

تأثیر کاربرد زئولیت بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیک گیاه خارمریم (*Silybum marianum*) در

شرایط تنش شوری

سارا صفی خانی^۱، کورس خوشبخت^{۲*}، محمد رضا چایی چی^۳، عباس امینی^۴، بابک متشروع زاده^۵
۱. دانشجوی دکترای کشاورزی بوم شناختی، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران ۲. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران ۳. استاد بازنشسته گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران و استاد فعلی دانشگاه ایالتی کالیفرنیا، پومونا. ۴. دانشیار دانشگاه سیدنی. ۵. گروه خاکشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۰۹ - تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۳۰)

چکیده

تنش شوری از عوامل موثر و مخرب در رشد گیاه و فعالیت‌های فیزیولوژیک آن محسوب می‌شود. به منظور بررسی کاربرد خاک‌مصرف زئولیت روی تعدیل تنش شوری بر صفات رویشی و فیزیولوژیک گیاه دارویی خارمریم، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول، سطوح مختلف شوری (عدم وجود تنش شوری به عنوان شاهد، ۴، ۸ و ۱۲ dS/m) و عامل دوم کاربرد زئولیت (عدم مصرف زئولیت، ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد وزنی خاک) به صورت خاک‌مصرف بود. نتایج نشان داد که تنش شوری اثر مخربی بر صفات رویشی و فیزیولوژیک مورد مطالعه داشت. استفاده از زئولیت به نسبت ۰/۰۵ درصد، در تیمارهای شوری شاهد، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، به ترتیب موجب افزایش ۳۸، ۴۳ و ۴۱ درصدی زیست توده کل بوته شد. کاربرد زئولیت به نسبت ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد منجر به افزایش پتاسیم و کاهش سدیم ریشه گردید. همچنین، کمترین Na^+/K^+ ریشه (۱/۶۵) در سطح تنش شدید شوری از کاربرد تیمار ۰/۰۵ درصد زئولیت به دست آمد. تنش شوری منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گردید. براساس نتایج این آزمایش، زئولیت می‌تواند به عنوان ماده افزودنی جهت جلوگیری از تنش شوری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، خارمریم، زئولیت، زیست توده و فعالیت آنزیمی.

Effect of zeolite application on growth and physiologic characteristics in milk thistle (*Silybum marianum*) under salinity stress

Sara Safikhan¹, Korous Khoshbakht^{2*}, Mohammad Reza Chaichi³, Abbas Amini⁴, Babak Motesharezadeh⁵

1. Department of Agroecology, Shahid Beheshti University, 2. Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. 3. Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran, 4. Centre for Infrastructure Engineering, Western Sydney University, Penrith 2751, NSW, Australia. 5. Department of Soil Science, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: October 31, 2017 - Accepted: July 21, 2018)

ABSTRACT

Salinity is one of the most important factor that prevents plant growth and physiological development. To study the soil application of zeolite on alleviating the adverse effects of salinity on milk thistle, this research experiment was conducted in research greenhouse of College of Agriculture, University of Tehran, Karaj in 2016. The experimental treatments were arranged as factorial based on randomized complete block design with three replications. The first treatment was salinity levels of irrigation water including of control (as check), 4, 8, and 12 dS/m, and the second treatment comprised of different levels of zeolite application in soil (control, 0.01, 0.05 and 0.1%). The result indicated that salinity had adversely effect on the vegetative and physiological characteristics of milk thistle. Application of zeolite at 0.05 % in salinity levels of control, 4 and 8 dS/m increased the plant total biomass by 38, 43, and 41%, respectively. Application of zeolite at 0.05 and 0.01% increased the potassium and decreased sodium content in the root. Also the lowest Na^+/K^+ ratio (1.65) was achieved at severe salinity level (8 dS/m) while zeolite was applied at 0.05% level. As the salinity increased, the antioxidant activity in the plant was also increased. Result of this experiment showed that application of zeolite could be considered as a solution to modify the adverse effect of salinity in milk thistle.

Keyword: Salinity stress, milk thistle, zeolite, biomass and enzymatic activity.

* Corresponding author E-mail: kkhoshbakht@yahoo.com

مقدمه

تنش شوری، به‌خصوص در سال‌های اخیر، مشکلی جهانی است که حدود ۲۰ درصد از زمین‌های کشاورزی را تحت تاثیر قرار داده و منجر به کاهش چشمگیر عملکرد محصول‌های کشاورزی شده است (Negro *et al.*, 2017). از طرفی روند برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و پیشروی آب شور در سفره آب شیرین، باعث شده تا حجم نسبی آب‌های شور افزایش یابد. بر این اساس، کم‌آبی و کاهش کیفی منابع آب و خاک از عوامل اصلی کاهش تولید می‌باشند. کاربرد روش کم‌آبیاری و استفاده از آب‌های شور، از راهبردهای مهم بهینه‌سازی مصرف آب، جهت سازگاری با کم‌آبی قلمداد شده و از اولویت برخوردار است. اما استفاده از روش کم‌آبیاری و منابع آب‌های شور مطمئناً کاهش عملکرد محصول را به‌همراه خواهد داشت (Mohammadi *et al.*, 2014). واکنش فیزیولوژیک گیاهان به تنش شوری اغلب پیچیده و چند بعدی است به‌گونه‌ای که تاکنون یک علت مشخص و یک‌جانبه‌ای را برای آن نیافته‌اند (Negrao *et al.*, 2017). زئولیت دسته‌ای از آلومینوسیلیکات‌های متخلخل با بار منفی است که کارایی آنها وابسته به ظرفیت تبادل بالای کاتیونی و میزان منافذ ریز است (Zandavifard, 2017). در واقع، زئولیت‌ها موادی هستند که دارای توانایی در افزایش کارایی استفاده از کود به‌وسیله پایین‌آوردن اتلاف از طریق شست و شو بوده و با آزاد کردن تدریجی یون‌های آمونیوم و پتاسیم و سایر کاتیون‌ها، آثار مفید خود را ظاهر می‌نمایند (Mozafari & Rayatpisheh, 2017). کاربرد زئولیت طبیعی در خاک، یکی از روش‌هایی است که می‌تواند کاهش عملکرد یاد شده را تا حدی تعدیل کند. کاربرد زئولیت طبیعی باعث نگه‌داشتن نمک‌های مضر خاک می‌گردد و از این طریق جذب آب توسط گیاه راحت‌تر می‌شود. (Abedi & Kazemi, 2006) تحقیقی در مورد تاثیر کاربرد زئولیت بر هدایت هیدرولیکی غیراشباع و حفظ آب خاک در بافت‌های مختلف انجام دادند و نتایج مثبتی گرفتند. مطالعات روی گیاه زیتون، تاثیر

مثبت زئولیت را در کاهش آب‌سویی نیترات، افزایش قدرت نگهداری آب در خاک، کارایی بالای مصرف آب و کاهش نیاز کوددهی نشان داد (Al-Busaidi *et al.*, 2008). همچنین، در بررسی اثر زئولیت بر خصوصیات خاک و عملکرد جو، گزارش شده است که کاربرد زئولیت در شوری‌های ۳ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به-ترتیب باعث ۹ و ۲۳/۳ درصد افزایش عملکرد محصول جو شد. همچنین، گزارش شده است که کاربرد زئولیت ظرفیت نگهداری آب و نمک را در خاک افزایش داد (Mohammadi *et al.*, 2014). خارمریم (*Silybum marianum*) یک گیاه دارویی است که به-عنوان علف‌هرز نیز شناخته شده است (Kahn *et al.*, 2009). گیاه خارمریم بومی اقلیم مدیترانه‌ای بوده که در سراسر جهان گسترش یافته است. این گیاه در کنار جاده‌ها و زمین‌های بایر و مزارع غلات رشد می‌کند و از ماده موثره آن برای درمان ناراحتی‌های کبدی، چربی خون، دیابت و سرطان استفاده می‌شود. از ترکیبات مهم دانه این گیاه می‌توان به سیلی‌مارین^۱، فلاوونوئیدها^۲، اسید چرب و پلی‌فنل‌ها^۳ اشاره کرد (Ramasamy & Agarwal, 2008). کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و تنش شوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک، یکی از تنش‌های مهم است که اثرات محدودکننده شدیدی بر رشد و نمو گیاهان می‌گذارد (Koca *et al.*, 2007). تقریباً بیش از نیمی از تمامی آب‌های زیرزمینی که در نواحی خشک و نیمه‌خشک برای آبیاری محصولات کشاورزی به‌کار می‌روند با مشکل شوری مواجه بوده و این امر در شور شدن خاک‌ها و کاهش تولید بسیاری از محصولات کشاورزی نقش دارد (Dorais *et al.*, 2001). این تنش سبب سخت‌تر شدن خاک و در نتیجه ایجاد مشکل برای جذب آب توسط ریشه‌ها می‌شود. همچنین، غلظت‌های بالای نمک در درون گیاه ممکن است اثرات سمی در گیاه داشته باشد (Geilfus *et al.*, 2010). نتایج مطالعه‌ای بر روی خارمریم نشان داد که

1. Silymarin
2. flavonoids
3. polyphenol

به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

کشت و آماده‌سازی خارمریم

برای انجام این پژوهش ریشه‌دان‌هایی^۷ از جنس توری پلاستیکی و با اندازه سوراخ^۸ ۶۰ (۲۵۰ میکرون) و حجم یک کیلوگرم خاک تهیه شد و در گلدان‌های هشت کیلویی قرار داده شد (تصویر ۱). این مجموعه، به گلخانه با دمای روزانه ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و شبانه ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد، مقدار نور در هنگام ظهر^۹ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ۸۰۰ و دوره روشنایی ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی، منتقل شدند. ۱۲ عدد بذر در هر ریشه‌دان درون گلدان کشت شد، بعد از سبزشدن بذرها، بوته‌ها در طی چند مرحله تنک گردیده و سرانجام در داخل هر گلدان پنج بوته نگهداری شد (شکل ۲). با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (Pressure plate) و براساس روش Klute (1986) درصد وزنی رطوبت خاک در پتانسیل‌های مختلف از جمله ظرفیت زراعی ($\theta_{F.C}$) و نقطه پژمردگی دائم تعیین گردید. حد فاصل درصد حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم به‌عنوان رطوبت قابل دسترس خاک^۹ در نظر گرفته شد و آبیاری براساس آن از ابتدای کاشت با آب شور انجام شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در جدول ۱ آمده است. برای کاربرد ژئولیت به صورت خاک مصرف، مقادیر استفاده از آن با نسبت‌هایی (درصدی) از مقدار خاک موجود در ریشه‌دان یک کیلوگرم خاک خشک) اعمال شد. به این منظور مقدار ژئولیت در چهار سطح (بر اساس درصد وزن خشک خاک موجود در ریشه‌دان‌ها) استفاده شد که عبارت بودند از: ۰/۱ درصد، ۰/۰۵ درصد و ۰/۱ درصد از یک کیلوگرم خاک خشک موجود در ریشه‌دان و شاهد (بدون استفاده از ژئولیت). خاک موجود در ریشه‌دان با درصدهای تعیین شده ژئولیت

در مقایسه با شاهد، گیاهان در تنش شوری تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر، شوری را تحمل کردند. ولی، تعداد کاپیتول^۴ در گیاه، قطر کاپیتول و ساقه اصلی و عملکرد بذر و اجزای عملکرد در شوری‌های بالاتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. مقدار روغن بذر نیز در شوری بالاتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر اندکی کاهش یافت (Ghavami et al., 2011). نتایج دیگر پژوهش‌ها نشان داده است که با تشدید شوری میزان فعالیت آنزیم آلfa آمیلاز^۵ و پراکسیداز^۶ بذور در روزهای مختلف کاهش یافت؛ به طوری که کمترین میزان صفات اندازه‌گیری شده مربوط به سطح ۲۵۰ میلی‌مولار شوری و بیشترین مربوط به شاهد بود (Masomy Zvaryan et al., 2013). در آزمایشی روی لوبیای سودانی با اعمال شوری مشاهده شد که با افزایش سطح شوری، وزن تر ریشه هر سه رقم کاهش یافت (Waheed et al., 2006). از تحقیقات انجام شده پیشین چنین به نظر می‌رسد که کاربرد ژئولیت می‌تواند در تخفیف شرایط نامساعد حاصل از تنش خشکی، به طور غیرمستقیم بر گیاهان مختلف مفید باشد. باتوجه به اینکه تنش شوری در ایران یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارنده رشد و توسعه گیاهان زراعی و دارویی به حساب می‌آید، به نظر می‌رسد که آزمودن تاثیر این ماده بر کاهش اثرات تنش شوری از اهمیت خاصی برخوردار است. بدین ترتیب، هدف از این آزمایش بررسی تاثیر کاربرد ژئولیت بر بهبود خصوصیات رویشی و فیزیولوژیک گیاه دارویی خارمریم تحت شرایط تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۵ در گلخانه علمی پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج اجرا شد. در این آزمایش، گیاه خارمریم (*Silybum marianum* L. Gaertn) رقم مجارستانی (Budakalasz) دارای قوه‌نامیه ۹۵ درصد و خلوص فیزیکی ۹۳ درصد مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش

7. Rhizobag

8. Mesh

^۹ Soil available water

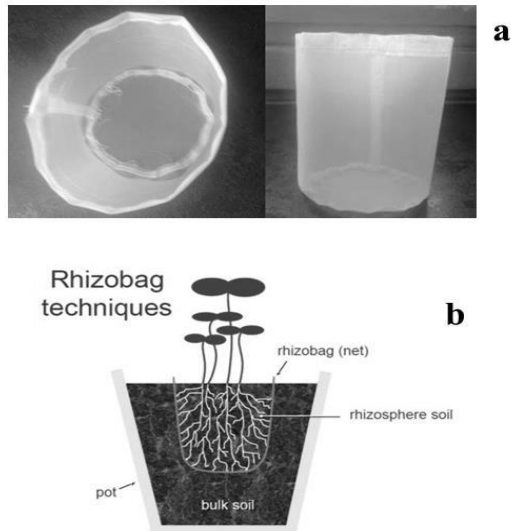
4. Capitule

5. Alpha-amylase anzyme

6. Peroxidase

تیمار شاهد (بدون شوری). مطالعه صفات رویشی، فیزیولوژیک و یونی ۷۲ روز پس از کاشت و در مراحل انتهایی رشد رویشی انجام شد.

ترکیب شد و ریشه‌دان‌ها تا پایان مرحله برداشت گیاه، درون گلدان قرار داشته و بذر گیاه نیز درون ریشه‌دان کاشت شد. همچنین تیمارهای آب شور عبارت بودند از: آب شور چهار، هشت و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و



شکل ۱- ریشه‌دان (a) و موقعیت قرارگیری آن در گلدان (b)
Figure 1. Rhizobag (a) and its placement in the pot (b)



شکل ۲- کشت خار مریم در ریشه‌دان‌های درون گلدان‌های آزمایشی
Figure 2- Cultivation of milk thistle in the rhizobag of the experimental pots

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها و ریشه‌دان‌ها

Table 1. Physical and chemical properties of soil filled in pots and rhizobags

Soil Texture (Loam)			Organic matter (%)	Electrical conductivity (EC) $dS.m^{-1}$	pH	Available potassium (mg/kg)	Available phosphorous (mg/kg)	Total nitrogen (%)	Field capacity (%)	PWP (%)
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)								
34.16	43.34	22.50	0.84	1.70	8.00	151.00	14.10	0.09	22.40	10.42

ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. مقدار ۰/۲ گرم از هر نمونه خشک و پودر شده، وزن شد و در کروزه‌های چینی به مدت ۵ ساعت در کوره و در دمای ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد به خاکستر تبدیل و پس از آن با اضافه کردن ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۱۵ ۲ نرمال و رساندن حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر با آب مقطر، از کاغذ صافی عبور داده شد و محلول حاصل با دستگاه فلیم‌فتمتر

(German Carlziess مدل (flame photometer) PF5) اندازه‌گیری شد و بعد مقدار سدیم و پتاسیم براساس منحنی‌های استاندارد بر حسب غلظت یک واحد در میلیون (ppm) تعیین و سپس با استفاده از فرمول زیر بر حسب درصد ماده خشک محاسبه شد.

$$\%E = [(C \times D \times V) / 106 \times DM] \times 100$$

E مقدار عنصر مورد نظر، C غلظت عنصر بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، D درجه رقت و حجم نهایی عصاره تهیه‌شده بر حسب میلی‌لیتر و DM وزن خشک نمونه بر حسب گرم می‌باشد و نهایتاً مقدار عنصر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز^{۱۶}

برای تهیه عصاره پروتئینی جهت اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز یک گرم بافت تر اندام هوایی در یک هاون چینی محتوی پنج میلی‌لیتر بافر تریس (۰/۰۵ مولار $pH = 7.5$) به مدت ۳۰ دقیقه و در حمام یخ کاملاً ساییده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور، سانتریفوژ نمونه‌ها انجام شد. در پایان مرحله سانتریفوژ لوله‌ها، عصاره‌های پروتئینی حاصل برای بررسی

تیمارهای آزمایشی

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ

در مرحله انتهایی و در ۷۲ روز پس از کشت، زمانی که گیاه در مرحله ۶-۸ برگگی و در مرحله رویشی قرار داشت، شاخص سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ‌سنج پرتابل^{۱۰} (مدل CI-202 ساخت شرکت CID آمریکا) و با توجه به سطح گلدان، محاسبه گردید.

اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا سلولی

از برگ‌های جوان و کاملاً توسعه‌یافته، صفحه‌هایی به قطر یک سانتی‌متر تهیه و در درون لوله‌های آزمایشگاهی فالكونی حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه قرار داده شد و بعد از نگهداری به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی^{۱۱} آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در درون اتوکلاو^{۱۲} به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از آنکه دمای آنها به دمای اتاق رسید برای بار دوم میزان هدایت الکتریکی^{۱۳} آنها ثبت گردید. سپس با بهره‌گیری از رابطه شاخص پایداری غشا^{۱۴} محاسبه گردید (Sairam et al., 2002).

$$MSI = 1 - \frac{EC_1}{EC_2} \times 100$$

اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم در ریشه و ساقه

جهت اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم، ریشه‌ها از ریشه‌دان خارج و شستشو داده شدند و به همراه قسمت هوایی بریده شده و به مدت ۴۸ تا ۷۳

۱۰. Portable Leaf Area meter

۱۱. EC1

۱۲. Autoclave

۱۳. EC2

۱۴. MSI

15. HCl

16. CAT

احتمال ۵ درصد صورت گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جداول ۲ و ۴ آمده است. مطابق نتایج به‌دست آمده سطوح مختلف شوری اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر تمام صفات مورد مطالعه داشت. نتایج آزمایش حاکی از تاثیر منفی تنش شوری بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و یونی مطالعه‌شده در این آزمایش بود. کاربرد زئولیت اثر معنی‌داری بر صفات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، زیست‌توده کل بوته، سدیم ریشه، Na^+/K^+ ریشه و شاخساره، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز (در سطح احتمال ۱ درصد) و پتاسیم ریشه و شاخساره، سدیم شاخساره، شاخص پایداری غشا (در سطح احتمال ۵ درصد) داشت. همچنین، اثر متقابل شوری و زئولیت روی صفات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، آنزیم پراکسیداز (در سطح احتمال ۵ درصد) و صفات زیست‌توده کل بوته، Na/K ریشه، آنزیم کاتالاز (در سطح احتمال ۱ درصد) معنی‌دار بود.

ارتفاع بوته

در تیمار آبیاری شاهد (بدون شوری) استفاده از سطوح مختلف زئولیت هیچ‌گونه تاثیری بر ارتفاع بوته نداشت و حال آنکه در تیمارهای شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، استفاده از تیمار ۰/۰۵ درصد زئولیت، ارتفاع بوته را به‌طور معنی‌داری نسبت به کنترل افزایش داد. با افزایش تاثیرات مخرب شوری بر روی رشد گیاه در سطوح آبیاری شور، کاربرد سطح ۰/۰۵ درصد زئولیت منجر به افزایش ارتفاع گیاه شد. بیشترین ارتفاع بوته در شرایط شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد سطح ۰/۰۵ درصد زئولیت به‌دست آمد که منجر به افزایش ۲۶/۳۱ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد (شکل ۳). در بررسی کاربرد زئولیت در گیاه پنیرک نشان داد شده است که کمترین ارتفاع مربوط به سطح شاهد و بیشترین مقدار این صفت

فعالیت کاتالاز مورد استفاده قرار گرفتند. سپس از بافر تریس ($pH = 7.5$) و ۲/۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۰/۱٪، ۰/۳ میلی‌لیتر مخلوط را در حمام یخ تهیه کرده و بلافاصله ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن افزوده شد. منحنی تغییرات در ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. فعالیت آنزیمی بر حسب واحد تغییرات جذب در دقیقه، به‌ازای هر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Hosseinian Khoshro *et al.*, 2012).

فعالیت آنزیم پراکسیداز^{۱۷}

فعالیت آنزیم پراکسیداز مشابه روش به‌کار برده شده توسط Abbasi *et al.* (2014) و مطابق Hameda & Kelin (1990) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم بر پایه تشکیل تتراکویاکول از گویاکول در حضور پراکسید هیدروژن و آنزیم گویاکول صورت گرفت. مخلوط واکنش شامل ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار ($pH=7.0$)، ۳ میکرولیتر گویاکول ۲۰ میلی‌مولار، ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره بود. پس از اضافه کردن عصاره، افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه توسط دستگاه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری زیست‌توده کل بوته

به‌منظور مطالعه وزن قسمت‌های هوایی، بوته‌ها کف‌بر شدند. همچنین، به‌منظور مطالعه زیست‌توده کل بوته، پس از خارج کردن ریشه‌دان از گلدان‌ها، ریشه‌های موجود در ریشه‌دان‌ها به‌همراه قسمت بالایی گیاه با شست‌وشو خارج شدند، بعد از خشک کردن در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۴۸ ساعت، با استفاده از ترازوی دقت ۴ صفر، وزن شدند.

تجزیه آماری

پس از آزمون همگنی واریانس‌ها، محاسبات آماری مربوطه با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح

رطوبتی به تدریج آب و مواد غذایی محلول در آب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و سبب جلوگیری از کاهش طول ساقه می‌شود (Naeemi, 2013).

مربوط به کاربرد زئولیت در گیاه بود (Naeemi, 2013). بنابراین به نظر می‌رسد که با افزایش مصرف زئولیت (نوعی رس ۲:۱) آب بیشتری در خاک ذخیره می‌گردد و در نتیجه با افزایش تنش

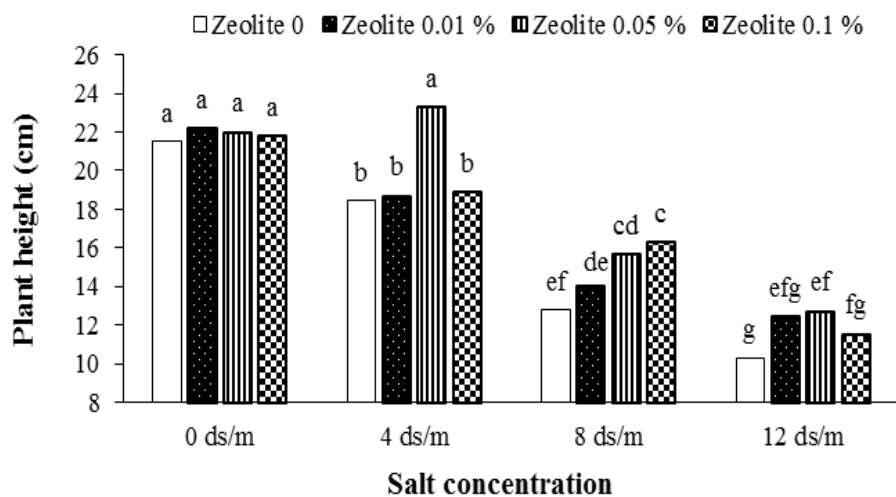
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رویشی و یونی در گیاه خارمریم

Table 2- Analysis of variance for growth and ionic traits in Milk thistle

S.O.V.	df	Plant height	Leaf area index	Total biomass	Sodium of root	Potassium of root	Na ⁺ /K ⁺ in root	Sodium of shoot	Potassium of shoot	Na ⁺ /K ⁺ in shoot
Block	2	0.4606	0.1177	0.0269	0.0023	0.00087	0.0221	0.0115	0.0679*	0.0025
Salt stress	3	257.8200**	9.2991**	1.9275**	1.3927**	0.01264**	5.1598**	3.6951**	0.8239**	0.8195**
Zeolite	3	14.45**	0.4818**	0.4952**	0.0109**	0.00419*	0.09003**	0.0791*	0.0570*	0.0264**
Salt × Zeolite	9	4.4205*	0.1744*	0.0449**	0.0022	0.00126	0.0273**	0.0077	0.0055	0.0016
Error	30	1.5968	0.0878	0.0142	0.0016	0.000975	0.0086	0.0214	0.01876	0.0051
CV (%)	-	7.40	11.57	8.02	7.29	5.28	9.67	7.15	4.75	9.79

* و **: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

*and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۳- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد زئولیت بر ارتفاع بوته در گیاه خارمریم

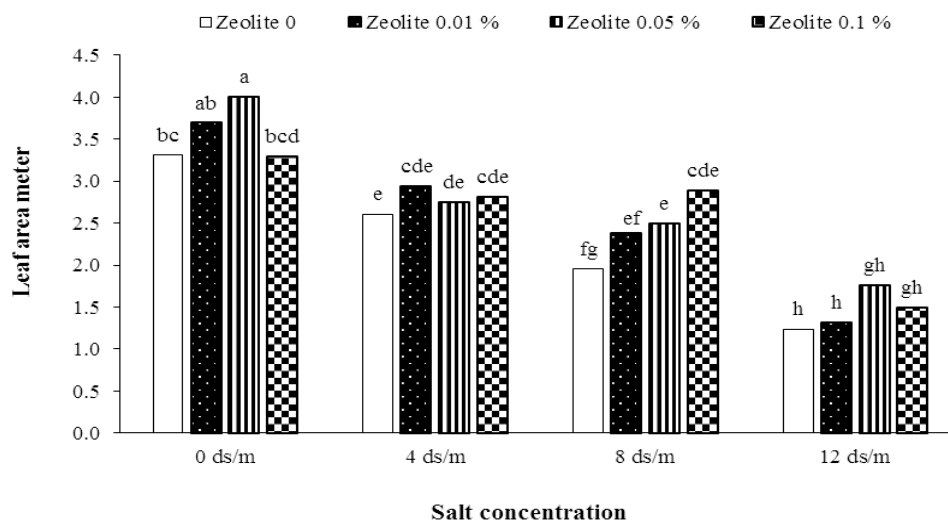
Figure 3- Interaction effect of salinity stress and zeolite application on plant height in milk thistle

زئولیت طی تنش خشکی روی گیاه شنبلیله نیز گزارش شده است (Baghbani Arani *et al.*, 2017). کاربرد زئولیت منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌گردد و در نهایت می‌توان تاثیر مثبت این پدیده را در افزایش شاخص سطح برگ مشاهده نمود (Shirani Rad, 2011). همچنین، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی منجر به کاهش از دست رفتن مواد غذایی به‌ویژه نیترات می‌شود. بنابراین، کاربرد زئولیت می‌تواند نقش عمده‌ای در

شاخص سطح برگ

در تیمار شاهد (عدم شوری) و همچنین تیمار ۸ دسی‌زیمنس بر متر استفاده از زئولیت با نسبت ۰/۰۵ درصد توانست به‌طور معنی‌داری شاخص سطح برگ را به ترتیب ۲۱ و ۲۷ درصد افزایش دهد (شکل ۴). در یک بررسی مشاهده شد که در اثر کاربرد ۲ تن در هکتار زئولیت، سطح برگ گیاه کلزا را از ۲/۳۶ به ۳/۸۶ سانتی‌متر مربع افزایش داد (Ahmadi Azar *et al.*, 2015). افزایش شاخص سطح برگ در اثر کاربرد

بهبود خصوصیات رشدی گیاه از جمله شاخص سطح برگ داشته باشد (Zahedi et al., 2009).



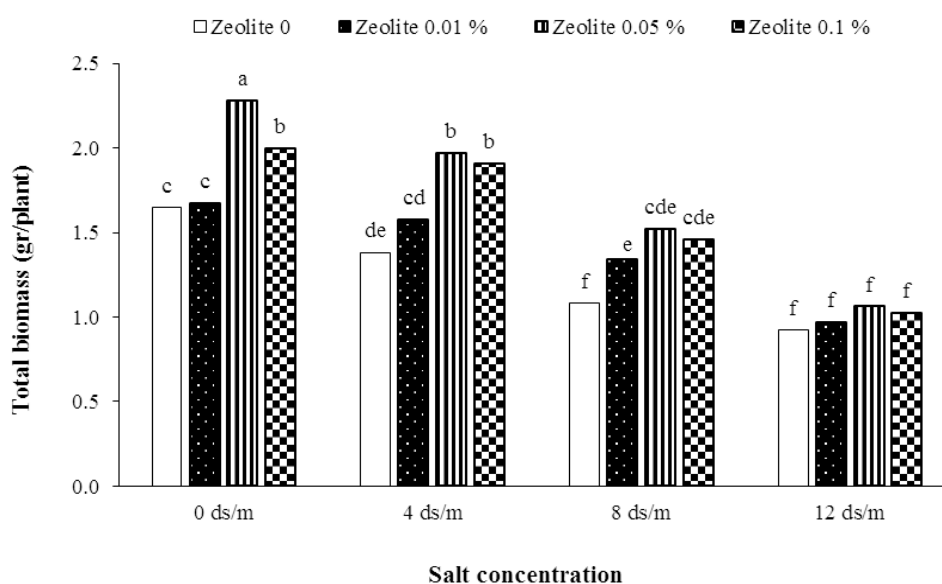
شکل ۴- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد زئولیت بر شاخص سطح برگ در گیاه خارمریم

Figure 4- Interaction effect of salinity stress and zeolite application on leaf area index in milk thistle

رطوبت کمتر، قبل از محبوس شدن آب در کانال‌های زئولیت، گیاه همان میزان رطوبت را مورد استفاده قرار می‌دهد، در حالی که در میزان آب بیشتر، قبل از مصرف آب توسط گیاه، کانال‌های زئولیت این رطوبت را در خود نگه داشته و از دسترس گیاه خارج می‌کنند (Naeemi, 2013). بنابراین، به نظر می‌رسد که زئولیت از طریق نگهداری بیشتر آب در خاک، به صورت غیرمستقیم سبب خنثی شدن اثر مضر تنش شوری و تنش خشکی القاء شده به وسیله آن شده است. تنش شوری سبب کاهش یا متوقف شدن رشد از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیک حیاتی مانند فتوسنتز و یا تأثیر بر جذب و انتقال آب و مواد غذایی توسط گیاه می‌شود (Baybordi, 2016). چنین به نظر می‌رسد که زئولیت با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک توانسته است تا حدودی از طریق تسهیل جذب آب و مواد غذایی اثر تنش شوری و حتی نیاز گیاه را به آبیاری کاهش دهد و بدین ترتیب گیاه در دوره‌ای طولانی‌تر توانسته به جذب آب و مواد غذایی بپردازد و از اثرات تنش در امان بماند (Al-Busaidi et al., 2007).

زیست‌توده کل بوته

استفاده از زئولیت با مقدار ۰/۰۵ درصد به ترتیب باعث افزایش ۳۸، ۴۳ و ۴۱ درصدی زیست‌توده کل بوته در تیمارهای شوری شامل شاهد، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر گردید. با افزایش شدت شوری، مقدار زیست‌توده از یک روند کاهشی برخوردار بود (شکل ۵). در تحقیقات مختلف گزارش شده است که استفاده از زئولیت طبیعی در خاک، وزن خشک گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (Gholizadeh et al., 2010). در بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد زئولیت در گیاه پنیرک، نتایج نشان داد که در نبود زئولیت با افزایش تنش از ۱۰۰ به ۵۰ درصد حد ظرفیت مزرعه، وزن تر و خشک اندام هوایی (به ترتیب از ۱۲۹ به ۸۴ و از ۲۵ به ۱۳ گرم) کاهش یافت، که علت این امر کاهش میزان آب قابل دسترس گیاه می‌باشد (Ahmadi Azar et al., 2015). در سطوح دیگر زئولیت نیز با کاهش رطوبت خاک میزان وزن تر و وزن خشک اندام هوایی کاهش معنی‌داری پیدا کرده است که کاملاً منطقی به نظر می‌رسد زیرا در میزان



شکل ۵- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد زئولیت بر زیست توده کل در گیاه خارمریم

Figure 5- Interaction effect of salinity stress and zeolite application on total biomass in milk thistle

سدیم و پتاسیم ریشه مقدار سدیم ریشه با افزایش شوری از یک روند افزایشی پیروی نمود؛ به طوری که بالاترین مقدار سدیم در غلظت شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که نسبت به مقدار سدیم در تیمار شاهد (بدون شوری) افزایش ۳۴۰ درصدی (۳/۴ برابر) را نشان داد. حداقل مقدار سدیم در ریشه در تیمار ۰/۰۵ درصد کاربرد زئولیت مشاهده شد که نسبت به شاهد (بدون زئولیت) کاهش ۱۴ درصدی را نشان داد. به نظر می‌رسد وجود زئولیت به علت تعدیل اثرات مخرب شوری موجب شده است که گیاه از تولید زیست توده بیشتری برخوردار گردد و تراکم یون سدیم به طور نسبی در داخل سلول‌های گیاهی کاهش یابد. نتایج این تحقیق با نتایج **Baybordi (2016)** مطابقت داشت؛ به طوری که فراوانی سدیم در خاک باعث لطمه به جذب پتاسیم توسط گیاه می‌شود. زیرا، این دو عنصر با یکدیگر رقابت داشته و دارای همبستگی منفی می‌باشند (**Turan et al., 2009; Ma, 2004**).

مقدار پتاسیم ریشه فقط در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به سایر تیمارها کاهش معنی‌دار نشان داد که احتمالاً به دلیل حضور یون سدیم بیش از حد در ریشه می‌باشد. کاربرد زئولیت به نسبت ۰/۰۵ (۰/۶۱۱ میلی‌گرم بر گرم) و ۰/۰۱ درصد ریشه گردید (جدول ۳). دلیل این موضوع را می‌توان به جذب آب توسط زئولیت و آزادسازی تدریجی آن در محیط رشد ریشه و بهبود شرایط رطوبتی گیاه نسبت داد. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیقات **Bybordi (2016)** در آزمایش بررسی تأثیر زئولیت و محلول پاشی سلنیوم (**Selenium**) و سیلیسیم (**Silicium**) بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک کلزا در شرایط تنش شوری، میزان پتاسیم گیاه در اثر کاربرد زئولیت افزایش یافت؛ در حالی که سدیم برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت. زئولیت سبب فراهمی کلسیم در خاک و گیاه می‌شود که این فراهمی سبب کاهش نسبت سدیم به کلسیم می‌گردد. فراهمی کلسیم به وسیله زئولیت در محیط ریشه از جذب و تجمع سدیم جلوگیری به عمل می‌آورد و سبب کاهش اثر سمی تنش شوری می‌گردد (**Turan et al., 2009**). همچنین گزارش شده است که فراوانی سدیم در خاک باعث لطمه به جذب پتاسیم توسط گیاه می‌شود (**Bybordi, 2015**).

سدیم و پتاسیم ریشه مقدار سدیم ریشه با افزایش شوری از یک روند افزایشی پیروی نمود؛ به طوری که بالاترین مقدار سدیم در غلظت شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که نسبت به مقدار سدیم در تیمار شاهد (بدون شوری) افزایش ۳۴۰ درصدی (۳/۴ برابر) را نشان داد. حداقل مقدار سدیم در ریشه در تیمار ۰/۰۵ درصد کاربرد زئولیت مشاهده شد که نسبت به شاهد (بدون زئولیت) کاهش ۱۴ درصدی را نشان داد. به نظر می‌رسد وجود زئولیت به علت تعدیل اثرات مخرب شوری موجب شده است که گیاه از تولید زیست توده بیشتری برخوردار گردد و تراکم یون سدیم به طور نسبی در داخل سلول‌های گیاهی کاهش یابد. نتایج این تحقیق با نتایج **Baybordi (2016)** مطابقت داشت؛ به طوری که فراوانی سدیم در خاک باعث لطمه به جذب پتاسیم توسط گیاه می‌شود. زیرا، این دو عنصر با یکدیگر رقابت داشته و دارای همبستگی منفی می‌باشند (**Turan et al., 2009; Ma, 2004**).

مقدار پتاسیم ریشه فقط در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به سایر تیمارها کاهش معنی‌دار نشان داد که احتمالاً به دلیل حضور یون

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات یونی خارمریم تحت تاثیر تنش شوری و مصرف زئولیت

Table 3- Mean comparisons of main effects of ionic traits in milk thistle affected by salt stress and zeolite

Treatments	Sodium of root (mg/g)	Potassium of root (mg/g)	Sodium of shoot (mg/g)	Potassium of shoot (mg/g)	Na ⁺ /K ⁺ in shoot
Salt stress					
0 dS/m	0.291 ^c	0.614 ^a	1.445 ^d	3.165 ^a	0.457 ^d
4 dS/m	0.316 ^c	0.592 ^a	1.731 ^c	3.027 ^b	0.572 ^c
8 dS/m	0.570 ^b	0.612 ^a	2.366 ^b	2.742 ^c	0.866 ^b
12 dS/m	1.025 ^a	0.545 ^b	2.647 ^a	2.590 ^d	1.026 ^a
Zeolite					
Zeolite 0 (Control)	0.584 ^a	0.567 ^b	2.146 ^a	2.786 ^b	0.788 ^a
Zeolite 0.01 %	0.541 ^{bc}	0.599 ^a	2.013 ^b	2.921 ^a	0.704 ^{bc}
Zeolite 0.05 %	0.514 ^c	0.611 ^a	1.957 ^b	2.941 ^a	0.683 ^c
Zeolite 0.1 %	0.564 ^{ab}	0.586 ^{ab}	2.074 ^{ab}	2.877 ^{ab}	0.746 ^{ab}

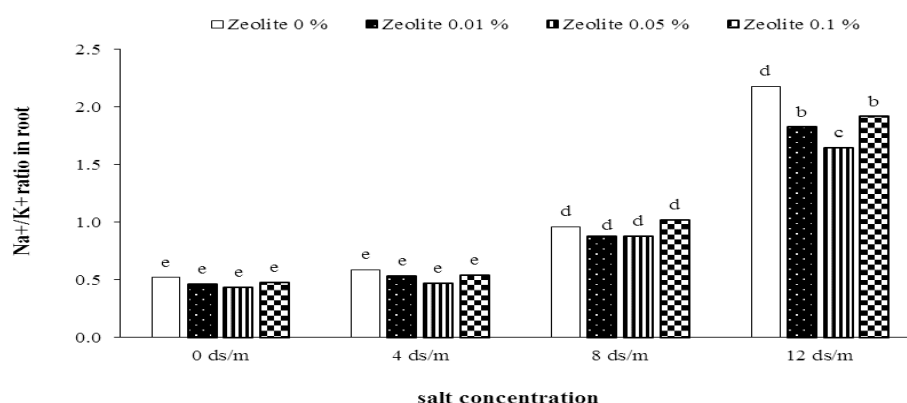
اعداد با حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) می باشند

Different letters in each column indicate significant difference at $P \leq 0.05$.

حضور زئولیت در محیط رشد ریشه سبب ایجاد برتری در جذب پتاسیم نسبت به یون های دیگر از جمله سدیم می شود (Desutter & Pierzyski, 2004). در تحقیق مشابهی، نتایج نشان داد که زئولیت منجر به افزایش جذب پتاسیم در مقایسه با سدیم شد (Ghorbani and Agha Babaei, 2008). از آنجایی که کاربرد زئولیت منجر به افزایش جذب کاتیونی در خاک می شود (Li et al., 2000)، کاهش تاثیر مخرب تنش شوری به سبب کاربرد زئولیت در خاک، قابل پیش بینی است. این ویژگی مثبت زئولیت می تواند در کنترل تنش شوری مورد استفاده قرار بگیرد (Mohammadi et al., 2014).

Na⁺/K⁺ در ریشه

افزایش سطوح تنش شوری منجر به افزایش Na⁺/K⁺ در ریشه گردید. در سطوح شوری ملایم و متوسط (۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر)، اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف زئولیت مشاهده نشد. این در حالی است که در تنش شدید شوری (۱۲ دسی زیمنس بر متر) سطوح مختلف کاربرد زئولیت منجر به کاهش Na⁺/K⁺ ریشه نسبت به شاهد شد. کمترین Na⁺/K⁺ ریشه (۱/۶۵) در سطح تنش شدید شوری از نسبت کاربرد ۰/۰۵ درصد زئولیت به دست آمد (شکل ۶). تاثیر مثبت زئولیت در افزایش جذب آب و کاهش یونی سدیم ریشه در کنار افزایش پتاسیم در ریشه، منجر به حصول چنین نتیجه ای شده است.



شکل ۶- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد زئولیت بر Na⁺/K⁺ در ریشه در گیاه خارمریم

Figure 6- Interaction effect of salinity stress and zeolite application on Na⁺/K⁺ ratio in root in milk thistle

سدیم و پتاسیم شاخساره

تیمار شوری تاثیر معنی‌داری بر جذب و در نتیجه میزان تجمع دو عنصر سدیم و پتاسیم در بخش هوایی گیاهان داشت. با افزایش شوری، مقدار سدیم شاخساره از روند افزایشی پیروی نمود به طوری که بیشترین مقدار سدیم در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. کمترین مقدار سدیم شاخساره در تیمار ۰/۰۵ درصد زئولیت مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطوح ۰/۰۱ و ۰/۱ درصد زئولیت نداشت (جدول ۳). بیشترین مقدار پتاسیم در تیمار شاهد (۳/۱۶۵ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد و کمترین مقدار آن (۲/۵۹۰ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار تنش شدید شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده گردید. کاربرد زئولیت در تمام سطوح مورد استفاده توانست میزان پتاسیم شاخساره را نسبت به شاهد (بدون مصرف زئولیت) افزایش دهد. به طوری که بیشترین میزان پتاسیم شاخساره از تیمار ۰/۰۵ درصد کاربرد زئولیت به دست آمد (جدول ۳). مطالعات فیزیولوژیک نشان داده است که تنش شوری اثرات نامطلوبی بر رشد گیاهان دارد. این امر به سبب تغییر در نسبت عناصر غذایی، تنش اسمزی و سمیت برخی از یون‌های خاص می‌باشد (Esmaili et al., 2008). در مطالعه دیگری نیز افزایش پتاسیم و کاهش سدیم در اثر مصرف زئولیت را در شرایط تنش شوری برای گیاه کلزا گزارش شده است. رابطه بین شوری و قابلیت جذب عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد پیچیده بوده و بستگی به گونه گیاهی، غلظت و نوع نمک و میزان عناصر غذایی موجود در محیط ریشه دارد

(Baybordi, 2017). در بررسی اثر سطوح مختلف زئولیت بر گیاه کاهو در شرایط تنش شوری گزارش شده است که تنش شوری باعث کاهش تمام صفات مورفولوژیک و همچنین شاخص کلروفیل و پروتئین کل گیاه، میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ کاهو شد. در این شرایط استفاده از زئولیت باعث کاهش اثر منفی شوری گردید (Ramjerdi, 2016).

شاخص پایداری غشاء

تنش شوری در سطح احتمال یک درصد و کاربرد زئولیت در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری روی شاخص پایداری غشا داشت (جدول ۴). افزایش تنش شوری منجر به کاهش شاخص پایداری غشا در گیاه خارمریم گردید؛ به طوری که کمترین شاخص پایداری غشا (۴۴/۴۸ درصد) در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. با مصرف زئولیت به میزان ۰/۰۵ درصد بیشترین شاخص پایداری غشا (۵۸/۲۲ درصد) به دست آمد (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاربرد زئولیت با تعدیل شرایط رطوبتی گیاه منجر به کاهش آسیب‌های ناشی از تنش و ناپایداری غشاهای سلولی شده است. یکی از آثار مخرب تنش‌های محیطی تخریب غشاهای سلولی می‌باشد که این امر موجب کاهش خاصیت نفوذپذیری انتخابی غشاهای سلول می‌شود و در نهایت منجر به افزایش نشست یون‌ها در فضای‌های بین‌سلولی می‌گردد (Cheng et al., 2015).

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در گیاه خارمریم

Table 4- Analysis of variance for physiological traits in Milk thistle

S.O.V.	d.f.	Membrane stability index	Peroxidase activity	activity Catalase
Block	2	8.8244	0.0000096	0.00304
Salt stress	3	862.9223**	0.0004200**	2.66102**
Zeolite	3	46.7992*	0.0000632**	0.15544**
Salt × Zeolite	9	2.0031	0.0000154 *	0.05253 **
Error	30	14.1558	0.0000057	0.005609
CV (%)	-	6.77	5.44	3.47

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

*and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی بر صفات فیزیولوژیک خارمریم

Table 5- Mean comparisons of main effects on physiological traits in Milk thistle

Treatments	Membrane stability index (%)	Peroxidase activity (unit min ⁻¹ g ⁻¹ fresh weight)	activity Catalase (unit min ⁻¹ g ⁻¹ fresh weight)
Salt stress			
0 dS/m	63.37 ^a	0.0385 ^c	1.680 ^d
4 dS/m	60.85 ^a	0.0399 ^c	1.920 ^c
8 dS/m	53.61 ^b	0.0456 ^b	2.265 ^b
12 dS/m	44.48 ^c	0.0515 ^a	2.765 ^a
Zeolite			
0 (Control)	53.649 ^b	0.0470 ^a	2.258 ^a
0.01 %	55.85 ^{ab}	0.0422 ^c	2.228 ^a
0.05 %	58.22 ^a	0.0420 ^c	2.004 ^c
0.1 %	54.616 ^b	0.0443 ^b	2.140 ^b

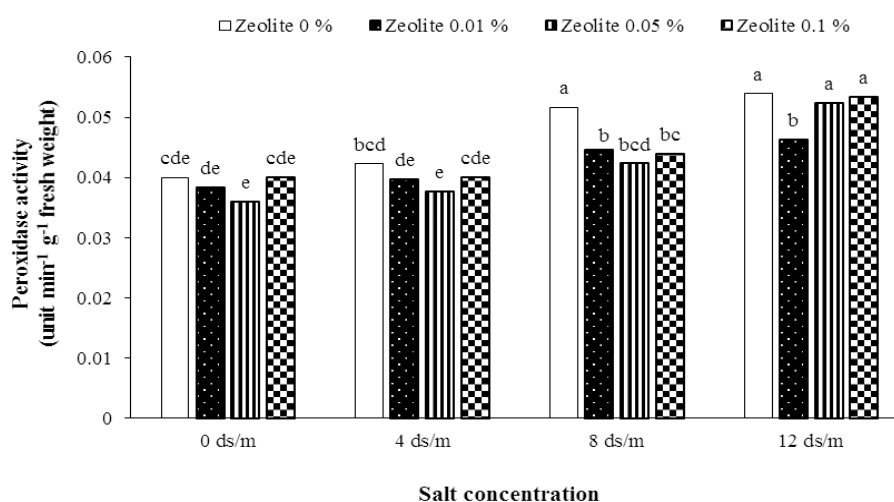
اعداد با حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) می باشند

Different letters in each column indicate significant difference at $P \leq 0.05$.

بر گیاهان در نظر گرفته شود (Neil et al., 2002). بسته به میزان حساسیت گونه گیاهی، مرحله رشد، شدت و مدت تنش، غلظت و فعالیت این نوع آنزیم‌ها تغییر خواهند کرد. مشابه نتایج به دست آمده در این تحقیق، کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز با افزایش میزان زئولیت در گیاه پیاز نیز گزارش شده است (Baybordi, 2017). (Ramjerdi, 2016) در بررسی اثر سطوح مختلف زئولیت بر گیاه کاهو در شرایط تنش شوری گزارش کرد و نشان داد که کمترین مقادیر سدیم، پرولین، ویتامین سی (C) و آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمارهای حاوی ۱۰ درصد حجمی زئولیت و فاقد تنش شوری بود.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش تنش شوری منجر به افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ‌های خار مریم گردید. این در حالی است که مصرف زئولیت توانست تا حدودی از افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز (Peroxidase) جلوگیری کند. در سه سطح اول تنش شوری، کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح ۰/۰۵ درصد زئولیت مشاهده شد. اما در سطح تنش شدید شوری، با مصرف ۰/۰۱ درصد زئولیت، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز کاهش یافت (شکل ۷). تغییرات در میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان علاوه بر تغییرات یونی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی، می‌تواند به‌عنوان یکی از موارد تاثیرگذار تنش شوری



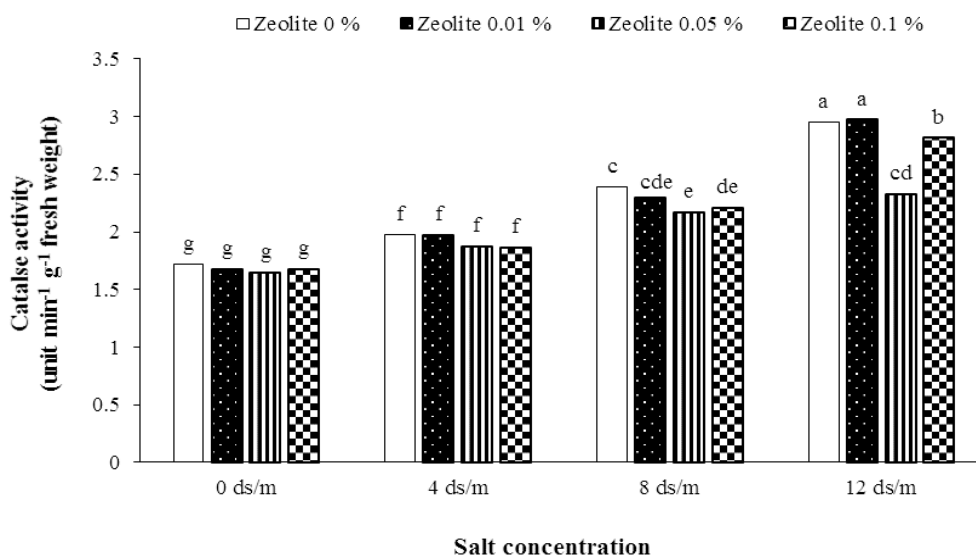
شکل ۷- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد زئولیت بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه خارمریم

Figure 7- Interaction effect of salinity stress and zeolite application on peroxidase activity in Milk thistle

در امان بماند. از سوی دیگر تنش‌های محیطی سبب بروز تنش اکسیداتیو و افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه می‌شود. گیاهان با سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی خود در مقابل تنش‌های اکسیداتیو سبب پاکسازی این رادیکال‌های آزاد می‌گردند. واکنش آنزیمی گیاهان به تنش‌ها از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت بوده و حتی شدت و نوع تنش بر آن اثر می‌گذارد (Albergico & Gramer, 1993; Hernandez et al., 2000). محققان در بررسی تأثیر زئولیت غنی‌شده با کلسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک نهال‌های پسته تحت تنش شوری، گزارش کردند که کاربرد زئولیت باعث افزایش غلظت پرولین و آنزیم‌ها شده و توانایی نهال‌های پسته را در مقاومت به تنش شوری افزایش داد (Mozafari & Zeraat-Pisheh, 2016).

فعالیت آنزیم کاتالاز

کاتالاز جزو آنزیم‌هایی است که پراکسید هیدروژن را پاک‌سازی کرده و اثرات این ماده را بر بیان ژن و شرکت آن را در متابولیسم اکسیداتیو تنظیم می‌کند (Rasel et al., 2013). در تیمار ملایم تنش شوری (۴ دسی‌زیمنس بر متر)، مصرف زئولیت تأثیر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نداشت ولی در سطوح ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مصرف ۰/۰۵ درصد زئولیت منجر به کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شد (شکل ۸). به نظر می‌رسد که بهبود وضعیت رشدی گیاه در اثر مصرف زئولیت منجر به تعدیل تنش شوری و کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه خارمریم شده باشد. همچنین، به نظر می‌رسد که زئولیت با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک توانسته است تا حدودی نیاز گیاه را به آبیاری کاهش دهد و بدین ترتیب گیاه در دوره‌های طولانی‌تر بدون آبیاری مقاومت نماید و از تنش شوری



شکل ۸- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد زئولیت بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه خارمریم

Figure 8- Interaction effect of salinity stress and zeolite application on catalase activity in milk thistle

افزایش جذب آب شد. با استفاده از زئولیت به‌علت افزایش دسترسی به رطوبت بیشتر در شرایط تنش شوری، اثرات زیانبار تنش در گیاه خارمریم کاهش یافت و این امر موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی، افزایش یون پتاسیم و کاهش یون سدیم به-

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد تنش شوری تأثیر نامطلوبی بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و یونی مطالعه‌شده در گیاه خارمریم داشت. مصرف زئولیت منجر به بهبود شرایط رویشی و خصوصیات فیزیولوژیک از طریق

در کشور، می‌تواند در تخفیف شرایط نامساعد حاصل از تنش شوری و خشکی که از مهم‌ترین عوامل بازدارنده رشد و توسعه گیاهان زراعی و دارویی از جمله گیاه خارمریم در ایران به حساب می‌آیند، به‌طور غیرمستقیم مفید باشد. شایان ذکر است که با توجه به تاثیر قابل‌ملاحظه این ماده بر رشد محصول در مقادیر بسیار اندک آن (۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد)، مصرف آن از دیدگاه اقتصادی کاملاً قابل توجیه است.

ویژه در قسمت ریشه شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین اظهار نظر کرد که استفاده از زئولیت (نسبت ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد) در خاک به‌طور غیرمستقیم، اثرات مخرب تنش شوری را کاهش داده و به بهبود شرایط رشدی گیاه دارویی خارمریم کمک می‌کند. بنابراین، از نتایج این آزمایش و همچنین تحقیقات انجام‌شده پیشین چنین به نظر می‌رسد که کاربرد زئولیت به‌عنوان ماده‌ای فراوان و قابل‌دسترس

REFERENCES

1. Abbasi, A. R., Entesari, M. & Ebrahimi, A. (2014). Effect of salinity stress on germination parameters, chlorophyll content and antioxidant enzyme activity in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotype. *Iranian Journal of field Crop Science*, 45 (3), 461-472.
2. Abedi, J. & Kazemi, J. (2006). Effect of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus Arizonica*) under reduced irrigation regimes. *Journal of Iranian Polymer*, 15(9), 715-725.
3. Ahmadi Azar, F., Hasanloo, T., Imani, A. & Feiziasl, V. (2015). Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of Mallow (*Malva sylvestris*). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(3), 459-474.
4. Al-Busaidi, A., Yamamoto, T. & Irshad, M. (2007). The ameliorative effect of artificial zeolite on barley under saline condition. *Journal of Applied Sciences*, 7(16), 2272-2276.
5. Al-Busaidi, A., Yamamoto, T., Inoue, M., Eneji, A. and Irshad, M. (2008) Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *Journal of Plant Nutrition*, 31(7), 1159-1173.
6. Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Akbar-Boojar, M. A. & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops & Products*, 109, 346-357.
7. Bybordi, A. (2016). Effect of zeolite, selenium and silicon on yield, yield components and some physiological traits of canola under salt stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(1), 154-170.
8. Bybordi, A. (2017), 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), 832-850.
9. Cheng, T., Chen, J., Zhang, J., Shi, S., Zhou, Y., Lu, L., Wang, P., Jiang, Z., Yang, J., Zhang, S. & Shi, J. (2015). Physiological and proteomic analyses of leaves from the halophyte Tangut Nitraria reveals diverse response pathways critical for high salinity tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-13.
10. DeSutter, T. M. & Gary, M. P. (2004). Evaluation of soils for use as liner materials: A Soil chemistry approach. *Journal of Environmental Quality*, 34, 951-962.
11. Dorais, M., Papadopoulos, A. P. & Gosselin, A. (2001). Influence of electrical conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomy journal*, 21, 367-383.
12. Esmaili, E., Kapourchal, S. A., Malakouti, M. J., Homaei, M. (2008). Interactive effect of salinity and two nitrogen fertilizers on growth and composition of sorghum. *Plant Soil and Environment*, 54(12), 537-546.
13. Geilfus, C. M., Zorb, C. & Muhling, H. K. (2010). Salt stress differentially affects growth-mediating bexpansins in resistant and sensitive maize (*Zea mays* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 993-998.
14. Ghavami, N., Naghdy, H. A. Ramin, A. A., & Ehrafarin, A. (2011). Effect of salinity on seed yield and oil mite thistle. *Journal of Medicine*, 2, 89-93. (In Farsi).
15. Gholizadeh, A., Amin, M. S. M., Anuar, A. R. & Saberioon, M. M. (2010). Water stress and natural zeolite impacts on phisiomorphological characteristics of Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(10), 5184-5190.

16. Ghorbani, H., Agha Babaei, A. (2008). The Effects of natural zeolite on ions adsorption and reducing solution electrical conductivity I) Na and K solutions. *International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology*. Turkey, pp. 947-955.
17. Hemeda, H. M. & Kelm B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. *Journal of Food Science*, 55, 184-185.
18. Hernandez, J. A., Jimenez, A., Mullineaux, P. & Sevilla, F. (2000). Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defenses. *Plant Cell and Environment*, 23, 853-862.
19. Khan, M. Z., Blackshaw, R. E. & Marwat, K. B. (2009). Biology of milk thistle (*Silybum marianum*) and the management options for growers in north-western Pakistan. *Weed Biology Management*, 9, 99-105.
20. Klute, A. (1986). Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. Arnold Klute, Albert edition Lee Page Edition, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. Pp: 635-662.
21. Koca, M., Bor, M. Ozdemir, F. & Turkan, I. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 60, 344-351.
22. Li, Z., Daniel A. & Lori A. (2000). Influence of quaternary ammonium on sorption of selected metal cations onto clinoptilolite zeolite. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1106-1114.
23. Ma, J. F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science Plant Nutrition*, 50, 11-18.
24. Masomy Zvaryan, A., Yosefi Rad, M. & Moghadas, M. S. (2013). Effect of salt stress on germination indices and alpha-amylase and peroxidase enzyme activity of medicinal plants milk thistle (*Silybum marianum*). *National Congress and Conventional Farming*, Ardabil. (In Farsi).
25. Mohammadi, M., Molavi, H., Abdolmajid, L. & Parsinejhad, M. (2014). Application of zeolite on yield and water use efficiency. *Soil and Water Sciences*, 27(1), 57-67. (In Farsi)
26. Mozafari, V., Rayat Pisheh, M. (2017). Effect of calcium-enriched zeolite on some physiological characteristics of pistachio seedlings under salinity stress. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(4).
27. Naeimi, M. (2013). *Investigation of Eco physiological affects application of zeolite and selenium on tolerance of drought stress in Cucurbita pepo L.* PhD Thesis. Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran.
28. Negrao, S., Schmockel, S. M. & Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119, 1-11.
29. Neill, S., Desika, R. & Hancock, J. (2002). Hydrogen peroxide signaling curropin. *Plant Biology*, 5, 388- 395.
30. Ramasamy, K. & Agarwal, R. (2008). Multi targeted therapy of cancer by silymarin. *Cancer Letter*, 269 (2), 352-62.
31. Ramjerdi, F. (2016). *Effect of different levels of zeolite on Lactuca sativa under salinity stress in soilless culture.* M.Sc. Thesis. Khalij Fars University, Iran.
32. Sairam, R. K., Veerabhadra, R. K. & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotype to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046.
33. Shirani Rad, A. H. (2011). Zeolite and nitrogen rates effect on some agronomic traits and fatty acids of winter rapeseed under non water and water stress conditions. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 1(8), 114-121.
34. Turan, M. A., Elkiram, A. H. A., Taban, N. & Tban, S. (2009). Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations in maize plant. *African Journal of Agricultural Research*, 4(9), 893- 897.
35. Waheed, A., Hafiz, I. A., Qadir, G., Murtaza, G., Mahmood, T. & Ashraf, M. (2006). Effect of salinity on germination, growth, yield, ionic balance and solute composition of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 38, 1103- 1117.
36. Zahedi, H., Noor-Mohamadi, G. H., Shirani Rad, A. H., Habibi, D. & Mashhadi Akbar Boojar, M. (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 Science Journal*, 7, 255-262.