Plant Production Technology/ Volume 23/ Issu 2/ Pages 39-51/ Autumn and Winter 2024
https://doi.org/10.22084//PPT.2024.18989.1920

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Effect of Different Levels of Zeolite on Some Physiological Traits, Oil and Protein Yield of Linseed Under Deficit Irrigation

Mohammad Naseri[1], M. and Tadayon[2*], M. R.

1 and 2. MSc Student and Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

⁎: Corresponding author Email: mrtadayon@yahoo.com

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the supervision of Mahmoud Reza Tadayon.

Received: 2023/02/01 Accepted: 2024/03/09

Abstract

In order to investigate the effect of different levels of zeolite and defficit irrigation on some physiological traits, oil and protein yield of linseed crop, in a split plot experiment were conducted in based on a randomized complete blocks design with three replications in Shahrekord University in 2016. Defficit irrigation as the main factor in four levels, including 50 (control), 80, 130 and 180 mm of evaporation from the class A evaporation pan, and the use of zeolite as a secondary factor in three levels, including non-use (control) and the use of 5 and 10 ton.ha^{-1} were considered. The results of the experiment showed that the application of zeolite at a probability level of 1% had a significant effect on the content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids of leaves, oil yield, nitrogen percentage, protein percentage and seed protein yield, allthogh, the oil percentage was not affected by this treatment. Also, different levels of irrigation were significant on all the mentioned traits at the level of 1%. The interaction of the simple effect of the treatments on protein percentage, nitrogen percentage, chlorophyll a and total chlorophyll was significant at the 1% probability level and on oil yield and chlorophyll b at the 5% probability level, and showed non-significance on the oil percentage, protein yield and carotenoid . The highest amount of the above traits was obtained from the control treatment (normal irrigation) and the application of 10 tons zeolite /hectare, and the lowest amount of the traits was obtained from the treatment of 180 mm of evaporation from the evaporation pan and no application of zeolite. The results showed that the application of zeolite has significantly improved the performance of the linseed crop in non-stress conditions to moderate drought stress conditions.

Keywords: Protein Percentage, Oil Percentage, Nitrogen Percentage, Chlorophyll

Introduction

Oilseeds are big sources of energy and protein. Linseed (*Linum usitatissimum*) is an oilseed crop with a history of several thousand years of cultivation, which seeds contain 30 to 50% edible oil. Linseed is a one-year herbaceous plant belonging to the Linaceae family, which is believed to have originated in the western Mediterranean (Omidbeighi, 2014). The protein content of linseed seeds is between 29-44%. It has been reported (Iran-Nejad, 2014). Water defficit is one of the significant and important stresses affecting the growth, development and functions crops. Water stress in plants may lead to physiological disorders such as reduction of photosynthetic pigments, reduction of assimilates. and reduce growth (Petropoulos *et al*., 2008). water stress reduces the absorption of nutrients through the roots due to the reduction of soil water and the reduction of the distribution of nutrients in the soil tissue; it also reduces the transfer of nutrients from the roots to When plants are under stress, their chlorophyll content decreases and as a result, photosynthetic activity also decreases in plants under stress.

Materials and Methods

The field experiment has been conducted as a split plot based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of Shahrekord University on linseed crop in 2016. The main factor water stress included four levels of 50 (control), 80, 130, the lowest irrigation level and 180 mm of evaporation from the evaporation pan, and the secondary factor of zeolite consumption in three levels, including control (without zeolite), 5 and 10 tons of zeolite per hectare. The traits of chlorophyll concentration (a, b and total), yield and yield components, thousand seed weight, oil percentage, seed oil yield, seed nitrogen percentage, protein percentage and seed protein yield were measured.

Results and Discussion

The experiment results showed that the application of zeolite on chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid, oil yield, nitrogen percentage, protein percentage and seed protein yield was significant at the probability level of 1% and it was not significant on oil percentage. Also, different irrigation levels were significant on all the mentioned traits at the level of 1%. The interaction effect of treatments on protein percentage, nitrogen percentage,

chlorophyll a and total chlorophyll was significant at one percent probability level, and on oil yield and chlorophyll b at five percent probability level. It was not significant on oil percentage, protein yield, and carotenoid. The results showed that deficit irrigation reduced all investigated traits. So that the maximum amount of the above traits were obtained from the control treatment (normal irrigation) and the application of 10 tons of zeolite per hectare, and the lowest amount of traits was obtained from of 180 mm evaporation from the evaporation pan and the absence of zeolite application. The results showed that the use of zeolite, has significantly increased the yield of linseed crop under non-stress conditions to moderate drought stress conditions, but under severe stress conditions, the limiting effects of drought stress have significantly reduced the studied traits.

Conclusion

The results showed that the use of zeolite, due to its property of absorbing water, maintaining and increasing the availability of moisture, reduces the intensity of drought stress and moderates the destructive effects of drought stress on the content of chlorophyll, carotenoid, and protein in plants. In this research, it was found that the use of 10 tons of zeolite per hectare had a favorable effect on reducing the damage caused by drought stress in linseed crops, and considering the abundance of zeolite in different parts of the country and its reasonable economic price, as well as, the problem of drought stress in Iran, the use of Zeolite can improve plant access to soil water and increase yield and quality of oil and protein of linseed under water deficit conditions.

Citations: Mohammad Naseri, M. & Tadayon, M. R. (2024). Effect of Different Levels of Zeolite on Some Physiological Traits, Oil and Protein Yield of Linseed Under Deficit Irrigation. *Plant Production Technology*, *23*(2), 39-51. https://doi.org/10.22084/PPT.2024.18989.1920

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Online ISSN: 2476-5651 **Print ISSN:** 2476-6321

فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و سوم/ شمارهٔ دوم/ صفحات ۳۹- ۵۱/ پاییز و زمستان ۱۴۰۲
https://doi.org/10.22084/PPT.2024.18989.1920

اثر سطوح مختلف زئولیت بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد روغن و پروتئین بزرک تحت‌تأثیر کم آبیاری

Effect of Different Levels of Zeolite on Some Physiological Traits, Oil and Protein Yield of Linseed Under Deficit Irrigation

مریم محمدناصری[۱] و محمودرضا تدین[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سطوح زئولیت و کم آبیاری روی برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد روغن و پروتئین گیاه بزرک، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ در دانشگاه شهرکرد به اجرا درآمد. کم‌آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در چهار سطح، شامل ۵۰ (شاهد)، ۸۰، ۱۳۰و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و مصرف زئولیت به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح شامل عدم کاربرد (شاهد) و کاربرد به‌میزان ۵ و ۱۰ تن در هکتار در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش نشان داد کاربرد زئولیت در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ، عملکرد روغن، درصد نیتروژن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه اثر معنی‌دار داشت، درصد روغن تحت‌تأثیر این تیمار قرار نگرفت. هم‌چنین سطوح مختلف آبیاری نیز بر روی کلیه صفات مذکور در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. برهم‌کنش اثر ساده تیمارها بر درصد پروتئین، درصد نیتروژن و کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال ۱ درصد و بر عملکرد روغن و کلروفیل b در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و بر درصد روغن، عملکرد پروتئین و کاروتنوئید عدم معنی‌داری را نشان داد. بیش‌ترین میزان صفات فوق از تیمار شاهد (آبیاری معمولی) و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار و کم‌ترین میزان صفات در تیمار ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و عدم کاربرد زئولیت، به‌دست آمد. نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط بدون تنش، تا شرایط تنش خشکی متوسط، کاربرد زئولیت به‌گونه معنی‌داری سبب بهبود عملکرد گیاه بزرک شده است.

واژه‌های کلیدی: درصد پروتئین، درصد روغن، درصد نیتروژن، کلروفیل

ارجاع به مقاله: محمدناصری، م. و تدین، م. ر. (۱۴۰۲). اثر سطوح مختلف زئولیت بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد روغن و پروتئین بزرک تحت‌تأثیر کم آبیاری، مجله فنآوری تولیدات گیاهی، ۲۳(۲)، ۳۹-۵۱. https://doi.org/10.22084//PPT.2024.18989.1920

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱ **شاپا چاپی:** ۲۴۷۶-۶۳۲۱

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
*: نویسنده مسئول Email: mrtadayon@yahoo.com

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول به راهنمایی آقای محمودرضا تدین می‌باشد.

مقدمه

دانه‌های روغنی منابع بزرگ انرژی و پروتئین هستند. بزرک (*Linum usitatissimum*) گیاه دانه روغنی با سابقه کاشت چند هزارساله است که دانه آن حاوی ۳۰ تا ۵۰ درصد روغن با مصرف خوراکی است. بزرک گیاهی علفی، یک‌ساله، متعلق به تیره کتان (*Linaceae*) است که منشاء آن را غرب مدیترانه دانسته‌اند (امیدبیگی، ۱۳۹۴). استفاده از این روغن از سرطان جلوگیری می‌کند. میزان پروتئین دانه‌ها برای صنایع غذائی بسیار مهم است. میزان پروتئین دانه کتان بین ۲۹-۴۴ درصد گزارش شده است (ایران‌نژاد، ۱۳۸۴). کمبود آب یکی از تنش‌های قابل‌توجه و مهم مؤثر بر رشد، توسعه و عملکرد محصولات کشاورزی است. کمبود آب در گیاهان ممکن است منجر به اختلالات فیزیولوژیکی مانند کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش آسیمیلات و کاهش رشد شود (*پتروپلوس*[1] و همکاران، 2008). تنش خشکی جذب مواد غذایی از طریق ریشه را به دلیل کاهش آب خاک و کاهش توزیع عناصر غذایی در بافت خاک کاهش می‌دهد؛ هم‌چنین موجب کاهش انتقال مواد غذایی از ریشه‌ها به شاخساره می‌شود. گیاهان زمانی‌که در وضعیت تنش قرار می‌گیرند، محتوای کلروفیل آن‌ها کاهش یافته و در نتیجه فعالیت فتوسنتزی نیز در گیاهان تحت‌تنش کاهش می‌یابد (*جمیل*[2]، 2007). بهبود کارآیی مصرف آب به روش‌های مختلف است که موجب افزایش کمی و کیفی گیاهان زراعی می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از آلومینوسیلیکات‌های طبیعی مانند زئولیت در فعالیت‌های کشاورزی جهت مقابله با اثرهای کمبود و تنش آبی رو به گسترش است. زئولیت یک ماده معدنی است که عمدتاً از آلومینوسیلیکات تشکیل شده و کاربرد تجاری عمده آن در صنایع و کشاورزی به‌عنوان جاذب سطحی است (*اوزباچه*[3] و همکاران، 2014). استفاده از زئولیت در خاک می‌تواند سرعت نفوذ آب و توانایی خاک برای نگه‌داری مواد مغذی بیش‌تر و آب را افزایش دهد. به‌کار بردن زئولیت در کشاورزی موجب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل زیاد برای جذب و نگه‌داری آمونیوم می‌شود و بنابراین نقش مؤثری در کاهش شستشوی عناصر غذائی خاک به خصوص نیتروژن دارد. زئولیت‌ها در جذب و ذخیره‌سازی آب قابلیت فراوانی دارند و سبب می‌شوند آب مصرفی در خاک ذخیره شود، تا در مواقع ضروری آب ذخیره شده توسط گیاه مورداستفاده قرار گیرد (*برانوال*[4]،2007).

در تحقیقی که توسط جنسن[5] و همکاران (1996) انجام گرفت تنش خشکی در کلزا، باعث کاهش مقدار روغن دانه گردید. برخی دیگر از محققان گزارش دادند با کاهش آب در دسترس، درصد روغن کاهش، اما درصد پروتئین افزایش می‌یابد. بیش‌تر بودن درصد پروتئین در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند با کاهش طول دوره رشد و نمو مرتبط باشد که سبب کاهش نسبت روغن به پروتئین و افزایش درصد پروتئین می‌شود (*قاسمی‌گلعزانی* و *فرشباف‌جعفری*[6]، 2012). گزارش شده است در اثر تنش خشکی، محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و روغن کاهش می‌یابد (*کاسنیو* و *توسلی*[7]، 2007).

در مطالعه‌ای که توسط سیبی و همکاران (۱۳۹۰) بر روی گیاه گلرنگ انجام شد، مشخص شد، که بیش‌تر صفات عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره تحت‌تأثیر تیمار تنش آبی قرار گرفتند و با افزایش شدت تنش آبی، عملکرد و اجزاء عملکرد نیز کاهش یافت و تیمارهای مصرف زئولیت (۴ و ۸ تن در هکتار) برتری چشمگیری را نسبت به تیمار عدم مصرف زئولیت نشان دادند و موجب افزایش صفاتی هم‌چون ارتفاع گیاه، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت غوزه‌های اصلی شد. اثر برهم‌کنش آبیاری و زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا، بر وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در سطح یک درصد معنی‌دار شد. در وضعیت آبیاری مطلوب انتقال بسیار مناسبی از فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها صورت می‌گیرد ولی با بروز تنش کم‌آبی شاهد کاهش چشمگیری از ذخیره این فرآورده‌ها در دانه اتفاق می‌افتد، که باتوجه‌به کاهش موازی سایر اجزای عملکرد، می‌توان گفت که دلیل کاهش وزن هزاردانه، کاهش میزان فتوسنتز است، نه تغییر معنی‌دار در تسهیم مواد به دانه‌ها، که از مهم‌ترین دلایل آن کاهش دوره پر شدن دانه، کاهش میزان رنگیزه و آنزیم‌های فتوسنتزی به‌ویژه روبیسکو است. دیوارهٔ خورجین در حال رشد با دانه‌های در حال توسعه، برای جذب مواد فتوسنتزی به شدت رقابت می‌کنند که در زمان افزایش تنش‌های محیطی این رقابت بیش‌تر شده و منجر به کاهش عملکرد دانهٔ کلزا از طریق ریزش خورجین‌ها می‌شود. با ادامه اعمال تنش تعداد دانه در خورجین نیز کاهش معنی‌داری یافته است. باتوجه به میزان عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب و هم‌چنین کم بودن آن در شرایط تنش کم‌آبی، می‌توان گفت که در حالت دوم، گیاه سهم قابل‌توجهی از فرآورده‌های فتوسنتزی خود را صرف ساخت و تشکیل

1. Petropoulos
2. Jamil
3. Ozbache
4. Brannvall
5. Jensen
6. Ghassemi-Golezani and Farshbaf-Jafari
7. Casenave and Toselli

اندام‌های رویشی نموده و تا حدی نسبت به انتقال آن‌ها به مقاصد مهم‌تری نظیر دانه با محدودیت مبدأ مواجه بوده است به‌ویژه هنگامی که مرحله تنش، در مرحله‌ی گل‌دهی و پس از آن باشد (پازکی، ۱۳۸۹). باتوجه به اهمیت گیاه بزرک در تولید روغن و نیز بالا بودن کیفیت روغن آن و هم‌چنین به‌دلیل دوره رویشی کوتاه که مناسب کاشت در مناطقی با کمبود منابع آبی است، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد زئولیت به‌منظور بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه بزرک در شرایط کم آبیاری بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد بر روی گیاه بزرک در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اصلی کم آبیاری شامل چهار سطح ۵۰ (شاهد)، ۸۰، ۱۳۰ کم‌ترین سطح آبیاری و۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و عامل فرعی مصرف زئولیت در سه سطح شاهد (بدون زئولیت)، ۵ و ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود. نتایج مطالعات قبلی نشان داده است که، این میزان زئولیت می‌تواند به‌گونه معنی‌داری سبب بهبود شرایط رطوبتی خاک و تخفیف‌دهنده اثرهای تنش خشکی در گیاهان زراعی شوند از این‌رو، این مقادیر برای این مطالعه مورداستفاده قرار گرفتند. قبل از آماده‌سازی زمین، نمونه‌ای مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه و جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی به آزمایشگاه خاک و آب ارسال گردید. بافت خـاک، رسی- لومی و pH آن حدود ۷/۸۴ بـود (جدول ۱). تاریخ کاشت بزرک باتوجه به شرایط اقلیمی منطقه در اردیبهشت‌ماه و در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. براساس نیاز کودی گیاه بزرک، درصد عناصر موجود در خاک و توصیه آزمایشگاه، کودهای شیمیایی شامل اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب به‌مقدار ۲۷۰، ۱۵۰ و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار در اختیار گیاه قرار گرفت. کود سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم در زمان کاشت به‌طور کامل به زمین داده شد یک سوم کود اوره به‌صورت پایه و مابقی به‌صورت سرک در دو مرحله ساقه رفتن و قبل از گل‌دهی به زمین اضافه شد. بذرها از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شدند. ابعاد کرت‌ها در این آزمایش ۳ ×۲ متر، فاصله بین ردیف‌های کشت ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بذرها روی ردیف ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از هر نوع خطا، فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. تا مرحله رویشی ۸-۶ برگی آبیاری بوته‌ها مطابق عرف مرسوم منطقه و پس از آن مطابق تیمارهای آزمایش و محاسبه مقدار تبخیر از تشتک و نیاز آبی گیاه، انجام گرفت. آمار میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A، به‌صورت روزانه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به مزرعه پژوهشی (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک) واقع در فرودگاه شهرکرد دریافت شد. اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی بعد از اعمال تیمارهای تنش خشکی و در مرحله گلدهی، از برگ‌های میانی و جوان بوته‌های بزرک انجام و اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت تازه برگ وزن شده و به قطعات کوچک‌تر خرد شد سپس با استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده شده و محول حاصل با کاغذ صافی صاف گردید و حجم آن همراه با استون به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و شدت جذب عصاره برگ با اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت شد و غلظت کلروفیل (a، b و کل) از روش *آرنون*[1] (1946) و کاروتنوئید *لیختن‌تالر*[2] (1987) با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

$$\text{Chla} = \frac{((12.7 \times A663) - (2.69 \times A645)) \times V}{1000 \times W}$$

$$\text{Chlb} = \frac{((22.9 \times A645) - (4.93 \times A663)) \times V}{1000 \times W}$$

$$\text{Total Chl} = \frac{((20.2 \times A645) - (8.02 \times A663)) \times V}{1000 \times W}$$

$$\text{Car} = \frac{(100 \times A470) - (1.82 \times \text{Chla}) - (85.02 \times \text{Chlb})}{198}$$

پس از برداشت بوته‌ها در شهریورماه، برای اندازه‌گیری درصد روغن، از روش سوکسله، و درصد پروتئین از روش کجدال[3] استفاده شد. برای محاسبه درصد پروتئین ابتدا میزان نیتروژن آلی دانه‌ها محاسبه و سپس در عدد ۶/۲۵ ضرب شده است. هم‌چنین با استفاده از ضرایب درصد روغن و پروتئین، عملکرد این صفات محاسبه شد.

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شدند و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت. جهت مقایسه میانگین اثرات متقابل معنی‌دار شده از نرم‌افزار MSTAT-C و آزمون LSD در سطح ۵ درصد استفاده شد..

1. Arnon
2. Likhtenthaler
3. Kjeldal's method

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1: Physical and chemical characteristics of the test site soil

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	پی اچ pH	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable potassium ($mg.kg^{-1}$)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	بافت خاک soil pattern	درصد اشباع خاک Soil saturation percentage (%)	درصد مواد خنثی‌شونده The percentage of neutralizing substances (%)
0-30	0.509	7.84	0.489	0.046	6.1	174	39.5	36	24.5	رسی-لومی Loam-Clay	42	33.5

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل‌های a، b، کل و کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای کم آبیاری و زئولیت و هم‌چنین برهم‌کنش اثر فاکتورها بر کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار آبیاری معمولی و کاربرد ۱۰تن زئولیت در هکتار و کم‌ترین مقدار آن مربوط به کم‌ترین سطح آبیاری و عدم کاربرد زئولیت بود که نسبت به آبیاری کامل و ۱۰ تن زئولیت در هکتار، ۴۸ درصد کاهش نشان داد. هم‌چنین تیمار آبیاری کامل و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به آبیاری کامل و کاربرد ۵ تن زئولیت در هکتار و عدم کاربرد زئولیت، به‌ترتیب ۱۰/۶ و ۱۷/۸۰ درصد افزایش نشان داد. هم‌چنین کاربرد ۱۰تن در هکتار زئولیت باعث افزایش کلروفیل a نسبت به عدم کاربرد زئولیت در شرایط کم آبیاری خیلی شدید شد (جدول ۳).

اثر ساده تیمارهای کم آبیاری و زئولیت بر کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد، و برهم‌کنش اثر تیمارها بر کلروفیل b، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تحت تیمار آبیاری معمولی و ۱۰ تن زئولیت در هکتار بیش‌ترین میزان کلروفیل b حاصل شد که نسبت به تیمار کم‌ترین سطح آبیاری و عدم کاربرد زئولیت، آبیاری معمولی و ۵ تن زئولیت در هکتار و آبیاری معمولی و عدم کاربرد زئولیت، به‌ترتیب ۴۲/۶۷، ۱۷/۰۹ و ۲۱/۷۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳).

خشکی موجب تخریب ساختار کلروپلاست و کاهش تشکیل پلاستیدهای جدید، کلروفیل a و b و کاروتن و در نتیجه تغییر نسبت کلروفیل‌ها شده و احتمال کاهش بیش‌تری در کلروفیل b در مقایسه با کلروفیل a انتظار می‌رود تنش خشکی در ذرت مقدار کلروفیل‌های b ,a و کل را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که این موضوع منجر به تسریع روند پیری برگ شد (کافی و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تیمارهای کم آبیاری و زئولیت بر کلروفیل کل در سطح یک درصد و برهم‌کنش اثر تیمارها بر کلروفیل کل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار آبیاری معمولی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود و کم‌ترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار کم‌ترین سطح آبیاری و عدم کاربرد زئولیت به‌دست آمد که نسبت به آبیاری معمولی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار ۴۶/۸۶ درصد کاهش نشان داد. هم‌چنین میزان کلروفیل کل در تیمار آبیاری کامل و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به آبیاری کامل و کاربرد ۵ تن زئولیت در هکتار و عدم کاربرد زئولیت، به‌ترتیب ۱۲/۳۵ و ۱۸/۹۲ درصد افزایش نشان داد. هم‌چنین کاربرد۱۰ تن زئولیت در هکتار زئولیت باعث افزایش کلروفیل کل نسبت به عدم کاربرد زئولیت در شرایط کم آبیاری خیلی شدید شد (جدول ۳).

اثر ساده تیمارهای کم آبیاری و زئولیت بر کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی‌دار شد و برهم‌کنش اثر تیمارها بر کاروتنوئید معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار آبیاری معمولی بود که نسبت به تیمار کم‌ترین سطح آبیاری، ۴۱/۸۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). هم‌چنین با افزایش مصرف زئولیت از صفر به ۱۰ تن در هکتار میزان کاروتنوئید ۱۳/۱۲ درصد افزایش یافت. افزایش کاربرد زئولیت از صفر به ۵ تن در هکتار نیز میزان کاروتنوئید را ۸/۵۶ درصد افزایش داد (جدول ۴)، که با یافته‌های *سایرام* و *ساکسنا*[1] (2000) مطابقت داشت.

کلروفیل‌ها مهم‌ترین رنگدانه‌های جذب‌کننده نور در غشاهای تیلاکوئیدی و از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده تأثیر فشارهای محیطی وارد شده بر گیاه به‌شمار می‌آیند و مقدار آن در گیاهان تحت‌تنش، کاهش یافته و باعث کاهش

1. Sairam and Saxena

جذب نور توسط گیاه می‌شود. میزان کلروفیل در گیاهان یکی از فاکتورهای مهم در حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (*جیانگ* و *هانگ*[1]، 2001). علاوه‌بر کلروفیل‌ها، گیرنده‌های مکمل نوری دیگری مانند کاروتنوئیدها که پلی‌هیدروکربن‌های اشباع نشده‌ی هستند و ۲ تا ۴ درصد وزن خشک کلروپلاست‌ها را تشکیل داده و قادر به جذب نور در طول‌موجی هستند که توسط کلروفیل‌ها جذب نمی‌گردد، نقش مهمی در سیستم فتوسنتزی دارند. کاروتنوئیدها به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی از طریق خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، فرآیند اکسیداسیون را متوقف می‌کنند و نقش مهمی در تعدیل اثرات سوء تنش در برگ‌ها دارند (*هارموت* و *بابانی*[2]، 2000). برخی از پژوهشگران کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی را اعلام کرده‌اند (*ابراهیم* و *آلدوزکوی*[3]، 2003). کاهش کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی توسط حبیبی و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش شده است. باتوجه به مشاهدات باقری و همکاران (۱۳۹۲)، تنش خشکی از میزان سبزینهٔ a، سبزینهٔ b و کاروتنوئیدها در کنجد می‌کاهد. در مطالعه‌ای که توسط *خلوا*[4] و همکاران (2012) در مورد اثر تنش خشکی بر محتوای کلروفیل در ارقام مختلف ارزن، انجام گرفت مشخص شد که محتوای کلروفیل برگ در تمام ارقام کاهش معنی‌داری نشان داد. در بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر میزان کلروفیل مشخص شد در تنش آبی محتوی کلروفیل، کاهش یافت (*لی*[5] و همکاران، 2006). کلروفیل برگ وابستگی زیادی به کلروپلاست‌ها دارد و عواملی که سبب آسیب به غشای کلروپلاست می‌شود، در کاهش میزان کلروفیل نقش دارند (*لاورر* و *کورنیک*[6]، 2002).

وزن هزاردانه

اثر عوامل آبیاری و زئولیت بر وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزاردانه معنی‌دار شدند ولی اثر برهم‌کنش تیمارهای زئولیت و رژیم‌های مختلف رطوبتی بر وزن هزاردانه در گیاه بزرک معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط به تیمار آبیاری معمولی بود که نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۲۹/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴) که با نتایج *کوانچانگ* و چنج[7] (2008) و *الهدادی* و همکاران (2011) مطابقت داشت. تنش خشکی در گیاه گلرنگ وزن هزاردانه را کاهش داده است (*کوانچانگ* و چنج، 2008) هم‌چنین با افزایش مصرف زئولیت از صفر به ۱۰ تن در هکتار وزن هزاردانه ۹ درصد افزایش یافت. افزایش کاربرد زئولیت از صفر به ۵ تن در هکتار نیز وزن هزاردانه را ۵ درصد افزایش داد (جدول ۴). تنش خشکی موجب کاهش معنی‌داری وزن هزاردانه، در گیاه گلرنگ شده است (نادری و همکاران، ۱۳۸۶). مصرف زئولیت به‌دلیل در اختیار گذاشتن رطوبت مناسب برای گیاه، موجب افزایش وزن هزاردانه نسبت به شرایط عدم مصرف زئولیت شده است (سیبی و همکاران، ۱۳۹۰). وزن هزاردانه بستگی به دوره پرشدن دانه و میزان فتوسنتز در این مرحله دارد. کاهش رطوبت، موجب کوتاه شدن دوره‌ی پر شدن و کاهش سرعت فتوسنتز شده، در نتیجه وزن هزاردانه کاهش می‌یابد. مصرف زئولیت با فراهمی شرایط مناسب‌تری در خاک برای رشد ریشه گیاه بزرک، باعث کاهش شدت تنش شده و اثرات منفی آن را کاهش می‌دهد.

عملکرد دانه

نتایج نشان داد اثر اصلی تیمارهای آبیاری و زئولیت بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند، ولی اثر برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). تیمار آبیاری معمولی با میانگین ۱۹۷۰ کیلوگرم در هکتار نسبت تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با میانگین ۱۰۵۸ کیلوگرم در هکتار، افزایش ۴۰/۳ درصدی عملکرد نشان داد (جدول ۴). کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به ۵ تن زئولیت در هکتار و عدم کاربرد زئولیت به‌ترتیب ۵ و ۱۷ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۴). نتایج آزمایش با نتایج *اوسوالد* و همکاران (2002) و *رایت*[8] و همکاران (1996) مطابقت داشت. در مطالعه‌ای که توسط *گوکسوی*[9] (2004) انجام شد نتایجی مشابه به‌دست آمد آن‌ها دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد در آفتابگردان شد و مصرف زئولیت موجب افزایش عملکرد دانه شد به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به مصرف ۸ تن زئولیت در هکتار بوده است که نتایج این آزمایش را تأیید می‌کند. اعمال تنش خشکی در مراحل رشدی، عملکرد دانه در آفتابگردان را کاهش می‌دهد.

گزارش شده است که کاهش دسترسی به آب در مرحله گرده‌افشانی موجب کاهش عملکرد دانه می شود و تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه در گیاه گلرنگ گردیده است (نبی‌پور و همکاران، ۱۳۸۶). از طرفی کاربرد زئولیت موجب افزایش عملکرد دانه شده است هم‌چنین گزارش شده

1. Jiang and Huang
2. Harmut and Babani
3. Ibrahim and Aldesuquy
4. Kholova
5. Li
6. Lawlor and Cornic
7. Quanchang and Cheng
8. Wright
9. Goksoi

است در بین سطوح مختلف مصرف زئولیت، بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۸۲۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار مصرف ۸ تن در هکتار زئولیت و کم‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۵۸۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف زئولیت بوده است. عملکرد دانه در تیمار بدون تنش آبی با میانگین ۹۵۴ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و تیمار تنش آبی براساس ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه با میانگین ۴۵۵ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد دانه را در گیاه گلرنگ به خود اختصاص دادند (سیبی و همکاران، ۱۳۹۰). تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها شده، فتوسنتز کاهش یافته، فرایندهای سوخت‌وساز، جذب و تجمع مواد مغذی ضروری دچار اختلال می‌شوند در نتیجه رشد گیاه را کاهش داده و عملکرد کاهش می‌یابد. با مصرف زئولیت، رطوبت موردنیاز گیاه تأمین شده در نتیجه تا حدودی از کاهش عملکرد جلوگیری کرده و موجب افزایش عملکرد گیاه نسبت به عدم کاربرد زئولیت خواهد شد.

درصد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای کم آبیاری بر درصد روغن دانه بزرک در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر تیمارهای زئولیت و برهم‌کنش تیمارها بر درصد روغن معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیش‌ترین درصد روغن با میانگین ۴۳/۸۶ درصد مربوط به تیمار آبیاری معمولی بود و کم‌ترین درصد روغن با میانگین ۴۰/۸۵ درصد، مربوط به تیمار کم‌ترین سطح آبیاری به‌دست آمد که نسبت به آبیاری معمولی ۳ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴)، که با نتایج *بلالوئی*[1] و همکاران (2013) مطابقت داشت. کاربرد زئولیت بر درصد روغن معنی‌دار نشد (جدول ۴). گزارش شده است بروز تنش خشکی در مراحل گل‌دهی موجب کاهش درصد روغن می‌شود (*سینکی*[2]، 2007). با توجه به مشاهدات *کندوگان*[3] و همکاران (2013) کم‌ترین درصد روغن از تیمار عدم آبیاری و بیش‌ترین درصد روغن در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد. دلیل آن را می‌تواند حساسیت زیاد تجمع لیپیدها نسبت به تنش خشکی در مرحله دانه‌بندی و کاهش فتوسنتز جاری و کاهش مواد فتوسنتزی عرضه شده برای پرشدن دانه و هم‌چنین کاهش طول دورهٔ پرشدن دانه ذکر نمود. تنش خشکی باعث بروز اختلال در پرشدن دانه و افزایش نسبت پوسته به مغز و در نهایت کاهش درصد روغن می‌شود. کاهش طول دوره پرشدن دانه که در اثر وقوع تنش رطوبتی و یا دمای بالا طی این دوره رخ می‌دهد، منجر به کاهش میزان تجمع روغن در دانه‌ها می‌گردد (*نیک نام* و *تورنر*[4]، 2003).

عملکرد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای کم آبیاری و زئولیت بر عملکرد روغن در سطح یک درصد و برهم‌کنش اثر تیمارها بر عملکرد روغن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد روغن مربوط به تیمار آبیاری کامل و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود که نسبت به تیمار کم‌ترین سطح آبیاری و عدم کاربرد زئولیت ۵۸/۶۸ درصد افزایش در میزان عملکرد روغن نشان داد. آبیاری معمولی همراه با کاربرد ۵ تن زئولیت در هکتار و آبیاری معمولی و عدم کاربرد زئولیت نیز نسبت به آبیاری کامل و ۱۰ تن زئولیت در هکتار به‌ترتیب ۸/۶۹ و ۲۳/۲۴ درصد کاهش در عملکرد روغن نشان دادند. کم‌ترین سطح آبیاری و کاربرد۱۰ تن زئولیت در هکتار، نسبت به آبیاری براساس ۱۸۰میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و عدم کاربرد زئولیت نیز، عملکرد روغن را ۱۴/۴۲ درصد افزایش داد (جدول ۳) که با نتایج *طباطبایی*[5] و همکاران (2012) مطابقت داشت. بین عملکرد روغن با عملکرد دانه و درصد روغن، ارتباط مستقیمی وجود دارد به‌طوری‌که ارقامی که دارای عملکرد دانه بالایی هستند، به همان نسبت عملکرد روغن بالایی در واحد سطح دارند (طباطبایی و همکاران، 2012). کاهش در عملکرد دانه و درصد روغن، کاهش عملکرد روغن را در پی دارد. زئولیت با دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا سبب نگهداری بیش‌تر آب و مواد غذائی در خاک شده و از این طریق سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه و روغن گردیده است.

درصد نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای کم آبیاری و زئولیت و هم‌چنین برهم‌کنش اثر تیمارها بر درصد نیتروژن دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیش‌ترین درصد نیتروژن دانه مربوط به تیمار کم‌ترین سطح آبیاری و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود که نسبت به تیمار آبیاری معمولی و عدم کاربرد زئولیت، ۲۰ درصد افزایش نشان داد که با نتایج *عبداللطیف*[6] و همکاران (2011) مطابقت داشت. در تحقیقات *بردمیر*[7] (2005) مشخص شد که در اثر تنش آبی، غلظت نیتروژن در دانه ذرت افزایش یافت. کم‌ترین سطح

1. Bellaloui
2. Sinaki
3. Candogana
4. Niknam and Turner
5. Tabatabaei
6. Abdellatif
7. Bredemeier

آبیاری و کاربرد۱۰ تن زئولیت در هکتار، نسبت به آبیاری معمولی و کاربرد۱۰ تن زئولیت در هکتار نیز، نیتروژن دانه را ۱۰/۵ درصد افزایش داد. آبیاری براساس ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به کم‌ترین سطح آبیاری و عدم کاربرد زئولیت نیز، نیتروژن دانه را ۳ درصد افزایش داد (جدول ۳). تأثیر کاربرد زئولیت در جذب و نگه‌داری نیتروژن و جلوگیری از شستشوی آن توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (*بیگلو*[1] و همکاران، 2003). زئولیت با جلوگیری از هدرروی نیتروژن موجب شده نیتروژن بیش‌تری در اختیار گیاه قرار گیرد. احتمال می‌رود تیمار زئولیت توانسته است شرایط مناسبی را برای جذب نیتروژن از خاک و افزایش میزان ذخیره نیتروژن دانه در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی، فراهم کند.

درصد پروتئین دانه

اثر ساده تیمارهای کم آبیاری و زئولیت و هم‌چنین برهم‌کنش اثر تیمارها بر درصد پروتئین دانه بزرگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین درصد پروتئین دانه مربوط به تیمار کم‌ترین سطح آبیاری و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود که نسبت به تیمار آبیاری معمولی و عدم کاربرد زئولیت، ۲۲/۶۴ درصد افزایش نشان داد. تیمار کم‌ترین سطح آبیاری و کاربرد۱۰ تن زئولیت در هکتار، نسبت به آبیاری معمولی و کاربرد۱۰ تن زئولیت در هکتار نیز پروتئین دانه را ۱۰ درصد افزایش داد (جدول ۳) که با نتایج *کندوگان* و همکاران، (2013) که گزارش نمودند تنش خشکی سبب افزایش مقدار پروتئین بذر شد و کم‌ترین درصد پروتئین در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد مطابقت داشت. احتمالاً این موضوع، به‌علت کاهش نسبت ترکیبات کربوهیدراتی در گیاهان، نسبت به‌کاهش کم‌تر نسبت پروتئین تحت شرایط تنش خشکی رخ می‌دهد. افزایش درصد پروتئین دانه در اثر تنش خشکی توسط *دنیل* و *تربیوی*[2] (2008) نیز گزارش شد، آن‌ها دلیل این موضوع را، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام کردند که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و به این دلیل که درصد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیش‌تر است. بنابراین درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. از این‌رو افزایش میزان پروتئین در شرایط تنش بیش‌تر مربوط به کاهش نسبت نشاسته به پروتئین در دانه است و به معنای افزایش مطلق در میزان پروتئین دانه نیست. پژوهشگران دیگر بیان کردند که افزایش درصد پروتئین دانه در جهت کمک به تنظیم و تعادل اسمزی سلول در شرایط تنش رطوبتی اتفاق می‌افتد (*بیتس*[3] و همکاران، 1973). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین کم‌ترین سطح آبیاری و ۱۰ تن زئولیت در هکتار با کم‌ترین سطح آبیاری و کاربرد ۵ تن زئولیت در هکتار مشاهده نشد. کم‌ترین سطح آبیاری و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به کم‌ترین سطح آبیاری و عدم کاربرد زئولیت نیز، پروتئین دانه را ۳ درصد افزایش داد. زئولیت در نگه داری عناصر غذایی مورد نیاز و جذب آن توسط گیاه موجب افزایش پروتئین می‌شود که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد (*خاشعی*[4] و همکاران، 2007). زئولیت علاوه‌بر توانایی نگه‌داری بالای رطوبت دارای توانایی قابل‌توجهی نیز در زمینه جذب و نگه‌داری آمونیوم است و می‌تواند نقش مؤثری در کاهش شستشوی عناصر غذایی خاک به‌ویژه نیتروژن داشته باشد. افزایش درصد پروتئین توسط زئولیت ممکن است به دلیل افزایش جذب پیش‌سازهای پروتئین و نیتروژن باشد. هم‌چنین افزایش رطوبت خاک، خود موجب افزایش رشد ریشه و افزایش سرعت جذب و انتقال مواد ازته می‌شود.

عملکرد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای کم آبیاری و زئولیت بر عملکرد پروتئین در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی برهم‌کنش اثر تیمارها بر عملکرد روغن معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان عملکرد پروتئین مربوط به تیمار آبیاری معمولی بود که نسبت به تیمار کم‌ترین سطح آبیاری ۴۳/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). هم‌چنین با افزایش مصرف زئولیت از صفر به ۱۰ تن در هکتار عملکرد پروتئین ۱۰/۵ درصد افزایش یافت. افزایش کاربرد زئولیت از صفر به ۵ تن در هکتار نیز عملکرد پروتئین را ۱۰ درصد افزایش داد (جدول ۴). باتوجه به این‌که عملکرد پروتئین تحت‌تأثیر دو صفت درصد پروتئین دانه و عملکرد دانه قرار می‌گیرد و تنش خشکی موجب افزایش درصد روغن و کاهش عملکرد دانه شده است. ولی اثرات برهم‌کنش نشان داد که تیماری که درصد پروتئین بیش‌تری دارد لزوماً عملکرد پروتئین بالاتری نداشت و اثربخشی عملکرد دانه بر عملکرد پروتئین دانه بیش‌تر از درصد پروتئین بوده است.

1. Bigelow
2. Daniel and Triboi
3. Bates
4. Khasheei

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و کیفی دانه بزرک

Table 2: Analysis of variance of physiological and qualitative traits of linseed

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	وزن هزاردانه 1000 seeds weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد نیتروژن Nitrogen percentage	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد پروتئین Protein yield
بلوک Block	2	0.0001^{ns}	0.001^{ns}	0.002^{ns}	0.0005^{ns}	0.19 ^{ns}	18161.26 ^{ns}	1.616^{ns}	2637.01^{ns}	0.0005^{ns}	0.014^{ns}	942.33^{ns}
کم آبیاری Deficit irrigation	3	1.44**	0.109**	2.33**	0.148**	7.17**	6737287.75**	14.81**	305030.84**	0.612**	23.99**	130713.57**
خطای عامل اصلی (Ea) Main Plot error (Ea)	6	0.003	0.001	0.006	0.0009	0.02	24519.50	0.934	3071.04	0.001	0.044	6193.44
زئولیت Zeolite	2	0.171**	0.015^{ns}	0.288**	0.019^{ns}	0.96 **	501537.68**	3.19^{ns}	45790.7**	0.12**	4.776**	11445.36**
کم آبیاری × زئولیت Deficit irrigation × zeolite	6	0.023**	0.005*	0.048**	0.002^{ns}	0.06^{ns}	49119.57^{ns}	0.768ns	4018.238*	0.04**	1.59**	3186.15^{ns}
خطای عامل فرعی (Eb) Sub plot error (Eb)	16	0.004	0.002	0.008	0.001	0.14	23818.32	1.147	1293.559	0.004	0.16	518.51
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	3.492	7.44	3.57	5.505	6.22	4.08	2.52	5.73	1.64	1.621	6.35

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns, ** and *: Non-significant, significant at the probability level of 1% and 5%, respectively

جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات متقابل کم آبیاری و زئولیت بر صفات فیزیولوژیکی و کیفی بزرک

Table 3: Mean comparison of the interactions between deficit irrigation and zeolite on physiological and qualitative traits of linseed

کم آبیاری Deficit Irrigation	زئولیت (تن در هکتار) Zeolite (ton.ha^{-1})	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll a (mg.g^{-1}FW)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll b (mg.g^{-1}FW)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Total Chlorophyll (mg.g^{-1}FW)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg.ha^{-1})	درصد نیتروژن Nitrogen percentage	درصد پروتئین Protein percentage
آبیاری معمولی Normal irrigation	0	2.17^{c}	0.67^{bc}	2.84^{c}	743^{c}	3.32^{h}	20.74^{g}
	5	2.36^{b}	0.71^{b}	3.07^{b}	884^{b}	3.72^{g}	23.26^{f}
	10	2.64^{a}	0.86^{a}	3.5^{a}	968^{a}	3.84^{f}	24.01^{e}
کم آبیاری متوسط (تنش ملایم) Mild stress	0	1.98^{d}	0.59^{def}	2.57^{ef}	607^{ef}	3.88^{f}	24.25^{e}
	5	2.01^{d}	0.63^{cde}	2.64^{de}	666de	3.9^{ef}	24.38^{de}
	10	2.08^{cd}	0.66^{bcd}	2.74^{cd}	712^{cd}	3.94^{ef}	24.6^{de}
کم آبیاری شدید Severe stress	0	1.62^{f}	0.54^{def}	2.17^{h}	492^{g}	4de	25.02^{cd}
	5	1.81^{e}	0.55^{cdef}	2.36^{g}	572^{f}	4.06^{d}	25.36^{c}
	10	1.86^{e}	0.57^{bcdf}	2.42^{fg}	584^{f}	4.09^{cd}	25.58^{bc}
کم آبیاری خیلی شدید Very severe stress	0	1.37^{h}	0.5^{g}	1.86^{i}	400^{i}	4.18^{bc}	26.12^{ab}
	5	1.46^{gh}	0.49^{f}	1.95^{i}	430^{hi}	4.27^{ab}	26.71^{a}
	10	1.52^{fg}	0.5^{g}	2.01^{hi}	467^{gh}	4.29^{a}	26.81^{a}

اعداد دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

Data with common letters have no significant difference at the 5% probability level

جدول ۴: مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی کم آبیاری و زئولیت روی برخی صفات بزرک

Table 4: Mean comparison of the effects of irrigation and zeolite on some traits linseed

عملکرد دانه Seed yield	وزن هزاردانه 1000 seeds weight	عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) Protein yield (kg.ha^{-1})	درصد روغن Oil percentages	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Carotenoid (mg.g^{-1}FW)	تیمارها Treatments	
1983.65^{a}	7.65^{a}	445^{a}	43.86^{a}	0.74^{a}	آبیاری معمولی Normal Irrigation	
1500.23^{b}	6.20^{b}	377^{b}	42.83^{b}	0.61^{b}	ملایم Mild stress	کم آبیاری Deficit irrigation
1465.34^{c}	5.55^{c}	332^{c}	41.93^{b}	0.54^{c}	شدید Severe stress	
1000.01^{d}	4.32 ^{d}	281^{d}	40.85^{c}	0.43^{d}	کم‌ترین سطح آبیاری Very severe stress	
1420.57^{a}	5.81^{a}	333^{b}	41.89^{b}	0.54^{c}	0	زئولیت Zeolite (ton.ha^{-1})
1523.89^{b}	6.02^{a}	370^{a}	42.30^{b}	0.58^{b}	5	
1721.69^{c}	6.53^{b}	372^{a}	42.91^{a}	0.62^{a}	10	

اعداد دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

Data with common letters have no significant difference at the 5% probability level

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش، نشان داد که کاربرد زئولیت به دلیل خاصیت جذب، نگه‌داری و افزایش دسترسی به رطوبت در شرایط تنش کم‌آبی، سبب کاهش شدت تنش و تعدیل اثرات مخرب آن بر محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، پروتئین، در گیاه بزرک شده است. در این پژوهش مشخص شد کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار اثر مطلوبی بر کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در بوته‌های بزرک داشت و باتوجه به وجود فراوانی زئولیت در نقاط مختلف کشور و قیمت اقتصادی مناسب آن و هم‌چنین وجود مسئله کم آبی در ایران، کاربرد ماده معدنی زئولیت می‌تواند باعث بهبود دسترسی گیاه به آب خاک و افزایش تولید و کیفیت روغن و پروتئین گیاه بزرک تحت‌شرایط کم‌آبی شود.

منابع

Alahdadi, I., Oraki, H. and Parhizkar Khajani, F. 2011. Effect of water stress on yield and yield components of sunflower hybrids. African Journal of Biotechnology, 10 (34): 6504-6509.

Abdellatif, K. M., Osman, E. A. M., Abdullah, R. and Abdelkader, N. 2011. Response of potato plants to potassium fertilizer rates and soil moisture deficit. Advances in Applied Science Research, 2: 388-397.

Arnon, D. I. 1946. Copper enzyme in isolated chloroplast 1-Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Journal of Plant Physiology, 24: 1-15.

Bagheri, E., Masoud Sinki, J., Ferozabadi, M. and Abedini Esfahalani, M. 2012. The effect of foliar spraying of salicylic acid on the amount of pigments and chlorophyll fluorescence of sesame cultivars under the condition of interruption of irrigation. Ecophysiology of Crop Plants (Agricultural Sciences), 7 (3 (27)): 327-340. (In Persian).

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, L. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Journal of Plant and Soil, 39: 205-207.

Bellaloui, N., Mengistu, A. and Kassem, A. 2013. Effects of genetics and environment on fatty acid stability in soybean seed. Journal of Food nutrition Sciences, 4 (9): 165-175.

Bigelow, C. A., Bowman, D. C. and Cassel, D. K. 2003. Inorganic soil amendments limit nitrogen leaching in newly constructed sand-based putting green rooting mixture. USGA Turfgrass and Environmental Research, 2 (24): 1-7.

Brannvall, E. 2007. Improvement of storm water runoff treatment system with natural mineral. Geologija, 59: 72-76.

Bredemeier, C. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. PhD. Thesis, Technical University of Munich, Germany.

Candogana, B., Sincikb, M., Buyukcangaza, H., Demirtasa, C., Goksoyb, A. T. and Yazgana, S. 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit irrigated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in sub humid climatic conditions. Journal of Agriculture Water Management, 118: 113-121.

Casenave, E. C. and Toselli, M. E. 2007. Hydropriming as a pre-treatment for cotton germination under thermal and water stress conditions. Journal of Seed Science and Technology, 35: 88-98.

Daniel, C. and Triboi, E. 2008. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperature and water stress. European Journal of Agronomy, 16: 1-12.

Efeoglu, B., Ekmekci, Y. and Cicek, N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. South African Journal of Botany, 75 (1): 34-42.

Ghassemi-Golezani, A. and Farshbaf-Jafari, S. 2012. Influence of water deficit on oil and protein accumulation in soybean grains. International Journal of Plant, Animal and Environmental Science, 2 (3): 46-52.

Goksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M. and Dagustua, N. 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research, 87 (2-3): 167-178.

Gomez, D., Martinez, O., Arona, M. and Castro, A. 1991. Generating a selection index for drought tolerance in Sunflower I. Water use and consumption. Helia Journal, 14 (15): 65-70.

Habibi, Q., Sadeghpour, Z. and Haji Boland, R. 2014. Effect of salicylic acid treatment on tobacco plant (*Nicotiana rustica*) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology, 25: 17-28. (In Persian).

Harmut, K. L. and Babani, F. 2000. Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence. Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 38: 889-895.

Ibrahim, A. H. and Aldesuquy, H. S. 2003. Glycine betaine and shikimic acid-Induced modification in growth criteria, water relation and productivity of droughted sorghum bicolor plants. Journal of Phyton (Horn, Austria), 43: 351-363.

Jamil, M. 2007. Salinity reduced growth ps2 photochemistry and chlorophyll content in radish. Scientia Agricola, 64: 111-118.

Iran-Najad, H. 2014. Investigating the effect of planting date on seed performance of three varieties of oil flax in Varamin. The 9th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. University of Tehran, 4: 111-120. (In Persian).

Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Mortensen, G., Fieldsend, J. K., Milford, G. F. J., Andersen, M. N. and Thage, J. H. 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field- grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying evaporation demand, Field Crops Research, 47: 93-105.

Jiang, Y. and N. Huang. 2001. Drough and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidase. Journal Crop Science, 41: 436-442.

Kafi, M., Barzoui, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Janbati. 2013. Physiology of environmental stresses in plants. University Jihad of Mashhad. Second Edition. 804 pages .(In Persian).

Khasheei, S., Kochakzadeh, A. M., Shahbifar, J. and Abassi, H. 2007. Application of natural zeolite of clinoptilolite on corn yield under water depletion, Journal of Agricultural Science, 13 (3): 611-619.

Kholova, J., Hasan C. T. M., Khocova M. and Vadie, V. 2011. Does a terminal drought tolerance QTL contribute to differences in ROS scavenging enzymes and photosynthetic pigments in pearl millet exposed to drought?, Journal of Environmental and Experimental Botany, 71: 99-106.

Lawlor, D. W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Journal plant, Cell and Environment, 25: 275-249.

Li, W. R., Zhang, S. Q. and Shan, L. 2006. Effect of water stress on chlorophyll II fluorescence parameters and activity of antioxidant enzyme in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedlings. The first international conference on the theory and practices in Biological Water Saving (ICTPB), Beijing China.

Lichtenthaler, H. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio membranes. Methods of Enzymology, 148: 350-382.

Naderi, M. R., Bani Taba, A. R., Shahesvari, M. R. and Jawanmard, H. R. 2016. Investigating the effect of drought stress on early maturity of autumn saffron in Isfahan region. Research in agricultural sciences. 2: 151-138. (In Persian).

Nabipour, M. M., Meskarbashee, F. and Yousefpour, H. 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences, 10 (3): 421- 426. (In Persian).

Niknam, S. R., Ma, Q. and Turner, W. 2003. Osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* genotypes in a water-limited environmental in south Western Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture, 43 (9): 1127-1135.

Omidbeigi, R. 2014. Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Quds Razavi, Volume 1. 348 pages.

Oste, L.A., Lexmond, T.M. and Riemsdij, W.H.V. 2002. Metal immobilization in soils using synthetic zeolites. Journal of Environmental Quality, 31: 813-821. (In Persian).

Ozbahce, A., Tari, F., Gönülal, E., Simsekli, N. and Padem, H. 2014. The effect of zeolite applications on yield components and nutrient uptake of common bean under water stress. Archives of Agronomy and Soil Science, 61 (5): 615-626.

Petropoulos, S. A. Daferera, D. Polissiou, M. G. and Passam, H. C. 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115: 393-397.

Quanchang, H.Y. and Cheng, H. 2008. Cation –exchange properties of natural zeolites and their applications. Science Press Beijing. pp. 228-232.

Radd, A. M. 2018. The effect of potassium fertilizer use and the amount of irrigation water on the performance and water use efficiency of two species of rape and Indian mustard (*Brassica napus* L.) and (*Brassica juncea* L.) Iranian Journal of Agricultural Sciences, 11 (3): 273-391.

Sairam, R. K. and Saxena, D. C. 2000. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: Possible mechanism of water stress tollerance. Journal of Agronomy and Crop Science, 184 (1): 55-61.

Sibi, M., Mirzakhani, M. and Ghamarian, M. 2018. The effect of water stress, zeolite and salicylic acid consumption on spring safflower yield and yield components. Journal New findings of agriculture, 3 (19): 275-290. (In Persian).

Sinaki, J. M. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 2 (4): 417-422.

Tabatabaei, S. A., Rafiee, V., Shakeri, E. and Salmani, M. 2012. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to deficit irrigation at different growth stages. International Journal of Agricultural Research, 2 (5): 624-629.

Wright, P. R., Morgan, J., M. and Jessop, R. S. 1996. Comparative adaption of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficit: plant water relations and growth. Journal Field Crops Research, 49 (1): 51-64.