Archive of SID

Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 50, No 3, Summer 2019 (63-77)
DOI: 10.22059/ijfcs.2018.244126.654394

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۳، پائیز ۱۳۹۸ (ص۷۷-۶۳)

تاثیر 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 متشرع 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. به‌منظور 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 به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول، سطوح مختلف شوری (عدم وجود تنش شوری به‌عنوان 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) به‌صورت 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، به‌ترتیب موجب افزایش ۳۸، ۴۳ و ۴۱ درصدی زیست‌توده 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 به‌دست آمد. تنش شوری منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گردید. براساس نتایج این آزمایش، زئولیت می‌تواند به‌عنوان ماده افزودنی جهت جلوگیری از تنش شوری مورد استفاده قرار گیرد.

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

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

Sara Safikhan[1], Korous Khoshbakht[2]*, Mohammad Reza Chaichi[3], Abbas Amini[4], Babak Motesharezadeh[5]

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**

www.SID.ir

Archive of SID

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 مطمئنا 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 نگه‌داشت 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 آبشویی 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 به‌ترتیب 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 به‌عنوان 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[1]، فلاوونویدها[2]، اسید چرب و پلی‌فنل‌ها[3] 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**). تقریبا 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 آلفا آمیلاز [۵] و پراکسیداز [۶] بذور در روزهای مختلف کاهش یافت؛ به‌طوری که کمترین میزان صفات اندازه‌گیری‌شده 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 انجام‌شده پیشین چنین به‌نظر می‌رسد که کاربرد زئولیت می‌تواند در تخفیف شرایط نامساعد حاصل از تنش خشکی، به‌طور 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 به‌حساب می‌آید، به‌نظر می‌رسد که آزمودن تاثیر این ماده بر کاهش اثرات تنش شوری از اهمیت خاصی برخوردار است. بدین‌ترتیب، هدف از این آزمایش بررسی تاثیر کاربرد زئولیت 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 (**Budakalaszi**) دارای قوه‌نامیه ۹۵ درصد و خلوص فیزیکی ۹۳ درصد مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت 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 ۶۰[۸] (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، رطوبت‌نسبی حدود ۶۰ درصد، مقدار نور در هنگام ظهر $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ 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 ظرفیت‌زراعی ($\theta_{F.C}$) و نقطه پژمردگی دایم تعیین گردید. حد فاصل درصد حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت‌زراعی و پژمردگی دایم به‌عنوان رطوبت قابل‌دسترس 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 زئولیت به‌صورت خاک‌مصرف، مقادیر استفاده از آن با نسبت‌هایی (درصدی) از مقدار خاک موجود در ریشه‌دان یک کیلوگرم خاک خشک) اعمال شد. به این منظور مقدار زئولیت در چهار سطح (بر اساس درصد وزن خشک خاک موجود در ریشه‌دان‌ها) استفاده شد که عبارت بودند از: ۰/۰۱ درصد ، ۰/۰۵ درصد و ۰/۱ درصد از یک کیلوگرم خاک خشک موجود در ریشه‌دان و شاهد (بدون استفاده از زئولیت). خاک موجود در ریشه‌دان با درصدهای تعیین‌شده زئولیت

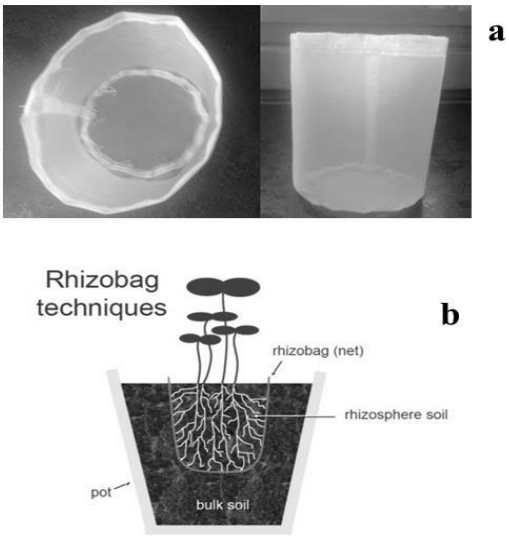
4 .Capitule
5 .Alpha-amylase anzyme
6 .Peroxidase

7 .Rhizobag
8 .Mesh
9 Soil available water

www.SID.ir

Archive of SID

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



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

www.SID.ir

Archive of SID

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

تیمارهای آزمایشی

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ

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

اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا سلولی

از برگ‌های جوان و کاملا توسعه‌یافته، صفحه‌هایی به قطر یک سانتی‌متر تهیه و در درون لوله‌های آزمایشگاهی فالکونی حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه قرار داده شد و بعد از نگهداری به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی[۱۱] آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در درون اتوکلاو[۱۲] به‌مدت 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 به‌همراه قسمت هوایی بریده شده و به‌مدت ۴۸ تا ۷۳ 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 به‌مدت ۵ ساعت در کوره و در دمای ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد به خاکستر تبدیل و پس از آن با اضافه‌کردن ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال[۱۵] و رساندن حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر با آب مقطر، از کاغذ صافی عبور داده شد و محلول حاصل با دستگاه فلیم‌فتومتر (**flame photometer**) مدل (**German Carlziess 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 برگرم 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** = ۷/۵) به‌مدت ۳۰ دقیقه و در حمام یخ کاملاً ساییده و سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور، سانتریفوژ نمونه‌ها انجام شد. در پایان مرحله سانتریفوژ لوله‌ها، عصاره‌های پروتئینی حاصل برای بررسی

۱۰. **Portable Leaf Area meter**
۱۱. **EC1**
۱۲. **Autoclave**
۱۳. **EC2**
۱۴. **MSI**

15. **HCl**
16. **CAT**

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت کاتالاز مورد استفاده قرارگرفتند. سپس از بافر تریس (pH = ۷/۵) 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 **Hemeda & Kelin (1990)** اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم بر پایهٔ تشکیل تتراگویاکول از گویاکول در حضور پراکسید هیدروژن و آنزیم گویاکول صورت گرفت. مخلوط واکنش شامل ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌موالار (pH=۷/۰)، ۳ میکرولیتر گویاکول ۲۰ میلی‌موالار، ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی موالار و ۵۰ میکرولیتر عصاره بود. پس از اضافه کردن عصاره، افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به‌مدت 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 خارج‌کردن ریشه‌دان از گلدان‌ها، ریشه‌های موجود در ریشه‌دان‌ها به‌همراه قسمت بالایی گیاه با شست‌وشو خارج شدند، بعد از خشک‌کردن 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 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

---

۱۷. **POD**

www.SID.ir

Archive of SID

مربوط به کاربرد زئولیت در گیاه بود (**Naeemi, 2013**). بنابراین به‌نظر می‌رسد که با افزایش مصرف زئولیت (نوعی رس ۲:۱) آب بیشتری در خاک ذخیره می‌گردد و در نتیجه با افزایش تنش رطوبتی به‌تدریج آب و مواد غذایی محلول در آب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و سبب جلوگیری از کاهش طول ساقه می‌شود (**Naeemi, 2013**).

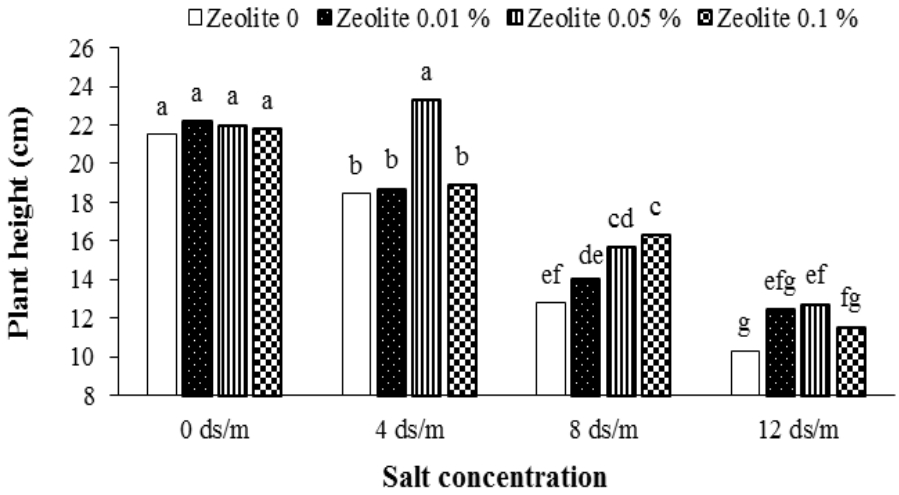
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رویشی و یونی در گیاه خارمریم

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	Potasium of root	Na^+/K^+ in root	Sodium of shoot	Potasium 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 ** : به‌ترتیب معنی‌داری 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

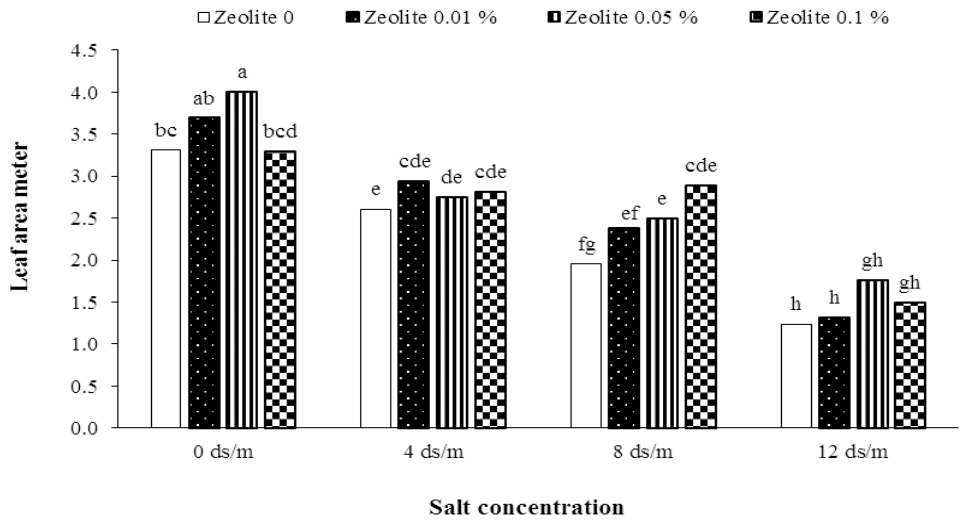
شاخص سطح برگ

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 به‌ترتیب 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 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

www.SID.ir

Archive of SID

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

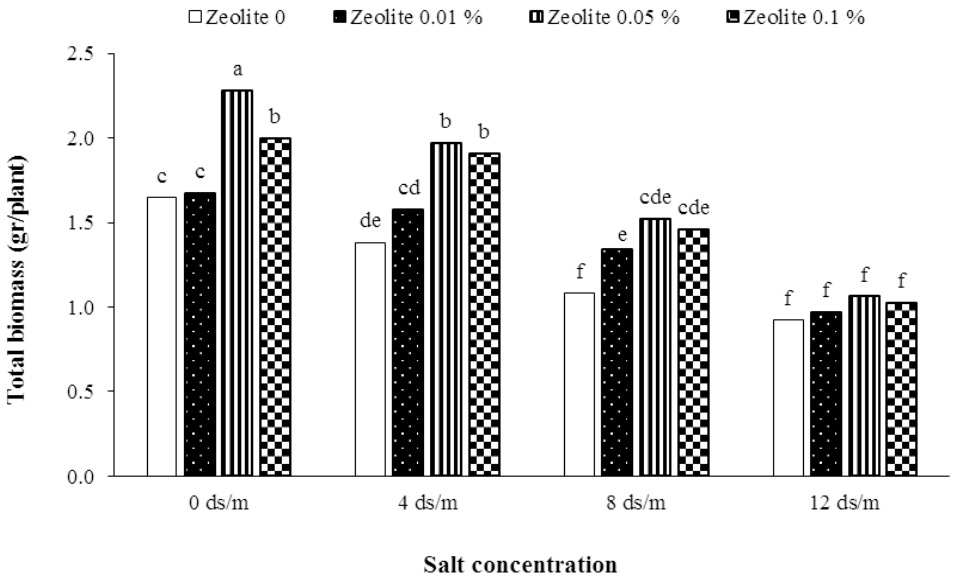
Figure 4- Interaction effect of salinity stress and zeolite application on leaf area index in milk thistle

زیست‌توده کل بوته

استفاده از زئولیت با مقدار ۰/۰۵ درصد به‌ترتیب 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 به‌طور 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 (به‌ترتیب 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 به‌نظر می‌رسد زیرا در میزان رطوبت کمتر، قبل از محبوس‌شدن 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، به‌نظر می‌رسد که زئولیت از طریق نگهداری بیشتر آب در خاک، به‌صورت غیرمستقیم سبب خنثی‌شدن اثر مضر تنش شوری و تنش خشکی القاءشده به‌وسیله آن شده است. تنش شوری سبب کاهش یا متوقف‌شدن 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 به‌نظر 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**).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد زئولیت بر زیست‌توده 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؛ به‌طوری 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. به‌نظر می‌رسد وجود زئولیت به‌علت تعدیل اثرات مخرب شوری موجب شده است که گیاه از تولید زیست‌توده بیشتری برخوردار گردد و تراکم یون سدیم به‌طور نسبی در داخل سلول‌های گیاهی کاهش یابد. نتایج این تحقیق با نتایج **Baybordi (2016)** مطابقت داشت؛ به‌طوری‌که 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 احتمالا به‌دلیل حضور یون سدیم بیش از حد در ریشه می‌باشد. کاربرد زئولیت به نسبت ۰/۰۵ (۰/۶۱۱ میلی‌گرم بر گرم) و ۰/۰۱ درصد (۰/۵۹۹ میلی‌گرم بر گرم) منجر به افزایش پتاسیم 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 به‌دست آمده از تحقیقات **Bybordi (2016)** در آزمایش بررسی تأثیر زئولیت و محلول‌پاشی سلنیوم (**Selenium**) و سیلسیوم (**Silicium**) بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک کلزا در شرایط تنش شوری، میزان پتاسیم گیاه در اثر کاربرد زئولیت افزایش یافت؛ در حالی‌که سدیم برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. زئولیت سبب فراهمی کلسیم در خاک و گیاه می‌شود که این فراهمی سبب کاهش نسبت سدیم به کلسیم می‌گردد. فراهمی کلسیم به‌وسیله زئولیت در محیط ریشه از جذب و تجمع سدیم جلوگیری به‌عمل 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**).

www.SID.ir

Archive of SID

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]

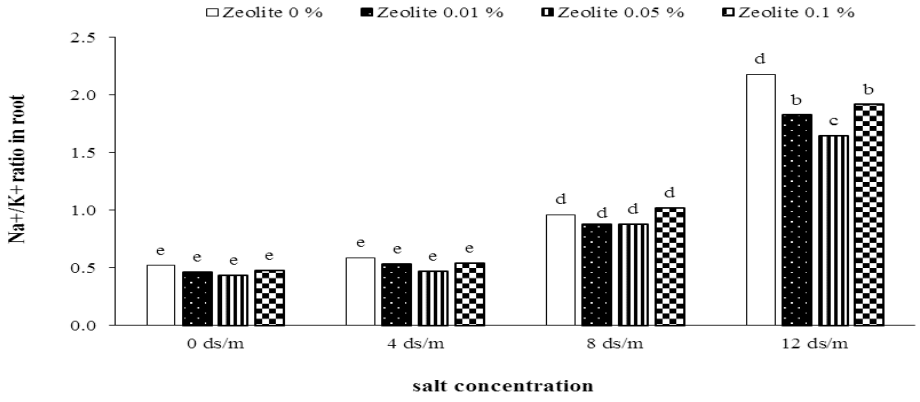
اعداد با حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار **(P<0.05)** می‌باشند

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.05.

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 دسی‌زیمنس بر متر)، اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف زئولیت مشاهده نشد. این در حالی است که در تنش شدید شوری (۱۲ دسی‌زیمنس 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 به‌دست 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 نتیجه‌ای شده است.

حضور زئولیت در محیط رشد ریشه سبب ایجاد برتری در جذب پتاسیم نسبت به یون‌های دیگر از جمله سدیم می‌شود **(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 می‌شود (**Li *et al.*, 2000**)، کاهش تاثیر مخرب تنش شوری به سبب کاربرد زئولیت در خاک، قابل پیش‌بینی است. این ویژگی مثبت زئولیت می‌تواند در کنترل تنش شوری مورد استفاده قرار بگیرد (**Mohammadi *et al.*, 2014**).



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

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌طوری 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. به‌طوری که بیشترین میزان پتاسیم شاخساره از تیمار ۰/۰۵ درصد کاربرد زئولیت به‌دست 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؛ به‌طوری 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) به‌دست آمد (جدول ۵). به‌نظر 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 ** : به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی بر صفات فیزیولوژیک خارمریم

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

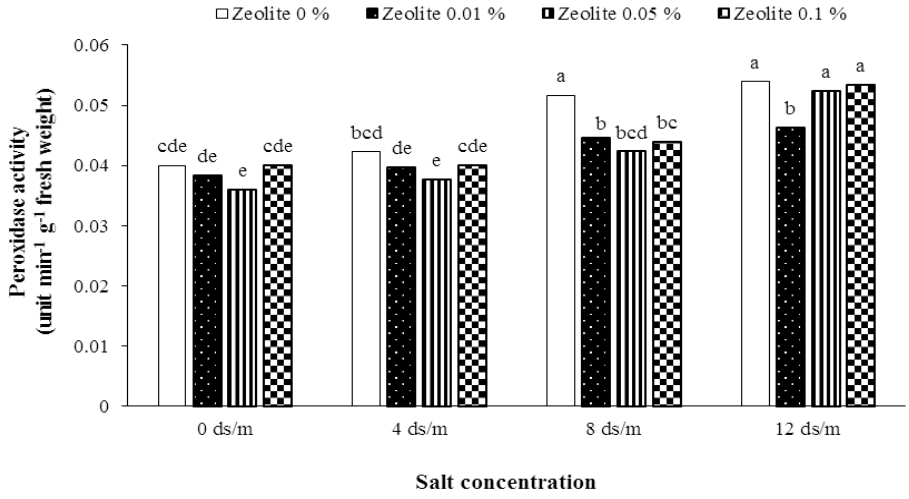
Treatments	Membrane stability index (%)	Peroxidase activity (unit min^{-1} g^{-1} fresh weight)	activity Catalase (unit min^{-1} g^{-1} fresh weight)
Salt stress			
0 dS/m	**63.37 a**	**0.0385 c**	**1.680 d**
4 dS/m	**60.85 a**	**0.0399 c**	**1.920 c**
8 dS/m	**53.61 b**	**0.0456 b**	**2.265 b**
12 dS/m	**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 نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار **(P<0.05)** می‌باشند

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.05.

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 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 به‌دست 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.



شکل۷- اثر متقابل تنش شوری و کاربرد زئولیت بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه خارمریم

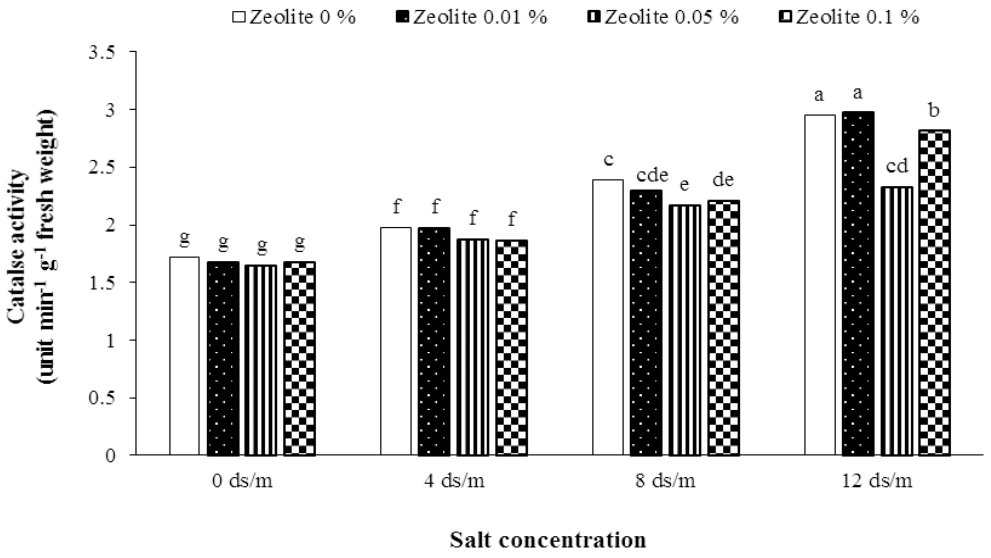
Figure 7- Interaction effect of salinity stress and zeolite application on peroxidase activity in Milk thistle

www.SID.ir

Archive of SID

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 تاثیر 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، به‌نظر می‌رسد که زئولیت با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک توانسته است تا حدودی نیاز گیاه را به آبیاری کاهش دهد و بدین‌ترتیب گیاه در دوره‌های طولانی‌تر بدون آبیاری مقاومت نماید و از تنش شوری 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)**.



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

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد تنش شوری تاثیر نامطلوبی بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و یونی مطالعه‌شده در گیاه خارمریم داشت. مصرف زئولیت منجر به بهبود شرایط رویشی و خصوصیات فیزیولوژیک از طریق 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 آنتی‌اکسیدانی، افزایش یون پتاسیم و کاهش یون سدیم

www.SID.ir

Archive of SID

به‌ویژه 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 به‌نظر می‌رسد که کاربرد زئولیت به‌عنوان ماده‌ای فراوان و قابل‌دسترس 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 به‌حساب 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 کاملا قابل توجیه است.

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 ariantaum* 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 Polimer*, 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 Nitrariareveals 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., Papadopulos, 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., Homaee, 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 mike 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.**

www.SID.ir

Archive of SID

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. & Kelin 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 mike 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 tolelerance 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.**

www.SID.ir