مقاله پژوهشی
یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۱۰، شماره ۲، صفحات ۱۲۹ الی ۱۴۲ (۱۴۰۲)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Research Article
Nova Biologica Reperta 10(2): 129-142 (2023)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.10.2.129

ارزیابی تنظیم اسمزی، فنل کل، پروتئین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در چهار جمعیت از رازیانه تحت تیمار شوری با کاربرد ورمی‌کمپوست

عبدالله بیک خورمیزی[۱،۲]، سیاوش حسینی سرقین[۱]، محمدرضا سرافراز اردکانی[۲]، سید محمد مشتاقیون[۲] و سید موسی موسوی کوهی[۳]

[۱]گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران؛ [۲]گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه یزد، یزد، ایران؛ [۳]گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

مسئول مکاتبات: سیاوش حسینی سرقین، s.hosseini@urmia.ac.ir

چکیده. رازیانه گیاهی دارویی است که تمام قسمت‌های آن به روش‌های مختلف مورد استفاده انسان قرار می‌گیرد. این گیاه نسبتاً حساس به شوری است. با هدف بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر افزایش تحمل به‌شوری در چهار جمعیت رازیانه (مشهد، ارومیه، شیراز و بوشهر) در مرحله رویشی گیاه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هر نمونه در سطح گلخانه با تأکید بر ارزیابی تعدادی از شاخص‌های حفاظت اسمزی و آنتی-اکسیدانی انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی با چهار سطح شوری (صفر، ۴۰، ۸۰ و۱۲۰ میلی‌مول کلرید سدیم) و دو سطح ورمی‌کمپوست (صفر و ۵ درصد حجمی-حجمی) طراحی شد. بعد از برداشت، بخش‌های ریشه از ساقه به منظور آنالیز برخی صفات بیوشیمیایی تفکیک شدند. تنش شوری سبب کاهش محتوای قند محلول کل و نشاسته در بخش‌هوایی و افزایش این شاخص‌ها در قسمت ریشه جمعیت‌های مورد مطالعه شد. همچنین تحت بروز تنش در محیط، محتوای پرولین بخش‌هوایی و ریشه، آمینواسید آزاد کل، فنول کل، فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و کاتالاز در جمعیت‌های رازیانه افزایش یافت، درحالی‌که محتوای پروتئین محلول کل و آنتوسیانین کاهش نشان دادند. تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول، پروتئین محلول، آمینواسیدهای آزاد، پرولین، فنول کل و آنتوسیانین و کاهش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در بخش‌هوایی و نیز محتوای نشاسته در ریشه جمعیت‌های رازیانه طی شرایط بدون تنش و تحت تنش گردید. علی‌رغم مشاهده پیچیدگی در تغییرات شاخص‌های موردبررسی که وابسته به نوع جمعیت و دوز تنش بود، نتایج ما نشان می‌دهد کاربرد ورمی‌کمپوست با غلظت ۵ درصد توانسته است باعث بهبود حفاظت اسمزی و آنتی‌اکسیدانی در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه تحت تنش شوری گردد.

واژه‌های کلیدی. آنتوسیانین، کود ارگانیک، حفاظت‌کننده اسمزی، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز

Evaluation of osmotic regulation, total phenol, protein and antioxidant enzymes in four fennel populations under saline treatments using vermicompost

Abdollah Beyk-Khormizi[1,2], Siavash Hosseini Sarghein[1], Mohammad Reza Sarafraz-Ardakani[2], Seyed Mohammad Moshtaghioun[2] & Seyed Mousa Mousavi-Kouhi[3]

[1]Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran; [2]Department of Biology, Faculty of Science, Yazd University, Yazd, Iran; [3]Department of Biology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

Correspondent author: Siavash Hosseini Sarghein, **s**.hosseini@urmia.ac.ir

Abstract. Fennel is a medicinal plant; all of its parts were being used by humans in different ways. This plant is relatively sensitive to salinity. A factorial experiment as a randomized complete block design with three replications at the greenhouse level was executed to investigate the effect of vermicompost on the increase of salinity tolerance in four fennel populations (Mashhad, Urmia, Shiraz, and Bushehr) in the vegetative stage of the plant, emphasizing the evaluation of some osmotic and antioxidant protection indicators. Experimental treatments were designed with four levels of salinity (0, 40, 80, and 120 mM of NaCl) and two levels of vermicompost (0 and 5% v/v). After harvesting, the roots

Received 26.01.2023/ Revised 19.04.2023/ Accepted 30.04.2023/ Published 20.09.2023
دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶/ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰/ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰/ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

were separated from the stem to analyze the biochemical variables. Salt stress caused a decrease in the total soluble sugar and starch content in the shoot and an increase of those in the root of the studied populations. In addition, under stress conditions, the proline content of shoot and root, total free amino acid, total phenol, and activity of guaiacol peroxidase and catalase were increased in fennel populations, while total soluble protein and anthocyanin content were decreased. Vermicompost treatment increased the content of soluble carbohydrates, soluble protein, free amino acids, proline, total phenol, and anthocyanin, and decreased the activity of guaiacol peroxidase in the shoot, as well as the starch content in the roots of fennel populations under non-stressed and stressed conditions. Despite observing the complexity in the changes of the analyzed indicators which were dependent on the type of population and the dose of stress, our results showed that the application of vermicompost with a concentration of 5% can improve the osmotic and antioxidant protection in the studied populations of fennel under salinity stress.

Key words. anthocyanin, catalase, guaiacol peroxidase, organic fertilizer, osmotic protector

مقدمه

تنش‌های غیرزیستی از جمله شوری تهدید جدی برای کمیت و کیفیت گیاهان زراعی و دارویی هستند. تنش شوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌واسطه عدم بارش کافی، دمای بالا و تبخیر و تعرق شدید قابل توجه است (Banakar et al., 2022). غلظت بالای نمک در خاک به‌واسطه فشار یونی و تنش اسمزی، گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتیجه این دو عامل کاهش نسبت و تعادل عناصر ضروری، هورمون‌ها، پتانسیل آبی سلول و انتقال آب، فرایندهای انتقال الکترون، فرآیندهای فیزیولوژیکی و نیز کاهش یا افزایش گونه‌های فعال اکسیژنی و آسیب‌های اکسیداتیو قسمت‌های مختلف سلول می‌شود (Banakar et al., 2022; Es-sbihi et al., 2021). بنابراین گیاهان سعی می‌کنند تا اثرات مضر تنش را با محدودکردن ورود یون‌های نمک به درون سیتوزول و یا تشدید سنتز اسمولیت‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و هورمون‌های مؤثر به حداقل برسانند (Kumar et al., 2017; Es-sbihi et al., 2021). علاوه بر این، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهان را قادر می‌سازند تا با تولید بیش‌ازحد گونه‌های فعال اکسیژن مقابله کنند و در شرایط شوری به بقای خود ادامه دهند (Shamili et al., 2021).

استفاده از انواع کودهای آلی یک روش مرسوم برای مقابله با تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی و شوری است. طی چند دهه گذشته، استفاده بیش‌ازحد از کودهای شیمیایی باعث تخریب منابع آبی و کاهش کیفیت و تولید مواد غذایی بدست آمده از گیاهان شده است. علاوه بر موارد گفته شده، تخریب‌های غیرقابل برگشت اکوسیستم از عوارض استفاده از چنین کودهایی است (Gholami et al., 2018). علاوه بر این استفاده بیش‌ازحد کودهای غیرآلی سبب افزایش شوری خاک می‌شود (Xu et al., 2018). بنابراین کشاورزی پایدار و روش‌های جایگزین بر اساس استفاده از کودهای آلی می‌تواند به‌عنوان راه‌حل بهینه برای غلبه بر این مشکل به‌منظور حذف یا کاهش قابل توجه ورودی‌های شیمیایی مورد توجه قرار گیرد (Gholami et al., 2018; Joshi et al., 2015). بنابراین امروزه شاهد رونق استفاده از کودهای آلی به‌ویژه کمپوست‌ها در سیستم‌های کشاورزی هستیم (Afkari, 2018). دو منبع عمده غیرشیمیایی تغذیه‌ای مهم برای گیاهان، کودهای بیولوژیک و ورمی‌کمپوست‌ها هستند (Mona et al., 2008). ورمی‌کمپوست دارای تخلخل بالایی برای زهکشی، هوادهی و ظرفیت نگهداری آب است. این کود نوعی کمپوست آلی است که به‌واسطه حضور میکروارگانیسم‌هایی نظیر قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها شرایط را برای رشد گیاه فراهم می‌کند. بر حسب نوع کرم خاکی موجود در ورمی‌کمپوست باکتری‌های مختلفی نظیر *Pseudomonas oxalaticus*، *Pherentima* sp.، *Rhizobium japonicum*، *Pseudomonas putida*، *Azospirillum*، *Lumbricus rubellus* و *Azobacter* گزارش شده‌اند (Joshi et al., 2015). این کود عاری از باکتری‌های غیرهوازی، مقادیر بسیار بالای درشت مغذی‌ها (نیترات، فسفات، کلسیم و منیزیم قابل تعویض و پتاسیم محلول) و ریزمغذی‌ها (مانند آهن، روی، مس و منگنز) را نسبت به دیگر کمپوست‌های ارگانیک در خود جای داده است (Beykkhormizi et al., 2013, 2016). گزارش شده است که، ورمی کمپوست سبب افزایش شاخص‌های فتوسنتزی و حفاظت اسمزی (افزایش قندهای محلول و پرولین) در گیاه گوجه فرنگی تحت شرایط شوری گردید (Benazzouk et al, 2018). همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پایداری رنگدانه‌های دانه‌رست‌های گیاه گل‌گاوزبان تحت شرایط شوری در حضور ورمی‌کمپوست مشاهده شده است (Afkari, 2018).

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) گیاهی اسانس‌دار و معطر یک‌ساله تا چندساله از تیره چتریان (Apiaceae) با مصارف سنتی در پزشکی و آرایشی و غذایی برای انسان است که در مناطق خشک و نیمه خشک جهان نظیر پاکستان، چین، ایران، هندوستان، جنوب اروپا و مدیترانه رشد می‌کند (Mishra et al., 2016). رشد رویشی و زایشی و فرآیند فیزیولوژیکی دخیل در عملکرد گیاه رازیانه به گستره وسیعی از فاکتورها از جمله تنش‌های زیستی و غیرزیستی، کولتیوار و شیوه‌های مدیریت بستگی دارد (Askari & Ehsanzadeh, 2015).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

رازیانه یک گیاه نسبتاً حساس به شوری است، بنابراین ضروری است انواع رازیانه با بیشترین محصول و تحمل شوری شناسایی گردد. همچنین باید راه‌های ایجاد تحمل بیشتر به شوری شناسایی شود (Beykkhormizi et al., 2018). از طرفی سیستم‌های کشاورزی پایدار رویکرد جهانی برای تولید گیاهان دارویی دارند. در همین راستا کاربرد کودهای زیستی نظیر کمپوست و ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک استراتژی در کشاورزی پایدار، باعث افزایش تولید و تعداد مواد مؤثره در گیاهان دارویی شده است (Afkari, 2018). با توجه به این‌که ایران یکی از تولیدکنندگان مهم رازیانه است (Bahmani et al., 2015) و عمده زیستگاه‌های گیاه و زمین‌های کشاورزی خاک شور است (Akhani, 2004)، پژوهش حاضر ابتدا به بررسی تحمل شوری در جمعیت‌های رازیانه و سپس به تأثیر ورمی‌کمپوست بر بهبود وضعیت تحمل به تنش شوری- با توجه به شاخص‌های مورد اندازه‌گیری می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش انجام گرفته، ورمی‌کمپوست توسط کرم *Eisenia foetida* در بستری از مخلوط کود گاوی و ضایعات کارتن تخم-مرغ به نسبت ۹۰ به ۱۰ درصد تهیه شد (جدول ۱).

در این پژوهش تأثیر دو تیمار کود ورمی‌کمپوست (صفر و ۵ درصد) در چهار سطح شوری (صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) در یک بستر رسی- لومی بر چهار جمعیت رازیانه شیراز، ارومیه، بوشهر و مشهد بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هر تیمار در محیط گلخانه با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام گرفت. بذرهای جمعیت‌های رازیانه مورد مطالعه به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر خیس شده و در گلدان پلاستیکی در شش ناحیه خاک کاشته شدند. آبیاری گلدان‌ها بر اساس ظرفیت زراعی آن‌ها و با آب مقطر انجام گرفت. پس از سه هفته آبیاری و رویش بذرها، گیاهچه‌ها تا رسیدن به تعداد سه عدد در هر گلدان تنک شدند. سپس گلدان‌ها بر اساس تیمارهای شوری آبیاری شدند. پنج هفته بعد از کاشت، نمونه‌برداری از گلدان‌ها انجام شد و بخش‌هوایی گیاهچه‌ها از ریشه جدا گردید. سپس برخی از ویژگی‌های بیوشیمیایی اندازه‌گیری شد.

قند محلول و نامحلول

کربوهیدت‌های محلول و نامحلول (نشاسته) با استفاده از روش فنل-اسید سولفوریک سنجیده شد. استخراج قندهای محلول کل با استفاده از اضافه شدن ۱/۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به ۰/۰۳ گرم از نمونه‌های خشک شده (ریشه و بخش‌هوایی) و سانتریفوژ نمونه‌ها در g × ۳۰۰۰ انجام شد. سپس به ۲ میلی‌لیتر از روشناورها مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه شد و مقدار جذب در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد. استخراج نشاسته با استفاده از پرکلریک اسید ۵۲ درصد صورت گرفت. جهت تعیین مقدار نشاسته به ۱ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست آمده مجدداً ۰/۵ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید و جذب نمونه‌ها در ۴۸۵ نانومتر قرائت گردید (Hellubust & Craigie, 1978).

پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین، مقدار ۰/۰۲ گرم بافت خشک (ریشه و بخش‌هوایی) در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک ۳ درصد ساییده و مخلوط حاصل توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف گردید. ۲ میلی‌لیتر از عصاره با ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط شد و به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. نمونه‌ها به ظرف یخ منتقل شدند. پس از اضافه کردن ۴ میلی‌لیتر تولوئن به نمونه‌ها، مخلوط کردن آن‌ها و ظهور رنگ صورتی در قسمت فوقانی، جذب قسمت رویی در طول موج ۵۱۸ نانومتر قرائت شد. مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد ($y = 0.003x + 0.005$) برآورد شد (Bates et al., 1973).

فنول کل

به‌منظور سنجش ترکیبات فنولی کل، ۰/۱ گرم بافت گیاه در ۵ میلی‌لیتر متانول ۹۵ درصد سائیده و به‌مدت ۷۲ ساعت در تاریکی گذاشته شد. به ۵۰ میکرولیتر از این عصاره، ۴۵۰ میکرولیتر آب مقطر و ۲۵۰ میکرولیتر معرف فولین افزوده شد. در مرحله بعد، ۱/۲۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد به آن اضافه شد. بعد از گذشت ۲۰ دقیقه، مخلوط به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. جذب نوری محلول رویی در طول‌موج ۷۳۵ نانومتر خوانده شد. در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد ($y = 0.010x + 0.008$)، مقدار ترکیبات فنولی کل محاسبه گردید (Singleton and Rossi, 1965).

آنتوسیانین

جهت سنجش مقدار آنتوسیانین‌ها، ۰/۱ گرم از بافت گیاه با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسیدکلریدریک خالص به نسبت ۱:۹۹) سائیده شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه در دور ۴۰۰۰ سانتریفوژ شد و جذب محلول رویی در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر خوانده شد. سپس غلظت آنتوسیانین‌ها محاسبه گردید (Wagner, 1979).

آمینواسیدهای آزاد

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

جهت سنجش محتوای آمینواسیدهای آزاد، ۰/۵ گرم بافت تر گیاه با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۱۰ درصد سائیده شد و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. به ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول حاصله پس از صاف کردن، ۱ میلی‌لیتر بافر اسید استیک- استات سدیم، ۳ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و ۰/۱ میلی‌لیتر اسید آسکوربیک ۳ درصد اضافه گردید. محلول حاصله به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. حجم محلول فوق پس از سرد شدن با اتانول ۶۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج ۵۷۰ نانومتر خوانده شد. سپس با استفاده از منحنی استاندارد (y = 0.657x + 0.008) مقدار آمینواسید آزاد بر اساس میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (Xiong et al., 2006).

پروتئین محلول کل

به‌منظور سنجش مقدار پروتئین، عصاره پروتئینی با استفاده از خرد شدن ۰/۵ گرم بافت تر بخش‌هوایی در نیتروژن مایع و ساییده شدن بافت خرد شده در ۵۰ میلی‌گرم پلی وینیل پیرولیدون (PVP)، ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج شامل فسفات پتاسیم (pH=7، 50 mM) و سدیم متابای سولفیت (1 mM)، تهیه شد. مخلوط ساییده شده عصاره گیاهی در g × ۱۵۰۰۰ و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ شد. سپس فاز شفاف بالایی جدا گردید. به ۵۰ میکرولیتر از هر نمونه ۲/۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد اضافه شد و مقدار جذب نمونه در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد. مقدار پروتئین محلول کل با استفاده از ترسیم منحنی استاندارد آلبومین سرم گاوی (y = 0.001x + 0.059) محاسبه شد (Bradford, 1979).

آنزیم کاتالاز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ۲/۶ میلی‌لیتر مخلوط واکنشی شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) حاوی ۰/۴ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار آماده شد که مقدار ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه شد و کاهش جذب محلول در ۲۴۰ نانومتر خوانده شد. واکنش با افزودن پراکسید هیدروژن آغاز شد و کاهش جذب به مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان فعالیت آنزیمی بر حسب میکرومول پراکسید هیدروژن مصرف شده در دقیقه به ازای گرم پروتئین محاسبه شد (Aebi, 1984).

آنزیم گایاکول پراکسیداز

سنجش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز بر اساس روش Putter (۱۹۷۴) و بر مبنای اندازه‌گیری میزان جذب تتراگایاکول تشکیل شده از گایاکول در نتیجه فعالیت پراکسیداز در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۶۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7)، ۳۰۰ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۳ درصد و ۳۰ میکرولیتر گایاکول ۹۹ درصد بود. سپس ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن افزوده شد. منحنی تغییرات جذب تتراگایاکول به مدت ۳ دقیقه بررسی شد. سپس میزان فعالیت آنزیم به ازای گرم پروتئین محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Mstat-C انجام و برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه دانکن، در سطح احتمال خطای ۵ درصد ($P \leq 0.05$) استفاده شد.

نتایج

قند محلول و نامحلول

میزان قند محلول بخش‌هوایی در شوری ۴۰ میلی‌مولار NaCl در هر چهار جمعیت رازیانه مورد مطالعه به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. این پارامتر در شوری ۸۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های ارومیه و شیراز افزایش و در جمعیت مشهد کاهش نشان داد و در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت شیراز افزایش و در جمعیت‌های بوشهر و مشهد کاهش یافت. تیمار ورمی‌کمپوست در شرایط بدون تنش، باعث افزایش محتوای قند محلول بخش‌هوایی گردید که بیشترین افزایش معنی‌دار در جمعیت شیراز (۶۶/۷ درصد) مشاهده شد. با این‌حال در اکثر سطوح شوری مورد مطالعه، تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار محتوای قندهای محلول کل بخش‌هوایی جمعیت‌های رازیانه مورد مطالعه گردید. در شوری با غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار نمک، تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار محتوای قند جمعیت‌های ارومیه (۷/۷ درصد)، شیراز (۷/۹ درصد)، بوشهر (۲۰ درصد) و مشهد (۳۴ درصد) گردید (جدول ۲). تنش شوری باعث کاهش مقدار قندهای نامحلول (نشاسته) بخش-هوایی شد. به‌طوری‌که در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نمک مقدار نشاسته بخش‌هوایی در جمعیت‌های ارومیه، بوشهر و شیراز به‌ترتیب به‌میزان ۱۶ درصد، ۳۰ درصد و ۲/۱ برابر به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. با کاربرد ورمی‌کمپوست طی شرایط فاقد تنش، محتوای نشاسته بخش‌هوایی جمعیت‌های رازیانه ارومیه و شیراز به‌ترتیب به میزان ۱۳/۶ و ۵۵/۶ درصد کاهش معنی‌دار داشته است. نتایج برهمکنش شوری و ورمی‌کمپوست نشان داد که در همه سطوح شوری مورد بررسی به‌جز چند مورد، کاربرد ورمی‌کمپوست به‌صورت معنی‌داری سبب کاهش محتوای نشاسته بخش‌هوایی جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه شد. در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نمک و در حضور ورمی-کمپوست، این پارامتر در جمعیت‌های ارومیه و مشهد به‌ترتیب ۶۳ و ۸۷ درصد کاهش یافت اما در جمعیت‌های شیراز و بوشهر تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت (جدول ۲).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های ورمی‌کمپوست و خاک مورد استفاده شده در آزمایش.

Table 1. Some characteristics of vermicompost and soil used in the experiment.

Sample	EC (dS m^{-1})	OC (ppm)	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
VC	7.68	158700	15400	22200	15900	52000	15100	127
Soil	3.81	150	10	4.3	136.4	0.0108	0.08	0.14
mixture of VC & Soil	4.87	990	90	15.62	390	0.0184	0.36	0.22

EC: هدایت الکتریکی، OC: کربن آلی

EC: electrical conductivity; OC: organic carbon

در مواجهه با تنش شوری، میزان قند محلول ریشه در شوری ۴۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های ارومیه و شیراز افزایش و در جمعیت‌های بوشهر و مشهد کاهش معنی‌داری نشان داد. این پارامتر در ۸۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های شیراز و مشهد افزایش و در جمعیت بوشهر کاهش یافت، این در حالی است که در ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های شیراز و بوشهر افزایش نشان داد. در شرایط فاقد شوری، تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار ۵۲/۶ درصدی محتوای قندهای محلول ریشه جمعیت شیراز و کاهش معنی دار ۳۶ درصدی این شاخص در ریشه جمعیت رازیانه مشهد گردید. نتایج داده‌های تأثیر متقابل ورمی‌کمپوست و تنش شوری نشان داد که با کاربرد ورمی-کمپوست، قند محلول ریشه در جمعیت مشهد در مواجهه با تمام سطوح شوری مورد بررسی به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. همچنین کاهش معنی‌دار این پارامتر در جمعیت بوشهر در ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl و در جمعیت ارومیه در ۴۰ میلی‌مولار NaCl در حضور ورمی‌کمپوست مشاهده شد (جدول ۲).

علی‌رغم افزایش معنی‌دار محتوای نشاسته در برخی سطوح شوری در ریشه جمعیت‌های رازیانه مشهد، ارومیه و شیراز، محتوای نشاسته ریشه جمعیت بوشهر به صورت معنی‌داری در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار کاهش یافت. در شرایط بدون شوری، تیمار ورمی‌کمپوست به‌صورت معنی‌داری، مقدار نشاسته در ریشه جمعیت‌های شیراز و ارومیه را به‌ترتیب به‌میزان ۴۴ و ۸۵ درصد کاهش و در جمعیت بوشهر ۵۵ درصد افزایش داد. همین روند در مورد تأثیر ورمی‌کمپوست بر محتوای نشاسته ریشه جمعیت‌های مورد مطالعه طی شرایط شوری مشاهده شد. به-طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست در حضور نمک در محیط، سبب کاهش معنی‌دار محتوای نشاسته جمعیت‌های ارومیه و شیراز را در تمام سطوح شوری و در جمعیت مشهد در غلظت نمک ۴۰ میلی‌مولار گردید در حالی‌که باعث افزایش معنی‌دار محتوای نشاسته ریشه در جمعیت بوشهر در غلظت‌های نمک ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار گردید (جدول ۲).

پرولین

تحت تیمار فاقد ورمی‌کمپوست، افزایش معنی‌دار مقدار پرولین بخش‌هوایی و ریشه در تمام جمعیت‌های رازیانه طی افزایش مقدار شوری در محیط مشاهده گردید. با این‌حال افزایش مقدار پرولین در جمعیت ارومیه در سطح ۴۰ میلی‌مولار NaCl معنی‌دار نبود. در حضور ورمی‌کمپوست و در شرایط بدون تنش، پرولین بخش‌هوایی هر چهار جمعیت رازیانه مورد مطالعه به-صورت معنی‌داری افزایش یافت که در این بین جمعیت بوشهر با افزایش ۹/۷ برابری مقدار پرولین بیشترین تأثیر را از تیمار کود پذیرفت. طی شرایط یاد شده، تنها افزایش معنی‌دار پرولین ریشه در جمعیت شیراز (۹۶ درصد) مشاهده شد. تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار مقدار پرولین بخش‌هوایی و کاهش معنی‌دار مقدار پرولین ریشه جمعیت‌های مورد مطالعه طی بروز شوری در محیط گردید. با این‌حال الگوی تغییرات مقدار پرولین در غلظت‌های مختلف شوری در جمعیت‌های مختلف تحت تیمار ورمی‌کمپوست متفاوت بود (جدول ۲).

متابولیت‌های فنولی (فنول کل و آنتوسیانین)

با افزایش شوری در محیط، افزایش محتوای فنول کل در چهار جمعیت مورد بررسی مشاهده گردید. افزایش محتوای فنول کل در شوری با غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl، در جمعیت‌های ارومیه، شیراز، بوشهر و مشهد به‌ترتیب ۶۳/۸، ۴۵، ۸۷ و ۵۴ درصد بود. همچنین تیمار ورمی‌کمپوست در شرایط بدون تنش باعث افزایش معنی‌دار محتوای فنول کل جمعیت‌های ارومیه، شیراز و بوشهر و در مواجهه با تنش باعث افزایش معنی‌دار این پارامتر در دو جمعیت ارومیه (تمام سطوح شوری) و شیراز (تیمار ۴۰ میلی‌مولار NaCl) گردید (جدول ۳). نتایج نشان داد، محتوای آنتوسیانین در سطوح شوری ۴۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های شیراز، بوشهر و مشهد کاهش و در شوری

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

۸۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های ارومیه و شیراز افزایش معنی‌داری نشان داد. تحت شرایط فاقد تنش، تیمار ورمی-کمپوست تنها باعث افزایش معنی‌دار مقدار آنتوسیانین در دو جمعیت شیراز و مشهد به‌ترتیب به‌میزان ۲۷ درصد و ۲۵/۷ درصد گردید. همچنین تیمار ورمی‌کمپوست توانست مقدار این شاخص را در شرایط بروز شوری در محیط ارتقا بخشد. به‌طوری-که با کاربرد ورمی‌کمپوست، میزان این پارامتر در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl، در جمعیت مشهد ۲/۵ برابر، در جمعیت ارومیه ۲/۴ برابر و در جمعیت‌های شیراز و بوشهر به‌ترتیب ۷۷، ۳۱/۶ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

محتوای آمینواسید کل

مطابق با نتایج بیان شده در جدول ۲، در محیط فاقد ورمی‌کمپوست، غلظت ۴۰ میلی‌مولار نمک محیط باعث افزایش معنی‌دار محتوای آمینواسید آزاد کل جمعیت‌های شیراز و مشهد گردید. در حالی‌که محتوای آمینواسید آزاد جمعیت‌های ارومیه و بوشهر در تمام سطوح شوری محیط افزایش معنی‌داری نشان داد. اما تیمار ورمی‌کمپوست در شرایط فاقد شوری باعث افزایش مخزن آمینواسیدهای آزاد در جمعیت‌های ارومیه، شیراز و بوشهر به‌ترتیب به میزان ۸، ۳۲ و ۶۴ درصد گردید. جمعیت مشهد با افزایش ۲/۱ برابری مقدار آمینواسید آزاد بیشترین تأثیر را از تیمار ورمی‌کمپوست پذیرفت. طی استعمال ورمی کمپوست، مقدار آمینواسیدهای آزاد در جمعیت‌های رازیانه شیراز، بوشهر و مشهد در مواجهه با سطوح شوری افزایش معنی‌داری نشان داد. در بالاترین سطح شوری (غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار نمک) افزایش ۴۷/۶، ۳۵/۵ و ۵۱/۷ درصدی محتوای آمینواسید آزاد به‌ترتیب در جمعیت‌های شیراز، بوشهر و مشهد مشاهده شد (جدول ۳).

محتوای پروتئین محلول

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های محتوای پروتئین محلول کل مابین سطوح شوری در تیمارهای فاقد ورمی‌کمپوست نشان داد که مقدار این شاخص در تمام جمعیت‌ها در مواجهه با سطوح شوری کاهش یافته است. این پارامتر در معنی‌دارترین حالت آماری، تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های ارومیه و شیراز به میزان ۳ برابر و در جمعیت‌های بوشهر و مشهد به‌ترتیب ۴/۲ و ۳/۹ برابر کاهش یافت. در محیط فاقد نمک، تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار مقدار پروتئین محلول کل در جمعیت‌های ارومیه، شیراز، بوشهر و مشهد به-ترتیب به‌میزان ۲/۱ برابر، ۷۴، ۷۶/۴ و ۹۸/۲ درصد گردید. همچنین تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار مقدار پروتئین کل در جمعیت‌های رازیانه مورد مطالعه طی بروز تنش شوری در محیط گردید (به‌جز در جمعیت مشهد در سطوح شوری ۴۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl). به‌طوری‌که برهمکنش تیمار ورمی‌کمپوست و شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نمک در محیط، باعث بیشترین افزایش معنی‌دار مقدار پروتئین کل در جمعیت-های ارومیه و بوشهر به‌ترتیب به میزان تقریباً ۲/۹ و ۲/۵ برابر و در جمعیت شیراز در حدود ۶۴ درصد گردید (جدول ۳).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز و گایاکول پراکسیداز)

به‌صورت قابل پیش‌بینی، تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش ملایم (غلظت ۴۰ میلی‌مولار نمک) در جمعیت شیراز، در سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت بوشهر و در جمعیت‌های ارومیه و مشهد در تمام سطوح به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین افزایش معنی‌دار قابل‌توجهی (۷۷ درصد) در فعالیت آنزیم کاتالاز در جمعیت شیراز در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl مشاهده شد. در شرایط فاقد تنش، تیمار ورمی‌کمپوست سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در جمعیت‌های بوشهر و مشهد و کاهش فعالیت این آنزیم در جمعیت‌های ارومیه و شیراز شد. روند مشخصی در فعالیت آنزیم کاتالاز جمعیت‌های رازیانه مورد بررسی در سطوح مختلف شوری تحت تیمار ورمی‌کمپوست مشاهده نشد. به‌طوری‌که کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیمی در جمعیت ارومیه و افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیمی در جمعیت مشهد در تمام سطوح شوری در حضور ورمی‌کمپوست مشاهده شد. تیمار ورمی-کمپوست در جمعیت‌های شیراز و بوشهر باعث کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز در شوری ۴۰ میلی‌مولار NaCl و افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیمی در شوری‌های ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl گردید (جدول ۳).

آنالیز آنزیم گایاکول پراکسیداز، افزایش چشمگیر فعالیت این آنزیم را در سطوح بالای شوری (به‌ویژه غلظت ۱۲۰ میلی-مولار نمک) نشان داد. بطوری‌که فعالیت این آنزیم در غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار نمک در محیط در جمعیت‌های شیراز، ارومیه، بوشهر و مشهد به‌ترتیب ۳/۸، ۸/۸، ۱۲/۴ و ۱۶/۳ برابر افزایش یافت. در شرایط بدون شوری در محیط، تیمار ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در جمعیت‌های رازیانه مورد مطالعه نداشت، اما کاربرد ورمی‌کمپوست در تیمارهای شوری سبب کاهش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز گردید. در مواجهه با بالاترین سطح شوری (غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl)، تیمار ورمی‌کمپوست باعث نزول فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به میزان ۲/۵، ۳/۸، ۶/۹ و ۸/۵ برابر به‌ترتیب در جمعیت‌های مشهد، شیراز، ارومیه و بوشهر گردید (جدول ۳).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش ورمی‌کمپوست و تنش شوری بر قند محلول، نشاسته و محتوای پرولین جمعیت‌های رازیانه.

Table 2. Mean comparison of the effect of vermicompost and salinity stress interaction on soluble sugar, starch and proline content of fennel landraces.

Fennel landraces	VC Conc.	Salinity Conc. (mM NaCl)	Shoot soluble sugar (mg/gFW)	Shoot starch (mg/gFW)	Root soluble sugar (mg/gFW)	Root starch (mg/gFW)	Shoot proline (µmol/gFW)	Root proline (µmol/gFW)
Urmia	0	0	2.269 jk	2.430 gh	4.040 lm	2.748 m-q	1.346 i-l	6.312 l-o
		40	1.748 no	2.530 g	6.015 def	3.337 l-o	2.270 hi	7.696 jkl
		80	4.130 b	2.424 gh	4.236 j-m	6.417 b	5.233 e	11.66 ghi
		120	2.374 hij	2.089 jkl	4.536 h-l	2.688 n-q	7.003 d	25.360 a
	5%	0	2.619 ef	2.138 i-l	4.867 g-l	1.481 t	4.502 ef	5.194 m-q
		40	2.399 g-j	2.115 jkl	3.551 mn	1.705 st	4.809 e	4.709 opq
		80	3.965 b	2.008 l	4.385 h-m	2.631 opq	11.70 a	4.886 n-q
		120	2.588 efg	1.277 n	4.245 j-m	1.910 rst	11.81 a	5.926 l-p
Shiraz	0	0	2.058 lm	3.191 cd	3.111 n	3.464 j-m	0.65 kl	6.849 klm
		40	1.243 p	4.452 a	7.091 b	3.826 i-l	1.693 ij	15.39 c
		80	4.643 a	2.968 ef	5.853 d-f	4.411 ghi	3.658 fg	11.35 hi
		120	2.467 fgh	1.495 m	4.955 g-k	5.393 cde	3.578 fg	23.32 b
	5%	0	3.428 c	2.050 kl	4.748 g-l	2.401 qrs	4.502 ef	13.43 d-g
		40	2.536 e-h	1.676 m	6.652 bcd	2.600 pqr	6.810 d	8.927 j
		80	4.715 a	1.670 m	5.269 fgh	2.083 q-t	8.427 c	14.89 cd
		120	2.664 e	1.559 m	5.158 f-i	3.233 l-p	8.196 c	2.116 st
Bushehr	0	0	2.464 f-i	2.908 ef	6.173 cde	4.169 hij	0.4997 l	3.886 qrs
		40	1.916 mn	3.395 b	5.247 fgh	4.405 ghi	1.462 ijk	8.427 jk
		80	2.575 efg	2.267 hij	4.317 i-m	4.664 fgh	3.078 gh	12.47 f-i
		120	2.009 lm	2.238 h-k	7.072 b	3.376 k-n	3.809 fg	11.35 hi
	5%	0	2.953 d	2.822 f	5.450 efg	6.469 b	4.886 e	4.271 pqr
		40	2.058 lm	2.331 hi	4.378 h-m	7.428 a	7.041 d	6.695 k-n
		80	3.569 c	2.197 i-l	4.210 klm	6.042 bc	8.349 c	7.003 klm
		120	2.413 g-j	2.157 i-l	3.543 mn	4.076 h-k	10.23 b	2.847 rs
Mashhad	0	0	2.274 ijk	3.089 cde	6.974 bc	4.951 d-g	1.154 jkl	5.464 m-q
		40	1.581 o	3.251 bc	6.011 def	6.427 b	2.193 hi	10.77 i
		80	1.742 no	3.000 def	9.011 a	5.331 c-f	3.732 fg	13.70 c-f
		120	1.571 o	2.888 ef	6.454 bcd	4.417 ghi	6.464 d	22.28 b
	5%	0	3.021 d	2.924 ef	5.120 f-j	5.603 cd	3.771 fg	6.849 klm
		40	1.960 lm	2.076 jkl	4.748 g-l	5.635 cd	4.771 e	14.55 cde
		80	2.487 e-h	1.561 m	4.575 g-l	5.882 bc	8.388 c	12.97 e-h
		120	2.108 kl	1.541 m	4.173 klm	4.690 e-h	9.658 b	0.5381 t

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

In each column, the averages that have at least one letter in common are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

بحث

تنش شوری سبب آسیب به عملکردهای مختلف فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان می‌شود که پیامد آن کاهش تولید است (Arif et al., 2020). حضور نمک در محیط با تأثیر بر تعادل پتانسیل اسمزی دو سمت غشای سلول‌های ریشه، باعث کاهش شیب انرژی از سمت خاک به طرف ریشه می‌شود. تنظیم اسمزی می‌تواند سهم قابل ملاحظه‌ای در حفظ رشد و عملکرد بهینه گونه‌های گیاهی از طریق حفظ محتوای آب بالا در پروتوپلاست‌های آن‌ها داشته باشد. تنظیم اسمزی به حفظ فشار تورگر سلول کمک می‌کند و به‌عنوان یک مکانیسم تطبیقی مهم در نظر گرفته می‌شود که به‌وسیله آن گیاهان با تنش مقابله می‌کنند (Askari & Ehsanzadeh., 2015). علاوه بر کمک اسمولیت‌ها به حفظ فشار تورگر، نقش قندهای محلول و آمینواسیدهای آزاد مانند پرولین به‌عنوان ترکیبات حفاظتی مانند ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی با جلوگیری از تجمع بیش از حد H_2O_2 و MDA در سلول‌های گیاه تحت تنش نیز مدنظر است (Yang et al., 2012). همچنین قندها به‌عنوان عوامل همبندشونده با یون Na^+ شناخته می‌شوند (Kanai et al., 2007). گروهی از این ترکیبات مانند پرولین با نقش چاپرونی خود سبب پایداری و حفظ تمامیت پروتئین‌ها و تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (Singh et al., 2015). با توجه به نتایج مطالعه حاضر، میزان نشاسته

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش ورمی‌کمپوست و تنش شوری بر متابولیت‌های فنولی، آمینواسیدهای آزاد، پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POX) بخش‌هوایی جمعیت‌های رازیانه.

Table 3. Mean comparison of the effect of vermicompost and salinity stress interaction on phenolic metabolites, free amino acids, total protein and activities of catalase (CAT) and peroxidase (POX) enzymes in the shoot of fennel landraces.

Fennel landraces	VC Conc.	Salinity Conc. (mM NaCl)	Total phenol (mg/gFW)	Anthocyanin (M/gFW)	Free amino acids (µg/gFW)	Total protein (mg/g FW)	CAT activity (U/Protein)	POX activity (U/Protein)
Urmia	0	0	0.070 t	2.060 klm	58.85 mno	384.1 h	0.057 k	0.018 gh
		40	1.900 s	1.575 m	96.90 c-f	260.0 klm	0.096 f	0.058 e-h
		80	4.500 klm	3.202 hi	78.13 h-l	236.6 lmn	0.053 l	0.096 d-g
		120	4.467 klm	2.929 ij	83.71 f-k	125.7 p	0.136 b	0.159 cd
	5%	0	2.367 qrs	2.474 jk	63.42 lmn	837.5 d	0.039 r	0.004 h
		40	3.400 nop	2.262 kl	101.5 b-e	726.1 e	0.088 g	0.013 gh
		80	9.000 c	4.676 de	89.29 e-i	449.4 g	0.047 n	0.030 gh
		120	14.600 a	5.474 bc	94.88 def	371.4 h	0.106 e	0.023 gh
Shiraz	0	0	3.067 o-r	4.050 fg	56.32 no	597.2 f	0.039 r	0.042 fgh
		40	3.833 mno	2.969 IJ	73.57 j-m	354.8 hi	0.108 d	0.086 d-h
		80	5.900 hij	5.101 cd	70.01 k-n	272.1 kl	0.040 qr	0.136 cde
		120	4.467 klm	3.262 hi	63.93 lmn	190.0 no	0.022 x	0.163 cd
	5%	0	13.230 b	5.161 cd	74.58 i-l	1040. a	0.028 u	0.007 gh
		40	8.367 cd	3.515 gh	114.2 ab	961.4 b	0.067 i	0.010 gh
		80	5.967 hi	6.979 a	85.24 f-j	859.2 cd	0.045 o	0.017 gh
		120	5.100 ijk	5.787 b	94.37 d-g	311.9 ijk	0.038 s	0.042 fgh
Bushehr	0	0	3.467 nop	4.030 fg	25.37 q	564.4 f	0.013 z	0.059 e-h
		40	6.667 fgh	2.060 klm	83.21 f-k	392.6 h	0.079 h	0.132 cde
		80	6.367 gh	4.404 ef	64.43 lmn	236.2 lmn	0.015 y	0.324 b
		120	6.500 fgh	3.000 hij	77.12 i-l	132.9 p	0.013 z	0.737 a
	5%	0	7.667 de	3.929 fg	41.60 p	996.1 ab	0.043 p	0.011 gh
		40	7.467 def	3.202 hi	110.1 abc	726.5 e	0.051 m	0.019 gh
		80	7.167 efg	5.040 cd	119.2 a	615.3 f	0.022 w	0.037 fgh
		120	6.633 fgh	3.949 fg	104.5 bcd	333.7 hij	0.053 l	0.086 d-h
Mashhad	0	0	2.133 rs	3.010 hi	46.17 op	455.3 g	0.023 v	0.018 gh
		40	5.167 ijk	1.990 klm	79.65 g-k	285.4 jkl	0.066 j	0.073 e-h
		80	4.967 jkl	3.534 gh	56.32 no	209.8 mn	0.033 t	0.207 c
		120	3.300 n-q	1.777 lm	57.84 no	115.5 p	0.088 g	0.294 b
	5%	0	2.533 p-s	3.787 g	97.88 c-f	901.6 c	0.040 q	0.004 h
		40	5.900 hij	2.797 ij	92.34 d-h	308.6 ijk	0.133 c	0.041 fgh
		80	5.833 hij	4.878 de	120.8 a	288.1 jkl	0.043 p	0.056 e-h
		120	4.067 lmn	4.454 ef	87.77 e-j	144.5 op	0.176 a	0.118 def

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

In each column, the averages that have at least one letter in common are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

ریشه افزایش و میزان نشاسته بخش‌هوایی در شوری پائین (۴۰ میلی‌مولار NaCl) افزایش و در شوری بالاتر کاهش یافت. هم‌چنین در این مرحله میزان قند محلول بخش‌هوایی در شوری‌های بالا و میزان قند محلول ریشه در سطوح پایین شوری در جمعیت‌های ارومیه و شیراز افزایش و در جمعیت‌های بوشهر و مشهد کاهش یافت. بنابراین احتمالا جمعیت‌های ارومیه و شیراز نسبت به تنش شوری متحمل‌تر هستند. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های متحمل به شوری محتوای قندهای محلول خود را افزایش می‌دهند (Yin et al., 2010).

در بررسی که بر روی گیاه کوشیا (*Kochia scoparia* L.) انجام گرفته، افزایش محتوای کربوهیدرات محلول در برخی گونه‌ها و کاهش محتوای قند در برخی گونه‌های دیگر گزارش شده است (Nabati et al., 2019). به‌نظر می‌آید جمعیت‌های شیراز و ارومیه از طریق مکانیسم تخریب و هیدرولیز مولکول‌های درشت‌تر مانند نشاسته و تبدیل آن به ترکیبات قندی ساده‌تر، سبب منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی و در نتیجه کم‌تر شدن پتانسیل آب و تنظیم اسمزی در سلول‌های خود شده‌اند. طی یک مکانیسم محتمل، کاهش محتوای قندهای محلول در جمعیت‌های بوشهر و مشهد را

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

می‌توان به کاهش تثبیت دی‌اکسیدکربن و کلروفیل و در مجموع کاهش کارایی فتوسنتزی در شرایط شور مرتبط دانست. تنش شوری از طریق محدودیت در جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل استفاده و سمیت برخی عناصر، سبب کاهش قدرت رشد سلولی و در نتیجه کاهش سطح برگ و فتوسنتز می‌گردد. این موارد باعث کاهش کربوهیدرات‌های تولیدی و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (Enferad et al., 2004).

در این بین تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش مقدار قندهای محلول کل بخش‌هوایی و کاهش بیشتر مقدار قندهای نامحلول کل بخش‌هوایی و قندهای محلول و نامحلول ریشه شده است. بررسی‌های گذشته تأثیر تیمار ورمی‌کمپوست بر افزایش مقدار قندهای محلول بخش‌هوایی گیاه *Matricaria chamomilla* L. تحت یک تنش اسمزی مانند تنش خشکی اثبات کرده است (Salehi et al., 2016). غلظت قند بیشتر در گیاهان تیمار شده با ورمی‌کمپوست می‌تواند به‌علت تأمین عناصر مهم غذایی در متابولیسم فتوسنتز باشد. عناصری نظیر پتاسیم و روی که دارای نقش‌های ساختاری و کوآنزیمی برای آنزیم‌های فتوسنتزی هستند که باعث افزایش کارایی فتوسنتزی و رونق سنتز کربوهیدرات‌ها می‌شوند (Ashok et al., 2008; Hemantaranjan, 1996). البته شرکت این قندها در واکنش‌های مختلف (واکنش‌های جبرانی) می‌تواند باعث کاهش محتوای نشاسته بخش‌هوایی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود شرایطی که ورمی‌کمپوست به جهت افزایش جذب آب و بهبود شرایط تغذیه معدنی برای گیاه بوجود می‌آورد می‌تواند باعث بی‌نیاز شدن ریشه گیاهان در جهت افزایش مقدار قندهای محلول شود که دلیلی برای کاهش یا عدم تغییر معنی‌دار محتوای قندهای محلول داخل ریشه می‌باشد.

در مجموع با افزایش غلظت نمک در محیط، تجمع بیشتر پرولین در بخش‌هوایی و ریشه تمام جمعیت‌های رازیانه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. همین الگو تقریباً در مورد تغییرات محتوای آمینواسیدهای آزاد هم مشاهده شد. مطالعات نشان داده است که بروز یک تنش اسمزی مانند تنش شوری باعث افزایش هیدرولیز پروتئین‌ها و افزایش آمینواسیدها و آمیدهای آزاد نظیر پرولین می‌شود که کمک شایانی به افزایش حفاظت اسمزی گیاهان تحت تنش می‌شود (Zlatev & Yordanov, 2004). در یک پژوهش انجام شده، افزایش مقدار پرولین در ژنوتیپ‌های رازیانه ارومیه، کاشان و یزد تحت تنش شوری در محیط مشاهده شد (Shafeiee & Ehsanzadeh, 2019). موافق با نتایج بدست آمده، افزایش مقدار پرولین در گیاه رازیانه تحت شرایط شور گزارش شده است (Ashraf & Akhtar, 2004). تجمع پرولین تحت تنش شدید نمک به‌عنوان استراتژی پاسخ اولیه گیاه *Egeria densa* است (Siththisarn et al., 2023). افزایش پرولین در جمعیت‌های رازیانه نشان‌دهنده نقش مثبت پرولین در افزایش تحمل به شوری است. در همین راستا، مطالعات نشان داده است که نوع ژنوتیپ در افزایش مقدار پرولین بخش‌هوایی و در نتیجه افزایش تحمل به شوری مؤثر است (Abdel Rahman et al., 2013). افزایش پایداری غشاء، ایجاد حفاظت اسمزی، نقش چاپرونی در حفظ ساختار آنزیم‌ها و کاهش اثرات تخریبی یون‌ها عمده اثرات پرولین در مقابله با تنش شوری در گیاهان است (Singh et al., 2015).

نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده افزایش مقدار پرولین و آمینواسیدهای آزاد بخش‌هوایی جمعیت‌های رازیانه تحت تیمار ورمی‌کمپوست در هر دو شرایط فاقد تنش و تنش شوری است. تیمار ورمی‌کمپوست در شرایط بدون تنش بر مقدار پرولین ریشه جمعیت‌های رازیانه (به‌جز جمعیت شیراز) تأثیری نداشت، اما در مواجهه با تنش شوری این پارامتر را کاهش داد. در مطالعات پیشین نشان داده شده است که ورمی‌کمپوست توانسته منجر به افزایش محتوای پرولین در گوجه‌فرنگی (Chinsamy, 2013) و جاتروفا (*Jatropha curcas* L.) (Patel & Saraf., 2013) گردد. ورمی‌کمپوست با توجه به حضور میکروارگانیسم‌های داخل آن با تأثیر بر افزایش نیتروژن قابل دسترس برای گیاه می‌تواند دلیلی بر افزایش آمینواسیدهای آزاد از جمله پرولین در گیاه شود (Atik, 2013). پرولین نه تنها به‌عنوان یک محافظت‌کننده اسمزی است، بلکه دارای خواص آنتی اکسیدانی نیز می‌باشد و بنابراین ممکن است به گیاه کمک کند تا اثرات تنش شوری را کاهش دهد (Gurpreet et al., 2022).

ترکیبات فنولی گروهی از متابولیت‌های ثانویه هستند که به‌علت حضور گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل در ساختار خود دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی هستند (Gholami et al., 2018). نتایج نشان داد که میزان فنول کل جمعیت‌های مختلف رازیانه در مواجهه با سطوح شوری افزایش یافت، اما میزان آنتوسیانین روند مشخصی نداشت، بطوری‌که در شوری ۸۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های ارومیه و شیراز افزایش و در سطوح ۴۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های شیراز، بوشهر و مشهد کاهش یافت. مشابه با نتایج بدست آمده، مطالعات گذشته افزایش ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی را در گیاهان کنگر فرنگی (Rezazadeh et al., 2012)، شوید (Setayesh Mehr et al., 2012) و بادام (Sorkheh et al., 2012) نشان داده است. برخی تحقیقات گذشته کاهش تنش اکسیداتیو به‌ویژه پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از تجمع

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

آنتوسیانین در لایه‌های اپیدرمی و ارتباط افزایش آنتوسیانین با کده‌بندی بهتر یون‌های کلر و سدیم درون واکوئل طی بروز تنش‌های محیطی از جمله شوری را گزارش کرده‌اند (Mittler, 2002; Hare & Cress, 2007). با این‌حال کاهش آنتوسیانین در شوری‌های بالا در جمعیت‌های مورد بررسی را می‌توان به عدم تجمع این متابولیت در لایه‌های سطحی مزوفیل و برگ و بنابراین رسیدن بیشتر پرتوهای فعال فتوسنتزی به لایه‌های عمقی برگ‌ها نسبت داد (Ahmed et al., 2009). در حضور ورمی‌کمپوست به‌تنهایی، میزان فنول کل و آنتوسیانین جمعیت‌های رازیانه (به‌جز جمعیت مشهد) افزایش یافت. نتایج برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش شوری نیز نشان‌دهنده آن بود که فنول کل در جمعیت‌های ارومیه و شیراز در مواجهه با تنش شوری در تیمار ورمی‌کمپوست افزایش یافتند، اما این پارامتر در جمعیت‌های بوشهر و مشهد تحت تأثیر اثر متقابل ورمی‌کمپوست و تنش شوری قرار نگرفتند. هم‌چنین در این مرحله، حضور ورمی‌کمپوست در شرایط شور سبب افزایش آنتوسیانین جمعیت‌های مورد مطالعه گردید. تحقیقات نشان داده است که نسبت کربن به نیتروژن در تولید متابولیت‌های کربن‌دار نظیر ترکیبات فنلی مؤثر است (Gholami et al., 2018). آنالیز کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده نسبت بالای کربن به نیتروژن را نشان می‌دهد که سنتز ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین را افزایش می‌دهد و مقاومت گیاه طی بروز تنش را افزایش می‌دهد (Gholami et al., 2018). بیشترین میزان ترکیبات فنولی در مارچوبه بعد از تیمار با ورمی‌کمپوست حاصل شد (Theunissen et al., 2010). تیمارهای انفرادی و برهمکنش ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید سبب افزایش میزان ترکیبات فنولی شد (Gholami et al., 2018). همچنین افزایش میزان آنتوسیانین گیاه توت فرنگی در حضور کمپوست گزارش شده است (Wang & Lin, 2003).

طی سپری شدن پنج هفته از رشد رویشی جمعیت‌های رازیانه، تنش شوری باعث کاهش شدید مقدار پروتئین کل شد که این کاهش به‌ویژه در شوری‌های ۱۲۰ میلی‌مولار و در جمعیت‌های بوشهر و مشهد بیشتر از جمعیت‌های ارومیه و شیراز بود که حاکی از ممانعت از سنتز پروتئین تحت یک رفتار وابسته به دوز شوری و نوع جمعیت می‌باشد. مطابق با نتایج مطالعه حاضر، کاهش معنی‌دار محتوای پروتئین کل در شرایط شور گزارش شده است (Zarandi-Miandoab et al., 2021). با توجه به مصرف انرژی در پروتئین‌سازی، گیاهان سنتز پروتئین تحت تنش را در جهت بقای خود محدود می‌سازند. همچنین در دوزهای بالای تنش تجزیه ماکرومولکول‌ها مانند پروتئین به‌علت تجمع رادیکال‌های آزاد نیز افزایش می‌یابد که احتمالا باعث افزایش محتوای آمینواسیدهای آزاد از جمله پرولین می‌شود (El Moukhtari et al., 2020). ورمی‌کمپوست باعث افزایش محتوای پروتئین محلول کل تحت شرایط بدون تنش و تنش گردید. نتایج مشابه، از تأثیر تیمار ورمی‌کمپوست بر افزایش محتوای پروتئین محلول کل در گیاه *Zingiber officinale* بدست آمد (Ahmad et al., 2009; Srivastava et al., 2012). به‌نظر می‌آید کود ورمی‌کمپوست با توجه به فراهم کردن محتوای آب کافی در اطراف ریشه، حضور مقادیر زیاد عناصر از جمله نیتروژن و ایجاد بستر مناسب برای میکروارگانیسم‌های همزیست می‌تواند یک القاءکننده افزایش محتوای پروتئین در شرایط تنشی و بدون تنش باشد.

تنش شوری محتوای گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را در سلول‌های گیاهی افزایش می‌دهد و تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کند. تاثیر سمی ROS بر پراکسیداسیون لیپیدی، تخریب غشاء و همچنین آسیب بر DNA و پروتئین است. (El Ghazali, 2020). جاروبگری ROS تحمل به شوری را به‌وسیله القای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز و کاتالاز افزایش می‌دهد (Ibrahim et al., 2015). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در جمعیت‌های ارومیه و مشهد در همه سطوح شوری روند افزایشی، در جمعیت بوشهر در سطوح شوری پایین و متوسط روند افزایشی و در جمعیت شیراز در سطوح شوری پایین افزایشی و در سطوح شوری بالا روند کاهشی داشته است. با این‌حال افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در تمام جمعیت‌ها با افزایش سطوح شوری در محیط روند افزایشی داشته است. در همین راستا و تقریباً مشابه آنچه که در جمعیت شیراز مشاهده شده است، مطالعات گذشته نشان داده که سطوح شوری متوسط باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است، در حالی‌که سطوح بالای شوری سبب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است (Chen et al., 2014; Banakar et al., 2022). با این‌حال برخی تحقیقات نشان داده است که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و گایاکول پراکسیداز در غلظت‌های نمک بالا در محیط شده است (Afkari, 2018; Carrasco-Rios & Pinto, 2014) که در تطابق با نتایج بدست آمده در مورد تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز در جمعیت‌های ارومیه و مشهد بوده است. کاربرد ورمی‌کمپوست به‌تنهایی تأثیر مشخصی بر روند فعالیت آنزیم کاتالاز در جمعیت‌های مختلف رازیانه نداشت به‌طوری‌که حضور ورمی‌کمپوست باعث افت فعالیت آنزیمی در جمعیت‌های ارومیه و شیراز و افزایش فعالیت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

آنزیمی در جمعیت‌های بوشهر و مشهد گردید. همچنین روند تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز طی برهمکنش شوری و ورمی-کمپوست وابسته به نوع جمعیت و سطح شوری متغیر بود. تیمار ورمی‌کمپوست به‌تنهایی سبب تغییرات معنی‌داری در فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در ۴ جمعیت مورد بررسی نشد ولی طی برهمکنش با شوری باعث نزول فعالیت گایاکول پراکسیداز گردید. نتایج بدست آمده بیان می‌کند که تأثیر ورمی‌کمپوست بر فعالیت آنزیم کاتالاز دارای یک روند وابسته به نوع جمعیت است. مطالعات گذشته نشان داده است که تأثیر تیمار ورمی‌کمپوست بر گیاهان تحت تأثیر تنش شوری یک روند وابسته به گونه (Xu et al., 2016)، مرحله رشد گیاه، دوز و مدت زمان بروز تنش (Xu et al., 2016; Akbari et al., 2020) است. تقریباً مشابه با نتایج بدست آمده، تیمار ورمی‌کمپوست فعالیت آنزیم کاتالاز در جاتروفا (Patel & Saraf., 2013) و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بخش‌هوایی *Eucomis autumnalis* و *Tulbaghia ludwigiana* افزایش داد ولی تغییری در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان *Tulbaghia violacea* نداد (Aremu et al., 2014). همچنین عدم تغییرات معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز توأم با کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تیمار ورمی‌کمپوست طی بروز تنش اسمزی مانند خشکی گزارش شده است (Hosseinzadeh et al., 2017). با این‌حال برخلاف نتایج بدست آمده، تحقیقات گذشته تأثیر افزایشی ورمی‌کمپوست بر روند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز و گایاکول پراکسیداز تحت تنش شوری نشان داده است (Xu et al., 2016; Kiran, 2018). احتمالاً عدم تغییرات معنی‌دار و یا کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مورد بررسی به پاسخ بهتر جمعیت‌ها به ورمی‌کمپوست در راستای کاهش خسارت-های اکسیداتیو می‌باشد. در یک مکانیسم احتمالی، وجود برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ورمی‌کمپوست از جمله حضور جیبرلین در بافت کود و جذب آن به‌وسیله گیاه را دلیلی برای فراهم شدن بهتر شرایط رشدی گیاه، کاهش خسارت‌های تنش اکسیداتیو و متعاقباً کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برشمردند (Beyk-Khormizi et al., 2023; Edwards et al., 2004). همچنین وجود روی در بافت این کود و تأثیر بسزای آن در پایداری غشاهای زیستی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از رادیکال‌های آزاد نیاز برای فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را تقلیل می‌دهد (Daneshbakhsh et al. 2013).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی پاسخ چهار جمعیت رازیانه مورد مطالعه به تیمارهای انفرادی و برهمکنش تنش شوری و ورمی‌کمپوست از پیچیدگی خاصی برخوردار بود و در برخی موارد روند منظمی مشاهده نشد. این پدیده می‌تواند به مرحله رشد رویشی و مدت زمان سپری شده از کاشت (پنج هفته) نسبت داده شود. با این‌حال پاسخ شاخص‌های بیوشیمیایی به تیمارهای در نظر گرفته شده نشان داد که در مرحله رشد رویشی جمعیت شیراز نسبت به شوری متحمل‌تر است. به‌طور کلی تیمار ورمی‌کمپوست در محیط بیشترین تأثیر در بهبود مکانیسم حفاظت اسمزی را در جمعیت رازیانه شیراز طی حضور و عدم حضور تنش برجای گذاشت. با این‌حال دو جمعیت مشهد و شیراز بیشترین سود را از حضور تیمار ورمی‌کمپوست برای ارتقا شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی خود بردند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از گروه زیست‌شناسی دانشگاه‌های ارومیه، یزد و بیرجند کمال تشکر را اعلام می‌دارند.

REFERENCES

Aebi, H. 1984. Catalase in Vitro. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Abdel Rahman, R., Gomma, S.E., Abdelsalam, N.R., El-Wakil, H.M.F., Khaled, A.S. & Hassan, H.M. 2013. Effect of sodium chloride on tropane alkaloids accumulation and proline content in *Datura metel* and *D. stramonium* callus cultures. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1: 197-210.

Afkari, A. 2018. An Investigation to the Vermicompost Efficacy on the Activity Level of Antioxidant Enzymes and Photosynthetic Pigments of Borage (*Borago officinalis* L.) under Salinity Stress Conditions. Russian Agricultural Sciences 44: 310-317.

Ahmad, R., Azeem, M. & Ahmed, N. 2009. Productivity of ginger (*Zingiber officinale*) by amendment of vermicompost and biogas slurry in saline soils. Pakistan Journal of Botany 41: 3107-3116.

Akbari, A., Katam, R., Husain, R., Farajpour, M., Mazzuca, S. & Mahna, N. 2020. Sodium chloride induced stress responses of antioxidative activities in leaves and roots of Pistachio rootstock. Biomolecules 10: 189: 1-18.

Akhani, H. 2004. Halophytic vegetation of Iran: Towards a syntaxonomical classification. Annali di Botanica 4: 66-82.

Aremu, A.O., Masondo, N.A. & Van Staden, J. 2014. Physiological and phytochemicalresponses of three nutrient-stressed bulbous plants subjected to vermicompost leachate treatment. Acta Physiologiae Plantarum 36: 721-731.

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. & Hayat, S. 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry 156: 64-77.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

Ashraf, M. & Akhtar, N. 2004. Influence of salt stress on growth, ion accumulationand seed oil content in sweet fennel. Biologia Plantarum 48: 461-464.

Ashok, P., Carlos, R.S. & Christian, L. 2008. Current developments in solid-state fermentation. Asiatech Publishers, INC. New Delhi, 517 pp.

Askari, E. & Ehsanzadeh, P. 2015. Osmoregulation-mediated differential responses of field-grown fennel genotypes to drought. Industrial Crops and Products 76: 494-508.

Atik, A. 2013. Effects of planting density and treatment with vermicompost on the morphological characteristics of Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky.). Compost Science and Utilization 21: 87-98.

Bahmani, K., Izadi, A., Darbandi, H., Ramshini, A., Moradi, N. & Akbari. A. 2015. Agro-morphological and phytochemical diversity of various Iranian fennel landraces. Industrial Crops and Products 77: 282-94.

Banakar, M. H., Amiri, H., Sarafraz Ardakani, M.R. & Ranjbar, G.H. 2022. Succeptibility and tolerance of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) to salt stress: Physiological and biochemical inspections. Environmental and Experimental Botany 194: 104748.

Bates, L.S., Waldren, R.P. & Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 29: 205-207.

Benazzouk, S., Djazouli, Z.E. & Lutts, S. 2018. Assessment of the preventive effect of vermicompost on salinity resistance in tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Ailsa Craig). Acta Physiologiae Plantarum doi:10.1007/s11738-018-2696-6.

Beykkhormizi, A., Abrishamchi, P., Ganjeali, A. & Parsa, M. 2016. Effect of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. Journal of Plant Nutrition 39: 883-893.

Beykkhormizi, A., Ganjeali, A., Abrishamchi, P. & Parsa, M. 2013. Interactions of vermicomopst and salinity on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Iranian Journal Pulses Research 4: 81-98. (In Persian).

Beykkhormizi, A., Hosseini Sarghein, S., Sarafraz Ardakani, M.R., Moshtaghioun S.M. & Mousavi Kouhi, S.M. 2018. Alleviation of salinity stress by vermicompost extract: A comparative study on five fennel landraces. Communications in Soil Science and Plant Analysis 14: 2123-2130.

Beyk-Khormizi, A., Hosseini Sarghein, S., Sarafraz-Ardakani, M.R., Moshtaghioun, S.M., Mousavi-Kouhi, S.M. & Ganjeali, A. 2023. Ameliorating effect of ermicompost on *Foeniculum vulgare* under saline condition. Journal of Plant Nutrition 46: 1601-1615.

Bradford, M.M. 1979. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Carrasco-Rios, L. & Pinto, M. 2014. Effect of salt stress on antioxidant enzymes and lipid peroxidation in leaves in two contrasting corn, 'Lluteño' and 'Jubilee'. Chilean Journal of Agricultural Research, 74: 89-95.

Chen, X., Wang, Y.F., Lv, B., Li, J., Luo, L., Lu, S., Zhang, X., Ma, H. & Ming. F. 2014. The NAC family transcription factor OsNAP confers abiotic stress response through the ABA pathway. Plant and Cell Physiology 55: 604-619.

Chinsamy, M., Kulkarni, M.G. & Van Staden, J. 2013. Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. Plant Growth Regulation 71: 41-47.

Daneshbakhsh, B., Khoshgoftarmanesh, A.H., Shariatmadari, H. & Cakmak. I. 2013. Effect of zinc nutrition on salinity-induced oxidative damages in wheat genotypes differing in zinc deficiency tolerance. Acta Physiologiae Plantarum 35: 881-889.

Edwards, C.A. 2004. Earthworm ecology. CRC Press. ISBN-10: 084931819X, 448 pp.

El Ghazali, G.E.B. 2020. *Suaeda vermiculata* Forssk. ex J.F.Gmel.: structural characteristics and adaptations to salinity and drought: a review. Internet Journal of Science 9: 28-33.

El Moukhtari, A., Cabassa-Hurton, C., Farissi, M. & Savoure, A. 2020. How dose proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development. Frontiers in Plant Science 11: 1-16.

Enferad, A., Poustini, K., Majnoon Hosseini, N. & Khajeh Ahmad Attari, A.A. 2004. Physiological responses of rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties to salinity. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 7: 103-113. (In Persian).

Es-sbihi, F.Z., Hazzoumi, Z., Aasfar, A. & Amrani Joutei, K. 2021. Improving salinity tolerance in *Salvia ofcinalis* L. by foliar application of salicylic acid. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 8: 1-12.

Gholami H., Saharkhiz, M.J., Raouf Farda, F., Ghanic, A. & Nadaf, F. 2018. Humic acid and vermicompost increased bioactive components, antioxidant activity and herb yield of Chicory (*Cichorium intybus* L.). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 14: 286-292.

Gurpreet K., Satish, K.S., Nirmala, S., Ashwani, K., Naresh, K. & Anita, M. 2022. Getting to the roots of *Cicer arietinum* L. (chickpea) to study the effect of salinity on morpho-physiological, biochemical and molecular traits. Saudi Journal of Biological Sciences 29: 103464.

Hemantaranjan, A. 1996. Physiology and biochemical significance of zinc in plants. In: Advancement in Micronutrient Research, Ed. Hemanteranjan, A. Scientific Publishers, Joudhpur, Rajasthan, India, 151-178.

Hare, P.D. & Cress, W.A. 2007.Metabolic implications of stress-induced accumulation in plants. Plant Growth Regulation 21: 79-103.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

Hellubust, J.A. & Craigie, J.S. 1978. Handbook of Physiological and Biochemical Methods. Cambridge University Press, Cambridge.

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. & Ismaili, A. 2017. Nutrition and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to vermicompost fertilizer and water deficit stress. Journal of Plant Nutrition 40: 2259-2268.

Ibrahim, M.M., Mahmoud, E.K. & Ibrahim, D.A. 2015. Effects of vermicompost and water treatment residuals on soil physical properties and wheat yield. International Agrophysics 29: 157-164.

Joshi, R., Singh, J. & Vig, A.P. 2015. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 14: 137-159.

Kanai, M., Higuchi, K., Hagihara, T., Konishi, T., Ishii, T., Fujita, N., Nakamura, Y., Maeda, Y., Yoshiba, M. & Tadano, T. 2007. Common reed produces starch granules at the shoot base in response to salt stress. New Phytologist 176: 572-580.

Kiran, S. 2018. Effects of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa* var. crispa) under drought stress. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici 47: 352-358.

Kumar, J., Singh, S., Singh, M., Srivastava, P.K., Mishra, R.K., Singhc, V.P. & Prasad, S.M. 2017. Transcriptional regulation of salinity stress in plants. Plant Gene 11: 160-169.

Mona, Y., Kandi, A. M. & Swaefy Hend, M.F. 2008. Effect of three different compost levels on fennel and salvia growth character and their essential oils, Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 4: 34-39.

Nabati J., Kafi M., Boroumand Rezazadeh E., Masoumi A. & Zare Mehejardi M. 2019. Photosynthetic characteristics of kochia as affected by salinity stress. Iranian Journal of Field crops research 16: 743-759. (In Persian).

Patel, D. & Saraf, M. 2013. Influence of soil ameliorants and microflora on inductionof antioxidant enzymes and growth promotion of *Jatropha curcas* L under saline condition. European Journal of Soil Biology 55: 47-54.

Putter, J. 1974. Peroxidase. In: Bergmeyer HU (ed), Methods of Enzymatic Analysis, Verlag Chemie, Weinhan. pp: 685-690.

Rezazadeh, A., Ghasemnezhad, A. & Barani, M. 2012. Effect of salinity on phenolic composition and antioxidant activity of Artichoke (*cynara scolymus* L.) Leaves. Journal of Medicinal Plant 63: 242-252.

Salehi, A., Tasdighi1, H. & Gholamhoseini, M. 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 6: 886-891.

Setayesh Mehr, Z., khajeh, H., Esmaeilzadeh Bahabadi, S. & Sabbagh, S.Z. 2012. Changes on proline, phenolic compounds and activity of antioxidant enzymes in *Anethum graveolens* L. under salt stress. International journal of Agronomy and Plant Production 3: 710-715.

Shafeiee, M. & Ehsanzadeh, P. 2019. Physiological and biochemical mechanisms of salinity tolerance in several fennel genotypes: Existence of clearly-expressed genotypic variations. Industrial Crops & Products 132: 311-318.

Shamili, M., Ghalati, R.E. & Samari, F. 2021. The Impact of Foliar Salicylic Acid in Salt-Exposed Guava (*Psidium Guajava* L.) Seedlings. International Journal of Fruit Science 21: 323-333.

Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V.P. & Prasad, S.M. 2015. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. Environmental Science and Bio/Technology 14: 407-426.

Singleton, V.L. & Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture 16: 144-158.

Sithtisarn, S., Theerawitaya, C., Samphumphuang, T., Takabe, T., Singh, H.P. & Cha-um, S. 2023. Molecular and physiological responses of *Egeria densa* under salt stress. Flora 300: 152226.

Sorkheh, K. Shiran, B. Rouhi, V. & Khodambashi, M. 2012. Salt stress induction of some key antioxidant enzymes and metabolites in eight Iranian wild almond species. Plant Physiology 34: 203-213.

Srivastava, P.K., Gupta, M., Upadhyay, R.K., Sharma, S., Shikha Singh, N., Tewari, K. & Singh, B. 2012. Effects of combined application of vermicompost and mineralfertilizer on the growth of *Allium cepa* L. and soil fertility. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 175: 101-107.

Theunissen, J., Ndakidemi, P.A. & Laubscher, C.P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of Physical Sciences 5: 1964-1973.

Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. Plant Physiology 64: 88-93.

Wang, S.H.Y. & Lin, H.S. 2003. Compost as a soil supplement increases the level of antioxidant compounds and oxygen radical absorbance capacity in strawberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 6844-6850.

Xiong, Z.T., Chao, L. & Bing, G. 2006. Phytotoxic effects of copper on nitrogen metabolism and plant growth in *Brassica pekinensis* Rupr. Ecotoxicology and Environmental Safety 64: 273-280.

Xu, L., Yan, D., Ren, X., Wei, Y., Zhou, J., Zhao, H. & Liang, M. 2016. Vermicompost improves the physiological and biochemical responsesof blessed thistle (*Silybum marianum* Gaertn.) and peppermint (*Mentha haplocalyx* Briq) to salinity stress. Industrial Crops and Products 94: 574-585.

Yang, A., Dai, X.Y., Zhang, W.H. 2012. A R2R3- type MYB gene OsMYB2 is involved in salt cold and

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]

dehydration tolerance in rice. Journal of Experimental Botany 63: 2541-2556.

Yin, Y.G., Kobayashi, Y., Sanuki, A., Kondo, S., Fukuda, N., Ezura, H., Sugaya, S. & Matsukura, C. 2010. Salinity induces carbohydrate accumulation and sugar-regulated starch biosynthetic genes in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. 'Micro-Tom') fruits in an ABA- and osmotic stress-independent manner. Journal of Experimental Botany 61: 563-574.

Zarandi-Miandoab, L., Chaparzadeh, N. & Fekri-Shali, H. 2021. The effects of magnesium on the growth and physiological characteristics of Syrian bean-caper (*Zygophyllum fabago*) in saline conditions. Nova Biologica Reperta 8: 130-141. (In Persian).

Zlatev, Z.S & Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology 30: 3-18.

*****

How to cite this article:

Beyk-Khormizi, A., Hosseini Sarghein, S., Sarafraz-Ardakani, M.R. Moshtaghioun, S.M & Mousavi-Kouhi, S.M. 2023. Evaluation of osmotic regulation, total phenol, protein and antioxidant enzymes in four fennel populations under saline treatments using vermicompost. Nova Biologica Reperta 10: 129-142. (In Persian).

بیک خورمیزی، ع.، حسینی سرقین، س.، سرافراز اردکانی، م. مشتاقیون، س. م. و موسوی کوهی، س. م. ۱۴۰۲. ارزیابی تنظیم اسمزی، فنل کل، پروتئین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در چهار جمعیت از رازیانه تحت تیمار شوری با کاربرد ورمی‌کمپوست. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۱۰: ۱۴۲-۱۲۹.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1402.10.2.4.9]