



## 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<sup>\*1</sup>, Sina Fallah<sup>2</sup>, Mohammad Rafieiohossaini<sup>3</sup>,  
Ali Abbasi Surki<sup>4</sup>

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Dept. 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\_rafee\_1999@yahoo.com
4. Associate Prof., Dept. of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: aabasi59@yahoo.com

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 02.12.2023

Revised: 05.29.2023

Accepted: 05.31.2023

#### Keywords:

Bulb,  
Drought tolerance,  
Foliar spray,  
Photosynthesis,  
Proline

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Drought stress is a major environmental challenge that has a negative impact on agricultural productivity by disrupting growth and developmental processes, ultimately resulting in reduced crop yields. One significant consequence of drought stress is disturbance of the plant's nutritional balance, which can potentially be alleviated by applying micronutrients through 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.

**Materials and Methods:** This study was carried out using a factorial and randomized complete block design within pots at the Shahrekord University Research Farm, consisting of four replications during the 2023-2024 agricultural season. The experimental factors included drought stress, which comprised both no stress and stress conditions by keeping moisture levels at 50% of field capacity, along with varying 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, with the exception of 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, while the least effects were recorded under drought stress with the

control treatment. Under drought conditions, the application of 200 mg/L zinc resulted in increases in 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, membrane electrolyte leakage (38%), malondialdehyde (68%), and hydrogen peroxide (48%) levels 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 concentration of 200 mg/L zinc, yielding 59.6 g, which represents an 11.2% increase over the control.

**Conclusion:** In this study, by noting a noteworthy positive impact from high amounts of zinc sulfate under both non-stressed and drought-stressed conditions, it can be determined that a level of 200 mg zinc per liter enhances the growth, physical characteristics, and biochemical activities in the development of Persian shallot plants. Moreover, in addition to promoting high yields in non-stressed circumstances, it also aids in boosting production during drought-stressed situations.

Cite this article: Zeilabpour, Yasman, Barani Motlagh, Mojtaba, Rafienia, Mohammad, Bidram, Elham, Yahyaabadi, Mojtaba. Davoodinia, Saeid , Fallah, Sina, Rafieiolhossaini, Mohammad, Abbasi Surki, Ali. 2023. 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*, 13 (1), 1-25.



© The Author(s).

DOI: -----

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<sup>۱\*</sup>، سینا فلاح<sup>۲</sup>، محمد رفیعی‌الحسینی<sup>۳</sup>، علی عباسی سورکی<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه 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\_rafiee\_1999@yahoo.com
۴. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: aabasi59@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰</p>	<p><b>سابقه و هدف:</b> 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.</p>
<p>واژه‌های کلیدی: پرولین، تحمل به خشکی، فتوستتوز، غده، محلول‌پاشی</p>	<p><b>مواد و روش‌ها:</b> 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 بعنوان عوامل آزمایشی بودند.</p>
	<p><b>یافته‌ها:</b> 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، محتوای پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن و رنگیزه‌های فتوستتوزی تحت تأثیر عامل خشکی قرار گرفتند. اثر عنصر روی</p>

بر کلیه صفات بجز تعداد برگ و رنگیزه‌های فتوستتزی و اثر متقابل تنش خشکی و روی بر همه صفات یاد شده بجز ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر غده، تعداد پیاز خواهری و رنگیزه‌های فتوستتزی 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 (۰/۹۵)، وزن تر ریشه (۰/۷۶)، وزن تر پیاز خواهری (۰/۸۸)، محتوای نسبی آب برگ (۰/۴۰)، محتوای پرولین (۰/۱۴۸) در مقایسه با شاهد افزایش داشتند ولی نشت الکترولیتی غشاء (۰/۳۸)، مالون‌دی‌آلدئید (۰/۶۸) و پراکسید هیدروژن (۰/۴۸) 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: زیلاب‌پور، یاسمن، بارانی‌مطلق، مجتبی، رفیعی‌نیا، محمد، بیدرام، الهام، یحیی‌آبادی، مجتبی (۱۴۰۲). سنتز سبز و مشخصه‌یابی کود نانو کربن دات آهن و مطالعه انکوباسیونی آن در یک خاک آهکی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۳ (۱)، ۲۵-۱.

DOI: -----



© 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 گل-دهنده 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 به دلیل 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 پر انرژی، 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 کم مصرف 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 غیر مستقیم سبب افزایش عملکرد محصولات گردد، از طرفی برای رشد طبیعی و تولید مثل گیاهان زراعی هم ضروری بوده و در سنتز پروتئین‌ها و هورمون گیاهی اکسین (محرک رشد) بکار می‌رود (۹).

در این آزمایش، اسیدیته 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

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 مناسب در تولید برای توسعه در نظام‌های زراعی حائز 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. لذا 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 بصورت 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 ۱۴۰۲-۱۴۰۳ انجام شد. عوامل آزمایش شامل تنش خشکی (فاکتور اول) و عنصر روی (فاکتور دوم) بودند. سطوح تنش خشکی شامل

خاک و کمبود عنصر روی (جدول ۱)، سطوح مختلف از سولفات روی مصرفی در تیمارهای آزمایش بویژه 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.

در آزمایش مطلبی‌فر 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 آلئوسین 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 تحقیق 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، محتوی 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

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 رسی، مخلوط شده با کود اوره (۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کود گاوی کاملاً پوسیده (۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) ریخته شد. گلدان‌ها در جوی‌های عمیقی قرار گرفت و اطراف آنها با خاک پوشانده شد، به طوری که سطح گلدان‌ها حدود ۵ سانتی‌متر 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

اوایل مهر ماه ۱۴۰۲، در هر گلدان یک پیاز موسیر در عمق ۵ سانتی‌متری کشت و بلافاصله آبیاری انجام گردید و تا زمان شروع تنش خشکی آبیاری مطابق نیاز گیاه ادامه یافت. محلول‌پاشی روی در اواسط فروردین ماه ۱۴۰۳ (در مرحله توسعه برگ‌های جوان گیاه) بر اساس غلظت‌های مورد نظر انجام شد و در اوایل اردیبهشت ماه تکرار گردید. محلول‌های روی در بعد از ظهر بر برگ‌های هر گیاه تا هنگام خیس شدن کامل برگ‌ها، اسپری گردید. تنش خشکی روی نیمی از گلدان‌ها در نیمه دوم اردیبهشت ماه شروع و تا پایان دوره رشد (اوایل تیر ماه 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 بوسیله خط‌کش تعیین و تعداد برگ‌ها شمارش شد. پس از نمونه‌برداری از بوته‌ها، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل‌ها 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 داینسسسیوسنز و توییتا (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 پروتکل‌های مربوطه اندازه‌گیری و محاسبه شدند. در

اواخر خرداد ۱۴۰۳ غده‌ها از خاک خارج شد و تعداد پیاز خواهری هر غده ثبت شد، سپس وزن تر برگ، ریشه، پیاز خواهری و غده توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شدند.

### 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، مالون‌دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن و رنگیزه‌های فتوستتزی موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند ( $P < 0.01$ ). اثر غلظت‌های مختلف عنصر روی بر کلیه صفات به استثناء تعداد برگ و رنگیزه‌های فتوستتزی معنی‌دار 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، مالون‌دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن معنی‌دار شدند (جدول 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 سانتی‌متر) کاهش داشت

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بصورت آزمایش فاکتوریل (۵ × ۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بوسیله نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال آماری ۵ درصد انجام شد.

(جدول ۳). اثر محلول‌پاشی روی تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر روی ارتفاع بوته مشابه شاهد بود و در سطوح بالاتر افزایش معنی‌داری 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 اثرات خشکی بر تقسیم سلولی و رشد موسیر است (۴). عنصر روی به‌عنوان یک کوفاکتور و ریزمغذی ضروری احتمالاً با تحریک محرک‌های رشدی در گیاه و در نتیجه افزایش تقسیم و طول سلولی (۱۲) موجب رشد و نمو در اندام‌های گیاه موسیر از جمله ارتفاع می‌شود.

در مطالعات رزاق و همکاران (۲۰۱۹) و قاسمی و همکاران (۲۰۲۱) نتایج مشابهی از بهبود شاخصاره و توان فتوستتزی 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 غلظت‌های 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.**

منابع تغییر Source of variation	df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته No. leaf per plant	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن تر ریشه بوته Root fresh weight
تکرار	3	80**	0.22 <sup>ns</sup>	73**	1.0 <sup>ns</sup>

Replication					
سطح تنش Stress level (SL)	1	484**	0.60*	1197**	116**
غلظت روی Zinc concentration (ZC)	4	6.7*	0.10 <sup>ns</sup>	413**	17.6**
SL × ZC	4	0.50 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	6.2*	4.2**
خطا Error	27	2.4	0.10	1.7	0.4
ضریب تغییرات CV (%)		6.8	15	4.2	10.1

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.

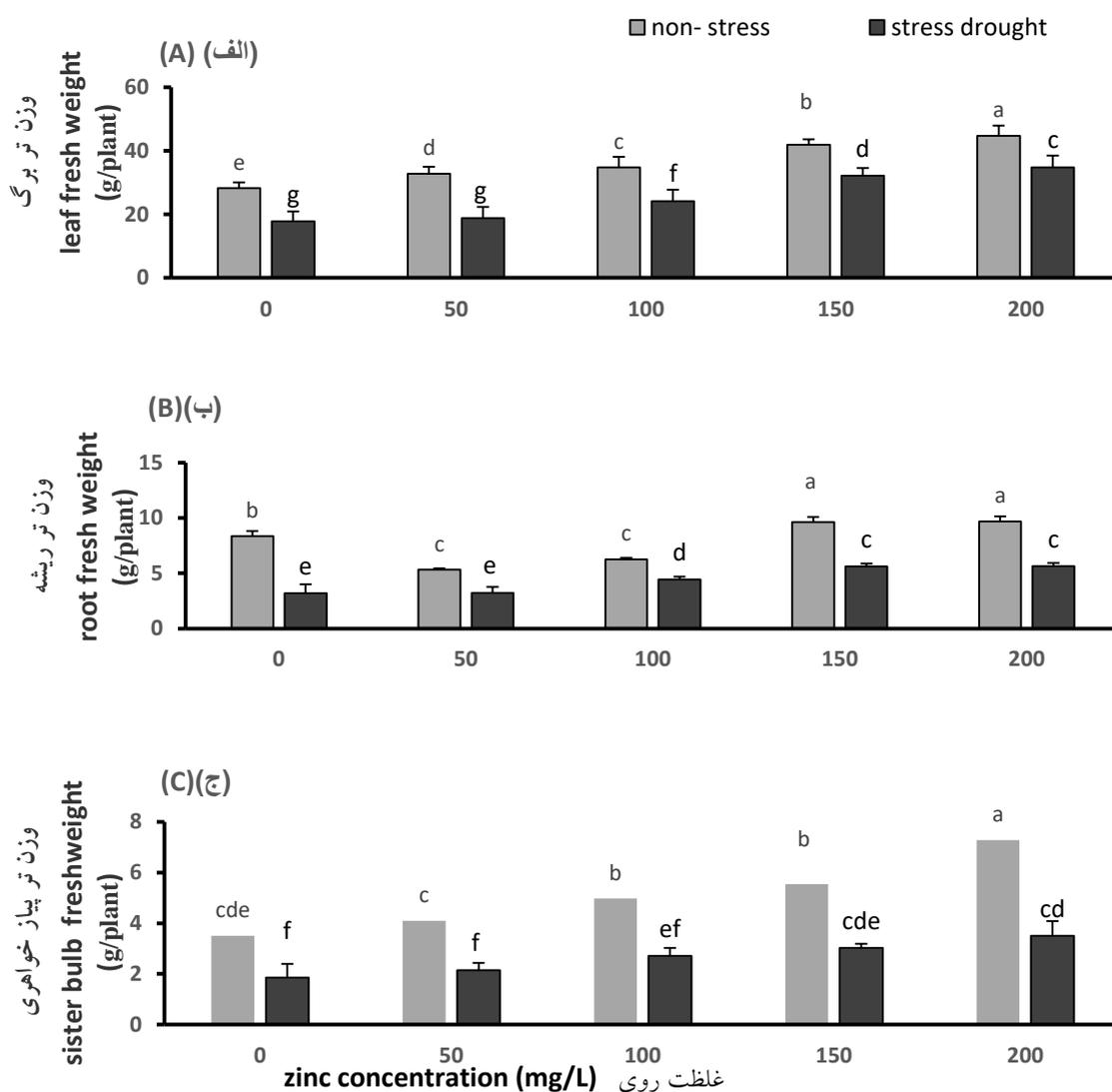
جدول ۳- مقایسه میانگین ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی.

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.

تیمارها Treatments		ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته No. leaf per plant
سطح تنش Stress level	بدون تنش Without stress	26.4 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>
	تنش خشکی Drought stress	19.5 <sup>b</sup>	1.7 <sup>b</sup>
غلظت روی (میلی‌گرم در لیتر) Zinc concentration (mg/L)	0	21.7 <sup>b</sup>	1.8 <sup>a</sup>
	50	22.4 <sup>ab</sup>	2.0 <sup>a</sup>
	100	23 <sup>ab</sup>	1.7 <sup>a</sup>
	150	23.5 <sup>a</sup>	1.7 <sup>a</sup>
	200	24 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>

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.

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 ۱۵۰-۲۰۰ 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

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

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 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 فعالیت های فتوسنتزی برگ‌ها و افزایش عملکرد قبلا 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).

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 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 موثر 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

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.

منابع تغییر Source of variation	df	وزن تر غده Bulb fresh weight	تعداد پیاز خواهری No. sister-bulb per plant	وزن تر پیاز خواهری Sister bulb weight
تکرار Replication	3	26**	0.10 <sup>ns</sup>	0.50 <sup>ns</sup>
سطح تنش Stress level (SL)	1	2059**	13**	58**
غلظت روی Zinc concentration (ZC)	4	48*	2.2*	9.1**
SL × ZC	4	12 <sup>ns</sup>	10 <sup>ns</sup>	1.2*

خطا Error	27	13	0.50	0.30
ضریب تغییرات CV (%)		6.4	21	15

NS، \* و \*\* به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطوح آماری  $P < 0.05$  و  $P < 0.01$  می باشد.  
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 غلظت های 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.

تیمارها Treatments		وزن تر غده Bulb weight (g/plant)	تعداد پیاز خواهری در بوته No. sister-bulb per plant
سطح تنش Stress level	بدون تنش Without stress	64 <sup>a</sup>	3.8 <sup>a</sup>
	تنش خشکی Drought stress	49.6 <sup>b</sup>	2.6 <sup>b</sup>
غلظت روی (میلی گرم در لیتر) Zinc concentration (mg/L)	0	53.6 <sup>c</sup>	2.6 <sup>c</sup>
	50	54.8 <sup>bc</sup>	2.9 <sup>bc</sup>
	100	58.1 <sup>bc</sup>	3.2 <sup>bc</sup>
	150	58.5 <sup>ab</sup>	3.4 <sup>ab</sup>
	200	59.6 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>

در هر گروه و در هر ستون، میانگین های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی داری هستند.

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

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 کمتر 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

تعداد و وزن تر پیاز خواهری: تعداد پیاز خواهری در شرایط تنش خشکی ۲/۶ عدد که ۳۲ درصد کمتر 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

جذب آب در اندام‌ها، محتوای ترکیبات محلول در برگ‌ها و تنظیم اسمزی را بهبود می‌دهد (۱۱). بنابراین افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند به نقش مثبت روی نسبت داده شود ولی در شرایط تنش خشکی بدلیل سطح بالای آب اندام‌ها فقط تأمین مقادیر زیاد روی (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) احتمالاً بدلیل تجمع زیاد مواد فتوسنتزی و در نتیجه تغلیط بیشتر کربوهیدرات‌ها موجب جذب آب و در نتیجه افزایش محتوای رطوبت می‌گردد (۷). در آزمایش حاضر محلول‌پاشی سولفات روی با افزایش رشد ریشه (شکل ۱، ب) می‌تواند 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).

نقش‌های عنصر روی است (۲۶) که موجب شده وزن پیازهای خواهری گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط خشکی مشابه گیاهان بدون تنش به‌علاوه بدون محلول‌پاشی باشند (جدول ۵). در گزارش مطلبی‌فر و بیات (۲۰۲۰) اظهار گردید که بیشترین عملکرد سیر با ۲۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی بدست آمد (۱۰). همچنین 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 میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و در سایر غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب در گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بطور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت (شکل ۲، الف). سولفات روی

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

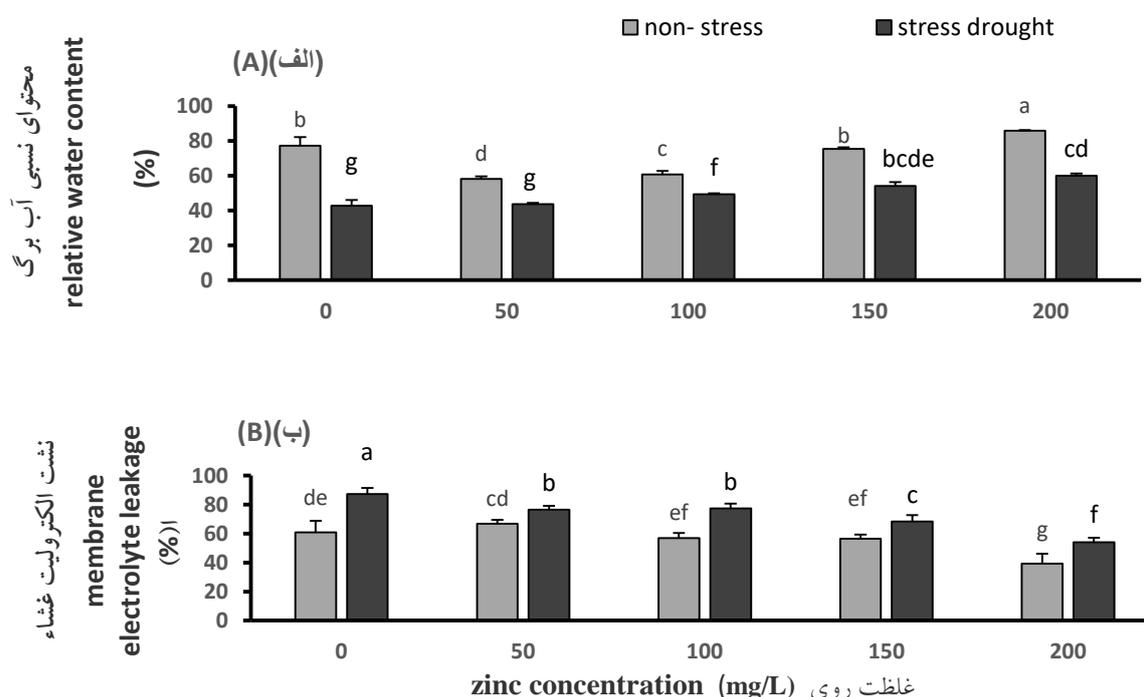
**Table 6. Analysis of variance for the relative leaf water content, membrane electrolyte leakage, proline content, malondialdehyde and hydrogen peroxide content in Persian shallot as influenced by drought stress and different zinc concentrations.**

منابع تغییر Source of variation	df	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	نشت الکتrolیتی غشاء Membrane electrolyte leakage	محتوای پرولین Proline content	محتوای مالون‌دی‌آلدئید Malondialdehyde content	محتوای پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide
تکرار Replication	3	2.91*	28 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>
سطح تنش Stress level (SL)	1	4654**	2900**	0.007**	1.5**	1.60**
غلظت روی	4	593**	915**	0.006**	0.29**	0.32**

Zinc concentration (ZC)						
SL × ZC	4	17**	80*	0.002**	0.89**	0.10**
خطا Error	27	92	534	0.0001	0.001	0.001
ضریب تغییرات CV (%)		3.0	6.9	13	5.9	6.3

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.



شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی و غلظت‌های مختلف روی بر محتوی نسبی آب برگ (الف) و نشت الکترولیتی غشاء (ب) در موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی داری 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.

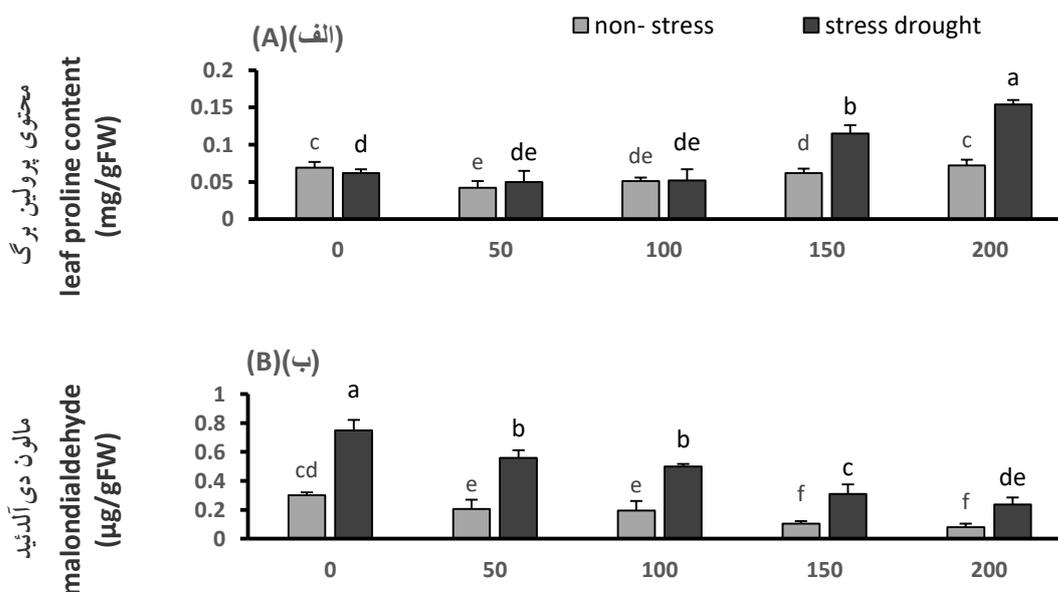
الکترولیتی غشاء در غلظت ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم روی در لیتر در مقایسه با شاهد بطور معنی داری کاهش یافت (شکل ۲، ب). کاهش نشت الکترولیتی غشاء با افزایش سطوح روی به دلیل تأثیر احتمالی عنصر روی در سنتز ترکیبات آنزیمی و غیر آنزیمی برای بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش تنش اکسیداتیو لیپیدهای غشاء سلولی ناشی از کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش خشکی

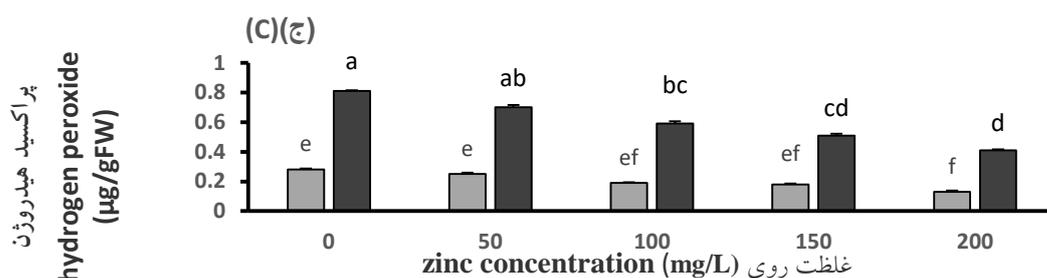
نشت الکترولیتی غشاء: در شرایط بدون تنش تغییرات نشت الکترولیتی غشاء تا غلظت ۱۵۰ میلی گرم روی در لیتر اختلاف معنی داری با تیمار شاهد نداشت اما در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به میزان ۳۵ درصد در مقایسه با شاهد کمتر بود (شکل ۲، ب). در شرایط تنش خشکی میزان نشت

غلظت‌های بالاتر (۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) محتوای پرولین در مقایسه با شاهد بطور معنی‌داری 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 پروتئین‌ها و متابولیسم کربوهیدرات‌ها فراهم می‌کند (۱۰، ۲۸). بنابراین افزایش غلظت پرولین بعنوان یک اسمولیت سازگار در شرایط تنش خشکی می‌تواند برای گیاهان موسیر تحت تنش خشکی مفید باشد. در مطالعات مشابهه مطلبی‌فر 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 بیشتر از شاهد بود (۱۰).

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 محققان 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 می‌شود (۱۲، ۱۳).

**محتوای پرولین:** در شرایط بدون تنش محتوای پرولین در گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم روی در لیتر نسبت به شاهد کاهش داشت ولی در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند ولی در





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.**

در لیتر برای موسیر ایرانی موجب حفظ ساختار سلولی شده است. علاوه بر این، افزایش سطح پرولین در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر نیز می‌تواند در کاهش شدید پراکسید هیدروژن دخیل باشد (شکل ۳). محققان 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 فتوستتزی:** در شرایط تنش خشکی مقادیر کلروفیل a، b و کارتنوئیدها در شرایط تنش خشکی به ترتیب با ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که در مقایسه با شرایط بدون تنش به ترتیب ۵۲، ۴۳ و ۶۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ۸). در شرایط تنش شدید افزایش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث تخریب رنگیزه‌های فتوستتزی شده و در نتیجه غلظت آنها را نسبت به شرایط بدون تنش کاهش می‌دهد (۳۰). گزارش شده

مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن: در شرایط بدون تنش و تنش خشکی میزان مالون‌دی‌آلدئید در غلظت ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم رابطه معکوسی با غلظت روی نشان داد. با این حال شیب کاهش سطح مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط بدون تنش بود (شکل ۳، ب). مقدار پراکسید هیدروژن در شرایط بدون تنش تا غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم روی در لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت و در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی غلظت‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر بطور معنی‌داری میزان پراکسید هیدروژن را کاهش دادند (شکل ۳، ج). مالون‌دی‌آلدئید محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع است که در 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 غیر اشباع و در نتیجه کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید می‌شود (۲۹). این اثرات در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم روی

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 بوسیله تنش خشکی است، بنابراین کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در این شرایط قابل انتظار است که با نتایج دیگر محققان 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	کارتونوئیدها Carotenoids
تکرار Replication	3	0.009*	0.001*	0.004*
سطح تنش Stress level (SL)	1	0.2**	0.5**	0.08**
غلظت روی Zinc concentration (ZC)	4	0.001 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>
SL × ZC	4	0.003 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>
خطا Error	27	0.02	0.005	0.002
ضریب تغییرات CV (%)		20	24	15

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 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)	کارتونوئیدها Carotenoids (mg/g FW)
سطح تنش Stress level	بدون تنش Without stress	0.56 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>
	تنش خشکی Drought stress	0.31 <sup>b</sup>	0.22 <sup>b</sup>	0.30 <sup>b</sup>

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.

تغییرات در ویژگی‌های رشد و فرایندهای بیوشیمیایی گیاه موسیر ایرانی نشان‌دهنده حساسیت گیاه موسیر به

### نتیجه‌گیری کلی

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 موثری برای تقویت سیستم دفاعی گیاه برای سازگاری در مناطق دارای کمبود آب باشد. برای توصیه تیمار مناسب به کشاورزان انجام آزمایش در مقایسه مزرعه پیشنهاد می‌شود.

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

## منابع

1. Zaynali, H., Kamalion, A., & Tavakoli, M. (2018). Getting to Know 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., Rostaie, 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.2018.02.003
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 & ajafi, 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.). In: Anac, D., Martin-PrÉvel, P. (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](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. In: Wrolstad, R.E., Acree, T.E., An, H., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F. and Sporns, P., Eds., *Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA)*, John Wiley and Sons, New York, F4.3.1-F4.3.8.
  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.

