Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 3, 2025, P. 561-573

The effect of zeolite on reducing of groundwater salinity and the growth of blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz) in arid areas

Shahram Riahinia [*a], Zahra Ramezani [b], Zahra Danaeipour [c]

[a] Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
[b] M.Sc Graduate, Faculty of Agriculture, Zanjan University of Agriculture, Zanjan, Iran
[c] Ph.D Graduate, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

[*]Corresponding Author: riahinia@pnu.ac.ir

Received: 19 July 2024 Accepted: 16 February 2025 **DOI: 10.22034/CSRAR.2025.426948.1380**

How to cite this article:
Riahinia, Sh., Ramezani, Z. and Danaeipour, Z., 2025. The effect of zeolite on reducing of groundwater salinity and the growth of blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz) in arid areas *Crop Science Research in Arid Regions*, *7*(3), 561-573.
https://doi.org/10.22034/csrar.2025.426948.1380

Abstract

Introduction: Soil salinity and limited natural water resources are some of the most important challenges for food production in arid and semi-arid areas. Substantial management strategies, such as using agronomic methods, including water purification of low-quality sources for irrigation purposes and identifying new salinity-resistant plants, can increase food production. The lack of natural water resources and rapid population growth have a negative effect on irrigated lands in the dry regions of the world, which causes an increase in soil salinity and a decrease in the growth and development of plants. In Iran, due to the fact that about 12.5% of the soil is composed of saline and alkaline soils, the phenomenon of soil salinity is a serious problem, and its importance is increasing day by day. One of the potential approaches for water purification of low-quality irrigation sources is to use natural zeolite as a depth filter. Natural zeolite is a relatively cheap and readily available cation exchanger. Another important management strategy in food production is the cultivation and domestication of salt-resistant species, which can be used to reduce the expansion of land exposed to salinity. Halophytes are plants that have naturally adapted to saline environments.
Materials and Methods: In order to investigate the effect of zeolite desalination on well water and the performance of antidote millet, a factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design in three replications. For this purpose, pots with a diameter of 20 cm and a height of 25 cm were used. In order to achieve the same soil density in all samples, five kilograms of soil were transferred into the pots considering the zeolite treatment (zero, 10, and 5% of the pot soil weight). This study employed blue panic grass halophyte (*Panicum antidotale* Retz) as an alternative forage in areas encountering water deficiency. Then, the compatibility of the blue panic grass was investigated by irrigation with the four groundwater sources located in Qom province (Varjan, Khaveh, Qom, and control), as well as three levels of zeolite treatment (0, 5, and 10 %) for desalination.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Results and Discussion: The results showed that the growth measurements of the shoot decreased significantly with increasing salinity levels compared with the control in this plant, At the same time, an increasing trend was observed with the application of zeolite. Root characteristics subjected to zeolite and salinity did not show a similar trend. The reason for this was the effect of salinity and zeolite on soil properties. The increasing salinity levels significantly affected the biochemical indices, such that the proline content increased to 341 mg/g FW and carotenoids to 59.6 µg/g FW, while the concentrations of chlorophyll a and b decreased to 29.10 and 88.7 mg/g FW, respectively. In the presence of zeolite, the contents of carotenoids and chlorophyll a and b increased by 30.5%, 24.6%, and 7.4%, respectively. The findings of this study provide helpful insight into the management of the use of zeolite for the treatment of saline groundwater and the culture of salinity-tolerant plants in arid regions.

Conclusion: In conclusion, this experiment revealed that applying zeolite at 5% and 10% of the soil weight increased the growth indices of the shoot, reduced the degradation of chlorophylls a and b, and reduced proline. Therefore, with the cultivation of anti-toxic millet as a coastal plant and the use of zeolite for desalination and irrigation water management, as well as improving the soil structure, it is possible to improve the area under cultivation of fodder plants in dry areas.

Keywords: Proline, Salinity stress, Halophyte, Forage, Water management

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴، ص ۵۷۳-۵۶۱

مقاله پژوهشی

تاثیر زئولیت بر کاهش شوری آب چاه و رشد گیاه ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz) در مناطق خشک

شهرام ریاحی‌نیا*[۱]، زهرا رمضانی[۲]، زهرا دانایی پور[۳]

۱- گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی زنجان، زنجان، ایران

۳- دانش آموخته دکتری بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

* مسئول مکاتبه: riahinia@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸ **DOI: 10.22034/CSRAR.2025.426948.1380**

چکیده

شوری خاک و کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک از مهم‌ترین موانع تولید مواد غذایی هستند؛ راهکارهای مدیریتی مانند تصفیه آب‌های کم‌کیفیت برای آبیاری و معرفی گیاهان مقاوم به شوری می‌تواند به بهبود تولید کمک کند. در این مطالعه از گیاه هالوفیت ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz) به‌عنوان یک علوفه جایگزین در مناطقی که با کمبود آب مواجه‌اند، استفاده شد. سپس به بررسی میزان تطابق گیاه ارزن پادزهری با آب چهار چاه مستقر در استان قم (چاه‌های ورجان، خاوه، قم و شاهد) در حضور سه سطح زئولیت (صفر، پنج و ۱۰ درصد وزنی زئولیت) به‌منظور نمک‌زدایی پرداخته شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های رشدی اندام هوایی گیاه ارزن پادزهری با افزایش سطوح شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافتند، درحالی‌که با کاربرد زئولیت روند افزایشی مشاهده شد. خصوصیات ریشه تحت تأثیر درصد وزنی زئولیت و شوری روند مشخصی نشان ندادند. علت این موضوع تاثیر شوری و زئولیت بر خواص خاک ارزیابی شد. افزایش سطح شوری به‌طور محسوسی شاخص‌های بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که مقادیر پرولین تا ۳۴۱ mg/g FW و کاروتنوئید تا ۶/۵۹ µg/g FW افزایش یافته اما غلظت کلروفیل a و b به‌ترتیب تا ۱۰/۲۹ و ۷/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کاهش نشان داده است. در حضور زئولیت مقادیر کاروتنوئید وکلروفیل a و b به‌ترتیب ۵/۳۰، ۶/۲۴ و ۴/۰۷ درصد افزایش نشان دادند. یافته‌های این مطالعه بینش ارزشمندی در مورد مدیریت استفاده از زئولیت برای تصفیه آب‌های زیرزمینی شور و کاشت گیاهان مقاوم به شوری در مناطق خشک ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش شوری، گیاهان شورپسند، گیاهان علوفه‌ای، مدیریت آب

مقدمه

کمبود منابع آب طبیعی و رشد سریع جمعیت بر زمین‌های آبی در مناطق خشک جهان تأثیر منفی می‌گذارد که سبب افزایش شوری خاک و کاهش رشد و نمو گیاهان می‌گردد (Aiad *et al.*, 2021). با گرم‌شدن زمین وقوع رخدادهای شدید آب‌وهوایی افزایش می‌یابد. از این‌رو پیش‌بینی می‌شود که افزایش شوری اثرات مخرب بیشتری در سراسر جهان به‌وجود آورد و آب شور حداقل ۷۰ درصد از سطح زمین را پوشش دهد (Babaousmail *et al.*, 2022). از طرفی دیگر بیش از ۷ درصد کل زمین‌های جهان شور می‌باشند که بخش قابل‌توجهی از این نواحی شور متعلق به زمین‌های زراعی است و منجر به خروج تقریبا ۴۵ میلیون هکتار از سطح کشت می‌گردد (Hrynkiewicz *et al.*, 2019).

در ایران با توجه به اینکه حدود ۱۲/۵ درصد خاک‌ها را خاک‌های شور و قلیا تشکیل داده است، پدیده شوری خاک به‌عنوان مشکلی جدی مطرح است و روزبه‌روز بر وسعت و اهمیت آن افزوده می‌شود (Mirdavodi and Zahedipour, 2005). در مناطقی مانند استان قم، کمبود آب همراه با منابع آب لب‌شور و شور زیرزمینی و مقادیر ناکافی بارندگی موجب زوال بیش‌تر خاک‌ها شده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک آبیاری یک جنبه کلیدی تولید محصول است. با این حال، آب آبیاری نباید حاوی نمک‌های محلول در غلظت‌هایی باشد که برای گیاهان مضر است یا بر خواص خاک تأثیر منفی می‌گذارد (Mkilima *et al.*, 2022). بنابراین، راهکارهای مهم مدیریتی در تولید مواد غذایی، استفاده از روش‌های به‌زراعی نظیر تکنیک‌های کم‌آبیاری، تصفیه آب منابع آبیاری (شور و لب‌شور)

با کیفیت پایین برای اهداف آبیاری و شناسایی و معرفی گیاهان جدید مقاوم به شوری از اهمیت بالایی برخوردار است (Mkilima *et al.*, 2022; Riaihinia and Danaeipour, 2022).

یکی از رویکردهای بالقوه برای تصفیه آب منابع آبیاری (شور و لب‌شور) با کیفیت پایین، استفاده از زئولیت طبیعی به‌عنوان فیلتر عمق است. زئولیت طبیعی یک مبدل کاتیونی است که نسبتاً ارزان و به آسانی در دسترس است (Inglezakis *et al.*, 2020). زئولیت از آلمینوسیلیکاته‌های بلورینی شامل واحدهای تتراهدارل AlO_4 و SiO_4 تشکیل‌شده و اکسیژن عامل اتصال این واحدها است (Babel and Kurniawan, 2003). کاتیون‌های آب مانند سدیم، کلسیم و پتاسیم در حفرهای ساختمان زئولیت نفوذ کرده و به‌دلیل بار منفی در سطح آن جذب شوند (Pal, 2017). در مطالعاتی مشاهده شده است که زئولیت در زمینه‌های مختلف دیگر تصفیه آب از جمله حذف فلزات سنگین از آب آلوده نیز استفاده می‌شود (Rahimi and Mahmoudi, 2020; Taamneh and Sharadqah, 2017). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که کاربرد زئولیت ممکن است رشد گیاه را بهبود بخشد (Zahedi *et al.*, 2009). همچنین در مطالعه‌ای زئولیت به‌طور موثر تنش شوری را بهبود بخشید و با تاثیر بر عناصر غذایی خاک، رشد گیاه جو پس از آبیاری با آب شور را افزایش داد (Al-Busaidi *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای اثر چهار نوع زئولیت را بر عملکرد و اجزای عملکرد *P. miliaceaum* L. بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که انواع مختلف زئولیت و افزایش آن سبب افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد *P. miliaceaum* شد و تا حدودی از اثرات تنش خشکی بر گیاهان کاسته گردید، لذا زئولیت برای استفاده در مناطق خشک توصیه می‌گردد (Rezaei *et al.*, 2023).

راهکار مهم مدیریتی دیگر در تولید مواد غذایی، کشت و اهلی‌سازی گونه‌های مقاوم به شوری است که با استفاده از آن می‌توان روند گسترش اراضی در معرض شوری را کاهش داد. هالوفیت‌ها گیاهانی هستند که به‌طور طبیعی با محیط‌های شور سازگار شده‌اند. جایی‌که آن‌ها از مقدار فراوان نمک در محیط رشد خود سود می‌برند. آن‌ها در بین گیاهان بسیار، دارای تحمل ذاتی به شوری می‌باشند (Koyro *et al.*, 2011). استفاده از این گیاهان مقاوم به نمک به‌عنوان منابع جایگزین غیرمتعارف غذایی، علوفه، چوب، دارو، سوخت زیستی و مواد خام صنعتی و برای احیای زمین و اهداف زینتی به‌خوبی شناخته شده است (Abideen *et al.*, 2012). گیاه هالوفیت ارزن پادزهری یا *Panicum antidotale* Retz دارای پتانسیل کشاورزی قابل‌توجهی است. این گیاه بومی مناطق معتدل و گرمسیری آسیا می‌باشد و در تپه‌های شنی و بستر رودخانه‌های خشک شمال‌غربی پاکستان، افغانستان و ایران رشد می‌کند. همچنین در چراگاه‌های طبیعی شمال‌غربی هند نیز یافت می‌شود (Eshghizadeh *et al.*, 2011). *P. antidotale* از تحمل بالایی به خشکی و شرایط کمبود رطوبت در مراتع مناطق بیابانی برخوردار است و به‌سرعت به تغییرات ناگهانی پیش‌آمده در طول تابستان پاسخ می‌دهد. بنابراین می‌توان آن را با آبیاری آب شور زمین‌های شور و یا بایر کشت کرد. این گیاه حدود ۶۰ تن در سال زیست‌توده تازه در خاک‌های شور با آبیاری آب شور تولید می‌کند و به‌دلیل پروتئین بالا می‌تواند برای جایگزینی ذرت به‌عنوان خوراک دام استفاده شود (Khan *et al.*, 2009). با این حال، آبیاری با آب شور نیاز به‌دقت دارد و دانش دقیق در مورد شرایط رشد پایدار باید تضمین شود (Hussain *et al.*, 2015). زمانی‌که آب شور باشد، شوری هیپراسموتیک رشد گیاه را عمدتاً با دسترسی کم آب و غلظت نمک بالا محدود می‌کند (Munns and Tester, 2008). کمبود آب، انبساط سلولی برگ و هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد و اغلب با کاهش تثبیت CO_2 همراه است که در نهایت ممکن است منجر به استرس اکسیداتیو شود (Koyro, *et al.*, 2013). هالوفیت‌ها با جذب سدیم و انتقال به واکوئل‌ها پتانسیل اسمزی سلول را کاهش داده و از سمیت سلولی جلوگیری می‌کنند (Islam *et al.*, 2022). در مطالعه‌ای که روی ارزن پادزهری تحت تنش شوری انجام شد، مشاهده شد که امکان تثبیت عملکرد ارزن پادزهری به‌عنوان یک محصول خوراکی مهم در مصر می‌باشد که با آب شور آبیاری می‌شود و می‌تواند منابع خوراک دام را بدون کاهش دسترسی آب شیرین فراهم کند (Farrag *et al.*, 2021).

در این پژوهش تاثیر سطوح مختلف زئولیت (صفر، پنج و ۱۰ درصد وزنی) تحت چهار سطح تیمار آبی (آب چاه‌های ورجان، خاوه، قم و شاهد) بر خصوصیات رشدی گیاه ارزن پادزهری مورد بررسی قرار گرفت تا علاوه‌بر پاسخ گیاه ارزن پادزهری به‌میزان شوری، کارآمدترین راهکار مدیریتی در مناطق

خشک برای تولید غذا به‌دست آید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر نمک‌زدایی زئولیت بر آب چاه و عملکرد ارزن پادزهری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه پیام‌نور قم انجام شد. برای این منظور از گلدان‌های با قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. به‌منظور رسیدن به تراکم خاک یکسان در تمامی نمونه‌ها پنج کیلوگرم خاک با در نظر گرفتن تیمار زئولیت (صفر، ۱۰ و ۵٪ وزنی در هر کیلوگرم خاک) به‌داخل گلدان‌ها انتقال داده شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک‌های مورد استفاده

Table 1- Characteristics of the soils used

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC(ds/m)	رس (٪) Clay	سیلت (٪) Silt	شن (٪) Sand
6.7	4.29	39.79	37.24	22.97

برای یکنواخت شدن شوری خاک تمام گلدان‌ها دو مرتبه با آب مقطر آبیاری شدند و پس از رسیدن رطوبت خاک به حد زراعی، عملیات کشت صورت گرفت. اعمال تیمار شوری با استفاده از چهار نوع آب که از چاه‌های ورجان، خاوه، قم و شاهد تهیه شده و دارای شوری‌های مختلف بودند، در مرحله چهار برگی آغاز شد (جدول ۲).

جدول ۲- ویژگی‌های آب چاه‌های مورد استفاده

Table 2- Water characteristics of the groundwater used

	نسبت جذب سدیم SAR	هدایت الکتریکی EC(ds/m)	اسیدیته pH
شاهد Control	0.40	0.29	7.82
خاوه Khave	5.60	4.39	8.35
ورجان Verjan	7.72	5.65	8.25
قم Qom	8.52	6.97	8.36

آبیاری برحسب ظرفیت زراعی خاک انجام شد. میزان آب مصرفی ۲۰ درصد بیش‌تر از ظرفیت اشباع خاک گلدان‌ها در نظر گرفته شد. با این روش از تجمع نمک در محیط رشد جلوگیری شده و میزان شوری در محیط رشد در حدود آب آبیاری نگهداری شد. نمونه‌برداری ۴۲ روز پس از کاشت انجام گرفت و نمونه‌های گیاهی جهت سنجش خصوصیات رویشی به آزمایشگاه منتقل شدند. خصوصیات رویشی از قبیل ارتفاع گیاه (SL)، طول ریشه (RL)، وزن تر اندام هوایی (SFW) و وزن خشک اندام هوایی (SDW) و وزن تر ریشه (RFW)، وزن خشک ریشه (RDW) و نسبت شاخساره اندازه‌گیری شد. نسبت شاخساره از تقسیم وزن خشک ریشه به وزن خشک بوته به‌دست آمد. برای استخراج کلروفیل برگ‌ها در آزمایشگاه از روش استاندارد استخراج کلروفیل استفاده شد (Arnon, 1949). به این صورت که استخراج کلروفیل از برگ‌ها با استفاده از استون ۸۰ درصد انجام گرفت. مقدار ۰/۲ گرم از بافت تر برگ هر تیمار وزن شد و برگ‌ها با استون به‌تدریج ساییده شدند تا محلولی سبز رنگ به‌دست آید. سپس حجم این محلول با استون به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. محلول آماده‌شده به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. پس از سانتریفیوژ، جذب محلول رویی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و در نهایت برای محاسبه کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها از معادلات ۱ تا ۳ استفاده گردید:

$$Chl.a=(12.25\times A663-2.97\times A647) \quad (۱)$$

$$Chl.b=(21.51\times A647-5.10\times A663) \quad (۲)$$

$$C_{X+C}= [(۱۰۰۰\times A470)-(1.8\times Chl.a)-(85.02\times Chl.b)]/۱۹۸ \quad (۳)$$

که در آن C_a غلظت کلروفیل a؛ C_b غلظت کلروفیل b و C_{x+c} غلظت کاروتنوئیدهای کل می باشد.

غلظت پرولین در بافت برگ با استفاده از روش استاندارد و اندازه‌گیری در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد (Bates *et al.*,1973). تجزیه واریانس داده‌ها و نیز بررسی همبستگی صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گردید.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشدی

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، زئولیت تأثیر معناداری بر طول اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی، نسبت شاخساره ($P\leq 0.01$) و بر وزن تر ریشه ($P\leq 0.05$) داشت. شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، طول ریشه ($P\leq 0.05$) و سایر ویژگی‌های رویشی ($P\leq 0.01$) داشت. اثرات متقابل شوری و زئولیت بر تمامی صفات رویشی به‌غیر از وزن خشک ریشه معنی‌دار ارزیابی شد (جدول ۳).

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی در گیاه ارزن پادزهری

Table 3- Summary of variance analysis of growth characteristics in blue panic grass

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	میانگین مربعات Mean of Squares: طول اندام هوایی S.L	طول ریشه R.L	وزن تر اندام هوایی S.F.W	وزن تر ریشه R.F.W	وزن خشک اندام هوایی S.D.W	وزن خشک ریشه R.D.W	نسبت شاخساره R.D.W/S.D.W
زئولیت Zeolite	2	**118.18	0.49^{ns}	**0.08	*0.01	**0.004	0.001^{ns}	**0.90
شوری Salinity	3	**370.32	*21.27	**1.13	**0.06	**0.04	*0.003	**0.84
شوری × زئولیت Zeolite × Salinity	6	*10.66	**24.33	*0.01	**0.02	*0.001	0.001^{ns}	**0.64
خطا Error	24	3.64	6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.1

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح شوری ویژگی‌های رویشی اندام هوایی ارزن پادزهری از قبیل ارتفاع (۳۱/۰۱ سانتی متر)، وزن تر (۰/۳۱) و خشک (۰/۰۶) بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (جدول ۴). ارتفاع بوته به‌شدت به محیط رشد وابسته است. در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز به‌دلیل کاهش فشار توژسانس سلول‌های در حال رشد و اثر بر طول سلول‌ها، کاهش ارتفاع رخ می‌دهد (Munns and Tester, 2008). در شرایط شوری یکی از سازوکارهای گیاهان شورپسند برای تعدیل اثرات تنش، ذخیره آب می‌باشد که این امر موجب متورم و گوشتی شدن برگ‌ها شده و درنهایت درصد زیادی از وزن بوته را آب تشکیل می‌دهد (Khan *et al.*, 2007). در این پژوهش تحت تاثیر تنش شوری مقایسه میانگین‌های خصوصیات ریشه مثل طول و وزن خشک و تر الگوی منظمی نشان ندادند. علت این موضوع می‌تواند به تأثیرات غیرمستقیم شوری بر ویژگی‌های خاک ازجمله میزان نفوذپذیری و انتشار ذرات رس، مرتبط باشد. همچنین خصوصیاتی از اندام هوایی مانند طول و وزن تر و خشک بوته دارای رابطه معنی‌دار و مثبتی با زئولیت بود. به‌طوری‌که در مورد طول بوته با افزایش درصد زئولیت، میانگین ارتفاع بوته (۴۲/۴ سانتی‌متر) با اختلاف معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). اما در سطح پنج و ۱۰ درصد زئولیت اختلاف معنی‌داری در وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه مشاهده نشد. نسبت شاخساره دارای روند کاهشی نسبت به زئولیت بود. اما فاقد روند منظمی نسبت به افزایش سطوح شوری بود. خصوصیات ریشه نیز تحت

تأثیر درصد وزنی زئولیت روند مشخصی نداشتند. با توجه به جداول ۱ و ۲ که خاک مورد استفاده در این پژوهش جزء خاک‌های شور و آب چاه قم دارای بیش‌ترین شوری است. آب مورد استفاده از چاه خاوه اگرچه دارای شوری کم‌تر است (۴/۳۹ دسی‌زیمنس بر متر) اما احتمالاً به‌دلیل فراوانی بالاتر عناصر قلیایی نظیر سدیم دارای pH بالاتری می‌باشد. در چنین شرایطی میزان آب مصرفی مهمترین فاکتور از جمله سطح شوری و محتوای آب در خاک، بافت خاک و روش‌های مصرف آب و غیره است (Bellitürk *et al.*, 2023). یکی از علل استفاده از زئولیت در تولیدات کشاورزی و بهره‌وری خاک، خاصیت نگهداری رطوبت برای مدت طولانی و همچنین جذب کاتیون‌های محلول است (Mirzakhani and Maleki, 2015).

زئولیت با تاثیر بر ساختار خاک و نمک‌زدایی آب چاه‌ها ممکن است اثرات شوری را کاهش داده، لذا سبب افزایش رشد اندام هوایی گیاه شود (Mkilima *et al.*, 2022). به‌طورکلی، عواملی مانند خواص ژئوشیمیایی زئولیت، pH، آنیون‌های همجوار، غلظت، ظرفیت، بار سطحی، مساحت سطح و نوع خاک مزرعه فرآیند تبادل یونی را کنترل می‌کنند. با این حال، مقالات کمی در مورد مکانیسم عمل زئولیت در کنترل شوری در مزرعه وجود دارد (Wen *et al.*, 2018). در پژوهشی افزایش قابل‌توجه زیست‌توده گیاهی جو با تنش شوری در تیمارهای اصلاح‌شده با زئولیت مشاهده شد. کاربرد زئولیت ظرفیت نگهداری آب و نمک خاک را افزایش داد و سبب کاهش تجمع برخی عناصر از قبیل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در لایه بالایی خاک شد. همچنین با افزایش غلظت کلسیم و عناصر کم مصرف آهن و منگنز تعادل مواد مغذی را در یک خاک شنی بهبود بخشید (Al-Busaidi *et al.*, 2008).

در مطالعه‌ای نشان داده شد که افزودن زئولیت به خاک می‌تواند به‌طور بالقوه ذخایر کربن معدنی را افزایش دهد، اسیدی شدن خاک را تعدیل کند و ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی در خاک را بهبود بخشد (Pratt *et al.*, 2025). کاربرد انواع مختلف زئولیت و افزایش کاربرد زئولیت از پنج به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار عملکرد زیستی و دانه و کارایی مصرف آب گیاه ارزن معمولی شد. بنابراین با کاربرد بهینه این کود تا حدودی از اثرات تنش خشکی بر گیاهان در مناطق خشک کاسته شد (Rezaei *et al.*, 2023).

جدول ۴- اثر سطوح مختلف زئولیت و شوری بر شاخص‌های رشدی گیاه ارزن پادزهری

Table 4- The effect of different levels of zeolite and salinity treatment on the growth characteristics in blue panic grass

تیمار Treatment		طول اندام هوایی S.L	طول ریشه R.L	وزن تر اندام هوایی S.F.W	وزن تر ریشه R.F.W	وزن خشک اندام هوایی S.D.W	وزن خشک ریشه R.D.W	نسبت شاخساره R.D.W/S.D.W
زئولیت Zeolite	٪0	36.21^{c}	17.62^{a}	0.66^{b}	0.34^{a}	0.12^{b}	0.07^{a}	0.94^{a}
	٪5	40.18^{b}	17.89^{a}	0.80^{a}	0.29^{ab}	0.15^{a}	0.07^{a}	0.47^{b}
	٪10	42.40^{a}	18.02^{a}	0.81^{a}	0.28^{b}	0.16^{a}	0.06^{a}	0.43^{b}
شوری Salinity	شاهد Control	45.07^{a}	16.32^{b}	1.11^{a}	0.32^{a}	0.21^{a}	0.08^{ab}	0.37^{b}
	خاوه Khave	43.96^{a}	19.73^{a}	0.96^{b}	0.38^{a}	0.17^{b}	0.09^{a}	0.48^{b}
	ورجان Verjan	38.28^{b}	16.91^{ab}	0.65^{c}	0.32^{a}	0.11^{c}	0.07^{ab}	0.57^{b}
	قم Qom	31.01^{c}	18.43^{ab}	0.31^{d}	0.20^{b}	0.06^{d}	0.04^{b}	1.07^{a}

شاخص‌های بیوشیمیایی

براساس جدول ۵ تمام ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه ارزن پادزهری به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر زئولیت قرار گرفتند. همچنین تاثیر شوری بر میزان کاروتنوئید، پرولین، کلروفیل a و b در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار ارزیابی شد. اثرات متقابل شوری و زئولیت نیز بر میزان کلروفیل a و b در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان داد.

جدول ۵- خلاصه تجزیه واریانس ویژگی‌های بیوشیمیایی در گیاه ارزن پادزهری

Table 5- Summary of variance analysis of biochemical characteristics in blue panic grass

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	میانگین مربعات Mean of Squares: پرولین Proline (mg/ g FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/ g FW)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/ g FW)	کاروتنوئید Carotenoid (µ g/g FW)
زئولیت Zeolite	2	190**	0.49**	3.72**	0.66*
شوری Salinity	3	193302**	100.84**	174.23**	76.16**
شوری × زئولیت Zeolite × Salinity	6	31ns	**3.10	**2.19	0.26ns
خطا Error	24	26	0.07	0.36	0.15

با افزایش شـــوری مقادیر کاروتنوئید به‌صـــورت معنی‌داری افزایش پیـدا کرد و مقـادیر کلروفیـل a و b بـه‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۶). مطالعه تاثیر تنش شـــوری روی میزان غلظت کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید نشـان داده که شـــوری باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a و کلروفیل b و کلروفیل کل می‌شـــود، ولی میزان کاروتنوئید افزایش می‌یابد (Kaymakanova *et al.*, 2008).

جدول ۶- اثر سطوح مختلف زئولیت و شوری بر شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه ارزن پادزهری

Table 6- The effect of different levels of zeolite and salinity treatment on the growth characteristics in blue panic grass

تیمار Treatment		پرولین (mg/ g FW) Proline	کلروفیل b (mg/ g FW) Chlorophyll b	کلروفیل a (mg/ g FW) Chlorophyll a	کاروتنوئید Carotenoid (µ g/g FW)
زئولیت Zeolite	٪0	310.70b	7.61b	16.02b	8.30b
	٪5	317.20a	7.55b	16.95a	8.66ab
	٪10	318.0a	7.92a	17.02a	8.74a
شوری Salinity	شاهد Control	152.0d	12.02a	22.06a	5.93d
	خاوه Khave	253.80c	8.30b	17.99b	6.92c
	ورجان Verjan	361.60b	6.31c	14.86c	8.89b
	قم Qom	493.80a	4.14d	11.77d	12.52a

روند کاهشی مشاهده شده در مقادیر کلروفیل a و b نشان می‌دهد که تنش شـوری سـبب کاهش غلظت کلروفیل a و b و کلروفیل کل نسبت به شـاهد شـده و این روند با نتایج مطالعات پیشـــین هم‌خوانی دارد (Omrani and Moharramnejad, 2018). یکی از مهمترین دلایـل کـاهش غلظـت کلروفیـل‌هـا، تخریب توسـط گونه‌های اکسـیژن فعال طی تنش اکسـیداتیو، می‌باشـد (Ashraf, 2009). کاروتنوئیدها به‌عنوان اجزای اصـلی کلروپلاست شـناخته می‌شـوند که در مهار اکسـیژن منفرد ناشـی از تنش اکســیداتیو دخالت دارند (Abogadallah, 2010). با افزایش ســطوح زئولیت روند افزایشـــی معنی‌داری در مقادیر کاروتنوئید مشـــاهده شـــد. همچنین تاثیر افزایشـــی معنی‌دار زئولیـت بر مقـادیر کلروفیـل a و b می‌توانـد بیـانگر تـاثیر مثبـت زئولیت بر کاهش اثرات منفی شوری در این تحقیق باشد.

با توجه به جدول ۶، مقادیر پرولین با افزایش سطوح شوری روند افزایشـــی نشـــان داد. این نتیجه به‌خوبی با مطالعات قبلی مرتبط است که در آن تنش شوری (غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک طعام) به‌طور قابل‌توجهی پرولین برگ و محتوای قند محلول را افزایش داد (Babaousmail *et al.*, 2022; Hnilickova *et*

al., 2021). در زمان تنش شوری که همراه با افزایش تنش اسمزی است، گیاهان مواد اسمزی آلی مانند پرولین، بتائین، پلی‌ال‌ها، الکل‌های قند و قندهای محلول را انباشت می‌کنند تا تنش اسمزی را با تنظیم فشار اسمزی تحمل کنند. افزایش این مواد اسمزی به حفظ تورگو، سم‌زدایی از گونه‌های فعال اکسیژن و تثبیت ساختار چهارم پروتئین‌ها کمک می‌کند (Munir *et al.*, 2022). در بررسی مقایسه میانگین سطوح زئولیت مشاهده شد که با افزایش سطح زئولیت مقدار پرولین افزایش یافت، که می‌تواند بیانگر کاهش اثرات شوری توسط زئولیت باشد. مطابق با این نتایج کاربرد زئولیت تحمل به تنش شوری را در گیاه کاهو افزایش داد و محتوی پرولین را کاهش داد (Babaousmail *et al.*, 2022).

همبستگی بین شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی

در بررسی همبستگی ساده بین شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی، شاخص‌های رشدی از قبیل طول بوته، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه رابطه معکوس معنی‌داری با شاخص‌های بیوشیمیایی کاروتنوئید و پرولین نشان داد. درحالی‌که در بررسی همبستگی صفات طول و وزن خشک بوته با میزان کلروفیل a و b رابطه مستقیم معنی‌دار مشاهده شد.

جدول ۷- بررسی همبستگی ساده بین صفات گیاه

Table 7- Evaluating the simple correlation between traits in blue panic grass

	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	پرولین Proline	طول اندام هوایی S.L	نسبت شاخساره R.D.W /S.D.W	وزن خشک ریشه R.D.W	طول ریشه R.L	وزن خشک اندام هوایی S.D.W
کاروتنوئید Carotenoid	1								
کلروفیل b Chlorophyll b	-0.88**	1							
کلروفیل a Chlorophyll a	-0.88**	0.93**	1						
پرولین Proline	0.96**	-0.95**	-0.96**	1					
طول اندام هوایی S.L	-0.82**	0.79**	0.82**	-0.83**	1				
نسبت شاخساره R.D.W /S.D.W	0.46**	-0.47**	-0.45**	0.45**	**-0.58	1			
وزن خشک ریشه R.D.W	-0.50**	0.40*	0.37*	**-0.8	**0.48	0.12ns	1		
طول ریشه R.L	0.10ns	-0.18ns	-0.21ns	0.13ns	0.11ns	0.32ns	*0.41	1	
وزن خشک اندام هوایی S.D.W	-0.86**	*0.86	0.89**	-0.90**	0.89**	-0.60**	**0.46	-0.07ns	1

در بررسی همبستگی ساده بین شاخص‌های رشدی، طول ریشه با هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی به‌غیر از وزن خشک ریشه رابطه معنی‌داری نداشت. طول بوته با نسبت شاخساره رابطه عکس معنی‌داری نشان داد. وزن خشک اندام هوایی با طول ریشه رابطه معنی‌داری نداشت ولی با وزن خشک ریشه و طول بوته رابطه مستقیم معنی‌داری برقرار کرد. ارتفاع بوته نیز دارای رابطه مستقیم معنی‌داری با وزن خشک ریشه بود.

در بررسی همبستگی ساده بین شاخص‌های بیوشیمیایی، پرولین و کاروتنوئید همبستگی همسو و معنی‌داری با یکدیگر داشتند. این دو ویژگی دارای رابطه عکس معنی‌دار با کلروفیل a و b بودند. همچنین رابطه بین کلروفیل a و b هم رابطه مستقیم و معنی‌داری ارزیابی شد.

در مطالعات صورت گرفته، گزارش شده است که زئولیت به دو صورت بر افزایش رشد گیاهان تحت تنش شوری اثر

می‌گذارد. اول اینکه به‌طور قابل‌توجهی دسترسی نیتروژن به گیاهان را افزایش می‌دهد و در نتیجه سنتز کلروفیل، آنزیم های آنتی‌اکسیدان و سایر اجزای ساختاری گیاه را افزایش می‌دهد. دوم، قابلیت حفظ آب زئولیت به‌طور قابل‌توجهی محتوای آب نسبی گیاهان تحت تنش شوری را با افزایش دسترسی به آب و جذب آن توسط ریشه افزایش می‌دهد (Bybordi *et al.*, 2018). همچنین گزارش شده است که کاربرد زئولیت از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ و کاهش تخریب آن، پیری برگ را در گیاهان خاکشیر تحت تنش شوری کاهش می‌دهد (Kong *et al.*, 2005). در مطالعه‌ای روی گیاه سیب‌زمینی مشاهده شد که خصوصیات فتوسنتزی اثر هم‌افزایی مفید در استفاده از نانوذرات ترکیبی روی، سیلیکون، بور و زئولیت دارد (Mahmoud *et al.*, 2019).

احتمالا زئولیت به‌طور غیرمستقیم نرخ فتوسنتز گیاهان تحت تنش نمک را با بهبود در دسترس بودن آب و مواد مغذی به‌دلیل ظرفیت جذب بالای آن افزایش می‌دهد. مجدداً، نتایج مشابهی در گیاهان کانولا و پیاز تحت تنش شوری گزارش شد، در این مطالعات کاربرد ترکیبی زئولیت، سلنیوم و سیلیکون منجر به افزایش عملکرد دانه از طریق افزایش عرضه آب و نیتروژن و در نتیجه، بهبود سرعت فتوسنتزی گیاهان تحت تنش شوری اصلاح‌شده، شد (Bybordi, 2016; Bybordi *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که شوری تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص‌های رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه ارزن پادزهری دارد. با افزایش سطح شوری، شاخص‌های رشدی مانند وزن خشک و تر اندام هوایی و شاخص‌های بیوشیمیایی نظیر غلظت کلروفیل‌های a و b به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. درمقابل، میزان تجمع پرولین و کاروتنوئیدها به‌عنوان مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش شوری، به شکل قابل‌توجهی افزایش پیدا کرد. استفاده از زئولیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک نقش مهمی در کاهش اثرات مخرب شوری ایفا کرد. نتایج نشان داد که زئولیت با بهبود شرایط خاک و کاهش تأثیر شوری، موجب افزایش شاخص‌های رشدی اندام هوایی، حفظ و جلوگیری از تخریب کلروفیل‌های a و b در گیاه شد. براساس این یافته‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که کشت گیاه ارزن پادزهری، به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری، همراه با کاربرد زئولیت به‌منظور نمک‌زدایی و بهبود مدیریت آب آبیاری، نه تنها می‌تواند تأثیر شوری را کاهش دهد، بلکه بهبود ساختار خاک و افزایش سطح زیر کشت گیاهان علوفه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک را نیز تسهیل می‌کند. به نظر می رسد این راهکار می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی پایدار برای تولید علوفه در مناطق دارای محدودیت منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد.

References

Abideen, Z., Ansari, R., Gul, B. and Khan, M.A., 2012. The place of halophytes in Pakistan's biofuel industry. *Biofuels*, *3*(2), pp.211–220. https://doi.org/10.4155/bfs.11.158

Abogadallah, G.M., 2010. Antioxidative defense under salt stress. *Plant Signaling & Behavior*, *5*, pp.369–374. https://doi.org/10.4161/psb.5.4.10873

Aiad, M. A., Amer, M.M., Khalifa, T.H.H., Shabana, M.M.A. and Zoghdan, M.G., 2021. Combined application of compost, zeolite and a raised bed planting method alleviate salinity stress and improve cereal crop productivity in arid regions. *Agronomy*, *11*(12), 2495. https://doi.org/10.3390/agronomy11122495

Al-Busaidi, A., Yamamoto, T., Inoue, M., Eneji, A.E. and Mori, Y., 2008. Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(7), pp.1159–1173. https://doi.org/10.1080/01904160802134434

Arnon, D.L., 1949. A copper enzyme is isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), pp.1–15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Ashraf, M., 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, *27*(1), pp.84–93. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.003

Babaousmail, M., Nili, M. S., Brik, R., Saadouni, M. and Yousif, S.K.M., 2022. Improving the tolerance to salinity stress in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) using exogenous application of salicylic acid, yeast, and zeolite. *Life*, *12*(10), pp.1538. https://doi.org/10.3390/life12101538

Babel, S. and Kurniawan, T.A., 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. *Journal of Hazardous Materials*, *97*(1), pp.219–243. https://doi.org/10.1016/s0304-3894(02)00263-7

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), pp.205–207. https://doi.org/10.1007/bf00018060

Belliturk, K., Çelik, A., Kilic, M., Hanedar, A. and Tanik, A., 2023. *Climate change and soil-plant-environment interactions*. Iksad Publications.

Bybordi, A., 2016. Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(7), pp.832–850. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146898

Bybordi, A., Saadat, S. and Zargaripour, P., 2018. The effect of zeolite, selenium and silicon on qualitative and quantitative traits of onion grown under salinity conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *64*(4), pp.520–530. https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1373278

Eshghizadeh, H., Kafi, M., Nezami, A. and Khoshgoftarmanesh, A., 2011. Effect of water irrigation salinity on some morphological characters, yield and water use efficiency of blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz.). *Agronomy Journal*, *101*, pp.180–191. [In Persian].

Farrag, K., Abdelhakim, S.G., Abd El-Tawab, A.R. and Abdelrahman, H., 2021. Growth response of blue panic grass (*Panicum antidotale*) to saline water irrigation and compost applications. *Water Science*, *35*(1), pp.31–38. https://doi.org/10.1080/11104929.2020.1860277

Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P. and Hnilicka, F., 2021. Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants*, *10*(5), pp.845. https://doi.org/10.3390/plants10050845

Hrynkiewicz, K., Patz, S. and Ruppel, S., 2019. *Salicornia europaea* L. as an underutilized saline-tolerant plant inhabited by endophytic diazotrophs. *Journal of Advanced Research*, *19*, pp.49–56. https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.05.002

Hussain, T., Koyro, H.W., Huchzermeyer, B. and Khan, M.A., 2015. Eco-physiological adaptations of *Panicum antidotale* to hyperosmotic salinity: Water and ion relations and antioxidant feedback. *Flora*, *212*, pp.30–37. https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.02.006

Inglezakis, V.J., Satayeva, A., Yagofarova, A., Tauanov, Z. and Meiramkulova, K., 2020. Surface interactions and mechanisms study on the removal of iodide from water by use of natural zeolite-based silver nanocomposites. *Nanomaterials*, *10*(6), 1156. https://doi.org/10.3390/nano10061156

Islam, M.S., Haque, K.A., Jahan, N., Atikullah, M. and Uddin, M.N., 2022. Soil salinity mitigation by naturally grown halophytes in seawater affected coastal Bangladesh. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *19*(11), pp.11013–11022. https://doi.org/10.1007/s13762-022-03912-7

Kaymakanova, M., Stoeva, N. and Mincheva, T., 2008. Salinity and its effects on the physiological response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Central European Agriculture*, *9*(4), pp.749–755. https://doi.org/10.5513/jcea.v9i4.731

Khan, M.A., Ansari, R., Ali, H., Gul, B. and Nielsen, B.L., 2009. *Panicum turgidum*, a potentially sustainable cattle feed alternative to maize for saline areas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *129*(4), pp.542–546. https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.10.014

Khan, M.A., Ansari, R., Gul, B. and Qadir, M., 2007. Crop diversification through halophyte production on salt-prone land resources. *CABI Reviews*, *48*, pp.1–8. https://doi.org/10.1079/pavsnnr20061048

Kong, L., Wang, M. and Bi, D., 2005. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation*, *45*(2), pp.155–163. https://doi.org/10.1007/s10725-005-1893-7

Koyro, H.W., Hussain, T., Huchzermeyer, B. and Khan, M.A., 2013. Photosynthetic and growth responses of a perennial halophytic grass *Panicum turgidum* to increasing NaCl concentrations. *Environmental and Experimental Botany*, *91*, 22–29. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.02.007

Koyro, H.W., Khan, M.A. and Lieth, H., 2011. Halophytic crops: A resource for the future to reduce the water crisis? *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *23*(1), pp.1–16. https://doi.org/10.9755/ejfa.v23i1.5308

Mahmoud, A.W.M., Abdeldaym, E.A., Abdelaziz, S.M., El-Sawy, M.B.I. and Mottaleb, S.A., 2019. Synergetic effects of zinc, boron, silicon, and zeolite nanoparticles on confer tolerance in potato plants subjected to salinity. *Agronomy*, *10*(1), pp.19. https://doi.org/10.3390/agronomy10010019

Mirdavodi, H.R. and Zahedipour, H.E., 2005. Effect of soil salt types on three halophytes species. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *4*(11), pp.425–448. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119944

Mirzakhani, M. and Maleki, G. R., 2015. Evaluation of some physiological characteristics of wheat under water stress and zeolite application. *Applied Field Crops Research*, 28(107), pp.58–66. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/aj.2015.105687

Mkilima, T., Devrishov, D., Assel, K., Ubaidulayeva, N. and Tleukulov, A., 2022. Natural zeolite for the purification of saline groundwater and irrigation potential analysis. *Molecules*, *27*(22), pp.7729. https://doi.org/10.3390/molecules27227729

Munir, N., Hasnain, M., Roessner, U. and Abideen, Z., 2022. Strategies in improving plant salinity resistance and use of salinity resistant plants for economic sustainability. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *52*(12), pp.2150–2196. https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1877033

Munns, R. and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*(1), pp.651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Omrani, B. and Moharramnejad, S., 2018. Study of salinity tolerance in four maize (*Zea mays* L.) hybrids at seedling stage. *Journal of Crop Breeding*, *9*(24), pp.79–86. [In Persian]. https://doi.org/10.29252/jcb.9.24.79

Pal, P., 2017. *Industrial water treatment process technology*. Butterworth-Heinemann.

Pratt, C., Mahdi, Z., Chen, C., El Hanandeh, A., Vogrin, J. and Zardo, P., 2025. Manufactured zeolite application to soil can rapidly increase pH and enhance inorganic carbon sequestration. *Soil and Tillage Research*, *254*, 106736. https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106736

Rahimi, M. and Mahmoudi, J., 2020. Heavy metals removal from aqueous solution by modified natural zeolites using central composite design. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, *64*(1), pp.106–115. https://doi.org/10.3311/ppch.13093

Rezaei, Z., Behdani, M.A., Siuki, A.K. and Samadzadeh, A., 2023. The effect of type and amount of natural zeolite on yield and yield components of millet (*Panicum miliaceaum* L.). *Journal of Agroecology*, *15*(2), pp.223–238. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/agry.2022.70664.1046

Riaihinia, S. and Danaeipour, Z., 2022. Evaluation of the effect of nano and chelated iron fertilizer in *Salicornia* under salinity stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology*, *35*(1), pp.174–188. https://doi.org/10.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5

Taamneh, Y. and Sharadqah, S., 2017. The removal of heavy metals from aqueous solution using natural Jordanian zeolite. *Applied Water Science*, *7*(4), pp.2021–2028. https://doi.org/10.1007/s13201-016-0382-7

Wen, J., Dong, H. and Zeng, G., 2018. Application of zeolite in removing salinity/sodicity from wastewater: A review of mechanisms, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, *197*, pp.1435–1446. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.270

Zahedi, H., Noormohammadi, G., Rad, A.H.S., Habibi, D. and Boojar, M.M.A., 2009. The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth, yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. *World Applied Sciences Journal*, *7*(2), pp.255–262. https://doi.org/10.15835/nsb113500