Research Paper

Impact of Different Irrigation Levels and Zeolite on Autumn Sugar Beet Yield

Khalil Tatar[1], Aboalhasan Fathabadi*[12], Meysam Abedinpour[3], Masoume Farasati[4]

1Graduate Student in of Irrigation and drainage, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. Email: kh.tatar52@gmail.com
2Associate Professor, Department of Range and Watershed management, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. Email: fathabadi@gonbad.ac.ir
3 Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. Email: m.abedinpour@areeo.ac.ir
4Associate Professor, Department of Range and Watershed management, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. Email: Farasati@gonbad.ac.ir

10.22125/iwe.2025.486102.1838

Received:
October 29, 2024
Accepted:
January 21, 2025
Available online:
April 25, 2025

Keywords:
Water productivity, Root Yield, Biomass Performance

Abstract

To investigate the effect of zeolite and different irrigation levels on water use efficiency and sugar beet yield this research was conducted, based on split plot experience in randomized complete block design with three replications and 36 plots, at Bander Torkaman fields in the 2021 crop year with sprinkler irrigation system. Treatments consisted of Zeolite as the main plots in four levels (including Z1: 0, Z2:5, Z3: 10, and Z4: 15 ton/ha) and irrigation water amount in three levels as sub plots (W1: 256 mm, W2: 206 mm and W3: 155mm). Results showed that different irrigation levels, zeolite, and interaction effects significantly affected root yield, biomass, and water productivity. The highest and lowest root yields were obtained, for Z1W3 (85 ton/ha) and Z4W1 (50.3 ton/ha) treatments, respectively. Compared to Z1W1 treatment the root yield was increased as much as 16.12 % for treatment Z4W1. Furthermore, the highest and lowest biomass performance was obtained for Z4W1(91.13) and Z1W3 (56.1) treatments, respectively. In the current study, the lowest and highest water productivity were obtained for Z1W3 (14.13) and Z4W2(19.17) treatments.

1. Introduction

During the past decades due to rapid growth in global population, the international food demand has increased. As a result, it is predicted by 2050 the world population will increase from 9.7 billion to 10 billion, therefore it need to crop products increased by 50% (Gupta et al., 2020; Sharma et al., 2023). On the other side, because of climate change and mishandling of water resources, world renewable water is decreasing, and predicted renewable water resources decreased by 50% (Gupta et al., 2020). In arid and semi-arid regions, water is the main factor that affects plant growth and plants are under severe drought stress. To reduce the adverse impacts of drought stress on crop productivity different methods such as modifying irrigation methods (deficit irrigation, partial root zone drying, and drip-irrigation) and using innovative materials (superabsorbent polymers, zeolite, and biochar), have been used. Although many research studies the impact of zeolite on crop productivity, however, to the best of author's knowledge a few studies have investigated the impact of zeolite on the mitigation of drought stress on sugar beet yield. Therefore, this study aimed to investigate the impact of using natural zeolites to mitigate drought stress on crop productivity of sugar beet yield.

* Corresponding Author: Aboalhasan Fathabadi
Address: Department of Range and Watershed management, Gonbad Kavous University, Iran.
Email: fathabadi@gonbad.ac.ir
Tel: 09381139284

2. Materials and Methods

To investigate the effect of zeolite and different irrigation levels on water productivity and sugar beet yield this research was conducted, based on split plot experience in randomized complete block design with three replications and 36 plots, at Bander Torkaman fields in the 2021 crop year with sprinkler irrigation system. Treatments consisted of Zeolite as the main plots in four levels (including Z1: 0, Z2:5, Z3: 10, and Z4: 15 ton/ha) and irrigation water amount in three levels as sub plots (W1: 256 mm, W2: 206 mm, and W3: 155mm). The plot size was 3 × 8 meter that cover an area of 24 m^2. The distance between each plot was 1 meter and between each repeat was 2 meters. In used irrigation system as the distance from the linear source increased the received water decreased. For each treatment, the amount of received water was measured using cans.

3. Results

Results showed that different irrigation levels, zeolite, and interaction effects had significant effect on root yield, biomass and water productivity. The highest and lowest root yields were obtained, for Z1W3 (85 ton/ha) and Z4W1 (50.3 ton/ha) treatments, respectively. Compared to Z1W1 treatment the root yield was increased as much as 16.12 % for treatment Z4W1. On the other hand, in the case of irrigation level W1, using 15 ton/ha zeolite results in 3.4% and 7% higher root yield performance compared to 5 and 10 ton/ha zeolite, respectively. Similar results were obtained for irrigation levels W2 and W3. For treatments with the same irrigation level, as the amount of zeolite increased, biomass performance increased. For example, in the case of irrigation level W1 compared to 5 and 10 ton/ha zeolite when 15 ton/ha zeolite was used, biomass performance was improved by 2.61 and 6.74%, respectively. Furthermore, the highest and lowest biomass performance was obtained for Z4W1(91.13) and Z1W3 (56.1) treatments, respectively. In the current study, the lowest and highest water productivity were obtained for Z1W3 (14.13) and Z4W2(19.17) treatments, respectively. For the majority of treatments, the highest water productivity was obtained for moderate and the highest amount of irrigated water and it can conclude that water productivity is directly related to irrigation levels.

4. Discussion and Conclusion

In the current study it was observed that irrigation levels have more impact on sugar beet performance than zeolite and zeolite only decrease the effect of drought stress. For all treatments by increasing the amount of used zeolite root yield, biomass and water productivity were improved. Regarding high water holding capacity, controlled release of moisture, and reducing nitrogen leaching, using zeolite led to an increase in root and biomass yield for all irrigation levels treatments and it can be concluded that it reduced the effect of drought stress. On the other side giving water productivity, using 15 ton/ha zeolite and irrigation level W2 is suggested for sugar beet cultivation.

5. Six important references

1) Gupta, A., A. Rico-Medina and A.I. Cano-Delgado. 2020. The physiology of plant responses to drought, Science 368 (2020): 266–269.

2) Hazrati, S., Z. Tahmasebi-Sarvestani, S.A.M. Modarres-sanavy, A. Mokhtassi-Bidgoli, H. Mohammadi and S. Nicola. 2017. Effects of zeolite and water stress on growth: yield and chemical -

3) Hazrati, S., S. Khurizadeh and A.R. Sadeghi. 2022. Application of zeolite improves water and nitrogen use efficiency while increasing essential oil yield and quality of Salvia officinalis under water deficit stress. Saudi Journal of Biological Sciences. 29:1707–1716.

4) Sepaskhah, A.R., and M. Barzegar. 2010. Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. Agric. Water Manag. 98 (1):38–44.

5) Sharma, V., B. Javed, H. Byrne, J. Curtin and F. Tian. 2022. Zeolites as Carriers of Nano-Fertilizers: From Structures and Principles to Prospects and Challenges. Applied nano. 3:163–186.

6) Zheng, J., T. Chen, G. Xia, W. Chen, G. Liu and D. Chi. 2018. Effects of zeolite application on grain yield, water use and nitrogen uptake of rice under alternate wetting and drying irrigation. Int. J. Agr. Biol. Eng. 11:157–164. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3064.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of intere

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال پانزدهم. شماره پنجاه و نه. بهار۱۴۰۴

بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و زئولیت بر عملکرد چغندرقند پاییزه

خلیل تاتار[۱]، ابوالحسن فتح آبادی[۲]، میثم عابدین پور[۳] و معصومه فراستی[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۳/۰۸/۰۸
تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۱۱/۰۲

مقاله پژوهشی

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف زئولیت و سطوح مختلف آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری آب و عملکرد چغندرقند، آزمایشی به‌صورت کـرت‌هـای خرد شده در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، مجموعا در ۳۶ کرت در اراضی بندر ترکمن در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ با استفاده از سامانه آبیاری بارانی انجام شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل مقادیر مختلف زئولیت در چهار سطح به‌عنوان عامل اصلی (شامل Z1: بدون زئولیت (شاهد)، Z2: مصرف زئولیت به میزان ۵ تن در هکتار، Z3: مصرف زئولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار و Z4: مصرف زئولیت به میزان ۱۵ تن در هکتار) و مقادیر مختلف آب آبیاری به‌عنوان عامل فرعی (W1: بیشترین مقدار آب آبیاری **mm** ۲۵۶، W2: آب آبیاری متوسط **mm** ۲۰۶ و W3: کمترین مقدار آب آبیاری **mm** ۱۵۵) بودند. نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف مقدار آب آبیاری، مقادیر زئولیت و اثرات متقابل آنها تفاوت معنی‌داری در مقادیر عملکرد غده، زیست‌توده و بهره‌وری آب وجود دارد. حداکثر و حداقل عملکرد غده به‌ترتیب در تیمارهای Z4W1 و Z1W3 با مقادیر ۸۵ و ۵۰/۳ تن در هکتار به‌دست آمد. با مصرف ۱۵ تن در هکتار زئولیت و در شرایط حداکثر مقدار آب آبیاری ، عملکرد غده ۱۶/۱۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. همچنین، متوسط حداکثر و حداقل عملکرد زیست‌توده برابر با ۹۱/۳ و ۵۶/۱ به‌ترتیب برای تیمارهای Z4W1 و Z1W3 به‌دست آمدند. در این آزمایش، کمترین و بیشترین مقادیر متوسط بهره‌وری آب به‌ترتیب برای تیمارهای Z1W3 و Z4W2 با مقادیر ۱۴/۱۳ و ۱۹/۱۷ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، عملکرد غده، عملکرد زیست‌توده

[۱] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی آب زهکشی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، kh.tatar52@gmail.com
دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، fathabadi@gonbad.ac.ir (نویسنده مسئول)
[۲] ایران
[۳] استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، گرگان، ایران m.abedinpour@areeo.ac.ir
[۴] دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، Farasati@gonbad.ac.ir

مقدمه

در طی دهه‌های اخیر، در نتیجه‌ی افزایش سریع جمعیت، تقاضای غذا در سطح جهانی افزایش زیادی پیدا کرده است، به‌طوری که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به حدود۹/۷ تا ۱۰ میلیارد نفر برسد. در این حالت، نیاز است تا تولیدات کشاورزی بیش از ۵۰ درصد افزایش یابد (Gupta et al., 2020; Sharma et al., 2022) ، همچنین انتظار می‌رود در حدود پنج میلیارد نفر در مناطقی که مشکل آب دارند، زندگی کنند (Gupta et al., 2020). از سوی دیگر، تغییر اقلیم که موجب افزایش دما و تغییر در مقدار بارش شده است، منجر به افزایش تنش خشکی و کاهش تولید محصولات زراعی گردیده است (Porter, 2005)در این شرایط، در حالی که انتظار می‌رود برای امنیت غذایی نیاز است تا منابع آب بیشتری جهت کشاورزی در دسترس قرار گیرد، پیش‌بینی شده است تا سال ۲۰۵۰ در سطح جهان مقدار منابع آب در دسترس ۵۰ درصد کاهش پیدا کند(Gupta et al., 2020) . با متوسط بارندگی حدود ۲۴۰ میلی‌متر، اغلب نقاط ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می باشند. در این شرایط اقلیمی، آب مهم‌ترین عاملی است که کشت و تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اغلب گیاهان کشت شده تحت تأثیر تنش خشکی هستند. طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاهان از قبیل هدایت روزنه‌ای، رشد برگ، متابولیسم نیتروزن، محتوای نسبی آب برگ و فرآیند فتوسنتز تحت تأثیر تنش خشکی هستند (Abdalla, 2011). در نتیجه کاهش پتانسیل آب، رشد سلولی و سنتز پروتئین کاهش می‌یابد. همچنین تعرق برگ و جریان دی‌اکسیدکربن کاهش یافته و اسید آبسیزیک و پروپلین تجمع بیشتری پیدا می‌کند (Heidary and Moaveni, 2009). در تحقیقی، Saini and Singh Brar (2018) اثر روش کاشت (پنج روش) و سطوح مختلف آبیاری (سه سطح) بر عملکرد و بهروی آب گیاه چغندر قند در منطقه Ludhiana هند بررسی گردید. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد ریشه برای تیمار های با مقادیر آبیاری حداقل (۰/۸ مقدار تبخیر از تشتک تبخیر) و متوسط (برابر مقدار تبخیر از تشتک تبخیر) بدست آمده است.

در تحقیقات جوزی و زارع ابیانه (۱۳۹۴) در ایران ، Irik et al (2024) و Uygan et al (2021) در کشور ترکیه اثر تنش خشکی و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد چغندر قند معنی-دار بوده است.

برای کاهش اثرات تنش آبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی، راهکارهایی از قبیل اصلاح روش‌های آبیاری (مثل استفاده از آبیاری بارانی، کم‌آبیاری، خشک کردن جزئی ناحیه ریشه) و استفاده از مواد افزودنی (مثل بیوچار، زئولیت و پلیمرهای سوپرجاذب) جهت بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک ارائه شده است (Belviso et al., 2022; de Campos Bernardi et al., 2013).

زئولیت‌ها، کانی‌های آلومینوسیلیکاته طبیعی یا مصنوعی با ساختمان کریستالی هستند که عموماً در صنعت به‌عنوان جاذب و کاتالیزور استفاده می‌شوند. در طبیعت، بیش از ۵۰ نوع زئولیت شناخته شده است (Mondal et al., 2021) که فراوان‌ترین و مشهورترین نوع زئولیت، Clinoptilolite است که در سال ۱۸۹۰ شناسایی شده است (Hazrati et al., 2017). با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، قدرت جذب و نگهداری بالای آب خاک، به‌عنوان یک ماده افزودنی کاربرد گسترده‌ای در مباحث کشاورزی پیدا کرده است (Mondal et al., 2021; de Campos Bernardi et al., 2013) .

در خاک، زئولیت باعث بهبود سرعت نفوذ، هدایت هیدرولیکی اشباع، ظرفیت تبادل کاتیونی و جلوگیری از هدرفت آب در نتیجه نفوذ عمقی می‌شود (Mondal et al., 2021; Cataldo et al., 2021). همچنین زئولیت‌ها می‌توانند باعث تغییر خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل تخلخل کل، جرم مخصوص ظاهری و ساختار خاک شوند به‌علاوه این کانی باعث توزیع بهتر آب در خاک و کاهش آبشویی نیترات خاک می‌شود (Szerement et al., 2014). اولین مطالعات زئولیت در مباحث کشاورزی طی دهه ۱۹۶۰ میلادی در ژاپن انجام شده است. در طی آن سال‌ها، کشاورزان ژاپنی از زئولیت برای

کنترل رطوبت خاک و افزایش PH خاک‌های آتشفانی با اسدیته بالا استفاده می‌کردند (Wajima, 2013; Cataldo et al., 2021). زئولیت با قابلیت جذب بالای آب در زمان‌های بارندگی یا آبیاری، حجم زیادی آب را در خود ذخیره کرده و در شرایط تنش خشکی این آب ذخیره شده را به‌صورت تدریجی در اختیار گیاه قرار می‌دهد و به‌نوعی اثرات تنش خشکی را کاهش می‌دهد. با توجه به تخلخل بالا، به‌دلیل ساختار کریستالی، این کانی قادر است تا ۶۰ درصد وزن خود آب ذخیره کند (Cataldo et al., 2021). حضرتی و همکاران(۱۳۹۶)، مشاهده کردند که استفاده از زئولیت باعث کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی و بهبود رشد و عملکرد گیاه آئلوورا می‌شود(Hazrati et al, 2017) . به‌طور مشابه در تحقیقات احمدی‌آذر و همکاران (۱۳۹۴)، میرزاخانی (۱۳۹۵)، علیزاده‌فروتن و همکاران (۱۴۰۱)، Zheng et al (2018); Hazrati et al (2017, 2022); Ozbahce et al (2014); Bahador and Tadayon (2020) کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی در نتیجه استفاده از ژئولیت گزارش شده است.

به‌عنوان یک گیاه صنعتی چغندرقند (Beta vulgaris L.) پس از نیشکر در رتبه دوم تولید شکر در سطح جهان قرار دارد و در حدود ۲۰ درصد کل شکر دنیا از چقندرقند به‌دست می‌آید.(Monteiro et al., 2018) چنانچه این گیاه تحت تنش خشکی قرار گیرد، طیف گسترده‌ای از فرآیندهای مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، مولکولی، فیزولوژیکی و اکولوژیکی تحت تأثیر قرار گرفته و عملکرد کمی و کیفی آن کاهش پیدا می‌کند(Ortiz et al., 2015).

با توجه به محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه-خشک، استفاده از رویکردهایی که باعث صرفه‌جویی در منابع آب شود، از اهمیت زیادی برخوردار است. معمولاً در این مناطق در حدود ۸۰ درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (Earth Science Division of CAS, 1998). بنابراین هر اقدامی که باعث کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی گردد، می‌تواند سهم قابل‌توجه در کاهش مصرف آب در این مناطق داشته باشد. اگرچه تحقیقات زیادی در رابطه با استفاده از زئولیت در مباحث کشاورزی انجام شده است، اما با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته در مورد اثر زئولیت بر گیاه چغندرقند، تعداد محدودی گزارش وجود دارد. بدین منظور در این تحقیق، اثر زئولیت و سطوح مختلف آب آبیاری بر عملکرد چغندرقند پاییزه در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱ - ۱۴۰۰ (کاشت آذر ماه و برداشت تیرماه) در اراضی کشاورزی شهرستان بندر ترکمن با عرض جغرافیایی عرض شمالی جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۶ دقیقه و عرض و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۲۴- متر از سطح دریا اجرا شد. برای تعیین خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه، در چهار عمق ۲۰ – ۰، ۴۰-۲۰، ۶۰ - ۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متر نمونه مرکب خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آنالیز نمونه‌ها، در جدول (۱)، ارائه شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز در طول دوره رشد گیاه از ایستگاه هواشناسی شهرستان بندر ترکمن دریافت گردید.

این آزمایش، به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک کامل تصادفی با چهار تیمار مقادیر مختلف زئولیت و سه تیمار مقدار آب آبیاری و در سه تکرار مجموعاً در ۳۶ کرت انجام گرفت. زئولیت طبیعی به‌عنوان عامل اصلی و در چهار سطح: بدون زئولیت (شاهد، Z1)، مصرف زئولیت به نسبت پنج تن در هکتار (Z2) ، مصرف زئولیت به نسبت ۱۰ تن در هکتار (Z3) و مصرف زئولیت به نسبت ۱۵ تن در هکتار (Z4) و مقادیر مختلف آب آبیاری (تنش خشکی) به‌عنوان فاکتور فرعی در سه سطح (W1 (حداکثر مقدار آب آبیاری برابر با ۲۵۶)، W2 (مقدار آب آبیاری متوسط ۲۰۶) و W3 (مقدار آب آبیاری حداقل ۱۵۵) بر اساس فاصله از خط لوله‌ی فرعی آبیاری، W1 نزدیکترین فاصله از خط لوله‌ی فرعی آبیاری) وW3 دورترین فاصله از خط لوله‌ی فرعی آبیاری، بودند. اندازه کرت‌ها ۲۴ مترمربع، ابعاد هر کرت ۸×۳ متر، فاصله تکرارها دو متر و فاصله کرت‌ها از هم یک متر بود. در سیستم مورد استفاده، با دور شدن از منبع خطی، میزان آب

رسیده به زمین کمتر شد. مقدار آب آبیاری در هر تیمار، با استقرار قوطی‌های جمع‌آوری آب در داخل هر کرت فرعی در زمان آبیاری و اندازه‌گیری حجم آب جمع‌شده در داخل آنها اندازه‌گیری شدند. با انجام عملیات دیسک زئولیت ها در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری با خاک کاملا مخلوط شدند. سایر عملیات داشت شامل تغذیه، خاک‌دهی بوته‌ها و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، به‌صورت یکسان برای همه کرت‌های آزمایشی انجام گردید. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه، برداشت محصول از دو خط وسط هر کرت پس از حذف یک متر حاشیه از طرفین انجام و میزان عملکرد اندام هوایی و وزن غده‌ها، اندازه‌گیری شدند. پس از برداشت، ریشه‌ها تمیز شدند، سپس از محل طوقه اندام‌های هوایی قطع شده و اندازه‌گیری غده و اندام هوایی صورت گرفت.

نسبت عملکرد محصول به حجم کل آب به کار برده را بهره‌وری آب (Water Productivity) گویند که طبق رابطه (۱)، محاسبه گردید.

$$WP = \frac{Y}{Wa} \qquad (۱)$$

در این رابطه WP: بهره وری آب بر حسب kg/m^3، Y: عملکرد محصول بر حسب kg/ha، Wa: حجم آب کاربردی، m^3/ha. در این تحقیق دو حالت بهره‌وری آب، شامل بهره‌وری آب آبیاری و بهروری آب کل محاسبه گردید. در حالت بهروه وری آب آبیاریt فقط مقدار آب آبیاری شده در نظر گرفته می‌شودt در حالی که برای بهره‌وری آب کل، مقدار آب آبیاری و بارندگی دریافتی نیز در نظر گرفته می‌شود.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، و اجرای آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SAS استفاده شد، همچنین جهت انجام مقایسات میانگین آزمون LSD(حداقل اختلاف معنی‌دار) استفاده گردید.

جدول (۱): نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

عمق		سیلت	رس	پتاسیم قابل	فسفر قابل		درصد مواد		هدایت	
				جذب	جذب		خنثی شونده	اسیدیته	الکتریکی	گوگرد قابل
خاک	ماسه ٪	٪	٪	(ppm)	(ppm)	ازت کل ٪	٪	کل اشباع	$EC*10^4$	جذب (ppm)
۲۰-۰	۱۰/۰	۵۸/۰	۳۲/۰	۱۴۷/۰	۱۳/۷	۰/۱	۱۸/۰	۷/۹	۷/۳	۲۰۵/۰
۴۰-۲۰	۱۲/۰	۵۲/۰	۳۶/۰	۱۴۱/۰	۱۱/۱	۰/۱	۱۷/۵	۷/۸	۷/۳	۳۸۷/۰
۶۰-۴۰	۱۲/۰	۵۸/۰	۳۰/۰	۱۳۴/۰	۹/۱	۰/۱	۱۶/۵	۷/۸	۷/۸	۴۰۸/۵
۸۰-۶۰	۱۲/۰	۷۰/۰	۱۶/۰	۷۲/۰	۱/۶	۰/۰	۱۹/۰	۷/۸	۷/۲	۳۹۵/۵

نتایج و بحث

تجزیه واریانس فاکتورهای مختلف

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، نشان داد که برای تمام پارامترهای مورد بررسی، اثر عوامل زئولیت و مقدار آب آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. برای فاکتورهای عملکرد غده، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل اثرات متقابل زئولیت و مقدار آب آبیاری در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار شده است، در حالی که برای عامل عملکرد زیست‌توده، اثرات متقابل در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شده است.

جدول (۲): تجزیه واریانس کرت های خرد شده عوامل مورد بررسی

		میانگین مربعات			
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد غده	بهره‌وری آب آبیاری	بهره‌وری آب کل	عملکرد زیست‌توده
تکرار	۲	۷/۰۴ ns	۱/۴۸ ns	۰/۴۰ ns	۹/۸۵ ns
زئولیت	۳	۲۵۲/۰۹**	۶۰/۲۵**	۱۵/۰۲**	۲۹۳/۲۴**
خطای (۱)	۶	۰/۴۹	۰/۲۱	۰/۰۴	۱/۸۵
آب	۲	۲۱۳۱/۸۵**	۵۱/۲۴**	۲۳/۱۹**	۲۳۵۷/۹۹**
زئولیت×آب	۶	۱۵/۷۷*	۳/۲۰*	۰/۸۷*	۱۶/۱۹**
خطای(۲)	۱۶	۳/۹۵	۱/۱۳	۰/۲۶	۳/۳۶

***، ** و ns : به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال 5% و 1% و غیر معنی‌دار**

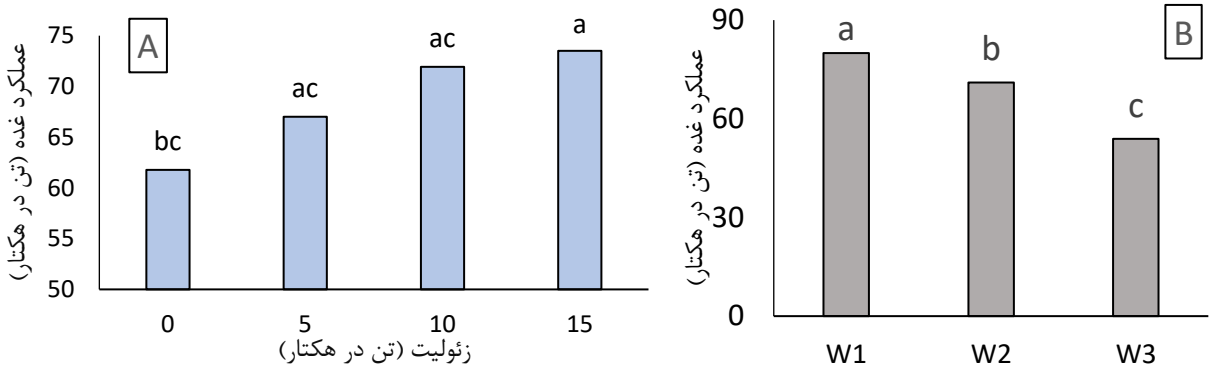
مقایسه عملکرد غده در تیمارهای مختلف

در شرایط میزان آب دریافتی یکسان، حداکثر عملکرد غده در تیمار ۱۵ تن در هکتار مصرف زئولیت و کمترین آن در تیمار شاهد یا بدون مصرف زئولیت حاصل شد. کمترین عملکرد برای تیمار Z1W3 و بیشترین عملکرد برای تیمار Z4W1 به‌دست آمد. در تیمار حداکثر آب آبیاری، استفاده از ۱۵ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش عملکرد غده به‌میزان ۱۶/۱۲ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. از سوی دیگر، در تیمار حداقل آب آبیاری ، استفاده از ۱۵ تن زئولیت در هکتار موجب افزایش عملکرد به‌میزان ۳/۴ و ۷ درصد نسبت به تیمارهای ۱۰ و ۵ تن در هکتار زئولیت گردید. این شرایط در تیمارهای آب دریافتی متوسط و حداقل نیز مشاهده گردید، به‌طوری که افزایش عملکرد غده به‌میزان ۲۵/۶۴ درصد با مصرف ۱۵ تن در هکتار نسبت به تیمار شاهد در شرایط آب آبیاری متوسط حاصل شد (جدول ۳). با توجه به شکل (۱)، مشاهده می‌شود که عملکرد متوسط غده با افزایش مقدار زئولیت بیشتر شده است و بیشترین عملکرد در مصرف ۱۵ تن در هکتار به‌دست آمده است. این مسئله را می‌توان در افزایش قابلیت نگهداری آب خاک و جلوگیری از آب‌شویی عمقی نیتروژن دانست (Zheng et al, 2018) . در تحقیقات سیبی و همکاران (۱۳۹۰)، یوسف‌وند و همکاران (۱۳۹۰)، خاشعی‌سیوکی و همکاران (۱۳۹۵)، احمدی‌آذر و همکاران (۱۳۹۴)، میرزاخانی (۱۳۹۵)، محرابیان و همکاران (۱۳۹۷)، خاشعی‌سیوکی و همکاران (۱۳۹۹)، سلاح‌ورزی و همکاران (۱۳۹۹)، Karimi et al (2020); Zheng et al (2018); Hazarti et al (2017, 2022) نیز مشاهده کردند با افزایش مقدار زئولیت عملکرد محصول بهتر شده است و بیشترین عملکرد در بیشترین سطح زئولیت به‌دست آمده است.

جدول (۳): مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای زئولیت×تنش خشکی

تیمار	عملکرد غده (تن در هکتار)	عملکرد زیست‌توده (تن در هکتار)	بهره‌وری آب آبیاری (کیلو گرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب کل (کیلو گرم بر مترمکعب)
Z1W1	۷۳/۲۰^{d}	۸۱/۲۳^{c}	۲۸/۵۸^{f}	۱۶/۰۵^{ef}
Z1W2	۶۲/۰۰^{f}	۶۸/۷۷^{d}	۳۰/۰۴^{ef}	۱۵/۲۵^{fgh}
Z1W3	۵۰/۱۷^{h}	۵۶/۲۳^{e}	۳۲/۳۶^{bcd}	۱۴/۱۳^{i}
Z2W1	۷۹/۴۰^{bc}	۸۷/۱۳^{b}	۳۱/۰۰^{de}	۱۷/۴۱^{cd}
Z2W2	۶۹/۸۰^{e}	۷۶/۵۰^{d}	۳۳/۸۱^{b}	۱۷/۱۷^{d}
Z2W3	۵۱/۸۳^{h}	۵۸/۲۳^{e}	۳۳/۴۴^{bc}	۱۴/۶۰^{hi}
Z3W1	۸۲/۲۰^{ab}	۹۰/۶۳^{a}	۳۲/۰۹^{cd}	۱۸/۰۲^{bc}
Z3W2	۷۷/۶۰^{c}	۸۴/۷۷^{b}	۳۷/۵۹^{a}	۱۹/۰۹^{a}
Z3W3	۵۶/۰۰^{g}	۶۳/۰۷^{e}	۳۶/۱۳^{a}	۱۵/۷۷^{eg}
Z4W1	۸۵/۰۰^{a}	۹۳/۰۰^{a}	۳۳/۱۸^{bc}	۱۸/۶۳^{ab}
Z4W2	۷۷/۹۰^{c}	۸۶/۵۰^{b}	۳۷/۷۴^{a}	۱۹/۱۷^{a}
Z4W3	۵۷/۶۰^{g}	۶۴/۶۰^{e}	۳۷/۱۶^{a}	۱۶/۲۲^{e}

میانگین ها با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد می‌باشند.



شکل (۱): مقایسه میانگین عملکرد غده در A: مقادیر مختلف زئولیت B: مقادیر مختلف تنش خشکی (میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد می‌باشند)

از نظر عملکرد تیمارهای مختلف مقدار آب آبیاری، در شرایط حداکثر میزان زئولیت (۱۵ تن در هکتار)، حداکثر عملکرد غده در تیمار حداکثر آب آبیاری و کمترین عملکرد در تیمار حداکثر آب آبیاری حاصل شد. به‌عبارت دیگر، با مصرف یکسان ۱۵ تن در هکتار زئولیت، مقدار عملکرد غده ۴۷/۵۷ درصد با افزایش آب آبیاری دریافتی از ۱۵۵ میلی‌متر به ۲۵۶ میلی‌متر، افزایش یافت. این در حالی است که افزایش عملکرد غده در تیمار ۱۰ تن در هکتار مصرف زئولیت و شرایط حداکثر آب دریافتی (۴۵۶ میلی‌متر)، به‌ترتیب به‌میزان ۴۶/۷۸ و ۵/۹۳ درصد نسبت به تیمارهای با مقادیر مصرف آب حداقل (۱۵۵) و متوسط (۲۰۶) میلی‌متر مشاهده شد. همچنین، در تیمار پنج تن در هکتار مصرف زئولیت، افزایش عملکرد غده در حالت حداکثر مقدار آب آبیاری نسبت به تیمار حداکثر آب آبیاری برابر با ۵۳/۱۹ درصد بود. در همین شرایط، افزایش عملکرد غده برای حداکثر آب دریافتی به حد متوسط (۲۰۶ میلی‌متر) حدود ۱۳/۷۵ درصد حاصل شد. در

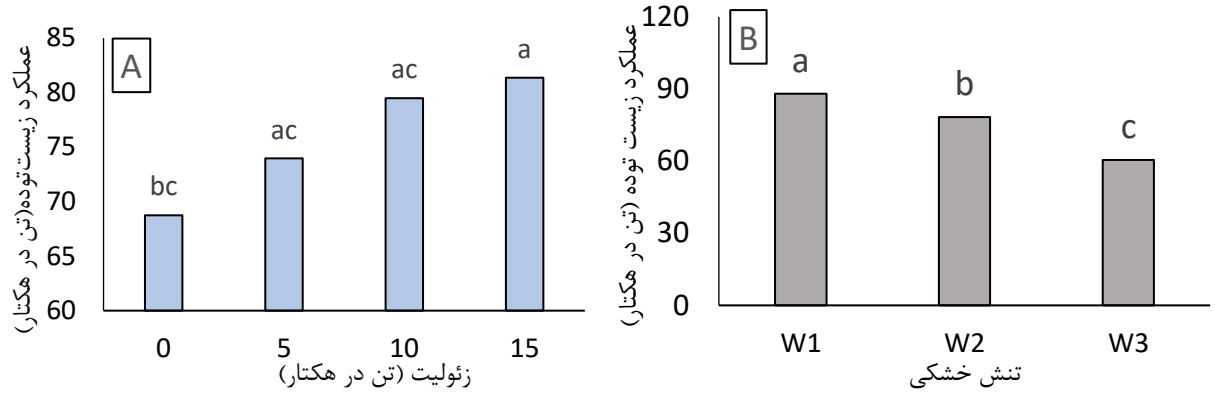
تیمار بدون زئولیت نیز افزایش عملکرد غده در شرایط آب دریافتی حداکثر به متوسط و حداقل به‌ترتیب ۴۵/۲۹ و ۱۸ درصد بود. همچنین، در شرایط بدون زئولیت میزان عملکرد غده ۲۳/۵۷ درصد افزایش را با دریافت آب متوسط به حداقل را نشان داد. محرابیان و همکاران (۱۳۸۹)، لطفی‌فر و همکاران (۱۳۹۶)، احمدی آذر و همکاران (۱۳۹۴)، خاشعی‌سیوکی و همکاران (۱۳۹۵)، Hazrati et al (2017); Zheng et al (2018) گزارش دادند اعمال تنش خشکی اثر معنی‌داری بر عملکرد محصول داشته و با افزایش تنش خشکی، عملکرد محصول کمتر شده است.

با توجه به شکل (۱)، ملاحظه می‌شود که با افزایش مقدار آب آبیاری، عملکرد غده به‌صورت یکنواخت افزایش می‌یابد و بر خلاف مقدار زئولیت، مقادیر میانگین عملکرد هر سه تیمار آن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند و با توجه به مقادیر میانگین عملکردها، به‌نوعی می‌توان بیان داشت که اثر تنش خشکی بر عملکرد غده نسبت به مقدار زئولیت بیشتر بوده است. از سوی دیگر، مشاهده می‌شود که استفاده از زئولیت تا حدی توانسته اثر تنش خشکی را از بین ببرد. مسئله‌ای که در تحقیقات خاشعی‌سیوکی و همکاران (۱۳۹۹)، لطفی‌فر و همکاران (۱۳۹۶)، احمدی‌آذر و همکاران (۱۳۹۴)، Hazrati et al (2017) نیز گزارش شده است.

مقاسیه عملکرد زیست‌توده در تیمارهای مختلف

در شرایط یکسان از نظر میزان آب دریافتی، با افزایش مقدار زئولیت در تمام تیمارها عملکرد زیست‌توده افزایش پیدا کرده است. به‌عنوان نمونه، در تیمار بیشترین آب آبیاری W1، در حالت دریافت ۱۵ تن در هکتار زئولیت نسبت به تیمارهای ۱۰ و ۵ تن در هکتار و بدون زئولیت عملکرد زیست‌توده به‌ترتیب ۲/۶۱، ۶/۷۴ و ۱۴/۴۸ درصد افزایش داشته است. در بین تمام تیمارهای مورد بررسی، بیشترین عملکرد برای تیمار Z4W1 که بیشترین زئولیت و آب را دریافت می‌کرد، بوده است. کمترین عملکرد نیز مربوط به تیمار Z1W3 که کمترین آب و زئولیت را دریافت کرده است، می‌باشد. با توجه به شکل (۲)، ملاحظه می‌شود که با افزایش مقدار زئولیت، عملکرد زیست‌توده به‌صورت یکنواخت افزایش پیدا می‌کند. در تحقیق اکبری و همکاران (۱۳۸۹)، استفاده از زئولیت باعث بهبود شاخص‌های سطح برگ، طول ریشه، وزن خشک و تر شاخساره و وزن کل (بیوماس) چغندرقند شده بود.

مشابه نتایج عملکرد غده، در شرایط میزان حداکثر زئولیت (۱۵ تن در هکتار) در تیمارهای مختلف مقدار آب آبیاری، حداکثر عملکرد زیست‌توده در تیمار حداکثر مقدار آب آبیاری و کمترین عملکرد در تیمار حداقل مقدار آب آبیاری حاصل شد. به‌عبارت دیگر، با مصرف یکسان ۱۵ تن در هکتار زئولیت، مقدار عملکرد زیست‌توده ۴۳/۹۶ درصد با افزایش آب دریافتی از ۱۵۵ میلی‌متر به ۲۵۶ میلی‌متر آبیاری، افزایش یافت. این در حالی است که افزایش عملکرد زیست-توده در تیمار ۱۰ تن در هکتار مصرف زئولیت و شرایط حداکثر آب دریافتی (۲۵۶ میلی‌متر)، به‌ترتیب به‌میزان ۴۳/۷ و ۶/۹۱ درصد نسبت به تیمارهای با مقادیر مصرف آب ۱۵۵ و ۲۰۶ میلی‌متر مشاهده شد. مانند عملکرد غده در شرایط مساوی از نظر مقدار زئولیت مصرفی با افزایش مقدار آب آبیاری عملکرد زیست‌توده بهتر شده است و اختلاف مقادیر میانگین عملکردها برای مقادیر مختلف آبیاری در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است و به‌نوعی می‌توان بیان داشت که اثر میزان آب دریافتی نسبت به مقدار زئولیت بیشتر بوده است.



شکل (۲): مقایسات میانگین عملکرد زیست‌توده در A: مقادیر مختلف زئولیت B: مقادیر مختلف تنش خشکی (میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد می‌باشند)

مقایسه عملکرد بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف

برای محاسبه مفدار بهره وری آب آبیاری مقدار تولید به میزان آب آبیاری شده تقسیم گردید. در این تحقیق متوسط مقدار آب آبیاری شده برای تیمارهای حداکثر آب آبیاری، آب آبیاری متوسط و حداقل آب آبیاری با به ترتیب برابر با ۲۵۶،۲۰۶ و ۱۵۵ میلی متر بودند. با توجه به جدول (۳)، مشاهده می‌شود که بالاترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری برای تیمار Z4W2 به‌دست آمده است. پس از این تیمار، بالاترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری به‌ترتیب برای تیمارهای Z3W2، Z4W3 و Z3W3 به‌دست آم-ده‌اند. کمترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری نیز برای تیمارهای Z1W1 و Z1W2 به‌دست آمده است. به‌نوعی می‌توان بیان داشت که با افزایش مقدار زئولیت، بهره‌وری آب آبیاری افزایش پیدا کرده است. به‌عنوان مثال، در حالت کمترین مقدار آب دریافتی و استفاده از ۱۵ تن زئولیت در هکتار، بهره‌وری آب آبیاری به‌ترتیب ۲/۸، ۱۱، ۱۵ درصد نسبت به تیمارهای ۱۰، ۵ و بدون زئولیت افزایش یافته است. در تحقیقات ابول پور و همکاران (۱۴۰۰) در زرقان استان فارس مقدار بهره وری آب برای ریشه چقندر قند بین ۲/۷ تا ۳/۴۶، ابراهیمی پاک پاک و همکاران (۱۴۰۲) در استان های مختلف مقدار بهره وری آب در روش اندازه گیری مزرعه ای آب آبیاری بین ۳/۱ تا ۹/۸ و برآورد ساماته بین ۳/۸ تا ۸/۱، جوزی و زارع ابیانه (۱۳۹۴) در دشت کرفس استان همدان میانگین شاخص بهره وری آب بین ۳/۲۴ تا ۵/۰۱، محمدی احمد-محمودی و همکاران (۱۳۹۸) در ده شهرستان استان خراسان رضوی مقدار بهره وری بین ۱/۸ تا ۳/۱۵، کریمی و جلینی (۱۴۰۰) در شهرستان تربت حیدریه بین ۳/۲۱ تا ۷/۰۱ و حیدری (۱۳۹۰) در دشت مغان بین ۴/۳۲ تا ۱۴ در تحقیق Jabro et al (2012) در Williston مقدار بهره وری آب برای ریشه چغندرقند بین ۷/۴۳ تا ۱۲/۷۶، در تحقیق Irik et al (2024) در ترکیه مقدار بهره وری بین ۱۳/۴۲ تا ۱۹/۰۵، Uygan et al (2021) در کشور ترکیه ۷/۶ تا ۱۶/۴، Saini and Singh Brar (2018) در منطقه Ludhiana کشور هند مقادیر بهره وری آب از ۱۱/۷ تا ۱۸/۸ بدست آمده اند. با توجه به مقادیر بهره وری آب بدست آمده در این تحقیق مشاهده می شود مقادیر بهره وری آب بدست آمده نسبت به مقادیر بهره وری آب بدست آمده در سایر تحقیقات انجام شده در ایران بیشتر است. دلیل این مسئله را می توان در آن دید که در مقایسه با مناطقی که در تحقیقات دیگر بررسی شده است در منطقه مورد مطالعه رطوبت نسبی هوا بالا بوده است که این مسئله باعث می شود نیاز آبی گیاه کمتر باشد. به نوعی در مناطق مرطوب اختلاف فشار بخار آب بیرونی با درون گیاه حداقل بوده بنابراین در نتیجه باز شدن روزنه ها رطوبت کمتری از گیاه

خارج شود و نتیجتا مقدار تعرق کاهش می یابد، از سوی دیگر چغندر کشت شده پاییزه بود و بارندگی در طول رشد گیاه رخ داده و گیاه به خوبی از این بارندگی استفاده کرده است و نیاز آبی خود را برطرف کرده است همچنین کم بودن دمای هوا باعث شده است تا نیاز آبی گیاه کمتر باشد. در تحقیقات Hazrati et al (2017) و Zheng et al (2018)، Karimzadeh Asl and Hatami (2019) و Karami et al (2020) نیز مشاهده کردند با افزایش مقدار زئولیت، کارایی مصرف آب بهبود پیدا کرده است و بالاترین مقدار کارایی آب مصرفی در تحقیق Zheng et al (2018) برای زئولیت ton/ha ۱۵بدر تحقیق Hazrati et al (2017) برای مقدار زئولیت ۸ گرم در یک کیلو گرم خاک و آبیاری معادل ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، در تحقیق Karimzadeh Asl and Hatami (2019) برای مقدار زئولیت ton/ha ۸ و مقدار آبیاری برابر با ۶۰ آب قابل استفاده خاک و در تحقیق Karami et al (2020) برای مقدار زئولیت برابر با ton/ha ۱۰ و آبیاری معادل کاهش ۶۰ درصدی آب قابل استفاده خاک به‌دست آمده بود . به‌طور مشابه در تحقیقات Sepaskhah and Barzegar (2010)، Hazrati et al., (2017) ، Karimi et al (2020) و Hazrati et al (2022) به‌ترتیب در کشت برنج، آئلورا، تاج‌خروس و مریم‌گلی استفاده از زئولیت باعث بهبود بهره‌وری آب شده بود. برای اغلب تیمارها، بالاترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری برای مقدار آب دریافتی متوسط و سپس کمترین مقدار آب دریافتی به‌دست آمد. به‌نوعی می‌توان بیان داشت که بهره‌وروی آب تحت تأثیر مستقیم تنش خشکی است. مسئله‌ای که در تحقیقات Silva et al (2014); Zheng et al (2018) و Hazrati et al., (2017) نیز مشاهده کردند. این کانی باعث بهبود جذب آب و کارایی جذب عناصر مثل نیتروژن توسط ریشه گیاه شده و نهایتا با افزایش تولید و کاهش مصرف آب باعث بهبود بهره‌وری آب خاک می‌شود (Zheng et al., 2018; Hazrati et al., 2022)

مقایسه بهره‌وری آب کل در تیمارهای مختلف

با توجه به اقلیم منطقه و همچنین زمان کشت چغندرقند که بیشتر دوره رشد آن در فصول بارندگی بوده است و در این مدت، در حدود ۲۵۰ میلی‌متر در منطقه مورد مطالعه بارش داشته‌ایم، عملکرد بهره‌وری آب کل نیز محاسبه گردید (جدول ۳). با توجه به مقادیر میانگین به‌دست آمده، همانند بهره‌وری آب آبیاری، بالاترین عملکرد آب کل برای تیمار Z4W2 برابر با ۱۹/۱۷ به‌دست آمد. پس از این، تیمار بالاترین بهره‌وری آب کل به‌ترتیب برای تیمار های Z3W2، Z4W1 و Z3W1 با مقادیر بهره‌وری آب کل برابر با ۱۹/۰۹، ۱۸/۶۳ و ۱۸/۰۲ به‌دست آمدند. کمترین بهره‌وری آب کل نیز به‌ترتیب برای تیمارهای Z1W3 و Z2W3 به‌دست آمده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار زئولیت استفاده شده، بهره‌وری آب کل بهتر شده است. از سوی دیگر، به غیر از تیمار شاهد که هیچ زئولیتی استفاده نشده است، بالاترین مقادیر بهره‌وری برای میزان آب دریافتی متوسط و سپس مقدار آب دریافتی حداکثر به‌دست آمده است. به‌نوعی می‌توان بیان داشت که در مقایسه با بهره‌وری آب آبیاری که تیمار حداقل آبیاری در رتبه دوم قرار گرفته بود، با توجه به تأثیر بارش‌های دریافتی، پس از تیمار آب دریافتی متوسط، تیمار مربوط به حداکثر آب دریافتی، بهترین عملکرد را داشته است. کاهش کارایی آب کشاورزی در نتیجه تنش خشکی را می‌توان در نتیجه کاهش فتوسنتز و در نتیجه آسیب دیدن مزفیل برگ به‌دلیل تنش آبی دانست (Allen et al., 2020).

ارزیابی اقتصادی

در استان گلستان بیشترین زئولیت مصرفی از استان سمنان تامین می شود هزینه هر تن زئولیت تحویلی با در نظر گرفتن تمام هزینه های کارگری در بندر ترکمن برابر با هفده میلیون ریال است و قیمت خرید چغندر قند نیز سی و هشت میلیون ریال است. با در نظر گرفتن این هزینه و مقدار افزایش تولید به ازای هر تن زئولیت استفاده شده (جدول ۴) مشاهده می شود در صورتی که نسبت افزایش تولید به مقدار زئولیت مصرفی بشتر از ۰/۵ باشد استفاده از زئولیت از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. با توجه به جدول ۴ مشاهده می شود

به غیر از تیمار Z2W3 برای سایر تیمارها این نسبت بزرگتر از ۰/۵ است و بهترین حالت ها نیز به ترتیب برای تیمارهای Z3W2، Z2W2 و Z2W1 بدست آمده اند.

جدول (۴): نسبت افزایش تولید مقدار ریشه چغندر قند به میزان زئولیت استفاده شده در مقایسه با تیمار شاهد

نسبت افزایش تولید	تیمار	نسبت افزایش تولید	تیمار
۰/۵۸	Z3W3	۱/۲۴	Z2W1
۰/۷۹	Z4W1	۱/۵۶	Z2W2
۱/۰۶	Z4W2	۰/۳۳	Z2W3
۰/۵۰	Z4W3	۰/۹۰	Z3W1
		۱/۵۶	Z3W2

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده گردید برای تمام تیمارهای آزمایش عملکرد غده و عملکرد زیست‌توده با افزایش مقدار زئولیت مصرفی بهبود یافته است و بیشترین عملکرد در بالاترین سطح زئولیت مصرفی به‌دست آمد. از سوی دیگر، با کاهش مقدار آب آبیاریعملکرد چغندرقند کمتر شده و بالاترین عملکرد در حداکثر مقدار آب آبیاری به‌دست آمد. از نظر عملکرد غده و زیست‌توده، بالاترین عملکرد به‌ترتیب برای تیمارهای Z4W1، Z3W1 و Z2W1 به‌دست آمدند. این نتایج نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف آب آبیاری نسبت به زئولیت بیشتر بوده و زئولیت فقط باعث شده است تا اثرات سطوح مختلف آب آبیاری کمتر شود. به‌نوعی زئولیت با حفظ بهتر رطوبت خاک و آزاد سازی تدریجی آن باعث بهبود عملکرد برای تمام تیمارهای مورد بررسی گردید. با توجه به مکانیزم ذخیره و آزادسازی آب توسط زئولیت، می‌توان گفت این ماده به‌عنوان یک تنظیم کننده آب خاک است که آب را در شرایط تنش خشکی در اختیار گیاه قرار می‌دهد و با حفظ آب در منطقه ریشه گیاه، مانع از نفوذ عمقی و از دسترس خارج شدن آن می‌شود. نتایج تحقیق نشان داد که بالاترین عملکرد بهره‌وری آب آبیاری به‌ترتیب برای تیمارهای Z4W2، Z3W2 و Z4W3 به‌دست آمد و بالاترین عملکرد بهره‌وری آب کل نیز به‌ترتیب برای تیمارهای Z4W2، Z3W2، Z4W1 به‌دست آمدند. بر این اساس، مشاهده می‌شود که استفاده از زئولیت باعث بهبود بهره‌وری آب آبیاری و آب کل شده است. از سوی دیگر، اگرچه بیشترین عملکرد غده و زیست‌توده در تیمارهای با حداکثر آب آبیاری به‌دست آمد، اما بهترین عملکرد بهره‌وری آب برای حالت مقدار آب آبیاری متوسط به‌دست آمده است که این مسئله را می‌توان در نتیجه کاهش مصرف آب توسط گیاه، تحت تنش خشکی دید (حضرتی و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس نتایج به‌دست آمده در منطقه مورد مطالعه به‌منظور دستیابی به بهره‌وری آب بالاتر برای کشت چغندرقند، بهتر است آب آبیاری متوسط و میزان زئولیت ۱۵ تن در هکتار استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از شرکت نیاکان سنگسر بعلت تامین زئولیت مورد نیاز پروژه نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

احمدی آذر، ف.، ط. حسنلو، ع. ایمانی و و. فیضی اصل. ۱۳۹۴. تنش خشکی و کاربرد زئولیت معدنی بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه پنیرک (Malva sylvestris). مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). ۲۸(۳):۴۵۹- ۴۷۴.

اکبری، م.، غ. ملکی و ا. زند. ۱۳۸۹. بررسی اثرات کاربرد زئولیت و پتاسیم بر رشد رویشی و عملکرد چغندرقند. یافته های نوین کشاورزی. ۵(۲):۱۳۲-۱۲۵.

جوزی، م.، ح. زارع ابیانه. ۱۳۹۴. شاخص های بهره وری و کارایی مصرف آب چغندرقند تحت سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی. پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۵(۵):۱۱۷-۱۳۳.

حیدری، ن.۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارآیی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مجله مدیریت آب و آبیاری، دوره ۱، شماره ۲. صفحات ۴۳-۵۷.

خاشعی سیوکی، ع.، م. احمدی، س.ر. هاشمی، و ا. چالاک. ۱۳۹۵. اثر مقدار زئولیت و مدیریت آبیاری بر برخی خصوصیات بنه زعفران، نشریه زارعت و فناوری زعفران، ۴(۳): ۲۰۱-۲۱۳.

خاشعی سیوکی، ع.، ع. شهیدی، م. دستورانی، ح. فلاحی و ف. شیرزادی. ۱۳۹۹. بررسی تأثیر بهسازهای زئولیت، پلیمر سوپرجاذب و مقادیر مختلف آبیاری بر عملکرد کنجد. نشریه پژوهش های آب در کشاورزی. ۳۴(۲):۲۵۶-۲۴۳.

سلاح ورزی، ی.، س. سرفراز، م. کمالی، م. ذبیحی و ب. علیزاده. ۱۳۹۹. بررسی اثر زئولیت برخصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی چمن Festuca arundinacea تحت تنش خشکی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴(۱):۱۱۴-۱۰۳.

سیبی، م.، م. میرزاخانی و م. گماریان. ۱۳۹۰. اثر تنش آبی، مصرف زئولیت و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره. یافته های نوین کشاورزی. ۵(۳):۲۹۰-۲۷۵.

علی زاده فروتن، م.، س. پارسا، م. جامی احمدی و س. محمودی. ۱۴۰۱. ارزیابی کاربرد زئولیت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت (Zea mays L.) تحت شرایط کم آبیاری. تنش های محیطی در علوم زارعی. ۱۵(۳):۶۹۴-۶۸۱.

کریمی، م. و م. جلینی. ۱۴۰۰. بررسی بهرهوری و میزان آبآبیاری چغندرقند در روشهای آبیاری تحت فشار و سطحیدر منطقه تربت حیدریه. چغندرقند، ۳۷(۲): ۱۶۷-۱۷۷.

لطفی فر، ا.، ل. متقی، ا.م. شیرانی راد و س. متقی. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی و کاربرد زئولیت بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های کلزا(Brassica napus L.) . فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۴۵:۱۲، ۵۱-۶۷.

محرابیان، س.، ع. ناصری، ع. هوشمند و م. مسکرباشی. ۱۳۹۷. اثر عمق نصب لوله های قطره چکان دار و مقدار زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مدیریت آب و آبیاری. ۸(۲):۳۳۵-۳۲۱.

محمدی احمد-محمودی، ا.، ر. دیهیم فرد، و ا. نوری. ۱۳۹۸. ارزیابی وضعیت بهره وری و شاخص نسبت عرضه به تقاضای آب در چقندر فند (Beta vulgaris L.) با استفاده از مدل های شبیه سازی رشد در استان خراسان رضوی. فصلنامه علوم زراعی ایران، ۳(۲۱): ۲۸۶-۲۶۸.

میرزاخانی، م. ۱۳۹۵. اثر مصرف زئولیت بر عملکرد دانه و صفات فیزولوژیک گندم (رقم بک کراس روشن) در شرایط تنش کم آبی. تنش های محیطی در علوم زراعی. ۹(۱):۵۰-۳۷.

یوسفوند، پ.، ن. ساجدی و م. میرزاخانی. ۱۳۹۰. تاثیر تنش خشکی، مصرف زئولیت و سلنیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان. یافته های نوین کشاورزی. ۵(۳):۳۳۹-۳۲۵.

Abdalla, M.M. 2011. Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in Lupinus albus plants grown under water stress. Agriculture and Biology Journal of North America, Science Hub, LLC. 2(2):207-220.

Allen, L.H., B.A. Kimball, J.A. Bunce, M, Yoshimoto, Y. Harazono, J.T. Baker and J.W. White. 2020. Fluctuations of CO2 in Free-Air CO2 Enrichment (FACE) depress plant photosynthesis, growth, and yield. Agric. For. Meteorol. 284. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107899 107899.

Bahador, M., and M.R. Tadayon. 2020. Investigating of zeolite role in modifying the effect of drought stress in hemp: Antioxidant enzymes and oil content. Ind. Crop. Prod. 2020, 144, 112042.

Belviso, C., A. Satriani, S. Lovelli, A. Comegna, A. Coppola, G. Dragonetti, F. Cavalcante and A. Rita Rivelli. 2022. Impact of Zeolite from Coal Fly Ash on Soil Hydrophysical Properties and Plant Growth. Agriculture. 12(356):1-13.

De Campos Bernardi, A.C., P. Peronti Anchao Oliviera, M.B. de Melo Monte and F. Souza-Barros. 2013. Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. Micropor. Mesopor. Mat. 167:16–21.

De Smedt, C., K. Steppe and P. Spanoghe. 2017. Beneficial effects of zeolites on plant photosynthesis. Adv. Mater. 2(1):1–11.
Cataldo, E., L. Salvi, F. Paoli, M. Fucile, G. Masciandaro, D. Manzi, C.M. Masini and G.B. Mattii. 2021. Application of Zeolites in Agriculture and Other Potential Uses: A Review. Agronomy. 11(1547): 1-14.
Earth Science Division of CAS. 1998. The way-out of problems of the water resources in China. Adv Earth Sci. 13:113–117. Chinese.
Gupta, A., A. Rico-Medina and A.I. Cano-Delgado. 2020. The physiology of plant responses to drought, Science 368 (2020): 266–269.
Hazrati, S., Z. Tahmasebi-Sarvestani, S.A.M. Modarres-sanavy, A. Mokhtassi-Bidgoli, H. Mohammadi and S. Nicola. 2017. Effects of zeolite and water stress on growth: yield and chemical compositions of Aloe vera L. Agric. Water Manag. 181:66–72.
Hazrati, S., S. Khurizadeh and A.R. Sadeghi. 2022. Application of zeolite improves water and nitrogen use efficiency while increasing essential oil yield and quality of Salvia officinalis under water deficit stress. Saudi Journal of Biological Sciences. 29:1707–1716.
Heidary, Y., and P. Moaveni. 2009. Study of Drought stress on accumulation and proline among aba in different genotypes forage corn. Research journal of biological sciences. 4:1121-1124.
Irik, H.A., E. Kaymaz, H. Neslihan Samutoglu, O. F. Gurkan and A. Unlukara. 2024. Effects of Different Irrigation Levels on Sugar Beet and Potential Use of Crop Water Stress Index in Irrigation Scheduling. J. Agric. Sci. Technol. (2024) Vol. 26 (5): 1143-1159.
Jabro, J.D., W.M. Lversen, R.G. Evans and W.B. Stevens. 2012. Water use and water productivity of sugar beet, Malt barlefy and Potato as affected by irrigation frequency. Agronomy Journal, 104(6):1510-1521
Karami, S., H. Hadi, M. Tajbaksh and S.A.M. Modarres-Sanavy. 2020. Effect of Zeolite on Nitrogen Use Efficiency and Physiological and Biomass Traits of Amaranth (Amaranthus hypochondriacus) Under Water-Deficit Stress Conditions. J. Soil Sci.Plant Nutr. 1–15. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00223-z.
Karimzadeh Asl, K., and M. Hatami. 2019. Application of zeolite and bacterial fertilizers modulates physiological performance and essential oil production in dragonhead under different irrigation regimes. Acta Physiologiae Plantarum. 41(17):1-20.
Ortiz, N., E. Armada, E. Duque, A. Roldán and R. Azcón. 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. Journal of Plant Physiology. 174:87-96.
Porter, J.R. 2005. Rising temperatures are likely to reduce crop yields. Nature. 436, 174.
Mondal, M., B. Biswas, S. Garai, S. Sarkar, H. Banerjee, K. Brahmachari, P.K. Bandyopadhyay, S. Maitra, M. Brestic, M. Skalicky and et al. 2021. Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety. Agronomy. 11(448):1-29. https://doi.org/10.3390/agronomy11030448.
Monteiro, F., L. Frese, S. Castro, M.C. Duarte, O.S. Paulo, J. Loureiro and M.M. Romeiras. 2018. Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. Frontiers in Plant Science. 9:74-85.
Sepaskhah, A.R., and M. Barzegar. 2010. Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. Agric. Water Manag. 98 (1):38–44.
Sharma, V., B. Javed, H. Byrne, J. Curtin and F. Tian. 2022. Zeolites as Carriers of Nano-Fertilizers: From Structures and Principles to Prospects and Challenges. Applied nano. 3:163–186.
Saini, K.S., and N. Singh. 2018. Brar Crop and Water Productivity of Sugarbeet (Beta vulgaris) Under Different Planting Methods and Irrigation Schedules. Agric Res (March 2018) 7(1):93–97.
Silva, H., S. Sagardia, M. Ortiz, N. Franck, M. Opazo, M. Quiroz, C. Baginsky and C. Tapia. 2014. Relationships between leaf anatomy, morphology, and water use efficiency in Aloe vera (L) Burm f. as a function of water availabilityt. Rev. Chil. Hist. Nat. 87 (13):1–10.

Szerement, J., A. Ambrozewicz-Nita, K. K˛edziora and J. Piasek. 2014. Use of zeolite in agriculture and environmental protection. A short review. Вісник Національного Університету. 781:172–177.
Wajima, T. 2013. Ion exchange properties of Japanese natural zeolites in seawater. Anal. Sci. 29:139–141.
Ozbahce, A. A.F. Tari, E. Gönülal, N. Simsekli and H. Padem. 2014. The effect of zeolite applications on yield components and nutrient uptake of common bean under water stress, Archives of Agronomy and Soil Science. 1:12. DOI:10.1080/03650340.2014.946021
Zheng, J., T. Chen, G. Xia, W. Chen, G. Liu and D. Chi. 2018. Effects of zeolite application on grain yield, water use and nitrogen uptake of rice under alternate wetting and drying irrigation. Int. J. Agr. Biol. Eng. 11:157–164. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3064.
Uygan, D., O. Cetin, V. Alveroglu and A. Sofuoglu. 2021. Improvement of water saving and economic productivity based on quotation with sugar content of sugar beet using linear movesprinkler irrigation. Agricultural Water Management 255 (2021) 1069