

Research Article

Plant Prod., 2021, 44(3), 421-432  
<http://plantproduction.scu.ac.ir//>


ISSN (P): 2588-543X  
ISSN (E): 2588-5979

## The Effect of Foliar Application of Zinc Oxide and Nanoparticles Zinc Oxide on Some Growth Characteristics and Elemental Concentration of Rosemary under NaCl Salinity

Mohammad Bagher Hassanpouraghdam<sup>1\*</sup> , Lamia Vojodi Mehrabani, Tahereh Shamsi Khotab<sup>3</sup>

- 1- **\*Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran (hassanpouraghdam@gmail.com)
- 2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
- 3- MSc Graduate of Agronomy and Plant Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

**Citation:** Hassanpouraghdam, M. B., Vojodi Mehrabani, L. & Shamsi Khotab, T. (2021). The effects of foliar application of zinc oxide and nanoparticles zinc oxide on some growth characteristics and elemental concentration of rosemary under NaCl salinity. *Plant Productions*, 44(3), 421-432.

 10.22055/ppd.2020.31067.1825

Received: 15 October, 2019

Accepted: 17 May, 2020

### Abstract

#### Introduction

Nowdays, one of the major environmental stresses challenging agricultural produce worldwide, is progressive soil salinity. The majority of the soils in the arid and semi-arid regions face salinity. This is a huge threat for agricultural sustainability. With salinity adding-up, plants growth and development greatly decline due to reduced osmotic potential, unbalanced nutrients available and the variations in the type and content of growth regulators which negatively influence the plant yield and productivity. Under salinity situations, using micronutrients plays a vital role in the tolerance of plant against ROS molecules. These nutrients motivate antioxidant enzymes and hence, improve plant responses to the ROS molecules generation. As a result, they improve the yield, quality and productivity of plants under stressful conditions.

#### Materials and Methods

An experiment was conducted to study the effects of NaCl salinity stress (0, 50, 100 and 150 mM) and Foliar application of common and Nano-form Zinc-oxide (0, 5 and 10 mg L<sup>-1</sup>) on *Rosmarinus officinalis* as factorial based on RCBD with three replications at 2017- 2018.

#### Results and Discussion



The results revealed the interaction effects of salinity levels and Zinc Foliar application on chlorophyll b content, N, P, K, Na and Zn content, leave relative water content as well as essential oil yield. The highest data for chlorophyll b was recorded with no stress  $\times$  10 mgL<sup>-1</sup> Nano-zinc spray. Relative water content for both Zn forms (0, 5 and 10 mgL<sup>-1</sup>) was maximum with no salinity treatments. The greatest data for essential oil yield was traced with NaCl<sub>0</sub>  $\times$  10 mgL<sup>-1</sup> Nano-zinc and NaCl<sub>0</sub>  $\times$  10 mgL<sup>-1</sup> Zinc Oxide. NaCl<sub>0</sub>  $\times$  5 mgL<sup>-1</sup> Nano-Zinc increased K<sup>+</sup> content in plant. For Zn compositional content, the highest data was recorded with no-salinity  $\times$  5 and 10 mgL<sup>-1</sup> of Nano-Zinc as well as with no-salinity  $\times$  10 mg L<sup>-1</sup> of common zinc source. Aerial parts dry weight and Fe and Mg content were affected by independent effects of salinity and Foliar application of Zn. Aerial parts dry weight and Mg content increased at no salinity stress and 50 mM salinity. Chlorophyll a and Fe content were influenced by the non salinity levels. Foliar application with 0 and 10 mg L<sup>-1</sup> nano-Zn increased Mg content in plants. Salinity is one of the predominant stressors influencing the plants throughout all their life cycle. The results revealed that salinity drastically influenced rosemary dry weight, photosynthetic pigments content, as well as Mn, Cu, and Fe content. Zn Foliar application improved aerial parts fresh weight and the content of Mg, Cu, and Fe. In general, rosemary is salinity tolerant up to 50 mM without significant reduction in yield component. Therefore, the Foliar application of Nano-Zinc as Oxide form improved yield and growth characteristics.

### Conclusion

Salinity drastically influenced the growth and physiological responses of the plants. Using Foliar treatments was able to partially ameliorate the salinity adverse effects and, promoted the growth and productivity of rosemary. However, economical administration of Foliar treatments needs more in-depth studies.

**Keywords:** Chlorophyll, Essential oil, Relative water content, Yield

## اثر محلول پاشی اکسیدروی و نانوذره اکسیدروی بر شاخص های رشدی و غلظت عناصر در گیاه رزماری پرورش یافته در شرایط شور

محمدباقر حسن پوراقدم<sup>۱\*</sup>، لمیا وجودی مهربانی<sup>۲</sup>، طاهره شمسی خطاب<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول: دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران (hassanpouraghdam@gmail.com)

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

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت و اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۳

### چکیده

تنش شوری موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می شود. به منظور بررسی تأثیر تنش شوری کلرید سدیم (غلظت های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار) و محلول پاشی با اکسیدروی و نانوذره اکسیدروی (۰، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر) آزمایشی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در دانشگاه شهید مدنی آذربایجان اجرا شد. نتایج نشان دهنده وجود اثرات متقابل معنی دار تنش شوری و محلول پاشی بر صفات محتوای کلروفیل b، غلظت ازت، فسفر، پتاسیم، سدیم، روی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد اسانس بود. بالاترین میزان کلروفیل b در تیمار بدون تنش شوری  $\times$  ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی و بیش ترین مقدار نسبی آب برگ در تیمارهای بدون نمک با محلول پاشی هر دو فرم روی (صفر، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر) مشاهده شد. بالاترین عملکرد اسانس در تیمار بدون تنش شوری با محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره روی و فرم معمول روی حاصل شد. تیمار بدون تنش شوری با محلول پاشی ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی موجب افزایش محتوای پتاسیم شد. بیشترین غلظت روی در تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی  $\times$  تیمار بدون تنش شوری و ۱۰ میلی گرم در لیتر روی  $\times$  تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد. بیشترین وزن خشک بخش هوایی گیاه، غلظت آهن و منیزیم تحت تأثیر مستقل تیمار محلول پاشی و تنش شوری قرار گرفت. بیشترین وزن خشک گیاه و غلظت منیزیم در تیمار بدون تنش شوری و ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم حاصل شد. محتوای کلروفیل a و غلظت آهن در تیمار بدون تنش شوری افزایش یافت. تیمار بدون محلول پاشی و محلول پاشی با ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره روی موجب افزایش غلظت منیزیم در گیاه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که محلول پاشی با عنصر روی تأثیر معنی داری در کاهش اثرات تنش شوری در رزماری داشت.

کلیدواژه ها: اسانس، عملکرد، کلروفیل II، مقدار نسبی آب برگ

### مقدمه

فشرده خاک ورزی و آبیاری یکی از عوامل مهم در کاهش عملکرد و تولید محصولات به ویژه در نواحی

شور شدن زمین های کشاورزی به علت روش های

خشک و نیمه خشک می باشد (Sairam et al., 2002). در خاک های شور و سدیمی، حلالیت عناصر کم مصرف پایین بوده و گیاهانی که در این خاک ها رشد می کنند، اغلب از نظر عناصر غذایی دچار کمبود می باشند (Talaie et al., 2012) که دلیل آن به خاطر عدم تعادل یونی به دلیل جذب رقابتی یون ها، عدم مشارکت یونها در فعالیت فیزیولوژیکی معین و یا نحوه تقسیم آن ها توسط گیاه می باشد (Hejazi Mehrizi et al., 2011). در مطالعه اثر تنش شوری بر جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی *Andrographis paniculata* مشخص شد که محتوای سدیم و کلر در گیاهان تحت تنش به صورت قابل ملاحظه ای افزایش پیدا کرد، در حالی که مقدار نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم و منگنز کاهش یافت (Talaie et al., 2012). در دهه های اخیر به منظور جبران کمبود عناصر غذایی در خاک اغلب از کودهای شیمیایی استفاده می شود اما بررسی ها نشان دهنده تأثیر منفی کاربرد مداوم کودهای شیمیایی به صورت خاکی بر اکوسیستم می باشد. محلول پاشی گیاهان روشی مؤثر و کارآمد در کاهش مصرف کودهای شیمیایی می باشد و به نظر می رسد اثرات زیست محیطی مخرب محلول پاشی بسیار کمتر از کاربرد خاکی کودهای شیمیایی باشد (Vojodi Mehrabani et al., 2016). تولید کودها و سموم در ابعاد نانو به دلیل افزایش عملکرد محصولات امروزه مورد توجه قرار گرفته است. به نظر می رسد این کودها به دلیل ریزبودن، فعالیت بیشتری نسبت به کودهای معمولی داشته باشند و در نتیجه عملکرد بالاتری ایجاد کنند (Nair et al., 2010) روی یکی از مهم ترین ریزمغذی ها در رشد گیاه بوده و در آسیمیلیسیون کربن، تجمع ساکاریدها، جذب و انتقال آب (Kasim, 2007) حفظ تمامیت غشای سلول، از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن، فعالیت آنزیم ها (از اجزای اصلی آنزیم، کوفاکتور اصلی و یا تنظیم کننده مرتبط با مسیر بیوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات)، تنظیم بیان ژن های درگیر در افزایش مقاومت گیاهان در مقابل تنش و بیوسنتز اسانس نقش دارد (Kiarostami et al., 2010; Nahed et al., 2007). رزماری با نام علمی *Rosmarinus officinalis* گیاهی از خانواده نعناعیان، دارای مصارف متعدد دارویی، ادویه ای، زینتی، آرایشی و بهداشتی می باشد (Kiarostami et al., 2010). رزماری گیاهی مقاوم در مقابل شرایط محیطی (دمای بالا و پایین) به واسطه گستره وسیع جغرافیایی کشت گیاه و تنش شوری متوسط (تا ۵۰ میلی مولار) است (Tounekti et al., 2011). با توجه به شورشیدن تدریجی آب و خاک در نواحی مختلف ایران، ارزیابی گیاهانی که قادر به تحمل شرایط فوق باشد حائز اهمیت می باشد. لذا هدف از مطالعه حاضر ارزیابی میزان تحمل گیاه رزماری به شوری موجود در محیط کشت و تأثیر محلول پاشی با اکسیدروی به فرم معمول و نانو بر محتوای عناصر و برخی ویژگی های فیزیولوژیک و مرفولوژیک رزماری بود.

### مواد و روش ها

به منظور بررسی تأثیر تنش شوری کلرید سدیم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار) و محلول پاشی با اکسیدروی به فرم معمول و نانو (۰، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر) آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان با تناوب نوری ۱۶ و ۸ ساعت (روشنایی و تاریکی) و تناوب دمایی ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد در روز و شب انجام گرفت. نشاهای ۱۵ تا ۲۰ سانتی متری رزماری که از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه شد بعد از انتقال به گلخانه در گلدان های پنج لیتری حاوی پرلایت دانه متوسط در ۲۰ فروردین سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ کاشته شدند و به منظور سازگاری گیاهان با شرایط گلخانه به مدت دو هفته با محلول هو گلند تغذیه شدند. در آغاز هفته سوم تنش شوری برای گیاهان اعمال گردید و به منظور جلوگیری از شوک ناشی از مصرف یکباره نمک از غلظت ۲۵ میلی مولار نمک استفاده شد و بعد از ۳ روز مجدداً به غلظت نمک افزوده شد (اعمال تنش ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) و این عمل تا رسیدن به غلظت

در خاک های شور و سدیمی، حلالیت عناصر کم مصرف پایین بوده و گیاهانی که در این خاک ها رشد می کنند، اغلب از نظر عناصر غذایی دچار کمبود می باشند (Talaie et al., 2012) که دلیل آن به خاطر عدم تعادل یونی به دلیل جذب رقابتی یون ها، عدم مشارکت یونها در فعالیت فیزیولوژیکی معین و یا نحوه تقسیم آن ها توسط گیاه می باشد (Hejazi Mehrizi et al., 2011). در مطالعه اثر تنش شوری بر جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی *Andrographis paniculata* مشخص شد که محتوای سدیم و کلر در گیاهان تحت تنش به صورت قابل ملاحظه ای افزایش پیدا کرد، در حالی که مقدار نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم و منگنز کاهش یافت (Talaie et al., 2012). در دهه های اخیر به منظور جبران کمبود عناصر غذایی در خاک اغلب از کودهای شیمیایی استفاده می شود اما بررسی ها نشان دهنده تأثیر منفی کاربرد مداوم کودهای شیمیایی به صورت خاکی بر اکوسیستم می باشد. محلول پاشی گیاهان روشی مؤثر و کارآمد در کاهش مصرف کودهای شیمیایی می باشد و به نظر می رسد اثرات زیست محیطی مخرب محلول پاشی بسیار کمتر از کاربرد خاکی کودهای شیمیایی باشد (Vojodi Mehrabani et al., 2016). تولید کودها و سموم در ابعاد نانو به دلیل افزایش عملکرد محصولات امروزه مورد توجه قرار گرفته است. به نظر می رسد این کودها به دلیل ریزبودن، فعالیت بیشتری نسبت به کودهای معمولی داشته باشند و در نتیجه عملکرد بالاتری ایجاد کنند (Nair et al., 2010) روی یکی از مهم ترین ریزمغذی ها در رشد گیاه بوده و در آسیمیلیسیون کربن، تجمع ساکاریدها، جذب و انتقال آب (Kasim, 2007) حفظ تمامیت غشای سلول، از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن، فعالیت آنزیم ها (از اجزای اصلی آنزیم، کوفاکتور اصلی و یا تنظیم کننده مرتبط با مسیر بیوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات)، تنظیم بیان ژن های درگیر در افزایش مقاومت گیاهان در مقابل تنش و بیوسنتز اسانس نقش دارد (Kiarostami et al., 2010; Nahed et al., 2007). رزماری با نام علمی *Rosmarinus officinalis* گیاهی از خانواده نعناعیان، دارای مصارف متعدد دارویی، ادویه ای، زینتی، آرایشی و بهداشتی می باشد (Kiarostami et al., 2010). رزماری گیاهی مقاوم در مقابل شرایط فوق باشد حائز اهمیت می باشد. لذا هدف از مطالعه حاضر ارزیابی میزان تحمل گیاه رزماری به شوری موجود در محیط کشت و تأثیر محلول پاشی با اکسیدروی به فرم معمول و نانو بر محتوای عناصر و برخی ویژگی های فیزیولوژیک و مرفولوژیک رزماری بود.

### مقدار نسبی آب برگ

مقدار نسبی آب برگ با استفاده از روش Xu et al. (2005) تعیین شد.

### اندازه‌گیری عناصر برگ

مقدار عناصر سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتری (Corning, 410, England)، غلظت روی و آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی، محتوای ازت محلول با استفاده از کج‌دال و محتوای فسفر به کمک وانادات مولیبدات به روش (AoAC (1990) تعیین شد.

### استخراج اسانس

۱۵ گرم بافت خشک شاخساره‌های انتهایی گیاه به مدت ۳ ساعت به همراه ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و با استفاده از دستگاه کلونجر فارماکوپه اروپا اسانس‌گیری گردید. اسانس حاصل بعد از جمع‌آوری توسط سولفات سدیم خشک آب‌گیری شد.

### طرح آزمایشی و آنالیز داده‌های آماری

آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای تجزیه داده‌ها از برنامه‌های آماری SPSS و MSTATC (نسخه ۱۹) استفاده شد. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج و یک درصد مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول‌های ۱ و ۲ نشان‌دهنده وجود اثرات متقابل معنادار تنش شوری و محلول‌پاشی بر صفات تعداد برگ‌های نکروزه، محتوای کلروفیل b، غلظت ازت، فسفر، پتاسیم، سدیم، منگنز، روی، مقدار آب نسبی برگ و عملکرد اسانس بود.

### اثرات تنش شوری بر وزن خشک بخش هوایی گیاه

نتایج نشان‌دهنده تأثیر مستقل تیمار شوری و محلول‌پاشی بر وزن خشک بخش هوایی گیاه بود (جدول ۱). براساس نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۳ بالاترین عملکرد وزن خشک بخش هوایی گیاه در تیمار شاهد و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به میزان ۹/۳ و ۸/۸ گرم مشاهده شد

۱۵۰ میلی‌مولار ادامه یافت. از پایان هفته پنجم غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) به محلول هوگلند اضافه گردید و تا پایان آزمایش از محلول فوق برای تغذیه گیاهان استفاده گردید. لازم به ذکر است که EC محلول‌های غذایی مورد استفاده به شرح زیر بود: EC محلول غذایی بدون کلرید سدیم ۲/۱ mS/cm، محلول غذایی حاوی ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم ۳/۴ mS/cm، محلول غذایی حاوی ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم ۷ mS/cm و محلول غذایی حاوی ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم ۱۲ mS/cm بود. ذرات روی مورد استفاده در پژوهش حاضر با ابعاد میکرو (با اندازه ذرات ۵۰۰ نانومتر) و نانو (اندازه ذرات ۳۰-۱۰ نانومتر) از شرکت US NANO (آمریکا) خریداری شد. به‌منظور محلول‌پاشی گیاهان از غلظت‌های صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر میکرو روی و نانوذره روی استفاده شد. اولین محلول‌پاشی بلافاصله بعد از اعمال تنش و محلول‌پاشی دوم سه هفته بعد از آن اعمال گردید. حجم محلول مورد استفاده برای هر گلدان ۲۰ سی‌سی بود. انتخاب غلظت و حجم محلول‌پاشی براساس مطالعات قبلی (Vojodi Mehrabani et al., 2016 and 2017) انجام گرفت. پنج هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی نمونه‌برداری از گیاه به منظور مطالعه صفات مورد نظر انجام گرفت. در کل گیاهان به‌مدت ۱۴ هفته از شروع تا پایان آزمایش در گلخانه نگهداری شدند.

### اندازه‌گیری وزن خشک گیاه

بعد از برداشت بخش هوایی گیاه، بخش‌های برداشت‌شده در دستگاه خشک‌کن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک هفته خشک گردیدند. وزن خشک بخش هوایی گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتال (BBI41, Boeco, Germany) اندازه‌گیری شد.

### محتوای کلروفیل a و b

اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a و b برگ با استفاده از روش Prochazkova et al. (2001) با استفاده از اسپکتروفومتر (T80 + China) انجام گرفت.

**Table 1. ANOVA for the effects of salinity and foliar application with ZnO (common and nano forms) on photosynthetic pigment, aerial part dry weight and essential oil yield of *Rosmarinus officinalis***

Source of variation	df	Aerial part dry weight	Leaf relative water content	Essential oil yield	Chlorophyll a	Chlorophyll b
Replication	3	11.6 <sup>ns</sup>	57.8 <sup>ns</sup>	0.78 <sup>**</sup>	0.90 <sup>**</sup>	1.30 <sup>**</sup>
Salinity	3	250.8 <sup>**</sup>	4.92 <sup>ns</sup>	89.1 <sup>**</sup>	6.67 <sup>**</sup>	4.53 <sup>**</sup>
Foliar application	4	21.27 <sup>*</sup>	74.2 <sup>*</sup>	42.14 <sup>**</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	69.4 <sup>**</sup>
Salinity × Foliar application	12	6.87 <sup>ns</sup>	116.5 <sup>**</sup>	9.25 <sup>**</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>*</sup>
Error	38	7.7	27.9	4.04	0.16	0.07
C.V. (%)		12.7	6.9	17.7	16.2	12.1

**Table 2. ANOVA for the effects of salinity and foliar application with ZnO (common and nano forms) on elemental content of *Rosmarinus officinalis*.**

Source of variation	df	N content	P content	K content	Na content	Mg content	Fe content	Zn content
Replication	2	0.19 <sup>**</sup>	145390 <sup>ns</sup>	698.1 <sup>ns</sup>	7389.1 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>**</sup>	1014 <sup>**</sup>	37.2 <sup>*</sup>
Replication	3	5.25 <sup>**</sup>	1785534 <sup>**</sup>	1087239 <sup>**</sup>	1046782 <sup>**</sup>	3.1 <sup>**</sup>	53732 <sup>**</sup>	3090.1 <sup>**</sup>
Foliar application	4	0.49 <sup>**</sup>	81773.1 <sup>ns</sup>	57337 <sup>**</sup>	33194 <sup>*</sup>	0.41 <sup>**</sup>	1143.1 <sup>**</sup>	1395 <sup>**</sup>
Salinity × Foliar application	12	0.18 <sup>**</sup>	527886 <sup>**</sup>	88871 <sup>**</sup>	82032.1 <sup>**</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	50.2 <sup>ns</sup>	483.2 <sup>**</sup>
Error	38	0.034	47116.7	3037	4865.1	0.03	106.3	7.9
C.V. (%)	-	9	9.2	4.06	7.1	4.7	2.3	7.0

ns,\* and \*\* show non-significant and significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively.

**Table 3. Mean comparison for the effects of salinity on some physiological characteristics of *Rosmarinus officinalis*.**

NaCl levels (mM)	Aerial part dry weight (g/pot)	Chlorophyll a (mgg <sup>-1</sup> .FWt)	Mg content (mg Kg <sup>-1</sup> DWt)	Fe content (mg Kg <sup>-1</sup> DWt)
0	93 <sup>a</sup>	2.85 <sup>a</sup>	3.72 <sup>a</sup>	460 <sup>a</sup>
50	8.80 <sup>a</sup>	2.38 <sup>b</sup>	2.81 <sup>a</sup>	441 <sup>b</sup>
100	7.62 <sup>b</sup>	1.84 <sup>c</sup>	1.04 <sup>b</sup>	420 <sup>c</sup>
150	6.59 <sup>b</sup>	1.64 <sup>c</sup>	1.85 <sup>b</sup>	410 <sup>d</sup>
LSD (1%)	2.74	0.40	0.17	11.7

Similar letters in the column are non-significant based on LSD test..

تجمع نمک در محیط ریزوسفر، برهم خوردن توازن مواد غذایی در این محیط، رقابت در جذب عناصر، اثرات ویژه یون، و برهم خوردن متابولیسم عادی گیاه می باشد (Dubey, 2005).

محلول پاشی تأثیر مثبتی در افزایش عملکرد وزن خشک بخش هوایی گیاه داشت و بیشترین عملکرد گیاه به میزان ۱۴/۸ گرم در تیمار محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذره روی به دست آمد. تفاوتی بین غلظت های مختلف اکسیدروی و ۵ میلی گرم در لیتر نانوذره روی در وزن خشک بخش هوایی گیاه مشاهده نشد (جدول ۴). در بررسی انجام شده در شعمدانی عطری مشخص شد که محلول پاشی با سولفات روی موجب افزایش عملکرد گیاه شعمدانی عطری شد (Vojodi Mehrabani et al., 2016) که شاید دلیل آن

نتایج حاصل نشان داد که با افزایش تنش شوری تا ۱۵۰ میلی مولار از عملکرد گیاه کاسته شد که شاید دلیل آن کاهش در محتوای کلروفیل و مقدار نسبی آب برگ در رزماری تحت شرایط تنش شوری باشد (جدول ۳). گیاهان در مواجهه با تنش شوری دچار تغییرات متابولیسمی بسیاری می شوند که موجب کاهش توانایی آن ها در جذب سریع مواد غذایی و آب می شود که با تأثیر منفی بر پتانسیل اسمزی گیاه مانع رشد سریع گیاه می شود. به نظر می رسد در چنین شرایطی محلول پاشی گیاه تأثیر مثبت بر کاهش اثرات مخرب تنش شوری داشته باشد. بررسی انجام شده در گیاه همیشه بهار نشان دهنده کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش شوری بود (Kalhor et al., 2019). کاهش رشد مشاهده شده در گیاهان رشد کرده تحت تنش شوری به دلیل

**Table 4. Mean comparison for the effects of foliar application with ZnO in common and nano forms on yield and Mg, Cu and Fe content of *Rosmarinus officinalis*.**

Foliar application with ZnO and nano ZnO (mg l <sup>-1</sup> )	Aerial part dry weight (g/pot)	Mg content (mg Kg <sup>-1</sup> DWt)	Fe content (mg Kg <sup>-1</sup> DWt)
0	9.1 <sup>b</sup>	3.71 <sup>ab</sup>	440 <sup>b</sup>
10 mg l <sup>-1</sup> nano ZnO	16 <sup>a</sup>	3.81 <sup>ab</sup>	422 <sup>c</sup>
5 mg l <sup>-1</sup> nano ZnO	12.2 <sup>b</sup>	1.04 <sup>c</sup>	425 <sup>c</sup>
5 mg l <sup>-1</sup> ZnO	12.2 <sup>b</sup>	1.85 <sup>c</sup>	470 <sup>a</sup>
10 mg l <sup>-1</sup> ZnO	11.2 <sup>b</sup>	2.62 <sup>b</sup>	407 <sup>d</sup>
LSD (1%)	2.8	0.20	4.1

Similar letters in the column are non-significant based on LSD test.

محلول پاشی با نانو ذره روی تأثیر مثبت در کاهش اثرات تنش شوری بر محتوای کلروفیل b در گیاه را داشت.

#### مقدار نسبی آب برگ

بالاترین میزان نسبی آب برگ در تیمار شاهد (بدون تنش شوری و محلول پاشی) و تیمار بدون تنش شوری با هر دو سطح محلول پاشی با اکسیدروی و نانو ذره اکسیدروی مشاهده شد (جدول ۵). نتایج مشابهی در این خصوص توسط (Hejazi Mehrizi et al. 2011) در گیاه رزماری گزارش شد. بالا بودن مقدار نسبی آب برگ می تواند به دلیل کاهش اتلاف آب از طریق بستن روزنه ها، جذب بیشتر آب از طریق گسترش ریشه ها و یا تنظیم اسمزی از طریق تولید اسمولیت هایی مثل گلاسیسین بتائین، پرولین و قندهای محلول باشد (Hejazi Mehrizi et al. 2011; Sairam et al., 2002).

#### عملکرد اسانس

بیشترین عملکرد اسانس در تیمار بدون تنش شوری و محلول پاشی شده با ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی و اکسیدروی حاصل شد. کمترین عملکرد اسانس در تیمار ۱۵۰ میلی مول کلریدسدیم بدون محلول پاشی و محلول پاشی با ۵ میلی گرم در لیتر روی به دست آمد که نشان دهنده کاهش ۸۴ درصدی نسبت به تیمار بدون تنش شوری و محلول پاشی با ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو روی بود (جدول ۵). نتایج آزمایش (Vojodi Mehrabani et al. 2017) در گیاه اسطوخودوس نشان داد بیشترین محتوای اسانس گیاه در شرایط بدون تنش شوری مشاهده شد و محلول پاشی با سولفات روی تأثیر مثبت در افزایش محتوای اسانس گیاه

همان گونه که (Hafeez et al. 2013) عنوان نمودند افزایش سطح ایندول استیک اسید و همگون سازی دی اکسید کربن در گیاه باشد. در پژوهش حاضر با توجه به قطر کم ذرات نانو چنین انتظار می رود که سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بیشتر از ذرات روی معمولی باشد که نهایتاً موجب افزایش عملکرد گیاه گردید.

#### مقادیر کلروفیل a و b

بیشترین میزان کلروفیل a در شرایط بدون تنش مشاهده گردید. در تیمار ۱۵۰ میلی مولار کلریدسدیم میزان کلروفیل a به ۱/۶۴ میلی گرم بر گرم وزن تر کاهش یافت که نشان دهنده تأثیر منفی تنش شوری بر محتوای کلروفیل a بود (جدول ۳). محتوای کلروفیل b تحت تأثیر اثرات متقابل تنش شوری و محلول پاشی با اکسیدروی به فرم معمول و نانو قرار گرفت (جدول ۱). بر اساس جدول ۵ بیشترین میزان کلروفیل b (۴/۱۲ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار بدون تنش شوری و محلول پاشی شده با ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی حاصل شد. نتایج مشابهی در خصوص کاهش محتوای کلروفیل گیاه در اثر تنش شوری در اسطوخودوس گزارش شد (Sub Ba et al. 2014). (Chrysargris et al., 2019). عنوان نمودند محلول پاشی روی موجب افزایش محتوای کلروفیل، نسبت کلروفیل a/b و کاروتنوئید در نارنگی شد. کاهش مقدار رنگیزه ها با افزایش سطوح شوری ممکن است به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست ها، فتواکسیداسیون کلروفیل ها و یا واکنش با اکسیژن منفرد باشد. نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که

**Table 5. Mean comparison for the interaction effects of salinity and foliar application with ZnO in common and nano forms on yield and some physiological characteristic of *Rosmarinus officinalis***

NaCl Levels (mM)	Foliar application of Zn (Common and nano form) (mg L <sup>-1</sup> )	Chlorophyll b (Mg g <sup>-1</sup> Fwt)	Leaf relative water content (%)	Essential oil yield (L/ha)	K content (mg kg <sup>-1</sup> Dwt)	Na content (mg Kg <sup>-1</sup> Dwt)	N content (%)	P content (mg Kg <sup>-1</sup> Dwt)	Zn content (mg Kg <sup>-1</sup> Dwt)
0	0	1.48 <sup>g-i</sup>	77.3 <sup>a</sup>	5.4 <sup>c-e</sup>	1670 <sup>c</sup>	871 <sup>i</sup>	1.13 <sup>bc</sup>	3039 <sup>cde</sup>	39.14 <sup>def</sup>
0	10 (Nano)	4.12 <sup>a</sup>	76.1 <sup>a</sup>	15.0 <sup>a</sup>	1350 <sup>d</sup>	860 <sup>i</sup>	2.93 <sup>bc</sup>	2951 <sup>cde</sup>	98.97 <sup>a</sup>
0	5 (Nano)	3.19 <sup>bc</sup>	74.3 <sup>ab</sup>	6.4 <sup>c-e</sup>	1962 <sup>a</sup>	998 <sup>b-f</sup>	2.03 <sup>bc</sup>	2868 <sup>cde</sup>	81.41 <sup>a</sup>
0	5 (Common)	2.93 <sup>b-d</sup>	75.1 <sup>ab</sup>	9.9 <sup>bc</sup>	1232 <sup>f</sup>	860 <sup>i</sup>	1.04 <sup>d</sup>	1160 <sup>f</sup>	70.10 <sup>b</sup>
0	10 (Common)	2.53 <sup>d-f</sup>	76.4 <sup>a</sup>	11.9 <sup>ab</sup>	1324 <sup>d</sup>	900 <sup>b-d</sup>	1.87 <sup>b-d</sup>	3046 <sup>cde</sup>	9795 <sup>a</sup>
50	0	1.13 <sup>hij</sup>	70.1 <sup>b</sup>	5.7 <sup>c-e</sup>	1322 <sup>d</sup>	1002 <sup>b</sup>	1.86 <sup>b-d</sup>	2628 <sup>e</sup>	62.10 <sup>c</sup>
50	10 (Nano)	2.35 <sup>b</sup>	70.1 <sup>bc</sup>	7.9 <sup>b-e</sup>	1062 <sup>e</sup>	1009 <sup>bc</sup>	1.51 <sup>d</sup>	2740 <sup>cde</sup>	58.70 <sup>c</sup>
50	5 (Nano)	2.75 <sup>b-e</sup>	68 <sup>d</sup>	7.5 <sup>b-d</sup>	1223 <sup>f</sup>	900 <sup>i</sup>	0.047 <sup>e</sup>	1170 <sup>f</sup>	47.72 <sup>c</sup>
50	5 (Common)	2.07 <sup>fg</sup>	70.4 <sup>bc</sup>	5.7 <sup>c-e</sup>	1405 <sup>d</sup>	930 <sup>d-f</sup>	2.23 <sup>b</sup>	2857 <sup>c-e</sup>	46.06 <sup>c</sup>
50	10 (Common)	2.58 <sup>c-f</sup>	70.6 <sup>bc</sup>	7.2 <sup>b-d</sup>	1290 <sup>d</sup>	1060 <sup>b-e</sup>	1.97 <sup>bc</sup>	2959 <sup>c-e</sup>	54.28 <sup>bc</sup>
100	0	0.95 <sup>ij</sup>	57.6 <sup>e</sup>	3.2 <sup>de</sup>	1423 <sup>d</sup>	942 <sup>c-f</sup>	2.12 <sup>bc</sup>	3021 <sup>c-e</sup>	44.13 <sup>c</sup>
100	10 (Nano)	2.79 <sup>b-d</sup>	66.4 <sup>d</sup>	8.4 <sup>b-d</sup>	1388 <sup>d</sup>	957 <sup>c-f</sup>	2.12 <sup>bc</sup>	2882 <sup>c-e</sup>	55.01 <sup>b</sup>
100	5 (Nano)	2.13 <sup>e-g</sup>	49.5 <sup>f</sup>	4.7 <sup>c-e</sup>	1291 <sup>f</sup>	970 <sup>c-f</sup>	0.052 <sup>e</sup>	978 <sup>g</sup>	40.30 <sup>ce</sup>
100	5 (Common)	1.50 <sup>g-i</sup>	69.2 <sup>d</sup>	4.7 <sup>c-e</sup>	1639 <sup>c</sup>	1180 <sup>b-f</sup>	2.097 <sup>bc</sup>	3286 <sup>bc</sup>	42.28 <sup>ce</sup>
100	10 (Common)	1.83 <sup>g</sup>	67.5 <sup>d</sup>	7.9 <sup>b-e</sup>	1628 <sup>c</sup>	1080 <sup>b</sup>	3.06 <sup>a</sup>	2983 <sup>c-e</sup>	59.30 <sup>b</sup>
150	0	0.82 <sup>ij</sup>	48.3 <sup>f</sup>	2.4 <sup>e</sup>	1365 <sup>d</sup>	1399 <sup>a</sup>	1.09 <sup>bc</sup>	3789 <sup>a</sup>	37.17 <sup>e</sup>
150	10 (Nano)	2.49 <sup>d-f</sup>	59.7 <sup>e</sup>	5.1 <sup>c-e</sup>	1241 <sup>f</sup>	978 <sup>b</sup>	3.11 <sup>a</sup>	3233 <sup>b-d</sup>	48.53 <sup>ce</sup>
150	5 (Nano)	1.76 <sup>gh</sup>	61.2 <sup>d</sup>	3.7 <sup>de</sup>	1373 <sup>d</sup>	1184 <sup>a</sup>	1.86 <sup>b-d</sup>	3598 <sup>ab</sup>	22.08 <sup>g</sup>
150	5 (Common)	1.48 <sup>g-i</sup>	61.6 <sup>b</sup>	2.5 <sup>e</sup>	1406 <sup>d</sup>	86bc	2.17 <sup>bc</sup>	2634 <sup>e</sup>	35.00 <sup>fg</sup>
150	10 (Common)	1.06 <sup>gh</sup>	59.2 <sup>e</sup>	4.8 <sup>c-e</sup>	1152 <sup>e</sup>	926 <sup>d-f</sup>	1.71 <sup>cd</sup>	2680 <sup>de</sup>	28.7 <sup>fg</sup>
LSD (%)		0.58	3.28	4.4	12	10.4	0.40	8.6	6.23

Similar letters in the column are non-significant based on LSD test.

میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی مشاهده شد. چنین به نظر می رسد که در تنش های شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی مول کلرید سدیم، محلول پاشی با ۵ میلی گرم در لیتر نانوذره روی تأثیر کمی در کاهش اثرات تنش شوری داشته و موجب کاهش تقریباً ۹۰ درصدی محتوای ازت نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۵). در بررسی انجام شده در گیاه گندم مشخص شد که تنش شوری موجب کاهش جذب عناصر غذایی مانند کلسیم، منیزیم، پتاسیم، فسفر و نیتروژن توسط گیاه شد کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه موجب کاهش تولید اسیدهای آمینه می شود (El-Fouly et al., 2011). در بررسی انجام شده در خصوص اثر مصرف روی در غلظت نیتروژن در گیاه اسطوخودوس اعلام نمودند که مصرف روی تحت تنش

داشت. چنین به نظر می رسد که در شرایط بدون تنش شوری گیاهان اسطوخودوس با اختصاص متابولیت های اولیه بیشتر به بیوسنتز اسانس موجب افزایش محتوای اسانس می شود و محلول پاشی با روی اثرات افزایشی در این خصوص دارد. روی در فرایند فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات نقش داشته و دی اکسید کربن و گلوکز از منابع عمده مورد استفاده گیاه برای بیوسنتز ترپنوئیدها می باشند. لذا به نظر می رسد که تغذیه گیاه با روی نقش مهمی در تجمع اسانس و از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن داشته باشد (Nahed et al., 2007).

### غلظت ازت

بیشترین غلظت ازت نمونه ها در تیمارهای تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم × ۱۰ میلی گرم در لیتر اکسیدروی و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم × ۱۰



با ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین میزان پتاسیم نمونه‌ها در شرایط بدون تنش شوری و محلول پاشی با ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی مشاهده شد (جدول ۵). نتایج مشابهی در خصوص کاهش در جذب پتاسیم تحت تنش شوری در اسطوخودوس گزارش شد (Chrysargris et al., 2019). کاهش مشاهده شده در جذب پتاسیم تحت تنش شوری ممکن است به دلیل رقابت ایجاد شده بین سدیم و پتاسیم در جذب به دلیل وجود ناقل‌های مشابه باشد (Mirfattahi et al., 2018). جلوگیری از رشد گیاه تحت شرایط تنش شوری ممکن است به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی گیاه و همچنین کاهش دسترسی به آب و یا تجمع یون‌هایی مثل سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی باشد (Mirfattahi et al., 2018). بررسی‌ها نشان داده است که وجود مقادیر بالای یون پتاسیم در غلظت‌های بالای نمک می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های تحمل گیاه به تنش شوری به دلیل پایین نگه‌داشتن پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه، انتقال املاح به واسطه ایجاد فشار تورژسانس در آوندهای چوبی، حفظ تعادل آب داخل گیاه، و ادامه فعالیت آنزیم‌ها مطرح باشد (Chrysargris et al., 2019). در بررسی انجام شده توسط Fathi et al. (2017) مشخص شد که استفاده از نانوذره اکسیدروی موجب افزایش غلظت روی در گیاه شد. چنین به نظر می‌رسد که تأثیر مثبت Zn در رشد رویشی به دلیل بیوستتاز IAA، افزایش فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن، بیوستتاز پروتئین، پایداری غشای سلول و افزایش تحمل گیاه به استرس‌های محیطی باشد (Hafeez et al., 2013).

#### غلظت منیزیم

بالاترین میزان منیزیم در تیمار شاهد و ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین میزان منیزیم نمونه‌ها در تیمار شاهد و محلول پاشی با ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی مشاهده شد (جدول ۴). در بررسی انجام شده در گیاه اسطوخودوس (Chrysargris et al.,

شوری موجب کاهش غلظت نیتروژن در برگ شد (Chrysargris et al., 2019).

#### غلظت فسفر و روی برگ

بیشترین غلظت فسفر برگ در تیمارهای تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم بدون محلول پاشی و محلول پاشی با ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی و کمترین غلظت فسفر در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار و محلول پاشی با ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین میزان روی نمونه‌ها در شرایط بدون تنش شوری و سطوح محلول پاشی ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره اکسیدروی و ۱۰ میلی گرم در لیتر اکسیدروی حاصل شد (جدول ۵). نتایج مشابهی در خصوص افزایش محتوای روی نمونه‌ها در اثر محلول پاشی با نانو ذره روی در گیاه زرشک سیاه گزارش گردید (Vojodi Mehrabani et al., 2019). در تحقیق انجام شده در گیاه اسطوخودوس مشخص شد که تنش شوری موجب افزایش محتوای فسفر در گیاه شد و محلول پاشی با روی تأثیری در محتوای فسفر اسطوخودوس نداشت (Chrysargris et al., 2019). بررسی انجام شده نشان دهنده افزایش نفوذ فسفر به داخل سلول تحت تنش شوری بود. در حالی که تنش شوری تأثیر منفی بر جذب سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم داشت (Hejazi Mehrizi et al., 2011). آشفته‌گی به وجود آمده در عناصر غذایی در اثر تنش شوری دسترسی، انتقال و توزیع عناصر غذایی را در گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد که به صورت کمبود یک عنصر، عدم توازن یونی در اثر رقابت بین یون سدیم و کلر با کاتیون‌هایی مثل پتاسیم، کلسیم و روی و یا آنیون نیترات به وقوع می‌پیوندد که موجب کاهش جذب سایر عناصر غذایی مثل منیزیم و پتاسیم می‌شود (Chrysargris et al., 2019).

#### غلظت سدیم و پتاسیم

بیشترین غلظت سدیم در تیمارهای تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم بدون محلول پاشی و محلول پاشی

نمودند که تحت تنش شوری کاهش جذب آهن در بخش هوایی گیاه بیشتر از ریشه بود که نشان دهنده کارایی اندک گیاه برای انتقال آهن به بخش هوایی می باشد.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از اعمال تنش شوری بر گیاه رزماری نشان دهنده تأثیر منفی تنش بر وزن خشک گیاه، محتوای رنگیزه های فتوسنتزی، منیزیم و آهن بود. محلول پاشی با روی تأثیر مثبت بر وزن تر بخش هوایی گیاه، غلظت عناصر منیزیم، مس، آهن داشت. در کل می توان چنین عنوان نمود که گیاه رزماری قادر به تحمل تنش شوری تا حد ۵۰ میلی مولار بدون کاهش قابل توجه در عملکرد گیاه می باشد و محلول پاشی با نانوذره اکسیدروی (۱۰ میلی گرم در لیتر) تأثیر مثبت بر عملکرد و شاخص های رشدی گیاه داشت.

### سپاس گذاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به خاطر تأمین هزینه های پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی را داریم.

2019) و رزماری (Hejazi Mehrizi et al., 2011) مشخص شد محلول پاشی با روی موجب کاهش محتوای کسیم و منیزیم در گیاه شد. در تحقیق انجام شده در رزمای مشخص شد که محلول پاشی با روی تأثیر مثبت در کاهش اثرات تنش شوری در گیاه داشته و به بهبود جذب عناصر مورد نیاز گیاه کمک کند (Hejazi Mehrizi et al., 2011).

### آهن

بیشترین میزان آهن در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد. کمترین میزان آهن در تیمار ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد که نشان دهنده کاهش ۱۰ درصدی در محتوای آهن نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۳). از طرفی محتوای آهن تحت تأثیر سطوح محلول پاشی قرار گرفت و بالاترین محتوای آهن در تیمار محلول پاشی ۵ میلی گرم در لیتر اکسیدروی مشاهده شد (جدول ۴). Fathi et al. (2017) عنوان نمودند که محلول پاشی با نانوذره اکسیدروی و آهن موجب افزایش محتوای آهن گیاه گردید (El-fouly et al. (2011) عنوان

## References

- AOAC. (1990). *Official methods of analysis*. Washington, DC.: Association of Official Agricultural Chemists.
- Chrysargyris, A., Solomou, M., Petropoulos, S.A., & Tzortzakos, N. (2019). Physiological and biochemical attributes of *Mentha spicata* when subjected to saline conditions and cation foliar application. *Journal of Plant Physiology*, 232, 27-38.
- Dubey, R.S. (2005). Photosynthesis in plants under stressful condition in photosynthesis hand books. In Pessaraki, M., (Ed.), *Photosynthesis* (pp.717-718). New York: CRC Press.
- El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M., & Salama, Z. A. (2011). Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L). *African Journal of Plant Science*, 5(5), 314-322.
- Fathi, A.R., Zahedi, M., Torabian, S.H., & khoshgoftarmansh, A. (2017). Response of wheat genotypes to foliar spray of ZnO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-particles under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40 (10), 1376-1385.
- Hafeez, B., Khanif, Y.M., & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition. A Review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2), 374-391.

- Hejazi Mehrizi, M., Shariatmadari, H., Khoshgoftarmanesh, A.H., & Zarezadeh, A. (2011). Effect of salinity and zinc on physiological and nutritional responses of rosemary. *International Agrophysics*, 25(4), 349-353.
- Kalhor, M., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., & Gholam-Nejad, J. (2019). Effect of different media cultures on physico-chemical characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) plants under salt stress. *Plant Productions*, 4(1), 89-102. [In Farsi]
- Kasim, W.A. (2007). Physiological consequences of structural and ultra-structural changes induced by Zn stress in *Phaseolus vulgaris*. I. Growth and Photosynthetic apparatus. *International Journal of Botany*, 3(1), 15-22.
- Kiarostami, K., Mohseni, R., & Saboora, A. (2010). Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 6(3), 114-122.
- Mirfattahi, Z., Roozban, M.R., Karimi, S., Tavallali, V., & Aliniasiford, S. (2018). Screening Salt Tolerance in Pistachio Seedlings by Evaluating Growth, Oxidative Damages and Mineral Composition. *Plant Productions*, 41(2), 13-29. [In Farsi]
- Nahed, G., El-Aziz, A., & Balbaa, L.K. (2007). Influence of tyrosine and zinc on growth, flowering and chemical constituents of *Salvia farinacea* plants. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(11), 1479-1489.
- Nair, R., Hanna Varghese, S., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., & Sakthi kumar, D. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, 179(3), 154-163.
- Prochazkova, D., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., & Singh, D. V. (2001). Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science*, 161(4), 765-771.
- Sairam, R.K., Rao, K.V., & Srivastava, G.C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163(5), 1037-1046.
- Sub Ba, P., Mukhopadhyay, M., Kumar Mahato, S., DikiBhutia, K., Kumar Mondal, T., & Kumar, G. (2014). Zinc stress induces physiological, ultra- structural and biochemical changes in mandarin orange (*Citrus reticulata* Blanco) seedlings. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 20(4), 461-473.
- Talaei, D., Abdul Kadir, M., Khanif Yusop, M., Valdiani, A., & Abdullah, M. P. (2012). Salinity effects on macro and micro nutrients uptake in medicinal plant King of Bitters (*Andrographis paniculata* Nees.). *Plant Omics Journal*, 5(3), 271-278.
- Tounekti, T., Vade, A., Gutierrez, M., Khemira, H., & Munne-Boschs, S. (2011). Salt-induced oxidative stress in rosemary plants: Damage or protection. *Environmental and experimental Botany*, 71(2), 298-305.
- Vojodi Mehrabani, L., Hassanpouraghdam, M.H., Ebrahimzadeh, A., & Valizadeh Kamran, R. (2016). Effects of ZnSO<sub>4</sub> foliar application on vegetative growth and phenolic and essential oil content of geranium (*Pelargonium odoratissimum* L.). *Journal of Ornamental Plants*, 6(3), 193-199.
- Vojodi Mehrabani, L., Valizadeh Kamran, R., & Hassanpouraghdam, M. B. 2019. Evaluation of some phytochemical characteristics of *Berberis integerrima* in response to Nano-Zinc foliar application and post-harvest drying temperature. *Plant Productions*, 42(3), 345-358. [In Farsi]
- Vojodi Mehrabani, L., Valizadeh Kamran, R., Hassanpouraghdam, M. B., & Pesarakli, M. (2017). Zinc sulfate foliar application effects on some physiological characteristics and phenolic and essential oil contents of *Lavandula stoechas* L. under sodium chloride (NaCl) salinity conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1860-1867.

- Xu, S., Li, J., Zhang, X., Wei, H., & Cui, L. (2005). Effects of heat acclimation pretreatment on changes of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultra-structure of chloroplasts in two cool-season turfgrass species under heat stress. *Environmental and Experimental Botany*, 56(3), 274-285.