اثر سطوح متفاوت سوپرجاذب معدنی پومیس در شرایط شوری آب آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت رقم ماکسیما (*Zea Mays* CV. Maxima)

جعفر نیکبخت[۱*]، مهدی عباسی[۱]، افشین توکلی[۲]

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

*مسئول مکاتبه، پست الکترونیکی، Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

DOI: 10.30470/jsp.2026.735616

چکیده

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش گلدانی به‌منظور بررسی اثر سطوح متفاوت پومیس (صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی خاک) و آب آبیاری با شوری متفاوت (شوری کم و بالا) بر عملکرد و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب گیاه ذرت رقم ماکسیما اجرا شد. پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه احداث شده در شهرستان ماه‌نشان استان زنجان انجام شد. در طول دوره رشد، آب مورد نیاز از دو منبع آب شهری ماه‌نشان (شوری اندک) و رودخانه قزل‌اوزن (شوری بالا) تأمین شد. یافته‌ها نشان داد، بیشترین میانگین ارتفاع گیاه، قطر ساقه، سطح برگ، عملکرد تر و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (به ترتیب ۲۲۰ سانتی‌متر، ۲/۷ سانتی‌متر، ۶۲۳۳/۱ سانتی‌مترمربع، ۵۱۳/۳ گرم در بوته و ۸/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار پومیس ۱۰ درصد–شوری اندک حاصل شد که نسبت به تیمار صفر درصد پومیس–شوری اندک (شاهد) به ترتیب ٤/٤، ۱۲/۵، ۷/۹، ۲۸/۳ و ۲۸/۳ درصد افزایش داشت. کمترین میانگین ارتفاع گیاه، قطر ساقه، سطح برگ، عملکرد تر و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (به ترتیب ۱۵۱/۷ سانتی‌متر، ۲/۰ سانتی‌متر، ۳۹۸۹/۵ سانتی‌مترمربع، ۲۸٦/۷ گرم در بوته و ٤/۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار پومیس ۲۰ درصد–شوری بالا بود که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۸/۰، ۱٦/۷، ۳۱/۰، ۲۸/۳ و ۲۸/۳ درصد کمتر شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد در سطح شوری اندک آب، با افزایش میزان پومیس اضافه شده به خاک از ۱۰ درصد به ۲۰ درصد و همچنین در شوری بالا، افزودن پومیس با سطوح متفاوت به خاک، باعث کاهش میانگین صفات گیاهی و بهره‌وری مصرف آب شد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری فیزیکی مصرف آب، سوپرجاذب رطوبت پومیس، شوری آب آبیاری، عملکرد و اجزای عملکرد،

Effect of different levels of pumice mineral superabsorbent in irrigation water salinity conditions on yield and water productivity of maize cultivar Maxima (*Zea Mays* CV. Maxima)

J. Nikbakht [1*], M. Abbassi [1], A. Tavakoli [2]

1.Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2.Department of Agronomy and plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
*Corresponding Author, Email: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir
Received: November 2025 Accepted: February 2026
DOI: 10.30470/jsp.2026.735616

Abstract

The present study was conducted as a pot experiment to evaluate the effects of different levels of pumice (0, 10, and 20% v/v of soil) and irrigation water salinity (low and high) on yield and water productivity of maize (cv. Maxima). The experiment was arranged as a factorial in a randomized complete block design with three replications in a greenhouse in Mahneshan, Zanjan-Iran. During the growing period, irrigation water was supplied from Mahneshan's municipal water (low salinity) and Qezel-Ozan River (high salinity). The results showed that the highest mean plant height, stem diameter, leaf area, fresh yield, and water physical productivity (220cm, 2.7cm, 6233.1cm², 513. 3g plant^{-1}, and 8.1Kg m^{-3}, respectively) were obtained in 10% pumice-low salinity treatment which compared with the control (0% pumice-low salinity), these values increased by 4.4%, 12.5%, 7.9%, 28.3%, and 28.3%, respectively. The lowest mean plant height, stem diameter, leaf area, fresh yield, and water productivity (151.7cm, 2.0cm, 3989.5cm², 286.7g plant^{-1}, and 4.5Kg L^{-3}, respectively) were observed in 20% pumice-high salinity treatment, which represented decreases of 28.0%, 16.7%, 31.0%, 28.3%, and 28.3%, respectively, compared with the control. Overall, the findings indicated in low-salinity irrigation water, increasing the pumice content from 10% to 20% reduced the mean plant traits and water productivity. Moreover, in high salinity water conditions, the addition of pumice at different levels led to reductions in plant growth characteristics and water productivity.

Keywords: Irrigation water salinity, Superabsorbent pumice, Water physical productivity, Yield and yield components

مقدمه

استفاده مؤثر از آب خاک در کشاورزی یکی از مهم‌ترین اولویت‌ها در جهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. با توجه به این که بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف کننده آب در ایران محسوب می‌شود (۷٤ درصد از حجم آب برداشتی از منابع آب کشور)، لازم است با اعمال مدیریت‌های صحیح در بخش کشاورزی فاریاب، علاوه بر کاهش مصرف آب، پایداری در بهره‌برداری از منابع آب محدود کشور برقرار شود. امروزه از سوپرجاذب‌های رطوبت به عنوان یک ماده با پتانسیل جذب و نگهداری رطوبت خاک برای کاهش اتلاف آب آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (Ahmadi et al., 2024; Zarehaggi et al., 2016). یکی از موادی که به عنوان سوپرجاذب رطوبت مورد استفاده قرار می‌گیرد پومیس است که یک سنگ سیلیسی سبک و متخلخل با ظاهری اسفنجی بوده که در طول فوران‌های آتشفشانی تشکیل می‌شود. پومیس عمدتاً از SiO_2 و Al_2O_3 تشکیل شده است. جرم مخصوص پومیس کم (بین ۰/۳۵ تا ۰/٦۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و حجم آن زیاد بوده و ترکیبی با پتانسیل بالا برای جذب و نگهداری آب (۲۰ تا ۳۰ درصد) می‌باشد. پومیس در خاک علاوه بر بهبود نفوذ، تهویه و هدایت آب، سبب کاهش اثرات منفی سله، ترک خوردگی، غرقاب، تورم و چروکیدگی خاک شده و به علت داشتن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پایدار، به مدت طولانی در خاک باقی‌مانده و قابل استفاده است (Nasiri et al., 2019; Kong et al., 2021; Hassanpour et al., 2023; Ahmadi et al., 2024). سهین و همکاران (Sahin et al., 2005) طی پژوهشی اثر افزودن مقدار متفاوت پومیس (۱۵، ۳۰ و ٤۵ درصد حجمی) و اندازه آن (۲-٤ و ٤-۸ میلی‌متر) در بستر کاشت بر خصوصیات فیزیکی خاک و شرایط رشدی توت‌فرنگی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین مقدار محتوی رطوبت خاک در اعمال مکش صفر تا ۰/۹۸ کیلوپاسکال در تیمارهای ٤۵ درصد حجمی پومیس و اندازه‌های ۲-٤ و ٤-۸ میلی‌متر (به ترتیب ۳٤/۹۱ و ۳٤/۱۸ درصد) و کمترین مقدار در تیمار شاهد یا بدون استفاده از پومیس (۲۱/۸۳ درصد) بود. بیشترین سطح برگ بوته توت‌فرنگی در تیمارهای تیمارهای ٤۵ درصد حجمی پومیس و اندازه‌های ۲-٤ و ٤-۸ میلی‌متر (به ترتیب ۱۳۸/۵۰ و ۱۵۷/۰٤ سانتی‌متر مربع) و کمترین سطح برگ در تیمار شاهد (٦۰/۷۸ سانتی‌متر مربع) به دست آمد. همچنین مشاهده شد افزودن پومیس به بستر کشت با مقدار و اندازه متفاوت نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش وزن تازه میوه شد که بیشترین و کمترین افزایش به ترتیب در تیمارهای ٤۵ درصد حجمی پومیس با اندازه ٤-۸ میلی‌متر و شاهد (۱۸۸/۱۷ و ۵۹/۰۳ درصد) بود. ملکیان و همکاران (Malekian et al., 2012) طی پژوهشی گلخانه‌ای-گلدانی، با افزودن مقادیر متفاوت پومیس به بستر کشت ذرت (به ترتیب صفر، ۱/۲، ۲/٤ و ۳/٦ گرم در کیلوگرم پومیس) و اندازه‌گیری مرتب محتوی رطوبت خاک در دوره‌های ۱۵ روزه، مشاهده کردند متوسط این پارامتر با افزایش مقدار پومیس افزوده شده به خاک افزایش یافت (۲۲/٤ (شاهد)، ۲۵/٤، ۲۹/٤ و ۳٤/۳). همچنین بیشترین ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه در تیمار ۳/٦ گرم در کیلوگرم پومیس (به ترتیب ۲/۱۰ متر، ۵/۰۹ و ٤/۱۱ تن در هکتار) و کمترین مقدار این صفات در تیمار شاهد (۱/٦۰ متر، ۳/۰٦ و ۳/۸۰ تن در هکتار) بود. زارع‌حقی و همکاران (Zarehaggi et al., 2016) طی پژوهشی مشاهده کردند کاربرد پنج سطح پومیس در خاک (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار) در کشت گلرنگ دیم باعث افزایش نگهداشت رطوبت توسط خاک شد به‌طوری که در طول دوره رشد کمترین و بیشترین مقدار نگهداشت رطوبت به‌ترتیب در تیمارهای صفر و ۳۰ تن در هکتار پومیس (۳/۸۷ و ۱۲/۲۰ درصد) حاصل شد. همچنین بیشترین افزایش معنی‌دار جوانه‌زنی، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و ارتفاع گیاه گلرنگ (به ترتیب ٤۳، ٤۷، ۷٤ و ۱٤ درصد) نسبت به

شاهد، در تیمار ۳۰ تن در هکتار پومیس به دست آمد. ارزیابی اثرات سطوح مختلف پومیس (شاهد (بدون پومیس)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد پومیس) بر میزان رطوبت خاک و رشد نهال زیتون روسی طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در شرایط دیم نشان داد ارتفاع نهال، قطر طوقه و سطح برگ در تیمار ۳۰ درصد پومیس نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۸۷/۵، ۸۳/۹ و ۸۶/۱ درصد افزایش معنی‌دار داشت. در انتهای فصل، حجم رطوبت خاک در تیمار شاهد و ۳۰ درصد پومیس به ترتیب ۳/۵ و ۱۳/۵ درصد بود (Hassanpour et al., 2023). نتایج تحقیق احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2024) نشان داد کاربرد ۶۰ تن در هکتار پومیس نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار تعداد در بوته، عملکرد دانه، وزن خشک بوته و تعداد غلاف در بوته گیاه سویا (به ترتیب ۱۳/۳، ۳۷/۹، ۵۷/۳۰ و ۱۱/۸ درصد) شد.

در سال‌های اخیر افزایش برداشت آب از منابع آب شیرین، موجب کاهش حجم آب محدود این منابع مخصوصا در مناطق خشک و نیمه‌خشک گردیده که بر این اساس اولویت بهره‌برداری و استفاده از این منابع به آب شرب و امنیت غذایی تغییر یافته است (Kong et al., 2021). در این شرایط کشاورزان مخصوصا در مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی ناگزیر به استفاده از آب‌های با کیفیت پائین به ویژه آب‌های شور و لب‌شور برای آبیاری محصولات کشاورزی شده‌اند (Dehghanisanij, 2012). کاربرد این آب‌ها برای آبیاری بدون اعمال آبشویی کامل نمک‌ها، به مرور زمان باعث تجمع نمک‌های محلول در محیط توسعه ریشه خاک (به دلیل اندک بودن بارندگی در این مناطق) می‌گردد. وقوع این حالت در گیاهان باعث ایجاد تنش اسمزی و یونی و در نتیجه کاهش عملکرد و در خاک موجب پراکندگی خاکدانه‌ها و ایجاد مشکلات نفوذپذیری، تخلخل، هدایت هیدرولیکی، اختلال در فعالیت بیولوژیکی و کاهش تنفس، فعالیت‌های آنزیمی و زیست توده میکروبی می‌گردد (Kong et al., 2021). در این شرایط به منظور کاهش اثرات شوری آب بر گیاه و خاک لازم است مدیریت دقیق آبیاری صورت گیرد. در این رابطه برخی محققین طی پژوهش‌های خود اثر افزودن مواد متفاوت به بستر کشت بر کاهش اثرات شوری آب آبیاری بر عملکرد گیاه را مورد بررسی قرار داده‌اند.

قاسمی‌صاحبی و همکاران (Ghassemi Sahebi et al., 2019) طی پژوهشی اثر افزودن زئولیت کلسیک و زئولیت پتاسیک به خاک در شراط استفاده از مخلوط آب چاه با آب دریای خزر و همچنین آب فاضلاب تصفیه شده با آب دریا را بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین و کمترین میزان عملکرد علوفه تر (به ترتیب ۱۲۹ و ٤٦/٩١ تن در هکتار) به‌ترتیب در تیماره فاضلاب تصفیه شده با زئولیت کلسیک و اختلاط ۷۵درصد آب دریای خزر و ۲۵ درصد آب چاه بدون زئولیت بود که نسبت به تیمار شاهد (بدون زئولیت و آبیاری با آب چاه) به‌ترتیب ۵۹/٤۳ درصد بیش‌تر و ٤۲ درصد کمتر بود. الفدیل و همکاران (Alfadil et al., 2021) در تحقیقی اثر کاربرد سه سطح بیوچار ساقه گندم (صفر (B0)، ۵ (B5) و ۱۰ (B10) درصد) به خاک بر عملکرد ذرت و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در شرایط آبیاری با آب شور (در دو سطح ۲ (S2) و ۵ (S5) دسی‌زیمنس بر متر) و کم‌آبیاری (٦٠ (I60)، ۷۵ (I75) و ۱۰۰ (I100) درصد تبخیر-تعرق مرجع) را بررسی کردند. بیشترین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در تیمار I100B10S2 (به ترتیب ۲۵۷/۷ گرم بر بوته و ۲/۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین مقدار در تیمار I60S5B0 (به ترتیب ۱۲۱/۹ گرم بر بوته و ۱/۹٦ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. بیشترین و کمترین EC خاک در شرایط آبیاری کامل (I100) به ترتیب در تیمارهای B10S2 و B0S2 (به ترتیب ۱۱/٦۵ و ٤/۹۲ دسی‌زیمنس بر متر) حاصل شد. کونگ و همکاران (Kong et al., 2021) در پژوهشی اثر افزودن منفرد/ترکیبی پومیس (۳ و ۱۲ درصد) و جلبک (۲ درصد) به خاک شنی تهیه شده از سواحل نیوزلند تحت آبیاری با آب شور (٦/٤ دسی‌زیمنس بر متر) بر رشد یونجه را

بررسی کردند. بر اساس نتایج در کلیه تیمارهای دریافت کننده آب شور نسبت به تیمار شاهد (آبیاری با آب دیونیزه شده)، زیست‌توده خشک (DW) و نرخ رشد نسبی گیاه (RGR) کمتر بود. اما در تیمارهای آبیاری با آب شور، بیشترین مقدار DW و RGR در تیمار پومیس ۱۲درصد به همراه جلبک ۲درصد (به ترتیب ۱/٦۹ گرم در مترمربع و ۰/۰٦ میلی‌گرم در گرم در روز) بود که نسبت به سایر تیمارها (DW کمتر از ۱/۱۳ گرم در متر مربع و RGR کمتر از ۰/۰٥٦ میلی‌گرم در گرم در روز) تفاوت معنی‌دار داشت.

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کاربرد سطوح متفاوت پومیس در شرایط آبیاری با آب شور بر عملکرد و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب ذرت رقم ماکسیما بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش گلدانی بر روی گیاه ذرت رقم ماکسیما (*Zea Mays* Cv. Maxima) در گلخانه احداث شده در محوطه اداره مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان ماه‌نشان استان زنجان با موقعیت جغرافیایی ″۱۷′٤۰°٤۷ طول شرقی و ″٤۰′٤٤°۳٦ عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۰٤ متر از سطح دریا (شکل ۱) انجام شد. بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه اقلیم حاکم بر شهرستان ماه‌نشان خشک و سرد می‌باشد. پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل ۲ عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در ۳ تکرار در گلدان‌هایی با قطر ۳۰ و ارتفاع ٤٥ سانتی‌متر انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل میزان پومیس اضافه شده به خاک در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی خاک) و شوری آب آبیاری در دو سطح (آب با شوری کم و بالا) بود. تیمار شوری اندک و سطح پومیس صفر به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد.

شکل ۱- گلخانه احداث شده با داربست فلزی و گلدان‌های چیدمان شده در داخل آن

خاک مورد استفاده در این پژوهش از خاک سطحی (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) یکی از اراضی کشاورزی شهرستان ماه‌نشان تهیه شد. به منظور جداسازی سنگریزه‌ها از خاک، از الک شماره ۲ (٥ سانتی‌متر) استفاده شد. هم‌چنین کلیه ریشه‌ها، شاخ و برگ باقی‌مانده از کشت‌های قبلی از خاک جدا شد. جدول ۱ مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش.

pH	ECe (dS/m)	O.C. (%)	Ca (ppm)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Soil texture
۷/۸	۲/٦	۰/٥٤	۱۰	۸	۱٤	۷۸	Loamy sandy

سنگ‌های پومیس مورد نیاز، از معدن حسن‌آباد ماهنشان، تهیه شده و پس از خرد کردن با ضربات آرام چکش و سرند کردن، دانه‌های با اندازه ۱-۲ میلی‌متر (عبور یافته از الک نمره ۱۰ و باقیمانده روی الک شماره ۱۸) از بقیه جدا شده و در آزمایش استفاده شد. جدول ۲ تجزیه کانی‌شناسی سنگ پومیس مورد استفاده که از طریق تابش اشعه X به دست آمده را نشان می‌دهد.

جدول۲ - تجزیه کانی‌شناسی سنگ پومیس مورد استفاده در آزمایش (درصد وزنی).

LOI	Cl	K_2O	Na_2O	So_3	MgO	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
۳/۳٤	۰/۰۰۸	۲/٤۰	۳/۷۲	۰/۱۷	۰/۸۳	٤/۱۰	۲/۸۰	۱٥/۹۲	٦٤/۹۲

LOI: درصد وزنی از دست رفته در اثر احتراق

آب آبیاری مورد استفاده در این پژوهش از دو منبع آب لوله‌کشی شهر ماه‌نشان (به عنوان آب با سطح شوری پائین) و آب رودخانه قزل‌اوزن (به عنوان آب با سطح شوری بالا که در طول مدت انجام به محل آزمایش انتقال داده می‌شد) تهیه گردید. لازم به توضیح است که آب لوله‌کشی شهر ماه‌نشان قابل شرب نبوده و فقط برای مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول ۳ نتایج تجزیه شیمیایی دو نوع آب مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. با اختلاط کامل خاک و پومیس با نسبت‌های معین شده هر تیمار (۱۰ و ۲۰ درصد)، بستر کشت آماده گشته (شکل ۲)، سپس درون هر گلدان با توجه به تیمار گلدان به مقدار مساوی (حدود ۲۰ کیلوگرم) بستر کشت ریخته شد. به منظور تأمین زهکش کامل گلدان‌ها، در کف آنها یک لایه شن با قطر حدود ۲ سانتی‌متر و به ارتفاع حدود ٥ سانتی‌متر ریخته شد (شکل ۳).

جدول ۳- برخی از خصوصیات شیمیایی دو آب آبیاری.

نمونه آب آبیاری	pH	EC	Co_3^{2-}	HCo_3^-	Na^+	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}
	-	دسی‌زیمنس بر متر			میلی‌گرم بر لیتر			
آب شهری	۷/٤	۳/٦	۹۸/٥	٦٤	۲٤/۸	۳٥	۱/۲	۱۰
آب رودخانه قزل‌اوزن	۷/۷	٤/۳	۱۱۲	۹۲	٤۷/٤	٦۳	۱/۱	۱۱/۲

شکل ۲- تیمار خاک و ۱۰ درصد پومیس قبل از اختلاط

شکل ۳- ریختن یک لایه شن برای زهکشی کامل گلدان‌ها

پس از چیدمان گلدان‌ها در درون گلخانه بر اساس طرح آزمایشی طراحی شده و قبل از کشت بذرها، به منظور تخلیه نمک احتمالی موجود در خاک ناشی از آبیاری‌های قبلی، خاک کلیه گلدان‌ها با آب شهری با مقدار زیاد غرقاب شد به طوری که کاملا آب از انتهای گلدان‌ها زهکش شود. پس از چند روز که سطح خاک گلدان‌ها خشک شد، در تمام آن‌ها به تعداد ۳ عدد بذر ذرت (رقم ماکسیما) سالم، بدون نقص ظاهری، شکستگی و بدون آسیب حشره در عمق حدود ۳-٤ سانتی‌متر کشت گردیده و بر اساس تیمار آب هر گلدان، تمام گلدان‌ها به صورت سطحی آبیاری شد. در این پژوهش اعمال تیمار سطح شوری آب آبیاری از ابتدای آزمایش اعمال گردید. پس از جوانه‌زنی و استقرار اولیه‌ی گیاه، قوی‌ترین بوته نگه داشته شد و سایر بوته‌های جوانه‌زده در گلدان به آرامی با قیچی از محل طوقه بریده شدند. در ابتدای دوره رشد دور آبیاری ۳ روز بود که در اواسط دوره رشد و هم زمان با افزایش دما و همچنین رشد گیاه آبیاری به طور روزانه صورت گرفت. در این پژوهش، برای تعیین حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری، از روش بیلان حجمی استفاده شد (رابطه ۱).

رابطه۱ $I+O=\Delta S$

I: آب ورودی به گلدان از طریق آبیاری، O: آب زهکشی شده از انتهای گلدان و S□: جبران رطوبت خارج شده از خاک گلدان در فاصله بین دو آبیاری به علت تبخیر-تعرق گیاه (Nikbakht et al., 2022). پس از محاسبه حجم آب آبیاری در هر دور آبیاری، به منظور انجام آبشویی، ۱۰ درصد آب به حجم محاسبه شده اضافه می‌شد.

در پایان فصل رشد بوته‌ها از محل طوقه بریده شده و سپس صفات وزن بوته‌ها (به کمک ترازوی دقیق)، ارتفاع نهایی گیاه و قطر ساقه در محل طوقه (با استفاده از متر) و سطح برگ گیاه (با دستگاه اسکنر نوری) اندازه‌گیری شد. در نهایت بهره‌وری فیزیکی مصرف آب از رابطه ۲ محاسبه شد.

رابطه۲ $WP=\frac{TPWM}{TUW}$

در رابطه (۲)، WP: بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ TPWM: وزن تر اندام هوایی گیاه (کیلوگرم) و TUW: کل آب مصرف شده در طول دوره رشد (مترمکعب) می‌باشد (Nikbakht et al., 2022).

نتایج

نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در ذرت رقم ماکسیما تحت تأثیر سطوح متفاوت پومیس و شوری آب آبیاری در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱ نتیجه می‌شود استفاده از سطوح متفاوت پومیس و همچنین شوری آب آبیاری بجز صفات قطر ساقه و سطح برگ در بقیه صفات معنی‌دار شد. اثر متقابل سطح پومیس و شوری آب آبیاری بر کلیه

صفات اندازه‌گیری اثر معنی‌دار داشت. مقادیر ضریب همبستگی و P Value بین صفات اندازه‌گیری شده در ذرت تحت تأثیر سطوح متفاوت پومیس و شوری در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در ذرت رقم ماکسیما تحت تأثیر سطوح متفاوت پومیس

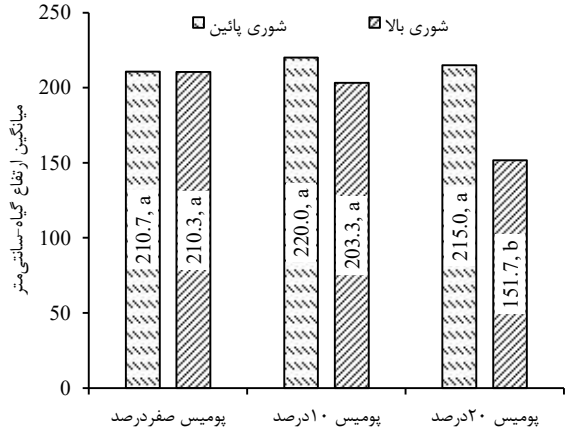
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	سطح برگ	وزن بوته	بهره‌وری فیزیکی مصرف آب
تکرار	۲	۵۵۸۷/۱۷***	۰/۰۹۲***	۳۲۷٤۲۰۱/۰۹***	٦۳۰۵۹/۷۲***	۱۵/۸۰***
سطح پومیس	۲	۱۹۲۳/۵۰***	۰/۰۱۰ns	۲۱۹۱۰۱/۵۷ns	۱۱۹۳٤/۷۲*	۳/۰۱*
سطح شوری	۱	۱۱۰٤/۵۰*	۰/۰۰۲ns	۱۱٤۸٤۸/۲۷ns	٦۱۸۳٤/۷۲***	۱۵/۵۳***
پومیس × شوری	۲	۲۲۸۳/۱۷***	۰/۲۳٤***	٤۳۸٤٤۲۲/۹۹***	۱۱٦۵۱/۳۹*	۲/۹۱*
خطا	۱۰	۲۳۵/۰۳	۰/۰۱	۱۵۰۱۰۱/۰۸	۲۹٤۹/۷۲	۰/۷٤
ضریب تغییرات	---	۷/٦	٤/۳	۷/۳	۱۵/۱	۱۵/۱

*، **، *** و ns به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح پنج، یک و ۰/۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.

جدول ۵- مقادیر ضریب همبستگی و P Value بین صفات اندازه‌گیری شده در ذرت تحت تأثیر سطوح متفاوت پومیس و شوری

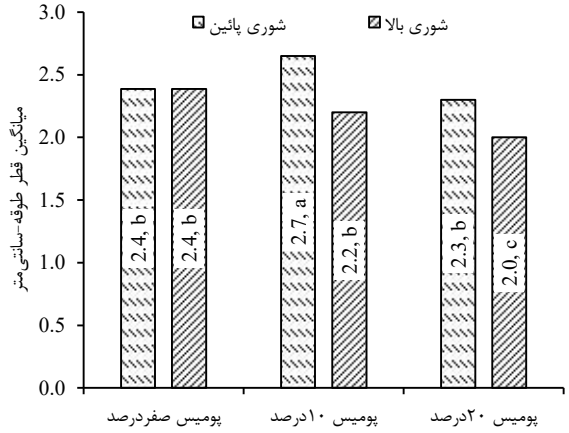
صفت		ارتفاع گیاه	قطر ساقه	سطح برگ	وزن تر بوته	بهره‌وری فیزیکی مصرف آب
ارتفاع گیاه	ضریب همبستگی	۱				
	P Value	---				
قطر ساقه	ضریب همبستگی	۰/۴۹۳*	۱			
	P Value	۰/۰۳۸	---			
سطح برگ	ضریب همبستگی	۰/۷۸۳**	۰/۷۷۵**	۱		
	P Value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	---		
وزن تر بوته	ضریب همبستگی	۰/۶۲۷**	۰/۵۴۰*	۰/۵۵۴*	۱	
	P Value	۰/۰۰۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷	---	
بهره‌وری فیزیکی مصرف آب	ضریب همبستگی	۰/۶۲۷**	۰/۵۳۹*	۰/۵۵۳*	۱/۰۰۰**	۱
	P Value	۰/۰۰۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	---

شکل ٤، نتایج اثرات متقابل کاربرد سطوح متفاوت پومیس و شوری بر میانگین ارتفاع گیاه را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد در سطح شوری پائین، بیشترین ارتفاع گیاه، با کاربرد ۱۰ درصد پومیس (۲۲۰ سانتی‌متر) حاصل شد که نسبت به تیمار صفر درصد ۹/۳ سانتی‌متر (٤/٤ درصد) و نسبت به تیمار ۲۰ درصد پومیس ۵ سانتی‌متر (۲/۳ درصد) بیش‌تر بود. همچنین میانگین ارتفاع گیاه در سطح پومیس ۲۰ درصد نسبت به تیمار شاهد ٤/۳ سانتی‌متر (۲/۰ درصد) بیش‌تر شد. اما بر اساس نتایج، در شرایط آبیاری گیاهان با آب با سطح شوری بالا، میانگین ارتفاع گیاه در سطح پومیس ۱۰ و ۲۰ درصد نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۷/٤ و ۵۹ سانتی‌متر (۳/۵ و ۲۸/۰ درصد) کاهش یافت. همچنین در این شرایط آبیاری، میانگین ارتفاع گیاه در تیمار پومیس ۲۰ درصد نسبت به تیمار ۱۰ درصد پومیس، ۵۱/٦ سانتی‌متر (۲۵/٤ درصد) کاهش یافت. بر اساس نتایج شکل ۱، مشاهده می‌شود در هر سطح از پومیس، افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش میانگین ارتفاع گیاه شد که بیشترین کاهش در سطح ۲۰ درصد پومیس (٦۳/۳ سانتی‌متر) و کمترین کاهش در سطح صفر درصد پومیس (۰/٤ سانتی‌متر) بود.



شکل ۴- تأثیر سطوح متفاوت پومیس و شوری بر میانگین ارتفاع ذرت رقم ماکسیما

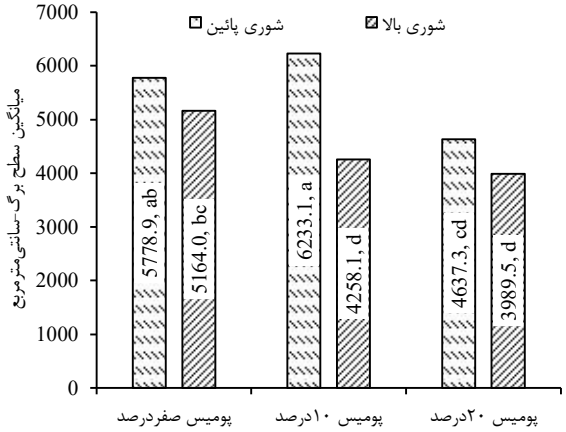
نتایج اثرات متقابل کاربرد سطوح متفاوت پومیس و شوری بر میانگین قطر ساقه در محل طوقه در شکل ۵ نشان داده شده است. همانند صفت ارتفاع گیاه، در این صفت نیز در سطح شوری پائین با افزایش سطح پومیس ابتدا میانگین قطر ساقه افزایش و سپس کاهش داشت که در سطح شوری بالا، با افزایش سطح پومیس، روند کاهشی بود. همچنین بیشترین میانگین قطر ساقه در پومیس ۱۰ درصد–سطح شوری پائین (۲/۷ سانتی‌متر) و کمترین میانگین قطر ساقه در تیمار پومیس ۲۰ درصد–سطح شوری بالا (۲/۰ سانتی‌متر) حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۰/۳ و ۰/٤– سانتی‌متر (۱۲/۵ و ۱٦/۷ درصد) تفاوت معنی‌دار داشت.



شکل ۵- تأثیر سطوح متفاوت پومیس و شوری بر میانگین قطر طوقه ذرت رقم ماکسیما

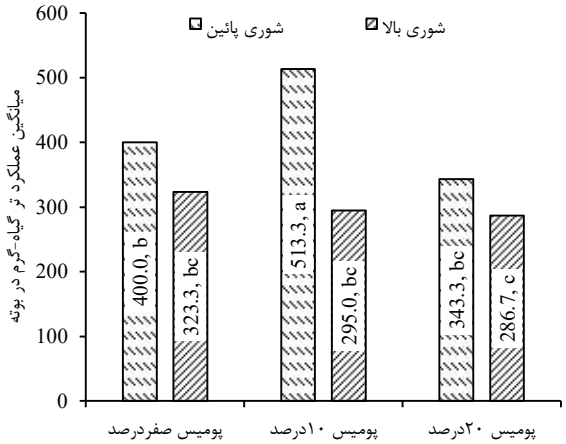
روند تغییرات میانگین سطح برگ گیاه ذرت در سطح شوری پائین همانند دو صفت بررسی شده قبلی، در سطح پومیس ۱۰ درصد افزایشی (٤٥٤/۲ سانتی‌متر مربع یا ۷/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد) و در سطح ۲۰ درصد پومیس، کاهشی (۱۱٤۱/٦– سانتی‌متر مربع یا ۱۹/۸– درصد اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد) بود (شکل ٦). اما در سطح شوری بالا در هر سه سطح پومیس، میانگین سطح برگ گیاه نسبت به سطح پومیس کمتر و تیمار شاهد روند کاهشی داشت که بیشترین کاهش نسبت به تیمار شاهد در تیمار پومیس ۲۰ درصد–شوری بالا (۱۷۸۹/٤– سانتی‌متر مربع یا ۳۱/۰– درصد اختلاف معنی‌دار) بود. در سطح پومیس ۱۰ درصد، بیشترین اختلاف بین میانگین ارتفاع گیاه در دو سطح شوری

متفاوت حاصل شد (۱۹۷۵ سانتی‌متر مربع یا ۳۱/۷ درصد کاهش معنی‌دار).



شکل ۶- تأثیر سطوح متفاوت پومیس و شوری بر میانگین سطح برگ ذرت رقم ماکسیما

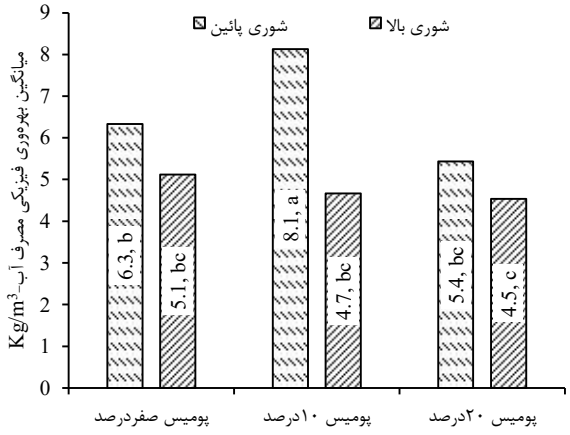
بر اساس نتایج این پژوهش، بیشترین عملکرد تر گیاه ذرت رقم ماکسیما در تیمار پومیس ۱۰ درصد–شوری پائین (۵۱۳/۳ گرم در بوته) حاصل شد (شکل ۷) که نسبت به تیمار شاهد (۴۰۰/۰ گرم در بوته) ۱۱۳/۳ گرم (۲۸/۳ درصد) و نسبت به تیمار پومیس ۱۰ درصد–شوری بالا ۲۱۸/۳ گرم (۵٤/٦ درصد) بیشتر بود (اختلاف معنی‌دار). افزودن ۲۰ درصد پومیس موجب شد میانگین عملکرد گیاه در تیمار شوری پائین نسبت به تیمار شاهد ۵٦/۷- گرم (۱٤/۲- درصد) و نسبت به شوری بالا ۱۱۳/۳- گرم (۲۸/۳- درصد) کاهش یافت.



شکل ۷- تأثیر سطوح متفاوت پومیس و شوری بر میانگین عملکرد تر ذرت رقم ماکسیما

در پژوهش حاضر، کل آب مورد استفاده برای آبیاری هر گلدان در طول دوره رشد گیاه ذرت، ٦۳/۱۵ لیتر بود. بنابراین با در نظر گرفتن رابطه محاسبه بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (رابطه ۲)، نتایج حاصل برای این صفت کاملاً مشابه با نتایج عملکرد گیاه بود (شکل ۸). در هر سطح پومیس، با افزایش شوری آب آبیاری، به دلیل کاهش میانگین عملکرد گیاه، میانگین بهره‌وری فیزیکی مصرف آب نیز کاهش یافت که میزان کاهش در تیمارهای صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد پومیس به ترتیب ۱/۲-، ۳/٤- و ۰/۹- کیلوگرم بر مترمکعب (۱۹/۰-، ۷۲/۳- و

۱۶/۷- درصد) بود که در تیمار ۱۰ درصد پومیس کاهش معنی‌دار و در سطوح دیگر پومیس از نظر آماری، کاهش معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج شکل ۸، ملاحظه می‌شود که بیشترین میانگین بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمار پومیس ۱۰ درصد-شوری پائین (۸/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بود که نسبت به تیمار شاهد (۶/۳ کیلوگرم بر مترمکعب) ۱/۸ گرم در بوته (۲۸/۶ درصد) بیشتر شد. اما کاربرد هم‌زمان ۲۰ درصد پومیس و آب شور برای آبیاری گیاهان ذرت رقم ماکسیما موجب کاهش میانگین بهره‌وری فیزیکی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱/۸- گرم در بوته (۲۸/۶- درصد) کاهش معنی‌دار داشت.



شکل ۸- تأثیر سطوح متفاوت پومیس و شوری بر میانگین بهره‌وری فیزیکی مصرف آب ذرت رقم ماکسیما

بحث

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد بین صفات گیاهی اندازه‌گیری شده در این پژوهش، همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. افزودن پومیس به خاک به عنوان سوپرجاذب رطوبت، باعث اصلاح شرایط فیزیکی خاک از طریق افزایش تخلخل درشت خاک، جلوگیری از تشکیل سله و افزایش رطوبت قابل دسترس گیاه می‌گردد (Sahin et al., 2005؛ Zarehaggi et al., 2016؛ Malekian et al., 2012). در نتیجه ایجاد این شرایط، دسترسی گیاه به آب افزایش یافته، بنابراین آماس سلولی و پتانسیل فشاری آب در سلول افزایش یافته و در نتیجه تقسیم سلولی در بافت‌های برگ‌ها و سطح برگ افزایش می‌یابد. با افزایش سطح برگ، فتوسنتز گیاه و در پی آن غذاسازی افزایش می‌یابد. بنابراین سایر اندام‌های گیاهی شامل قطر ساقه و ارتفاع گیاه نیز افزایش یافته و در حالت کلی عملکرد کل گیاه افزایش می‌یابد که در نهایت بهره‌وری فیزیکی مصرف آب نیز افزایش می‌یابد (Khandehruyan, 2012). سهین و همکاران (Sahin et al., 2005) مشاهده کردند افزودن پومیس با سطوح و اندازه‌های متفاوت به خاک، باعث افزایش سطح برگ و عملکرد گیاه توت‌فرنگی شد. در پژوهش ملکیان و همکاران (Malekian et al., 2012)، با افزایش سطح پومیس مورد استفاده در خاک از صفر به ۳/۶ گرم در کیلوگرم، صفات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، قطر ساقه و عملکرد ذرت افزایش یافت. زارع‌حقی و همکاران (Zarehaggi et al., 2016) ملاحظه کردند ارتفاع گیاه گلرنگ با افزایش میزان پومیس اضافه شده به خاک، از صفر به ۱۰ درصد، افزایش معنی‌دار داشت اما میزان افزایش در سطوح ۱۰، ۱۵ و ۳۰ درصد پومیس، از نظر آماری در یک رده قرار داشت. همچنین عملکرد گیاه با افزایش سطح پومیس افزایش معنی‌دار داشت. نصیری و همکاران (Nasiri et al., 2019) با افزودن ۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار پومیس به خاک، مشاهده کردند وزن تر ذرت افزایش یافت که افزایش در تیمارهای ۶۰ و ۹۰ تن

در هکتار با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشت. جلواردی و همکاران (Gelwardi et al., 2024) در پژوهشی مشاهده کردند میانگین عملکرد دانه سویا با افزودن ۰/۵ و ۱/۰ درصد پومیس به خاک با بافت لوم‌شنی نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت اما در خاک با بافت رس‌سیلتی نسبت به تیمار شاهد در هر دو سطح پومیس کاهش داشت. وزن خشک بوته و عملکرد دانه گیاه سویا در پژوهش احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2024) با افزودن ٦٠ تن در هکتار پومیس به خاک افزایش معنی‌دار داشت.

آبیاری گیاه با آب شور و تداوم این شرایط در طول دوره رشد بدون انجام آبشویی کامل، باعث تجمع نمک در محیط توسعه ریشه می‌گردد که پیامد این مسئله، افزایش فشار اسمزی محلول خاک و وارد آمدن تنش شوری به گیاه می‌گردد. در نتیجه، مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک نماید، افزایش یافته و این عمل باعث افزایش تنفس گیاه و کاهش صفات رشدی آن و در نهایت بهره‌وری فیزیکی مصرف آب می‌گردد (Mirzaei et al., 2023). جینگانگ و همکاران (Jingang et al., 2019) مشاهده کردند نرخ جوانه‌زنی دانه‌های ذرت ١٤روز پس از کشت، با افزایش درجه شوری آب آبیاری از ۹۹ درصد به ۷۷ درصد کاهش یافت. همچنین صفات ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، قطر ساقه، وزن خشک و تر گیاه با افزایش شوری آب از صفر تا ۲ و ۳ گرم در لیتر افزایش داشت، اما در شوری‌های ٤ و ٥ گرم در لیتر این صفات کاهش داشت. نتایج تحقیق انجام یافته توسط خوش‌سیما و نوری (Khoshsima and Noory, 2019) نشان داد با افزایش سطح شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر، وزن تر ۳۳ درصد و بهره‌وری مصرف آب بر اساس وزن خشک و تر به ترتیب ۲۳ و ۱۹ درصد کاهش یافت. میرزائی و همکاران (Mirzaei et al., 2023) مشاهده کردند با کاربرد آب با سه سطح شوری ۰/٦، ۳ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر، وزن تر و خشک بوته ذرت کاهش یافت.

با توجه به نتایج شکل‌های ۱ تا ٥، ملاحظه می‌شود در سطح شوری پائین، با افزایش میزان پومیس اضافه شده به خاک از ۱۰ درصد به ۲۰ درصد، میانگین کلیه اندازه‌گیری شده کاهش یافت که دلیل آن می‌تواند به عدم آبشویی کامل نمک‌های افزوده شده به خاک همراه با آب آبیاری و تجمع تدریجی آن در طول دوره رشد گیاه و افزایش فشار اسمزی محلول خاک و در پی آن وارد آمدن تنش شوری به گیاه مربوط گردد (Rousta et al., 2013). روستا و همکاران (Rousta et al., 2013) در طی پژوهشی مشاهده کردند با افزایش میزان پلیمر سوپرجاذب رطوبت به خاک، درصد وزنی رطوبت خاک در کلیه سطوح شوری آب آبیاری افزایش داشت، اما میزان شوری آب زهکشی کاهش داشت که نشان‌دهنده نگهداشت شوری در خاک منطقه توسعه ریشه توسط سوپرجاذب بود. بر همین اساس ایشان استفاده از سوپرجاذب رطوبت در شرایط شور بودن آب آبیاری را توصیه نکردند. در تحقیق محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2013) در شرایط آبیاری کامل، بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه ذرت (به ترتیب ۲۲۰/۷ و ۱۷۵/۷ سانتی‌متر) و عملکرد دانه (به ترتیب ۷۲۳۳/۳ و ٤٨٤١/١ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب در تیمارهای شوری ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر–زئولیت ۱۰ درصد و شوری ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر–زئولیت صفر درصد به‌دست آمد. در آزمایش گلدانی اسماعیل‌زاده و همکاران (Esmaeilzadeh et al., 2018) عملکرد کلزا رقم ساری‌گل در تیمارهای شاهد (بدون کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت و آبیاری با آب مقطر) و کاربرد ۸ تن در هکتار زئولیت و آبیاری با آب شور ٥ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۳/۷، ۳/۲۷ و ۲/٦۲ تن در هکتار بود. همچنین مقدار این صفت در رقم زرفام به ترتیب ۲/٤٨، ۱/۸۳ . ١/٨٦ تن در هکتار و در رقم Hyola به ترتیب ۲/۵۸، ۱/۹۳ و ۱/۸۵ تن در هکتار حاصل شد. صفی‌خانی و همکاران (Safikhani et al., 2019) در آزمایشی گلدانی بر روی گیاه خار مریم مشاهده کردند ارتفاع گیاه در تیمار شاهد (بدون استفاده

از زئولیت و آبیاری با آب مقطر) ۱۳/۷ سانتی‌متر بود که با کاربرد ۰/۰۵ درصد زئولیت و آبیاری با آب شور ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۵/٤، ۷/۹ و ٤/۹ سانتی‌متر شد. همچنین در این آزمایش، وزن خشک کل زیست توده به ترتیب ۱/٥٦، ۱/۸٦، ۱/٤٦ و ۱/۰۱ گرم در هر گیاه حاصل شد. زمانی و همکاران (Zamani et al., 2022) مشاهده کردند طول ساقه گیاه توت روباه در تیمار شاهد (بدون کاربرد زئولیت و سطح شوری صفر) ۱٦ سانتی‌متر بود که با کاربرد دو و چهار درصد زئولیت، در سطح شوری ۳-بار به ترتیب ۱۷/۲ و ۲۰/۲ سانتی‌متر، در سطح شوری ٦- بار به ترتیب ۱۱ و ۱۳/٥ سانتی‌متر و در سطح شوری ۹- بار به ترتیب ۹/٦ و ۹/۸ سانتی‌متر شد. کارلسونز و اوسوالده (Karlsons and Osvalde, 2025) در آزمایشی مشاهده کردند متوسط وزن تازه برگ‌های کاهو در سطوح شوری صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ میلی‌مولار نمک طعام با کاربرد ۱۰ درصد زئولیت به ترتیب ۱۷، ۱٦/۸، ۱۱/۸، ٤/٥ و ۲/٥ گرم شد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر افزودن ماده سوپرجاذب معدنی پومیس در شرایط شوری آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین بهره‌وری فیزیکی مصرف آب مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های پژوهش نشان داد در سطح شوری پائین، با افزودن پومیس به خاک، شرایط فیزیکی خاک بهبود یافته، در نتیجه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در تیمار ۱۰ درصد پومیس افزایش یافت اما در تیمار ۲۰ درصد پومیس به‌دلیل تجمع نمک در محیط ریشه در اثر عدم آبشویی کامل نمک از خاک، میانگین صفات اندازه‌گیری شده نسبت به تیمار ۱۰ درصد پومیس و شاهد کاهش یافت. رخداد این شرایط در تیمار آبیاری با آب شور حادتر بود به‌طوری که میانگین صفات اندازه‌گیری شده در هر دو سطح پومیس و آبیاری با آب شور نسبت به تیمار بدون پومیس-شوری بالا، کمتر شد. افزایش شوری آب آبیاری باعث شد که در هر سطح پومیس، میانگین صفات اندازه‌گیری کاهش یابد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در اراضی کشاورزی منطقه ماه‌نشان زنجان که منبع اصلی آب آبیاری آن، رودخانه قزل‌اوزن می‌باشد، استفاده از سوپرجاذب رطوبت (معدنی یا پلیمری) توصیه نمی‌گردد.

REFERENCES

Ahmadi, A., Vojodimehrabani, L., & Razmi, N. (2024). The effect of pumice application and foliar spraying with algae extract and hoagland solution on growth traits and yield of soybeans (*Glycine max*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *34*(2), 47-67. (In Persian)

Alfadil, A. A., Xia, J., Shaghaleh, H., Alhaj Hamoud, Y., Ibrahim, J. N., Hamad, A. A. A., Rahima, S. F., Sheteiwyd, M. S., & Wu, T. (2021). Wheat straw biochar application improves the morphological, physiological, and yield attributes of maize and the physicochemical properties of soil under deficit irrigation and salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(16), 2399-2420.

Dehghanisanij, H. (2012). Maize yield and water use efficiency under sprinkle irrigation with different level of salinity. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *6*(1), 46-54. (In Persian)

Esmaeilzadeh, V., Zahedi, H., Sharghi, Y., Modarres Sanavy, S. A. M., & Alaviasl, S. A. (2018). Interaction effect of zeolite and salt stress in reproductive stage of four canola varieties. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *11*(2), 393-400. (In Persian)

Gelwardi, A., Bahmanyar, M. A., & Jalili, B. (2024). Effect of mineral amendments on yield, yield component and some macro nutrients concentration of soybean in two soils with different characteristics. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture), 47*(2), 201-216. (In Persian)

Ghassemi Sahebi, F., Mohammad Reza Pour, O., Masomeh Delbari, M., Khashei Siuki, A., & Cherati, A. (2019). Investigation of sorghum yield qualitative changes under using unconventional waters and soil natural modifier. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 13*(3), 801-810. (In Persian)

Hassanpour, R., Zarehaghi, D., Sadeghzadeh Reyhan, M. E., & Gharabaghi, P. (2023). Soil moisture variations and growth indices of Russian olive seedling as affected by pumice in rainfed conditions. *Journal of Plant Physiology and Breeding, 13*(2), 249-260.

Jingang, Li., Chen, J., Jin, J., Wang, S., & Du, B. (2019). Effects of irrigation water salinity on maize (Zea may L.) emergence, growth, yield, quality, and soil salt. *Water*, *11*(10), 2095.

Karlsons, A., & Osvalde, A. (2025). Effect of zeolite, clay and peat on salt stress tolerance of lettuce (Lactuca sativa L.). *Agronomy Research*, *23*(S1), 73–85.

Khandehruyan, M. (2012). Effects of continues deficit irrigation with magnetic water on water use efficiency and Zea yield. M.Sc. Thesis of Irrigation and Drainage, University of Zanjan, Iran. (In Persian)

Khoshsima, M., & Noory, H. (2019). Effect of irrigation water salinity on yield and agronomic characteristics of three corn (*Zea mays* L.) hybrids using drip-tape irrigation. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 50*(8), 2037-2049. (In Persian)

Kong, C., Camps-Arbestain, M., Clothier, B., Bishop, P., & Vázquez, F. M. (2021). Reclamation of salt-affected soils using pumice and algal amendments: Impact on soil salinity and the growth of lucerne. *Environmental Technology & Innovation*, *24*, 101867.

Malekian, A., Valizadeh, E., Dastoori, M., Samadi, S., & Bayat, V. (2012). Soil water retention and maize (*'Zea mays'* L.) growth as effected by different amounts of pumice. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(3), 450-454.

Mirzaei, S. M. J., Khoshravesh, M., Shamsabadi, V., Shirmohammadi Aliakbarkhani, Z., & Pourgholam Amiji, M. (2023). The effect of irrigation with magnetized saline water on yield and yield components of maize. *Iranian Water Research Journal, 17*(3), 57-67. (In Persian)

Mohammadi, M., Molavi, H., Liaghat, A., & Parsinejad, M. (2013). Effects of zeolite application on yield and water use efficiency of grain Corn. *Journal of Water Research in Agriculture, 27*(1), 67-76. (In Persian)

Nasiri, M., Zarehaghi, D., & Neyshabouri, M. R. (2019). The effect of different levels of pumice mulch and deficit irrigation on the some physiological traits and seed yield of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Crop Ecophysiology, 13*(50), 217-230. (In Persian)

Nikbakht, J., Hamed Kordlar, Z., & Mokhtari, H. (2022). Determination of Sedum (Sedum cv. Nevii) Water Requirement, Crop Coefficient, and Water Productivity in Greenhouse Conditions. *Journal of Water and Sustainable Development, 9*(2), 87-94. (In Persian)

Rousta, M. J., Soltani, M., Besharat, N., Soltani, V., Salehi, M., & Rangbar, G. H. (2013). The effect of different levels of superabsorbent polymer and water salinity on soil moisture retention. *Iranian Water Research Journal, 7*(1), 241-244. (In Persian)

Safikhani, S., khoshbakht, K., Chaichi, M. R., Amini, A., & Motesharezadeh, B. (2019). Effect of zeolite application on growth and physiologic characteristics in milk thistle (Silybum marianum) under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science, 50*(3), 63-77. (In Persian)

Sahin, U., Ors, S., Ercisli, S., Anapali, O., & Esitkan, A. (2005). Effect of pumice amendment on physical soil properties and strawberry plant growth. *Journal of Central European Agriculture, 6*(3), 361-366

Zamani, Z., Tamartash, R., & Ghajar Sepanlu, M. (2022). Evaluation of different zeolite levels on a number of growth indices of *Sanguisorba minor* L. under salinity stress conditions. *Journal of Environmental Science Studies, 7*(2), 4823-4831. (In Persian)

Zarehaggi, D., Neyshabouri, M. R., Sadeghzadehreihan, M. E., & Hassanpour, R. (2016). Effect of pumice on water retention capacity in soil, growth and yield of spring safflower in dryland conditions. *Journal of Soil Management and Sustainable Production, 5*(3), 191-204. (In Persian)