Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 223-238

The Effect of Type and Amount of Natural Zeolite on Yield and Yield Components of Millet (*Panicum miliaceaum* L.)

Zahra Rezaei[1], Mohammad Ali Behdani[2]*, Abbas Khashiei Siuki[3] and Alireza Samadzadeh[4]

Received: 01-06-2021
Revised: 18-12-2021
Accepted: 05-03-2022
Available Online: 05-03-2022

How to cite this article:
Rezaei, Z., Behdani, M.A., Khashiei Siuki, A., and Samadzadeh, A., 2023. The effect of type and amount of natural zeolite on yield and yield components of millet (*Panicum miliaceaum* L.). *Journal of Agroecology*, *15*(2), 223-238.
DOI: 10.22067/agry.2022.70664.1046

Introduction

In recent years, due to the excessive consumption of agricultural inputs, especially chemical fertilizers and common methods of crop production, problems have arisen that have led to more attention to sustainable agriculture. Zeolite is a natural mineral with nutritional value and can be considered a step toward achieving sustainable agriculture.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of type and amount of zeolite on the yield of common millet, an experiment was conducted in the crop year of 2017-17 at the research farm of the Faculty of Agriculture of Birjand University. This factorial experiment was performed using a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments included two types of calcium and potash zeolites in two forms of powder and granules, which were considered at two levels (5 and 10 tons per hectare) with a control treatment without zeolite. In this study, common millet (Pursu) was used for cultivation.

Results and Discussion

The number of clusters per plant: Analysis of variance of data showed that the effect of treatment on this trait was not statistically significant at the level of 5% probability. However, the control treatment had fewer clusters than the potassium powder and granular treatments of 10 tons per hectare and the calcic powder and granule treatments of 10 tons per hectare. Also, the control treatment had more clusters than the calcium granular and powder treatments of 5 tons per hectare and the potassium granular and powder treatments of 5 tons per hectare. A comparison of the average effect of zeolite content on the number of clusters per plant showed that increasing the application of zeolite from 5 tons per hectare to 10 tons per hectare caused a significant increase in the number of clusters per millet plant at a probability level of 5%.

Thousand-grain weight: Analysis of variance of 1000-grain weight data as a treatment, to compare with the zeolite control treatment, showed that the effect of zeolite treatment on millet 1000-grain weight was significant at 5% probability level. The factorial variance analysis results showed that the simple effect of zeolite type on 1000-grain weight was significant at 5% probability level. But the simple effect of zeolite content as well as the interaction effect of type and amount of zeolite on this trait was not significant.

Grain yield: The results of analysis of variance of grain yield data to compare treatments containing zeolite with control treatment without zeolite showed that the effect of zeolite treatment on grain yield was significant at

1- M.Sc. of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran.
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
4- Teacher, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
(*- Corresponding author's Email: mabehdani@birjand.ac.ir)

the level of 1% probability. The factorial analysis of variance showed that the simple effect of zeolite content at 1% probability level and the effect of type and amount of zeolite at 5% probability level on grain yield were significant. Nevertheless, the simple effect of zeolite type had no significant effect on this factor. Comparing the average amount of zeolite on grain yield showed that increasing the amount of zeolite increased millet grain yield at a probability level of 5%.

Water use efficiency: The results showed a significant effect of zeolite treatment on water use efficiency at a probability level of 1%. The results of variance for water use efficiency showed that this trait was significantly affected by the simple effect of zeolite content and the interaction between type and amount of zeolite at 5% level, but the effect of zeolite type on it was not significant. Comparing the average amount of zeolite on water use efficiency showed a statistically significant difference between the application of 5 and 10 tons per hectare of zeolite at the level of one percent.

Conclusion

The results showed that the application of different types of zeolite caused a significant increase in 1000-grain weight and number of grains per panicle at a probability level of 5% and grain yield, water use efficiency at a probability level of one percent compared to control treatment (no application of zeolite). Increasing the application of zeolite from 5 to 10 tons per hectare significantly increased the number of spikes per plant, number of seeds per spike, 1000-seed weight, biological yield, grain yield, and water use efficiency. Therefore, with the optimal use of this fertilizer, the effects of drought stress on plants are somewhat reduced, and it is recommended for using in dry areas.

Keywords: Cereals, Sustainable agriculture, Zeolite size

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۳۸-۲۲۳

تأثیر نوع و میزان مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی (*Panicum miliaceaum* L.)

زهرا رضائی[۱]، محمدعلی بهدانی[۲*]، عباس خاشعی سیوکی[۳] و علیرضا صمدزاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

چکیده

در سال‌های اخیر، مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه کودهای شیمیایی و روش‌های رایج تولید محصولات زراعی مشکلاتی را به‌وجود آورده که موجب توجه بیشتری به کشاورزی پایدار شده است. زئولیت‌ها از جمله کانی‌های طبیعی هستند که دارای ارزش غذایی نیز بوده و می‌تواند گامی در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار محسوب شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر نوع و مقدار زئولیت طبیعی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی (رقم پورسو) (با هدف برداشت دانه) در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار نوع زئولیت (کلسیک گرانول، کلسیک پودری، پتاسیک گرانول و پتاسیک پودری) در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد، کاربرد انواع مختلف زئولیت سبب افزایش معنی‌دار صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه در سطح احتمال پنج درصد و عملکرد دانه، کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد زئولیت) شد. افزایش کاربرد زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در هر بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب شد، لذا با کاربرد بهینه این کود تا حدودی از اثرات تنش خشکی بر گیاهان کاسته می‌گردد و جهت معرفی در مناطق خشک توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اندازه زئولیت، غلات، کشاورزی پایدار

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین شیوه‌های افزایش تولید در واحد سطح که بعد از سال ۱۹۵۰ میلادی و در طی انقلاب سبز به مرحله اجرا گذاشته شد، استفاده از کودهای شیمیایی برای افزایش محصولات کشاورزی بوده است. استفاده از این کودها، تحولی بزرگ و شگرف در صنعت کشاورزی به‌وجود آورد به‌نحوی‌که تولیدات زراعی در کشورهای اجراکننده این پروژه تا چندین برابر افزایش یافت (Kazemi Nasab & Pishkar, 2013). انقلاب سبز در زمان وقوع خود برای چندین سال به‌عنوان راه‌حلی قطعی برای مسئله گرسنگی و تأمین غذای مورد نیاز بشر تصور می‌شد. با وجود اینکه کودهای شیمیایی در دهه‌های اخیر، باعث افزایش چشمگیر درآمد کشاورزان شده است، امّا استفاده بی‌رویه از این کودها طی سال‌های اخیر، باعث ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی شده که طی زنجیره غذایی به منابع تغذیه‌ای انسان راه یافته است و تهدیدی برای سلامتی جامعه بشری

۱- کارشناس ارشد، رشته اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- استاد، گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۴- مربی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: mabehdani@birjand.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.70664.1046

می‌باشد (Omidi et al., 2009)، لذا توجه به کشاورزی پایدار یا کشاورزی با مصرف بهینه نهاده‌ها از اواسط دهه ۱۹۸۰ به‌دلیل فشارهای اقتصادی و حساسیت نسبت به کیفیت محیط‌زیست و جلوگیری از فرسایش زمین‌های زراعی آغاز شد (Koocheki et al., 2008). استفاده حداقل از نهاده‌های شیمیایی و آلاینده محیط‌زیست و افزایش دانش فنی لازم برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری، جایگزین کردن مواد و روش‌های همسو با طبیعت نظیر استفاده از مواد طبیعی همچون زئولیت‌ها است که به‌کمک ساختار مولکولی و بلورین خاص خود، امکان بهره‌برداری بیشتر از نهاده‌های شیمیایی را فراهم می‌سازد (Sahary et al., 2009).

زئولیت‌ها، آلومینوسیلیکات‌های معدنی کریستالی و با شبکه سه‌بعدی می‌باشند. اسکلت باز آن‌ها شامل کانال‌ها و حفراتی حاوی کاتیون‌ها و مولکول‌های آب است و به‌علت تحرک این کاتیون‌ها، پدیده تبادل یون که یکی از ویژگی‌های زئولیت‌ها است، ایجاد می‌شود. این کانی‌ها می‌توانند نقش بسزایی در رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار ایفا کنند. از خصوصیات بارز زئولیت‌ها قابلیت آن‌ها در دهیدراسیون برگشت‌پذیر و نیز تبادل کاتیون‌ها بدون تغییر ساختمانی است (Kazemian & Rahimi, 2003). با توجه به این ویژگی‌ها و فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور و همچنین با توجه به استخراج آسان و قیمت اقتصادی مناسب آن‌ها، کاربرد این مواد در بخش کشاورزی می‌تواند گامی مؤثر در پیشرفت این بخش باشد (Kazemian, 2000). زئولیت‌ها گروهی از آلومینوسیلیکات‌های آبدار با ساختمان بلوری ویژه‌ای هستند که قابلیت فراوان آن‌ها در جذب و ذخیره‌سازی آب سبب می‌شود که آب مصرفی گیاه ذخیره شود تا در هنگام لزوم از آب ذخیره شده در زئولیت استفاده شود و همچنین به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و قرار گرفتن بعضی کاتیون‌ها از جمله آمونیوم در شبکه خود، علاوه‌بر نقش اصلاح‌کنندگی در خاک، می‌توانند نقش تغذیه‌ای داشته و باعث بهبود رشد گیاه به‌خصوص در اراضی با قابلیت تبادل کاتیونی پایین شوند (Harb & Mahmoud, 2009). جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی از زئولیت باعث می‌شود، در صورت انتخاب نوع صحیح زئولیت مصرفی، هنگامی‌که این مواد به‌عنوان اصلاح‌کننده به خاک اضافه می‌شوند، از طریق افزایش فراهمی طولانی‌مدت آب و عناصر غذایی به بهبود رشد گیاه کمک کنند (Tohidi-Moghaddam et al., 2009). در آزمایشی که توسط رحیمی (Rahimi, 2006) بر گیاه کلزا (Brassica napus) انجام گرفت، به این نتیجه رسیدند که مصرف زئولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار باعث بهبود رشد گیاه از طریق افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، طول خورجین، تعداد خورجین بارور در بوته و همچنین کاهش تعداد خورجین غیر بارور در بوته، گردید. زئولیت‌ها از طریق افزایش تبادل کاتیونی خاک و با ایجاد یک حالت پیوستگی انتخابی، موجب بهبود ساختمان خاک می‌شوند. زئولیت‌ها با ساختاری بسیار متخلخل و با سطح داخلی بسیار گسترده موجب تثبیت عناصر غذایی در بین ساختار خود شده و از طریق رهاسازی تدریجی آن‌ها، فراهمی درازمدت این عناصر را برای گیاه ایجاد نموده و در نهایت، سبب افزایش توانایی گیاه در مصرف عناصر و در نتیجه، افزایش عملکرد می‌شوند. کشور ایران علی‌رغم گستردگی زمین و تنوع گیاهان، از دیرباز با مشکل کمبود آب برای کشاورزی روبرو بوده است. ایران در منطقه خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده است که میانگین بارش بسیار پایینی دارد که منجر به بی‌ثباتی بخش کشاورزی شده است (Jajarmi et al., 2013). به‌دلیل این شرایط، گیاهان دائماً در شرایط تنش به سر می‌برند و برای سازگاری با این شرایط، تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در ساختار و ترکیب‌ها و فرایندهای شیمیایی خود ایجاد می‌کنند، تا با این تنش‌ها مقابله نمایند، لذا درک بهتر مکانیسم‌های مورفو- فیزیولوژیکی دخیل در تحمل به خشکی، کلیدی برای توسعه راهکارهای شناخت گونه‌های مقام به خشکی است و می‌تواند راه‌حل مناسبی برای افزایش تولید گیاهانی باشند که بتوانند با صرف آب کمتر، عملکرد بیشتری داشته باشند (Modir-Shanehchi, 1992).

ارزن (*Panicum miliaceaum* L.) از جمله مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای است که به‌دلیل داشتن فصل رشد کوتاه، مقاومت نسبی بالا در مقابل خشکی و شوری، میزان بالای پروتئین، پربرگی و خوش‌خوراکی و عدم دارا بودن اسید پروسیک، چهار کربنه بودن، توانایی بالای تولید آن در نواحی گرم و خشک و کارایی بالای مصرف آب آن نسبت به گونه‌های سه کربنه (Kusaka et al., 2005) و همچنین سازگاری بالا با شرایط نامساعد محیطی و فقر خاک، که از خصوصیات مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله خراسان جنوبی می‌باشد، می‌تواند از مهم‌ترین محصولات این مناطق برای تغذیه دام و تولید محصول باشد (Azari Nasrabadi &Mirzaei, 2012)، بنابراین با توجه به فواید فراوان کاربرد زئولیت در کشاورزی و با توجه به اینکه کشت گیاه ارزن در منطقه بیرجند مرسوم است، هدف از

اجرای این آزمایش بررسی تأثیر نوع و میزان مصرف زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن با هدف تولید دانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر نوع و میزان زئولیت بر عملکرد ارزن معمولی، آزمایشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در کیلومتر ۵ جاده بیرجند-کرمان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سطح دریا انجام شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو نوع زئولیت کلسیک و پتاسیک در دو شکل پودری و گرانول بودند که در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) در نظر گرفته شد. در این پژوهش، از گیاه ارزن معمولی (رقم پورسو) برای کشت استفاده گردید. بذر مورد نیاز از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی تأمین شد. زئولیت‌های مورد استفاده از معادن سمنان و شرکت افرازند تهیه شد (قیمت هر کیلو زئولیت در زمان اجرای طرح ۱۱۰۰۰ ریال بوده است). مشخصات زئولیت‌های کلسیک و پتاسیک به‌ترتیب در جدول ۱ نشان داده شده است (Khashei Siouki & Ahmadi, 2015).

جدول ۱- ترکیبات زئولیت کلسیک مورد استفاده

Table 1- Calcium zeolite compounds used

نوع ماده Type of materials	سیلیس(درصد) SiO_2 (%)	آلومینیوم(درصد) Al_2O_3 (%)	آهن(درصد) Fe_2O_3 (%)	کلسیم(درصد) CaO (%)	سدیم(درصد) Na_2O (%)	پتاسیم(درصد) K_2O (%)	منیزیوم(درصد) MgO (%)	تیتانیوم(درصد) TiO_2 (%)	منگنز(درصد) Mno (%)	فسفر(درصد) $P2O_5$ (%)
مقدار Amount	**70.95**	**7.88**	**1.31**	**2.21**	**3**	**3.68**	**0.63**	**0.162**	**0.023**	**0.013**
نوع ماده Type of materials	تعیین مقدار مواد آلی در خاک به روش افت حرارتی L.O.I (%)	گوگرد SO_3 (%)	کلر Cl ($mg.kg^{-1}$)	باریم Ba ($mg.kg^{-1}$)	استرانسیم Sr ($mg.kg^{-1}$)	مس Cu ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	نیکل Ni ($mg.kg^{-1}$)	کروم Cr ($mg.kg^{-1}$)
مقدار Amount	8.12	1.34	3504	1154	399	54	5	39	12	7
ترکیبات زئولیت پتاسیک مورد استفاده Potassium zeolite compositions										
نوع ماده Type of materials										
مقدار Amount	70.25	7.68	0.91	1.12	3.1	3.43	0.39	0.15	0.017	0.006
نوع ماده Type of materials										
مقدار Amount	11.84	0.6	2049	1158	666	56	2	27	5	6

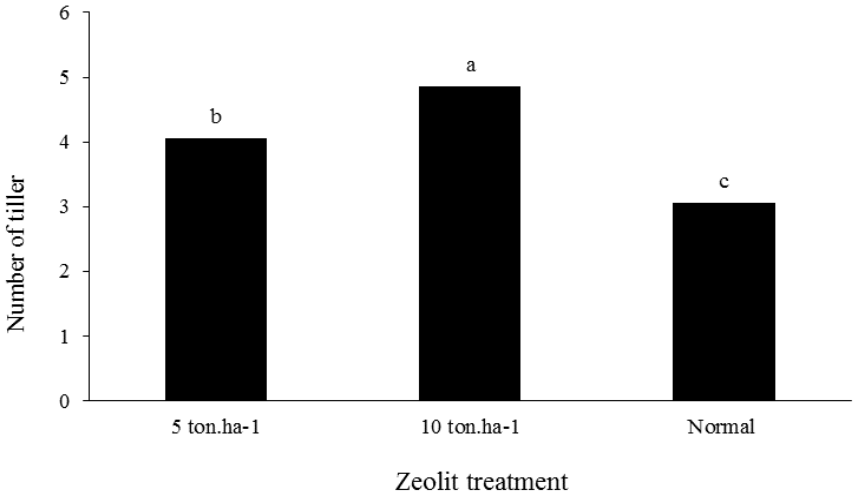
جهت آماده‌سازی زمین در نیمه اول خردادماه سال ۱۳۹۶، ابتدا با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار یک شخم عمیق زده شد. کودهای مورد نیاز زمین به‌میزان ۹۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به‌صورت سوپر فسفات تریپل و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بر اساس آزمایش خاک به زمین داده شد. لازم به ذکر است که کودهای پتاس و فسفات به‌صورت کودهای پایه و قبل از کشت گیاه زراعی به زمین اضافه شدند و مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه در دو مرحله (قبل از کشت و بعد از تنک کردن در مرحله سه تا چهار برگی) و به نسبت مساوی در اختیار گیاه قرار داده شد. در این آزمایش، کرت‌هایی با طول پنج متر و عرض دو متر ایجاد شد که فاصله بین کرت‌ها یک متر و فواصل بین بلوک‌ها نیز سه متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش مشتمل بر چهار ردیف کاشت به‌فاصله

۴۵ سانتی‌متر از هم بود. در هر کرت دو خط کناری و ۰/۵ متر از طرفین طولی کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. مقدار زئولیت برای هر کرت مشخص و با توجه به نقشه طرح، توسط نیروی کارگری و با استفاده از بیل تا عمق ۳۰ سانتی‌متری به خاک اضافه و سپس مخلوط گردید و سپس عملیات کاشت صورت گرفت. عملیات کاشت در تاریخ ۱۳ خردادماه ۱۳۹۶ به‌صورت دستی و با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و در عمق ۱/۵ تا دو سانتی‌متری خاک انجام شد. دو آبیاری اولیه مزرعه به‌علت جلوگیری از سله بستن خاک با فاصله سه روز انجام گرفت. بعد از جوانه‌زنی بذور، مزرعه به‌فاصله هر هفت روز یک‌بار آبیاری شد. برای تنظیم و اندازه‌گیری حجم دقیق آب آبیاری کرت‌ها، از پمپ و کنتور حجمی استفاده و توزیع آب بین کرت‌ها با استفاده از شبکه لوله‌کشی صورت گرفت. حجم آب مورد نیاز آبیاری بر اساس تبخیر- تعرق پتانسیل (ET_C) و باران مؤثر در منطقه و نیاز خالص آبیاری گیاه موردنظر که توسط نرم‌افزار NETWAT محاسبه و تعیین گردید. میزان آبیاری در هر مرحله ۴۴ میلی‌متر بود که با توجه به ابعاد هر کرت (۱۰ مترمربع)، ۴۴۰ لیتر، محاسبه شد. تنک بوته‌های ارزن در مرحله سه تا چهار برگی انجام گرفت. عملیات وجین علف‌های هرز نیز در طی دو مرحله و به‌صورت دستی انجام گرفت. برداشت ارزن در تاریخ ۲۵ مهرماه ۱۳۹۶ پس از رسیدگی فیزیولوژیک و کاهش رطوبت دانه به‌حدود ۱۴ درصد، از سطحی معادل دو مترمربع (از دو خط کشت میانی به‌طول ۲۲۲ سانتی‌متر) از هر کرت صورت گرفت. صفات اندازه‌گیری شده شامل تعداد خوشه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بود. درنهایت، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS v.9.4 تجزیه و تحلیل آماری شدند. برای دیگر محاسبات و رسم شکل نیز از نرم‌افزار Excel *v.*2013 استفاده شد. همچنین در این آزمایش کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایشی با محاسبه عملکرد اقتصادی تولید شده به حجم آب مصرفی تعیین شد معادله شماره یک (Wakarim et al., 2005).

(1) WUE: Grain yield/Water use

نتایج و بحث

تعداد پنجه در بوته: نتایج آنالیز واریانس داده‌های مورد بررسی نشان‌دهنده اثر معنی‌دار مقدار زئولیت در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد پنجه در بوته بود، امّا اثر نوع زئولیت و اثر متقابل نوع در مقدار زئولیت بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار زئولیت نشان داد که بین سطوح ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد، به‌گونه‌ای که بیشترین تعداد پنجه از تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌دست آمد و کمترین تعداد پنجه در بوته از شاهد (بدون کاربرد کود) به‌دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر مقدار زئولیت (برحسب تن) بر تعداد پنجه در بوته در مقایسه با شاهد

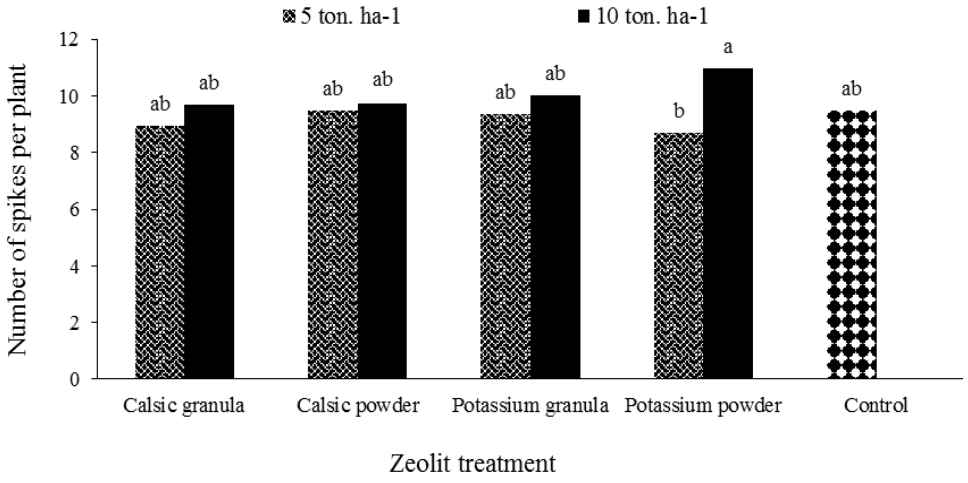
Fig. 1- Effect of zeolite treatment on the number of tiller per millet plant (comparison with control)

زئولیت قادر است توانایی تبادل کاتیونی و نگهداری آب و مواد غذایی را در گیاه افزایش داده و همچنین جذب عناصر غذایی را بهبود

بخشد (Ayan et al., 2005). معمولاً مقادیر بالای Na^+ در خاک تعادل مواد غذایی موجود در خاک را به هم می‌ریزد و موجب اختلال در تعادل اسمزی گیاه خواهد شد (Pessarakli, 1994) که همین امر می‌تواند باعث کاهش اجزای عملکرد گیاه شود. زئولیت موجب انتقال بهتر Ca^{2+} بین خاک و گیاه را فراهم می‌آورد و در نهایت، نسبت Na^+/Ca^{2+} کاهش می‌یابد. در واقع، افزایش مقادیر Ca^{2+} در محیط اطراف ریشه موجب کاهش تجمع یون‌های سمی Na^+ می‌شود که این امر به افزایش جذب آب و مواد غذایی کمک می‌کند و در نهایت، رشد گیاه افزایش پیدا می‌کند (Ghoreishiasl et al., 2017).

همچنین در بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری و سوپرجاذب زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای گزارش شده است که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار زئولیت در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد زئولیت) بر تعداد پنجه در این گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت، ولی افزایش مقدار زئولیت مصرفی از ۱۵۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش ۱۷/۵۸ درصدی تعداد پنجه در بوته نسبت به شاهد شده است (Torabi et al., 2013). در این پژوهش، کاربرد سطوح مختلف زئولیت در هر سه شرایط رطوبتی خاک مورد آزمایش (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) سبب بهبود معنی‌دار بسیاری از صفات مورد بررسی ازجمله تعداد شاخه جانبی در گیاه پنیرک گردید.

تعداد خوشه در هر بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار مقدار زئولیت و اثر متقابل مقدار در نوع کود بر تعداد خوشه در بوته می‌باشد، امّا اثر اصلی نوع کود بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). افزایش کاربرد زئولیت از پنج تن در هکتار به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در بوته ارزن در سطح احتمال پنج درصد گردید. به‌طوری‌که مصرف مقدار ۱۰ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش ۱۰/۷۹ درصد تعداد خوشه در بوته ارزن نسبت به تیمار پنج تن در هکتار زئولیت گردید (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع در مقدار کود نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین سطوح مختلف کودی و همچنین بین انواع کودهای مورد مطالعه می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد خوشه در بوته از تیمار کاربرد کود پتاسیم پودری به‌میزان ۱۰ تن در هکتار به‌دست آمد. به‌طور کلی، نتایج نشان‌دهنده برتری کاربرد ۱۰ تن کود زئولیت در هکتار بر کاربرد پنج تن در هکتار بود، امّا از نظر کاربرد نوع کود و مقایسه آن‌ها با شرایط شاهد اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۲).



شکل ۲- اثر تیمار زئولیت بر تعداد خوشه در بوته ارزن (مقایسه با شاهد)

Fig. 2- Effect of zeolite treatment on the number of spikes per millet plant (comparison with control)

صفت تعداد خوشه در بوته با صفات تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه همبستگی قوی دارد و به همین دلیل بسیار حائز اهمیت است. از طرف دیگر، مشخص شده است که زئولیت‌ها با ساختاری بسیار متخلخل و با سطح داخلی بسیار گسترده موجب تثبیت عناصر غذایی در بین ساختار خود شده و از طریق رهاسازی تدریجی آن‌ها، فراهمی درازمدت این عناصر را برای گیاه ایجاد نموده و در نهایت، سبب افزایش توانایی گیاه در مصرف عناصر و درنتیجه، افزایش عملکرد و اجزا عملکرد می‌شوند (Nommik & Vahtras, 1982). در این راستا قیاسی و همکاران (Ghiasi et al., 2014) به بررسی اثر زئولیت روی خصوصیات گیاه کلزا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که زئولیت اثر

معنی‌داری روی تعداد خورجین در بوته کلزا داشته است. در این تحقیق تعداد خورجین در بوته در تیمار کاربرد زئولیت (۱۰ تن در هکتار) در مقایسه با شاهد ۱۳/۷ افزایش داشت. سبی و همکاران (Sibi et al., 2011) نیز نشان دادند که تعداد غوزه در بوته تحت تأثیر تیمار کاربرد زئولیت قرار گرفت و با مصرف زئولیت در سطوح چهار و هشت تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار تعداد غوزه در بوته گردید. به نظر آنان تأمین نیاز رطوبتی گیاه و کاهش تبخیر و تعرق در گیاه، توانایی تولید و رشد گیاه افزایش یافته و تعداد غوزه و به‌تبع آن عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. با توجه به نتایج ذکر شده در مورد اثرات متعدد عناصر بر رشد گیاه و همچنین اثرات مثبت زئولیت بر نگاهداشت این عناصر و به‌خصوص نیتروژن می‌توان گفت که در پژوهش حاضر زئولیت با ایفای نقش در تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه می‌تواند در بهبود رشد گیاه اثرات بسزایی داشته باشد.

تعداد دانه در خوشه: این صفت تحت تأثیر اثر معنی‌دار مقدار زئولیت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت، امّا اثر اصلی نوع زئولیت و اثر متقابل نوع در مقدار کود بر میزان این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار نشان‌دهنده بیشتر بودن تعداد دانه در خوشه در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت نسبت به شرایط پنج تن و عدم کاربرد زئولیت (شاهد) بود (شکل ۳).

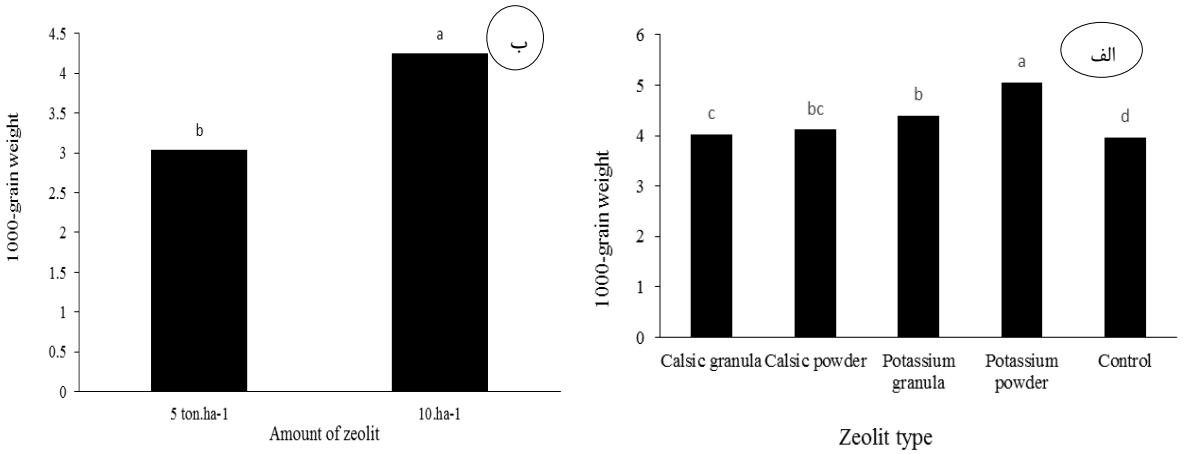
شکل ۳- اثر مقدار زئولیت (برحسب تن) بر تعداد دانه در خوشه در مقایسه با شاهد

Fig. 3- Effect of zeolite treatment on the number of grain per millet spikes (comparison with control).

یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر صفت عملکرد دانه، صفت تعداد دانه در خوشه است. با افزایش تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه در تک بوته و در نهایت، عملکرد دانه در هکتار افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش زاهدی و همکاران (Zahedi et al., 2009) که بر مطالعه اثرات کاربرد زئولیت بر عملکرد گیاه کلزا انجام گرفت، نشان داد که تعداد دانه در غلاف بوته کلزا تحت تأثیر تیمار حاوی زئولیت (۱۰ تن در هکتار) قرار گرفت که از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین ابوسعیدی و همکاران (Al-Busaidi et al., 2008) در مطالعه‌ای تحت شرایط نرمال و تنش شوری به بررسی اثر زئولیت بر واکنش گیاه جو (*Hordeum vulgare*) پرداختند و گزارش کردند که در شرایط نرمال آبیاری و همچنین در شرایط تنش آبیاری با آب شور، تعداد دانه در خوشه جو تحت تأثیر تیمار زئولیت قرار گرفته و صفت مذکور در تیمار حاوی زئولیت در مقایسه با تیمار بدون زئولیت (شاهد) افزایش معنی‌داری داشته است. آن‌ها همچنین بیان کردند که بین تیمارهای شاهد، مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار زئولیت اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد. در پژوهش میرزاخانی (Mirzakhani, 2013) نیز افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله گیاه گندم تحت تأثیر کاربرد زئولیت گزارش شده است. همچنین با کاربرد زئولیت در خاک عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا افزایش چشمگیری را نشان داد (Butorac et al., 2002).

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات اصلی نوع و مقدار زئولیت در سطح احتمال پنج درصد

بود، امّا اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار کود نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه از تیمار ۱۰ تن در هکتار کود به‌دست آمد (شکل ۴ ب). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر نوع زئولیت نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار زئولیت پتاسیک پودری با میانگین ۵/۱۳ گرم بود که از نظر آماری با سایر تیمارها به‌جز تیمار زئولیت کلسیک گرانول اختلاف معنی‌داری نداشت و همچنین کمترین میزان وزن هزار دانه از تیمار زئولیت کلسیک گرانول با میانگین ۴/۷۳ گرم به‌دست آمد. در مجموع، کاربرد زئولیت در کشت ارزن به‌شکل پودری موجب برتری نسبی این تیمار نسبت به تیمار مصرف زئولیت به‌شکل گرانول در هر دو نوع زئولیت کلسیک و پتاسیک شد. با این‌حال، این برتری نسبی در زئولیت نوع کلسیک از نظر آماری معنی‌دار نبود. بین تیمارهای زئولیت کلسیک گرانول، کلسیک پودری و پتاسیک گرانول نیز اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد مشاهده نشد (شکل ۴- الف).



شکل ٤- اثر نوع (الف) و مقدار زئولیت (ب) بر وزن هزار دانه ارزن

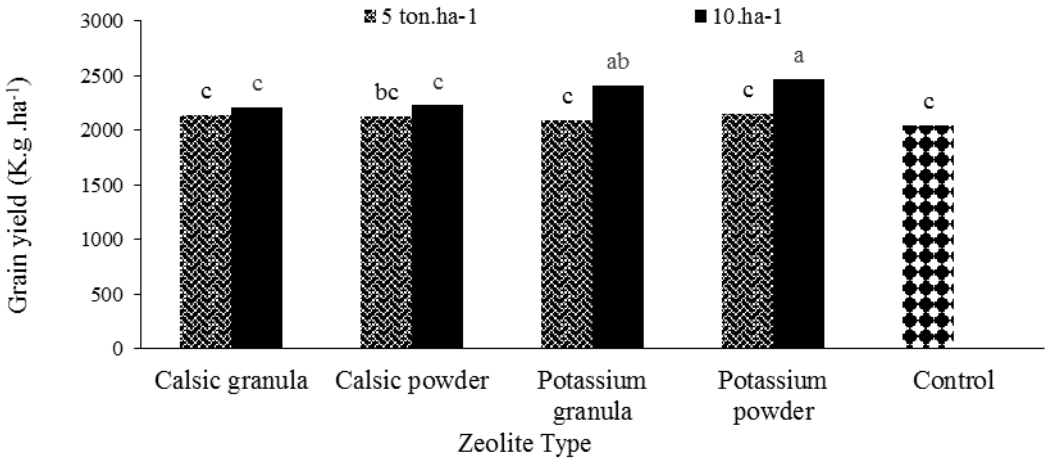
Fig. 4- Effect of type (a) and amount (b) of zeolite on 1000-grain weight of millet

تعداد و وزن دانه، از جمله اجزای مهم عملکرد دانه در گیاهان می‌باشد و تابع فرایند فیزیولوژیک رشد و نمو گیاه می‌باشد (Sarmadnia & Kochaki, 1997). اندازه نهایی دانه بسته به ژنوتیپ و همچنین شرایط محیطی متفاوت است (Azizi et al., 1999). به‌طور کلی، وزن دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن آن است. وجود تنش‌های محیطی مانند کمبود آب به‌خصوص در مرحله تشکیل و پر شدن دانه موجب کاهش میزان فتوسنتز جاری، سرعت و طول دوره پر شدن دانه می‌شود و در نتیجه، وزن آن کاهش می‌یابد (Mohammadi et al., 2006). زئولیت‌ها به‌دلیل داشتن خلل و فرج و فضای مولکولی باز، می‌توانند بیش از ۶۰ درصد وزن خود آب جذب کنند. مولکول‌های آب قادرند بدون اینکه به ساختار زئولیت آسیب وارد نمایند، داخل منافذ این مواد قرار بگیرند و یا تبخیر شوند (Kocakusak et al., 2001) و این امر در فراهمی رطوبت مورد نیاز گیاه به‌ویژه در خاک‌های شنی مؤثر می‌باشد. وقتی آب کم می‌شود در نتیجه، فرایند چرخه فتوسنتز ضعیف می‌شود و کربوهیدرات که محصول این فرایند می‌باشد، کم می‌شود؛ لذا کربوهیدرات و مواد معدنی دیگری که برای پر شدن دانه است، کاهش می‌یابد. همه این عوامل تأثیر مستقیمی بر وزن هزار دانه دارند که در نهایت، موجب کاهش عملکرد می‌شوند (Sibi et al., 2011). گزارش شده است که استفاده زئولیت به‌ویژه در سطوح بالای مصرف، تا حدود زیادی می‌تواند از کاهش وزن ۱۰۰ دانه به‌دلیل شستشوی عناصر غذایی از بافت شنی خاک نسبت به تیمار شاهد بکاهد (Hosseini Abri et al., 2010). نتایج مطالعه پازکی (Pazaki, 2010) بر گیاه کلزا حاکی از افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در اثر مصرف زئولیت بوده، به‌طوری‌که کاربرد میزان ۱۲ تن در هکتار زئولیت بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۳/۹۶ گرم و عدم کاربرد آن کمترین وزن هزار دانه را با میانگین ۳/۶۰ گرم داشت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در سایر پژوهش‌های انجام شده بر گیاه کلزا، اثرات مثبت و معنی‌دار زئولیت بر وزن هزار دانه با مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت نیز گزارش شده است (Zahedi et al., 2009 Rahimi, 2006;). بخش

قابل توجهی از وزن دانه‌ها در دوره پر شدن دانه از فتوسنتز جاری حاصل می‌شود (Imam & Niknejad, 2011) و کاهش رطوبت در دوره پر شدن باعث کاهش فتوسنتز جاری در این دوره رشد شده و در نتیجه، وزن دانه‌ها کاهش می‌یابد. وزن هزار دانه آخرین جزء از عملکرد است که تعیین می‌شود و تنها جزء از اجزای عملکرد است که به شرایط محیطی دوره پس از گل‌دهی بستگی دارد (Evans et al., 1975). گزارش شده است که کمبود رطوبت در مراحل بعد از گل‌دهی موجب کاهش فتوسنتز جاری گیاه شده و روند انتقال مجدد گیاه تحت تأثیر آن قرار خواهد گرفت که بر وزن دانه تأثیرگذار خواهند بود (Miri, 2010). همچنین مشاهده شده است که کمبود آب بعد از گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار آسیمیلاسیون کربن می‌شود و از این رو، موجب کاهش فراهمی فتوسنتز جاری برای دانه در حال رشد می‌شود (Nicolas et al., 1985). با توجه به بررسی‌های فوق در رابطه با خصوصیات زئولیت و اثرات آن، به نظر می‌رسد مصرف زئولیت در پژوهش حاضر موجب بهبود شرایط تهویه خاک، حفظ رطوبت در زمان ازدیاد آن و آزادسازی آن در زمان کمبود رطوبت، کاهش آب‌شویی عناصر مغذی برای گیاه و اثرات مفید دیگری شده است که در نهایت، تمامی این اثرات موجب بهتر شدن شرایط رشد گیاه شده است و رشد بهتر گیاه نیز منجر به افزایش عملکرد نهایی و همچنین اجزای عملکرد و از جمله وزن هزار دانه خواهد شد. از طرفی، با توجه به حساسیت دوره بعد از گل‌دهی به رطوبت در رابطه با وزن دانه، تأثیر مثبت مصرف زئولیت بر تأمین نیاز رطوبتی ارزن در این دوره و افزایش وزن هزار دانه قابل مشاهده می‌باشد.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر اثر متقابل نوع زئولیت در مقدار زئولیت و اثر ساده مقدار زئولیت به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد قرار گرفت، امّا اثر ساده نوع زئولیت بر وقدار این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که شاهد با میانگین عملکرد دانه ۲۰۵۰/۳۳ کیلوگرم در هکتار از عملکرد کمتری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی برخوردار بود، ولی فقط با تیمار پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار و پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری داشت. شاهد نسبت به تیمار پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار و پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار به‌ترتیب ۱۴/۸۲ و ۱۷/۱ درصد کاهش داشت (شکل ۵). همچنین نتایج نشان داد که افزایش میزان زئولیت موجب افزایش عملکرد دانه ارزن در سطح احتمال پنج درصد گردید. به‌طوری‌که مصرف مقدار ۱۰ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش ۱۴۹/۷۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه ارزن نسبت به تیمار پنج تن در هکتار زئولیت گردید که این افزایش ۶/۹۴ درصد به دست آمد (شکل ۵). به‌طور کلی، در همه تیمارها به‌جز کلسیک پودری، مقدار ۱۰ تن در هکتار زئولیت دارای عملکرد بیشتری نسبت به مقدار پنج تن در هکتار زئولیت بوده است. در تیمار زئولیت کلسیک بین کلسیک پودری و گرانول اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۵ و ۱۰ تن در هکتار وجود نداشت، امّا این اختلاف در تیمار زئولیت پتاسیک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین بین انواع مختلف زئولیت پنج تن در هکتار از نظر آماری اختلاف معنی-داری مشاهده نشد. تیمار پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار دارای بیشترین عملکرد با میانگین ۲۴۷۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار بوده که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار با میانگین ۲۴۰۷/۳۳ کیلوگرم در هکتار نداشت، ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد داشته است (شکل ۵). کمترین میزان عملکرد دانه نیز مربوط به تیمار پتاسیک گرانول پنج تن در هکتار با میانگین ۲۰۹۸/۶۶ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۵).

عملکرد دانه مهم‌ترین فاکتور مورد بررسی گیاهان زراعی خانواده غلات محسوب می‌شود. در پژوهشی که جهت تعیین اثرات زئولیت بر شاخص‌های گیاه کلزا در رژیم‌های مختلف آبیاری انجام گرفته بود، نتایج نشان داد که در آبیاری معمول (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) استفاده از زئولیت (۱۵ تن در هکتار) موجب افزایش معنی‌دار و ۲۳/۸۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد (عدم کاربرد زئولیت) شده (Bagheri et al., 2015). نتایج تحقیقات سیبی و همکاران (Sibi et al., 2011) نیز نشان داد که مصرف زئولیت هم در شرایط مطلوب رطوبتی و هم در شرایط تنش رطوبتی موجب افزایش عملکرد دانه گردید. ایپولیتو و همکاران (Ippolito et al., 2011) نیز افزایش عملکرد ذرت در شرایط گلخانه را در اثر افزودن زئولیت نسبت به عدم مصرف آن گزارش کردند. عملکرد دانه در همه گیاهان زراعی به‌عنوان یک عامل مهم اقتصادی مطرح می‌باشد و عوامل محیطی موجب کاهش یا افزایش آن خواهد شد.



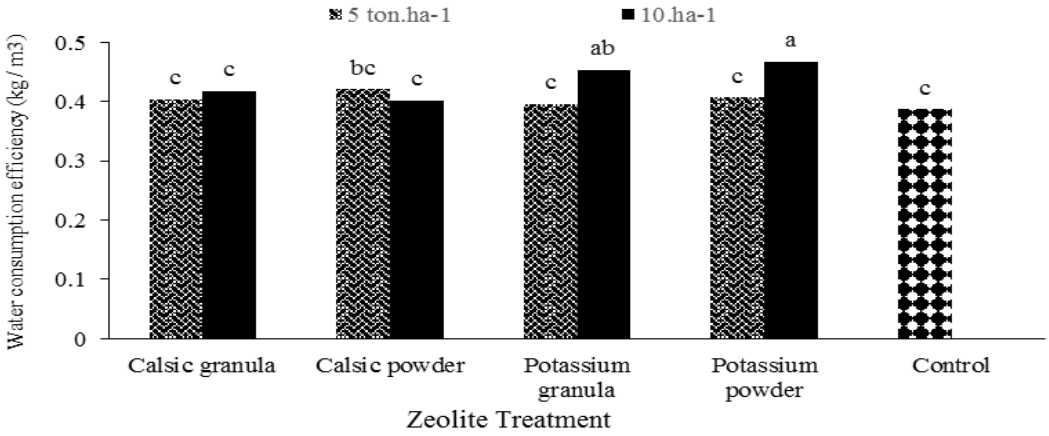
شکل ۵- اثر تیمار زئولیت بر عملکرد دانه ارزن (مقایسه با شاهد)

Fig. 5- Effect of zeolite treatment on millet grain yield (comparison with control)

از جمله این عوامل می‌توان به تنش کم‌آبی اشاره کرد. کمبود آب بر روی رشد کلی گیاه، فتوسنتز گیاه و سایر عوامل که در نهایت، بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد مؤثر است، ولی در چنین شرایطی مصرف زئولیت می‌تواند رطوبت مورد نیاز گیاه را تا حد قابل قبولی جبران کند و موجب بهبود عملکرد دانه گیاه نسبت به حالتی که بدون زئولیت کشت می‌شود تأمین کند (Sibi et al., 2011). پازکی (Pazaki, 2010) در بررسی اثر مقادیر مختلف زئولیت بر عملکرد دانه گیاه کلزا گزارش کرد که کاربرد ۱۲ تن در هکتار زئولیت با میانگین ۲۸۵۳/۵۳ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با تیمار عدم کاربرد زئولیت با میانگین ۲۳۸۸/۵۰ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار آماری داشت. آم و همکاران (Um et al., 1987) نیز اظهار داشتند که استفاده از زئولیت موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه برنج گردید. همچنین تحت شرایط آبیاری طبیعی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) زئولیت سبب افزایش عملکرد دانه سویا شد (Nozari et al., 2013). بهادر و تدین (Bahador & Tadayon, 2017) در پژوهش خود به نقش مثبت زئولیت در بهبود عملکرد گیاهان زراعی اشاره کردند و بیان کردند، در صورتی زئولیت قادر است خسارت را از طریق سطح برگ، دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول، ماده خشک و دوام زیست‌توده جبران کند که تنها ۲۰ درصد از نیاز آبی گیاه در هر آبیاری تأمین نشود. چرا که با کمبود آب آبیاری به ۴۰ درصد و بیشتر از آن نسبت به آبیاری کامل در هر مرتبه از آبیاری، چون احتمال خسارت-های غیرقابل برگشت در بافت‌های تولیدکننده بیشتر می‌شود زئولیت نیز در این شرایط قادر به تأمین نیاز رطوبتی گیاه نخواهد بود و در نتیجه، نقش مفیدی نخواهد داشت. در خاک‌های شنی با قابلیت نگهداری آب پایین، برخی از گیاهان مثل ذرت در طی دوره رشد خود با شرایط کم آبیاری مواجه شده و سطح برگ خود را به‌منظور کاهش سطح تعرق کم می‌نمایند و از این طریق، موجب استفاده بهینه از آب و مواد غذایی در جهت تولید می‌شوند که این خود سبب کاهش شاخص سطح برگ خواهد گردید. با مصرف زئولیت به‌ویژه در مقادیر بالا، به دلیل خاصیت ویژه این مواد در نگهداری طولانی‌مدت رطوبت در محیط توسعه ریشه به‌ویژه در خاک‌های شنی، امکان رشد رویشی بیشتر و توسعه سطح برگ‌ها برای گیاه فراهم می‌گردد. با توجه به رابطه مستقیمی که بین شاخص توسعه برگ و توان فتوسنتزی گیاه وجود دارد، می‌توان انتظار داشت که مصرف زئولیت با تأمین آب و نیتروژن مورد نیاز گیاه موجب افزایش عملکرد نهایی گیاه گردد (Pansini, 1996).

کارایی مصرف آب: نتایج تجزیه واریانس نشان از معنی‌دار بودن اثر متقابل و اثر ساده مقدار بر کارایی مصرف آب در سطح احتمال پنج و یک درصد بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که شاهد بدون کاربرد زئولیت با سایر تیمارهای آزمایشی حاوی نوع و مقدار زئولیت، با میانگین ۰/۳۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی از کارایی مصرف آب پایین‌تری برخوردار بود، امّا این اختلاف تنها با تیمارهای پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار و پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار از نظر

آماری معنی‌دار و با سایر تیمارها غیرمعنی‌دار بود (شکل ۶). کارایی مصرف آب در تیمارهای پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار و پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار به‌ترتیب با میانگین ۰/۴۵۴ و ۰/۴۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب نسبت به شاهد ۱۷/۳۱ و ۲۰/۶۳ درصد افزایش داشت (شکل ۶). همچنین نتایج بیانگر اختلاف معنی‌دار آماری بین کاربرد سطح ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت در سطح یک درصد بود. افزایش مقدار زئولیت مصرفی از ۵ به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش ۶/۹۵ درصدی کارایی مصرف آب در سطح پنج درصد شد (شکل ۶). میانگین کارایی مصرف آب برای تیمار ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌ترتیب برابر با ۰/۴۰۷ و ۰/۴۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و مقدار زئولیت بر کارایی مصرف آب نشان داد که افزایش مصرف زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش کارایی مصرف آب در ارزن در تیمارهای کلسیک گرانول، پتاسیک گرانول و پتاسیک پودری گردید، امّا این افزایش در تیمار کلسیک گرانول معنی‌دار نشد. همچنین بین انواع مختلف زئولیت در سطح ۵ تن در هکتار اختلاف آماری ازنظر کارایی مصرف آب مشاهده نشد. بیشترین میزان افزایش کارایی مصرف آب در اثر افزایش مصرف زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار از تیمار پتاسیک پودری به‌میزان ۱۴/۷۴ درصد به‌دست آمد. افزایش مصرف زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار موجب کاهش کارایی مصرف آب در تیمار زئولیت کلسیک پودری شد، امّا این کاهش ازنظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود و بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف آب نیز به ترتیب در تیمارهای پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار با میانگین ۰/۴۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب و پتاسیک گرانول پنج تن در هکتار با میانگین ۰/۳۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (شکل ۶).



شکل ٦- اثر تیمار زئولیت بر کارایی مصرف آب ارزن (مقایسه با شاهد)

Fig. 6- Effect of zeolite treatment on millet water use efficiency (comparison with control)

زئولیت‌ها یک مخزن قابل اعتماد از آب هستند که در طی دوره رشد گیاه، تأمین طولانی‌مدت رطوبت خاک را تضمین می‌کنند و از سوی دیگر این مواد، موجب خیس شدن و رسیدن سریع رطوبت به محیط ریشه در آبیاری مجدد می‌شوند، این امر در کاهش مصرف آب در هر وعده آبیاری بسیار مؤثر خواهد بود. میرزاخانی (Mirzakhani, 2013) نیز اظهار کرد که مصرف مقادیر بیشتر زئولیت می‌تواند با توانایی که در جذب و نگهداری رطوبت مازاد در خاک دارد، دامنه نوسانات پرآبی خاک (۲۴ تا ۴۸ ساعت بعد از هر بار آبیاری مزرعه که شرایط غرقابی و کمبود اکسیژن در محیط ریشه گیاه حاکم است) و کم‌آبی (با توجه به بافت خاک، درجه حرارت، نحوه کاشت و مقدار ماده آلی موجود در خاک، در فاصله پنج تا شش روز پس از هر آبیاری) که هر دو حالت برای رشد و نمو گیاه نامطلوب هستند را کاهش داده و با ایفای این نقش مهم، باعث فراهم شدن شرایط یکنواخت‌تری از نظر دسترسی گیاه به رطوبت مورد نیاز، در خاک - شود. همچنین گزارش شده است که استفاده از زئولیت کارایی مصرف آب و کود را بالا می‌برد و می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه شود. استفاده از زئولیت کلسیک سبب افزایش کارایی مصرف آب در گیاه تربچه و به‌کارگیری زئولیت پتاسیک سبب افزایش کارایی مصرف آب در شاهی شده است (Ahmadi et al., 2013)، به‌دلیل توانایی بالایی که زئولیت در جذب و نگهداری رطوبت اضافی موجود در خاک دارد، می‌تواند مقدار قابل‌توجهی آب را پس از هر بار آبیاری مزرعه در داخل خلل و فرج خود جذب و نگهداری نماید و به‌مرور در روزهای بعد از آبیاری که رطوبت خاک مزرعه کاهش می‌یابد، آب جذب‌شده توسط زئولیت به مصرف ریشه گیاه می‌رسد. میرزاخانی (Mirzakhani,

2013) و تدین و کریم‌زاده سروشجانی (Tadayon & Karimzadeh Sourshajani) در بررسی اثرات زئولیت بر ویژگی های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارزن پرسو در شرایط کم آبیاری در شهرکرد نشان دادند که افزایش مصرف زئولیت موجب افزایش کارایی مصرف آب جهت افزایش عملکرد دانه ارزن در تمامی سطوح آبیاری شد. در واقع، کارایی مصرف آب تنها در سطوح بالای آبیاری برای عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد و در تیمار آبیاری ۲۵ درصد نیاز آبی، شاهد بدون زئولیت از کارایی مصرف آب بالاتری جهت تولید ماده خشک برخوردار بود. آن‌ها همچنین اظهار کردند که استفاده از زئولیت در شرایط کمبود آب، باعث شد تا گیاه ارزن تنش خشکی کمتری را درک کند. در واقع استفاده از زئولیت باعث کاهش تأثیر زیان‌بار تنش خشکی در گیاه ارزن می‌شود و از این رو، در شرایط محدودیت آبی و تنش خشکی استفاده از ۱۰ تن زئولیت را در هکتار را مقرون‌به‌صرفه و توصیه نمودند.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد انواع مختلف زئولیت سبب افزایش معنی‌دار صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه در سطح احتمال پنج درصد و عملکرد دانه، کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد زئولیت) شد. همچنین با افزایش کاربرد زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار افزایش معنی‌داری در تعداد خوشه در هر بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب مشاهده شد. از آن‌جایی که تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش کارایی مصرف آب شد و از آن جا که منطقه بیرجند با مشکلات ناشی از خشکسالی و کمبود آب مواجه است و همچنین با توجه به هزینه پایین استخراج، تولید و مصرف زئولیت، استفاده از تیمار زئولیت در جهت بهبود کارایی مصرف آب در کشاورزی و همچنین بهبود شرایط رشدی گیاه در منطقه بیرجند و مناطق با شرایط آب و هوایی مشابه قابل توصیه می‌باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس تعداد پنجه در بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارزن معمولی تحت تأثیر نوع و مقدار زئولیت (به‌صورت فاکتوریل)

Table 2- Analysis of variance of the number of tiller per plant, number of spikes per plant, number of grains per panicle, 1000-grain weight, grain weight, and water use efficiency in common millet under the influence of type and amount of zeolite (As a factorial)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد خوشه در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در خوشه Number of grains per spike	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds	عملکرد دانه Grain yield	کارایی مصرف آب Water consumption efficiency
بلوک Block	2	191.79 ^{ns}	0.60 ^{ns}	0.046 ^{ns}	0.0059 ^{ns}	11969.54 ^{ns}	0.0004 ^{ns}
نوع زئولیتA Type of zeolite	3	153.99 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.077 ^{ns}	0.21*	26237.7 ^{ns}	0.0009 ^{ns}
مقدار زئولیتB Amount of zeolite	1	1221.35**	5.81**	0.1066*	0.36*	134550.37**	0.0047**
نوع ×مقدارAB Type and amount	3	43.48 ^{ns}	1.18 *	0.0311 ^{ns}	0.021 ^{ns}	60430.37*	0.0021*
خطا Error	14	124.82	0.79	0.0529	0.059	12017.44	0.0004
ضریب تغییرات CV	-	18.01	9.28	15.57	5.89	14.91	4.91

*and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, ns: non- significant.

References

1. Ahmadi, M., Khashei Siouki, A., & Shahidi, A. (2013). The effect of natural zeolite on growth indices of Lemongrass (*Melissa officinalis* L.). The First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture. Shahid Mofteh University, Hamedan, Iran. (In Persian)
2. Al-Busaidi, A., Yamamoto, T., Inoue, M., Eneji, A.E., Mori, Y., & Irshad, M. (2008). Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(7), 1159-1173. https://doi.org/10.1080/01904160802134434
3. Azari Nasrabadi, A., & Mirzaei, M.R. (2012). Effect of sowing date on yield and grain yield components of promising fox tail millet lines (*Setaria italica* L.). *Journal of Seedling and Seed Crop*, *2*(28), 105-95. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110458
4. Ayan, S., Yahyaoglu, Z., Gercek, V., & Şahin, A. (2005). Utilization of zeolite as a substrate for containerized oriental spruce (*Picea orientalis* L. (Link.)) seedlings propagation. *In International Symposium on Growing Media*, *779*, 583-590. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.75
5. Azizi, M., Soltani, A., & East Khorasani, S. (1378). Rapeseed (physiology, agriculture, breed, biotechnology). (Translation). *Mashhad University Jihad Publications*, Iran. 232p. (In Persian)
6. Bagheri, H., Farahvash, F., Sam Daliri, M., Yarnia, M., & Shirani Rad, A.H. (2015). Investigation of the application of zeolite and manganese on yield, oil content and glucosinolate of rapeseed cultivars in different irrigation regimes. *Journal of Plant Ecophysiology*, 23(7), 44-29. (In Persian with English Summary)
7. Bahador, M., & Tadayon, M.R. (2017). Study of the effect of application of zeolite on the modulation of under-irrigation stress and improvement of cannabis plant functions. *Plant Process and Function*, 21(6), 141-128. (In Persian with English Summary)
8. Butorac, A., Filipan, T., Basic, F., Butorac, J., Mesic, M., & Kisic, I. (2002). Crop response to the application of special natural amendments based on zeolite tuff. *Rostlinna vyroba*, 48(3), 118-124.
9. Eshghi, S., Mahmoodabadi, M.R., Abdi, G.R., & Jamali, B. (2010). Zeolite ameliorates the adverse effect of cadmium contamination on growth and nodulation of soybean plant (*Glycine max* L.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(10), 43-50.
10. Evans, L.T., Wardlaw, I.F., & Fischer, R.A. (1975). Wheat. In L.T. Evans (Ed.). Crop physiology. Cambridge University. Press, New York. Pp. 101–149.
11. Ghiasi, A.G., Akbari, G.A., Shirani Rad, A., Dadi, A., & Naimi, M. (2014). The effect of zeolite and nitrogen fertilizer application under water stress conditions on agronomic and physiological characteristics of rapeseed. *Journal of Production and Processing of Crops and Horticultural Products*, 12(4), 85-73. (In Persian with English Summary)
12. Ghoreishiasl, S.S., Zahedi, H., Sharghi, Y., Modarres Sanavy, S.A.M., & Moradi Ghahderijani, M. (2017). Effect of zeolite and calcium silicate on salt stress tolerance of two canola varieties. *Iranian Journal of Soil Resource*, 31(3), 354-362.
13. Habibpour Kashefi, A., Qareineh, M.H., Shafeinia, A., & Rosrokh, M. (2017). Effect of different levels of zeolite on yield and yield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress in Kermanshah climatic conditions. *Plant Production Technology*, 1(9), 151-141. (In Persian with English Summary)
14. Harb, E.M.Z., & Mahmoud, M.A. (2009). Enhancing of growth, essential oil yield and components of yarrow plant (*Achillea millefolium* L.) growth under safe agriculture conditions using zeolite and compost. *4th Conference on Recent Technologies in Agriculture*, Giza. Egypt.
15. Hosseini Abri, S.A., Parhizkar, M.S., Eradatmand Asli, D., & Moradi, P. (2011). The effect of different levels of zeolite on the yield and yield components of safflower plant. Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development, Opportunities and Challenges Ahead. Islamic Azad University of Shiraz. Shiraz.2011. (In Persian).
16. Ippolito, J.A., Tarkelson, D.D., & Lehrsch, G. (2011). Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture and corn growth. *Soil Science*, 176, 136-142.
17. Jajarmi, K., Pishgahifard, Z., & Mehkoui, H. (2013). Environmental Threats Assessment in Iran's National Security. *Strategy Quarterly*, 67, 22.

18. Kazemian, H., & Rahimi. M. (2003). Effect of zeolite application on rice yield. Proceedings of the 8th International Congress of Soil Sciences. University of Guilan, Iran. (In Persian)
19. Kazemi Nasab, A., & Pishkar, Y. (2013). Effects of fertilizer on human health. National Conference on Agricultural Pollutants and Food Health, Challenges and Solutions, March 28-27, Khuzestan, Iran. 46-43. (In Persian)
20. Kazemian, H. (2000). Recent research on the Iranian natural zeolite resource (A review). Access in Nanoporous Materials-II, Banff. Alberta, Canada. May. 25-28.
21. Khashei Siouki, A., & Ahmadi, M. (2015). Zeolites: Introduction, properties and application. First Edition. Birjand University Press, Iran. pp. 130. (In Persian)
22. Kocakusak, S., Savascı, O.T., & Ayok, T. (2001). Dogal zeolitler ve uygulama alanları. Turkiye Bilimsel ve Teknik Arastırma Kurumu Marmara Arastırma Merkezi, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Arastırma Enstitusu. Report No: KM. 362.
23. Koocheki, A., Jahan, M., & Nassiri Mahallati, M. (2008). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and free-living nitrogen-fixing bacteria on growth characteristics of corn (*Zea mays* L.) under organic and conventional cropping systems.
24. Kusaka, M., Lalusin, A.G., & Fujimura, T. (2005). The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. *Plant Science*, 168(1), 1-14.
25. Mirzakhani, M. (2013). Response of wheat yield components to water stress and zeolite consumption in Farahan region. *Agricultural Research on the Edge of the Desert*, 3(10), 294-279. (In Persian with English Summary)
26. Miri, H. (2010). The effect of drought stress after flowering on the share of stem reserves in grain yield of wheat cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*, 1(3), 19-1. (In Persian with English Summary))
27. Modir-Shanehchi, M. (1992). Production and Management of Forage Crops. 2nd edition Astan-e-Ghods Press, Iran. pp. 448.
28. Mohammadi, G.H., Ghasemi Golezani, K., Javanshir, A., & Moghaddam, M. (2006). The Influence of water limitation on the yield of three chickpea cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10 (2), 109-116.
29. Mumpton, F.A. (1999). La Roca magica: uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(7), 3463-3470.
30. Nazari, F., Khoshkhooi, M., & Eshghi, S. (2007). Effects of natural zeolite on physiological characteristics of parsley. Abstracts of the 5th Iranian Congress of Horticultural Sciences. Shiraz University, Iran. (In Persian)
31. Nicolas, M.E., Gleadow, R.M., & Dalling, M.J. (1985). Effect of post-anthesis drought on cell division and starch accumulation in developing wheat grains. *Annals of Botany*, 553, 433-444.
32. Niknejad, V., & Imam, Y. (2011). Introduction to the physiology of crop yield. Translation. Shiraz University Press, Iran. pp. 594. (In Persian)
33. Nommik, H., & Vahtras, K. (1982). Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. *Nitrogen in Agricultural Soils (Nitrogeninagrics)*, 22, 123-171. https://doi.org/10.2134/agronmonogr22.c4.
34. Nozari, R., TohidiMoghadam, H.R., & Zahedi, H. (2013). Effect of cattle manure and zeolite application on physiological and biochemical changes in soybean (*Glycine max* L.) Merr. Grown under water deficit stress. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), 76-84.
35. Omidi, H., Naqdi Badi, H.A., Golzad, A., Torabi, H., & Fotokian, M.H. (2009). The effect of chemical and biological nitrogen fertilizers on the quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativa* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 30(9), 109-98. (In Persian with English Summary)
36. Pansini, M. (1996). Natural zeolite as cation exchangers for environment protection. *Mineralium Deposita*, 31(6), 563-575.
37. Pazaki, A. (2010). Effect of zeolite content and dehydration stress on yield, yield components and rapeseed harvest index (*Brassica napus* L.) in Rey city. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 1(6), 16-1. (In Persian with English Summary)
38. Pessarakli, M. (1994). Handbook of Plant and Crop Stress. 1245p. 3rd Edition. Environment & Agriculture Botany. Handbook of Plant and Crop Stress. https://doi.org/10.1201/b10329.
39. Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Onus, A.N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal

of Fruit and Ornamental Plant Research 12(1): 183-189.

40. Rahimi, M. (2006). Investigation of the effect of zeolite application on optimal nitrogen consumption in rapeseed cultivation. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Middle Branch, Iran. (In Persian)
41. Sahari, M., Feyz Asl, A., & Valizadeh, G.R. (2009). Investigation of the effect of urea foliar application time on quantitative and qualitative characteristics of Sardari wheat in rainfed conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 3(52), 2011-1998. (In Persian with English Summary)
42. Sibi, M., Mirzakhani, M., & Gomarian, M. (2011). Effect of water stress, zeolite and salicylic acid consumption on yield and yield components of spring safflower. *Journal of New Agricultural Findings*, 3(5), 290-276. (In Persian with English Summary)
43. Sarmadnia, G., & Kouchaki, A. (1997). Physiological aspects of rainfed agriculture (translation). Mashhad University Jihad Publications, Iran. (In Persian)
44. Supapron, J., Pitayakon, L., Kamalapa, W., & Touchamon, P. (2002). Effect of zeolite and chemical fertilizer on the change of physical and chemical properties on Lat Ya soil series for sugar cane. In: Proceedings of the 17th WCSS Symposium, August 14-21.
45. Tadayon, M.R., & Karimzadeh Sourshajani, H. (2017). Effect of zeolite on physiological and biochemical properties of *Panicum miliacum* under low irrigation conditions. *Iranian Crop Science*, 2(48), 452-443. (In Persian with English Summary)
46. Tohidi-Moghaddam, H.R., Shirani-Rad, A.H., Noormohammadi, G., Habibi, D., & Boojar, M.M.A. (2009). Effect of super absorbent application on antioxidant enzyme activities in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under water stress conditions. *American Journal Agriculture Biology Science*, 4, 215-223.
47. Torabi, A., Farahbakhsh, H., & Khajoueinejad, G. (2013). The effect of different levels of water stress and zeolit on yield and yield components in *Sorghum bicolor* L. *Journal of Crops Improvement*, 15(3), 1-14.
48. Um, M.H., Jung, P.K., Im, J.N., & Um, K.T. (1987). Effect of zeolite application on rice yields by soil texture. Research Reports of the Rural Development Administration-Plant Environment. Mycology and Farm Products Utilization (Korea).
49. Wakarim, A. Aganchich, H. Tahi, H. Serraj, R. & Wahabi, S. (2005). Comparative effects of PRD and regulated deficit irrigation on water relation and water use efficiency in common bean. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, 275-287.
50. Zahedi, H., Noormohammadi, G., Rad, A.S., Habibi, D., & Boojar, M.M.A. (2009). The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. *World Applied Sciences Journal*, 7(2), 255-262.