Effects of different composts on physiological and biochemical responses of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under Salt Stress

Esmaeil Karimi*, Sareh Hemmadi, Siros Sadeghi and Seyed Bahman Mousavi

Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran
* Corresponding author, Email: sm_ka80@yahoo.com

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

Abstract

Background and Objective: Soil salinity disrupts plant growth by causing osmotic and oxidative stress. This study aimed to investigate the effect of compost modified by the Fenton process—an advanced oxidation method that enhances organic matter bioavailability—on the defense mechanisms of rosemary against oxidative stress.

Methods: The experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with three replications. Salinity levels were 0, 4, and 8 dS/m. Four compost treatments were used: control (no compost), ordinary compost (100% sheep manure), mixed compost (75% sheep manure + 25% raw sawdust), and Fenton-modified compost (75% sheep manure + 25% sawdust treated by the Fenton process). At the end of the experiment, various physiological and biochemical traits were measured – including antioxidant enzyme activities, hydrogen peroxide concentration, malondialdehyde concentration, proline content, electrolyte leakage, relative leaf water content, as well as fresh and dry weights of rosemary.

Results: Although all compost types improved rosemary performance under saline conditions, Fenton compost was the most effective treatment at all salinity levels, especially at 8 dS/m. Compared to the no-compost treatment, Fenton compost increased the activity of antioxidant enzymes: catalase (3.7-fold), ascorbate peroxidase (2.28-fold), guaiacol peroxidase (3.8-fold), and peroxidase (4.11-fold). Proline accumulation increased by 44.5%, which led to a 16.4% increase in relative leaf water content. Fenton compost also reduced hydrogen peroxide by 31%, electrolyte leakage by 36%, and malondialdehyde by 35%. Dry yield of rosemary under Fenton compost was 3.14 times higher than the no-compost treatment and 1.75 times higher than ordinary compost.

Conclusion: It appears that Fenton-modified compost, by activating the plant's antioxidant defense system, can reduce the negative effects of salinity on rosemary under the conditions of this study. However, further field studies are needed to confirm its broader application.

Keywords: Antioxidant enzymes, Proline, Fenton process, Osmotic adjustment, Electrolyte leakage.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

تاثیر انواع کمپوست بر پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دارویی اکلیل کوهی (*Rosmarinus officinalis*) تحت تنش شوری

اسماعیل کریمی*، ساره حمادی، سیروس صادقی و سید بهمن موسوی

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: sm_ka80@yahoo.com

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: شوری خاک از طریق ایجاد تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو رشد گیاهان را مختل می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون که یک روش اکسیداسیون پیشرفته برای بهبود زیست‌فراهمی مواد آلی محسوب می‌شود، بر مکانیسم‌های دفاعی موثر در مقابل تنش اکسیداتیو در اکلیل کوهی انجام شد.

روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار با سه سطح شوری شامل صفر (تیمار شاهد)، ۴ و ۸ هر سه با واحد دسی‌زیمنس بر متر و چهار تیمار کمپوست شامل شاهد (بدون کمپوست)، کمپوست معمولی (۱۰۰ درصد فضولات گوسفندی)، کمپوست مخلوط (۷۵ درصد فضولات گوسفندی + ۲۵ درصد خاک اره خام) و کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون (۷۵ درصد کود گوسفندی + ۲۵ خاک اره تیمار شده با فرآیند فنتون) در سه تکرار و روی گیاه اکلیل کوهی انجام شد. در انتهای آزمایش شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه مانند برخی از آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی، غلظت پراکسید هیدروژن، غلظت مالون دی‌آلدئید، غلظت پرولین، نشت الکترولیت، رطوبت نسبی برگ و همچنین وزن خشک و وزن تر آن در مقابل اعمال تنش شوری در تیمارها اندازه‌گیری شدند.

نتایج: اگرچه همه انواع کمپوست‌های مورد استفاده در آزمایش عملکرد اکلیل کوهی را در شرایط شور بهبود بخشیدند، اما کمپوست فنتونی در تمام سطوح شوری، به‌ویژه شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر مؤثرترین تیمار بود. در تیمار کمپوست فنتونی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز (۷/۳ برابر)، آسکوربات پراکسیداز (۲/۲۸ برابر)، گایاکول پراکسیداز (۳/۸ برابر) و پراکسیداز (۴/۱۱ برابر) نسبت به تیمار بدون کمپوست افزایش یافتند و باعث افزایش تجمع پرولین به میزان ۴۴/۵ درصد شد که به افزایش ۱۶/۴ درصدی رطوبت نسبی برگ انجامید. کمپوست فنتونی همچنین غلظت پراکسید هیدروژن را ۳۱ درصد، نشت الکترولیت را ۳۶ درصد و مالون‌دی‌آلدهید را ۳۵ درصد کاهش داد. عملکرد خشک اکلیل کوهی در این تیمار نسبت به شرایط بدون کمپوست ۳/۱۴ برابر و نسبت به کمپوست معمولی ۱/۷۵ برابر افزایش یافت.

نتیجه‌گیری کلی: به‌نظر می‌رسد کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون، با فعال‌سازی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، در شرایط مشابه این پژوهش توانایی کاهش اثرات شوری بر اکلیل کوهی را داشته باشد، هرچند اثبات کاربرد گسترده آن نیازمند مطالعات مزرعه‌ای بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، فرآیند فنتون، تنظیم اسمزی، نشت الکترولیت.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

مقدمه

شوری خاک یکی از مهم‌ترین موانع دستیابی به کشاورزی پایدار در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌شمار می‌رود. بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد این پدیده بیش از ۲۰ درصد از اراضی آبی جهان (معادل ۲۲۷ میلیون هکتار) و بخش قابل توجهی از اراضی ایران را تحت تأثیر قرار داده است (FAO, 2021). اثرات مخرب شوری بر گیاهان در چند سطح بروز می‌یابد: نخست، ایجاد تنش اسمزی از طریق کاهش پتانسیل آب خاک که قابلیت جذب آب توسط ریشه را محدود کرده و منجر به اختلالات فیزیولوژیکی مشابه خشکی می‌شود. دوم، بروز سمیت یونی ناشی از تجمع یون‌های سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی که اختلال در جذب، انتقال و هومئوستازی عناصر حیاتی مانند پتاسیم و کلسیم را به دنبال دارد. سوم، القای تنش اکسیداتیو ثانویه که با تولید انبوه گونه‌های فعال اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\bullet-}$) که در نهایت به تخریب ساختارهای حیاتی سلول از جمله پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، دناتوره شدن پروتئین‌ها و آسیب به اسیدهای نوکلئیک می‌انجامد (Van Zelm et al., 2020).

کشت گیاهان متحمل به شوری و با ارزش اقتصادی بالا و استفاده از فناوری‌های تعدیل کننده اثرات شوری، به‌عنوان یک راهبرد سازگار و پایدار جهت بهره‌وری از خاک‌های شور و یا استفاده از آب‌های شور مورد توجه می‌باشند (Ziaei et al., 2016). اکلیل کوهی (*Rosmarinus officinalis* L.)، گیاهی چندساله و معطر از تیره نعناعیان، با دارا بودن ترکیبات فنولی ارزشمندی چون اسید رزمارینیک و اسید کارنوسیک، از جایگاه ویژه‌ای در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی-بهداشتی برخوردار است (Mocan et al., 2021). اگرچه این گیاه به شوری نسبتا مقاوم (با آستانه تحمل به شوری حدود ۴ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر) است، اما سطوح بالاتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر، رشد آن را کاهش می‌دهند (Abdelkader et al., 2019; Kiarostami et al., 2010). برای نمونه، عبدالکادر و همکاران (Abdelkader et al., 2019) نشان دادند که سطوح شوری ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (معادل حدود چهار تا ۸ هشت دسی‌زیمنس بر متر) به‌طور معنی‌داری موجب کاهش صفات رشدی، محتوای کلروفیل و درصد اسانس در گیاه اکلیل کوهی می‌شود. این کاهش عملکرد، لزوم توسعه راهکارهای مدیریتی برای کاهش خسارت ناشی از شوری در کشت این گیاه دارویی ارزشمند را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

یکی از راهکارهای امیدبخش، ارزان‌قیمت و پایدار برای کاهش اثرات منفی شوری، کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی خاک مانند کمپوست است (Hasini et al., 2020). کمپوست با بهبود ساختار فیزیکی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و نگهداری آب، و همچنین تأثیر مستقیم بر فیزیولوژی گیاه از طریق تحریک سیستم دفاعی و فراهمی تدریجی عناصر غذایی، مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد (Ait-El-Mokhtar *et al.*, 2022). با این وجود، اثربخشی کمپوست‌های سنتی اغلب محدود است، زیرا حاوی مقادیر بالایی از ترکیبات آلی با وزن مولکولی بالا و پلیمری مانند لیگنوسلولز و هومین‌ها هستند که زیست‌فراهمی پایینی برای گیاه دارند (Sayara et al., 2020 و Azim et al., 2018). به همین دلیل، استفاده از فناوری‌های نوین برای اصلاح کمپوست ضروری به نظر می‌رسد.

اخیراً، فناوری‌های اکسیداسیون پیشرفته مانند فرآیند فنتون در تولید کمپوست به‌کار گرفته شده‌اند، تا با تجزیه هدفمند و کنترل‌شده لیگنوسلولز و سایر پلیمرهای آلی پیچیده، کیفیت و کارایی کمپوست را متحول سازند. این فرآیند با تولید رادیکال‌های هیدروکسیل ($^{\bullet}OH$) بسیار قوی، قادر است ساختارهای آلی مقاوم را به مولکول‌های کوچک‌تر و ساده‌تر شکسته و در نتیجه، زیست‌فراهمی آن‌ها را برای گیاه افزایش دهد (Chen et al., 2022). نیو و همکاران (Niu et al., 2021) نشان داده‌اند که اعمال فرآیند شبه-فنتون در طی کمپوست‌سازی بازده استخراج اسیدهای هیومیک را تا ۳۸ درصد افزایش داده و ساختار آن‌ها را به‌سمت مولکول‌های کوچک‌تر با تراکم بالاتر گروه‌های عاملی کربوکسیل و فنولیک سوق می‌دهد. این تغییرات ساختاری بسیار مهم هستند، چرا که اسیدهای هیومیک با وزن مولکولی

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

پایین‌تر و گروه‌های عاملی بیشتر، فعالیت بیولوژیکی قوی‌تری داشته و در القای مقاومت به تنش در گیاهان نقش مؤثرتری را ایفا می‌کنند (Nardi et al., 2016). علاوه بر این، این فرآیند می‌تواند جامعه میکروبی کمپوست را با افزایش جمعیت باکتری‌های کلیدی تجزیه‌کننده مانند *سودوموناس*[1] و *اسفینگوموناس*[2] غنی‌سازی نماید که این خود بر کیفیت نهایی کمپوست می‌افزاید (Niu et al., 2021).

با توجه به مطالب فوق، به نظر می‌رسد کمپوست فنتونی به دلیل دارا بودن اسیدهای هیومیک با فعالیت بیولوژیک بالاتر و ساختار میکروبی مطلوب، قادر است سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه را در شرایط شوری بهبود بخشد. با این وجود، علیرغم پتانسیل بالای این فناوری، کاربرد عملی کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون در سیستم‌های کشت گیاهان دارویی تحت تنش شوری، مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دارویی اکلیل کوهی به کاربرد کمپوست اصلاح‌شده توسط فرآیند فنتون در مقایسه با کمپوست‌های متداول، تحت سطوح مختلف شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت آزمایش گلدانی در شرایط کنترل‌شده گلخانه تحقیقاتی دانشگاه مراغه به مدت ۶۰ روز (از ۱۵ اردیبهشت تا ۱۵ تیرماه سال ۱۴۰۴) انجام شد. شرایط محیطی گلخانه شامل دمای ۲ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵± ۵۰ درصد و نور محیطی بود. نهال‌های اکلیل کوهی (*Rosmarinus officinalis* L.) با ویژگی‌های رشد همگن از نهالستان معتبر در شهر ارومیه تهیه شدند. پیش از اعمال تیمارها، گیاهان به مدت یک هفته در محیط گلخانه نگهداری شدند، تا با شرایط جدید سازگار شوند. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای این مطالعه عبارت بودند از: سه سطح شوری، صفر، ۴ و ۸ با واحد دسی‌زیمنس بر متر چهار سطح اصلاح‌کننده آلی به‌ترتیب شامل شاهد (بدون کمپوست)، کمپوست معمولی (۱۰۰ درصد فضولات گوسفندی)، کمپوست مخلوط (۷۵ درصد فضولات گوسفندی + ۲۵ درصد خاک اره خام و کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون (۷۵ درصد کود گوسفندی + ۲۵ خاک اره تیمار شده با فرآیند فنتون) بودند. برای تهیه کمپوست فنتونی، ابتدا خاک اره چوب خشک (درختان تبریزی و درخت بید) از نجاری‌های محلی تهیه شده و پس از الک کردن با الک با قطر ۲ میلی‌متر با آب شستشو داده شد. پس از خروج آب اضافی از آن، مرحله اصلاح فنتونی با استفاده از محلول حاوی ۰/۱ مولار فروس سولفات ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) و پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد با نسبت وزنی ۱:۵ (خاک اره به محلول) انجام شد. واکنش در شرایط کاملاً کنترل‌شده و در بشکه پلاستیکی تیره به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تحت همزدن مداوم با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه انجام پذیرفت. پس از اتمام واکنش، نمونه‌ها سه بار با آب دیونیزه شستشو داده شدند. ماده اصلاح‌شده نهایی با نسبت ۲۵ درصد وزنی با کود گوسفندی مخلوط شد. فرآیند کمپوست‌سازی به مدت ۶۰ روز در شرایط هوازی ادامه یافت. در انتهای این بازه زمانی، رنگ کمپوست‌ها به رنگ قهوه‌ای نسبتا تیره درآمده و بوی علف تازه دادند که از نشانه‌های بلوغ کمپوست محسوب می‌شود.

کمپوست‌ها به میزان ۴ درصد وزنی به خاک با مشخصات مندرج در جدول (۱) اضافه شده و جهت توزیع یکنواخت کمپوست چندین بار به‌هم زده شدند. سپس گلدان‌هایی با ظرفیت ۷ لیتر از این خاک پر شده و نهال‌های اکلیل کوهی با رعایت احتیاط به این گلدان‌ها منتقل شدند. پس از گذشت دو هفته از انتقال نشاها به گلدان و استقرار این نشاها از طریق رابطه (۱) میزان نمک مورد نیاز جهت ایجاد شوری منطبق با تیمارها محاسبه و در طی سه مرحله آبیاری به میزان مورد نظر در خاک رسانده شد. در طی آزمایش از ایجاد زه‌آب جلوگیری و رطوبت گلدان‌ها با روش وزنی در حد رطوبت زراعی نگه داشته شد.

1- *Pseudomonas*

2- *Sphingomonas*

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش

Table 1. Physiochemaical characteristic of the soil in this research.

شن	سیلت	رس	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رطوبت ظرفیت زراعی	پتاسیم	فسفر	اسیدیته	هدایت الکتریکی
Sand	Silt	Clay	OC	CCE	FC	K	P	pH	EC
%						mg/Kg	mg/Kg		dS/m
65	10	25	0.7	11	23	180	8.6	7.6	0.876

پس از ۶۰ روز از اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از برگ‌ها در مرحله رویشی گیاه انجام شد. فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس کاهش جذب نوری پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید (Aebi, 1984). فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با سنجش کاهش جذب آسکوربات در طول موج ۲۹۰ نانومتر (Habig et al., 1974) و فعالیت گایاکول پراکسیداز با اندازه‌گیری افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر تعیین شد (Tang and Newton, 2005). فعالیت پراکسیداز نیز با روش مهلهورن و همکاران (Mehlhorn et al., 1996) اندازه گرفته شد. محتوای پرولین آزاد با روش آبراهام و همکاران (Ábrahám et al., 2010) و با استفاده از اسید نین‌هیدرین در طول موج ۵۲۰ نانومتر سنجیده شد. میزان مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها با روش هیس و پاکر (Heath and Packer, 2022) و بر اساس واکنش با اسید تیوباربیتوریک اندازه‌گیری گردید. غلظت پراکسید هیدروژن بر مبنای روش یو و همکاران (Yu et al., 2003)، نشت الکترولیت‌ها با روش غوطه‌وری دیسک‌های برگ در آب مقطر و سنجش هدایت الکتریکی با استفاده از کنداکتیومتر دیجیتال تعیین شد (Sairam et al., 2002). محتوای نسبی آب برگ با توزین نمونه‌های برگ در حالت‌های تازه، اشباع و خشک محاسبه گردید (Ritchie and Nguyen, 1990). در پایان دوره آزمایش، وزن تر گیاه بلافاصله پس از برداشت و وزن خشک گیاه با خشک کردن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت و توزین با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش پس از حصول اطمینان از نرمال بودن آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار MSTAT –C تجزیه آماری شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیکی گیاه اکلیل کوهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های این پژوهش نشان داد که اثرات اصلی تنش شوری، و کاربرد کمپوست اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر کلیه پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مورد بررسی در اکلیل کوهی داشته است (جدول ۱). همچنین اثرات متقابل شوری در کمپوست بر صفات نشت الکترولیت و غلظت پراکسید هیدروژن در سطح احتمال ۵ درصد و بر سایر صفات در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲).

در شرایط بدون شوری کاربرد کمپوست‌ها شاخص‌های فیزیولوژیک اکلیل کوهی را بهبود بخشید. بیشترین افزایش در محتوای نسبی آب برگ (۹ درصد)، تجمع پرولین (۱۰۳/۳ درصد)، و بیشترین کاهش در غلظت پراکسید هیدروژن (۳۴/۴ درصد)، نشت الکترولیت (۴۱/۴ درصد) و مالون‌دی‌آلدئید (۴۱/۲ درصد) در تیمار کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون نسبت به تیمار شاهد (بدون کمپوست) مشاهده شد. در شوری متوسط (۴ دسی‌زیمنس بر متر) در مقایسه با تیمار شاهد بدون کمپوست، کمپوست فنتونی محتوای نسبی آب برگ را ۱۱/۲ درصد، پرولین را ۵۹/۶ درصد افزایش داد و به‌ترتیب غلظت پراکسید هیدروژن، نشت الکترولیت و مالون‌دی‌آلدئید را ۳۳/۹، ۳۹/۸ و ۴۰/۴ درصد کاهش داد. در مقابل، کمپوست معمولی به‌ترتیب با افزایش ۳/۶ درصدی رطوبت نسبی و ۲۲/۷ درصدی پرولین و کاهش ۱۲/۵، ۱۷/۵ و ۱۹/۱ درصدی در شاخص‌های آسیب اکسیداتیو نشت

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

جدول ۲. تجزیه واریانس اثرات اصلی شوری، کاربرد کمپوست و اثرات متقابل آن‌ها بر صفات فیزیولوژیکی اکلیل کوهی.

Table 2. ANOVA of main effect of salinity, compost application, and their intraction effect on physiological traits of rosmary.

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	MS				
		نشت الکترولیت Electrolyte leakage	پرولین Proline	مالون دی‌آلدهید Malon dialdehyde	رطوبت نسبی برگ Leaves relative water content	غلظت پراکسید هیدروژن H_2O_2 Concentration
شوری Salinity	2	900**	600000**	225**	425*	1400**
کمپوست Compost	3	317**	250000**	77**	140**	500**
کمپوست×شوری Compost × Salinity	6	67*	50000**	15**	30**	100*
خطا Error	24	14.2	6667	2.7	5.4	16.3
ضریب تغییرات CV (%)		12.4	9.8	14.2	6.5	11.7

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصدرا نشان می‌دهند.

* and ** indicate significance at the one percent and five percent probability levels, respectively

الکترولیت‌ها، غلظت پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید کمترین تأثیر را در مقایسه با تیمار بدون کمپوست نشان داد. در شوری زیاد (۸ دسی‌زیمنس بر متر) بیشترین بهبود در تیمار کمپوست فنتونی حاصل شد به‌طوری‌که رطوبت نسبی برگ ۱۶/۵ درصد، پرولین ۴۴/۹ درصد افزایش یافت و غلظت پراکسید هیدروژن ۳۱ درصد، نشت الکترولیت ۳۶/۶ درصد و مالون‌دی‌آلدئید ۳۵/۷ درصد کاهش نشان داد. این در حالی است که کمپوست معمولی تنها با افزایش ۴/۶ درصدی رطوبت نسبی و کاهش ۱۴/۳ درصدی پراکسید هیدروژن در بین کمپوست‌ها کمترین اثر بهبودی را در مقایسه با تیمار بدون کمپوست به همراه داشت.

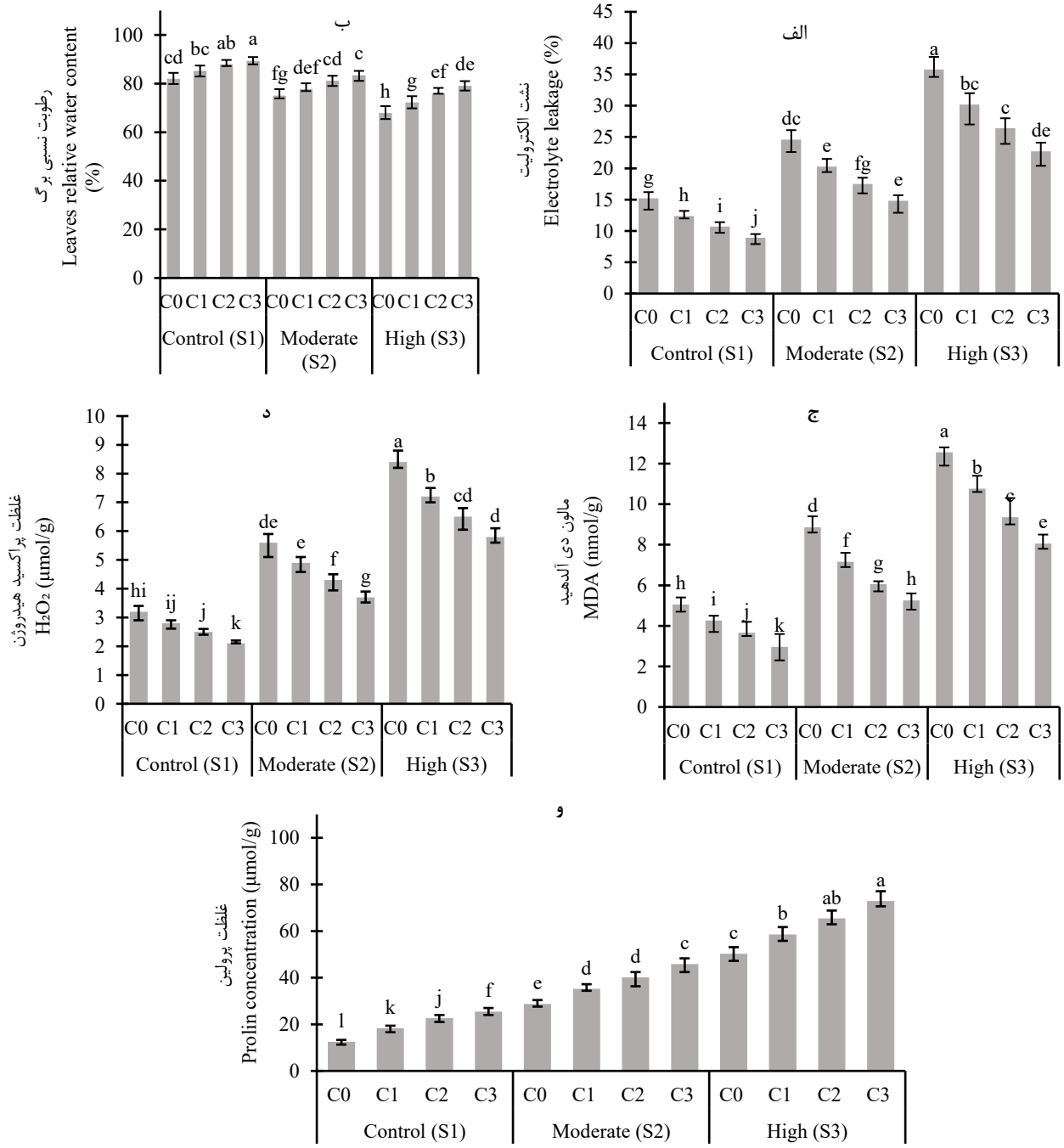
فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی اکلیل کوهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (جدول ۳) نشان داد که اثرات اصلی تنش شوری، و کاربرد کمپوست اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز در برگ‌های گیاه اکلیل کوهی داشته است. همچنین اثرات متقابل شوری در کمپوست بر فعالیت گایاکول پراکسیداز در سطح احتمال ۵ درصد ولی بر سایر آنزیم‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

در شرایط بدون شوری کمترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تیمار شاهد (بدون کمپوست) مشاهده شد. در مقابل، کاربرد کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز را به‌ترتیب ۱۸۱، ۲۴۲، ۱۵۹ و ۱۹۵ درصد نسبت به تیمار شاهد بدون کمپوست افزایش داد. در شوری متوسط (۴ دسی‌زیمنس بر متر): در تیمار شاهد، فعالیت آنزیم‌ها نسبت به شرایط بدون شوری افزایش طبیعی نشان داد. با کاربرد کمپوست فنتونی، فعالیت کاتالاز ۱۰۴ درصد، گایاکول پراکسیداز ۱۲۷ درصد، آسکوربات پراکسیداز ۱۰۶ درصد و پراکسیداز ۱۳۱ درصد نسبت به شاهد همان سطح افزایش یافت که بالاترین میزان در بین تیمارها بود. این نتایج نشان می‌دهد که کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون، با فعال‌سازی قوی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، توانسته است تولید گونه‌های فعال اکسیژن را مهار کرده و گیاه را از آسیب‌های اکسیداتیو محافظت نماید. به‌طور

نسخه پیش انتشار

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

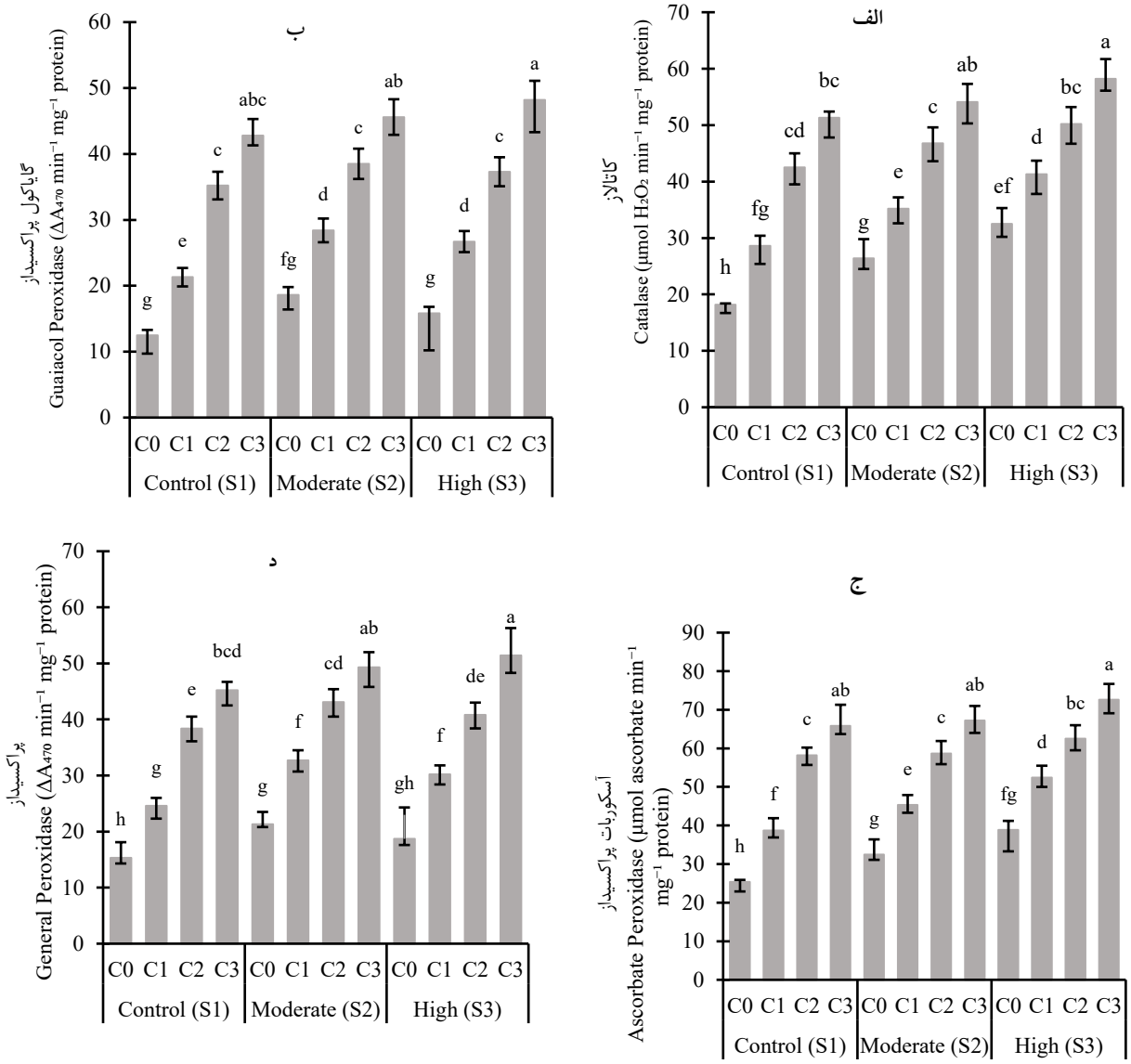


شکل ۱. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر صفات بیوشیمیایی گیاه اکلیل کوهی. حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 1. Comparison of mean effects of treatments on biochemical traits of rosemary plants. Different lowercase letters indicate significant differences between treatments based on Duncan's test at the 5% level.

کلی، در هر سه سطح شوری، اگرچه همه کمپوست‌ها اثر مثبت بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی داشته‌اند، اما شدت این اثرات در کمپوست فنتونی به مراتب بیشتر بوده است. این کمپوست با افزایش چندبرابری فعالیت آنزیم‌های کلیدی، نقش مهمی در تقویت دفاع آنزیمی و افزایش تحمل اکلیل کوهی به تنش شوری ایفا کرده است.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]



شکل ۲. مقایسه میانگین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (الف)، گایاکول پراکسیداز (ب)، آسکوربات پراکسیدا (ج) و پراکسیداز (د) در برگ‌های گیاه اکلیل کوهی تحت تأثیر سطوح شوری. حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دامنه چندگانه دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 2. Comparison of mean catalase (a), guaiacol peroxidase (b), ascorbate peroxidase (c), and peroxidase (d) enzyme activities in rosemary leaves under salinity levels. Different lowercase letters indicate significant differences between treatments based on Duncan's multiple range test at the 5% level.

وزن خشک و تر اکلیل کوهی در تیمارهای مختلف

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده¬ها، اثر شوری و کمپوست در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل آنها در سطح ۵ درصد بر وزن خشک و تر گیاه اکلیل کوهی در تیماهای این مطالعه معنی¬دار شد (جدول ۴)

تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد وزنی گیاه شد. به طوری که در شرایط شوری متوسط و زیاد، وزن خشک گیاه به‌ترتیب ۲۲/۹ و ۳۹/۵ درصد و وزن تر به‌ترتیب ۱۵/۲ و ۳۰/۴ درصد نسبت به شرایط بدون شوری کاهش یافت (شکل‌های ۳ و ۴). در شرایط بدون شوری، تیمار شاهد (بدون کمپوست)

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اکلیل کوهی

Table 3. Analysis of variance of the effect of treatments on the activity of antioxidant enzymes in rosemary

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	MS			
		کاتالاز Catalase	گایاکول پراکسیداز Guaiacol Peroxidase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate Peroxidase	پراکسیداز General Peroxidase
شوری Salinity	2	125.4**	83.2**	157.8**	102.3**
کمپوست Compost	3	68.7**	51.4**	94.6**	75.2**
کمپوست×شوری Compost × Salinity	6	21.3*	18.4*	32.1**	24.5*
خطا Error	24	4.2	3.1	6.3	5
ضریب تغییرات CV (%)		8.3	9.6	7.9	10.2

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد را نشان می‌دهند.

* and ** indicate significance at the one percent and five percent probability levels, respectively

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر وزن تر و خشک اکلیل کوهی

Table 4. Analysis of variance of the effect of treatments on fresh and dry weight of rosemary

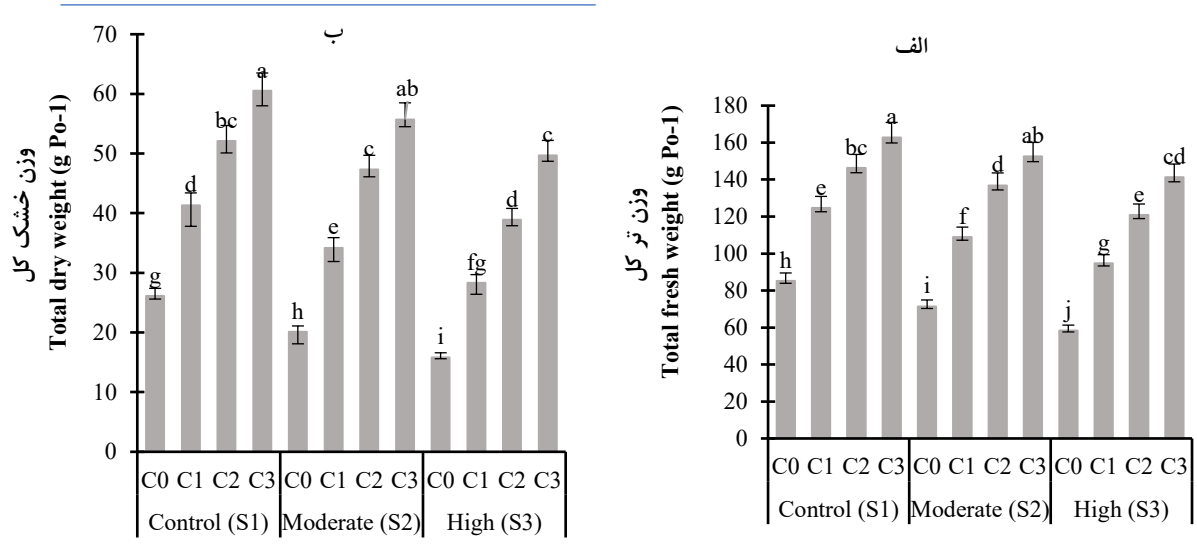
منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	MS	
		وزن تر کل Total fresh weight	وزن خشک کل Total dry weight
شوری Salinity	2	843**	312**
کمپوست Compost	3	522**	198**
کمپوست×شوری Compost × Salinity	6	68.3*	26*
خطا Error	24	9.5	3.6
ضریب تغییرات CV (%)		7.9	8.5

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد را نشان می‌دهند.

* and ** indicate significance at the one percent and five percent probability levels, respectively

کمترین عملکرد وزنی را داشت (وزن خشک ۲۶/۱ گرم و وزن تر ۱۱۲ گرم). در مقابل، کاربرد کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون باعث افزایش ۱۳۲ درصدی وزن خشک و ۱۱۰ درصدی وزن تر نسبت به تیمار شاهد شد (شکل‌های ۳ و ۴). با افزایش شوری به سطح متوسط، عملکرد شاهد بدون کمپوست کاهش یافت (وزن خشک ۲۰/۱ گرم و وزن تر ۹۵ گرم). در این شرایط، کمپوست فنتونی وزن خشک و تر را به‌ترتیب ۱۷۷ و ۱۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. کمپوست معمولی کمترین تأثیر را داشت (به‌ترتیب ۹۸ و ۸۵ درصد افزایش) (شکل‌های ۳ و ۴). در شوری زیاد، بیشترین کاهش عملکرد در تیمار شاهد مشاهده شد

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]



شکل ۳. مقایسه میانگین وزن خشک (الف) و وزن تر (ب) گیاه اکلیل کوهی تحت تاثیر تیمارها. حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

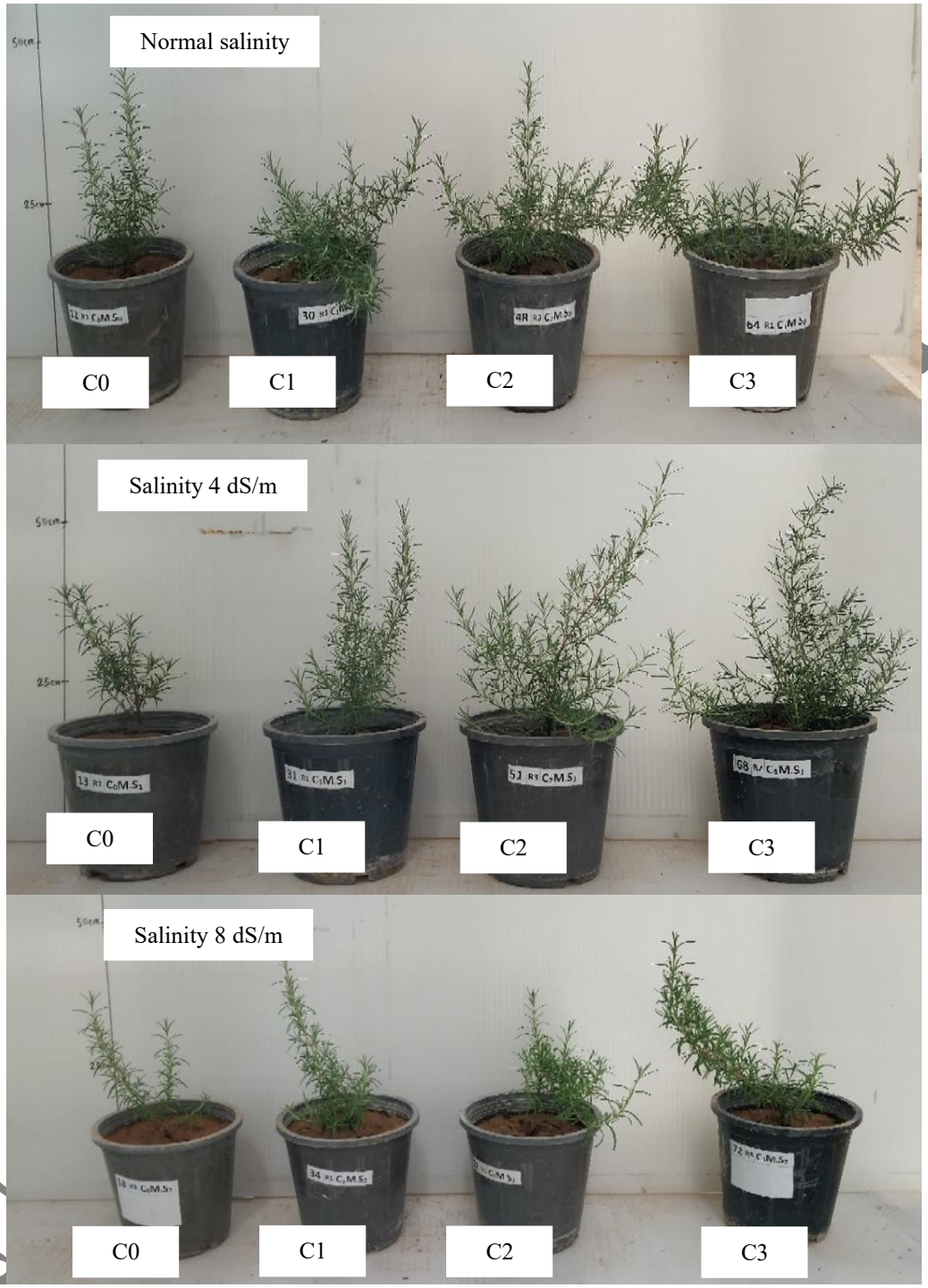
Figure 3. Comparison of mean dry weight (a) and fresh weight (b) of rosemary plants under different treatments. Different lowercase letters indicate significant differences between treatments based on Duncan's test at the 5% probability level.

(وزن خشک ۱۵/۸ گرم و وزن تر ۷۸ گرم). کمپوست فنتونی با افزایش ۲۱۴ درصدی وزن خشک و ۱۸۰ درصدی وزن تر نسبت به شاهد، بهترین عملکرد را نشان داد، در حالی که کمپوست معمولی افزایش کمتری (۱۳۰ و ۱۱۰ درصد) به همراه داشت (شکل‌های ۳ و ۴). به‌طور کلی، داده‌های عملکرد وزنی نشان می‌دهد که کمپوست‌ها در هر سه سطح شوری اثر مثبت بر رشد گیاه داشته‌اند، اما شدت این اثرات در کمپوست فنتونی بسیار بیشتر بوده است. این کمپوست با افزایش چندبرابری وزن خشک و تر، نه تنها افت عملکرد ناشی از شوری را جبران کرده بلکه رشد پایه‌ای گیاه را نیز ارتقا داده است.

بحث

شرایط شوری به دلیل ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی منجر به کاهش عملکرد آن می‌شود. در شرایط این مطالعه در تیمار شاهد با شوری ۸ dS/m، کاهش ۱۷/۱ درصدی محتوای نسبی آب برگ، افزایش ۱۳۵/۵ درصدی نشت الکترولیت‌ها و ۱۴۷/۱درصدی مالون‌دی‌آلدئید، نشان‌دهنده ناتوانی گیاه در حفظ تعادل آبی و آسیب جدی به غشاهای سلولی است. این یافته‌ها با گزارش حجازی مهریزی و همکاران (Hejazi-Mehrizi et al., 2025) که کاهش معنی‌دار پتانسیل آب و محتوای نسبی آب برگ را در اکلیل کوهی تحت تنش شوری مشاهده کردند، همخوانی دارد. حسن‌پور و همکاران (Hassanpouraghdam et al., 2020) نیز نشان دادند که تنش شوری در اکلیل کوهی منجر به افزایش معنی‌دار مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود. گیاه اکلیل کوهی در مواجهه با تنش شوری، سیستم‌های دفاعی متعددی را برای مقابله با شرایط نامساعد فعال می‌کند (El-Boraie et al., 2006). در این پژوهش، افزایش ۳۰۲/۴ درصدی پرولین بیانگر تلاش مؤثر گیاه برای تنظیم فشار اسمزی است. این یافته با گزارش کیارستمی و همکاران (Kiarostami et al., 2010) همسو است که پرولین را به‌عنوان یک سازگارگر اسمزی کلیدی در گیاهان تحت تنش شوری معرفی کرده‌اند. آن‌ها نشان دادند تجمع پرولین نه تنها در تنظیم اسمزی نقش دارد، بلکه در تثبیت ساختار ماکرومولکول‌ها و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد نیز مؤثر است. همزمان، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز (۷۳/۳ درصد)، آسکوربات پراکسیداز (۳۳/۵ درصد) و گایاکول پراکسیداز

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]



الف

ب

ج

شکل ۴. اثر تیمارهای شوری و کمپوست بر میزان رشد گیاه اکلیل کوهی. شرایط شاهد (الف)، شوری متوسط (ب)، شوری بالا (ج).

Figure 4. Effect of salinity and compost treatments on the growth of rosemary plants. Control conditions (a), moderate salinity (b), high salinity (c).

(۲۸/۲ درصد) نشان می‌دهد که گیاه سعی در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن دارد. این نتایج با مطالعات میتلر (Mittler, 2002) مطابقت دارد که نشان داد سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی اولین خط دفاعی گیاه در برابر استرس اکسیداتیو است.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

به‌طور خاص، افزایش فعالیت کاتالاز مشاهده شده در این تحقیق، با یافته‌های ولی‌فرد و همکاران (Valifard et al., 2021) که افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم را در گیاهان تحت تنش شوری گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. با این‌حال، داده‌های این پژوهش نشان می‌دهد که این پاسخ‌های دفاعی در شوری شدید ناکافی هستند و علی‌رغم افزایش معنی‌دار در تجمع پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، آسیب‌های اکسیداتیو قابل توجهی مشاهده شد. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در سطوح بالای شوری، تولید گونه‌های فعال اکسیژن از ظرفیت خنثی‌سازی سیستم دفاعی گیاه فراتر می‌رود. این مشاهده با گزارش هرناندز و همکاران (Hernandez et al., 2000) همسو است که نشان دادند در سطوح شدید تنش، سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه ظرفیت کافی برای مقابله با استرس اکسیداتیو را ندارد. کاربرد مواد آلی مانند کمپوست به‌عنوان یک راهکار مؤثر در تعدیل اثرات تنش شوری شناخته شده است (Tejada, 2006). پیری و همکاران (Piri et al., 2017)) نشان دادند که استفاده از کود دامی به میزان ۳۰ تا ۴۵ تن در هکتار می تواند باعث افزایش چشمگیر عملکرد اکلیل کوهی در شرایط شوری چهار دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر شود. مطالعات لاخدار و همکاران (Lakhdar et al., 2009) نشان داده‌اند که کمپوست گوسفندی با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، به جذب انتخابی عناصر مفید کمک کرده و از جذب یون‌های سمی می‌کاهد. محققان در پژوهش خود بر روی گیاه ذرت دریافتند که کاربرد کمپوست موجب کاهش ۴۰ درصدی غلظت سدیم در بافت‌های گیاهی می‌شود (Jindo et al., 2020).

در مقابل، کمپوست مخلوط (C2) با افزودن خاک‌اره، گامی فراتر گذاشته و با بهبود ساختار فیزیکی خاک و افزایش تخلخل، به تهویه بهتر و نگهداری آب کمک می‌کند. پژوهش‌های انجام شده توسط لنتز و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد که وجود خاک‌اره در ترکیب کمپوست می‌تواند ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را تا ۱۱۶ درصد افزایش دهد که این امر در شرایط تنش شوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین با تنظیم نسبت C/N، شرایط بهتری برای فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید فراهم می‌شود. اما مشکل اصلی، وجود لیگنوسلولز با پیوندهای سخت در خاک‌اره است که در فرآیند کمپوست‌سازی معمولی به‌طور کامل تجزیه نمی‌شود (Xu et al., 2023). محققان بر این باورند که مواد هیومیک موجود در ماده آلی می‌توانند اثر بخشی کودهای آلی را در شرایط شوری افزایش دهند. همچنین حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2022) گزارش کردند که اسیدهای هیومیک استخراجی از کود کمپوست فراوری شده از فضولات گاوی و گوسفندی در مقایسه با انواع تجاری کارآیی مطلوب تری دارد. در این زمینه، کمپوست فنتونی (C3) با مهندسی ساختار مولکولی، راهکاری نوین ارائه می‌دهد. فرآیند فنتون با تولید رادیکال‌های هیدروکسیل، می‌تواند با آسیب به پیوندهای سخت پلیمری تبدیل آن‌ها را به مولکول‌های کوچک‌تر توسط فرآیندهای میکروبی را تسهیل می‌کند (Niu et al., 2021). این تغییر کیفی منجر به تولید اسیدهای هیومیک با وزن مولکولی پایین‌تر و تراکم بالاتر گروه‌های عاملی شده و توانایی کلاته کردن یون‌های سمی را افزایش می‌دهند (Khaled and Fawy , 2011). مطالعات چن و همکاران (Chen et al., 2022) نشان داده است که این ترکیبات هیومیکی اصلاح شده می‌توانند تا ۶۰ درصد از جذب یون‌های سدیم توسط گیاه جلوگیری کنند. همچنین این مولکول‌ها می‌توانند مانند هورمون‌های گیاهی عمل کرده و بیان ژن‌های مربوط به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را القا کنند (Nardi et al., 2016). مطالعه ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2023) بر روی گیاه مشابه نشان داد که کاربرد کمپوست فنتونی نه تنها موجب بهبود شاخص‌های رشد می‌شود، بلکه بر کیفیت مواد مؤثره گیاه نیز تأثیر مثبت دارد. این پژوهشگران افزایش ۲۵ درصدی در تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان تحت تیمار با کمپوست فنتونی را گزارش کردند. این یافته‌ها اهمیت استفاده از کمپوست‌های اصلاح شده را در کشاورزی پایدار به ویژه در مناطق شور نشان می‌دهد. بنابراین برتری کمپوست فنتونی در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (۳/۷ برابر برای کاتالاز) را شاید بتوان به القای مسیرهای سیگنالینگ نیز نسبت داد که با

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

یافته‌های نردی و همکاران (Nardi et al., 2016) نشان دادند که ترکیبات هیومیک با وزن مولکولی پایین می‌توانند بیان ژن‌های مربوط به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را تنظیم کنند، مطابقت دارد. همزمان، بهبود در محتوای نسبی آب برگ (۱۶/۴ درصد) و کاهش نشت الکترولیت (۳۶ درصد) نشان می‌دهد که این کمپوست همزمان بر استرس اسمزی و اکسیداتیو اثر می‌گذارد. یافته‌های این پژوهش با نتایج آیت المختار و همکاران (Ait-El-Mokhtar et al., 2022) در مورد نقش کمپوست در بهبود تحمل به شوری همسو است، اما نوآوری تحقیق حاضر در نشان دادن برتری کمپوست مهندسی‌شده نسبت به انواع متعارف است که توانست در مقایسه با سایر انواع کمپوست‌ها، افزایش عملکرد خشک و تر گیاه اکلیل کوهی را در پی داشته باشد. مطالعات ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2023) نیز بر این موضوع تأکید دارند که مهندسی ساختار مولکولی مواد آلی می‌تواند کارایی آن‌ها را در کاهش اثرات تنش شوری به‌طور قابل توجهی افزایش دهد.

نتیجه‌گیری کلی

کمپوست فنتونی با ارتقای کیفی ماده آلی و فعال‌سازی هماهنگ مکانیسم‌های دفاعی گیاه (تنظیم اسمزی، تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و حفاظت از غشاها) تحمل به شوری را در اکلیل کوهی به‌شکل چشمگیری افزایش می‌دهد. این فناوری ضمن تبدیل ضایعات چوبی (که اغلب سوزانده می‌شوند) به محصولی با ارزش افزوده بالا، راهکاری مؤثر، کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست برای کشاورزی پایدار در اراضی شور و احیای زمین‌های تخریب‌شده ارائه می‌دهد و با اصول اقتصاد چرخشی نیز هماهنگ است. پژوهش‌های آتی باید با تمرکز بر ارزیابی مزرعه‌ای اثرات بلندمدت این فناوری، تعیین دُز بهینه برای گیاهان مختلف، و واکاوی سازوکارهای مولکولی القای تحمل به تنش، مسیر تجاری‌سازی و توسعه کاربرد آن را هموار سازند.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه، آزمایشگاه‌های شیمی و حاصلخیزی و بیولوژی خاک دانشگاه مراغه به‌خاطر حمایت‌های مادی و معنوی نهایت تشکر را دارند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

References

1. Abdelkader M, Hassan H and Elboraie E. 2019. Using proline treatments to promote growth and productivity of Rosmarinus officinalis L. plant grown under soil salinity conditions. Middle East Journal of Applied Sciences, 9: 700–710.
2. Ábrahám E, Hourton-Cabassa C, Erdei L and Szabados L. 2010. Methods for determination of proline in plants. In Plant stress tolerance: methods and protocols (pp. 317–331). Humana Press, Totowa, NJ.
3. Aebi H, 1984. Catalase in vitro. Methods Enzymol., 105(1): 121–126. doi: 10.1016/s0076-6879 (84)05016-3.
4. Ait-El-Mokhtar M, Fakhech A, Ben-Laouane R, Anli M, Boutasknit A, Ait-Rahou Y and Meddich, A. 2022. Compost as an eco-friendly alternative to mitigate salt-induced effects on growth, nutritional, physiological and biochemical responses of date palm. Int. J. Recycl. Org. Waste Agric., 11(1). doi:10.30486/ijrowa.2021.1927528.1233
5. Azim K, Soudi B, Boukhari S, Perissol C, Roussos S and Thami Alami I. 2018. Composting parameters and compost quality: a literature review. Org. Agric., 8(2): 141–158. doi:10.1007/s13165-017-0180-z
6. Chen Y, Luo X, Li Y, Liu Y, Chen L, Jiang H., ... and Yan H. 2022. Effects of CaO_2 based Fenton-like reaction on heavy metals and microbial community during co-composting of straw and sediment. *Chemosphere*, 301: 134563. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134563
7. El-Boraie E, El-Hindi KM and Foudaa RA. 2006. Structural and physiological responses of rosmary (*Rosemarinus officinalis*, L.) plants under salinity conditions. J. Plant Prod., 31(9): 5881–5898. doi: 10.21608/JPP.2006.236173
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). Global map of salt-affected soils (GSASmap) (Version 1.0). https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-

نسخه پیش از انتشار اصلاح

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

affected-soils/en/
9. Habig W, Pabst MJ, and Jakoby WB .1974. Glutathione S- Transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. J. Biol. Chem., 249(22): 7130–7139. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)42083-8
10. Hasini SE, De Nobili M, El Azzouzi M, Azim K, Douaik A, Laghrour M., … and Zouahri A. 2020. The influence of compost humic acid quality and its ability to alleviate soil salinity stress Int. J. Recycl. Org. Waste Agric., 9(1): 21–31. doi:10.30486/ijrowa.2020.671213
11. Hassanpouraghdam MB, Mehrabani LV. and Tzortzakis N. 2020. Foliar application of nano-zinc and iron affects physiological attributes of *Rosmarinus officinalis* and quietens NaCl salinity depression. J. Soil Sci. Plant Nutr., 20(2): 335–345. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00111-1
12. Heath RL and Packer L. 2022. Reprint of: photoperoxidation in isolated chloroplasts I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch. Biochem. Biophys., 726: 109248. https://doi.org/10.1016/j.abb.2022.109248
13. Hejazi-Mehrizi M, Shariatmadari H, Khoshgoftarmanesh AH and Dehghani F. 2025. Copper effects on growth, lipid peroxidation, and total phenolic content of rosemary leaves under salinity stress. J. Agric. Sci. Technol., 14(1): 205–212. doi: 20.1001.1.16807073.2012.14.1.5.5
14. Hernandez JA, Jiménez A, Mullineaux P and Sevilia F. 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. Plant Cell Environ., 23(8): 853–862. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00602.x
15. Hosseini S, Hejazi-Mehrizi M, Sarcheshmehpour M and Fekri M. 2022. Comparison of the characteristics and effects of commercial humic acid extracted from cattle and sheep manures on soybean growth. . Iran. J. Soil Res., 36(3): 289–304. (In Persian)
16. Jindo K, Evenhuis A, Kempenaar C, Pombo Sudré C, Zaid A and Goitom Teklu M. 2020. The role of compost in sustainable soil management and crop production. Agric. Sci., 11(7): 635–650. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100211
17. Khaled H and Fawy HA. 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil Water Res., 6(1), 21–29. doi:10.17221/4/2010-SWR
18. Kiarostami Kh, Mohseni R and Saboora A. 2010. Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. J. Stress Physiol. Biochem., 6(3):114–122. doi:10.19045/bspab.2016.50046
19. Lakhdar A, Rabhi M, Ghnaya T, Montemurro F, Jedidi N and Abdelly C. 2009. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1-3): 29–37. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.132
20. Mehlhorn H, Lelandais M, Korth HG and Foyer CH. 1996. Ascorbate is the natural substrate for plant peroxidases. FEBS letters, 378(3): 203–206.
21. Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci., 7(9): 405–410. doi: 10.1016/s1360-1385(02)02312-9
22. Mocan A, Zengin G, Simirgiotis M, Schafberg M, Mollica A, Vodnar DC., ... and Locatelli M. 2021. *Rosmarinus officinalis* L.: A review of its phytochemistry, anti-inflammatory activity, and mechanisms of action involved. Molecules, 26(9), 2670. https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.09.038
23. Nardi S, Pizzeghello D, Schiavon M and Ertani A. 2016. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. Sci. Agric., 73(1): 18–23. doi:10.1590/0103-9016-2015-0006
24. Niu Q, Meng Q, Yang H, Wang Y, Li X, Li G and Li Q. 2021. Humification process and mechanisms investigated by Fenton-like reaction and laccase functional expression during composting. Bioresour. Technol., 341: 125906. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125906
25. Piri I, Harati A, Tavassoli A and Babaeian M. 2017. Effect of using different levels manure on quality and quantity of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under salt stress condition. J. Crop Ecophysiol., 10(4): 959–974. (In Persian)
26. Ritchie SW and Nguyen HT. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci., 30: 105–111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x
27. Sairam RK, Veerabhadra Rao K and Srivastava GC. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci., 163: 1037–1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9
28. Sayara T, Basheer-Salimia R, Hawamde F and Sánchez A. 2020. Recycling of organic wastes through composting: Process performance and compost application in agriculture. Agronomy, 10(11): 1838. 10.3390/agronomy10111838
29. Tang W and Newton RJ. 2005. Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. Plant Growth Regul., 46: 31–43. https://doi.org/10.1007/s10725-005-6395-0
30. Tejada M, Garcia C, Gonzalez JL and Hernandez MT. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]

remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biol. Biochem., 38(6): 1413–1421. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.10.017
31. Valifard M, Mohsenzadeh S and Kholdebarin B. 2021. Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*. J. Plant Physiol., 11(2): 3671–3682. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.002
32. Xu D, Yu X, Chen J, Li X, Chen J and Li J. 2023. Effects of compost as a soil amendment on bacterial community diversity in saline–alkali soil. Front. Microbiol., 14: 1253415. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1253415
33. Yu CW, Murphy TM, and Lin CH. 2003. Hydrogen peroxide-induced chilling tolerance in mung beans mediated through ABA-independent glutathione accumulation. Funct. Plant Biol., 30: 955–963. doi:10.1071/FP03091
34. Zhang L, Wang J and Liu G. 2023. Enhanced secondary metabolite production in medicinal plants through Fenton-modified compost application under salt stress. Plant Physiol. Biochem., 184: 45–55. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100702
35. Ziaei A, Moghaddam M and Kashfi B. 2016. Effect of superabsorbent polymers on morphological characteristics of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) under drought stress conditions. Journal of Greenhouse Science and Technology, 7(2): 99–111. https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.2.99

پیش از انتشار (اصلاح نشده)

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-11]