مقاله پژوهشی
یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۱۱، شماره ۳، صفحات ۷۰ الی ۸۵ (۱۴۰۳)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Research Article
Nova Biologica Reperta 11(3): 70-85 (2024)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI:

تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی با نانوذره‌های سلنیوم و نقطه‌کوانتومی کربن بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)

لمیا وجودی مهربانی[1*]، خدیجه خانی[1]، ندا عزیزی[1]، رعنا ولیزاده کامران[2]

[1]گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران؛ [2]گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

مسئول مکاتبات: لمیا وجودی مهربانی،vojodilamia@gmail.com

چکیده. به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی (ظرفیت‌زراعی، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی با نانوذره‌های سلنیوم و نقطه کوانتومی کربن (صفر، و ۲ میلی‌گرم در لیتر) بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک رزماری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در سال ۱۴۰۱ انجام شد. نتایج نشان داد که اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی وزن‌خشک بخش هوایی گیاه، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، آب نسبی برگ، محتوای مواد جامد محلول برگ، مالون‌دی‌آلدئید، پرولین، اسانس، نیتروژن و فسفر گیاه را تحت تأثیر قرار داد. محتوای پتاسیم و نشت‌یونی تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. آبیاری در حد ظرفیت‌زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی کربن موجب افزایش وزن-خشک بخش هوایی گیاه، محتوای نیتروژن و مواد جامد محلول شد. بالاترین محتوای مالون‌دی‌آلدئید در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. محتوای پرولین در تیمارهای ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی نانوذره نقطه کوانتومی کربن افزایش یافت. تیمارهای ظرفیت‌زراعی ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی کربن موجب افزایش محتوای اسانس گیاه شد. محتوای آب نسبی برگ، کاروتنوئید، کلروفیل b و فسفر در تیمارهای ظرفیت‌زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی هر دو نانوذره دارای بیشترین مقدار بود. بالاترین محتوای کلروفیل a در تیمار ظرفیت‌زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت-زراعی با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی کربن مشاهده شد. در کل نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که استفاده از نانوذره نقطه کوانتومی کربن تأثیر مثبت بر صفات رشدی و فیزیولوژیک گیاه تحت تنش خشکی داشت.

واژه‌های کلیدی: اسانس، پرولین، کلروفیل، مالون‌دی‌آلدئید

The effects of drought stress and foliar spray of nano selenium and quantum dot on the growth and some physiological traits of *Rosmarinus officinalis* L.

Lamia Vojodi Mehrabani[1*], Khadijeh Khani[1], Neda Azezi[1], Rana Valizadeh Kamran[2]

[1]Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University; [2] Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University
Corresponding author: Lamia Vojodi Mehrabani,vojodilamia@gmail.com

Abstract. To investigate the effect of drought stress (field capacity, 50 and 30% of field capacity) and foliar spraying with selenium nanoparticles and carbon quantum dots (zero and 2 mg L^{-1}) on the growth and some physiological traits of rosemary; a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in the research greenhouse of Azerbaijan Shahid Madani University. Irrigation at field capacity and 50% of field capacity with duantum dot carbon spray increased the aerial part dry weight, nitrogen, and soluble solids content in the plant. The highest malondialdehyde content was observed in the 30% field capacity in the condition without foliar spraying. The proline content was increased by 50 and 30% field capacity with the application of carbon quantum dot nanoparticles. Field capacity treatments, 50 and 30% of field capacity with carbon quantum dot foliar application increased the essential oil content. Rlative water content, carotenoid, chlorophyll b and phosphorus content increased in the field capacity and 50% field capacity treatment with both nanoparticles foliar application. Overall, the results of this study showed that the use of carbon quantum dot nanoparticles had a positive effect on the growth and physiological traits of plants under drought stress.

Key words. Chlorophyll, Essential oil, Malondialdehyde, Proline
Received 15.06.2024/ Revised 24.09.2024/ Accepted 01.12.2024/ Published 01.12.2024
دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶/ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳/ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱/ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

مقدمه

رزماری با نام علمی *Rosmarinus officinalis* گیاهی همیشه سبز چوبی، متعلق به خانواده‌ی نعناعیان می‌باشد که به‌صورت بوته‌ای در اغلب مناطق جهان رشد می‌کند. رزماری گیاهی بومی مناطق مدیترانه‌ای می‌باشد. برگ‌های رزماری حاوی ترکیبات فنلی، فلانوئیدی، اسید رزمارینیک و اسانس می‌باشد. اسانس این گیاه حاوی پینن، کمفین، سینئول، برنئول، و کمفر می‌باشد (Dehghani Bidgoli, 2018). از اسانس رزماری به‌عنوان طعم‌دهنده غذا، لوازم آرایشی (عطرها، ادکلن‌ها و صابون) استفاده می‌شود. متابولیت‌های ثانویه رزماری دارای اثرات دارویی می‌باشد. از رزماری برای درمان بسیاری از بیماری‌ها مانند درمان افسردگی، بی‌خوابی، درمان دردهای آرتروز و همچنین ضدعفونی‌کننده استفاده می‌شود. اسانس مهم‌ترین جزء فعال موجود در گیاه است که نقش بسیار مهمی در فرآیندهای متابولیکی گیاه مخصوصاً تحت شرایط تنش را دارد (Ghasemzadeh Rahbardar et al., 2020).

تغییرات اقلیمی (افزایش دمای جهانی و کاهش بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک) یکی از عوامل تهدیدکننده امنیت غذایی در جهان است. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در جهان است (Hareem et al., 2024). از اثرات تنش خشکی برگیاه می‌توان به کاهش جذب آب توسط ریشه، کاهش پتانسیل آب‌برگ، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، تنفس، متابولیسم کربن، کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی، و کاهش رشد و نمو سلول اشاره کرد (Patnaik et al., 2023; Raza et al., 2024). اولین علائم تنش خشکی بر گیاه به‌صورت کاهش اندازه برگ، تقسیم سلولی و کاهش طول ساقه مشاهده می‌شود (Al-Huqail et al., 2023). تنش خشکی با افزایش محتوای رادیکال‌های آزاد اکسیژن موجب ایجاد آسیب اکسیداتیو در گیاه می‌شود (Yasmeen et al., 2022). تنش همچنین موجب فرسایش منابع خاکی، و کاهش تنوع زیستی و مهاجرت می‌شود (Ostadi et al., 2023). نتایج یک بررسی در کینوا نشان داد که تنش خشکی تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاه داشت (Raza et al., 2024).

توسعه سیستم‌های کشاورزی با استفاده از نانوابزارها یک استراتژی عالی برای کاهش یا حذف تأثیر کودها و سموم شیمیایی بر اکوسیستم است. کوانتوم‌دات‌ها نانوذرات نیمه‌هادی، بدون بعد، با اندازه کوچک (کمتر از ۱۰ نانومتر) و نسبت سطح به حجم بالای می‌باشند که موجب ایجاد خواص متفاوتی برای آن‌ها شده است. این ویژگی آن‌ها را به ترکیباتی بسیار واکنش‌پذیر تبدیل کرده است (Agarwal et al., 2023). نقاط کوانتومی با کمک به جذب عناصر غذایی به حفظ سلامتی گیاه کمک می‌کنند. از خاصیت فلورسنت این ترکیبات برای برچسب‌گذاری و تصویربرداری درون‌سلولی در مطالعات زیستی استفاده می‌شود. نقاط کوانتومی مبتنی بر کربن خواص متفاوتی از نقاط کوانتومی نشان داده و به‌عنوان نسل جدید این گروه از نانوذرات شناخته شده‌اند. شکل گرد این نانوذرات موجب ویژگی منحصر به‌فرد فیزیکوشیمیایی آن‌ها شده است. این ذرات دارای سمیت‌کم، حلالیت بالا در آب، زیست‌سازگاری و تجزیه‌پذیری زیستی هستند (Khan et al., 2022). نتایج یک بررسی در انگور نشان داد که استفاده از نانوذرات نقطه کوانتومی متصل به پوترسین در انگور موجب بهبود رشد و برخی صفات فیزلوژیکی انگور تحت تنش شوری شد (Gohari et al., 2021).

سلنیوم یکی از عناصر معدنی مورد استفاده در کنترل تنش‌های محیطی مخصوصاً تنش خشکی می‌باشد. آستانه بین کمبود و سمیت سلنیوم در موجودات زنده بستگی به فاکتورهایی مانند ترکیب شیمیایی آن، غلظت و شرایط محیطی دارد (Hasanuzzaman et al., 2020). سلنیوم نقش بسیار مهمی در محافظت از کلروپلاست (تجمع نشاسته در کلروپلاست شده) و کلروفیل تحت تنش کم‌آبی در گیاه را دارد (Rady et al., 2020; Shahzadi et al., 2023). سلنیوم در ترکیب سلنوپروتئین‌ها وجود داشته که نقش بسیار مهمی در بهبود متابولیسم، محافظت از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانتی، تنظیم واکنش‌های رودکس و کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت تنش‌های محیطی در گیاه را دارد. تحت شرایط تنش کاربرد سلنیوم موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های سوپراکسید و اکسیژن منفرد و محتوای مالون‌دی‌آلدئید در گیاه می‌شود

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

(Rady et al., 2020). سلنیوم موجب افزایش پایداری غشای سلول و محتوای آب نسبی برگ در توت‌فرنگی (Zahedi et al., 2020) و تجمع پرولین در کنجد (Thuc et al., 2021) شد. کاربرد نانوذره سلنیوم تحت تنش خشکی در برنج موجب افزایش عملکرد گیاه شد (Patnaik et al., 2023).

تحقیقات آینده در خصوص گیاهان دارویی باید متکی بر دو اصل بهبود تولید و توسعه گیاهان دارویی (افزایش زیست‌توده) و تحریک چرخه بیوشیمیایی برای تولید متابولیت‌های ثانویه تحت شرایط تنش‌های محیطی باشد. تحقیقات روی گیاهان دارویی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. کشور ما با توجه به محدودیت منابع آبی نیازمند تحقیقاتی در راستای توسعه کشت گیاهان مقاوم به کم‌آبی می‌باشد. در این راستا هدف از بررسی حاضر ارزیابی اثرات تنش آبی و محلول‌پاشی با نانوذره های نقطه کوانتومی کربن و سلنیوم بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه رزماری می‌باشد تا در صورت حصول به نتیجه مطلوب، بتوان از آن در بخش تحقیقات کشاورزی استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

در بررسی حاضر تأثیر سه سطح تنش خشکی (ظرفیت زراعی (۳۰ درصد وزنی خاک)، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت-زراعی) و محلول‌پاشی با نانوذره‌های سلنیوم و نقطه کوانتومی کربن (US Nano Company) (غلظت‌های صفر و ۲ میلی‌گرم در لیتر) (Vojodi Mehrabani et al., 2018) بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک رزماری، در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در سال ۱۴۰۱مورد بررسی قرار گرفت. مدت روشنایی و تاریکی گلخانه در طول دوره رشد گیاه به‌صورت ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی تنظیم شد. میانگین دمای گلخانه ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد در روز و ۱۸ درجه‌سانتی-گراد در شب بود. نشاهای ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متری رزماری به گلدان‌های ۵ لیتری حاوی خاک منتقل شدند. به مشخصات خاک در جدول یک اشاره شده است. سه هفته بعد از سازگاری گیاهان با شرایط گلخانه، تیمارهای تنش خشکی اعمال شد. تیمار تنش خشکی در سه سطح، ظرفیت زراعی، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. محلول‌پاشی با نانوذرات همزمان با اعمال تنش خشکی انجام شد و محلول-پاشی دوم دو هفته بعد تکرار شد. چهل روز بعد از آخرین محلول‌پاشی، نمونه‌برداری از گیاهان برای مطالعه صفات مورد نظر انجام گرفت. طول دوره ماندگاری گیاهان از زمان انتقال نشاها به گلدان‌ها تا برداشت گیاهان برای اندازه‌گیری صفات، ۶۱ روز بود.

جدول ۱- مشخصات فیزیکو-شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1. Physico-chemical characteristics of soil (0-30 cm)

Soil Characteristics	N content (%)	K content (%)	P content (%)	Organic matter (%)	pH	EC (dsm^{-1})
Sandy loam	0.05	0.6	0.8	0.58	7.2	1.3

اندازه‌گیری وزن‌خشک بخش هوایی گیاه

برای اندازه‌گیری وزن‌خشک، بخش هوایی گیاه، از محل طوقه قطع شد، سپس در دمای اتاق (۳۰-۲۵ درجه-سانتی‌گراد) خشک شدند. برای اندازه‌گیری وزن‌خشک گیاه از ترازوی دیجیتال (BBI41,Boeco, Germany) استفاده شد. ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل

ابتدا ۰/۵ گرم نمونه برگی رزماری در ۵ میلی‌لیتر دی-متیل سولفوکساید به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۶۵ درجه-سانتی‌گراد قرار گرفت. اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a و b به‌کمک طیف‌های نوری ۶۶۵ و ۶۴۸ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (T80 ساخت چین) انجام شد (Shinano et

al., 1996). محتوای کاروتنوئید به روش آرنون (۱۹۴۹) در طیف نوری ۴۸۰ نانومتر تعیین شد.

محتوای آب نسبی برگ

ابتدا چند قطعه برگ از ساقه جدا و وزن‌تر آن اندازه-گیری شد (FW). نمونه برگی داخل آب مقطر، به‌مدت ۴ ساعت در یخچال قرار گرفت، سپس وزن‌آماس آن تعیین شد (TW). نمونه‌های آماس یافته به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار گرفت، تا وزن‌خشک (DW) محاسبه شود. محتوای نسبی آب برگ با رابطه RWC = (FW-DW)/(TW-DW) *100 محاسبه گردید (Chartzoulakis et al., 2002).

نشت‌یونی

روی ۰/۲ گرم از بافت برگ شسته شده، ۱۰میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و دو ساعت در حمام آب گرم ۳۲ درجه قرار گرفت سپس هدایت الکتریکی نمونه (EC1) اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، نمونه در دمای ۱۲۱ درجه به‌مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شد و بعد از خنک شدن تا دمای ۲۵ درجه-سانتی‌گراد، هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد (EC2). سپس درصد نشت‌یونی از رابطه 100×(EC1/EC2) محاسبه شد (Hamed et al., 2007).

اندازه‌گیری محتوای مالوندی‌آلدئید

روی نمونه سائیده شده (۰/۲ گرم)، ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید یک درصد حجمی اضافه و به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰g سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی با ۴ میلی‌لیتر از مخلوط تیوباربیتوریک اسید (۵ درصد) + تری کلرواستیک اسید (۲۰ درصد) مخلوط، و به-مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه‌سانتی‌گراد نگهداری شد. برای توقف فعالیت آنزیم‌ها نمونه‌ها بلافاصله روی یخ قرار داده شد. مخلوط به‌مدت ۵ دقیقه در g ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شد و جذب نمونه‌ها توسط اسپکتروفتومتر (T80+, China) در ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Heath and Packer, 1968).

محتوای مواد جامد محلول

محتوای مواد جامد محلول برگ رزماری با استفاده از رفرکتومتر دستی (Erma, Tokio, Japan) تعیین گردید.

اندازه‌گیری محتوای پرولین

روی ۰/۲ گرم نمونه برگ سائیده شده در ازت مایع، ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد اضافه، و به‌مدت ۷ دقیقه، با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی با همان حجم اسید نین‌هیدرین و یک میلی‌لیتر اسید گلاسیال مخلوط شد و به‌مدت یک ساعت در حمام آب (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت. بعد از خروج از حمام، نمونه‌ها به حمام یخ به‌مدت ۵ دقیقه منتقل شدند. بعد از خارج‌کردن نمونه‌ها از حمام یخ، روی آن‌ها ۲ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و به‌مدت ۳۰ ثانیه تکان داده شد، سپس نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در وضعیت سکون قرار گرفتند. محتوای پرولین در طیف نوری ۵۲۰ نانومتر اندازه-گیری شد (Fedina et al., 2006).

اندازه‌گیری عناصر برگ

ابتدا یک گرم از پودر خشک‌شده برگ رزماری در کوره الکتریکی در دمای ۳۵۰ درجه‌سانتی‌گراد به‌مدت ۳ ساعت به خاکستر تبدیل شد. روی نمونه، ۲۰ میلی‌لیتر اسیدنیتریک یک نرمال اضافه و به دمای ۹۰ درجه‌سانتی‌گراد در حمام آب گرم منتقل گردید تا اسید تبخیر شود. روی نمونه هضم-شده، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر اضافه و صاف شد. از روش فلایم‌فتومتری (Corning, 410, England) برای اندازه‌گیری محتوای عنصر پتاسیم استفاده شد. محتوای نیتروژن برگ رزماری با استفاده از روش کجلدال تعیین شد. محتوای فسفر به روش رنگ‌سنجی وانادات مولیبدات اندازه-گیری گردید (AOAC, 1990).

محتوای اسانس

برای تهیه اسانس ۳۵ گرم از نمونه خشک‌شده رزماری در دستگاه کلونجر به روش تقطیر با آب به‌مدت ۳/۵ ساعت اسانس‌گیری گردید. از سولفات‌سدیم خشک برای حذف آب اضافی اسانس استفاد شد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

طرح آزمایشی و آنالیز داده‌های آماری

از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی برای آنالیز داده‌ها در نرم‌افزارSAS استفاده شد. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مقایسه گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع و وزن‌خشک بخش هوایی گیاه

اثرات دوگانه تنش خشکی و محلول‌پاشی ارتفاع و وزن-خشک بخش هوایی گیاه را تحت‌تأثیر قرار داد (جدول ۲). آبیاری در حد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی همراه با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی کربن موجب افزایش وزن‌خشک بخش هوایی گیاه شد. ارتفاع گیاه در تیمار آبیاری در حد ظرفیت‌زراعی و محلول‌پاشی با نقطه کوانتومی کربن افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش ۲۶ درصدی نسبت به شاهد بود (جدول ۳). تنش خشکی یکی از عوامل تحت تأثیر قراردهنده رشدگیاه است که موجب ایجاد تغییرات بیوشیمیایی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه می‌شود (Asghari et al., 2023). تنش با ایجاد آشفتگی در فرایندهای متابولیکی، آسیب به ساختار سلول، کاهش تقسیم سلولی و کاهش تولید سلول موجب آسیب به گیاه می‌شود (Su et al., 2024). تنش خشکی شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب کاهش عملکرد بالنگو تا ۳۴ درصد شد (Javanmard et al., 2022). استفاده از ۰/۴درصد کوانتوم‌دات روی همراه با پرولین موجب افزایش وزن‌خشک و ارتفاع فلفل شد (Hareem et al., 2024). در تحقیقی دیگری در کاهو مشخص شد که استفاده از نانوذره نقطه کوانتومی موجب افزایش عملکرد گیاه شد (Liang et al., 2021). محلول‌پاشی با نانوذره سلنیوم تحت تنش خشکی (۶۰ درصد) موجب افزایش عملکرد ریحان شد (Asghari et al., 2023). نانوذرات کربنی با کمک به جذب مواد غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، جذب آب توسط گیاه (Liang et al., 2021)، و افزایش فعالیت ترکیبات آنتی-اکسیدانی مانند اسکوربات، گلوتاتیون و توکوفرول سبب کاهش تاثیر رادیکال آزاد (Ramadoss et al., 2021) برگیاه شده و موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود. نانوذرات کربنی با ایجاد تغییر در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی سلول، منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه شد (Ghasemi Aghash et al. 2022). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز در تائید مطالعات انجام شده فوق درخصوص تأثیر مثبت نانوذرات مورد استفاده در بررسی حاضر مخصوصاً نقطه کوانتومی کربن بر رشد گیاه بود. چنین به‌نظر می‌رسد که تحت شرایط تنش استفاده از نانوذرات کربنی نقش مهمی در بهبود رشد گیاه از طریق جلوگیری از تأثیر رادیکال‌های آزاد بر گیاه داشته و با کمک به پایداری پروتئین‌ها و دیواره سلول به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Anjum et al., 2014). درکل سطح ویژه بالای نانوذرات نقش مهمی در کنترل و دریافت مواد غذایی، تنظیم‌کننده‌های رشد و آب توسط گیاه را داشته و منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود.

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثرات دوگانه تیمارهای آزمایشی محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی را تحت‌تأثیر قرار داد (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین محتوای کلروفیل a در تیمار آبیاری در حد ظرفیت‌زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی کربن به‌ترتیب به‌میزان ۲/۶ و ۱/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر مشاهده شد. آبیاری در حد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با محلول‌پاشی نانوذره کوانتوم‌دات کربن و سلنیوم موجب افزایش محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید گیاه شد (جدول ۳). تنش خشکی موجب کاهش محتوای کلروفیل بالنگو (*Lallemantia iberica*) (Javanmard et al., 2022) از طریق تخریب کلروپلاست (Su et al., 2024) شد. استفاده از نقطه کوانتومی روی همراه با پرولین موجب افزایش محتوای کلروفیل در فلفل شد (Hareem et al., 2024). در یک بررسی در کاهو مشخص شد که استفاده از نانوذره اکسید روی –نقطه کوانتومی موجب افزایش محتوای کلروفیل گیاه شد (Liang et al., 2021). در یک بررسی در ریحان مشخص شد که استفاده از نانوذره سلنیوم در شرایط بدون تنش خشکی موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان شد و کمترین محتوای کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (Asghari et al., 2023). محلول‌پاشی گیاه با نانوذره سلنیوم موجب افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسیستم دو در گیاه شد که دلیل آن کاهش اثرات رادیکال‌های آزاد بر گیاه در اثر کاربرد نانوذره بود. تنش خشکی موجب تغییر در ساختار روزنه در گیاه می‌شود اما کاربرد نانوذره سلنیوم با بازگردان روزنه به حالت اولیه موجب جلوگیری از آسیب وارده به گیاه می‌شود (Su et al., 2024). افزایش عملکرد گیاه بعد از کاربرد نانوذره سلنیوم در ارتباط با بهبود رشد ریشه و جذب عناصر غذایی، هدایت روزنه‌ای، فعالیت آنزیم روبیسکو، فتوسنتز و رشد گیاه می‌باشد (El-Ramady et al., 2016). استفاده از نانوذره سلنیوم تحت تنش خشکی موجب افزایش محتوای کلروفیل در گیاه داودی (*Chrysanthemum morifolium*) شد (Seliem et al., 2020). نانوذرات کربنی با کمک به جذب آب، تقسیم سلولی، تحریک فتوسنتز، موجب انتقال مواد غذایی جذب شده توسط گیاه شده و موجب افزایش زیست-توده در گیاه شد (Ghasemi Agbhash et al. 2022). کلروفیل نقش مهمی در جذب انرژی نورانی خورشید دارد. افزایش محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز، افزایش جذب مواد غذایی در اثر کاربرد نانوذرات موجب افزایش کارایی جذب نور توسط گیاه و تولید کربوهیدرات می‌شود که نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه دارد (Seliem et al., 2020; Hareem et al., 2024).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر وزن‌خشک، ارتفاع و برخی صفات فیزیولوژیک رزماری

Table 2. Analysis of variance for the effects of drought stress and foliar spray on dry weight, plant height and some physiological charactrastics of *Rosmarinus officinalis* L.

Source of variation	df	Arieal part dry weight	Plant height	Chlorophyll a content	Chlorophyll b content	Carotenoid content	Relative water content	Ion leakage	Malondialdehyde content
Replication	2	384^{*}	1420^{*}	41^{*}	1.0^{*}	0.36^{*}	11^{ns}	15^{ns}	24^{ns}
Drought stress (D.S)	2	52^{**}	1358^{**}	24^{*}	0.28^{*}	0.47^{**}	45^{*}	29^{*}	96.1^{**}
Foliar spray (F.S)	1	497^{**}	3214^{*}	107^{**}	0.08^{*}	0.28^{*}	8.8^{ns}	47^{*}	54^{*}
D.S × F.S	2	153^{*}	85^{*}	39^{*}	0.75^{**}	1.74^{**}	35^{*}	10.8^{ns}	189^{*}
Error	16	3.8	31	4.5	0.001	0.17	17	11	39
C.V (%)		6.2	4.1	6.4	5.3	11	8.0	10.2	10

^{ns}، *و **به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ns, * and ** refer to nonsignificant and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر صفات رشدی و فیزلوژیکی رزماری

Table 3. Mean compression for the interaction effects of drought stress and foliar spray on growth, Photosynthetic pigment and relative water content of *Rosmarinus officinalis* L.

Drought stress	Foliar application (2 mg L^{-1})	Arieal part dry weight (g)	Plant height (cm)	Chlorophyll a content (mg g^{-1}FW)	Chlorophyll b content (mg g^{-1}FW)	Carotenoid content (mg g^{-1}FW)	Relative water content (%)
F.C.	Without foliar spray	6.2^{b}	15.0^{c}	1.5^{b}	0.9^{b}	0.9^{b}	81^{b}
F.C.	Nano -Se	6.8^{b}	16.2^{b}	1.5^{b}	1.1^{a}	1.1^{ab}	88^{ab}
F.C.	Q.D.C.	8.5^{a}	18.9^{a}	2.6^{a}	1.3^{a}	1.3^{a}	92^{a}
50% F.C.	Without foliar spray	5.3^{bc}	15.1^{c}	1.3^{c}	0.7^{b}	0.8^{b}	68^{b}
50% F.C.	Nano -Se	6.9^{b}	15.9^{cb}	1.8^{b}	1.1^{a}	1.1^{ab}	81^{ab}
50% F.C.	Q.D.C.	7.2^{ab}	16.2^{b}	2.1^{ab}	1.2^{a}	1.1^{ab}	89^{ab}
30% F.C.	Without foliar spray	3.3^{c}	14.3^{d}	0.8^{d}	0.5^{b}	0.5^{c}	57^{c}
30% F.C.	Nano -Se	4.1^{c}	15.1^{c}	1.0^{d}	0.5^{b}	0.8^{c}	67^{b}
30% F.C.	Q.D.C.	5.9^{cb}	16.3^{b}	1.4^{c}	0.8^{bc}	0.9^{b}	71^{b}

Field capacity (FC); Quantum dot carbon (Q.D.C.)

تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت براساس آزمون دانکن (۵٪ ≥P) نشان داده شده است

Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤5%).

محتوای آب نسبی برگ

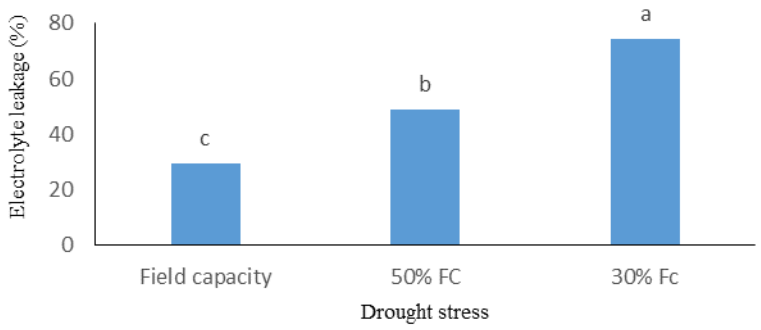
تیمارهای آبیاری در حد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط محلول‌پاشی با نانوذره سلنیوم و نقطه کوانتومی کربن موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ شد. کم‌ترین محتوای آب نسبی برگ در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۳). تنش خشکی ۳۵ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش محتوای آب نسبی سورگوم شد اما محلول‌پاشی با نانوذره سلنیوم موجب افزایش آب‌نسبی برگ و محتوای کلروفیل گیاه شد (Aissa et al., 2018). اثرات سودمند سلنیوم تنها مربوط به متابولیسم گیاه نیست، بلکه سلنیوم نقش بسیار مهمی در بهبود فاز رویشی و زایشی گیاه، مخصوصاً در مواجه گیاه با تنش‌های محیطی را دارد. سلنیوم موجب کاهش اثرات منفی تنش‌خشکی بر گیاه از طریق افزایش تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و پرواکسیدانی می‌شود که منجر به کاهش تولید رادیکال‌های آزاد در گیاه می‌شود (Zakeri et al., 2021). افزایش ورود آب به سلول مخصوصا در اثر کاربرد نانوذرات کربنی به این دلیل است که نانوذرات کربنی به‌عنوان کانال‌هایی برای ورود آب به سلول عمل کرده که موجب تسریع در تقسیم سلولی و رشد سلول می‌شود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Ghasemi Agbhash et al. 2022). در بررسی حاضر چنین به‌نظر می‌رسد که تجمع اسمولیت‌های در اثر کاربرد نانوذرات یکی از دلایل افزایش محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش باشد. محلول‌پاشی با سلنیوم تحت شرایط تنش با بهبود رشد ریشه سورگوم موجب افزایش جذب آب و تنظیم بالادست ژن‌های درگیر در بیوسنتز آکواپورین‌ها شده و با کمک به حفظ تمامیت غشای‌سلول به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Liu et al., 2015).

نشت‌یونی و محتوای مالون دی‌آلدئید

اثرات اصلی تنش خشکی و محلول‌پاشی نشت‌یونی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). براساس نتایج حاصل بیشترین نشت‌یونی در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و کمترین میزان نشت‌یونی نیز در تیمار شاهد

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

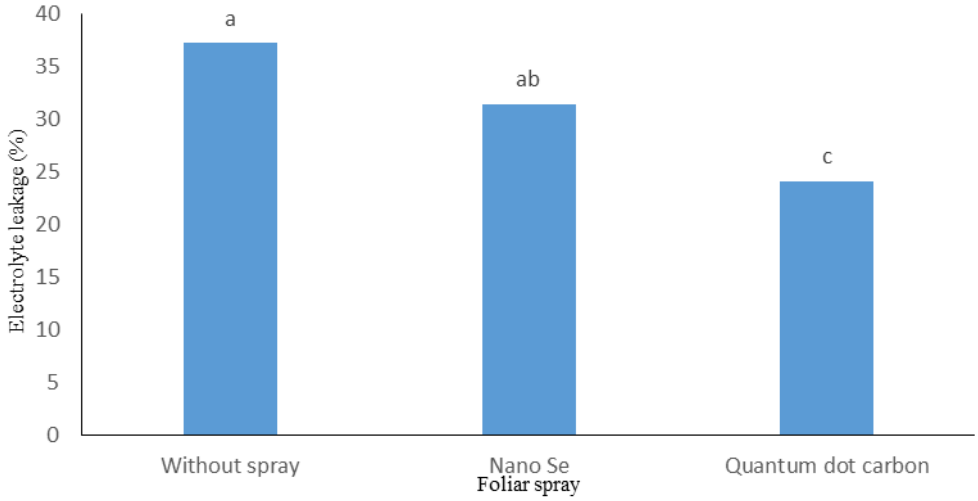
مشاهده شد (شکل ۱). محلول‌پاشی با نانوذره نقطه کوانتومی کربن موجب کاهش نشت یونی به میزان ۳۹ درصد نسبت به شاهد شد (شکل ۲). بیشترین محتوای مالون‌دی‌آلدئید در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. کمترین محتوای مالون دی-آلدئید در تیمار ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی هر دو نانوذره مشاهده شد (جدول ۴). در یک مطالعه در تلخون مشخص شد که استفاده از گرافن اکسید موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید تحت تنش شوری شد (Hassanpouraghdam et al., 2023). استفاده از نانوذرات کربنی از طریق تحریک رشد و کاهش تجمع پراکسید هیدروژن موجب افزایش پایداری غشای سلول در شرایط تنش می‌شود (Hassanpouraghdam et al., 2023). تنش‌های محیطی با تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن موجب آسیب به غشای سلول، DNA، چربی، پروتئین و سایر ماکرومولکول‌ها در گیاه شده و به این طریق متابولیسم طبیعی گیاه را دچار اختلال می‌کند. تنش خشکی موجب افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدیئد و پراکسید هیدروژن در *Gentiana macrophylla* شد. محلول‌پاشی با نانوذره سلنیوم موجب کاهش اثرات تنش خشکی بر گیاه شد (Su et al., 2024). کاهش در محتوای مالون‌دی‌آلدئید در اثر استفاده از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره اکسید روی - کوانتوم‌دات در کاهو مشاهده شد (Liang et al., 2021). استفاده از نانوذره سلنیوم و گرافن اکسید موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید ریحان شد (Vojodi Mehrabani et al., 2023). سلنیوم با کمک به پایداری دیواره سلول به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کند. نانوذره سلنیوم موجب فعال‌شدن مسیرهای ازبین برنده رادیکال‌های آزاد از طریق فعال‌شدن سیستم آنتی-اکسیدانی در گیاه و پایداری غشای سلول می‌شود (Sharma et al., 2022). سلنیوم از اجزای سیستم گلوتاتیون پراکسیداز در گیاه است که نقش مهمی در کاهش رادیکال‌های آزاد در گیاه را داشته و به محافظت از غشای سلول در گیاه کمک می‌کند (Chen et al., 2020). چنین به‌نظر می‌رسد که استفاده از نانوذرات تعدیل دهنده‌ی تنش-های محیطی در گیاه، موجب کاهش اثرات تنش آبی برگیاه و جلوگیری از تخریب غشاهای زیستی شده و به این طریق به بقای گیاه کمک می‌کند. سلنیوم و نانوذرات کربنی موجب محافظت گیاه در مقابل آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو می‌شود که این عمل را از طریق فعال کردن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای رادیکال-های آزاد اکسیژن انجام می‌دهد (Aazami et al., 2022; Su et al., 2024).



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی بر نشت یونی رزماری. تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت براساس آزمون دانکن (۵٪ ≥P) نشان داده شده است

Figure 1. Mean compression for the effects of drought stress on ion leakage of *Rosmarinus officinalis* L. Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤5%).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی بر نشت‌یونی رزماری. تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت براساس آزمون دانکن (۵٪ ≥P) نشان داده شده است.

Figure 2. Mean compression for the effects of foliar spray on ion leakage of *Rosmarinus officinalis* L. Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤5%).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر برخی صفات فیزیولوژیک رزماری

Table 4. Mean compression for the interaction effects of drought stress and foliar spray on some physiological charactrastics of *Rosmarinus officinalis* L.

Drought stress	Foliar application (2 mg L^{-1})	Malondialdehyde content (nmol g^{-1} FW)	Total soluble solid content (°Brix)	Proline content mg g^{-}) (^{1}FW	Essential oil content (%)	N content (g Kg^{-1} DW)	P content (g Kg^{-1} DW)
F.C.	Without foliar spray	8.08^{d}	0.8^{b}	6.5^{c}	0.27^{c}	11.0^{c}	13.0^{c}
F.C.	Nano -Se	6.40^{e}	0.8^{b}	7.2^{c}	0.29^{c}	12.3^{b}	19.0^{ab}
F.C.	Q.D.C.	5.11^{e}	1.4^{a}	8.9^{b}	0.41^{ab}	17.8^{a}	21.0^{a}
50% F.C.	Without foliar spray	11.8^{c}	0.7^{b}	8.8^{b}	0.32^{b}	9.2^{cd}	10.2^{c}
50% F.C.	Nano -Se	10.2^{c}	0.8^{b}	10.2^{ab}	0.35^{b}	12.4^{b}	19.4^{ab}
50% F.C.	Q.D.C.	7.60^{d}	1.2^{ab}	12.4^{a}	0.47^{a}	16.8^{ab}	19.3^{ab}
30% F.C.	Without foliar spray	24.1^{a}	0.5^{c}	8.1^{b}	0.21^{c}	8.80^{d}	7.30^{d}
30% F.C.	Nano -Se	16.7^{b}	0.7^{b}	9.2^{b}	0.32^{b}	10.3^{c}	10.2^{c}
30% F.C.	Q.D.C.	15.9^{b}	0.9^{b}	10.3^{ab}	0.39^{ab}	12.9^{b}	11.3^{c}

Field capacity (FC); Quantum dot carbon (Q.D.C.)

تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت براساس آزمون دانکن (۵٪ ≥P) نشان داده شده است

Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤5%).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

محتوای مواد جامد محلول و پرولین

نتایج نشان داد که آبیاری در حد ظرفیت‌زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی کربن به‌ترتیب موجب افزایش محتوای مواد جامد محلول به ۱/۴ و ۱/۲ درجه بریکس شد (جدول ۳). محتوای پرولین تحت تأثیر اثرات دوگانه تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین محتوای پرولین در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی‌کربن و تیمار ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی‌کربنی مشاهده شد (جدول ۴). تجمع پرولین و مواد جامد محلول در پاسخ به تنش‌های محیطی در ارتباط با تنظیم اسمزی و محافظت از غشای سلول است. بیوسنتز هردو ترکیب موجب می‌شود تا سطح رادیکال‌های آزاد در گیاه درحد نرمال حفظ شده و به پایداری غشای سلول و حفظ تورژسانس سلولی کمک می‌کند (Sharma et al., 2022). افزایش جذب عناصر غذایی توسط کاهو در اثر کاربرد نقطه کوانتوم روی موجب افزایش محتوای مواد جامد محلول در گیاه شد (Liang et al., 2023). محلول‌پاشی ذرت با نانوذره روی- نقطه کوانتومی موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در ذرت شد (Alotibi et al., 2023). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد تولیدشده در گیاه در اثر فرایندهای متابولیکی را دارند (Alotibi et al., 2023). در یک بررسی در ریحان (Asghari et al., 2023) و گیاه *Gentiana macrophylla* (Su et al., 2024) مشخص شد که محلول‌پاشی نانوذره سلنیوم موجب افزایش محتوای مواد جامد محلول و پرولین تحت تنش‌خشکی شد. محلول‌پاشی با نانوذره سلنیوم و گرافن‌اکسید موجب افزایش محتوای پرولین ریحان شد (Vojodi Mehrabani et al., 2023). محلول‌پاشی با کوانتوم‌دات حاوی روی و پرولین موجب افزایش محتوای پرولین تحت تنش خشکی در فلفل شد (Hareem et al., 2024). پرولین محافظ اسمزی در گیاه است که به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کند. همچنین در شرایط تنش گیاه از پرولین به‌عنوان منبع نیتروژن، کلسیم، فسفر و پتاسیم استفاده می‌کند (Ali et al., 2008; Chun et al., 2018). پایداری کمپلکس انتقال الکترون میتوکندری، پروتئین و پایداری آنزیم روبیسکو از نتایج افزایش پرولین در گیاه است (Hamilton et al., 2001). نانوذره گرافن اکسید با کمک به بیان ژن‌ها موجب افزایش بیوسنتز ترکیبات درگیر در افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش شد. همچنین این ترکیب با ایجاد تغییر در ویژگی‌های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه به افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش کمک کرد (Li et al., 2018). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز در تائید مطالعات فوق بوده و نشان داد که استفاده از نانوذره نقطه کوانتومی‌کربن به دلیل افزایش فتوسنتز و نیز کمک به جذب عناصر غذایی نقش مهمی در در افزایش محتوای ترکیبات آنتی‌آکسیدانی گیاه داشته و مؤثرتر از نانوذره سلنیوم بود.

جدول۵- تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر محتوای پرولین، درصد اسانس، و محتوای عناصر رزماری

Table 5. Analysis of variance for the effects of drought stress and foliar application with nano Se and quantumdot carbon on proline, essential oil and elemental content of *Rosmarinus officinalis* L.

Source of variation	df	Proline content	Total soluble solid content	Essentiao oil content	N content	P content	K content
Replication	2	3.9^{*}	2.9^{ns}	0.09^{*}	9.2^{*}	2.7^{*}	0.8^{ns}
Drought stress (D.S)	2	8.7^{**}	5.5^{ns}	0.06^{*}	10.5^{**}	15.3^{*}	2.9^{*}
Foliar spray (F.S)	1	6.2^{*}	24^{*}	0.08^{*}	18.2^{*}	34.2^{**}	1.09^{*}
D.S × F.S	4	28.9^{**}	36^{**}	0.34^{**}	39.2^{**}	56^{**}	0.98^{ns}
Error	16	1.9	8.9	0.009	2.7	6.6	5.4
C.V (%)		4.8	13	2.6	5.6	10	9.3

ns، * و ** به‌ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

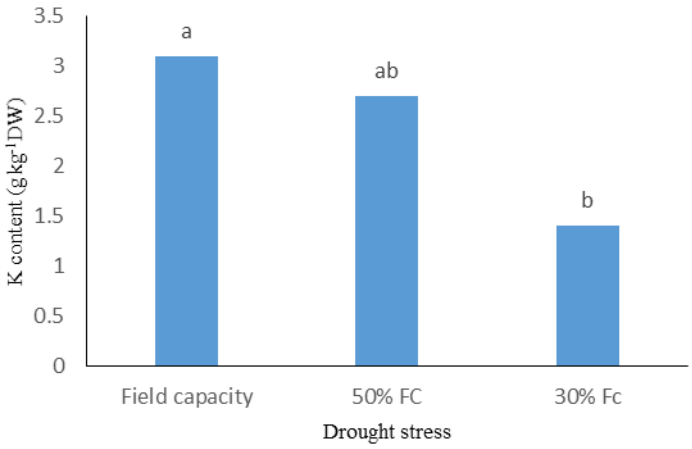
ns, * and ** refer to nonsignificant and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم

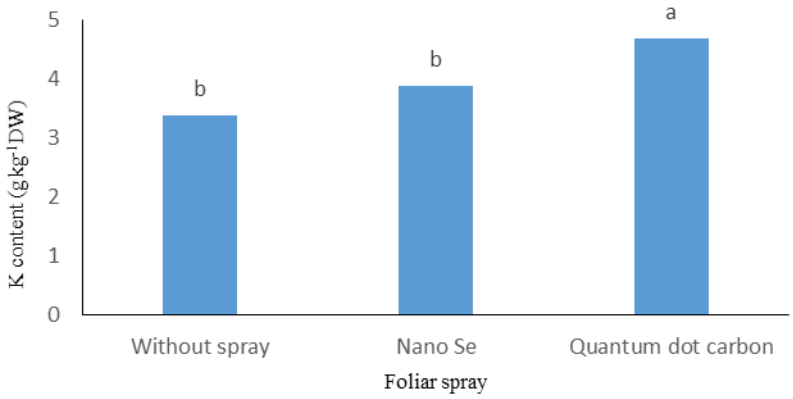
اثرات دوگانه تیمارهای آزمایشی محتوای نیتروژن گیاه را تحت تأثیر قرارداد (جدول ۵). بیشترین محتوای نیتروژن در تیمارهای ظرفیت‌زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی نانوذره نقطه کوانتومی کربن مشاهده شد. کمترین محتوای نیتروژن نیز در تیمارهای شاهد و ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی نانوذره سلنیوم و تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. بالاترین محتوای فسفر در تیمار ظرفیت‌زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی هر دو نانوذره مشاهده شد (جدول ۴). اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی محتوای پتاسیم گیاه را تحت تأثیر قرارداد (جدول ۵). بالاترین محتوای پتاسیم در تیمار ظرفیت‌زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی مشاهده شد. کمترین محتوای پتاسیم نیز در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی مشاهده شد (شکل ۳). تیمار محلول‌پاشی با نانوذره نقطه کوانتومی کربن موجب افزایش محتوای پتاسیم نسبت‌به تیمارهای محلول‌پاشی با نانوذره سلنیوم و شرایط بدون محلول‌پاشی شد (شکل ۴). تنش خشکی موجب اختلال در جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود. استفاده از نقطه کوانتوم روی همراه با پرولین موجب افزایش محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در فلفل شد (Hareem et al., 2024). محلول‌پاشی گیاه با نانوذره اکسید روی- نقطه کوانتوم موجب افزایش محتوای عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در کاهو شد (Liang et al., 2021). نانوذرات نقش مهمی در جذب عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه را دارند تجمع مواد غذایی ضروری در گیاه راه مناسبی برای ارزیابی اثر نانوذرات برگیاه است (Wang et al., 2020). تغذیه مناسب گیاه ارتباط مستقیمی با عملکرد کلروفیل و افزایش بیوماس گیاه دارد (Wang et al., 2020). نتایج بررسی انجام شده در ریحان نشان داد که استفاده از نانوذره سلنیوم و گرافن اکسید موجب افزایش جذب نیتروژن، منیزیم و پتاسیم در گیاه شد (Vojodi Mehrabani et al., 2023). تحت شرایط تنش نانوذره سلنیوم، نقش مهمی در کمک به جذب عناصر غذایی، تنظیم نسبت عناصر غذایی و حفظ قدرت رشدی گیاه دارد (Vojodi Mehrabani et al., 2023). نانوذرات سلنیومی و کربنی نقش مهمی در کاهش اثرات تنش‌های محیطی برگیاه از طریق فعال‌کردن سیستم دفاع آنزیمی و غیرآنزیمی داشته و به این طریق به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Aazami et al., 2022). استفاده از نانوذره گرافن اکسید موجب افزایش جذب عناصرغذایی و عملکرد شوید تحت تنش شوری شد (Hassanpouraghdam et al. 2022). قابلیت حل‌شدن، تاثیرگذاری بالا، ثبات و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره‌ی رشد گیاه موجب افزایش کارآیی کودها و جذب بهتر آن‌ها توسط گیاه شده است که نهایتا منجر به افزایش عملکرد توسط گیاه می‌شود. جذب و رهاسازی تدریجی عناصرغذایی بر تجمع آن در بافت‌های مختلف تاثیر داشته و موجب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود. نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز در تایید مطالعات انجام شده فوق در خصوص اثرات مثبت نانوذرات بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی بر محتوای پتاسیم رزماری. تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت براساس آزمون دانکن (P≤ ٪۵) نشان داده شده است

Figure 3. Mean compression for the effects of drought stress on K content of *Rosmarinus officinalis* L. Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤5%).



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی بر محتوای پتاسیم رزماری. تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با حروف متفاوت براساس آزمون دانکن (P≤ ٪۵) نشان داده شده است

Figure 4. Mean compression for the effects of foliar spray on K content of *Rosmarinus officinalis* L. Significant differences among treatments are indicated by different Latin letters based on Duncan's test (P≤5%).

محتوای اسانس

بیشترین محتوای اسانس در تیمارهای ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی با محلول‌پاشی نانوذره نقطه کوانتومی کربن مشاهده شد (جدول ۴). تنش خشکی موجب افزایش محتوای اسانس در آویش شد (Amani Machiani et al., 2021). در یک بررسی در ریحان مشخص شد که محلول-پاشی با ناوذره سلنیوم تحت تنش‌خشکی ۶۰ درصد موجب افزایش محتوای اسانس ریحان شد (Asghari et al., 2023). در مطالعه دیگری در شوید مشخص شد که استفاده از گرافن اکسید موجب افزایش محتوای اسانس گیاه شد (Hassanpouraghdam et al., 2022). تحت شرایط تنش به‌دلیل بسته‌شدن روزنه و کاهش جذب دی‌اکسید کربن،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

فتوسنتز در گیاه کاهش یافته و منجر به تجمع $NADPH^{+}H^{+}$ در سلول‌های گیاهی می‌شود. بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاه، آلکالوئید، اسانس و ترکیبات فنلی به‌منظور حذف $NADPH^{+}H^{+}$ افزایش می‌یابد (Ostadi et al., 2022). اندازه کوچک نانوذرات موجب راحتی نفوذ آن‌ها به داخل سلول شده و موجب کاهش اثرات تنش‌های محیطی بر گیاه می‌شود. افزایش در محتوای اسانس در اثر کاربرد نانوذرات در ارتباط با نقش نانوذرات در بهبود رشد ریشه، افزایش جذب مواد غذایی در گیاه می‌باشد که منجر به افزایش پیش ماده‌ها و واسطه‌های درگیر در بیوسنتز اسانس در گیاه می‌شود. افزایش محتوای کلروفیل و بهبود فتوسنتز موجب افزایش منابع کربوهیدراتی برای رشد سلول و تولید غدد ترشحی اسانس در گیاه می‌شود (Asghari et al., 2023). بیوسنتز اسانس در گیاه بستگی به ژنتیک و شرایط محیطی دارد. رویارویی گیاه با تنش‌های محیطی موجب افزایش بیوسنتز اسانس برای مقابله با تنش-های محیطی می‌شود. بهبود فتوسنتز به‌دلیل افزایش جذب آب و عناصر غذایی موجب افزایش تولید اسکلت‌های کربنی لازم برای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه مخصوصاً اسانس می-شود. کاربرد نانوذرات نقش مهمی در دسترسی گیاه به منابع کربنی لازم برای بیوسنتز اسانس را داشت. افزایش بیوماس گیاه نیز منجر به افزایش محتوای اسانس گیاه در مطالعه حاضر گردید.

نتیجه‌گیری کلی

تنش آبی در حد ۳۰ درصد ظرفیت‌زراعی تأثیر منفی بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه داشت. محلول‌پاشی با هر دو نانوذره تأثیر مثبت بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه در هر سطح از تنش آبی را داشت. به‌نظر می‌رسد در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی محلول‌پاشی با نانوذره نقطه کوانتومی کربن و سلنیوم موجب بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه شد. افزایش وزن خشک بخش‌هوایی گیاه در تیمارهای بدون تنش خشکی و تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی نقطه کوانتومی کربن مشاهده شد. نتایج نشان داد که در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، تأثیر محلول‌پاشی با نقطه کوانتومی کربن بیشتر از نانوذره سلنیوم بود و موجب افزایش محتوای پرولین و اسانس گیاه شد. درکل چنین می‌توان جمع‌بندی نمود که استفاده از نانوذره‌ی نقطه کوانتومی کربن تحت شرایط کم‌آبی نتیجه مثبتی در بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه داشت.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به خاطر همکاری و تامین هزینه‌های پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

REFERENCES

Agarwal, K., Rai, H. & Mondal, S. 2023. Quantum dots: an overview of synthesis, properties, and applications. Materials Reserch Express 10. 062001. https://doi.org/10.1088/2053-1591/acda17

Aissa, N., Malagoli, M. & Radhouane, L. 2018. An approach to alleviate the impact of drought stress with selenium amendment. Iranian Journal of Science and Technoloy Transaction A: Science 42: 283–288. https://doi.org/10.1007/s40995-018-0511-2

Al-Huqail, A.A., Saleem, M.H., Ali, B., Azeem, M., Mumtaz, S., Yasin, G. & Marc, R.A. 2023. Efficacy of priming wheat (*Triticum aestivum*) seeds with a benzothiazine derivative to improve drought stress tolerance. Functional Plant Biology 50(11): 915-931. https://doi.org/10.1071/FP22140.

Ali, Q., Ashraf, M., Shahbaz, M. & Humera, H. 2008. Ameliorating effect of foliar applied proline on nutrient uptake in water stressed maize (*Zea mays* L.) plants. Pakistan Journal of Botany 40: 211–219.

Alotibi, M.M., Alotaibi, N.M., Hussain, G.S., Hussain, S., Shah, S., Ghoneim, A.M., Dawar, K. & Hareem, M. 2023. Use of zinc quantum dot biochar and AMF for alleviation of Cd stress in maize: Regulation of physiological and biochemical attributes. Plant Stress 10: 100262. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100262

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., Aghaee, A. & Maggi, F. 2021. *Funneliformis mosseae* inoculation under water deficit stress improves the yield and phytochemical characteristics of thyme in intercropping with soybean. Scientific Reports 11(1): 15279. doi: 10.1038/s41598-021-94681-9.

Anjum, N.A., Singh, N., Singh, M.K., Sayeed, I., Duarte, A.C., Pereira, E. & Ahmad, I. 2014. Single-bilayer graphene oxide sheet impacts and underlying potential mechanism assessment in germinating Faba bean (*Vicia faba* L.). Science of the Total Environment 472: 834–841.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. Washington, DC.: Association of Official Agricultural Chemists.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology 24: 1-10.

Asghari, J., Mahdavikia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Banaei-Asl, F., Amani Machiani, M., Harrison, M.T. 2023. Selenium nanoparticles improve physiological and phytochemical properties of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. Land 12*:* 164. https://doi.org/10.3390/land12010164

Chartzoulakis, K., Patakas, A., Kofidis. G., Bosabalidis, A. & Nastou, A. 2002. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relation and growth of two avocado cultivars. Scientia Horticlturae 95: 39-50

Chen, R.J., Wang, L.X., Zhang, X.J., Wang, S.L. & Gao, S.J. 2020. Physiological and molecular basis of the effects of exogenous selenium application on wheat seedling performance under drought stress. Applied Ecology and Environmental Research 18: 1227-1236

Chun, S.C., Paramasivan, M. & Chandrasekaran, M. 2018. Proline accumulation influenced by osmotic stress in arbuscular mycorrhizal symbiotic plants. Frontiers in Microbiology 9: 2525. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02525

Dehghani Bidgoli, R. 2018. Effect of drought stress on some morphological characteristics, quantity and quality of essential oil in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Advancement in medicinal Plant Research 6(3): 40-45. Doi:10.30918/AMPR.63.18.019.

El-Ramady, H., Abdalla, N., Taha, H.S., Alshaal, T., El-Henawy, A., Faizy, S.E.D.A., Shams, M.S., Youssef, S.M., Shalaby, T., Bayoumi, Y., Elhawat, N., Shehata, S., Sztrik, A., Prokiach, J., Fari, M., Domokos-Szabolcsy, E., Pilon-Smits, E.A., Selmar, D., Hanekaus, S. & Schnug, E. 2016. Selenium and nano-selenium in plant nutrition. Environmental Chemistry Letters 14: 123–147.

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.

Ghasemi Agbhash, F., Pazhouhan, I. & Rostami, Z. 2022. The effect of carbon nanotube on height, growth, leaf and soil nutrient uptake in Iranian oak seedling in greenhouse environment. Journal of Forest Research Development 7: 561-575.

Ghasemzadeh Rahbardar, M. & Hosseinzadeh, H. 2020. Therapeutic effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and its active constituents on nervous system disorders. Iranian Journal of Basic Medicinal Science 23(9):1100-1112. doi: 10.22038/ijbms.2020.45269.10541. PMID: 32963731; PMCID: PMC7491497.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

Gohari, G., Panahirad, S., Sadeghi, M. Akbari, A., Zareei, E., Zahedi, S.M., Bahrami, M.K. & Fotopoulous, V. 2021. Putrescine-functionalized carbon quantum dot (put-CQD) nanoparticles effectively prime grapevine (*Vitis vinifera* cv. 'Sultana') against salt stress. BMC Plant Biology 21: 120. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02901-1

Hamed, K.B., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. & Abdelly, C. 2007 Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation 53(3): 185-194

Hamilton, E.W. & Heckathorn, S. A. 2001. Mitochondrial adaptations to NaCl. Complex I is protected by anti-oxidants and small heat shock proteins, whereas complex II is protected by proline and betaine. Plant Physiology. 126: 1266–1274. doi: 10.1104/pp.126.3.1266

Hareem, M., Danish, S., Pervez, M., Irshad, U., Fahad, S., Dawar, Kh, Alharbi, S.A., Ansari, M.J. & Datta, R. 2024. Optimizing chili production in drought stress: combining Zn-quantum dot biochar and proline for improved growth and yield. Scientific Reports 14: 6627. https://doi.org/10.1038/s41598-024-57204-w

Hasanuzzaman, M., Bohannudin Bhuyan, M.H.M., Reza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Nahar, K. & Fujita, M. 2020. Selenium toxicity in plants and environment: biogeochemistry and remediation possibilities. Plants 9(12): 1711. Doi:10.3390/plants9121711

Hassanpouraghdam, M.B., Mehrabani, L.V., Rahvar, M.R., Khoshmaram, L. & Soltanbeigi, A. 2022. Mollifying salt depression on *Anethum graveolens* L. by the foliar prescription of Nano-Zn, KNO_3, Methanol, and Graphene Oxide. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 22(2): 2000-2012.

Hassanpouraghdam, M.B., Mehrabani, L.V., Kheirollahi, N., Soltanbeigi, A. & Khoshmaram, L. 2022. Foliar application of graphene oxide, Fe, and Zn on *Artemisia dracunculus* L. under salinity. Scientia Agricola 80. p.e20210202. doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0202

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.

Javanmard, A., Ashrafi, M., Morshedloo, M.R., Machiani, M.A., Rasouli, F. & Maggi, F. 2022. Optimizing phytochemical and physiological characteristics of Balangu (*Lallemantia iberica*) by foliar application of chitosan nanoparticles and myco-root inoculation under water supply restrictions. Horticulturae 8 (8): 695. https://doi.org/10.3390/horticulturae8080695

Khan, M.A.U., Arshad, H. & Majid, A. 2022. Transport mechanism from quantum dots to plant systems. In: Quantum dots for plant systems. Nanotechnology in the Life Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10216-5_5

Li, F., Sun, C., Li, X., Yu, X., Luo, C., Shen, Y. and Qu, S. 2018. The effect of graphene oxide on adventitious root formation and growth in apple. Plant Physiology and Biochemistry 129:122–129

Liang, Z. Pan, X., Li, W., Kou, E., Kang, Y., Lei, B. & Song, S. 2021. Dose-dependent effect of ZnO quantum dots for lettuce growth. ACS Omega 6: 10141–10149. Doi:10.1021/acsomega.1c00205.

Liu, P., Yin, L., Wang, S., Zhang, M., Deng, X., Zhang, S. &Tanaka, K. 2015. Enhanced oot hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts or silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. Environmental and Experimental Botany 111: 42- 51.

Ostadi, A., Javanmard, A., Amani Machiani, M. & Kakaei, K. 2023. Optimizing antioxidant activity and phytochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) by integrative application of biofertilizer and stress-modulating nanoparticles under drought stress conditions. Plants 12 (1): 151. doi: 10.3390/plants12010151.

Ostadi, A., Javanmard, A., Amani Machiani, M., Sadeghpour, A., Maggi, F., Nouraein, M., Morshedloo, M.R., Hano, C., Lorenzo, J.M. 2022. Co-application of TiO_2 nanoparticles and arbuscular mycorrhizal fungi improves essential oil quantity and quality of Sage (*Salvia officinalis* L.) in drought stress conditions. Plants 11(13):1659. Doi: 10.3390/plants11131659

Patnaik, G.P., Monisha, V., Thavaprakaash, N., Djanaguiraman, M., Sachin, S., Vikram, K., Girwani, T., Jeeva, M., Monicaa, M., Patnaik, L., 2023. Selenium application improves drought tolerance during reproductive phase of rice. Sustainability 15*:* 2730. https://doi.org/10.3390/su15032730

Rady, M., Belal, H.E.E., Gadallah, F.M. & Semida WM. 2020. Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. Scintia

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]

Horticulturae 266. 109290. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109290

Ramadoss, B.R., Subramanian, U., Alagarsamy, M. & Gangola, M.P. 2021. Non-enzymatic antioxidants' significant role in abiotic stress tolerance in crop plants, in: organic solutes, oxidative stress, and antioxidant enzymes under abiotic stressors. CRC Press. 365-392. doi: 10.1201/9781003022879-18

Raza, M.A.S., Aslam, M.U., Valipour, M. Igbel, R., Haider, I., Mustafa, A.Z.M.A., Elshikh, M.S., Ali, I., Roy, R. & Elshomly, A.M.S. 2024. Seed priming with selenium improves growth and yield of quinoa plants suffering drought. Scientific Reports 14: 886. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51371-6

Seliem, M.K., Hafez, Y. & El-Ramady, H. 2020. Using of nano - selenium in reducing the negative effects of high temperature stress on *Chrysanthemum morifolium* Ramat. Journal of sustainable Agriculture Science 46: 47–59.

Shahzadi, E., NaWaz, M., Iqbal, N., Ali, B., Adnan, M., Saleem, M.H., Okla, M., Abbas, Z.K., Al-qahtani, S.M., Al-Harbi, N.A. & Marc, R.A. 2023. Silicic and ascorbic acid induced modulations in photosynthetic, mineral uptake, and yield attributes of mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) under ozone stress. ACS Omega 8(15): https://doi.org/10.1021/acsomega.3c00376.

Sharma, A., Gupta, S., Negi, N.P., Patel, D.P., Raina, M. & Kumar, D. 2022. Selenium and nano-selenium-mediated drought stress tolerance in plants. In: Hossain, M.A., Ahammed, G.J., Kolbert, Z., El-Ramady, H., Islam, T. & Schiavon, M. (eds) Selenium and nano-selenium in environmental stress management and crop quality improvement. Sustainable Plant Nutrition in a Changing World. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07063-1-7

Shinano, T., Lei, T.T., Kawamukai, T., Inoue, M.T., Koike, T. & Tadano, T. 1996. Dimethylsulfoxide method for the extraction of chlorophylls a and b from the leaves of wheat, field bean, dwarf bamboo, and oak. Photosynthetica 32: 409-415.

Su, Y., Fu, F., Ou, X., Gong, L., Liu, H. & Sun, Y. 2024. Response of selenium pools to drought stress by regulating physio-biochemical attributes and anatomical changes in *Gentiana macrophylla*. Ecotoxicology and Environmental Safety 280. 116591. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116591

Thuc, L., Sakagami, J., Hung, L., Huu, T., Khuong, N. & VuVi, L. 2021. Foliar selenium application for improving drought tolerance of sesame (*Sesamum indicum* L.). Open Agriculture 6: 93–101.

Vojodi Mehrabani, L., Hassnpouraghdam, M.B., Rasouli, F., Okcu, Z. & Alina Marc, R. 2023. Foliar application of graphene oxide, nano-Fe, and selsnium mitigates salinity depression on *Ocimum basilicum*. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 47: 510-528.

Wang, Y., Deng, C., Cota-Ruiz, K., Peralta-Videa, J.R., Sun, Y., Rawat, S., Tan, W., Reyes, A., Hernandez-Viezcas, J.A., Niu, G., Li, C. & Gardea-Torresdey, J.L. 2020. Improvement of nutrient elements and allicin content in green onion (*Allium fistulosum*) plants exposed to CuO nanoparticles. Science of Total Environment 725: 138387. DOI: 10.1016/j. scitotenv.2020.138387

Yasmeen, S., Wahab, A., Saleem, M.H., Ali, B., Qureshi, K.A. & Jaremko, M. 2022. Melatonin as a foliar application and adaptation in lentil (*Lens culinaris* Medik.) crops under drought stress. Sustainability 14 (24): 16345. https://doi.org/10.3390/su142416345.

Zahedi, S.M., Moharrami, F. & Sarikhani, S. 2020. Selenium and silica nanostructure-based recovery of strawberry plants subjected to drought stress. Scientific Reports 10: 172–176

Zakeri, N., kelishadi, M.R., Asbaghi, O., Naeini, F., Afsharfar, M., Mirzadeh, E. & Naserizadeh, S.K. 2021. Selenium supplementation and oxidative stress: A review. PharmaNutrition 17: 100263. https://doi.org/10.1016/j.phanu.2021.100263

*****

How to cite this article:

Vojodi Mehrabani, L. Khani, Kh. Azezi, N. Valizadeh Kamran, R. 2024. The effects of drought stress and foliar spray of nano selenium and quantum dot on the growth and some physiological traits of *Rosmarinus officinalis* L. Nova Biologica Reperta 11(3): 70-85 (In Persian).

وجودی مهربانی، ل. خانی، خ، عزیزی، ن. ولیزاده کامران، ر. ۱۴۰۳. تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی با نانوذره‌های سلنیوم و نقطه‌کوانتومی کربن بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.). یافته‌های نوین در علوم زیستی ۱۱: ۸۵-۷۰

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1403.11.3.6.0]
[DOI: 10.22034/NBR.11.3.70]