



Assessing the impact of zeolite application and water quality on virtual water of wheat in Ahvaz climate

Hamed Hardani¹ | Mohammad Albaji² | Abdali Naseri³ |
Amir Soltani Mohammadi⁴

1. Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: Hardani8028@gmail.com
2. Corresponding Author, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: m_albaji2000@yahoo.co.uk
3. Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: abdalinaseri@scu.ac.ir
4. Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: a.soltani@scu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 19, 2025

Revised: Aug. 2, 2025

Accepted: Aug. 25, 2025

Published online: Oct. 2025

Keywords:

*Superabsorbent polymer,
Water scarcity,
Water resources management,
Water consumption*

ABSTRACT

The increasing global demand for water has led to a significant reduction in water resources, making the assessment of virtual water content and yield crucial for agricultural water management. This research was conducted in the crop years 2023-2024 for a single crop with the aim of investigating the effect of different amounts of zeolite on some wheat characteristics and virtual water under saline water use conditions at the research farm of the Faculty of Water Engineering. The treatments studied in this research included the amount of zeolite application (M0: zero, M1: two grams, and M2: four grams per kilogram of soil at a depth of 30 cm), the type of zeolite in terms of particle size (Z1: 0-1 mm and Z2: 1-3 mm), and the quality of irrigation water (I1: 2.5 dS/m and I2: 6.02 dS/m) in three replicates for each treatment and in 36 experimental plots. The experimental design was a split-split plot in a randomized complete block design in 1×1 square meter plots. Irrigation water quality was the main factor, the amount of zeolite was the sub-factor, and the type of zeolite was the sub-sub-factor. The results showed that the M2 treatment significantly increased wheat yield. The effect of irrigation water quality on the studied traits was significant at the 5% level, but the effect of the amount and size of zeolite and their interaction was not significant. The highest wheat grain yield in tons per hectare was 8.2 in the M2 treatment with I1, and the lowest virtual water in cubic meters per kilogram was 0.66, also related to the M2 treatment with I1.

Cite this article: Hardani, H., Albaji, M., Naseri, A., Soltani Mohammadi, A., (2025) Assessing the impact of zeolite application and water quality on virtual water of wheat in Ahvaz climate, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (8), 2105-2117. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.395453.669944>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.395453.669944>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Despite recent droughts, climate change, and a growing population, as well as the expansion of industrial and agricultural activities, Iran faces a water crisis. The agricultural sector in Iran accounts for about 90% of water resources, which is higher compared to developed countries. Therefore, the use of unconventional water resources has been suggested as a method to reduce pressure on freshwater resources. To resolve this contradiction, the concept of virtual water was introduced by Allan in 1993. The concept of virtual water has significant potential to help improve water management, especially in the agricultural sector. Therefore, analyzing the virtual water content of essential agricultural products can assist us in policymaking and planning for the optimal use of water resources. Virtual water, which is the inverse of water productivity, emphasizes acceptable yields of agricultural products along with irrigation water management. Virtual water, expressed in physical units, is the volume of water used to produce a commodity. Wheat is one of the main crops cultivated worldwide, recognized as a key source of energy and nutrients for the human population. One of the strategies to increase wheat yield and reduce water consumption is the use of mineral moisture-absorbing materials called zeolites.

Materials and Methods

This research was conducted in the research farm of the Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, on Chamran wheat cultivar during the, 2023 and 2024 growing season. Geographically, the farm is located at 48 degrees, 39 minutes, and 68 seconds east longitude and 31 degrees, 18 minutes, and 18 seconds north latitude, with an altitude of 12 meters above sea level. The treatments studied in this research included the application rate of zeolite (M0: zero, M1: two, and M2: four grams per kilogram of soil at a depth of thirty centimeters), the type of zeolite in terms of particle size (Z1: with particle size of 0-1 mm and Z2: with particle size of 1-3 mm), and irrigation water quality (I1: irrigation with Karun River water with an electrical conductivity of 2.5 dS/m and I2: irrigation with diluted Persian Gulf water with an electrical conductivity of 6.02 dS/m). The experimental design was a split-split plot in a randomized complete block design, implemented in 1×1 m² plots with three replications. Irrigation water quality was the main plot factor, zeolite rate was the subplot factor, and zeolite type was the sub-subplot factor. The zeolite used was obtained from active mineral extraction mines in Semnan province. Before planting wheat, zeolites were thoroughly mixed with the farm soil to a depth of 30 cm according to the intended treatment. Soil samples were taken at several depths (Table 2). Subsequently, phosphate and potash fertilizers were prepared based on soil requirements and added to the soil. Wheat seeds were manually sown in November 2023.

Results and Discussion

The total amount of water used was 540 mm. This means that an amount of 15 mm was evenly distributed across 36 plots. The total virtual water value for this research was 1.26 cubic meters per kilogram. Virtual water (VW) calculations showed that in treatment M2 and I1, water use efficiency was better, and less virtual water was required to achieve one kilogram of product. In contrast, treatment M0 and I2 had lower efficiency in terms of virtual water.

Results

The total virtual water of this research was equal to 1.26 cubic meters per kilogram. The results of the analysis of variance showed that the effect of irrigation water quality on the studied traits was significant at the 5% level, but the effect of the amount and size of zeolite and their interaction was not significant. The highest yield in tons per hectare, with a value of 8.2, was observed in treatment M2 along with I1, and the lowest virtual water also belonged to treatment M2 along with I1. Overall, the results indicated that the use of zeolite can be beneficial due to its impact on wheat traits.

Author Contributions

Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing Original Draft, H.H.; Methodology, Writing - Review & Editing, M.A.; Software, Writing - Review & Editing, A.N. and A.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers and editor for their critical comments that helped to improve the paper. The authors gratefully acknowledge the support and facilities provided by the Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran , Ahvaz University of Khuzestan

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest

ارزیابی تاثیر کاربرد زئولیت و کیفیت آب بر آب مجازی گندم در اقلیم اهواز

حامد حردانی^۱ | محمد الباجی^۲ | عبدعلی ناصری^۳ | امیر سلطانی محمدی^۴

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: .

Hardani8028@gmail.com

۲. ویسند مسؤل، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: .

m_albaji2000@yahoo.co.uk

۳. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: abdalinaseri@scu.ac.ir

۴. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a.soltani@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	افزایش جهانی تقاضای آب منجر به کاهش قابل توجه منابع آب شده است و ارزیابی محتوای آب مجازی و عملکرد را برای مدیریت آب کشاورزی بسیار مهم می‌کند. این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ برای یک کشت با هدف بررسی اثر مقادیر مختلف زئولیت بر برخی صفات گندم، آب مجازی در شرایط استفاده از آب شور در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی آب انجام گردید. تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل مقدار کاربرد زئولیت (M0: صفر، M1: دو گرم و M2: چهار گرم در هر کیلوگرم خاک در عمق سی سانتی-متری خاک)، نوع زئولیت از نظر دانه-بندی (Z1: 1-0 میلی-متر و Z2: 3-1 میلی-متر) و کیفیت آب آبیاری (I1: 5/2 دسی زیمنس بر متر و کیفیت I2: 02/6 دسی زیمنس بر متر) در سه تکرار برای هر تیمار- و در ۳۶ کرت آزمایشی بود. طرح آزمایشی مورد نظر به صورت اسپلیت - اسپلیت پلات در قالب بلوک کامل تصادفی در کرت-های ۱×۱ متر مربع پیاده گردید. کیفیت آب آبیاری به عنوان فاکتور اصلی، مقدار زئولیت فاکتور فرعی و نوع زئولیت فاکتور فرعی-فرعی بود. نتایج نشان داد تیمار M2 به طور معناداری عملکرد گندم را افزایش داد. اثر تاثیر کیفیت آب آبیاری بر صفات مورد بررسی در سطح پنج درصد معنی-دار بود اما اثر مقدار و اندازه زئولیت و برهمکنش آنها معنی-دار نشد. بیشترین عملکرد دانه گندم برحسب تن بر هکتار با مقدار ۸/۲ در تیمار M2 به همراه I1 مشاهده شد و کمترین آب مجازی بر حسب متر-مکعب بر کیلوگرم ۰/۶۶ هم مربوط به تیمار تیمار M2 به همراه I1 بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۵/۱۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۳	
تاریخ انتشار: آبان ۱۴۰۴	
واژه‌های کلیدی: سویر جاذب ، کمبود آب ، مدیریت منابع آب ، مصرف آب.	

استناد: حردانی؛ حامد، الباجی؛ محمد، ناصری؛ عبدعلی، سلطانی محمدی؛ امیر، (۱۴۰۴) ارزیابی تاثیر کاربرد زئولیت و کیفیت آب بر آب مجازی گندم در اقلیم اهواز، مجله

تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۸)، ۲۱۱۷-۲۱۰۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.395453.669944>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.395453.669944>

مقدمه

کشور ایران با وجود خشکسالی‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و افزایش رو به رشد جمعیت، همچنین گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی با بحران آب مواجه است. سهم بخش کشاورزی در ایران حدود ۹۰ درصد منابع آب است که نسبت به کشورهای پیشرفته بیشتر است (محسن‌زاده و فکوهی، ۱۳۹۸). به همین دلیل، استفاده از آب‌های نامتعارف به عنوان یکی از روش‌های کاهش فشار بر منابع آب شیرین پیشنهاد شده است. برای حل این تناقض، مفهوم آب مجازی در سال ۱۹۹۳ توسط آلن گریدید (رحمانی و همکاران، ۱۴۰۲)، مفهوم آب مجازی از پتانسیل قابل توجهی برای کمک به بهبود مدیریت آب، به خصوص در بخش کشاورزی برخوردار است. لذا تحلیل آب مجازی محصولات اساسی بخش کشاورزی می‌تواند ما را در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در مصرف بهینه از منابع آبی یاری دهد (بلالی و همکاران، ۱۴۰۰). آب مجازی، که عکس بهره‌وری آب است، بر عملکرد قابل قبول محصولات کشاورزی به همراه مدیریت آب آبیاری تاکید دارد. آب مجازی که در واحدهای فیزیکی بیان می‌شود، حجم آبی است که برای تولید یک کالا استفاده می‌شود. گندم یکی از اصلی‌ترین محصولات زراعی موجود در سطح جهان است که به عنوان منبعی کلیدی از انرژی و مواد مغذی برای جمعیت انسانی شناخته می‌شود. یکی از راهکارهای افزایش عملکرد گندم و کاهش مصرف آب استفاده از مواد جاذب رطوبت معدنی با نام زئولیت است. این مواد معدنی در کشور ایران به وفور وجود دارد و اثرات آن در تحقیقات مختلف مشاهده شده است (خسرو شاهی و همکاران، ۱۴۰۲). در حال حاضر تحقیقات زیادی در مورد اثرات کاربرد زئولیت بر ویژگی‌های زراعی گندم در شرایط آبی وجود دارد، اما تعداد کمی از این مطالعات اثر آن را بر گندم در شرایط آب نامتعارف بررسی کرده‌اند. علاوه بر این، زئولیت همچنین می‌تواند کارایی مصرف آب را با بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک و در دسترس بودن آب برای گیاهانی که از آن در شرایط کمبود آب استفاده می‌کنند، افزایش دهد. طی سال‌های اخیر تحقیقات زیادی با هدف بازبینی و بررسی مقادیر آب مجازی گندم در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌گردد. ابابایی و رمضانی (۱۳۹۵) بیان کردند که آب برای محصول گندم در حدود ۳۷ میلیارد مترمکعب در سال، در بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ بوده است. (اویسی و همکاران، ۱۳۹۹) در مطالعه نقش واردات و صادرات محصولات مهم زراعی و باغی در تجارت مجازی آب و ردپای آب در کشاورزی ایران، نقش واردات و صادرات محصولات مهم کشاورزی در تراز خالص تجارت مجازی آب ایران تعیین و شاخص‌های آبی کشور را محاسبه و بیان کردند. در این دوره میانگین سالانه آب در بخش کشاورزی کشور ۸/۱۰۴ میلیارد مترمکعب بوده و ایران با میانگین ۶/۱۷ میلیارد مترمکعب واردات خالص آب مجازی در سال، موجب ذخیره سالیانه این حجم آب از منابع آب داخلی خود شده است. همچنین شاخص‌های آبی محاسبه شده برای کشور نشان دادند که به طور میانگین در این دوره شدت مصرف آب کشاورزی ۱/۶۷ درصد، شاخص وابستگی به واردات آب مجازی ۸/۱۶ درصد و نیز شاخص خودکفایی به آب کشاورزی حدود ۲/۸۳ درصد بوده‌اند. حضور زئولیت در خاک باعث کاهش نیاز آبی گیاه و بهبود بهره‌وری مصرف آب شد، و در نتیجه، میزان آب مجازی مصرفی کاهش پیدا کرد. (دستباز و همکاران، ۱۴۰۲) افزودن زئولیت به خاک منجر به کاهش مصرف آب و افزایش عملکرد گندم شد. در نتیجه، آب مجازی گیاه کاهش یافت و کارایی مصرف آب بهبود پیدا کرد. (عارفی زاده و همکاران، ۱۴۰۲) تاثیر تقاضای آب و بهره‌وری آن را در میزان تجارت آب مجازی در مقیاس جهانی مهم بر می‌شمارد. Delborg and Diener (۲۰۱۴) در مطالعه خود با عنوان جریان‌های آب مجازی غلات و عوامل موثر بر آن‌ها در چین آب مجازی را به عنوان بعد جدیدی از دادوستد کشاورزی دانسته و راه‌حلی برای موضوع کمبود آب بیان کرده‌است. (Lee et al., 2015) این محققان به بررسی آب مجازی تولید شده توسط محصولات مختلف و شدت فشار وارده به منابع این مناطق پرداختند و بیان کردند که تولید محصولات کشاورزی فشاری بر منابع آب این منطقه وارد نکرده است. بررسی میزان آب مجازی گندم در جهان نشان داد که به طور متوسط برای تولید گندم ۱۸۷۶ متر مکعب آب مصرف می‌گردد. بنابراین کل آب مصرفی جهان برای تولید گندم بیش از ۸ میلیارد متر مکعب در سال است (Chen and Le, 2015). از این رو کشور عراق در سال ۲۰۱۹ با واردات گندم بیش از ۴۶ میلیون متر مکعب در مصرف منابع آب صرفه جویی کرد. (Ewaid et al., 2020). استفاده از زئولیت باعث کاهش مصرف آب کشاورزی و آب مجازی برای تولید هر واحد گندم حدود ۱۰-۱۵ درصد شد. (Odey et al., 2022) افزودن زئولیت به خاک، کارایی آب را افزایش و آب مجازی گندم را کاهش داد، و بهره‌وری مصرف آب بهتر شد. (Cui et al., 2023) بر اساس مرور منابع صورت گرفته مشخص می‌شود بخش کشاورزی در ایران با کاهش منابع آبی و تشدید تضادهای ناشی از آن در سال‌های اخیر مواجه بوده است استان خوزستان نیز به عنوان یکی از ارکان مهم کشور در تولید گندم از پیامدهای بحران کم آبی در امان نبوده و تقاضا در بین بهره‌برداران منابع آب کشاورزی در این استان نیز فزونی یافته‌است. آب مجازی، که عکس بهره‌وری آب است، بر عملکرد قابل قبول

محصولات کشاورزی به همراه مدیریت آب آبیاری تاکید دارد. لذا اگر بتوان بهره‌وری آب محصولات کشاورزی را افزایش داد، می‌توان آب مجازی را کاهش داد. در این پژوهش به بررسی اثر زئولیت، در شرایط کاربرد آب متعارف و نامتعارف، بر عملکرد گندم، به عنوان یکی از محصولات استراتژیک کشاورزی با هدف بررسی اثر مقدار زئولیت نوع دانه بندی زئولیت و اثر توأم کیفیت آب و زئولیت بر آب مجازی گندم پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز روی گیاه گندم رقم چمران انجام شد. این مزرعه از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه و ۶۸ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه عرض شمالی با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین ماهیانه پارامترهای هواشناسی در طول فصل زراعی منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی در طول فصل زراعی ایستگاه هواشناسی اهواز

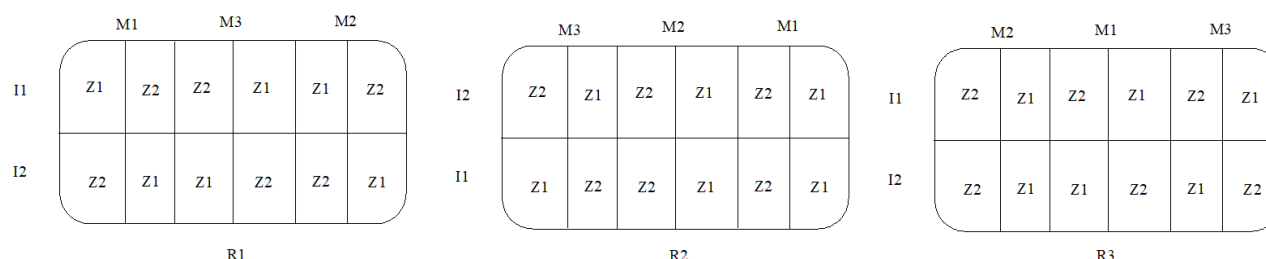
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
دمای هوا (°C)	۳۲	۲۴/۵	۱۷/۲	۱۶/۶	۱۶/۶	۱۸/۳	۲۴/۱	۲۹/۵	۳۷/۲
رطوبت نسبی (%)	۳۷	۵۴	۶۹	۶۵	۶۳	۵۷	۵۳	۴۱	۲۶
سرعت باد (m/s)	۱۴	۱۶	۶	۱۱	۱۶	۱۰	۱۲	۱۵	۹
بارندگی (mm)	۱/۹	۶۸/۱	۷/۴	۸/۴	۳۸/۳	۶۰/۱	۶۷	۵۵/۱	۰
تأخیر از تشت (mm)	۲۱۸/۶	۱۰۶/۹	۵۰/۷	۵۱	۶۴/۵	۱۰۷/۳	۱۶۹/۱	۲۵۸/۲	۴۱۵/۷

تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل مقدار کاربرد زئولیت (M0: صفر، M1: دو و M2: چهار گرم در هر کیلوگرم خاک در عمق ۳۰ سانتی متری خاک)، نوع زئولیت از نظر اندازه دانه بندی (Z1: با دانه بندی ۰-۱ میلی متر و Z2: با دانه بندی ۱-۳ میلی متر) و کیفیت آب آبیاری (I1: آبیاری با آب رودخانه کارون با هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی زیمنس بر متر و I2: آبیاری با آب رقیق شده خلیج فارس هدایت الکتریکی ۶/۰۲ دسی زیمنس بر متر) بود. طرح آزمایشی مورد نظر به صورت اسپلیت - اسپلیت پلات در قالب بلوک کامل تصادفی که در ۳۶ کرت ۱×۱ متر مربع و در سه تکرار پیاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱- نمای گندم رسیده طرح مورد مطالعه

کیفیت آب آبیاری به عنوان فاکتور اصلی آزمایش، مقدار زئولیت فاکتور فرعی و نوع زئولیت فاکتور فرعی-فرعی بود. شماتیک طرح آزمایشی مورد نظر در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- شماتیک طرح مورد مطالعه

ژئولیت مورد استفاده از معادن فعال برداشت مواد معدنی در استان سمنان تهیه گردید. پیش از کاشت گندم، ژئولیت‌ها براساس تیمار مورد نظر تا عمق ۳۰ سانتی متری با خاک مزرعه به صورت کامل مخلوط گردید. نمونه برداری از خاک در چندین عمق صورت گرفت (جدول ۲) پس از آن، کودهای فسفات و پتاس براساس نیاز خاک تهیه و به خاک اضافه شد. کود فسفات دی آمونیوم با مقدار ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار به خاک اضافه گردید. و همچنین، کود اوره به صورت سرک با مقدار ۵۰ کیلو گرم بر هکتار به خاک اضافه گردید. بذر گندم در آبان ماه سال ۱۴۰۲ به صورت دستی کاشته شد. پس از مخلوط کردن ژئولیت‌ها با خاک، بستر کشت برای کاشت بذر گندم به خوبی آماده شد. این مرحله شامل شخم زدن، تسطیح و ایجاد خطوط کشت است. بذر گندم رقم چمران با توجه به استانداردهای کاشت، به صورت دستی در عمق ۳ سانتی متری و فاصله ۳ تا ۴ سانتی متری قرار داده شد تا حداکثر جوانه زنی حاصل گردد. در هفته‌های نخست و تا زمان استقرار بوته‌ها، آبیاری با آب رودخانه کارون انجام شد. پس از آن، تیمارهای آبیاری با آبیاری با آب رقیق شده خلیج فارس (۶/۰۲ دسی زیمنس بر متر) اعمال شد. بعد از کاشت، گیاهان به صورت هفتگی پایش شدند تا رشد، سلامتی و واکنش‌های آن‌ها نسبت به کمبود آب یا تغذیه بررسی گردد.

جدول ۲_ نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	بافت	هدایت الکتریکی (d.S/m)	درصد اشباع (%)	اسدیته (pH)	درصد کربن آلی (%)	درصد ازت کل (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	درصد کربنات کلسیم (%)
۰-۲۸	لومی	۷/۸۵	۳۹/۳	۸/۰۱	۰/۸	۰/۰۸۴۱	۲۷/۶	۳۵۳	۴۵
۲۹-۴۹	لومی	۳	۳۹/۵	۷/۹۲	۰/۸۵	۰/۰۷۲۵	۱۱/۹۵	۲۶۴	۴۵
۵۰-۸۳	لومی	۳/۵۲	۳۸/۴	۷/۸۸	۰/۴۸	۰/۰۵۲۲	۸/۸۷	۲۶۵	۴۶
۸۴-۱۲۰	سیلت_لومی	۵/۰۱	۳۸/۳	۷/۸۱	۰/۲۱	۰/۰۲۲۱	۹/۴۵	۲۲۹	۴۷

آبیاری به روش کنترل رطوبت خاک به روش وزنی صورت گرفت اول به کمک ترازو، جرم یک ظرف خشک و تمیز را اندازه گرفته و شماره ظرف و جرم آن روی فرم اطلاعات ثبت شد. دوم خاک مرطوب را داخل ظرف قرار دادیم و به کمک ترازو، جرم ظرف حاوی خاک مرطوب اندازه گیری شد و سپس ظرف حاوی خاک مرطوب را به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار داده شد و با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک گردید. درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتیگراد از آنجایی انتخاب شده است که کمی از نقطه جوش آب بالاتر است. پس از ۲۴ ساعت ظرف حاوی خاک را از آون خارج کرده و توسط ترازو، جرم ظرف حاوی خاک خشک اندازه گیری شد. سپس با توجه جرم‌های بدست آمده کل آب قابل دسترس و آب سهل الوصول محاسبه گردید این رویه به صورت هفتگی تکرار می‌شد.

برای تعیین آب مجازی از رابطه‌ی (۱) استفاده گردید:

$$VW=I \div Y$$

(رابطه ۱)

که در این رابطه، VW آب مجازی (مترمکعب بر کیلوگرم)، I مقدار آب آبیاری (مترمکعب) و Y عملکرد (کیلوگرم) است. در مرحله رسیدگی، تعداد ۱۵ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و ارتفاع گیاه، وزن گیاه، تعداد بذر در سنبله، طول ریشه و عملکرد اندازه گیری شدند. پس از جداسازی دانه، عملکرد دانه بر مبنای تن در هکتار محاسبه گردید. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت.

نتایج و بحث

مقدار کل آب مورد استفاده ۵۴۰ میلی متر بود. این بدان معناست که مقدار ۱۵ میلی متر در ۳۶ کرت به طور مساوی تقسیم شد. بیشترین عملکرد دانه گندم برحسب تن بر هکتار با مقدار ۸/۲ در تیمار M2 به همراه I1 مشاهده شد و کمترین آب مجازی برحسب متر مکعب بر کیلوگرم ۰/۶۶ هم مربوط به تیمار تیمار M2 به همراه I1 بود. مقدار کل آب مجازی این تحقیق برابر با ۱/۲۶ متر مکعب بر کیلوگرم بود. وضعیت آب مجازی گندم آبی در ایران بررسی گردید حاصل این بررسی بیشترین آب مجازی (دامنه ۱/۵۳۹-۳/۵۲۳ مترمکعب بر کیلوگرم) در استان‌های خوزستان، کرمان، سمنان، بوشهر، سیستان و بلوچستان، اصفهان، فارس، یزد، و بخش‌هایی از استان‌های قم، کرمانشاه، خراسان جنوبی، خراسان شمالی، چهارمحال و بختیاری، و آذربایجان شرقی با متوسط ۲/۶۱ مترمکعب بر کیلوگرم است که نشان دهنده نیاز شدید آبی برای تولید محصولات کشاورزی و شرایط اقلیمی خاص این مناطق است. کمترین آب مجازی (دامنه ۰/۲۸۴-۰/۵۸۶ مترمکعب بر

کیلوگرم) نیز در استان‌های مازندران، همدان، گلستان، کردستان، کهگیلویه و بویراحمد و مناطقی از استان‌های خراسان جنوبی، مرکزی، هرمزگان، و ایلام با متوسط $۰/۴۵۱$ مترمکعب بر کیلوگرم دیده شد که حاکی از بهره‌وری آب زیاد، اقلیم مناسب، و نیاز آبی کمتر محصول در این مناطق است. ارقام آب مجازی، دامنه آن‌ها حتی برای استان خاص نسبتاً زیاد است. یکی از دلایل توجیهی می‌تواند آن باشد که مدیریت آب، تولید و بهره‌وری آب بسیار وابسته به مدیریت کشاورزی و سواد و دانش و سایر متغیرهای اقلیمی است. این وضعیت در ارقام ارائه شده برای تمامی مطالعات و منابع علمی مرتبط با جمع‌بندی مقادیر شاخص‌های مدیریت آب مانند راندمان آبیاری، تعیین آب کاربردی در واحد سطح برای محصولات کشاورزی مختلف مشاهده می‌شود (حیدری و تاران، ۱۴۰۳). که خود به نوعی گواهی از آن دارد که در صورت اصلاح مدیریت مزارع و رفع محدودیت‌ها و ناکارآمدی‌های مدیریت تولید و آب، پتانسیل زیادی برای افزایش بهره‌وری آب و کاهش آب مجازی وجود دارد. آب مجازی گندم آبی در کشور برابر $۱/۴۰۱$ مترمکعب بر کیلوگرم برآورد شد که ۵۱ درصد بالاتر از میانگین جهانی است (حیدری و تاران، ۱۴۰۳). میانگین آب مجازی گندم آبی، نشان‌دهنده نیاز به بهبود بهره‌وری در مصرف آب کشاورزی و اصلاح فرآیند تولید محصولات کشاورزی از نظر کاهش مصرف آب و افزایش عملکرد و کارایی در تمام مراحل تولید تا مصرف غذا در کشور است. با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران، مدیریت منابع آبی کارآمد و استفاده از فناوری‌های نوین می‌تواند به کاهش مقدار آب مجازی محصولات کشاورزی و به خصوص گندم کمک کند. تغییرات اقلیمی و نوسان‌های منابع آبی به‌طور فزاینده‌ای به چالش‌هایی جدی برای کشاورزی و امنیت غذایی جهانی تبدیل گردیده است. در ایران حدود نیمی از نواحی کشت گندم در مناطقی با کمبود آب قرار دارند. درک بهتر از روابط بین تجارت محصولات کشاورزی و منابع آبی محلی می‌تواند به کشورهای مختلف کمک کند تا در جهت تأمین امنیت غذایی و حفظ پایداری منابع آبی خود گام بردارند. در این راستا، پیشنهادهای زیر را می‌توان برای بهبود وضعیت ارائه داد. به‌کارگیری این رویکردها و پیشنهادها می‌تواند به بهبود امنیت غذایی و پایداری منابع آبی در سطح محلی و جهانی کمک کند. با درک عمیق‌تر از چالش‌ها و فرصت‌های موجود، کشورهای مختلف می‌توانند گام‌هایی مؤثر برای رو به رو شدن با تغییرات اقلیمی و نوسان‌های آب بردارند. کشورها باید سیاست‌های مؤثری برای مدیریت منابع آب محلی تدوین کنند تا وابستگی به واردات آب مجازی از مناطق کم‌آب کاهش یابد. این موضوع شامل تقویت قوانین حفظ آب و بهینه‌سازی استفاده از منابع آبی موجود است. گسترش سیستم‌های تولید متنوع‌تر و تشویق به کشت محصولات با نیاز آبی کمتر در مناطق کم‌آب می‌تواند به افزایش تاب‌آوری سیستم‌های غذایی کمک کند. این استراتژی‌ها می‌توانند شامل استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی و شیوه‌های کشاورزی پایدار باشند. استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری و بهبود مدیریت آب از طریق آموزش کشاورزان و استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند می‌تواند به بهبود کارایی مصرف آب و کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی کمک کند. تجدیدنظر در سیاست‌های تجارت داخلی و کاهش صادرات گندم از مناطق کم‌آب می‌تواند به جلوگیری از فرسایش بیشتر منابع آبی کمک کند و امنیت غذایی را حفظ کند. این سیاست‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که توسعه پایدار و حفاظت از منابع آبی را ترویج کنند. در قرن بیست و یکم کمبود آب به یکی از مشکلات اصلی جهانی تبدیل شده است که تأثیرات عمده‌ای بر زندگی بشر دارد. ایران، با توجه به وضعیت بحرانی منابع آب خود، با این چالش‌ها روبرو شده است. مفهوم آب مجازی، به میزان آب مصرف‌شده برای تولید هر واحد از محصول اشاره دارد و برای محصولات راهبردی مانند گندم اهمیت ویژه‌ای دارد. گندم در کشور و حتی در جهان محصولی راهبردی محسوب می‌شود و سطح زیر کشت زیادی (تقریباً ۴۰ درصد زمین‌های تحت کشت آبی کشور را دارد) (حیدری، ۲۰۲۲). براساس آمارنامه سال ۱۴۰۱، سطح زیر کشت گندم آبی و دیم در ایران به ترتیب برابر با ۲۳۶۹۷۱۶ هکتار (۳۶/۵ درصد زمین‌های تحت کشت آبی) و ۴۵۳۸۸۲۹ هکتار (۷۴/۵ درصد زمین‌های تحت کشت دیم) بوده است (حیدری و تاران، ۱۴۰۳). در سال‌های اخیر با توجه به بحران تغییر اقلیم، استان‌های پر آب مانند خوزستان به دلیل کمبود بارش‌ها در سرشاخه‌های حوضه‌های آبریز بالادست، دچار کم‌آبی شده‌اند. دیگر استان‌های تولیدکننده گندم کشور (مانند استان‌های آذربایجان شرقی، اصفهان، سمنان، سیستان و بلوچستان و قزوین) نیز در مناطق با بحران آب قرار دارند. کمبود گندم در این مناطق می‌تواند با واردات گندم و یا با تأمین از تولیدات اضافی دیگر استان‌های با وضعیت بحران آب کمتر جبران شود. این نتیجه‌گیری از جنبه مقدار آب مجازی و بهره‌وری آب گندم آبی (تقریباً $۰/۸$ کیلوگرم بر مترمکعب) است که در مقایسه با دیگر محصولات با ارزش اقتصادی بیشتر، بهره‌وری آب نسبتاً پایین‌تری دارد. برای حل بحران آب، سطح زیر کشت محصولات آبی باید کاهش یابد و با بهینه‌سازی الگوی کشت از آب تخصیصی به بخش کشاورزی باید استفاده بهینه شود استفاده از مزیت‌های اقلیمی و کشت محصولات کشاورزی در مناطقی که از نظر اقلیمی دارای برتری تولید و بهره‌وری آب بیشتر (آب مجازی کمتر) هستند، کشور را قادر می‌سازد که با تمرکز بر تولید در مناطق خاصی که دارای برتری تولید است، و بالعکس محدودیت کشت آن محصول در مناطقی که از نظر اقلیمی برتری ندارد، بهینه‌سازی تولید دنبال شود. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد تیمارهای مختلف ژئولیت و کیفیت آب

تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گندم داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زراعی گندم

میانگین مربعات							
منبع متغیر	درجه آزادی	آب مجازی	طول ریشه گیاه	طول گیاه	وزن گیاه	تعداد بذر در سنبله	عملکرد
مدل	۱۲	۱۴۵/۱۰	۴۴۱/۰۸۴	۹۷۱۲/۰۹۷	۳۰/۵۷۵	۲۱۶۷/۰۵۶	۸/۰۰۹
کیفیت آب	۱	۱۱/۵۹۴*	۴۴/۹۹۵	۵۸۲/۶۵۹*	۱۳/۵۴۲*	۴۲۷/۱۱۱*	۶۶۳/۰۶۲*
مقدار زئولیت	۲	۴۳۷/۰*	۷۸۳/۰*	۱۲/۶۲۰*	۳/۱۲۴*	۲۸/۸۶۱*	۶۱/۶۲۲*
اندازه زئولیت	۱	۹۷۷/۰*	۶/۳۷۵*	۴/۶۱۵*	۰/۰۱۸*	۱۸/۷۷۸*	۰/۸۶۶*
آبیاری* مقدار زئولیت	۲	۳۷۶/۰*	۴/۹۰۳*	۶/۶۴۹*	۱/۱۴۷*	۴۲/۱۹۴*	۴/۲۰۳*
آبیاری* اندازه زئولیت	۱	۰/۰۲۷*	۲/۴۹۳*	۲/۹۵۳*	۱/۰۲۰*	۱۳/۴۴۴*	۲/۴۱۶*
مقدار زئولیت* اندازه زئولیت	۲	۱/۲۹۱*	۵/۰۵۰*	۱۱/۰۱۸*	۰/۳۳۸*	۷۵/۵۲۸*	۳/۰۶۲*
آبیاری* مقدار زئولیت* اندازه زئولیت	۲	۰/۳۴۱*	۵/۴۹۹*	۰/۳۲۱*	۰/۱۱۵*	۳۸/۵۲۸*	۴/۸۳۶*
خطا	۲۴	۱/۰۴۳	۴/۵۳۹	۳۶/۱۵۸	۱/۳۸۴	۶۹/۷۲۲	۱/۴۸۶

*NS به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد و عدم معنی‌داری

آب مجازی:

محاسبات آب مجازی (VW) نشان داد که در تیمار M2 و I1، کارایی استفاده از آب بهتر بود و میزان آب مجازی کمتری برای دستیابی به یک کیلوگرم محصول تولید شد. در مقابل، تیمار M0 و I2 کارایی کمتری از نظر آب مجازی داشتند که نشانگر نیاز به مدیریت بهینه منابع آب و ترکیبات خاک در کشت گندم است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر آبیاری، در سطح ۵ درصد بر آب مجازی معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار و اندازه زئولیت و برهمکنش آنها در سطح ۵ درصد بر آب مجازی معنی‌دار نبود مطابق مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) کمترین مقدار آب مجازی برحسب متر مکعب بر کیلو گرم (۰/۶۶) در تیمار M2 به همراه I1 مشاهده شد به طوری که میزان آن نسبت به تیمار شاهد برحسب متر مکعب بر کیلوگرم (۰/۶۸) افزایش گردید. بیشترین مقدار آب مجازی برحسب متر مکعب بر کیلوگرم (۵/۳۶) در تیمار M0 به همراه I2 مشاهده گردید. در این آزمایش با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری روند افزایشی آب مجازی مشاهده شد. با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری معمولاً رشد رویشی گیاه با کاهش مواجه و با کاهش رشد رویشی گیاه مقدار تولید مواد فتوسنتزی گیاه و تقسیم سلولی نیز با روند کاهشی می‌یابد و در نتیجه آب مجازی افزایش نشان داد. به نظر می‌رسد که به دلیل توانایی بالایی که زئولیت در جذب و نگهداری رطوبت اضافی موجود در خاک دارد می‌تواند مقدار قابل توجهی آب را پس از هر بار آبیاری مزرعه در داخل خلل و فرج خود جذب و نگهداری کند و پس از گذشت چند روز که رطوبت خاک مزرعه کاهش یابد آب جذب شده توسط زئولیت به مصرف ریشه گیاه می‌رسد. از جهت دیگر زئولیت از طریق بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باعث دسترسی آسان تر و بهتر گیاه به آب و مواد مورد نیازش به ویژه نیتروژن شد و در آخر باعث افزایش رشد رویشی و کاهش آب مجازی می‌گردد (سیف زاده و همکاران، ۱۳۹۹). (ام البنی و همکاران، ۱۴۰۲) تأثیر تنش شوری بر آب مجازی را بررسی و نشان دادند که کاهش آب در سیستم‌های آبیاری می‌تواند به افزایش نیاز آب مجازی در حدود ۲۵٪ منجر شود. (Zhang et al., 2019) نشان دادند که برای تولید گندم در شرایط شوری، نیاز به ۱۴۰۰ لیتر آب مجازی به ازای هر کیلوگرم محصول وجود دارد. (Hoehn et al., 2021) در این مطالعه نشان دادند که در شرایط تنش شوری، نیاز به آب مجازی برای تولید گندم به میزان ۱۲۰۰ لیتر برای هر کیلوگرم افزایش یافته است و تکنیک‌های بهینه‌سازی می‌تواند به کاهش این نیاز کمک کند.

طول ریشه گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمار آبیاری، مقدار و اندازه زئولیت و برهمکنش آنها در سطح ۵ درصد بر طول ریشه گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۳). مطابق مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) بیشترین طول ریشه گیاه بر حسب سانتی متر (۱۸) در تیمار M2 به همراه I1 مشاهده شد به طوری که میزان آن نسبت به تیمار شاهد (۱۱/۶۵) افزایش گردید. کمترین طول ریشه گیاه بر حسب سانتی متر (۹/۲) در تیمار M0 به همراه I2 مشاهده گردید. طول ریشه گیاه با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری تحت تاثیر قرار گرفت و سبب کاهش طول ریشه گیاه

شد به نظر می‌رسد که به دلیل توانایی بالایی که زئولیت در جذب و نگهداری رطوبت اضافی موجود در خاک دارد می‌تواند مقدار قابل توجهی آب را پس از هر بار آبیاری مزرعه در داخل خلل و فرج خود جذب و نگهداری کند و پس از گذشت چند روز که رطوبت خاک مزرعه کاهش یابد آب جذب شده توسط زئولیت به مصرف ریشه گیاه می‌رسد. (میرزاخانی و همکاران، ۱۳۹۴) نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار طول ریشه به میزان ۲۵ درصد نسبت به شرایط نرمال شد. (زکایی و همکاران، ۱۴۰۲) نشان دادند استفاده از ترکیب کودهای آلی و شیمیایی باعث بهبود طول ریشه گندم به میزان ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر نسبت به شاهد شد.

ارتفاع گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمار آبیاری در سطح ۵ درصد بر طول گیاه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار و اندازه زئولیت و برهمکنش آن‌ها در سطح ۵ درصد بر طول گیاه معنی‌دار نبود مطابق مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) بیشترین طول گیاه بر حسب سانتی متر (۷۹،۱) در تیمار M2 به همراه I1 مشاهده شد به طوری که میزان آن نسبت به تیمار شاهد (۵۹،۹۳) افزایش چشم گیری گردید. کمترین طول گیاه بر حسب سانتی متر (۴۷،۱۷) در تیمار M0 به همراه I2 مشاهده گردید ارتفاع گیاه تحت تاثیر افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری قرار گرفت و کاهش یافت ارتفاع گیاه گندم حاصل افزایش تعداد گره و یا طول میان گره‌ها در بوته است. از آنجایی که نوسانات طول گیاه معمولاً اصلی ترین مشخصه ژنتیکی و تغییرات شرایط محیطی گیاه است افزایش طول گیاه یک مزیت برای رقابت با سایر بوته‌ها به شمار میاد و از جمله نتایج آن تشکیل برگ‌های جدید بود.

وزن گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمار آبیاری در سطح ۵ درصد بر وزن گیاه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار و اندازه زئولیت و برهمکنش آنها در سطح ۵ درصد بر وزن گیاه معنی‌دار نبود مطابق مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) بیشترین وزن گیاه بر حسب گرم (۴۶) در تیمار M2 به همراه I1 مشاهده شد به طوری که میزان آن نسبت به تیمار شاهد بر حسب گرم (۱۷) افزایش چشم گیری گردید. کمترین وزن گیاه بر حسب گرم (۱۴) در تیمار M0 به همراه I2 مشاهده گردید با کاهش هدایت الکتریکی آب آبیاری وزن گیاه افزایش پیدا کرد و زئولیت با نگه داشتن بیشتر آب باعث شد میزان فتوسنتز و بارگیری مواد فتوسنتزی از ابتدا تا انتهای در دوران رشد دانه افزایش یافت و وزن دانه‌ها تشکیل شده در سنبله و قطر ساقه بیشتر شد. (رحمتی و همکاران، ۱۴۰۲) وزن گیاه در شرایط شوری به حدود ۱۰۰ گرم کاهش یافت.

تعداد بذر در سنبله

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمار آبیاری در سطح ۵ درصد بر تعداد بذر در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار و اندازه زئولیت و برهمکنش آن‌ها در سطح ۵ درصد بر طول سنبله معنی‌دار نبود مطابق مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) بیشترین تعداد بذر (۴۶) در تیمار M2 به همراه I1 مشاهده شد به طوری که میزان آن نسبت به تیمار شاهد (۲۸) افزایش چشم گیری گردید. کمترین تعداد بذر (۱۴) در تیمار M0 به همراه I2 مشاهده گردید تعداد بذر در سنبله یکی از اجزای بسیار مهم و تعیین کننده عملکرد است و تاثیر مستقیم در تعداد نهایی دانه ایفا کرد. نتایج نشان داد که کاهش هدایت الکتریکی آب آبیاری باعث افزایش تعداد بذر در هر سنبله شد. تعداد بذر در سنبله از جمله فاکتورهای تعیین کننده ظرفیت مخزن به شمار می‌آید که تابع عوامل ژنتیکی و تغذیه ای است در ابتدا در هنگام شکل گیری گیاه آبیاری با آبی که هدایت الکتریکی پایینی دارد سبب تشکیل بیشتر سنبلچه در سنبله شد هر چه تعداد سنبلچه بارور در سنبله و تولید فتواسیمیلات‌ها در گیاه بیشتر گردد، به دلیل تخصیص بیشتر آنها به سنبله در حال تکامل و پس از گرده افشانی، از عدم تکامل سنبلچه‌ها و سقط جنین بیشتری پیشگیری و تعداد سنبلچه بارور در سنبله افزایش می‌گردد که از وضعیت تغذیه ای گیاه از جمله دریافت روی متأثر می‌گردد (عبدلی، ۱۳۹۸).

عملکرد

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمار آبیاری در سطح ۵ درصد بر عملکرد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار و اندازه زئولیت و برهمکنش آنها در سطح ۵ درصد بر طول سنبله معنی‌دار نبود مطابق مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) بیشترین عملکرد بر حسب تن بر هکتار (۸/۲) در تیمار M2 (استفاده از چهار گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک) (شکل ۳) به همراه I1 و Z2 مشاهده شد. به طوری که میزان آن نسبت به تیمار شاهد (۶/۹) افزایش چشم گیری گردید. کمترین عملکرد بر حسب تن بر هکتار (۱) در تیمار M0 به همراه I2 مشاهده گردید. در این تحقیق مشاهده شد که عملکرد دانه با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری، تعداد دانه در سنبله به عنوان یکی از مهم ترین اجزای عملکرد

دانه گندم تحت تاثیر قرار گرفت و کاهش یافت مصرف عنصر روی با تاثیر بر رویه فیزیولوژیک گیاه باعث رشد عملکرد دانه گیاه می‌گردد (Zuz et al., 2012).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر آبیاری و زئولیت بر عملکرد گندم

منبع متغیر	آب مجازی (مترمکعب بر کیلو گرم)	طول ریشه گیاه (سانتی متر)	طول گیاه (سانتی متر)	وزن گیاه (گرم)	تعداد بذر در سنبله	عملکرد (تن بر هکتار)
I1	۱/۱۳۱ ^a	۱۲/۴۴۵ ^a	۶۰/۷۶۲ ^a	۳/۶۹۹ ^a	۲۹/۸۸۹ ^a	۵/۶ ^a
I2	۲/۲۶۶ ^b	۱۱/۷ ^a	۵۲/۷۱۶ ^b	۲/۴۷۳ ^b	۲۳ ^b	۲/۹۸ ^b
M0	۱/۹۶۳ ^c	۱۱/۸۶۴ ^a	۵۶/۵۸ ^c	۲/۸۲۳ ^c	۲۵ ^c	۴/۱ ^c
M1	۱/۵۸۶ ^c	۱۱/۹۹۶ ^a	۵۵/۸۰۲ ^c	۲/۷۶۱ ^c	۲۶/۲۵ ^c	۴/۲ ^c
M2	۱/۵۴۸ ^c	۱۲/۳۵۷ ^a	۵۷/۸۳۴ ^c	۳/۶۷۴ ^c	۲۸/۰۸۳ ^c	۴/۶ ^c
Z1	۱/۸۶۳ ^c	۱۲/۴۹ ^a	۵۷/۰۹۷ ^c	۳/۱۰۸ ^c	۲۷/۱۶۷ ^c	۳/۹۵ ^c
Z2	۱/۵۳۴ ^c	۱۱/۶۵۵ ^a	۵۶/۳۸۱ ^c	۳/۰۶۴ ^c	۲۵/۷۲۲ ^c	۴/۶۳ ^c
I1M0	۱/۲۰۵ ^c	۱۱/۶۵۳ ^a	۵۹/۹۳۰ ^c	۳/۲۱۲ ^c	۲۷/۶۶۷ ^c	۵/۸۳ ^c
I1M1	۱/۱۸ ^c	۱۲/۲۶۸ ^a	۵۹/۶۹۸ ^c	۳/۲۴۷ ^c	۲۸/۳۳۳ ^c	۵ ^c
I1M2	۱/۰۰۸ ^c	۱۳/۴۱۳ ^a	۶۲/۶۵۷ ^c	۴/۶۴ ^c	۳۳/۶۶۷ ^c	۵/۹۶ ^c
I2M0	۲/۷۱۸ ^c	۱۲/۰۷۵ ^a	۵۳/۲۳۰ ^c	۲/۴۳۵ ^c	۲۲/۳۳۳ ^c	۲/۳۸ ^c
I2M1	۱/۹۹۲ ^c	۱۱/۷۲۳ ^a	۵۱/۹۰۵ ^c	۲/۲۷۵ ^c	۲۴/۱۶۷ ^c	۳/۳۳ ^c
I2M2	۲/۰۸۸ ^c	۱۱/۳۰۲ ^a	۵۳/۰۱۲ ^c	۲/۷۰۸ ^c	۲۲/۵ ^c	۳/۲۳ ^c
I1Z1	۱/۳۲۳ ^c	۱۲/۶۰۲ ^a	۵۱/۹۰۵ ^c	۳/۵۵۳ ^c	۳۱/۲۲۲ ^c	۴/۹۷ ^c
I1Z2	۰/۹۳۹ ^c	۱۲/۲۸۸ ^a	۵۳/۰۱۲ ^c	۳/۸۴۶ ^c	۲۸/۵۵۶ ^c	۶/۲۳ ^c
I2Z1	۲/۴۰۳ ^c	۱۲/۳۷۸ ^a	۶۰/۸۳۳ ^c	۲/۶۶۳ ^c	۲۳/۱۱۱ ^c	۲/۹۴ ^c
I2Z2	۲/۱۲۹ ^c	۱۱/۰۲۲ ^a	۶۰/۶۹۰ ^c	۲/۲۸۲ ^c	۲۲/۸۸۹ ^c	۳/۰۳ ^c
M0Z1	۲/۲۲۷ ^c	۱۲/۷۳۳ ^a	۵۳/۳۶۰ ^c	۳/۰۲۵ ^c	۲۶/۵ ^c	۳/۷۱ ^c
M0Z2	۱/۶۹۷ ^c	۱۰/۹۹۵ ^a	۵۲/۰۷۱ ^c	۲/۶۲۲ ^c	۲۳/۵ ^c	۴/۵ ^c
M1Z1	۲/۰۱۷ ^c	۱۱/۶۷ ^a	۵۶/۹۶۵ ^c	۲/۶۳ ^c	۲۴/۱۶۷ ^c	۳/۲۲ ^c
M1Z2	۱/۱۵۵ ^c	۱۲/۳۲۲ ^a	۵۶/۱۹۵ ^c	۲/۸۹۲ ^c	۲۸/۳۳۳ ^c	۵/۱۲ ^c
M2Z1	۱/۳۴۷ ^c	۱۳/۰۶۷ ^a	۵۵/۱۸۸ ^c	۳/۶۷ ^c	۳۰/۸۳۳ ^c	۴/۹۲ ^c
M2Z2	۱/۷۵ ^c	۱۱/۶۴۸ ^a	۵۶/۴۱۵ ^c	۳/۶۷۸ ^c	۲۵/۳۳۳ ^c	۴/۲۸ ^c
I1M0Z1	۱/۶۲۳ ^c	۱۱/۸۴۷ ^a	۵۹/۹۸۳ ^c	۳/۱۸ ^c	۲۹/۳۳۳ ^c	۴/۷۶۷ ^c
I1M0Z2	۰/۷۸۷ ^c	۱۱/۴۶ ^a	۵۹/۸۷۷ ^c	۳/۲۴۳ ^c	۲۶ ^c	۶/۹ ^c
I1M1Z1	۱/۴۴۷ ^c	۱۱/۳۱۷ ^a	۵۸/۹۸۰ ^c	۳/۰۶ ^c	۲۵/۳۳۳ ^c	۳/۸۳ ^c
I1M1Z2	۰/۹۱۳ ^c	۱۳/۲۲ ^a	۶۰/۴۱۷ ^c	۳/۴۳۳ ^c	۳۱/۳۳۳ ^c	۶/۱۶۷ ^c
I1M2Z1	۰/۹ ^c	۱۴/۶۴۳ ^a	۶۳/۵۳۷ ^c	۴/۴۲ ^c	۳۹ ^c	۶/۳ ^c
I1M2Z2	۱/۱۱۷ ^c	۱۲/۱۸۳ ^a	۶۱/۷۷۷ ^c	۴/۸۶ ^c	۲۸/۳۳۳ ^c	۵/۶۳ ^c
I2M0Z1	۲/۸۳ ^c	۱۳/۶۲ ^a	۵۳/۹۴۷ ^c	۲/۸۷ ^c	۲۳/۶۶۷ ^c	۲/۶۷ ^c
I2M0Z2	۲/۶۰۷ ^c	۱۰/۵۳ ^a	۵۲/۵۱۳ ^c	۲ ^c	۲۱ ^c	۲/۱ ^c
I2M1Z1	۲/۵۸۷ ^c	۱۲/۰۲۳ ^a	۵۱/۳۹۷ ^c	۲/۲ ^c	۲۳ ^c	۲/۶ ^c
I2M1Z2	۱/۳۹۷ ^c	۱۱/۴۲۳ ^a	۵۲/۴۱۳ ^c	۲/۳۵ ^c	۲۵/۳۳۳ ^c	۴/۰۶۷ ^c
I2M2Z1	۱/۷۹۳ ^c	۱۱/۴۹ ^a	۵۴/۷۳۷ ^c	۲/۹۲ ^c	۲۲/۶۶۷ ^c	۳/۵۳ ^c
I2M2Z2	۲/۳۸۳ ^c	۱۱/۱۱۳ ^a	۵۱/۲۸۷ ^c	۲/۴۹۷ ^c	۲۲/۳۳۳ ^c	۲/۹۳ ^c

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

نتیجه

مقدار کل آب مجازی این تحقیق برابر با ۱/۲۶ متر مکعب بر کیلو گرم بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تاثیر کیفیت آب آبیاری بر صفات مورد بررسی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود اما اثر مقدار و اندازه زئولیت و برهمکنش آنها معنی‌دار نشد. بیشترین عملکرد برحسب تن بر هکتار با مقدار ۸/۲ در تیمار M2 به همراه I1 مشاهده شد و کمترین آب مجازی برحسب مترمکعب بر کیلوگرم با مقدار ۰/۶۶ مربوط به تیمار تیمار M2 به همراه I1 بود. بطور کلی نتایج نشان داد استفاده از زئولیت به دلیل تاثیر بر صفات گندم می‌تواند مفید باشد. کاربرد



سیاست تجارت آب مجازی گندم دارای چالش‌های خاص خود نیز هست از جمله مسائل واردات این محصول از نظر بی‌اعتمادی به تجارت جهانی در روابط سیاسی لازم با کشورهای صادر کننده؛ قیمت فروش محصول؛ هزینه فرصت آب مصرفی؛ سیاست خود کفایی نسبی در این محصول؛ و چگونگی اندازه گیری و مسائل پیچیدگی نحوه محاسبه آب مجازی محصولات کشاورزی در فرآیندهای مختلف تولید آن تا مرحله تولید غذا و مصرف آن در جامعه از ابعاد میزان ضایعات و آب مصرف شده تا تولید محصول نهایی. بررسی وضعیت آب مجازی گندم کشور و مقایسه آن با وضعیت جهانی تاکید می‌کند که ایران باید به طور جدی به بهبود مدیریت منابع آب و انتخاب راهبردی مناطق کشت گندم بپردازد. در این جهت توجه به تناسب اراضی، کاهش سطح زیر کشت در زمین‌های کم بازده، توجه به کمیت و کیفیت آب در مناطق تحت کشت، و ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌تواند در کاهش مصرف، آب بهبود تولید و کاهش آب مجازی گندم موثر باشد.

منابع

- اویسی، فاطمه؛ فتاحی اردکانی، احمد؛ فهرستی ثانی، مسعود. (۱۳۹۸). بررسی آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب در محصول گندم آبی استان اصفهان. *علوم آب و خاک*، ۲۳(۱)، ۸۷-۹۹.
- بلالی، حمید؛ اسدی بنی، مصطفی؛ مظفری، لیلا. (۱۴۰۰). برآورد تراز تجاری آب مجازی محصولات کشاورزی استان همدان، نشریه علمی پژوهشی *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۲(۲)، ۳۳۸-۳۵۷.
- حیدری، نادر؛ تاران، فرشید. (۱۴۰۳). بررسی وضعیت آب مجازی گندم آبی و ارائه راهکارهای فنی و سیاستی برای بهبود آن در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۲۵، ۱۵-۳۴.
- خسروشاهی، محمدرضا؛ کریمی، روح اله؛ ترنجیان، امین. (۱۴۰۲). تأثیر کاربرد خاکی ژئولیت طبیعی و کود دامی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی تاک انگور در شرایط تنش خشکی. *علوم زیستی گیاهی*، ۱۵(۱)، ۶۵-۸۴.
- دستباز، نادیه؛ محمودی، محمدعلی؛ کریمی، اکبر؛ صلواتی، سارا. (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد ژئولیت و نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن، رشد و عملکرد ذرت. *مهندسی زراعی*، ۴۵(۴)، ۳۹۱-۴۰۸.
- رحمانی، پویا؛ سفیدکوهی، محمدعلی؛ خوش روش، مجتبی. (۱۴۰۲). اولویت‌بندی الگوی کشت محصولات باغی با ترکیب مفاهیم آب مجازی (مطالعه موردی استان کردستان). *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۷(۶)، ۱۱۸۳-۱۱۹۴.
- رحمتی، هوشنگ؛ نخزری مقدم، علی. (۱۴۰۲). ارزیابی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک رقم‌های گندم دوروم تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۲(۴)، ۴۴۶-۴۶۷.
- رمضانی اعتدالی، هادی؛ آبابایی، بهنام. (۱۳۹۵). برآورد اجزاء ردپای آب مجازی در تولید جو در مقیاس ملی و استانی. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۰(۳)، ۴۳۱-۴۴۳.
- سیف زاده، سعید؛ اشکیانی، اشکان؛ شیرانی راد، امیرحسین؛ ولدآبادی، علیرضا؛ حدیدی ماسوله، علیرضا. (۱۴۰۰). تأثیر قطع آبیاری بر خصوصیات کیفی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط کاربرد روی. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۱(۴)، ۷۹-۹۳.
- عارفی زاده، فرخنده؛ امیری نژاد، مهدیه؛ رفیعی ساردوئی، الهام؛ بذرافشان، ام البنین. (۱۴۰۳). برآورد بیلان آب مجازی در بخش کشاورزی دشت جیرفت. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۴(۳)، ۱۳۱-۱۵۳.
- عبدلی، مجید. (۱۳۹۸). انتقال مجدد فتواسیمیلات‌ها راهکاری برای مقابله با تنش خشکی در گندم. *تولید و ژنتیک گیاهی*، ۲(۱)، ۸۷-۱۰۴.
- محسن زاده، رسول؛ فکوهی، ناصر. (۱۳۹۸). بحران آب در سایه ی کشاورزی افزایی و کشاورزی زدایی کشور: تشریح ارتباط بحران آب در بخش کشاورزی و وابستگی به نفت در کشور. *توسعه محلی (روستائی - شهری)*، ۱۱(۱)، ۲۶۷-۲۹۲.
- محمدرضاپور، ام البنی؛ محمدقاسمی، حوریه؛ جرگه، محمدرضا؛ کهخامقدم، پریسا. (۱۴۰۳). بررسی مکانی آب مجازی محصولات مهم کشاورزی در استان گلستان. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۴(۴)، ۱۶۱-۱۷۸.
- میرزاخانی، محمد؛ همتی، زهرا؛ ساجدی، نورعلی. (۱۳۹۴). پاسخ صفات زراعی و فیزیولوژیکی گندم پاییزه به تنش محدودیت رطوبتی و مصرف ژئولیت. *پژوهشهای زراعی ایران*، ۱۳(۱)، ۱۷۳-۱۸۳.

REFERENCES

- Abdoli, M (2019). Remobilization of photoassimilates a strategy to deal with drought stress in wheat. *Plant Production and Genetics*, 2(1), 87-104. (In Persian)
- Arefizadeh, F., Amirinejad, M., Rafiei-Sardooi, E., & Bazrafshan, O. (2024). *Evaluating Virtual Water Balance in Agricultural Part of Jiroft plain*. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 14(3), 131-153. (In Persian)

- Persian)
- Balali, H., Bani-Asadi, M., & Mozafari, L. (2021). *Estimation of Virtual Water Trade Balance of Agricultural Products in Hamadan Province*. Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 12(2), 338-357(In Persian)
- Chen, G. Q., & Li, J. S. (2015). Virtual water assessment for Macao, China: highlighting the role of external trade. Journal of Cleaner Production, 93, 308-317.
- Cui, S. et al. (2023). Fuzzy composite risk assessment of water-energy-food-carbon nexus in the dispark pumped irrigation system. Journal of Hydrology, 624, 129879.
- Ewaid, S. H. et al. (2020). Estimation the virtual water content and the virtual water transfer for Iraqi wheat, in Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 12143.
- Dastbaz, N., Mahmodi, M.A, Karimi, A, & Salavati, S. (2023). *The effect of zeolite and nitrogen application on nitrogen use efficiency, growth and yield of corn*. Agricultural Engineering, 45(4), 391-408. (In Persian).
- Heydari, N., & Taran, F. (2025). Investigating the virtual water status of irrigated wheat and providing technical and policy solutions for its improvement in Iran. Research on Irrigation and Drainage Structures Engineering, 25(Winter), 34-15. (In Persian)
- Hoehn, D. et al. (2021). Water footprint assessment of food loss and waste management strategies in spanish regions, Sustainability, 13(14), 7538.
- Lee, S.-H., Choi, J.-Y. & Yoo, S.-H. (2015). *Estimation of the virtual water consumption for food consumption and calorie supply*, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 57(3), 77-86.
- Mirzakhani, A., & Hemmati, Z., Sajedi, N, A. (2015). *Response of Wheat Physiological and Agronomic Traits to Water Stress and Zeolite Application*. Iranian Agricultural Research, 13(1), 173-183. (In Persian)
- Mohammadreapour, O., Ghasemi, H., Jarge, M.R., & Kahkhmoghadam, P. (2024). *Study of Virtual Water of Important Agricultural Products in Golestan province*. Journal of Irrigation and Water Engineering, 14(56), 161-178. (In Persian)
- Mohsenzadeh, R., & Fakouhi, N. (2019). Iran's Water Crisis in relation to the Country's Agriculturization and De-agriculturalization: Explaining the Relationship between Water Crisis in Agriculture Sector and Country's Oil Dependency. Community Development (Rural and Urban), 11(1), 267-292. (In Persian)
- Oveisi F, Fattahi Ardakani A, Fehrest-Sani M. Investigation of Virtual Water and Ecological Footprints of Water in Wheat Fields of Isfahan Province. jwss 2019; 23 (1) :87-99(In Persian)
- Odey, G. et al. (2022). Environmental and socioeconomic determinants of virtual water trade of grain products: an empirical analysis of South Korea using decomposition and decoupling model', *Agronomy*, 12(12), p. 3105.
- Zhang, S. et al. (2019). Regional water footprints and interregional virtual water transfers in China, Journal of Cleaner Production, 228, 1401-1412.
- Rahmani, P., Gholami Sefidkouhi, M.A., & KhoshRavesh, M. (2024). Prioritizing the cultivation Pattern of garden crops by combining the concepts of virtual water (Case Study: Kurdistan Province). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 17(6), 1183-1194. (In Persian).
- Rahmati, H., & Nakhaari Moghadam, A. (2023). Evaluation of agronomic and physiological characteristics of durum wheat cultivars under rainfed and supplementary irrigation conditions. Cereal Biotechnology and Biochemistry, 2(4), 446-467. (In Persian)
- Ramezani-Edelali, & A., Ababaei, B (2016). *Estimation of Water Footprint Components in Barley Production at National and Provincial Scales*. Iranian Journal of Water Research in Agriculture, 30(3), 431-443. (In Persian)
- Seyfzadeh, S., Ashkiani, A., Shirani-Rad, A.H., Valadabadi, A., & Hadidi-Masouleh, I. (2021). Effect of Irrigation Cut-off on Quality Characteristics and Grain Yield of Rapeseed Genotypes under Zinc Application Conditions. Agricultural Science and Sustainable Production, 31(4), 79-93. (In Persian)
- Zokaee Khosroshahi, M. D, Karimi, R, & Taranjian, M. (2023). The effect of soil application of natural zeolite and animal manure on physiological indices of grape vine under drought stress conditions. Plant Biological Sciences, 15(1), 65-84. (In Persian)