

The effect of NaCl salinity stress and foliar application of Cerium oxide and Nano Fe on growth and some physiological characteristics of *Lavandula officinalis* L.

L. Vojodi Mehrabani*

Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Received 1 August 2021; Accepted 24 May 2022

Extended abstract

Introduction

Salinity is one of the major environmental stressors limiting the growth and development of plant in the agricultural system. Salinity affects the plants from the physiological, biological and molecular point of view. Emphasizely, salinity influence the plants growth and productivity by the induction of water stress, ionic toxicity (Na^+ , Cl^-) and nutrients imbalances. With stress goings on, ROS molecules is produced leading to membranes oxidation damage and hence deteriorate the membranes and adversely impact the plant growth and physiological response. Na high accumulation in the soil medium interferes the nutrient balance in the soil and plant cells, leading to disturbances in nutrients uptake deficiency symptoms, oxidative damage, growth reduction and eventually death of plants. In the saline soils, Na^+/K^+ and $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ratios, high above the standard levels and hence the absorption and essential amounts of K^+ and Ca^{2+} is inhibited; membranes deteriorate and the enzymatic dynamics inside cells is interrupted which is called the induced secondary stress. ROS radicals influenced the activity of chloroplast and mitochondria and eventually the plant survival is affected. Considering the main idea with the present study was to assess the effects of salinity stress on the growth and some physiological traits of *Lavandula* treated with foliar application in hope that the possible promising data could be advisable to the extension section.

Materials and Methods

Two separate experiments were concluded to evaluate the effects of foliar application of nano-cerium oxide and nano-Iron (0, 2.5 and 5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) on *Lavandula officinalis* L. under saline (0, 50 and 100 mM) conditions as factorial based on Completely Randomized Design in the greenhouse. In the first experiment, the effects of magnetized Iron and in the second experiment, the effect of cerium oxide were assayed on *Lavandula officinalis* growth and some physiological traits under salinity stress.

Results and Discussion

The results obtained from the first experiment showed that, the plant dry weight, catalase activity and Fe content were independently affected by the salinity and Fe foliar treatment. H_2O_2 content (4.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$), total phenolic content (36% increases compared to the control) and oil percent (41% increases compared to the control) were influenced by interaction effects of salinity and nano Fe foliar application. The top amounts of Na (8.9 $\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$), proline (94 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$), malondialdehyde (82 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$) and H_2O_2

* Corresponding author: Lamia Vojodi Mehrabani; E-Mail: Vojodilamia@gmail.com



were recorded at 100 mM salinity stress. At the second experiment, plant dry weight (25% increases compared to the control) and total phenolic content (29% increases compared to the control) were influenced by interaction effects of cerium oxide foliar application and salinity stress. Catalase activity, H₂O₂ and K content were influenced by sole effects of salinity and cerium oxide foliar application. 2.5 and 5 mg L⁻¹ cerium oxide treatment increased K content (43% compared to the control) and K/Na ratio. GC/MS analysis revealed that Linalool (10.3-27.1%) and 1-8-Cineol were the major constituent of oil at NaCl₅O and 100 mM × 5 mg.L⁻¹ cerium spray.

Conclusion

Our results revealed that cerium oxide and nano-Fe foliar application improved the plants physiological response under no-saline condition. Salinity adversely imposed the yield, some physiological traits and elemental content of plants. Under 50 and 100 mM salinity foliar treatment were not able to mitigate salinity adverse effects except for phenolic content (both experiment), essential oil content (first experiment) and plant dry weight (the second experiment). In total, lavender is a salt sensitive plant and the idea is that to overcome salinity depression, have to experience more concentration of foliar treatment.

Acknowledgements

This study was supported and funded by Azarbaijan shahid Madani University, Iran

Keywords: Elemental content, Essential oil, Proline, Yield

تأثیر تنش شوری کلرید سدیم و محلول پاشی با سریم اکسید و نانوذره آهن بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.)

لمیا وجودی مهربانی*

دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	به‌منظور بررسی تأثیر محلول پاشی با نانوذره‌های سریم اکسید و آهن (صفر، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر) تحت تنش شوری کلرید سدیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) دو آزمایش جداگانه در قالب طرح فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی در گلخانه اجرا شد. در آزمایش اول تأثیر محلول پاشی با نانوذره آهن و در آزمایش دوم تأثیر محلول پاشی با سریم اکسید بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک اسطوخودوس تحت تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش اول نشان داد وزن خشک بخش هوایی گیاه، فعالیت کاتالاز و محتوای آهن تحت تأثیر اثرات مستقل تنش شوری و محلول پاشی قرار گرفت. محتوای پراکسید هیدروژن، فنل کل (افزایش ۳۶ درصد نسبت به شاهد) و درصد اسانس (۴۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) اسطوخودوس تحت تأثیر اثرات متقابل تنش شوری و محلول پاشی با نانوذره آهن قرار گرفت. بالاترین محتوای سدیم، پرولین ($94 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)، مالون دی‌آلدئید ($82 \text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)، پراکسید هیدروژن در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. در آزمایش دوم عملکرد گیاه (افزایش ۲۵ درصد نسبت به تیمار شاهد)، محتوای فنل کل (افزایش ۲۹ درصدی نسبت به شاهد) تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. فعالیت کاتالاز، پراکسید هیدروژن، محتوای پتاسیم تحت تأثیر اثرات مستقل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه GC/MS نشان داد <i>Linalool</i> (۲۷/۱-۱۰/۳ درصد) و <i>1-8-Cineol</i> (۲۱/۶-۱۰/۳ درصد) جزء غالب اسانس اسطوخودوس در تیمارهای تنش شوری ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با محلول پاشی ۵ میلی‌گرم در لیتر سریم اکسید بود. در کل از مجموع دو آزمایش انجام شده چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که محلول پاشی با سریم اکسید و نانوذره آهن موجب بهبود صفات فیزیولوژیک گیاه در شرایط بدون تنش شوری شد. در کل چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اسطوخودوس گیاهی حساس به تنش شوری است و به‌منظور کنترل بهتر تنش شوری پیشنهاد می‌شود تأثیر سطوح بالاتر تیمارهای مورد استفاده در محلول پاشی در کنترل تنش شوری مورد آزمون قرار گیرد.
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۰/۰۵/۱۰	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۱/۰۳/۰۳	
تاریخ انتشار:	
بهار ۱۴۰۲	
۲۴۶-۲۴۷ (۱): ۱۶	

مقدمه

پاسخ در گیاه ایجاد می‌شود: ۱- پاسخ‌های سریع (که به‌صورت کمبود جذب آب مشاهده می‌شود) ۲- پاسخ‌های کند که به‌صورت تجمع یون‌های نمکی و سمیت یونی مشاهده می‌شود (Munns and Tester, 2008). با ادامه شرایط تنش، رادیکال‌های آزاد اکسیژن و گونه‌های فعال نیتروژن تولید می‌شود. از مهم‌ترین رادیکال‌های اکسیژن آزاد تولید شده می‌توان به اکسیژن منفرد، هیدروکسید و پراکسید هیدروژن و از مهم‌ترین رادیکال‌های نیتروژن تولید شده می‌توان به نیتروژن

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده رشد و عملکرد گیاه می‌باشد. اثرات مضر تنش شوری در هر منطقه بستگی به شرایط آب‌وهوایی، گونه گیاهی و شرایط محیطی دارد (Munns and Tester, 2008). تجمع یون‌ها (سدیم، کلسیم، ...) موجب ایجاد اثرات اسمزی، ایجاد تغییرات یونی در سطح سلول، ایجاد اختلال در جذب مواد غذایی توسط گیاه و موجب ایجاد اختلال در رشد گیاه می‌شود (Zhu, 2016). تحت شرایط تنش اغلب دو نوع

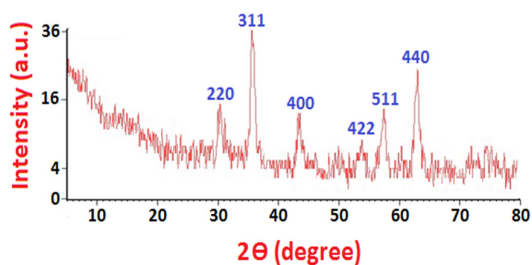
گیاه بادرشبی گزارش شد و مشخص شد که تحت تنش شوری کاربرد سریم اکسید نقش مهمی در کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاه را داشت (Hassan Zadeh Mohammadi et al., 2021).

اسطوخودوس با نام علمی *Lavandula officinalis* گیاهی چوبی، معطر، چندساله، از خانواده نعنائیان می‌باشد (Chrysargyris et al., 2018). این گیاه دارای خاصیت حشره‌کشی، ضدقارچ، ضدویروس و ضدباکتریایی می‌باشد (Hassanpouraghdam et al., 2011). اسطوخودوس حاوی برنثول، لینالول، سینئول و کمفور می‌باشد که نقش مهمی در صنایع داروسازی، عطرسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی دارد (Chrysargyris et al., 2018). باتوجه‌به اهمیت دارویی گیاه اسطوخودوس در صنایع مختلف و وجود شرایط اقلیمی مستعد در ایران برای پرورش این گیاه، هدف از بررسی حاضر ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی با سریم اکسید و نانوذره آهن بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک اسطوخودوس تحت شرایط تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری کلرید سدیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی با سریم اکسید و نانوذره آهن (صفر، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم) بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک اسطوخودوس آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان انجام گرفت. بدین منظور از قلمه‌های ریشه‌دار شده ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متری اسطوخودوس (حاوی ۶-۷ برگ) استفاده شده و گیاهان بعد از انتقال به گلخانه در گلدان‌های ۵ لیتری حاوی پرلیت دانه متوسط کاشته شدند. از محلول هوگلند (pH: 5.5-5.7) برای تغذیه گیاهان در مراحل اولیه انتقال و سازگاری آنها به شرایط گلخانه استفاده شد. گیاهان به مدت ۲۰ روز با محلول نیم-هوگلند تغذیه شدند. تنش شوری در مرحله ۷ تا ۸ برگی گیاهان اعمال گردید. اعمال تنش شوری به تدریج و با غلظت ۲۵ میلی‌مولار نمک آغاز گردید و هر چهار روز یکبار با اضافه کردن ۲۵ میلی‌مولار دیگر نمک، سطح شوری گلدان‌ها افزایش یافت و این روند تا رسیدن به سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نمک ادامه یافت. بعد از رسیدن سطوح شوری به غلظت موردنظر (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) در محلول غذایی، تغذیه گیاهان با محلول حاوی غلظت نمک موردنظر تا برداشت گیاهان انجام شد. اولین محلول‌پاشی هم‌زمان با

دی‌اکسید، نیتریک اکسید و ترکیبات غیررادیکالی مانند دی‌نیتروژن تتراکسید، پراکسی نیترات و نیتروکسیل آمین اشاره کرد. تمامی رادیکال‌های تولید شده موجب ایجاد آسیب به کلروپلاست، پراکسی‌زوم، میتوکندری، آپوپلاست، غشای سلول و رتیکولوم آندوپلاسمی می‌شود (Del Rio, 2015; Turkan, 2017). تحت چنین شرایطی گیاه با ایجاد پاسخ-های آنزیمی (کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و اسکوربات پراکسیداز) و غیرآنزیمی (تجمع ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی، اسید اسکوربیک، گلوکاتینون، کاروتنوئید) موجب ایجاد مقاومت در مقابل تنش می‌شود (Perez-Labrada et al., 2019). تنش شوری با ایجاد اختلال در جذب عناصر غذایی موجب بروز ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در گیاه می‌شود. امروزه با افزایش بروز تنش شوری یافتن ترکیباتی که موجب افزایش تحمل گیاهان در مقابل تنش شوری باشد حائز اهمیت می‌باشد. استفاده از نانوذرات کاربرد گسترده‌ای در علوم مختلف پیدا کرده است که دلیل آن سطح ویژه زیاد این ذرات، اندازه و شکل خاص آنها می‌باشد که موجب استفاده گسترده آنها شده است (Cao et al., 2018). آهن یکی از عناصر غذایی موردنیاز گیاه است که نقش مهمی در فعالیت-های آنزیمی فرایند فتوسنتز و تنفس در گیاهان را دارد (Singh et al., 2021). نتایج بررسی انجام شده در رزماری نشان داد که محلول‌پاشی گیاه با نانوذره روی و آهن موجب افزایش عملکرد، محتوای فنل و فلاونوئید در گیاه تحت تنش شوری شد (Hassanpouraghdam et al., 2019). سریم اکسید فلزی از گروه لانتانیدها است که دارای ویژگی‌های نوری، الکترونیکی و حرارتی خاصی خود می‌باشد. سریم اکسید یکی از ترکیبات مورد استفاده به‌منظور افزایش تحمل گیاهان در مقابل تنش شوری می‌باشد. تحت شرایط تنش سریم اکسید موجب افزایش بیوسنتز کلروفیل شده و به حفظ هموستازی یونی کمک می‌کند. این ترکیب نقش مهمی در ازبین‌بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن (Liu et al., 2021)، تحریک رشد ریشه، تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از پراکسیداسیون غشا دارد (Cao et al., 2018). تأثیر نانوذره سریم اکسید در گیاه بستگی به شرایط رشدی، گونه گیاه، شدت و مدت‌زمان مواجه گیاه با تنش را دارد (Hassan Zadeh Mohammadi et al., 2021). نتایج بررسی انجام شده در کتان نشان داد استفاده از سریم اکسید نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه تحت شرایط تنش را داشت (Liu et al., 2021). نتایج مشابهی در این خصوص در



شکل ۲. طیف XRD نانوذرات Fe_3O_4

Fig. 2. XRD spectrum of nano Fe_3O_4

اندازه‌گیری محتوای کاتالاز

محتوای کاتالاز نمونه‌ها به روش لوهوا (Luhova et al., 2003) در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه به وسیله اسپکتروفتومتر ثبت شد.

محتوای پراکسید هیدروژن

محتوای پروکسید هیدروژن به روش آمارانتردی (Amaranathareddy et al., 2015) اندازه‌گیری شد. میزان جذب نمونه‌ها در ۳۹۰ نانومتر به کمک اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید

از روش هیس و پاکر (Heath, and Packer, 1968) برای اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید استفاده شد. جذب نمونه‌ها به کمک اسپکتروفتومتر (T80+, China) در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد (Heath, and Packer, 1968).

اندازه‌گیری محتوای پرولین

استخراج پرولین به وسیله اسید نین هیدرین و اسید گلاسیال انجام شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت گردید (Fedina et al., 2006).

اندازه‌گیری فنل کل

از عصاره متانولی برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل گیاه استفاده شد. برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل از معرف فولن سیکالتو^۱ استفاده گردید. از اسید گالیک به عنوان استاندارد برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی در طول موج ۷۵۰ نانومتر استفاده گردید (Kim et al., 2006).

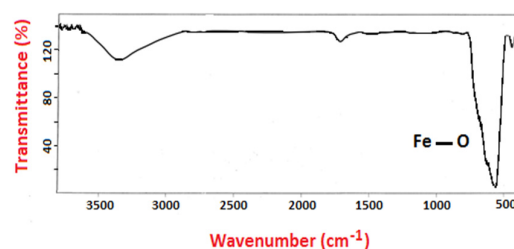
اعمال تنش شوری و محلول پاشی دوم دو هفته بعد (در مرحله ۱۰-۱۳ برگی) انجام شد. سی روز بعد از آخرین محلول پاشی (مرحله ۱۵-۱۷ برگی)، نمونه برداری از گیاهان انجام گرفت.

سنتز نانوذره آهن مغناطیسی (Fe_3O_4)

۴/۸۳ گرم کلرید آهن (شش آبه) و ۳/۳۴ گرم آهن سولفات (هفت آبه) بعد از اضافه شدن به آب در دمای $100^\circ C$ به شدت هم زده شدند. سپس، ۱۲ میلی‌لیتر آمونیاک غلیظ روی محلول‌ها اضافه گردید و عمل هضم تا دو ساعت ادامه یافت. بعد از سرد کردن بالن تا دمای اتاق، نانوذرات Fe_3O_4 با استفاده از آهن‌ربا از محلول واکنش جدا شده و در آون در دمای $80^\circ C$ خشک گردید.

بررسی طیف FT-IR

شکل ۱ طیف FT-IR مربوط به نانوذرات Fe_3O_4 را در محدوده $4000-500\text{ cm}^{-1}$ نشان می‌دهد. پیک مشاهده شده در حوالی 570 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی Fe-O می‌باشد که نشان‌دهنده سنتز ذرات اکسید آهن می‌باشد.



شکل ۱. طیف FT-IR نانوذرات Fe_3O_4

Fig. 1. FT-IR spectrum of nano Fe_3O_4

بررسی طیف XRD

یک‌های ایجاد شده در 2θ های 30.07° ، 35.601° ، 43.239° ، 53.782° و 63.058° ، سنتز نانوذرات آهن را تأیید می‌کند (شکل ۲).

اندازه‌گیری وزن خشک گیاه

ابتدا گیاهان از سطح بستر کشت قطع شدند و سپس در دمای اتاق خشک شدند. اندازه‌گیری وزن خشک گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتال (BBI41, Boeco, Germany) انجام شد.

¹ Folin Ciocalteu

استخراج اسانس

روی ۴۰ گرم از نمونه‌های خشک شده برگ اسطوخودوس، پودر شده ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به مدت ۳/۵ ساعت اسانس‌گیری شد. برای شناسایی ترکیبات شیمیایی روغن فرار استخراج شده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-Agilent Technologies, 7890B) مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) متصل به یک آشکارساز طیف‌سنجی جرمی (MS - Agilent Technologies, 5977A) استفاده گردید.

اندازه‌گیری عناصر برگ

از روش فلاپم فتومتری (Corning, 410, England) برای اندازه‌گیری محتوای عناصر سدیم و پتاسیم و دستگاه جذب اتمی (Corning, 410, England)، برای اندازه‌گیری محتوای آهن استفاده شد (AOAC, 1990).

طرح آزمایشی و آنالیز داده‌های آماری

آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا در دانشگاه شهید مدنی آذربایجان انجام شد. برای تجزیه داده‌ها از برنامه‌های آماری SPSS استفاده شد. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

وزن خشک بخش هوایی گیاه

اثرات مستقل تنش شوری و محلول‌پاشی در آزمایش اول وزن خشک گیاه تحت تأثیر قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین وزن خشک بخش هوایی گیاه در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد و با افزایش تنش شوری به ۱۰۰ میلی‌مولار از وزن خشک بخش هوایی گیاه کاسته شد (جدول ۲). تیمار محلول‌پاشی با غلظت‌های ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر آهن در آزمایش اول موجب افزایش وزن خشک بخش هوایی گیاه شد (جدول ۳). در آزمایش دوم وزن خشک بخش هوایی گیاه تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت بالاترین وزن خشک بخش هوایی گیاه در تیمار بدون تنش شوری با محلول‌پاشی ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر سریم اکسید مشاهده شد (جدول ۴). بررسی انجام شده در گیاه بادرشبی تحت تنش شوری نشان داد که تنش شوری موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه شد؛ اما محلول‌پاشی با نانوذره سریم

اکسید موجب بهبود عملکرد گیاه تحت شرایط تنش شد (Hasan Zadeh Mommodi et al., 2021). محلول‌پاشی با نانوذره آهن تحت تنش شوری موجب افزایش عملکرد گیاه بزرگ شد (Singh et al., 2021). در تحقیق انجام شده در گیاه تلخون مشخص شد که کاربرد نانوذره آهن تحت تنش شوری موجب بهبود عملکرد و صفات فیزیولوژیکی گیاه شد (Hassanpouraghdam et al., 2021). در تحقیق انجام شده در انگور مشخص شد که کاربرد خاکی نانوذره اکسید گرافن به صورت خاکی و محلول‌پاشی گیاه با نانوذره آهن موجب افزایش محتوای فنل کل گیاه، کلروفیل و وزن خشک گیاه شد (Azami et al., 2022). آهن یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف موردنیاز گیاه است که نقش مهمی در ساختار آنزیم‌ها و فرایندهای بیولوژیکی (فتوسنتز، سنتز کلروفیل، تنفس و تثبیت نیتروژن) دارد (Miller et al., 1995). شاید یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد سریم اکسید مربوط به افزایش رشد ریشه باشد که با افزایش جذب آب و مواد غذایی به رشد گیاه کمک می‌کند (Hasan Zadeh Mommodi et al., 2021).

فعالیت کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر اثرات مستقل تنش شوری و تیمارهای محلول‌پاشی با آهن و سریم‌اکسید در هر دو آزمایش قرار گرفت (جدول ۱). در هر دو آزمایش تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و تیمار بدون تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد (جدول ۲). محلول‌پاشی با غلظت‌های ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر آهن در آزمایش اول موجب افزایش محتوای کاتالاز شد. در آزمایش دوم محلول‌پاشی با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر سریم‌اکسید موجب افزایش محتوای کاتالاز گیاه شد (جدول ۳). تیمار گیاهان تحت تنش شوری بادرشبی با سریم‌اکسید موجب افزایش محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه بادرشبی شد (Hasan Zadeh Mommodi et al., 2021). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در اثر کاربرد سریم اکسید تحت تنش شوری در گیاه کتان گزارش شد (Liu et al., 2021). بررسی انجام شده نشان داد که کاربرد خاکی ۵۰ گرم در کیلوگرم اکسید گرافن در خاک به همراه محلول‌پاشی با نانوذره آهن موجب بهبود فعالیت کاتالاز تحت تنش شوری در گیاه انگور شد (Azami et al., 2022). نتایج مشابهی در خصوص افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش شوری

نانویه نامیده می‌شود که موجب ایجاد آسیب به پروتئین‌ها، ماکرو مولکول‌ها و DNA می‌شود. استفاده از ترکیباتی که موجب کاهش اثرات منفی رادیکال‌های آزاد تحت شرایط تنش بشوند حائز اهمیت می‌باشد (Zhu, 2016). در بررسی انجام شده در کتان (Liu et al., 2021) و بادرشی (Hasan Zadeh Mommodi et al., 2021) مشخص شد که تیمار گیاهان با سریم اکسید تحت تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه و کاهش محتوای رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه شد. در بررسی انجام شده در گیاه رزماری مشخص شد که محلول پاشی گیاه با آهن تحت تنش شوری موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن در گیاه شد (Hassanpouraghdam et al., 2019).

محتوای مالون دی‌آلدئید

محتوای مالون دی‌آلدئید در هر دو آزمایش تحت تأثیر اثر مستقل تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱). تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در آزمایش اول موجب افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید به ۸۲ نانومول بر گرم وزن تر شد که نشان‌دهنده افزایش ۵۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۲). در آزمایش دوم تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم موجب افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید شد کمترین محتوای مالون دی‌آلدئید در تیمار شاهد در هر دو آزمایش مشاهده شد (جدول ۲). تیمار محلول پاشی با سلنیوم در آزمایش دوم موجب کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید شد (جدول ۳). افزایش در محتوای مالون دی‌آلدئید در اثر تنش شوری در رزماری مشاهده شد (Hassanpouraghdam et al., 2019). نتایج مشابهی در خصوص افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید در اثر تنش شوری در گیاه بادرشی گزارش شد (Hasan Zadeh Mommodi et al., 2021). همچنین در بررسی انجام شده در بادرشی مشخص شد که استفاده از نانوذره سریم اکسید موجب کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید تحت شرایط تنش شد (Hasan Zadeh Mommodi et al., 2021). تحت شرایط تنش شوری به دلیل افزایش جذب غیرانتخابی یون سدیم در گیاهان، پایداری غشای سلول تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Munns and Tester, 2008). با افزایش تنش شوری، تجمع پروکسید هیدروژن و رادیکال‌های سوپراکسید در گیاه اتفاق افتاده و موجب تجمع رادیکال‌های سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در گیاه می‌شود که در صورت ادامه شرایط تنش موجب آسیب به غشای تیلاکوئید

در اثر کاربرد نانوذره آهن گزارش شد (Singh et al., 2021). تنش شوری موجب تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود که تأثیر مخرب بر تمامیت غشای سلول و ساختار فسفولیپیدهای گیاه دارد. با افزایش رادیکال‌های سوپر اکسید و هیدروکسیل در اثر تنش شوری، آشفستگی در مولکول‌های زیستی ایجاد می‌شود. گیاه برای حفظ هموستازی رادیکال‌های آزاد مجهز به سیستم دفاع آنزیمی و غیر آنزیمی می‌باشد. سیستم دفاع آنزیمی گیاه شامل فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌باشد. سوپراکسید دیسموتاز در اولین خط دفاعی بر علیه رادیکال‌های آزاد قرار داشته و موجب از بین رفتن رادیکال‌های سوپراکسید می‌شود (Kumar et al., 2017). همچنین نتایج بررسی انجام شده نشان داد که محلول پاشی با نانوذره سریم اکسید تحت شرایط تنش کلرید سدیم (۵۰ میلی‌مولار) موجب افزایش فعالیت کاتالاز در گیاه شد که نقش مهمی در پایداری گیاه تحت شرایط تنش را داشت. نتایج کاربرد نانوذرات در پرورش گیاه تحت تنش شوری نشان داد که استفاده از نانوذره تأثیر مثبت در کاهش نشت یونی و محتوای H_2O_2 را دارد (Gohari et al., 2020). تیمار گیاه با نانوذره سریم اکسید در کتان (Liu et al., 2021) و rapeseed (Khan et al., 2021) موجب بهبود رشد گیاه، افزایش محتوای ترکیبات فنلی، کلروفیل، عملکرد گیاه، کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید و H_2O_2 شد (Liu et al., 2021). تحت شرایط تنش کاتالاز نقش مهمی در تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و مولکول اکسیژن دارد و به این طریق موجب کاهش اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد در سلول‌های گیاهی می‌شود (Kamran et al., 2020).

محتوای پراکسید هیدروژن

محتوای پراکسید هیدروژن در آزمایش اول تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بدون محلول پاشی به میزان ۴/۶ ماکرومول بر گرم وزن تر گیاه مشاهده شد (جدول ۴)؛ اما در آزمایش دوم تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای پراکسید هیدروژن به ۲/۵ ماکرومول بر گرم وزن تر در گیاه شد (جدول ۲). تیمار بدون محلول پاشی و محلول پاشی با ۵ میلی‌گرم در لیتر سریم اکسید موجب افزایش محتوای پراکسید هیدروژن در آزمایش دوم شد (جدول ۳). تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت شرایط تنش اغلب به نام تنش

نشان داد که با افزایش تنش شوری بر محتوای پرولین گیاه افزوده شد (Hasan Zadeh Mommodi et al., 2021). نتایج مشابهی در این خصوص در گیاه بزرک (Singh et al., 2021) و رزماری (Hassanpouraghdam et al., 2019) گزارش شد. بیوسنتز پرولین تحت شرایط تنش شوری نقش مهمی در تعدیل پتانسیل اسمزی سلول، جلوگیری از جذب یون‌های سدیم و کلرید و از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول را دارد (Munns and Tester, 2008).

و کلروپلاست می‌شود (Turkan and Demiral, 2009; Zhu, 2016).

محتوای پرولین

در هر دو آزمایش محتوای پرولین تحت تأثیر تیمار تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱) و بالاترین محتوای پرولین در هر دو آزمایش در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد و کمترین محتوای پرولین در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲). نتایج بررسی انجام شده بادرشبی

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی با سریم‌اکسید و آهن مغناطیسی بر وزن خشک و برخی صفات فیزیولوژیک اسطوخودوس رشد کرده به صورت هیدروپونیک در پرلایت

Table 1. ANOVA for the CeO₂ and nano Fe spray and salinity on plant dry weight and some physiological traits of *Lavandula officinalis*

Source of variation	df	وزن خشک		محتوای		محتوای فنل کل Total phenolics content	
		بخش هوایی گیاه Aerial part dry weight	فعالیت کاتالاز Calatase activity	پراکسید هیدروژن H ₂ O ₂ content	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content		محتوای پرولین Proline content
		The first experiment			آزمایش اول		
Salinity	شوری 2	83021**	221**	9.3**	3128**	4852**	8.1 ^{ns}
Fe spray	محلول‌پاشی با آهن 2	26*	108**	0.95**	561 ^{ns}	41 ^{ns}	98**
Salinity × Fe spray	شوری × محلول‌پاشی با آهن 4	354 ^{ns}	9.2 ^{ns}	0.81**	24 ^{ns}	9.1 ^{ns}	108**
Ererr	خطا 18	6157	23	0.059	256.1	99.7	8.3
C.V. (%)	ضریب تغییرات	9.3	7.6	10.2	13.1	9.2	11.3
		The second experiment			آزمایش دوم		
Salinity	شوری 2	48214**	89*	9.1**	4650**	5423**	5.1 ^{ns}
CeO ₂ spray	محلول‌پاشی با سریم‌اکسید 2	8187 ^{ns}	104*	2.4**	1031*	51 ^{ns}	5.3 ^{ns}
Salinity × CeO ₂ spray	شوری × محلول‌پاشی با سریم‌اکسید 4	17189**	5.8 ^{ns}	0.048 ^{ns}	18 ^{ns}	34.2 ^{ns}	61.9**
Ererr	خطا 18	5987	15	0.52	232	145	3.93
C.V. (%)	ضریب تغییرات	8.7	9.1	8.4	16.8	11.2	14.4

^{ns}، * و ** به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند. ns, *, and ** are non-significant and significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively

اول محلول‌پاشی با ۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذره آهن در تیمار بدون تنش شوری و تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای فنل کل گیاه شد. در آزمایش دوم بیشترین

محتوای فنل کل

اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی محتوای فنل کل در هر دو آزمایش را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). در آزمایش

محتوای فنل کل در تیمارهای بدون تنش شوری با محلول پاشی ۲/۵ و ۵ میلی گرم در لیتر سریم اکسید، ۵ میلی گرم در لیتر سریم اکسید در ۲/۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر کلرید سدیم و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۴). در بررسی انجام شده در گیاه مریم گلی مشخص شد که تغذیه گیاه با سریم اکسید موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید کل گیاه شد (Paryan et al., 2020). نتایج بررسی انجام شده در رزماری تحت تنش شوری نشان داد که محلول پاشی گیاه با نانوذره روی و آهن موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید گیاه شد

محتوای فنل کل در تیمارهای بدون تنش شوری با محلول پاشی ۲/۵ و ۵ میلی گرم در لیتر سریم اکسید، ۵ میلی گرم در لیتر سریم اکسید در ۲/۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر کلرید سدیم و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۴). در بررسی انجام شده در گیاه مریم گلی مشخص شد که تغذیه گیاه با سریم اکسید موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید کل گیاه شد (Paryan et al., 2020). نتایج بررسی انجام شده در رزماری تحت تنش شوری نشان داد که محلول پاشی گیاه با نانوذره روی و آهن موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید گیاه شد

جدول ۲. مقایسه میانگین تأثیر تنش کلرید سدیم بر وزن خشک بخش گیاه و برخی صفات فیزیولوژیک اسطوخودوس رشد کرده به صورت هیدروپونیک در پرلایت.

Table 2. Mean comparison for the effects of NaCl salinity on plant dry weight and some physiological traits of *Lavandula officinalis* grown hydroponically in perlite.

Experiment	تنش شوری Salinity stress (mM)	وزن خشک بخش		محتوای مالون دی		
		هوایی گیاه Aerial part dry weight (g.m ⁻²)	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase activity (Units.mg ⁻¹ protein)	محتوای پراکسید هیدروژن H ₂ O ₂ content (μmol.g ⁻¹ FW)	آلدئید Malondialdehyde content (Nmol.g ⁻¹ FW)	محتوای پرولین Proline content (μg.g ⁻¹ FW)
First	0	458 ^a	45 ^a	-	41 ^b	35 ^c
	50	358 ^b	43 ^a	-	68 ^b	68 ^b
	100	231 ^b	28 ^b	-	82 ^a	94 ^a
Second	0	-	51 ^a	0.9 ^c	39 ^b	41 ^c
	50	-	41 ^{ab}	1.7 ^b	57.2 ^{ab}	54 ^b
	100	-	21 ^b	2.5 ^a	64.3 ^a	81 ^a

ستون‌ها با حرف مشابه نشان دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن (P ≤ 5%) می‌باشد.

Similar letters in the columns are non-significant based on Duncan's (P ≤ 5%) test.

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی بر وزن خشک بخش هوایی گیاه، محتوای عناصر و برخی صفات فیزیولوژیک اسطوخودوس

Table 3. Mean comparison for the effects of CeO₂ and Nano Fe spray on plant dry weight, elemental content and some physiological traits of *Lavandula officinalis* grown hydroponically in perlite.

Experiment	محتوای پاشی Spray (mg.l ⁻¹)	وزن خشک		محتوای			نسبت		
		بخش هوایی گیاه Aerial part dry weight (gm ⁻²)	فعالیت آنزیم کاتالاز Calatase activity (Units.mg ⁻¹ protein)	پراکسید هیدروژن H ₂ O ₂ content (μmol.g ⁻¹ FW)	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content (nmol.g ⁻¹ FW)	درصد اسانس Essential oil percent (%)	محتوای پتاسیم K content (g.kg ⁻¹)	پتاسیم به سدیم K/Na ratio	محتوای آهن Fe content (Mg.kg ⁻¹)
First	0	389 ^b	26 ^b	-	-	8.8 ^b	-	-	19 ^b
	2.5	489 ^a	38 ^a	-	-	12.5 ^a	-	-	28 ^a
	5	478 ^a	36.7 ^a	-	-	12.2 ^a	-	-	35 ^a
Second	0	-	31 ^b	3 ^a	69 ^a	-	7 ^b	9.1 ^b	-
	2.5	-	37.2 ^b	2.3 ^b	58.3 ^b	-	11 ^a	10.3 ^a	-
	5	-	57.1 ^a	2.8 ^{ab}	50 ^c	-	12.2 ^a	11.6 ^a	-

ستون‌ها با حرف مشابه نشان دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن (P ≤ 5%) می‌باشد.

Similar letters in the columns are non-significant based on Duncan's (P ≤ 5%) test.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی با سربیم اکسید و نانوذره آهن بر محتوای فنل کل، وزن خشک بخش هوایی گیاه، درصد اسانس و محتوای پراکسید هیدروژن در اسطوخودوس

Table 4. Mean comparison for interaction effects of salinity and CeO₂ and Nano Fe spray on total phenolic content, plant dry weight, essential oil percent, H₂O₂ content in *Lavandula officinalis*.

آزمایش	تنش شوری	محلول‌پاشی	وزن خشک گیاه	پراکسید هیدروژن	محتوای فنل کل	درصد اسانس
Experiment	Salinity stress	آهن Fe Spray	Aerial part dry weight	H ₂ O ₂ content	Total phenolics content	Essential oil percent
	mM	mg.l ⁻¹	g.m ⁻²	μmol.g ⁻¹ FW	mg.g ⁻¹ FW	%
اول First	0	0	-	2.7 ^c	56 ^d	6.1 ^d
	0	2.5	-	2.3 ^c	73 ^b	7.3 ^c
	0	5	-	1.8 ^d	82 ^a	7.5 ^c
	50	0	-	3.7 ^b	64 ^c	6.8 ^{dc}
	50	2.5	-	3.2 ^b	72 ^b	8.9 ^b
	50	5	-	2.4 ^c	88 ^a	10.3 ^a
	100	0	-	4.6 ^a	58 ^d	5.6 ^e
	100	2.5	-	3.4 ^b	62 ^c	6.1 ^d
	100	5	-	3.1 ^b	68 ^c	5.7 ^e

تنش شوری	محلول‌پاشی	وزن خشک گیاه	پراکسید هیدروژن	محتوای فنل کل	درصد اسانس
Salinity stress	سربیم اکسید CeO ₂ spray	Aerial part dry weight	H ₂ O ₂ content	Total phenolics content	Essential oil percent
mM	mg.l ⁻¹	g.m ⁻²	μmol.g ⁻¹ FW	mg.g ⁻¹ FW	%
0	0	378 ^c	-	63 ^b	-
0	2.5	459 ^{ab}	-	82 ^a	-
0	5	506 ^a	-	89 ^a	-
50	0	321 ^d	-	52 ^c	-
50	2.5	396 ^c	-	69 ^b	-
50	5	429 ^b	--	78 ^a	-
100	0	274 ^e	-	63 ^b	-
100	2.5	306 ^d	-	74 ^{ab}	-
100	5	357 ^c	-	62 ^b	-

ستون‌ها با حرف مشابه نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن (P ≤ 5%) می‌باشد.

Similar letters in the columns are non-significant based on Duncan's (P ≤ 5%) test

درصد اسانس و اجزای اسانس

درصد اسانس در آزمایش اول تحت‌تأثیر اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی و در آزمایش دوم تحت‌تأثیر تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم قرار گرفت (جدول ۵ و ۶). در آزمایش اول بالاترین درصد اسانس در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با محلول‌پاشی ۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذره آهن مشاهده شد (جدول ۴). درصد اسانس موجود در اغلب گیاهان دارویی در اثر تنش شوری افزایش یافت. این ترکیبات نقش مهمی در محافظت گیاه در مقابل آفات و بیماری‌ها، جذب حشرات گرده‌افشان، محافظت گیاه در مقابل تنش‌های

محیطی را دارد (Chrysargyris et al., 2018). در بررسی انجام شده در تلخون مشخص شد که کاربرد نانوذره آهن تحت تنش شوری موجب افزایش محتوای اسانس گیاه شد (Hassanpouraghdam et al., 2021). در بررسی انجام شده در گیاه شاهسپریم (*Tanacetum balsamita* L.) مشخص شد که محلول‌پاشی با آهن موجب افزایش محتوای اسانس (Valizadeh Kamran et al., 2017) به‌دلیل افزایش فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها و تثبیت نیتروژن گیاه باشد (Miller et al., 1995).

نتایج حاصل از آنالیز GC/MS نشان‌دهنده وجود ۲۵ ترکیب در اسانس اسطوخودوس بود (جدول ۷).

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری و محلول پاشی سربیم اکسید و نانوذره آهن بر درصد اسانس و محتوای عناصر اسطوخودوس رشد کرده به صورت هیدروپونیک در پرلایت.

Table 5. ANOVA for the CeO₂ and Nano Fe spray and salinity on essential oil percent, elemental content of *Lavandula officinalis* grown hydroponically in perlite

Source of variation	درجه آزادی df	درصد اسانس Essential oil percent	محتوای		نسبت پتاسیم به		
			سدیم Na content	محتوای پتاسیم K content	سدیم K/Na	محتوای آهن Fe content	
			The first experiment		آزمایش اول		
Salinity	شوری	2	11**	298**	46**	25**	487**
Fe spray	محلول پاشی با آهن	2	8 ^{ns}	6.1 ^{ns}	2.8 ^{ns}	0.4 ^{ns}	189*
Salinity × Fe spray	شوری × محلول پاشی با آهن	4	214**	1.3 ^{ns}	0.7 ^{ns}	0.21 ^{ns}	6.6 ^{ns}
Erorr	خطا	18	8.6	2.2	2.1	0.28	34
C.V. (%)	ضریب تغییرات		14.8	9.7	11.2	13.1	9.9
			The second experiment		آزمایش دوم		
Salinity	شوری	2	24**	214**	41.6**	65**	369**
Se spray	محلول پاشی با سلنیوم	2	8 ^{ns}	0.19 ^{ns}	16*	0.9 ^{ns}	28 ^{ns}
Salinity × Se spray	شوری × محلول پاشی با سلنیوم	4	3.9 ^{ns}	1.6 ^{ns}	0.91 ^{ns}	0.48 ^{ns}	2.9 ^{ns}
Erorr	خطا	18	9	12	3.6	1.3	10
C.V. (%)	ضریب تغییرات		17.1	13.8	8.9	18.9	14.2

^{ns}, *, and ** are non-significant and significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۶. مقایسه میانگین تأثیر تنش کلرید سدیم بر درصد اسانس و محتوای عناصر در اسطوخودوس

Table 6. Mean comparison for the effects of NaCl salinity on essential oil percent and elemental content on *Lavandula officinalis* grown hydroponically in perlite.

آزمایش Experiment	تیمار شوری Sainity treatment	درصد اسانس Essential oil percent	محتوای		نسبت پتاسیم به	
			سدیم Na content	محتوای پتاسیم K content	سدیم K/Na	محتوای آهن Fe content
First	0		5.9 ^c	9 ^a	3.8 ^a	29 ^a
	50		6.9 ^b	6.2 ^b	0.87 ^b	21 ^b
	100		8.9 ^a	4.9 ^c	0.38 ^c	19 ^b
Second	0	10 ^b	5.1 ^c	9.3 ^a	1.8 ^a	34 ^a
	50	11.2 ^a	7.2 ^b	8.7 ^b	1.2 ^b	23 ^b
	100	9.6 ^b	9.2 ^a	6.2 ^c	0.67 ^c	19 ^b

ستون‌ها با حرف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن (P≤ ۵٪) می‌باشد.

Similar letters in the columns are non-significant based on Duncan's (P≤ 5%) test.

جدول ۷. اجزا اسانس (درصد) گیاه اسطوخودوس رشد یافته تحت تنش شوری کلرید سدیم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی شده با ۵ میلی‌گرم در لیتر سریم اکسید و نانوذره آهن.

Table 7. Oil constituent (%) of *Lavandula officinalis* grown under NaCl salinity (0, 50 and 100 mM) and foliar application of 5 mg L⁻¹ CeO₂ and Nano-Fe.

ردیف Row	ترکیبات Constituents	RI	control	NaCl ₁₀₀ *CeO ₂	NaCl ₅₀ *CeO ₂	NaCl ₁₀₀ *Fe	NaCl ₅₀ *Fe
1	Camphor	1146	2.5	0.8	1.3	1.5	2.1
2	Camphene	0954	0.6	2.3	2.7	2.1	0.8
3	α -Thujene	0930	2.1	1.4	1.3	1.1	0.7
4	α -pinene	0939	0.6	1.21	1.6	1.3	2
5	P-cymenene	1091	0.7	0.4	2.9	0.6	0.9
6	P-cymene	1025	-	4.7	0.4	-	0.9
7	1-8-Cineol	1031	10.3	13.2	11.7	21.6	20.1
8	β -Ocimene	1038	17.3	12.2	9.1	1.3	14.3
9	trans-Linalool oxide	1073	0.6	1.7	3.9	2.3	3.2
10	cis-Linalool oxide	1087	2.3	1.4	1.7	2.4	1.6
11	Linalool	1097	10.3	18.3	18.2	25.8	27.1
12	Borneol	1169	11.3	13.2	12.1	12.1	10.8
13	Pinocarvone	1165	-	5.3	3.3	0.8	-
14	Terpinene-4-ol	1177	1.1	-	8.1	2.9	-
15	α -Campholenal	1126	5.4	5.1	1.7	2.8	2.2
16	Cryptone	1186	3.2	4.2	5.3	0.7	0.9
17	α -Bisabolol	1186	2.3	0.6	0.9	1.9	0.87
18	α -Terpineol	1189	6.3	1.1	1.2	1.0	0.3
19	Myrtenal	1196	3.2	2.1	2.6	3.7	0.1
20	Carvone	1223	-	0.6	3.1	0.8	-
21	Cumin aldehyde	1242	0.4	1.8	2.1	3.7	4.2
22	Cumin alcohol	1291	8.2	1.2	1.4	2.9	2.6
23	Geranyl acetate	1381	5.2	-	-	1.6	-
24	trans-(β)-Farnesene	1457	-	4.6	0.1	2.1	1.3
25	Cadinene	1539	2.3	0.51	0.47	0.41	0.78
	Total		97.2	97.9	97.17	97.4	97.75

نسبت به تیمار شاهد شد. بررسی نتایج اجزای اسانس نشان داد که تنش شوری موجب کاهش محتوای Camphor و α -Thujene در گیاه شد و تیمارهای مورد استفاده در آزمایش تأثیری در محتوای این ترکیبات نداشت. تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم همراه با محلول‌پاشی سریم-اکسید و تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم همراه با محلول‌پاشی آهن موجب افزایش محتوای Camphene اسانس شد (جدول ۷).

محتوای سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم

در آزمایش اول و دوم محتوای سدیم تحت تأثیر اثرات مستقل تنش شوری قرار گرفت (جدول ۵). بالاترین محتوای سدیم در هر دو آزمایش در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به میزان ۸/۹ و ۹/۲ گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه مشاهده شد (جدول ۶). محتوای پتاسیم در آزمایش اول تحت تأثیر تیمار تنش شوری و در آزمایش دوم تحت تأثیر

Linalool از غالب‌ترین اجزای اسانس (۲۷/۱-۱۰/۳ درصد) اسطوخودوس بود. بالاترین میزان این ترکیب در تیمار تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با محلول‌پاشی نانوذره آهن مشاهده شد. بالاترین میزان β -Ocimene (۱۷/۳-۱/۳ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد. از دیگر اجزای غالب اسانس می‌توان به 1-8-Cineol (۱۰/۳-۲۰/۱ درصد) اشاره کرد که بالاترین میزان آن در تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم همراه با محلول‌پاشی آهن مشاهده شد (جدول ۷). بیشترین محتوای Borneol (۱۳/۲-۱۰/۸ درصد) در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با محلول‌پاشی سریم‌اکسید مشاهده شد. محتوای α -campholenal، α -Terpineol، Myrtenal و Cumin alcohol در تیمار شاهد مشاهده شد و با افزایش شدت تنش محلول‌پاشی هم تأثیری در افزایش اجزای ذکر شده نداشت. تیمار تنش شوری و محلول‌پاشی موجب افزایش محتوای Cumin aldehyde (۲/۵-۰/۸ درصد) در گیاه

تنش شوری مشاهده شد (جدول ۶). بررسی نشان داده که نانوذره آهن به راحتی جذب گیاه شده و با تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه موجب بهبود رشد گیاه می شود که این کار را با تغییر در آناتومی ریشه و تسهیل جذب مواد غذایی انجام می دهد. نانوذره آهن در رنج وسیعی از pH (۱۰-۳) توسط گیاه جذب می شود به همین دلیل نقش مهمی در تأمین نیاز آهن گیاه تحت شرایط تنش را دارد (Rossi et al., 2017). آهن نقش مهمی در فعالیت آنزیم های سیتوکرومی، زنجیره انتقال الکترون، تنفس و فتوسنتز را دارد (Miller et al., 1995). نتایج بررسی های انجام شده نشان داده که استفاده از نانوذرات جایگزین مناسبی برای بهبود رشد و شرایط آناتومیکی گیاه تحت شرایط تنش می باشد (Singh et al., 2021).

نتیجه گیری نهایی

نتایج حاصل از بررسی نشان دهنده وجود اثرات متقابل معنی دار تنش شوری و محلول پاشی با نانوذره بر محتوای اسانس (آزمایش اول)، فنل، پراکسید هیدروژن (آزمایش اول) و وزن خشک گیاه (آزمایش دوم) بود. بالاترین محتوای فنل در تیمار بدون تنش شوری و تنش شوری ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم با محلول پاشی ۵ میلی گرم در لیتر نانوذره آهن حاصل شد. تنش شوری در هر دو آزمایش تأثیر منفی بر محتوای عناصر آهن، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم را داشت و بالاترین محتوای عناصر مذکور در شرایط بدون تنش شوری حاصل شد. با افزایش تنش شوری از ۵۰ به ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بر محتوای پرولین، مالون دی آلدئید در گیاه افزوده شد. تیمار بدون تنش شوری و تنش شوری ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو آزمایش شد. محلول پاشی با هر دو ترکیب مورد استفاده در بررسی حاضر موجب افزایش محتوای کاتالاز شد. در کل چنین می توان عنوان نمود که تنش شوری تأثیر منفی بر عملکرد، محتوای عناصر و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه داشت. محلول پاشی در شرایط بدون تنش موجب بهبود صفات مذکور شد. با توجه به اینکه غلظت های مورد استفاده در بررسی حاضر تأثیر کمی در کنترل تنش شوری داشتند، لذا پیشنهاد می شود تا آزمایش های تکمیلی با غلظت های بالاتر عناصر مورد استفاده در محلول پاشی در کنترل تنش شوری مورد بررسی قرار گیرد.

اثرات مستقل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بیشترین محتوای پتاسیم در هر دو آزمایش در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد (جدول ۶). محلول پاشی با ۲/۵ و ۵ میلی گرم در لیتر سریم اکسید موجب افزایش محتوای پتاسیم به میزان ۱۱ و ۱۲/۲ گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه شد (جدول ۳). بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم در هر آزمایش در تیمار شاهد مشاهده شد و با افزایش تنش شوری از نسبت پتاسیم به سدیم گیاه کاسته شد (جدول ۶). در تحقیق انجام شده در رزماری مشخص شد که تنش شوری موجب افزایش محتوای سدیم و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه شد (Hassanpouraghdam et al., 2019). در بررسی انجام شده در کتان مشخص شد که تیمار گیاهان کتان تحت تنش شوری با نانوذره سریم اکسید موجب کاهش سدیم سیتوزولی و افزایش محتوای پتاسیم گردید. چنین به نظر می رسد که نانوذره سریم اکسید نقش مهمی در خروج سدیم از سلول تحت شرایط تنش را داشته و به این طریق به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می کند (Liu et al., 2021). تنش شوری از طریق ایجاد رقابت یونی و اختلال در جذب سایر عناصر غذایی، تغییر روابط آبی گیاه، بسته شدن روزنه ها و کاهش جذب کربن موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می شود (Kamran et al., 2020). ناتوانی ناقل های انتقال دهنده پتاسیم در غشای سلول در اثر افزایش سدیم در محیط تحت تنش شوری گزارش گردید (Miller et al., 1995). افزایش محتوای پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم تحت شرایط تنش موجب مقاومت گیاه در مقابل تنش شوری می شود پتاسیم نقش مهمی در تنظیم پتانسیل اسمزی سلول های ریشه، انتقال مواد محلول در آوند چوبی، تنظیم حرکات روزنه ای و توازن آبی گیاه دارد (Miller et al., 1995).

محتوای آهن

اثرات مستقل تنش شوری و محلول پاشی با آهن در آزمایش اول، محتوای آهن گیاه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). در آزمایش دوم محتوای آهن تحت تأثیر تیمار تنش شوری قرار گرفت (جدول ۶). محلول پاشی با ۲/۵ و ۵ میلی گرم در لیتر نانوذره آهن موجب افزایش محتوای آهن گیاه به میزان ۲۸ و ۳۵ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه شد (جدول ۳). در هر دو آزمایش انجام شده تنش شوری موجب کاهش محتوای آهن گیاه شد و بالاترین محتوای آهن گیاه در تیمار بدون

منابع

- Amaranathareddy, V., Lokesh, U., Venkatesh, B., Sudhakar, C., 2015. Pb-stress induced oxidative stress caused alterations in antioxidant efficacy in two groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. *Agricultural Sciences*. 6, 1283-1297.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC.
- Aazami, M.A., Vojodi Mehrabani, L., Hashemi, T., Hassanpouraghdam, M.B., Rasouli, F., 2022. Soil-based nano-gharphene oxide and foliar selenium and nano-Fe influence physiological responses of Sultana grape under salinity. *Scientific Reports*. 1, 24234. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-08251-8>
- Chrysargyris, A., Michailidi, E., Tzortzakis, N., 2018. Physiological and biochemical responses of *Lavandula angustifolia* to salinity under mineral foliar application. *Frontiers in Plant Science*. 9: 489. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00489>
- Cao, Z., Rossi, L., Stowers, C., Zhang, W., Lombardini, L., Ma, X., 2018. The impact of cerium oxide nanoparticles on the physiology of soybean (*Glycine max* L. Merr.) under different soil moisture conditions. *Environmental Science and Pollution Research*. 25, 930-939.
- Del Rio, L.A., 2015. ROS and RNS in plant physiology: An overview. *Journal of Experimental Botany*. 66, 2827-2837.
- Fedina, I., Georgieva, K., Velitchkova, M., Grigorova, I., 2006. Effect of pretreatment of barley seedlings with different salts on the level of UV-B induced and UV-B absorbing compounds. *Environmental and Experimental Botany*. 56, 225-230.
- Gohari, G., Safai, F., Panahirad, S., Akbari, A., Rasouli, F., Dadpour, M.R., Fotopoulos V., 2020. Modified multiwall carbon nanotubes display either phytotoxic or growth promoting and stress protecting activity in *Ocimum basilicum* L. in a concentration-dependent manner. *Chemosphere*. 249, Article 126171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126171>
- Hassanpouraghdam, M.B., Vojodi Mehrabani, L., kheirollahi, N., Soltanbeigi, A., Khoshmaram, L., 2021. Foliar application of graphene oxide, Fe, and Zn on *Artemisia dracunculus* L. under salinity. *Scientia Agricola*. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2021-0202>.
- Hassanpouraghdam, M.B., Vojodi Mehrabani, L., Tzortzakis, N., 2019. Foliar application of Nano-Zinc and Iron effects physiological attributes of ROS Rosmarines officinalis and quietness NaCl salinity depression. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <http://dx.doi.org/1001007/s4/29-019-00111-1>
- Hassanpouraghdam, M.B., Vojodi Mehrabani, L., Hajisamadi Asl, B., Rostami, A., 2011. Essential oil constituents of *Lavandula officinalis* Chaix. from Northwest Iran. *Chemija*. 22, 167-171.
- Hasan Zadeh Mommodi, M., Panahi Rad, S., Bahrami, M. K., Kulaki, M., Gohari, G.H., 2021. Cerium oxide nanoparticles (CeO₂-NPs) improve growth parameters and antioxidant defense system in Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under salinity stress. *Plant stress*. 1, 10006. <https://dx.doi.org/10.1016/j.stress.2021.100006>
- Heath, R.L., Packer, L., 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 125, 189-198.
- Kamran, M., Parveen, A., Ahmar, S., Malik, Z., Hussain, S., Chattha, M.S., Saleem, M. H., Adil, M., Heidari, P., 2020. An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. *International Journal of Molecular Sciences*. 21, 148-158.
- Khan, M.N., Li, Y., Khan, Z., Chen, L., Liu, J., Hu, J., Wu, H. 2021. Nanocoria seed priming enhanced salt tolerance in rapeseed through modulating ROS homeostasis and a1-amylase activities. *Journal of Nanobiotechnology*. 19, 276. <https://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-642905/v1>.
- Kim, K.H., Tsao, R., Yang, R., Cui, S.W., 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis condition. *Food Chemistry*. 95, 466-473.
- Kumar, D. Al Hassan, M., Naranjo, M.A., Agrawal, V., Boscaiu, M., Vicente, O., Effects

- of salinity and drought on growth, ionic relations, compatible solutes and activation of antioxidant systems in oleander (*Nerium oleander* L.). PLoS ONE, 12, 2017, Article e0185017.
<https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0185017>
- Liu, J., Li, G., Chen, L., Gu, J., Wu, H., Li, Z., 2021. Cerium oxide nanoparticles improve cotton salt tolerance by enabling better ability to maintain cytosolic K⁺/Na⁺ ratio. Journal of Nanobiotechnology. 19, 153.
<https://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-210835/v1>
- Luhova, L., Lebeda, A., Hederorva, D., Pec, P., 2003. Activities of oxidase, peroxidase and catalase in seedlings of *Pisum sativum* L. under different light conditions. Plant Soil and Environment. 49, 151-157.
- Miller, G.W., Huang, J., Welkie, G.W., Pushmik, J.C., 1995. Function of iron in plants with special emphasis on chloroplast and photosynthetic activity. In: Abadia, J. (Ed.), Iron nutrition in soil and plants. Kluwer Academic publishers. Dordrecht, 19-28.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59, 651-681.
- Paryan, S., Chorbanpour, M., Hadian, J., 2020. Influence of CeO₂-Nanoparticles on morpho-physiological traits and tanshinone contents of roots in *Salvia miltiorrhiza* Bunge upon foliar and soil application methods. Journal of Medicinal Plant. 19, 168-187. [In Persian with English Summary].
- Perez- Labrada, F., Lopez-Vargas, E.R., Ortega-Ortiz, H., Codonas -Pliego, G., Benavides -Mendoza, A., 2019. Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. Plants. 151,
<https://dx.doi.org/10.3390/plants8060151>
- Rossi, L., Zhang, W., Ma, X., 2017. Cerium oxide nanoparticles alter the salt stress tolerance of *Brassica napus* L. modifying the formation of root apoplastic barriers. Environmental Pollution. 229, 132-138.
- Singh, P., Arif, Y., Siddiqui, H., Sami, F., Zaidi, R., Azam, A., Alam, P., Hayat, S., 2021. Nanoparticles enhances the salinity toxicity tolerance in *Linum usitatissimum* L. by modulating the antioxidative enzymes, photosynthetic efficiency, redox status and cellular damage. Ecotoxicology and Environmental Safety. 213,
<https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112020>
- Turkan, I., Demiral, T., 2009. Recent developments in understanding salinity tolerance. Environmental and Experimental Botany. 67, 2-9.
- Turkan, I., 2017. Emerging roles for ROS and RNS—Versatile molecules in plants. Journal of Experimental Botany. 69, 3313-3315.
- Valizadeh Kamran, R., Vojodi Mehrabani, L., Pessarakli, M., 2017. Effects of foliar application of FeSO₄ and NaCl salinity on vegetative growth, antioxidant enzymes activity, and malondialdehyde content of *Tanacetum balsamita* L. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 48, 1852-1859.
- Vojodi Mehrabani, L., M B. Hassanpouraghdam and T. Shamsi-Khotab. 2018. The effects of common and nano-zinc foliar application on the alleviation of salinity stress in (*Rosmarinus officinalis* L.). Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus. 17, 65-73.
- Zhu, J.K., 2016. Abiotic stress signaling and responses in plants. Cell. 167, 313-324.