



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources



(OPEN ACCESS)

The effect of zinc sulfate on growth, physiological and biochemical properties of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) under drought stress and zinc deficiency in soil

Saeid Davoodinia^{*1}, Sina Fallah², Mohammad Rafieiolhossaini³, Ali Abbasi Surki⁴

1. Corresponding Author, Ph.D. Student of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: saeedda590@gmail.com

2. Professor, Dept. of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: falah1357@yahoo.com

3. Associate Prof., Dept. of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: m_rafiee_1999@yahoo.com

4. Associate Prof., Dept. of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: aabasi59@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Drought stress is a major environmental challenge that negatively impacts agricultural productivity by disrupting growth and developmental processes, ultimately reducing crop yields. One significant consequence of drought stress is the disruption of the plant's nutritional balance, which can be alleviated by applying micronutrients via foliar sprays during periods of stress. The purpose of this study was to evaluate the effects of zinc foliar sprays on the growth, physiological, and biochemical responses of Persian shallot plants under drought stress conditions.
Article history: Received: 12.31.2024 Revised: 06.25.2025 Accepted: 07.07.2025	
Keywords: Bulb, Drought tolerance, Foliar spray, Photosynthesis, Proline	Materials and Methods: This study was carried out using a factorial, randomized complete block design in pots at the Shahrekord University Research Farm, with four replications during the 2023-2024 agricultural season. The experimental factors included drought stress, with both no-stress and stress conditions maintained at 50% of field capacity, along with zinc concentrations of 0, 50, 100, 150, and 200 mg/L applied as a foliar spray.
	Results: Drought conditions significantly influenced various parameters, including plant height, leaf count, fresh weights of leaves, roots, and bulbs, as well as the number and fresh weight of sister bulbs, relative water content of leaves, membrane electrolyte leakage, and levels of proline, malondialdehyde, hydrogen peroxide, and photosynthetic pigments. Zinc application had a notable impact on all measured traits except leaf count and photosynthetic pigments. Additionally, the interaction between drought stress and zinc treatment significantly affected all traits, except for plant height, leaf count, fresh weight bulbs, number of sister bulbs, and all photosynthetic pigments. The most pronounced positive effects were observed under full irrigation at a zinc concentration of 200 mg/L, whereas the least effects were observed under drought stress in the control treatment. Under drought conditions, the application of 200 mg/L zinc increased leaf fresh weight (95%), root fresh weight (76%), scallion fresh weight (88%), leaf relative water content

(40%), and proline content (148%) compared to the control. Conversely, levels of membrane electrolyte leakage (38%), malondialdehyde (68%), and hydrogen peroxide (48%) decreased. The fresh weight of Persian shallot bulbs under drought stress and non-stress conditions was recorded at 49.6 g and 64 g, respectively. Among the various zinc sulfate treatments, the highest bulb fresh weight was achieved at a zinc concentration of 200 mg/L, yielding 59.6 g, representing an 11.2% increase over the control.

Conclusion: In this study, a noteworthy positive impact of high levels of zinc sulfate under both non-stressed and drought-stressed conditions was observed, indicating that a zinc concentration of 200 mg per liter enhances the growth, physical characteristics, and biochemical activities in the development of Persian shallot plants. Moreover, in addition to promoting high yields under non-stressed conditions, it also boosts production under drought-stressed conditions.

Cite this article: Davoodinia, Saeid, Fallah, Sina, Rafieiolhossaini, Mohammad, Abbasi Surki, Ali. 2026. The effect of zinc sulfate on growth, physiological and biochemical properties of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) under drought stress and zinc deficiency in soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 16 (1), 113-131.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2026.23090.2170

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



بررسی تأثیر سولفات روی بر رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در شرایط تنش خشکی و کمبود روی در خاک

سعید داودی نیا^{۱*}، سینا فلاح^۲، محمد رفیعی‌الحسینی^۳، علی عباسی سورکی^۴

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: saeedda590@gmail.com

۲. استاد گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: falah1357@yahoo.com

۳. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: m_rafiiee_1999@yahoo.com

۴. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: aabasi59@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶	سابقه و هدف: تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را از طریق ایجاد اختلال در فرایندهای رشد و نمو با محدودیت روبرو می‌کند و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد. یکی از اثرات تنش خشکی، بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است که با استفاده از ریزمغذی‌ها به صورت محلول‌پاشی می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. آزمایش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی عنصر روی بر تغییرات رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه موسیر ایرانی در شرایط تنش خشکی اجرا شد. مواد و روش‌ها: این آزمایش در قالب فاکتوریل و طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت گلدانی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد با ۴ تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ انجام شد. تنش خشکی (شامل بدون تنش و تنش خشکی بر اساس حفظ رطوبت به مقدار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و غلظت‌های مختلف روی شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به صورت محلول‌پاشی به عنوان عوامل آزمایشی بودند. یافته‌ها: ارتفاع بوته، تعداد و وزن تر برگ، وزن تر ریشه و غده، تعداد و وزن تر پیاز خواهری، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیتی غشاء، محتوی پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن و رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر عامل خشکی قرار گرفتند. اثر عنصر روی بر همه صفات به جز تعداد برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی و اثر متقابل تنش خشکی و روی بر همه صفات یاد شده به جز ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر غده، تعداد پیاز خواهری و

واژه‌های کلیدی:

پرولین،

تحمل به خشکی،

غده،

فتوسنتز،

محلول‌پاشی

رنگیزه‌های فتوسنتزی معنی‌دار شد. بیش‌ترین اثر مثبت معنی‌دار در شرایط بدون تنش و در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر و کم‌ترین اثر در تنش خشکی با تیمار شاهد اتفاق افتاد. در شرایط تنش خشکی، در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر وزن تر برگ (۹۵٪)، وزن تر ریشه (۷۶٪)، وزن تر پیاز خواهری (۸۸٪)، محتوای نسبی آب برگ (۴۰٪)، محتوای پرولین (۱۴۸٪) در مقایسه با شاهد افزایش داشتند ولی نشت الکتrolیتی غشاء (۳۸٪)، مالون‌دی‌آلدئید (۶۸٪) و پراکسید هیدروژن (۴۸٪) کاهش یافتند. در شرایط تنش خشکی و بدون تنش، وزن تر غده موسیر ایرانی به ترتیب ۴۹/۶ و ۶۴ گرم بود. در بین تیمارهای سولفات روی، بیش‌ترین وزن تر غده در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر (۵۹/۶ گرم) بود که نسبت به شاهد ۱۱/۲ درصد افزایش داشت.

نتیجه‌گیری: در این آزمایش، با مشاهده اختلاف مثبت معنی‌دار در غلظت‌های بالای سولفات روی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر باعث بهبود صفات رشدی، فیزیولوژیک و فرایندهای بیوشیمیایی در روند رشد و نمو گیاه موسیر ایرانی می‌شود و علاوه بر دستیابی به تولید بالا در شرایط بدون تنش به بهبود محصول در شرایط تنش خشکی کمک می‌نماید.

استناد: داودی‌نیا، سعید، فلاح، سینا، رفیعی‌الحسینی، محمد، عباسی سورکی، علی (۱۴۰۵). بررسی تأثیر سولفات روی بر رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در شرایط تنش خشکی و کمبود روی در خاک. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۶ (۱)، ۱۳۱-۱۱۳.

DOI: 10.22069/ejsms.2026.23090.2170



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

انسان در طول تاریخ بخاطر استفاده‌های خوراکی و درمانی وابسته به گیاهان دارویی بوده و در عصر حاضر نیز علی‌رغم پیشرفت‌های وسیع و فراگیر علمی و صنعتی، تمایل انسان برای استفاده از این گیاهان روبه افزایش است. در کشور ایران با وجود منابع غنی گیاهان دارویی و پتانسیل طبیعی بالای رشد این گیاهان، متأسفانه بهره‌برداری از این گیاهان به‌نحوی که در دیگر کشورها معمول است، هنوز مورد توجه قرار نگرفته است (۱).

موسیر با نام علمی *Allium hirtifolium* Boiss گیاه دارویی متعلق به تیره Alliaceae، چند ساله وحشی، پایا و با ساقه زیرزمینی از نوع پیاز، دارای ساقه گل‌دهنده به طول ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر است. این گیاه حدود ۱ - ۰/۰۶ درصد اسانس (شامل ترکیبات سولفور، آلیل پروپیل و متیل سولفانیل) و حاوی ترکیبات مهم گوگردی با خاصیت ضد باکتریایی و آنتی‌بیوتیکی (به نام‌های آلیسین، آلیساتین و کورستین) و دیگر ترکیبات فلاونوئیدی و آنتی‌اکسیدانی است (۱). با افزایش خشکسالی‌ها و بروز تنش خشکی، افزایش برداشت‌های بی‌رویه و غیرمجاز این گیاه در عرصه‌های منابع طبیعی باعث شده است نسل آن به‌دلیل شرایط ویژه زیستگاه و زادآوری، با خطر انقراض مواجه گردد به همین دلیل تولید و توسعه اصولی سطح زیر کشت این محصول در اکوسیستم‌های زراعی به‌عنوان یک استراتژی مهم اکولوژیکی در تأمین نیاز بازار روبه گسترش جهانی آن، یک ضرورت است (۲).

تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را از طریق ایجاد اختلال در فرایندهای رشد و نمو با محدودیت روبرو می‌کند و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (۳). یکی از مهم‌ترین پیامدهای این تنش در گیاهان افزایش انواع گونه‌های

اکسیژن فعال و ایجاد تنش اکسیداتیو است که با تولید مولکول‌های پرانرژی، به تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی، تخریب لیپیدهای غشاء، تجزیه اجزاء فتوسیستم‌های نوری و اختلال در فرایندهای رشد سلول منجر می‌شود (۴). ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بهبود مکانیسم‌های دفاعی گیاه در شرایط تنش در برابر خسارات رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهان اهمیت زیادی دارد (۵)، بنابراین بررسی سازوکارهای تحمل به خشکی برای جلوگیری از کاهش رشد و عملکرد از اهمیت زیادی برخوردار است (۶).

عنصر روی یکی از عناصر کم‌مصرف و ضروری برای رشد و نمو در گیاهان است که به‌عنوان یک کوفاکتور نقش مهمی در متابولیسم گیاه و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای جلوگیری از خسارت‌های تنش اکسیداتیو دارد (۷) و کمبود آن هم بر متابولیسم کربوهیدرات و بروز خسارت به ساختار گیاهی و کاهش عملکرد تأثیرگذار است (۸). این عنصر با شرکت در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم سبب افزایش عملکرد محصولات گردد، از طرفی برای رشد طبیعی و تولیدمثل گیاهان زراعی هم ضروری بوده و در سنتز پروتئین‌ها و هورمون گیاهی اکسین (محرک رشد) به‌کار می‌رود (۹).

در این آزمایش، اسیدپته خاک قلیایی ($pH=7.7$) و میزان مواد آلی کم و مقدار روی اولیه ۰/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. با توجه به قلیایی بودن این خاک و کمبود عنصر روی (جدول ۱)، سطوح مختلف از سولفات روی مصرفی در تیمارهای آزمایش به‌ویژه محدوده ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر در شرایط کم آبی اثرات مثبت و التیام بخش بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیک و شیمیایی گیاه موسیر ایرانی داشتند و مقاومت این گیاه را در شرایط تنش خشکی بهبود بخشیدند.

مناسب در تولید برای توسعه در نظام‌های زراعی دارای اهمیت است (۱). گیاه موسیر با تکمیل رشد در انتهای زمستان و فصل بهار گزینه مناسبی برای جایگزینی گیاهان دارای نیاز آبی بالا است، اما مطالعاتی در مورد نحوه رشد و تولید این محصول و واکنش آن به محلول‌پاشی روی تحت شرایط تنش خشکی در مناطق مستعد کشت آن انجام نشده است. بنابراین این آزمایش با هدف بررسی امکان رشد و تولید موسیر در شرایط کم‌آبی با ارزیابی اثرات محلول‌پاشی سطوح مختلف عنصر روی برای تعدیل اثرات مخرب کمبود آب انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به‌صورت گلدانی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد (۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی، ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۷۰ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. عوامل آزمایش شامل تنش خشکی (فاکتور اول) و عنصر روی (فاکتور دوم) بودند. سطوح تنش خشکی شامل بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب با حفظ رطوبت خاک در محدوده ۸۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بودند و غلظت‌های روی هم در پنج سطح شامل صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر از منبع سولفات روی مورد مقایسه قرار گرفتند.

ابتدا خاک مورد استفاده تهیه و خصوصیات آن در آزمایشگاه تعیین گردید (جدول ۱). پیازهای مناسب از شرکت تخصصی گیاهان دارویی چویلان تهیه شد، سپس پیازهای سالم، هم اندازه و یکنواخت انتخاب و با قارچ‌کش پروپیکونازول ضدعفونی گردیدند. در گلدان‌های زهکش‌دار (با ارتفاع و قطر ۳۰ سانتی‌متر) ۱۲ کیلوگرم خاک زراعی حاصلخیز با بافت لومی

در آزمایش مطلوبی‌فر و بیات (۲۰۲۰) گزارش شد که بیش‌ترین غلظت روی (به مقدار ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در سوخ گیاه سیر سفید همدانی (*Allium sativum* L.) از مصرف ۶۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بوده که نسبت به تیمار شاهد (۵۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) ۱۶٪ افزایش داشت، در این آزمایش مصرف روی عملکرد و کیفیت محصول سیر را نیز بهبود بخشید (۱۰). کاربرد سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار، باعث افزایش محتوای روی در غده‌های گیاه سیر به میزان ۱۰ درصد و مقدار آلیسین به میزان ۳۵ درصد نسبت به شاهد شد، همچنین تعداد سیرچه ۲/۸ درصد، سطح برگ ۱۷/۴ درصد، عملکرد غده ۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (۱۱). رزاق و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود تأثیر روی و بر را در عملکرد سیر این‌گونه بیان کردند که مصرف روی بهترین نتیجه را در تعداد برگ، وزن خشک برگ‌ها، pH عصاره، اسید اسکوربیک، محتوای کلروفیل و عملکرد در هکتار نشان داد (۱۲). اسلام و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تأثیر روی بر عملکرد و کیفیت سیر در بنگلادش گزارش نمودند که بیش‌ترین مقدار عملکرد سیر با مصرف دو کیلوگرم در هکتار روی خالص به دست آمد (۱۳). در مطالعه سینگ و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیش‌ترین عملکرد سیر از مصرف ۶۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار گزارش شد (۱۴). عنصر روی با بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی بویژه توسعه ساختار برگ و ریشه، افزایش سنتز اسمولیت‌ها، پروتئین و کربوهیدرات‌ها، محافظت از غشاء در برابر فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرایندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، نقش مهمی در تعدیل اثرات مخرب آن‌ها در گیاه دارد (۱۵).

ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود و شناخت گیاهان با نیاز آبی کم و بازدهی

رسی، مخلوط شده با کود اوره (۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و کود گاوی کاملاً پوسیده (۱۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) ریخته شد. گلدان ها در جوی های عمیقی قرار گرفت و اطراف آن ها با خاک پوشانده شد، به طوری که سطح گلدان ها حدود ۵ سانتی متر بالاتر از سطح خاک پیرامون بود.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 1. Chemical properties of the soil used.

EC (dS/m)	pH	O.C (%)	Total N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)
0.51	7.7	1.1	0.12	24	306	0.55	8.2	3.1	0.88

توبیتا (۱۹۹۸)، محتوی پرولین (۱۹) از روش بتیس (۱۹۷۳)، پراکسیداسیون لیپید غشاء برگ (۲۰) از روش هیث و پکر (۱۹۸۶)، پراکسید هیدروژن برگ (۲۱) از روش ناگ و همکاران (۲۰۰۰)، طبق فرایند و مراحل پروتکل های مربوطه اندازه گیری و محاسبه شدند. در اواخر خرداد ۱۴۰۳ غده ها از خاک خارج شد و تعداد پیاز خواهری هر غده ثبت شد، سپس وزن تر برگ، ریشه، پیاز خواهری و غده توسط ترازوی دیجیتال اندازه گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها به صورت آزمایش فاکتوریل (۵ × ۲) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی به وسیله نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال آماری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس: آزمایش ارتفاع بوته، تعداد و وزن تر برگ، وزن تر ریشه و غده، تعداد و وزن تر پیاز خواهری، محتوی نسبی آب برگ، نشت الکترولیتی غشاء، محتوی پرولین، مالون دی آلدئید، پراکسید هیدروژن و رنگی های فتوستتزی موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند ($P < 0.01$). اثر غلظت های مختلف عنصر روی بر کلیه صفات به استثناء تعداد برگ و رنگی های فتوستتزی معنی دار

اوایل مهر ماه ۱۴۰۲، در هر گلدان یک پیاز موسیر در عمق ۵ سانتی متری کشت و بلافاصله آبیاری انجام گردید و تا زمان شروع تنش خشکی آبیاری مطابق نیاز گیاه ادامه یافت. محلول پاشی روی در اواسط فروردین ماه ۱۴۰۳ (در مرحله توسعه برگ های جوان گیاه) بر اساس غلظت های مورد نظر انجام شد و در اوایل اردیبهشت ماه تکرار گردید. محلول های روی در بعد از ظهر بر برگ های هر گیاه تا هنگام خیس شدن کامل برگ ها، اسپری گردید. تنش خشکی روی نیمی از گلدان ها در نیمه دوم اردیبهشت ماه شروع و تا پایان دوره رشد (اوایل تیرماه ۱۴۰۳) ادامه یافت. نحوه اعمال تنش خشکی بر اساس تعیین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک قبل از شروع آزمایش بود. بر این اساس حجم آب قابل استفاده در هر گلدان به میزان ۴ لیتر تعیین گردید که ۵۰ و ۸۰ درصد آن به ترتیب به عنوان سطح تنش خشکی و بدون تنش در نظر گرفته شد.

در پایان دوره رشد، ارتفاع بوته به وسیله خط کش تعیین و تعداد برگ ها شمارش شد. پس از نمونه برداری از بوته ها، مقدار رنگی های فتوستتزی شامل کلروفیل ها و کارتنوئیدها (۱۶) از روش لیچتندالر و باشمن (۲۰۰۱)، محتوی نسبی آب برگ (۱۷) از روش مارتینز و همکاران (۲۰۰۷)، نشت الکترولیتی غشاء برگ (۱۸) از روش دابنسن سوسن و

بود. اثر متقابل تنش خشکی با غلظت روی بر وزن تر برگ، وزن تر ریشه، وزن تر پیاز خواهری، محتوی نسبی آب برگ، نشت الکترولیتی غشاء، محتوی پرولین، مالون دی آلدئید، پراکسید هیدروژن معنی دار شدند (جدول های ۲، ۴، ۶ و ۷).

ارتفاع و تعداد برگ در بوته: ارتفاع گیاه موسیر (۱۹/۵) در شرایط تنش خشکی ۲۶ درصد نسبت به شرایط بدون تنش (۲۶/۴ سانتی متر) کاهش داشت (جدول ۳). اثر محلول پاشی روی تا غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بر روی ارتفاع بوته مشابه شاهد بود و در سطوح بالاتر افزایش معنی داری نسبت به عدم مصرف روی نشان داد (جدول ۳). تعداد برگ در بوته در گیاهان تنش خشکی ۱/۷ و در شرایط بدون

تنش ۲ برگ بود (جدول ۳). کاهش ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته تحت تأثیر تنش خشکی بیانگر اثرات خشکی بر تقسیم سلولی و رشد موسیر است (۴). عنصر روی به عنوان یک کوفاکتور و ریزمغذی ضروری احتمالاً با تحریک محرک های رشدی در گیاه و در نتیجه افزایش تقسیم و طول سلولی (۱۲) موجب رشد و نمو در اندام های گیاه موسیر از جمله ارتفاع می شود.

در مطالعات رزاق و همکاران (۲۰۱۹) و قاسمی و همکاران (۲۰۲۱) نتایج مشابهی از بهبود شاخصاره و توان فتوسنتزی گیاه سیر تحت تأثیر عنصر روی گزارش شده است (۱۲، ۲۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، وزن تر برگ و ریشه موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت های مختلف روی.

Table 2. Analysis of variance for the plant height, number of leaf per plant, and leaf and root fresh weight of Persian shallot as influenced by drought stress and different zinc concentrations.

وزن تر ریشه بوته Root fresh weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	تعداد برگ در بوته No. leaf per plant	ارتفاع بوته Plant height	df	منابع تغییر Source of variation
1.0 ^{ns}	73 ^{**}	0.22 ^{ns}	80 ^{**}	3	تکرار Replication
116 ^{**}	1197 ^{**}	0.60 [*]	484 ^{**}	1	سطح تنش Stress level (SL)
17.6 ^{**}	413 ^{**}	0.10 ^{ns}	6.7 [*]	4	غلظت روی Zinc concentration (ZC)
4.2 ^{**}	6.2 [*]	0.10 ^{ns}	0.50 ^{ns}	4	SL × ZC
0.4	1.7	0.10	2.4	27	خطا Error
10.1	4.2	15	6.8		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطوح آماری $P < 0.05$ و $P < 0.01$ می باشند

^{ns}, * and ** means non-significant and significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

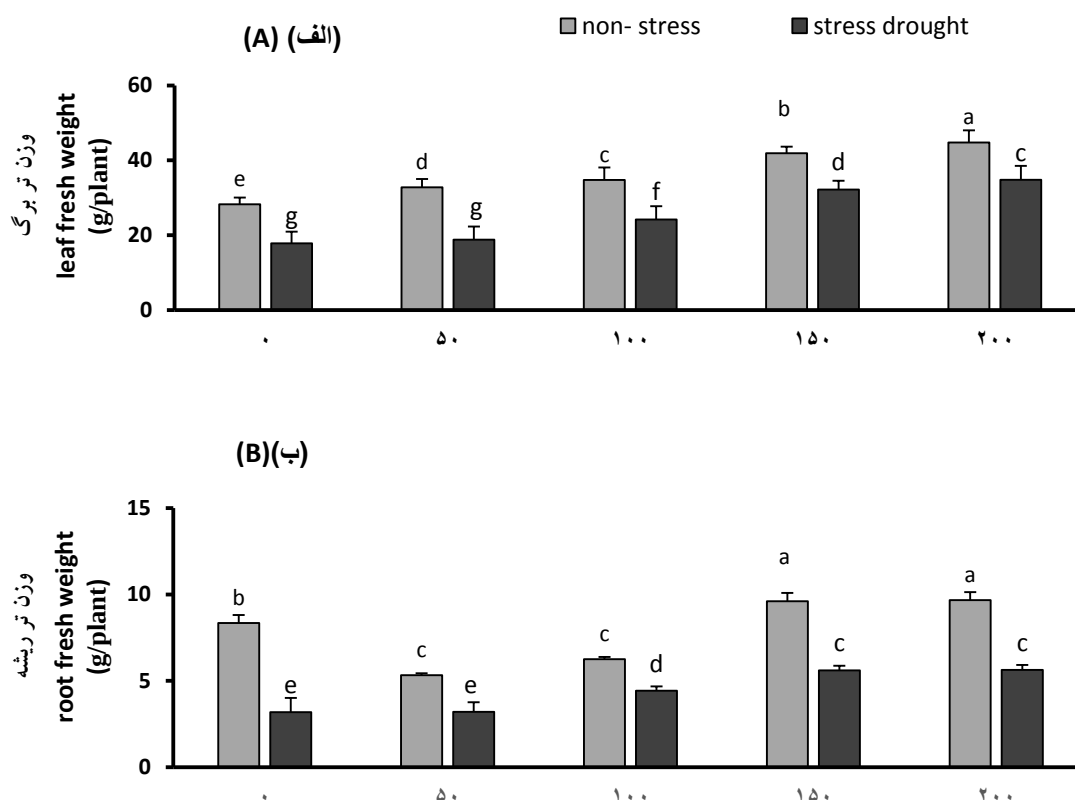
جدول ۳- مقایسه میانگین ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی.

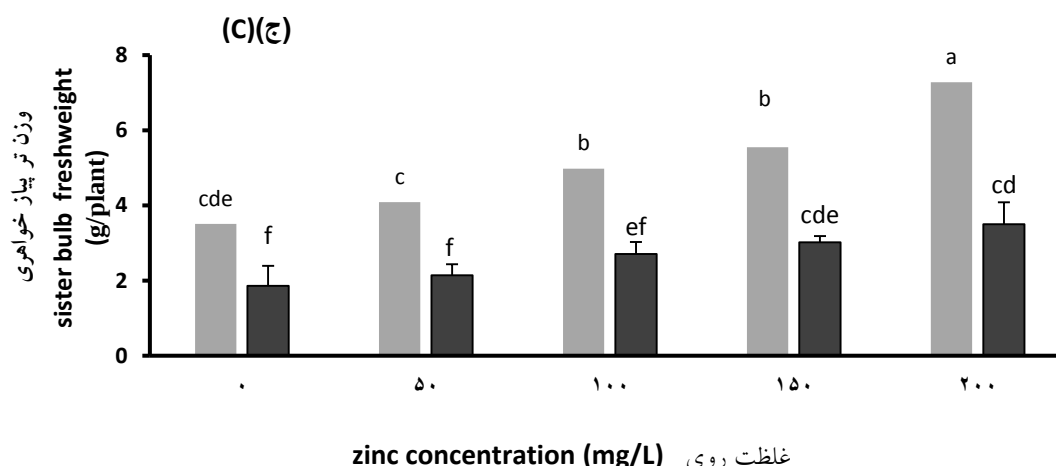
Table 3. Means comparison of the plant height and number of leaves per plant in Persian shallot as influenced by drought stress and different zinc concentrations.

تعداد برگ در بوته No. leaf per plant	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تیمارها Treatments
2.0 ^a	26.4 ^a	بدون تنش Without stress
1.7 ^b	19.5 ^b	تنش خشکی Drought stress
1.8 ^a	21.7 ^b	0
2.0 ^a	22.4 ^{ab}	50
1.7 ^a	23 ^{ab}	100
1.7 ^a	23.5 ^a	150
2.0 ^a	24 ^a	200

در هر گروه و در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند

In each group and each column, means with different letters are statistically significant at the 5% probability level based on the LSD test





شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی بر وزن تر برگ (الف)، وزن تر ریشه (ب) و وزن تر پیاز خواهری (ج) موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.

Figure 1. Interaction effect of drought stress and different zinc concentrations on leaf fresh weight (A), root fresh weight (B), and sister-bulb fresh weight (C) in Persian shallot. Means with different letters are statistically significant based on LSD test at 5% probability level.

رطوبت خاک ممکن است توقف رشد برگ‌ها در افزایش رشد ریشه دخیل باشد. گزارش شده است که عنصر روی با تنظیم فشار اسمزی و کاهش میزان تعرق و اتلاف آب، باعث افزایش جذب آب، عناصر غذایی (۱۲، ۲۳)، فعالیت آنزیم‌ها و ترکیبات محلول در برگ می‌شود (۸)، بنابراین با کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی می‌تواند در تعدیل رشد اندام هوایی و زیرزمینی مؤثر باشد. کاربرد ۲۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار سطح برگ و وزن اندام هوایی گیاه سیر را به ترتیب به ۱۷ و ۲۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (۱۱). هم‌چنین زارع پاک ضیابری (۲۰۲۲) نشان داد که کاربرد ۲۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار وزن اندام‌های زیرزمینی ۲/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (۱۱).

وزن تر غده (پیاز): در شرایط بدون تنش وزن تر غده ۲۹ درصد در مقایسه با تنش خشکی افزایش یافت (جدول ۵). با کاربرد ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر وزن تر غده به میزان ۸/۲ تا ۱۱/۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۵). کاهش وزن

وزن تر برگ و ریشه: در شرایط بدون تنش در گیاهان محلول‌پاشی شده با ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر یک روند افزایشی در وزن تر برگ (۵۸-۱۶ درصد) نسبت به عدم مصرف روی مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی، وزن تر برگ در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (۱۸/۸ گرم) اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت ولی سایر غلظت‌ها در مقایسه با شاهد به میزان ۹۶-۳۶ درصد افزایش نشان دادند (شکل ۱، الف). وزن تر ریشه در شرایط بدون تنش با محلول‌پاشی ۲۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم روی در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت ولی در شرایط تنش خشکی این افزایش در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر مشاهده شد (شکل ۱، ب). تغییر وزن تر برگ و ریشه در گیاهان محلول‌پاشی شده می‌تواند ناشی از بهبود خصوصیات رشدی در ساختار ریشه و برگ و رطوبت اندام‌ها باشد (۲۲). در غلظت‌های ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر تحریک رشد اندام هوایی موجب کاهش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه شده است اما با تغییر وضعیت

غده تحت شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده تأثیر تنش اعمال شده بر رشد غده موسیر است. فراهم شدن عنصر روی از طریق محلول‌پاشی ممکن است به دلیل بهبود توان فتوسنتزی باعث تجمع ماده خشک بیش‌تری (۲۴) در غده موسیر شود. نقش مطلوب عنصر روی بر فعالیت‌های فتوسنتزی برگ‌ها و افزایش عملکرد قبلاً گزارش شده است (۱۰، ۲۵). نتایج آزمایش حاضر با گزارش سینگ و همکاران (۲۰۱۴) و اسلام و همکاران (۲۰۱۲) روی آلیوم‌ها مبنی بر افزایش وزن سیرچه‌ها در گیاه سیر در معرض سولفات روی هم‌خوانی دارد (۱۳، ۱۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس وزن تر غده، تعداد و وزن تر پیاز خواهری در بوته موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی.

Table 4. Analysis of variance for the bulb fresh weight, weight and number of sister-bulb per plant in Persian shallot as influenced by drought stress and different zinc concentrations.

وزن تر پیاز خواهری Sister bulb weight	تعداد پیاز خواهری No. sister-bulb per plant	وزن تر غده Bulb fresh weight	df	منابع تغییر Source of variation
0.50 ^{ns}	0.10 ^{ns}	26 ^{**}	3	تکرار Replication
58 ^{**}	13 ^{**}	2059 ^{**}	1	سطح تنش Stress level (SL)
9.1 ^{**}	2.2 [*]	48 [*]	4	غلظت روی Zinc concentration (ZC)
1.2 [*]	10 ^{ns}	12 ^{ns}	4	SL × ZC
0.30	0.50	13	27	خطا Error
15	21	6.4		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح آماری $P < 0.05$ و $P < 0.01$ می‌باشند
^{ns}، * and ** means non-significant and significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین وزن تر غده، تعداد پیاز خواهری در بوته و وزن تر پیاز خواهری موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی.

Table 5. Means comparison of the bulb weight and number of sister-bulb per plant in Persian shallot as influenced by drought stress and different zinc concentrations.

تعداد پیاز خواهری در بوته No. sister-bulb per plant	وزن تر غده Bulb weight (g/plant)	تیمارها Treatments
3.8 ^a	64 ^a	بدون تنش Without stress
2.6 ^b	49.6 ^b	تنش خشکی Drought stress
2.6 ^c	53.6 ^c	0
2.9 ^{bc}	54.8 ^{bc}	50
3.2 ^{bc}	58.1 ^{bc}	100
3.4 ^{ab}	58.5 ^{ab}	150
4.0 ^a	59.6 ^a	200

در هر گروه و در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند
 In each group and each column, means with different letters are statistically significant at the 5% probability level based on the LSD test

تعداد و وزن تر پیاز خواهری: تعداد پیاز خواهری در شرایط تنش خشکی ۲/۶ عدد که ۳۲ درصد کم تر از شرایط بدون تنش بود (جدول ۵). تعداد پیاز خواهری در گیاهان محلول پاشی شده با ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم روی در لیتر در مقایسه با شاهد افزایش معنی داری نشان داد اما سایر غلظت ها اختلاف معنی داری با شاهد نداشتند (جدول ۵). در شرایط بدون تنش، وزن تر پیاز خواهری با محلول پاشی غلظت های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی گرم روی در لیتر ۴۲ تا ۱۰۷ درصد افزایش یافت. این در حالی است که در شرایط تنش خشکی، پاسخ معنی دار وزن تر پیاز خواهری در غلظت های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم روی در لیتر مشاهده شد و دامنه افزایش عددی در این دو غلظت کم تر از شرایط بدون تنش بود (شکل ۱، ج). در شرایط کم آبی شاخص های رشدی و رطوبت اندام ها، میزان کربوهیدرات های محلول و رشد گیاه تحت تأثیر عنصر روی بهبود می یابد (۲۵). علاوه بر این، کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش توان فتوسنتزی از دیگر نقش های عنصر روی است (۲۶) که موجب شده وزن پیازهای خواهری گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر تحت شرایط خشکی مشابه گیاهان بدون تنش به علاوه بدون محلول پاشی باشند (جدول ۵). در گزارش مطلبی فر و بیات (۲۰۲۰) بیان نمود که بیشترین عملکرد سیر با ۲۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی به دست آمد (۱۰). هم چنین در مطالعات شیروانی ناغانی و همکاران (۲۰۲۴) و رحمانی و همکاران (۲۰۱۹) به ترتیب در گیاه سویا (*Glycine max*) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) نیز نتایج مشابهی گزارش شد (۲۳، ۲۷).

محتوای نسبی آب برگ: در شرایط بدون تنش محتوای نسبی آب برگ در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و در سایر غلظت ها اختلاف معنی داری با شاهد مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب در گیاهان محلول پاشی شده با غلظت های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی گرم به طور معنی داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت (شکل ۲، الف). سولفات روی جذب آب در اندام ها، محتوای ترکیبات محلول در برگ ها و تنظیم اسمزی را بهبود می دهد (۱۱). بنابراین افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی می تواند به نقش مثبت روی نسب داده شود ولی در شرایط تنش خشکی به دلیل سطح بالای آب اندام ها فقط تأمین مقادیر زیاد روی (۲۰۰ میلی گرم در لیتر) احتمالاً به دلیل تجمع زیاد مواد فتوسنتزی و در نتیجه تغلیط بیش تر کربوهیدرات ها موجب جذب آب و در نتیجه افزایش محتوای رطوبت می گردد (۷). در آزمایش حاضر محلول پاشی سولفات روی با افزایش رشد ریشه (شکل ۱، ب) می تواند در افزایش دسترسی آب و در نتیجه بهبود رطوبت اندام هوایی نقش مفیدی ایفا کرده باشد. این نتایج با گزارش سینگ و همکاران (۲۰۱۴) گیاه سیر (*Allium sativum*) همخوانی دارد (۱۴). علاوه بر این، زارع پاک ضیابری (۲۰۲۲) نیز گزارش کرد که کاربرد ۲۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار محتوای نسبی آب برگ سیر را به میزان ۱۰ درصد افزایش داد (۱۱).

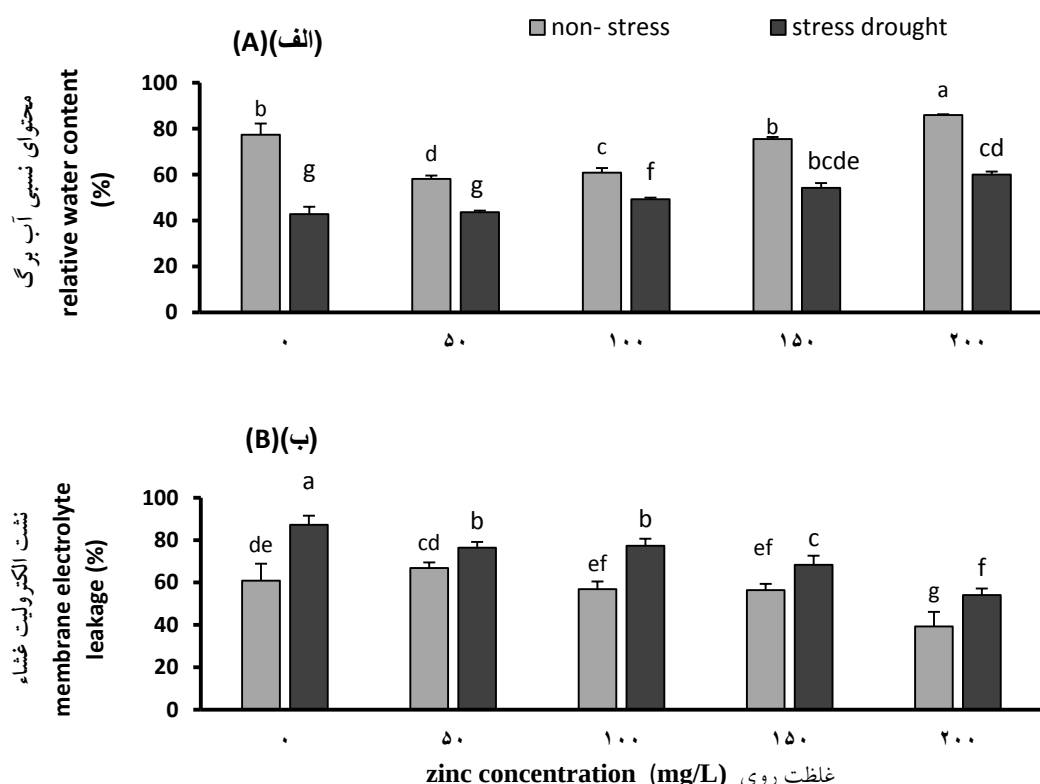
جدول ۶- تجزیه واریانس محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیتی غشاء، محتوای پرولین، مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی.

Table 6. Analysis of variance for the relative leaf water content, membrane electrolyte leakage, proline content, malondialdehyde and hydrogen peroxide content in Persian shallot as influenced by drought stress and different zinc concentrations.

محتوای پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content	محتوای پرولین Proline content	نشت الکترولیتی غشاء Membrane electrolyte leakage	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	df	منابع تغییر Source of variation
0.002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	28 ^{ns}	2.91*	3	تکرار Replication
1.60**	1.5**	0.007**	2900**	4654**	1	سطح تنش Stress level (SL)
0.32**	0.29**	0.006**	915**	593**	4	غلظت روی Zinc concentration (ZC)
0.10**	0.89**	0.002**	80*	17**	4	SL × ZC
0.001	0.001	0.0001	534	92	27	خطا Error
6.3	5.9	13	6.9	3.0		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

^{ns}, * و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطوح آماری $P < 0.05$ و $P < 0.01$ می‌باشند

^{ns}, * and ** means non-significant and significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

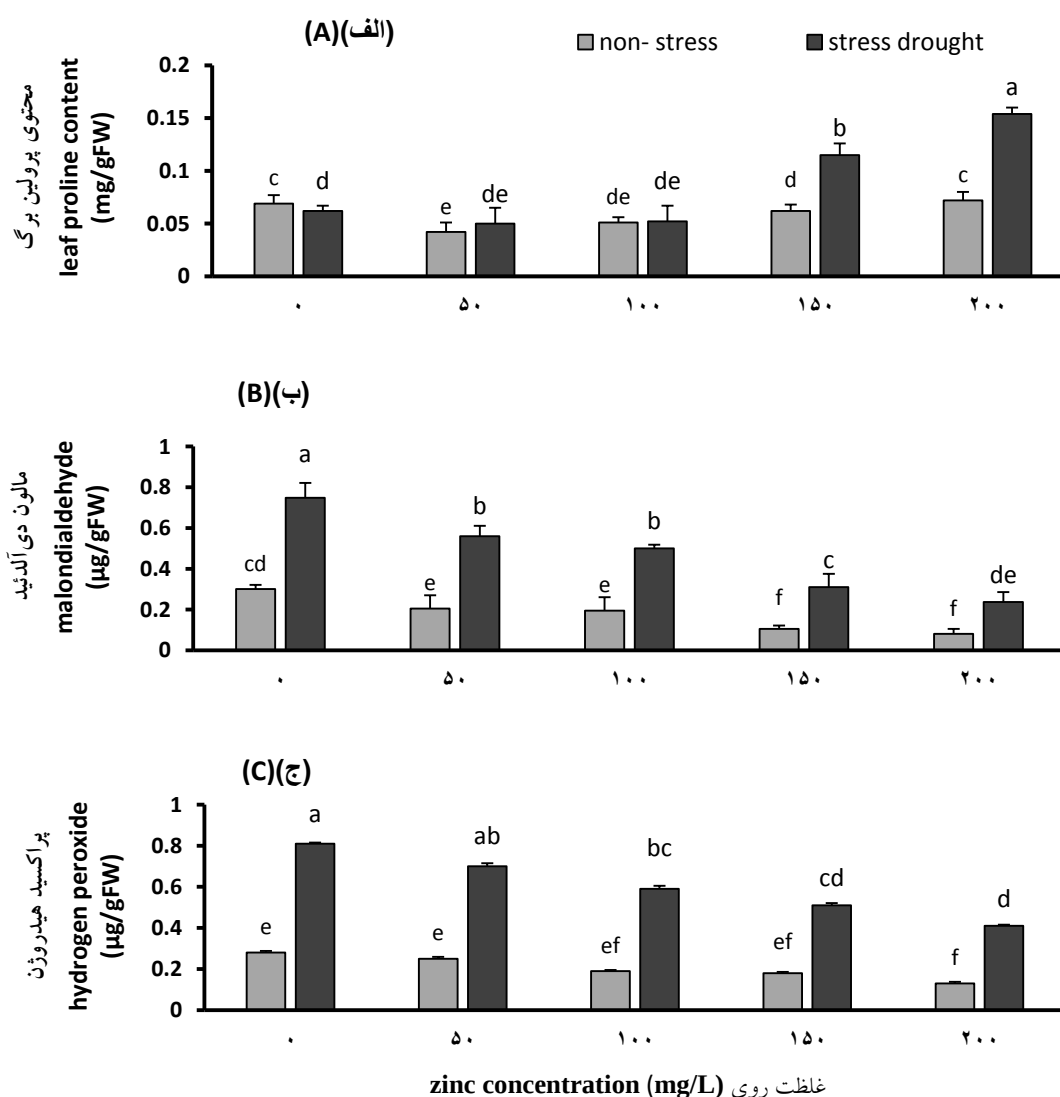


شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی بر محتوای نسبی آب برگ (الف) و نشت الکترولیتی غشاء (ب) در موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰.۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.

Figure 2. Interaction effect of drought stress and different zinc concentrations on relative water content (A), and membrane electrolyte leakage (B) in Persian shallot. Means with different letters are statistically significant at the 5% probability level based on the LSD test.

نشت الکترولیتی غشاء: در شرایط بدون تنش تغییرات نشت الکترولیتی غشاء تا غلظت ۱۵۰ میلی گرم روی در لیتر اختلاف معنی داری با تیمار شاهد نداشت اما در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به میزان ۳۵ درصد در مقایسه با شاهد کم تر بود (شکل ۲، ب). در شرایط تنش خشکی میزان نشت الکترولیتی غشاء در غلظت ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم روی در لیتر در مقایسه با شاهد به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۲، ب). کاهش نشت الکترولیتی غشاء با افزایش سطوح روی به دلیل تأثیر احتمالی عنصر روی در سنتز ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی برای بهبود فعالیت آنتی اکسیدان ها و کاهش تنش اکسیداتیو لیپیدهای غشاء سلولی ناشی از کاهش فعالیت رادیکال های آزاد اکسیژن در شرایط تنش خشکی باشد (۱۴). در شرایط بدون تنش نیز فراهم شدن مقادیر زیاد عنصر روی برای گیاه ممکن است مقاومت گیاه در برابر نشت الکترولیتی افزایش داده باشد. دیگر پژوهشگران با بررسی اثرات روی در جنس آلیوم نشان دادند که اثرات روی در تعدیل تنش اکسیداتیو و محافظت از غشاء سلولی برگ موجب جلوگیری از نشت الکترولیتی غشاء تحت شرایط تنش خشکی می شود (۱۲، ۱۳).

محتوای پرولین: در شرایط بدون تنش محتوای پرولین در گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۵۰ تا ۱۵۰ میلی گرم روی در لیتر نسبت به شاهد کاهش داشت ولی در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اختلاف معنی داری با شاهد مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی غلظت های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اختلاف معنی داری با شاهد نداشتند ولی در غلظت های بالاتر (۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) محتوای پرولین در مقایسه با شاهد به طور معنی داری افزایش یافت (شکل ۳، الف). پرولین و قندهای محلول نقش مثبتی در تنظیم اسمزی، جذب آب و عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی دارند (۲۶). از طرفی، تأمین عنصر روی برای گیاه شرایط مطلوبی برای فعالیت بسیاری از ترکیبات آنزیمی و انتقال اسیدهای آمینه برای بهبود سنتز پروتئین ها و متابولیسم کربوهیدرات ها فراهم می کند (۱۰، ۲۸). بنابراین افزایش غلظت پرولین به عنوان یک اسمولیت سازگار در شرایط تنش خشکی می تواند برای گیاهان موسیر تحت تنش خشکی مفید باشد. در مطالعات مشابه مطلبی فر و بیات (۲۰۲۰) گزارش کردند که بیشترین غلظت پرولین در گیاه سیر با مصرف ۶۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار به دست آمد که ۱۶ درصد بیش تر از شاهد بود (۱۰).



شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی بر محتوی پرولین (الف)، مالون‌دی‌آلدئید (ب) و پراکسید هیدروژن (ج) در موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.

Figure 3. Interaction effect of drought stress and different zinc concentrations on proline content (A), malondialdehyde (B), and hydrogen peroxide (C) in Persian shallot. Means with different letters are statistically significant at the 5% probability level based on the LSD test.

میلی گرم روی در لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت و در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی غلظت‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی گرم روی در لیتر به‌طور معنی‌داری میزان پراکسید هیدروژن را کاهش دادند (شکل ۳، ج). مالون دی‌آلدئید محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع است که در

مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن: در شرایط بدون تنش و تنش خشکی میزان مالون دی‌آلدئید در غلظت ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم رابطه معکوسی با غلظت روی نشان داد. با این حال شیب کاهش سطح مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش خشکی بیش‌تر از شرایط بدون تنش بود (شکل ۳، ب). مقدار پراکسید هیدروژن در شرایط بدون تنش تا غلظت ۱۵۰

اثر تنش اکسیداتیو پدید می‌آید (۴). به نظر می‌رسد عنصر روی با فعال کردن ترکیبات آنتی‌اکسیدان و کاهش اثرات پراکسید هیدروژن موجب حفظ اسیدهای چرب غیراشباع و در نتیجه کاهش میزان مالون دی‌آلدئید می‌شود (۲۹). این اثرات در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر برای موسیر ایرانی موجب حفظ ساختار سلولی شده است. علاوه بر این، افزایش سطح پرولین در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز می‌تواند در کاهش شدید پراکسید هیدروژن دخیل باشد (شکل ۳). پژوهش‌گران در دیگر مطالعات نتایجی همسو با نتایج آزمایش حاضر در ارتباط با افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و کاهش اثرات تنش اکسیداتیو ناشی از تامین عنصر روی در شرایط کم آبی برای گیاه گزارش کردند (۸، ۱۰).
رنگیزه‌های فتوسنتزی: در شرایط تنش خشکی مقادیر کلروفیل a، b و کارتنوئیدها در شرایط تنش خشکی

به ترتیب با ۰/۶۰، ۰/۲۲ و ۰/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که در مقایسه با شرایط بدون تنش به ترتیب ۴۶، ۵۱ و ۵۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ۸). در شرایط تنش شدید افزایش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و در نتیجه غلظت آن‌ها را نسبت به شرایط بدون تنش کاهش می‌دهد (۳۰). گزارش شده است که یکی از دلایل اصلی کاهش کلروفیل‌ها در تنش خشکی تداوم آن‌ها توسط گونه‌های فعال اکسیژن و همچنین مصرف کارتنوئیدها برای ساخته شدن آبسزیک اسید است (۳۱). افزایش سطح پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی (شکل ۳، ج) نشان‌دهنده افزایش سطح اکسیدان‌ها به وسیله تنش خشکی است، بنابراین کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در این شرایط قابل انتظار است که با نتایج دیگر پژوهش‌گران نیز هم‌خوانی دارد (۴ و ۳۱).

جدول ۷- تجزیه واریانس محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی.

Table 7. Analysis of variance for the photosynthetic pigments content in Persian shallot as influenced by drought stress and different zinc concentrations.

منابع تغییر Source of variation	df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئیدها Carotenoids
تکرار Replication	3	0.009*	0.001*	0.004*
سطح تنش Stress level (SL)	1	0.20**	0.05**	0.08**
غلظت روی Zinc concentration (ZC)	4	0.001 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.006 ^{ns}
SL × ZC	4	0.003 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.005 ^{ns}
خطا Error	27	0.02	0.005	0.002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		14.3	14.0	13.2

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطوح آماری $P < 0.05$ و $P < 0.01$ می‌باشند

^{ns}, * and ** means non-significant and significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

جدول ۸- مقایسه میانگین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی.

Table 8. Means comparison for the photosynthetic pigments content in Persian shallot as influenced by drought stress.

تیمارها Treatments	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g FW)	کارتنوئیدها Carotenoids (mg/g FW)
بدون تنش Without stress	1.10 ^a	0.45 ^a	0.42 ^a
سطح تنش Stress level	تنش خشکی Drought stress	0.60 ^b	0.22 ^b
		0.21 ^b	

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند
In each column, means with different letters are statistically significant at the 5% probability level based on the LSD test

نتیجه‌گیری کلی

تغییرات در ویژگی‌های رشد و فرایندهای بیوشیمیایی گیاه موسیر ایرانی نشان‌دهنده حساسیت گیاه موسیر به تنش خشکی است. عنصر روی علاوه بر بهبود رشد و عملکرد موسیر در شرایط بدون تنش، سبب تخفیف اثرات مخرب تنش خشکی بر برخی صفات گیاه موسیر ایرانی گردید. این تخفیف از طریق بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی و در نتیجه توسعه برگ و ریشه انجام شد. عدم تغییر عملکرد غده در سطوح مختلف روی تحت شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل اختصاص سهم بیش‌تری از مواد

فتوسنتزی برای تولید متابولیت‌های ثانویه باشد تا سیستم دفاعی گیاه را در برابر خشکی افزایش دهد. بنابراین محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی، علاوه بر دستیابی به تولید مناسب می‌تواند راهبرد مؤثری برای تقویت سیستم دفاعی گیاه برای سازگاری در مناطق دارای کمبود آب باشد. برای توصیه تیمار مناسب به کشاورزان انجام آزمایش در مقیاس مزرعه پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Zeinali, H., Kamalion, A., & Tavakoli, M. (2018). Getting to Khnow the Medicinal Plant to Shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.) and Its Production Method. Tehran. *Agriculture Publication of Education*, 1 (1), 1-12. [In Persian]
2. Fallah, S., Rostaei, M., Lorigooini, Z., & Abbasi Surki, A. (2018). Chemical compositions of essential oil and antioxidant activity of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in sole crop and dragonhead-soybean (*Glycine max*) intercropping system under organic - manure and chemical fertilizers. *Industrial Crop and Products*, 115(1), 158-165. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.02.00.
3. Ganjeali, A., Porsa, H., & Bagheri, A. (2011). Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. *Agriculture Water Management*, 98(9), 1477-1484. doi: 10.1016/j.agwat.2011.04.017.
4. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*. 54(5), 87-92. doi: 10.1007/s11099-015-0162-x.
5. Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A. R., & Ganjeali, F. (2011). Drought stress effects on

- photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 53(1), 47-56. doi: 10.2478/v10182-011-0007-2.
6. Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S. R., & Chashiani, S. (2016). Study of root morpho-physiological and biochemical characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to moisture stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 11(4), 39-51. doi: 20.1001.1.76712423.1395.11.43.4.1.
7. Borowiak, K., Gasecka, M., Mleczek, M., Dabrowski, J., Chadzinikolau, T., Magdziak, Z., Golinski, P., Rutkowski, P., & Kozubik, T. (2015). Photosynthetic activity in relation to chlorophylls, carbohydrates, phenolics and growth of a hybrid *Salix purpurea* × *triandra* × *viminalis* 2 at various Zn concentrations. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(1), 1-12. doi: 10.1007/s11738-015-1904-x.
8. Bybordi, A., & Mamedov, B. (2010). Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1), 94-103. doi: 10.15835/NSB213531.
9. Stampar, F., Hudina, M., Dolenc, K., & Usenik, V. (1998). Influence of foliar fertilization on yield quantity and quality of apple (*Malus domestica* borkh.). P. 91-94, In: D. Anac and P. Martin-PrÉvel (eds), Improved Crop Quality by Nutrient Management. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 86. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-0-585-37449-9_21.
10. Motalebifard, R., & Bayat, F. (2020). Zinc and manganese nutrients influence on yield and qualitative attributes of Hamedan white garlic. *Soil Applied Research*, 2(2), 123-134. https://asr.urmia.ac.ir/article_120715.html. [In Persian]
11. Zare Pak Ziaberi, S. S., & Majidian, M. (2022). Effects of zinc, boron, and sulfur on quantitative and qualitative characteristic of *Allium sativum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(4), 592-607. doi:10.22092/ijmapr.2022.358786.3174. [In Persian]
12. Razaq, T., Madiha, U., Najeebullah, M., & Riaz, M. (2019). Effect of zinc and boron on the growth and yield of gulabi variety of garlic (*Allium sativum* L.) under agro-climatic condition of Peshawar. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 14(1), 11-15.
13. Islam, M. R., Uddin, M. K., Sheikh, M. H. R., Mian, M. A. K., & Islam, M. Z. (2012). Yield of garlic (*Allium Sativum* L.) under different levels of zinc and boron. *SAARC Journal of Agriculture*, 10(1), 55-62. <https://www.cabidigitallibrary.org>.
14. Singh, S., Ram, M., & Yadav, N. (2014). Effect of phosphorus and zinc application on the growth and yield of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) intercropped with garlic (*Allium Sativum* L.). *Indian Journal of Agricultural Research*, 48(1), 1-8. doi: 10.5958/j.0976-058/X.48.1.001.
15. Aytac, Z., Gulmezoglu, N., Sirel, Z., & Tolay, I. (2014). The effect of zinc on yield, yield components and micronutrient concentrations in the seeds of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42 (1), 202-208. doi:10.15835/nbha4219405.
16. Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. F4.3.1-F4.3.8. In: R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker and P. Sporns (eds), Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA), John Wiley and Sons, New York.
17. Martinez, J. P., Silva, H., Ledent, J. F., & Pinto, M. (2007). Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus*

- vulgaris* L.). *European Journal Agronomy*, 26, 30-38. doi:10.1016/j.eja.2006.08.003.
18. Dionisio-sese, M. L., & Tobita, S. (1998). Antioxidant responses of rice seedling to salinity stress. *Plant Science*, 135, 1-9. doi:10.1016/s0168-9452(98)00025-9.
19. Bates, L. (1973). Rapid determination of free Proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207. doi:10.1007/BF00018060.
20. Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198. doi: 10.1016/0003-9861(68)90657-1.
21. Nag, S., Saha, K., & Choudhuri, M. A. (2000). A rapid and sensitive assay method for measuring amine oxidase based on hydrogen peroxide–titanium complex formation. *Plant Science* 157(1), 157-163. doi: 10.1016/S0168-9452(00)00281-8.
22. Ghasemi, K., Akbarpour, V., & Mohammadi Azni, M. (2021). Morphological and phytochemical response of garlic (*Allium sativum*) to nutrition of sulfur, humic acid and vermicompost. *Horticultural Plants Nutrition*, 3(1), 23-36. doi: 10.22070/HPN.2020.4573.1032. [In Persian]
23. Rahmani, F., Sayfzadeh, S., Jabbari, H., Valadabadi, S. A., & Masouleh, E. H. (2019). Alleviation of drought stress effects on safflower yield by foliar application of zinc. *International Journal of Plant Production* 13(4), 297-308. doi: 10.1007/s42106-019-00055-7.
24. Habibi, M., Majidian, M., & Rabiei, M., (2014). Effect of boron, zinc and sulfur elements on grain yield and fatty acid composition of rapeseed. *Journal of Crops Improvement*, 16(1), 69-84. doi: 10.22059/jci.2014.51943.
25. Singhal, U., Khanuja, M., Prasad, R., & Varma, A. (2017). Impact of synergistic association of ZnO-nanorods and symbiotic fungus *Piriformospora indica* DSM 11827 on *Brassica oleracea* var. botrytis (Broccoli). *Frontiers in Microbiology*, 8, 1909. doi: 10.3389/fmicb.2017.01909.
26. Samreen, T., Shah, H. U., Ullah, S., & Javid, M. (2017). Zinc effect on growth rate, chlorophyll, protein and mineral contents of hydroponically grown mung beans plant (*Vigna radiata*). *Arabian Journal of Chemistry*, 7(10), 145-152. doi: 10.1016/j.arabic.2013.07.005.
27. Shirvani-Naghani, S., Fallah, S., Pokhrel, L. R., & Rostamnejadi, A. (2024). Drought stress mitigation and improved yield in Glycine max through foliar application of zinc oxide nanoparticles. *Scientific Reports*, 14(1), 27898. doi: 10.1038/s41598-024-78504-1.
28. Yusefi-Tanha, E., Fallah, S., Pokhrel, L. R., & Rostamnejadi, A. (2023). Addressing global food insecurity: Soil-applied zinc oxide nanoparticles promote yield attributes and seed nutrient quality in *Glycine max* L. *Science of the Total Environment*. 876, 162762. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162762.
29. Shoja, T., Majidian, M., & Rabiee, M. (2018). Effects of zinc, boron and sulfur on grain yield, activity of some antioxidant enzymes and fatty acid composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Acta Agriculturae Slovenica* 111, 73-84. doi:10.14720/aas.2018.111.1.08.
30. Akbarpour, V., Ghasemi, K., & Mohammadi Azni, M. (2020). Investigating the effect of sulfur and silicon on some morphological and phytochemical properties of garlic. *Journal of Plant Production Research*, 24(4), 263-281. doi: 10.22069/JOPP.2019.16626.2519. [In Persian]
31. Helena C., & De Carvalho M. (2008). Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. *Plant Signaling and Behavior* 3(3), 156-165. doi: 10.4161/psb.3.3.5536.

