸). مقایسه میانگین‌های اثر سه گانه رژیم‌های آبیاری، زئولیت و سرکه چوب نشان داد که، به‌غیر از کم‌آبیاری متوسط که تیمار محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۵۰۰۰ نسبت به سایر تیمارها مقدار آنتوسیانین کمتری در برگ‌های خود جا داده بود، مابقی سطوح آبیاری تفاوت معنی‌دار از نظر آماری با یکدیگر نداشتند (جدول ۱۰).

فلاونوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و زئولیت برای فلاونوئید در سطح یک درصد معنی دار شدند (جدول ۸). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی کم‌آبیاری مشخص کرد که بیشترین مقدار فلاونوئید (۱/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در کم‌آبیاری شدید و کمترین مقدار فلاونوئید (۱/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در آبیاری مطلوب وجود دارد که کاهش ۱۳/۴۹ درصدی فلاونوئید کل را در رژیم‌های آبیاری نشان می‌دهد (جدول ۱۱). جدول مقایسه میانگین‌های اثر اصلی زئولیت نشان داد که کاربرد زئولیت باعث افزایش مقدار فلاونوئید تا ۱/۶۸ درصد می‌شود (جدول ۱۲).

پرولین

اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و زئولیت در سطح پنج درصد و محلول‌پاشی سرکه چوب در سطح یک درصد برای صفت پرولین معنی‌دار شدند (جدول ۸). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی محلول‌پاشی سرکه چوب

۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام بود اما در کم‌آبیاری متوسط میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با هم نداشتند (جدول ۱۳). جدول مقایسه میانگین‌های اثر اصلی زئولیت نشان داد که کاربرد زئولیت باعث افزایش کلروفیل b تا ۶/۳۵ درصد می‌شود (جدول ۱۲).

کلروفیل کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی محلول‌پاشی رژیم‌های آبیاری و سرکه چوب در سطح یک درصد و زئولیت در سطح پنج درصد برای کلروفیل کل معنی‌دار شدند (جدول ۷). بررسی مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رژیم‌های آبیاری نشان داد که به ترتیب، آبیاری مطلوب با ۱/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بیشترین کلروفیل کل و کم‌آبیاری شدید با ۰/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ کمترین کلروفیل کل را به خود اختصاص داد که کاهش ۲۲/۲۲ درصدی را در بین حداکثر و حداقل ظرفیت زراعی تعیین شده نشان می‌دهد (جدول ۱۱). در مقایسه میانگین‌های اثر اصلی زئولیت مشاهده شد که کاربرد زئولیت باعث افزایش کلروفیل کل تا ۳/۷۷ درصد می‌شود (جدول ۱۲). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی محلول‌پاشی بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمارهای محلول‌پاشی ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب با ۱/۰۸ و ۱/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ ثبت شد که از نظر آماری در یک گروه قرار می‌گیرند (جدول ۱۵).

کارتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی سرکه چوب برای کارتنوئید در سطح یک درصد معنی دار شدند (جدول ۷). بررسی مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رژیم‌های آبیاری نشان داد که به ترتیب، آبیاری مطلوب با ۰/۳۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بیشترین کارتنوئید و کم‌آبیاری شدید با ۰/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ کمترین کارتنوئید را به خود اختصاص داده‌اند که کاهش ۲۳/۳۳ درصدی در بین رژیم‌های آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری شدید را نشان می‌دهد (جدول ۱۱). جدول

همبستگی بین صفات کاملینا

جدول همبستگی صفات کاملینا نشان داد که عملکرد دانه با وزن خشک خورجینک با دانه (**۰/۶۷)، وزن خشک کل (**۰/۵۰)، کلروفیل کل (**۰/۶۸) و کارتنوئید (**۰/۶۸) همبستگی مثبت و معنی داری داشت و از طرفی با فلاونوئید (**۰/۶۵)، آنتوسیانین (*-۰/۴۱) و پرولین (**-۰/۶۴) همبستگی منفی و معنی دار از خود نشان داد (جدول ۱۶). بین وزن خورجین با عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های کلزا همبستگی مثبت و معنی داری گزارش شد (آروین و همکاران ۲۰۱۰).

مشخص کرد که بیشترین مقدار پرولین (۳۰/۱۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) با افزایش ۲۱/۲۵ درصدی در محلول پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰۰ پی پی ام و کمترین مقدار آن (۲۵/۴۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار عدم محلول پاشی سرکه چوب بدست آمد (جدول ۱۵). جدول مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم آبی و ژنوتیپ نشان داد که در آبیاری مطلوب و کم آبیاری ملایم کاربرد ژنوتیپ به ترتیب ۸/۷۹ و ۸/۸۹ درصد باعث کاهش محتوای پرولین در بافت برگ شد اما در کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید اختلاف میانگین‌ها تاثیر معناداری از نظر آماری نداشتند (جدول ۱۴).

جدول ۱۶- ضرایب همبستگی بین صفات کاملینا

صفات	وزن خشک خورجینک با دانه	وزن خشک کل	عملکرد دانه	کلروفیل کل	کارتنوئید	فلاونوئید	آنتوسیانین	پرولین
وزن خشک کل	۰/۸۵**	۱/۰۰						
عملکرد دانه	۰/۶۷**	۰/۵۰**	۱/۰۰					
کلروفیل کل	۰/۷۴**	۰/۵۸**	۰/۶۸**	۱/۰۰				
کارتنوئید	۰/۷۵**	۰/۶۲**	۰/۶۸**	۰/۹۰**	۱/۰۰			
فلاونوئید	۰/۷۱**	۰/۵۸**	۰/۶۵**	۰/۷۰**	۰/۷۹**	۱/۰۰		
آنتوسیانین	۰/۵۲**	۰/۴۷**	۰/۴۱*	۰/۴۵**	۰/۴۶**	۰/۶۸**	۱/۰۰	
پرولین	۰/۷۶**	۰/۶۵**	۰/۶۴**	۰/۶۸**	۰/۶۹**	۰/۸۷**	۰/۶۷**	۱/۰۰

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد و بدون علامت غیر معنی داری را نشان می دهد.

بحث

تنش شدید خشکی، پتانسیل آماس سلولی را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. در این شرایط، تخصیص مواد مغذی به ریشه به طور قابل توجهی افزایش می یابد، در حالی که ساقه با کمبود مواد مغذی مواجه می شود. کمبود کربوهیدرات به دلیل اختلال در فتوسنتز و توزیع نامناسب مواد، رشد ساقه را به شدت کاهش می دهد (عبدالله و ال خوشیپان ۲۰۰۷). تنش خشکی در دوره زایشی، از طریق کاهش طول دوره پرشدن دانه باعث کاهش وزن دانه و وزن خورجین با دانه می شود (سید احمدی و همکاران ۲۰۱۵). تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه‌ها، با کاهش انتقال مواد مغذی به دانه‌ها، باعث

کاهش وزن تر خورجینک با دانه می شود. اگر تنش آبی در ابتدای دوره رشد گیاه رخ دهد، سطح برگ کاهش می یابد و این موجب کاهش تثبیت کربن و وزن خشک برگ می شود (نیک نژاد و امام ۲۰۰۷). وزن دانه به دلیل سرعت و طول دوره پر شدن آن تغییر می کند و وجود شرایط تنشی مثل کمبود آب، به ویژه در مرحله تشکیل و پر شدن دانه، باعث کاهش فعالیت فتوسنتزی شده و در نتیجه سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت وزن آن را کاهش می دهد (محمدی و همکاران ۲۰۰۶). استفاده از سرکه چوب باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی می شود و در نتیجه، سرعت رشد گیاه افزایش می یابد. ژنوتیپ‌ها به دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و

جذب بعضی از کاتیون‌ها مانند آمونیوم در ساختار خود، علاوه بر نقش اصلاح کنندگی در خاک، می‌تواند نقش تغذیه‌ای نیز داشته و باعث بهبود رشد گیاه، به‌ویژه در اراضی با قابلیت تبادل کاتیونی پایین، مانند خاک‌های شنی گردند (پیرزاد و همکاران ۲۰۱۳). سرکه چوب حاوی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف از جمله پتاسیم، آهن، منگنز، فسفر، آلومینیوم، مس، کلسیم و روی است (یاماتو و همکاران ۲۰۰۶) که این عناصر در فعالیت‌های حیاتی گیاه، افزایش فتوسنتز و زیست‌توده گیاه نقش دارند. هنگامی که گیاه در مرحله رشد خورجین‌ها، با کمبود آب مواجه می‌شود، انتقال مواد غذایی از منابع به دانه‌ها کاهش می‌یابد و این موضوع باعث کاهش عملکرد می‌شود. کاهش عملکرد به‌طور معمول ناشی از کاهش اجزای عملکرد از جمله تعداد خورجین‌ها، تعداد دانه‌ها در خورجین، ارتفاع بوته و وزن هزاردانه می‌باشد (صفری و همکاران ۲۰۲۳). کاهش مقادیر کلروفیل a و b، به عنوان یک مکانیسم حفاظت نوری عمل می‌کند تا با کاهش جذب نور، گیاه از آسیب‌های زنجیره فتوسنتزی حفاظت نماید. زئولیت به طور مستقیم به سنتز کلروفیل کمک نمی‌کند، اما از طریق اثرات غیرمستقیم، تأثیرات تنش‌های کمبود آب و نیتروژن را با جذب رطوبت و نگهداری آمونیوم (N)، و همچنین جلوگیری از شستشوی نیتروژن کاهش می‌دهد، که منجر به افزایش میزان کلروفیل در گیاه می‌شود. زئولیت باعث افزایش کارایی عناصر مصرفی، به‌ویژه نیتروژن نیز می‌شود، بنابراین استفاده از زئولیت می‌تواند میزان کلروفیل را به مقدار قابل توجهی افزایش دهد (شینده و همکاران ۲۰۲۱). در آزمایش حاضر، محتوای کاروتنوئید تحت تنش کمبود آب کاهش یافت. این کاهش ممکن است به دلیل اکسیداسیون توسط ROS و تخریب ساختار آنها باشد. همچنین، محتوای کاروتنوئید در گوجه‌فرنگی‌های برداشت شده از گیاهانی تیمار شده با ۰.۱٪ اسید پیروگلیکوس (سرکه چوب) در مقایسه با شاهد، بیشتر بود (اوفه و همکاران ۲۰۲۲). آنتوسیانین‌ها نیز مشابه فلاونوئیدها، رنگیزه‌های محافظ هستند که گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کنند. در پژوهشی بیان شده است که مقدار آنتوسیانین بگونای دائم گل در شرایط

تنش خشکی افزایش یافته است (چالکر اسکات ۲۰۰۲). فلاونوئیدها می‌توانند به عنوان یک سیستم آنتی‌اکسیدانی ثانویه برای مقابله با گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در گیاهانی که تحت تنش طولانی مدت قرار دارند، عمل نمایند. کاهش فلاونوئیدها در سطوح بالاتر تنش خشکی نیز ممکن است دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌هایی باشد که در بیوسنتز فلاونوئیدها دخیل هستند (یانگ و همکاران ۲۰۰۷). زئولیت ممکن است با افزایش در دسترس بودن مواد مغذی خاک، جذب مواد مغذی گیاه، حفظ آب و نسبت C:N خاک، شرایط رشد گیاه را بهبود بخشد و منجر به افزایش محتوای متابولیت‌های ثانویه و فلاونوئیدها شود (مله و همکاران ۲۰۱۸). افزایش پرولین تحت تنش کمبود آب در گیاه هویچ توسط رزاق و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد. افزایش محتوای پرولین می‌تواند نفوذپذیری غشای پلاسمایی سلولی را تغییر داده، پتانسیل اسمزی سلول‌ها و در نتیجه از دست دادن آب سلول‌ها را کاهش دهد و باعث افزایش مقاومت به تنش در گیاهان گردد (جین و همکاران ۲۰۱۹).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، رژیم‌های آبیاری، کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کاملینا تأثیر معنی‌داری داشت. به طور کلی شرایط تنش کم‌آبیاری باعث کاهش قابل توجه وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه شد. همچنین عملکرد دانه و شاخص‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کارتنوئید) به طور قابل توجهی در طول تنش کم‌آبی کاهش پیدا کرد و از طرفی کم‌آبی باعث افزایش محتوای آنتوسیانین و فلاونوئید در برگ‌ها شد. در شرایط آبیاری مطلوب کاربرد زئولیت و عدم محلول‌پاشی سرکه چوب توصیه می‌شود. بیشترین تأثیر زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب روی عملکرد دانه با غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام سرکه چوب، در شرایط کم‌آبیاری ملایم و متوسط مشاهده شد. در شرایط تنش کم‌آبیاری شدید عدم کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام به

تشکر و قدردانی

با احترام و مودت، ما، نویسندگان این پروژه، از تمامی دوستان و همکاران، که با حمایت‌ها و مساعدت‌های صمیمی خود، ما را در انجام این طرح یاری کرده‌اند، کمال سپاس و قدردانی را داریم. همچنین، از دانشگاه تربیت مدرس برای تأمین بودجه این پژوهش تشکر می‌شود.

دلیل افزایش قابل توجه عملکرد دانه توصیه می‌شود. کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سرکه چوب می‌تواند به عنوان یک راهبرد مناسب برای افزایش مقاومت گیاه به تنش کم‌آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. این نتایج می‌تواند در جهت بهبود تولید در مناطق با کمبود آب، مفید باشد.

منابع مورد استفاده

- Abdalla MM and El-Khoshiban NH. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12), 2062-2074.
- Armandpisheh O, Irannejad H, Allahdadi I, Amiri R, Ebadi AG, and Koliaei A A. 2009. Application of zeolite in drought stress on vigourity of canola seed (Zarfam Cultivar). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 5, 832-837.
- Arvin P, Azizi M and Soltani A. 2010. Comparison of yield and physiological indices of spring cultivars of oilseed rape species. *Seed and Plant Journal*, 25: 401-417. <https://doi.org/10.22092/spj.2017.110990> (In Persian).
- Bass AM, Bird MI, Kay G and Muirhead B. 2016. Soil properties, greenhouse gas emissions and crop yield under compost, biochar and co-composted biochar in two tropical agronomic systems. *Science of the Total Environment*, 550, 459-470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.143>
- Cataldo EC, Salvi LS, Paoli FP, Fucile MF, Masciandaro GM, Manzi, DM, Mattii GBM. 2021. Effects of natural clinoptilolite on physiology, water stress, sugar, and anthocyanin content in Sanforte (*Vitis vinifera* L.) young vineyard. *The Journal of Agricultural Science*, 159(7-8), 488-499. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000915>
- Chalker-Scott L. 2002. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Advances in Botanical Research*, 37, 103-106. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2296\(02\)37046-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2296(02)37046-0)
- Emam Y and Niknejad M. 2011. Introduction on Crop Physiology. Shiraz University Publication. 571Pp. (In Persian)
- Grewal A, Abbey L, and Gunupuru LR. 2018. Production, prospects and potential application of pyrolygneous acid in agriculture. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 135, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.09.008>
- Hassan-panah D. 2010. Investigating the different effects of wood vinegars on the production of Agria potato mini tuber under greenhouse conditions. *Scientific Research Quarterly. Journal of Agro-Plant Sciences*. 2(4):75-67. (In Persian)
- Hazrati S, Tahmasebi-Sarvestani Z, Mokhtassi-Bidgoli A, Modarres-Sanavy SAM, Mohammadi H, and Nicola S. 2017. Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agricultural Water Management*, 181, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.026>
- Hiscox Jt, Israelstam G, 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57, 1332-1334. <https://doi.org/10.1139/b79-163>
- Hlaváčová M, Klem K, Rapantová B, Novotná K, Urban O, Hlavinka P and 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. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.022>

- Jin JT, Li Y, Li RJ, Liu XL, and Li LM. 2019. Advances in studies on effects of elevated atmospheric carbon dioxide concentration on plant growth and development. *Plant Physiology Journal*, 55(5), 558-568.
<https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1862682>
- khorashahi M. 2016. Effect of potassium adsorption on the zeolite. *Applied Field Crops Research*, 29(2), 6-13. <https://doi.org/10.22092/aj.2016.109574>
- Krizek DT, Kramer GF, Upadhyaya A. and Mirecki RM. 1993. UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halid and high-pressure sodium/deluxe lamps. *Physiology of Plant*, 88, 350-358.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb05509.x>
- Kunmiao Z, Sicheng G, Jiahuan L, Tao L, Zaid K, Kangkang Z and Liyong H. 2021. Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. *Agron.*, 11 (3): 510. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11030510>
- Lu SN, Zhou L, Wang LJ, Liu L and Zhang HM. 2023. Research progress on preparation of wood vinegar and its application in agriculture.
- Mele MA, Islam MZ, Kang HM and Giuffrè AM. 2018. Pre-and post-harvest factors and their impact on oil composition and quality of olive fruit. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 592-603.
<https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i7.1742>
- Moeshedloo MR, Salagmi E, Nazeri V and Keriker L. 2015. Phytochemical, physiological evaluation and expression of some genes involved in the biosynthesis of secondary metabolites in marjoram (*Origanum vulgare* L.) under water stress conditions. Ph.D. thesis of Tehran University. (In Persian)
- Mohammadi GH, Golezani KG, Javanshir A and Moghaddam M. 2006. The influence of water limitation on the yield of three chickpea cultivars. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 10(2), 109-120. (In persian)
- Ofoe R, Qin D, Gunupuru LR, Thomas RH and Abbey L. 2022. Effect of pyroligneous acid on the productivity and nutritional quality of greenhouse tomato. *Plants*, 11(13), 1650.
<https://doi.org/10.3390/plants11131650>
- Pirzad AL, Yoosefi M, Darvishzadeh R, and Raei Y. 2013. Effect of Different Rates of Zeolite and Nitrogen Fertilizer on Yield and Harvest Index of Flower, Grain, Essential oil and Seed Oil of *Calendula officinalis* L. *JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION*, 23(2), 61-75. (In Persian)
- Razzaq M, Akram NA, Ashraf M, Naz H and Al-Qurainy F. 2017. Interactive effect of drought and nitrogen on growth, some key physiological attributes and oxidative defense system in carrot (*Daucus carota* L.) plants. *Sci Hort* 225:373–379. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.055>
- Safari MR, Dadashi MR, Faraji A and Armin M. 2023. Effect of Biofertilizer and Drought Stress on Quantitative and Qualitative Traits in Some Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars. *Romanian Agricultural Research*, (40). <http://dx.doi.org/10.59665/rar4038>
- Seyed Ahmadi A, Bakhshandeh A and Gharineh MH. 2015. Evaluation Physiological Characteristics and Grain Yield Canola Cultivars under end Seasonal Drought Stress in Weather Condition of Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(1), 71-80. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i1.48318>
- Shinde TS, Pawar RB, Satpute AV and Shende SM. 2021. Effect of zeolite on chlorophyll content, growth attributing characters and yield of kharif upland paddy grown on Inceptisol. *IJCS*, 9(1), 167-169.
<http://dx.doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1c.11223>
- Singh SK, Rajpurohit B and Singha P. 2021. Camelina (*Camelina sativa*) seed. Oilseeds: Health attributes and food applications, 455-471.
- Travero J T and Mihara M. 2016. Effects of pyroligneous acid to growth and yield of soybeans (*Glycine max*). *International Journal of Environmental and Rural Development*, 7(1), 50-54.

- Yamato M, Okimori Y, Wibowo IF, Anshori S and Ogawa M. 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil science and plant nutrition*, 52(4), 489-495. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x>
- Yang Y, He F, Yu L, Chen X, Lei J and Ji J. 2007. Influence of drought on oxidative stress and flavonoid production in cell suspension culture of *Glycyrrhiza inflata* Batal. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 62(5-6), 410-416. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-5-615>
- Zanetti F, Alberghini B, Marjanović Jeromela A, Grahovac N, Rajković D, Kiproviski B and Monti A. 2021. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 1-18. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-020-00663-y>
- Zhai M, Shi G, Wang Y, Mao G, Wang D, and Wang Z. 2015. Chemical compositions and biological activities of pyroligneous acids from walnut shell. *BioResources*, 10(1), 1715–1729. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.1715-1729>