فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۴۱-۵۵
https://doi.org/10.22034/14.69.41

مقاله پژوهشی

# تأثیر سلنیوم بر تغییرات رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss.) در شرایط تنش خشکی

سعید داودی‌نیا، سینا فلاح*، محمد رفیعی‌الحسینی، علی عباسی سورکی و پرتو روشندل
گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰)

## چکیده
برای ارزیابی تأثیر سلنیوم بر رشد و تولید موسیر ایرانی در شرایط تنش خشکی آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با چهار تکرار به صورت گلدانی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۱۴۰۲ انجام شد. سطوح تنش خشکی (بدون تنش و تنش خشکی) و محلول‌پاشی سلنیوم (صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان عوامل آزمایشی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد ارتفاع بوته، تعداد و وزن تر برگ، وزن تر ریشه، تعداد و وزن پیاز خواهری، وزن تر غده، محتوای نسبی آب برگ، پرولین و پروتئین محلول برگ، رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها)، نشت الکترولیتی غشاء، محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن بطور معنی‌داری تحت تأثیر خشکی قرار گرفتند. اثر سلنیوم بر پارامترهای رشدی و فیزیولوژیک یاد شده به استثنا کارتنوئیدها معنی‌دار شد. اثر متقابل سلنیوم با تنش خشکی برای تعداد و وزن تر برگ، وزن تر ریشه، وزن پیاز خواهری، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیتی غشاء، پرولین و پروتئین محلول برگ، مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن معنی‌دار گردید. در شرایط تنش خشکی وزن تر برگ، وزن پیاز خواهری، محتوای نسبی آب برگ و پرولین با محلول‌پاشی در غلظت ۳ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر در مقایسه با عدم کاربرد سلنیوم به ترتیب با ۱۰، ۱۵۴، ۱۱ و ۱۲۱ درصد افزایش یافت. بیشترین و کمترین وزن تر غده (۶۵/۴ و ۴۸/۹ گرم در بوته) به ترتیب با محلول‌پاشی ۳ و ۱۲ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر به دست آمد. بطورکلی نتیجه‌گیری می‌شود که محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر، می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاه موسیر ایرانی به خشکی و بهبود فعالیت‌های متابولیکی و بیوشیمیایی دخیل در رشد گیاه گردد و به حفظ پتانسیل تولید آن کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: پروکسیداسیون لیپیدی، پرولین، ریشه، غده، فتوسنتز، موسیر ایرانی

## مقدمه
موسیر (*Allium hirtifolium* Boiss) گیاهی علفی، وحشی، چندساله با ساقه‌های زیرزمینی از نوع پیاز (غده زیرزمینی)، دارای ساقه عمودی گل‌دهنده به ارتفاع ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر و برگ‌های خطی، نوک تیز با طول ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است. این گیاه متعلق به تیره Alliaceae، حاوی ترکیبات سولفوره، آلیل‌پروپیل و متیل سولفانیل است که خاصیت ضدباکتریایی و آنتی‌بیوتیکی دارند (زینلی و همکاران، ۱۳۹۸).

امروزه تغییرات اقلیمی و شرایط نامنظم آب و هوایی و به تبع آنها کمبود منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی، باعث

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: falah1357@yahoo.com

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

بروز تنش خشکی در گیاهان شده است. این تنش علاوه بر کاهش عملکرد گیاهان باعث ایجاد طیف وسیعی از تغییرات فیزیولوژیکی، اختلال در فرایندهای متابولیک و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) درون گیاه می‌شود. در زمان وقوع تنش خشکی، پتانسیل آب در گیاه کاهش یافته و به غشاء سلولی آسیب وارد می‌شود، انتقال الکترون مهار شده و ساختارهای غشایی کلروپلاست و تیلاکوئیدی و رنگدانه‌های فتوسنتزی تخریب می‌شوند که نتیجه آن کاهش شدید فتوسنتز و عملکرد نهایی است (Rady *et al.*, 2020). این در حالی است که مورفولوژی و فیزیولوژی گیاهان به صورتی تکامل پیدا کرده است که بتوانند از اثرات مخرب تنش‌های محیطی بکاهند (Lu *et al.*, 2020). اگر چه موسیر گیاهی با نیاز آبی کم است اما برای حفظ محتوای آب درون بافتی و رطوبت محیط ریشه، تأمین حداقل نیاز آبی (۳۵۰۰ متر مکعب در هر هکتار) در طول دوره رشد برای آن ضروری است (شریف روحانی و همکاران، ۱۳۹۳).

سلنیوم به عنوان عنصری متالوئید (شبه‌فلز)، به علت داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارای تأثیر مثبت بر القای سیستم دفاعی گیاه برای پاسخ‌های مناسب مورفولوژیک و فیزیولوژیک در برابر تنش‌های مختلف است (Borbely *et al.*, 2021). این عنصر با حضور در سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی (مثل آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز) و ایجاد تعادل هورمونی به عنوان یک ماده اساسی در سلامتی انسان و حیوانات شناخته شده است که از طریق زنجیره غذایی گیاهی تأمین می‌شود (Hajiboland, 2012). آنتی‌اکسیدان‌ها باعث کاهش سمیت ROS حاصل از تنش‌های القایی در گیاهان شده و سلول‌های گیاهی را از آسیب محافظت می‌کنند (Huang *et al.*, 2021). سلنیوم با کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش محتوای پرولین در محافظت از غشاء سلولی و سایر اندامک‌های سلول و محافظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش مثبت دارد و با افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش، رشدونمو گیاه را بهبود می‌بخشد (Gouveia *et al.*, 2020). سلنیوم به شکل سلنات یا سلنیت جذب گیاهان می‌شود و به سلنومتیونین و یا سلنوسیستئین تبدیل می‌شود که شکل، نحوه کاربرد و نوع گونه گیاهی در بروز علائم مسمومیت حاصل از سلنیوم بسیار تأثیرگذار است (Paciolla *et al.*, 2011).

در بررسی سطوح مختلف سلنیوم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.)، عامریان و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم با تأثیر مثبت بر شاخص‌های رشدی و فیژیولوژیک باعث افزایش وزن تر برگ، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر ساقه گیاه، وزن سوخ، قطر سوخ و طول سوخ گردید. همچنین کریمی و صیدی‌خواه (۱۳۹۵) نشان دادند سلنیوم در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر باعث تحریک رشد گیاه تره ایرانی (*Allium iranicum*) شد، ولی وزن تر غده کاهش و محتوای مالون دی‌آلدئید بخش هوایی در مقایسه با عدم کاربرد سلنیوم بطور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش ۴۰ درصد محتوای نسبی آب در گیاه سیر (*Allium sativum* L.)، تیمار شده با غلظت‌های ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر (خادمی آستانه و همکاران، ۱۳۹۶) و افزایش ۵۷ درصد پرولین در مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) محلول‌پاشی شده با ۳۰ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر (مهدوی اردکانی و همکاران، ۱۴۰۰)، نیز نشان‌دهنده تأثیر سلنیوم بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه است. در مطالعه دیگری نشان داده شد که کاربرد ۳ و ۵ میکرومولار سلنیوم به ترتیب باعث افزایش ۳۳/۶ و ۸/۱ درصد شاخص پایداری غشاء سلولی در گیاه فلفل تند (*Capsicum anuum*) شد، همچنین شاخص سطح برگ در این غلظت‌ها به ترتیب ۲۴/۶ و ۲۵/۱ درصد و مقدار کروفیل a و کلروفیل b در غلظت ۵ میکرومولار به ترتیب ۵/۷ و ۳۸/۷ درصد نسبت به عدم کاربرد سلنیوم افزایش یافت (شکاری و همکاران، ۱۳۹۴).

مطالعات نشان داده است که کاربرد سلنیوم به شکل سلنات و به‌صورت محلول‌پاشی از دیگر کاربردها و اشکال آن مؤثرتر است و مصرف بهینه آن می‌تواند موجب افزایش تحمل گیاهان نسبت به انواع تنش‌ها از جمله خشکی گردد (Huang *et al.*, 2021). این در حالی است که غلظت‌های بالای آن (بیش از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) باعث تحریک تنش اکسیداتیو،

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

تجزیه غشاها و کاهش رشد گیاهان می‌شود (Skrypnik *et al.*, 2019)، لذا انجام تحقیقات علمی برای تعیین غلظت‌هایی با اثرات مفید بر رشد، عملکرد و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه در شرایط نامساعد محیطی و کاهش اثرات مخرب انواع تنش‌ها ضرورت دارد (Skrypnik *et al.*, 2019).

در مناطق مستعد کشت موسیر اغلب از بارندگی (پاییز تا بهار) برای تأمین نیاز آبی آن استفاده می‌شود اما در شرایط محدودیت بارندگی به ویژه در فصل بهار احتمال تنش خشکی وجود دارد. از طرفی تابحال نحوه رشد و تولید این محصول در شرایط تنش خشکی در انتهای فصل رشد مورد مطالعه قرار نگرفت و از آنجا که، عنصر سلنیوم به دلیل اثرات مثبت فیزیولوژیکی می‌تواند تحمل گیاهان را به محدودیت آب افزایش دهد، لذا این مطالعه با هدف امکان رشد و تولید موسیر در شرایط کم آبی با استفاده از محلول‌پاشی سلنیوم اجرا شد.

**مواد و روش‌ها**

آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک کاملاً 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 ۱۴۰۲ اجرا گردید. غلظت‌های مختلف سلنیوم شامل صفر (شاهد)، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر از منبع سلنات سدیم در شرایط آبیاری مطلوب (بدون تنش) و تنش خشکی (حفظ رطوبت خاک در محدوده ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مورد مقایسه قرار گرفتند. غلظت‌های سلنیوم بر اساس مطالعات انجام‌شده تعیین گردید (Skrypnik *et al.*, 2019; Habibi, 2013) و سلنات سدیم تولیدشده توسط شرکت SIGMA–ALORICH در آمریکا، از یک کارگزاری سموم کشاورزی در اصفهان تهیه شد.

پیازهای مناسب از شرکت تخصصی گیاهان دارویی چویلان تهیه شد. سپس پیازهای سالم، هم‌اندازه و یکنواخت انتخاب و با قارچکش پروپیکونازول ضدعفونی شدند. در گلدان‌های زهکش‌دار (با ارتفاع و قطر ۳۰ سانتی‌متر) ۱۲ کیلوگرم خاک زراعی حاصلخیز با بافت سبک و شنی، مخلوط با کود اوره (به میزان 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، به‌طوریکه سطح گلدان‌ها حدود ۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک پیرامون بود.

اوایل مهرماه 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 سلنیوم در اواسط فروردین‌ماه ۱۴۰۳ (در مرحله توسعه برگ‌های گیاه) براساس غلظت‌های مورد نظر انجام شد و در اوایل اردیبهشت‌ماه تکرار گردید. محلول‌های سلنیوم در بعدظهر روی برگ‌های هر گیاه تا هنگام خیس شدن کامل برگ‌ها، اسپری گردید. تنش خشکی روی نیمی از گلدان‌ها در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه 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 و حجم آب قابل استفاده در هر گلدان به میزان ۴ لیتر تعیین شد که ۵۰ و ۸۰ درصد آن به ترتیب به عنوان سطح تنش خشکی و بدون تنش در نظر گرفته شد.

در پایان دوره رشد (در اوایل تیرماه ۱۴۰۳)، ارتفاع بوته به وسیله خط‌کش تعیین و تعداد برگ‌ها شمارش شد. پس از نمونه‌برداری از بوته‌ها، مقدار کلروفیل از روش Lichtenthaler و همکاران (۲۰۰۱)، محتوای نسبی آب برگ از روش Martinez و همکاران (۲۰۰۷)، نشت الکترولیتی غشاء برگ از روش Dionisio-sese و همکاران (۱۹۹۸)، محتوای پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، پراکسیداسیون لیپید غشاء برگ از روش Heath و Packer (۱۹۶۸)، پراکسید هیدروژن برگ از روش Nag و همکاران (۲۰۰۰) و پروتئین محلول برگ از روش Bradford (۱۹۷۹)، طبق فرایند و مراحل پروتکل‌های مربوطه اندازه‌گیری و محاسبه شدند. برگ‌های باقیمانده هر بوته از سطح خاک قطع شده و وزن تر آنها ثبت گردید، سپس غده‌ها از خاک خارج و پس از شمارش تعداد پیاز خواهری، وزن ریشه، پیازهای خواهری و غده توسط ترازوی دیجیتال

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

۰/۰۰۰۱ (مدل KERN abj/abs-n (ABJ 220-4NM) اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

## نتایج

**ارتفاع بوته:** ارتفاع بوته موسیر ایرانی تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف سلنیوم به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۱). ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی ۱۵/۳۸ سانتی‌متر بود و ۳۴/۷ درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش داشت (شکل 1a). غلظت‌های پایین سلنیوم (۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر) تغییری در ارتفاع بوته ایجاد نکرد اما در غلظت‌های بالاتر (۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر) ارتفاع بوته به طور معنی‌داری (۳۵/۶ – ۱۸/۹ درصد) کاهش داشت (شکل 1b).

**تعداد برگ:** اثر متقابل بین تنش خشکی و غلظت‌های مختلف سلنیوم در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد برگ موسیر ایرانی معنی‌دار بود (جدول ۱). در شرایط بدون تنش تعداد برگ در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد (عدم مصرف سلنیوم) ۳۱/۸ درصد افزایش، ولی در غلظت‌های ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با عدم مصرف سلنیوم کاهش داشت (شکل 1c). در شرایط تنش خشکی، این صفت در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد ۷۱/۴ درصد افزایش و در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر ۴۲/۸ درصد کاهش یافت ولی در سایر غلظت‌ها تغییری نداشت (شکل 1c).

**وزن تر برگ:** اثر متقابل تنش خشکی و سطوح سلنیوم بر وزن تر برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). در شرایط بدون تنش، سلنیوم تا غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر تأثیری بر وزن تر برگ نداشت اما پس از آن وزن تر برگ را به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد (عدم مصرف سلنیوم) کاهش داد، به‌طوریکه وزن تر برگ در غلظت‌های ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب به مقدار ۳۱/۸ و ۴۴/۷ درصد کاهش یافت. این در حالی است که در شرایط تنش خشکی غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌لیتر در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشتند و وزن تر برگ را به ترتیب ۱۶/۵ و ۱۹/۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند. همچنین غلظت‌های ۹ و ۱۲ در یک روند مشابه با هم، همانند شرایط بدون تنش این صفت را به طور معنی‌داری (۳۲ – ۲۶ درصد) نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل 2a).

**وزن تر ریشه:** وزن تر ریشه تحت تأثیر اثر متقابل بین خشکی و سلنیوم قرار گرفت و در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در شرایط بدون تنش، غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌لیتر در لیتر وزن تر ریشه را به ترتیب ۲۹/۷ و ۲۴/۰۴ درصد در مقایسه با شاهد (عدم مصرف سلنیوم) افزایش دادند، اما در غلظت‌های ۹ و ۱۲ وزن تر ریشه به ترتیب به میزان ۴۱/۶ و ۳۲/۰۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل 2b). در شرایط تنش خشکی، غلظت‌های ۳، ۶ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند ولی غلظت ۹ میلی‌گرم در لیتر وزن تر ریشه را به میزان ۵۶/۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد (شکل 2b).

**وزن تر غده:** وزن تر غده در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف سلنیوم قرار گرفت ولی اثر متقابل بین آنها معنی‌دار نشد (جدول ۱). وزن تر غده در شرایط تنش خشکی به میزان ۲۶/۷ در مقایسه با بدون تنش کاهش نشان داد (شکل 2c). غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر، وزن تر غده را به مقدار ۲۲ درصد در مقایسه با شاهد (عدم مصرف سلنیوم) افزایش داد. در غلظت ۶ و ۹ میلی‌گرم در لیتر روند تغییرات وزن تر غده مشابه تیمار شاهد بود (شکل 2d)، این در حالی است که غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر وزن تر غده را به طور معنی‌داری کاهش داد (شکل 2d).

**تعداد و وزن پیاز خواهری:** اثرات تنش خشکی و غلظت‌های مختلف سلنیوم در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد پیاز خواهری موسیر ایرانی معنی‌دار شد (جدول ۱). تعداد پیاز خواهری در شرایط تنش خشکی به میزان ۲۹/۱ درصد در مقایسه با بدون تنش کاهش نشان داد (شکل 3a). غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر، تعداد پیاز خواهری را به مقدار ۵۲/۳ درصد

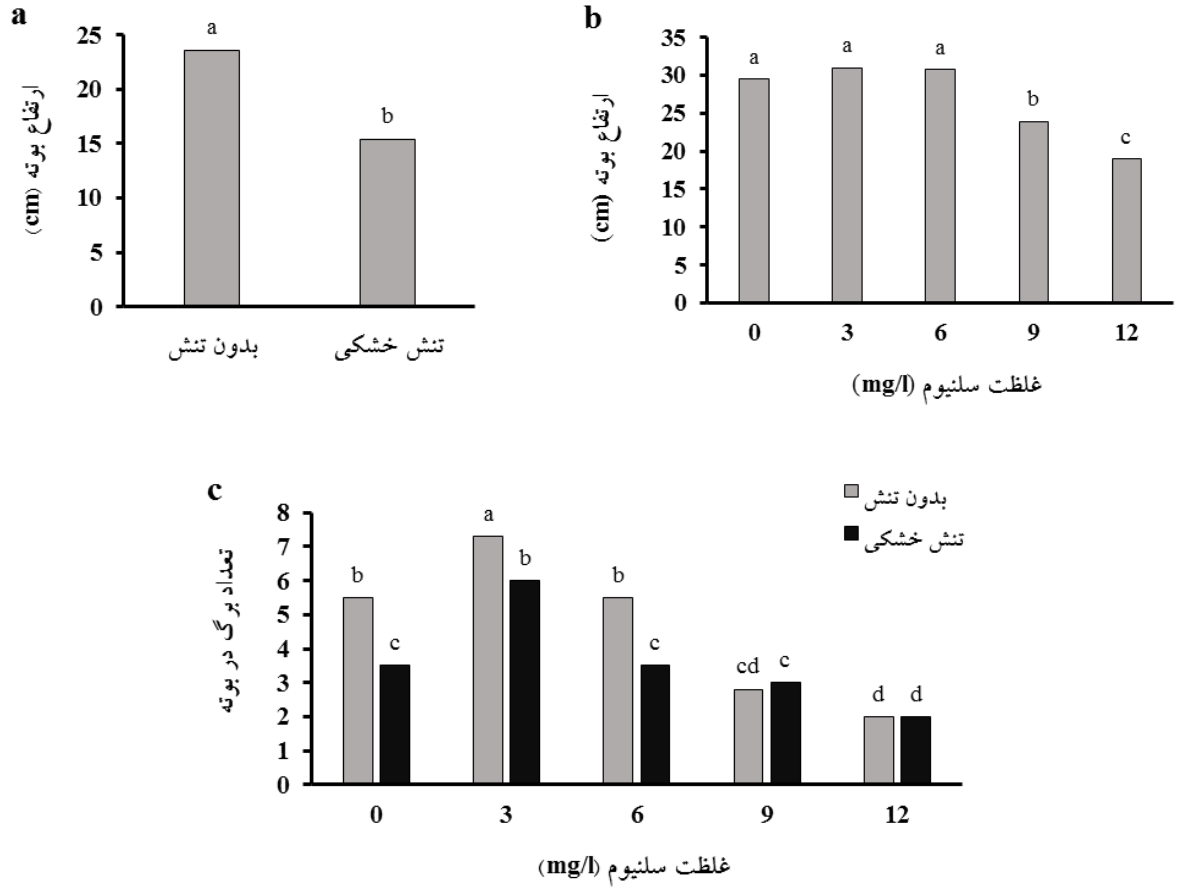
[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

**جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف سلنیوم بر صفات مورفولوژیک و عملکردی در موسیر ایرانی**

| منابع تغییر | درجه آزادی | ارتفاع بوته | تعداد برگ در بوته | وزن تر برگ در بوته | وزن تر ریشه در بوته | وزن تر غده در بوته | تعداد پیاز خواهری در بوته | وزن تر پیاز خواهری در بوته |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۳ | ۷/۹۸* | ۱/۹۷* | ۵/۹۸ns | ۲/۵ns | ۱۲۰* | ۳/۰۳ ns | ۰/۷ns |
| خشکی (D) | ۱ | ۱۰۵۱** | ۱۰** | ۵۶۰/۰۹** | ۱۳۷** | ۱۶۲۶** | ۶/۴* | ۳۴/۳** |
| سلنیوم (S) | ۴ | ۲۲۰* | ۲۵/۲** | ۲۳۱** | ۱۴/۷** | ۳۵۴** | ۵/۶* | ۱۹** |
| S × D | ۴ | ۶/۸ns | ۲/۳* | ۱۴/۹* | ۷/۷* | ۲۲/۴ns | ۰/۷۷ns | ۱/۲* |
| خطا | ۲۷ | ۲/۵ | ۰/۵ | ۵/۱۲ | ۱/۳۱ | ۱۷/۳ | ۱/۱۷ | ۰/۳ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۵/۹۲ | ۱۷/۲۸ | ۱۰/۸۹ | ۲۱/۲۴ | ۷/۶۸ | ۳۴/۴۷ | ۱۶/۸۱ |

**ns، *، **، به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هستند.**



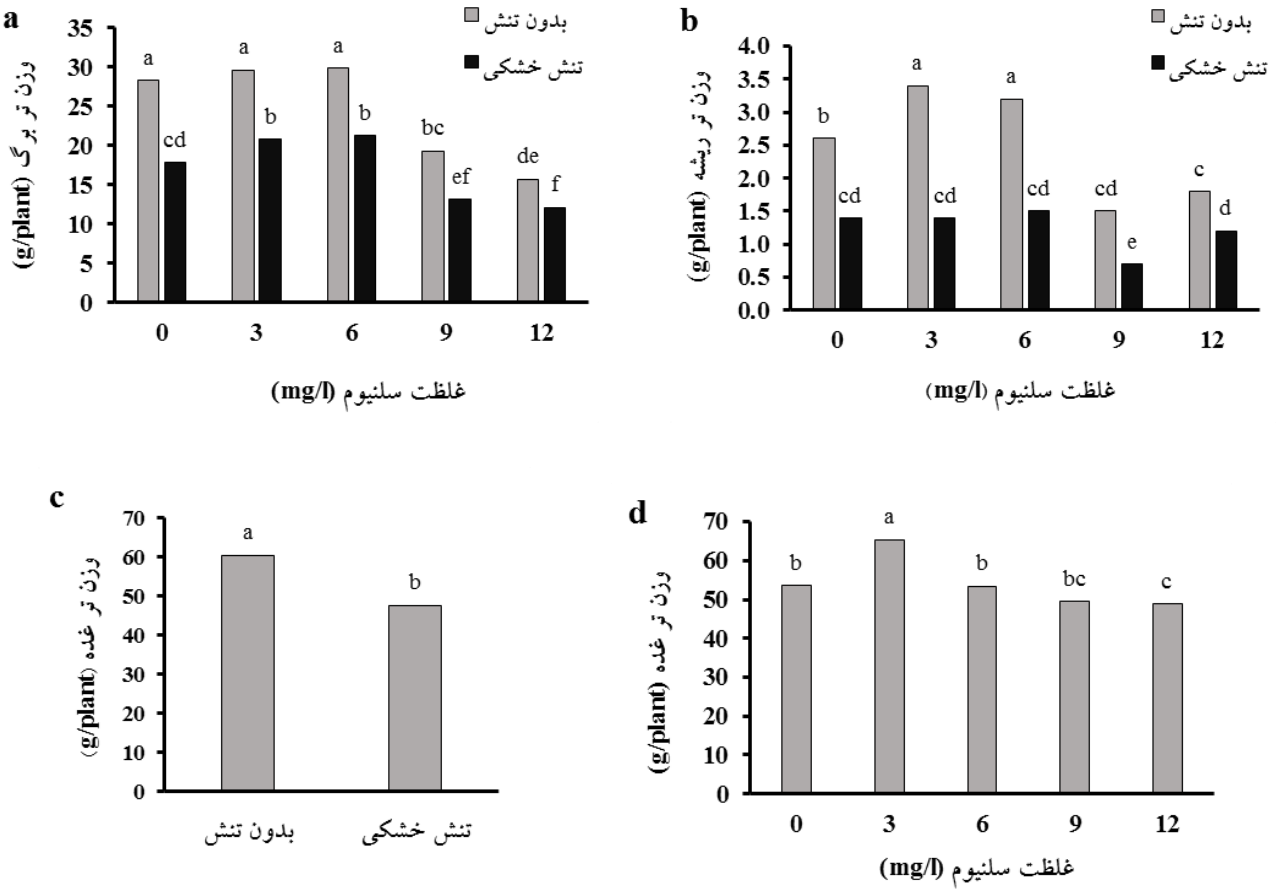

**شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و غلظت سلنیوم بر ارتفاع بوته (a و b) و تعداد برگ در بوته (c) موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.**

نسبت به شاهد (عدم مصرف سلنیوم) افزایش داد اما در غلظت ۶ تا ۱۲ میلی‌گرم در لیتر تعداد پیاز خواهری اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۳b).

وزن پیاز خواهری تحت اثر متقابل بین خشکی و سلنیوم

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]



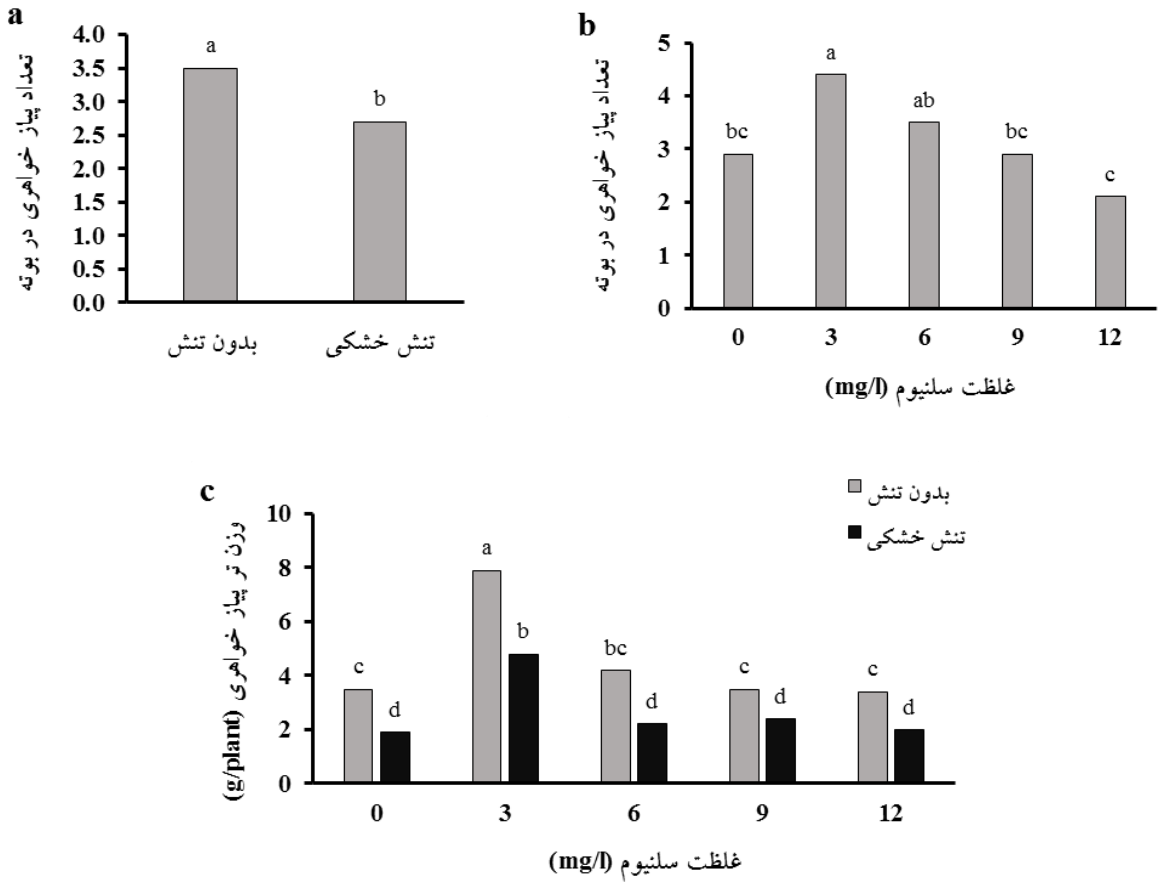

**شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و غلظت سلنیوم بر وزن تر برگ (a)، وزن تر ریشه (b) و وزن تر غده (c, d) موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.**

در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۱). در شرایط بدون تنش، در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر از سلنیوم وزن پیاز خواهری ۱۲۴ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف سلنیوم) افزایش یافت و در سایر غلظت‌ها تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی، در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر وزن پیاز خواهری به مقدار ۱۵۴ درصد افزایش نشان داد و در سایر غلظت‌ها همانند شرایط بدون تنش اختلاف معنی‌داری با شاهد وجود نداشت (شکل ۳c).

**محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیتی غشاء:** اثر متقابل خشکی و سلنیوم بر محتوی نسبی آب برگ و نشت الکترولیتی غشاء به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط بدون تنش، در سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر از سلنیوم میزان محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد (عدم مصرف سلنیوم) ۲۱/۸ درصد افزایش داشت و در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت، اما در سایر غلظت‌ها (۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر) مقدار آن (۲۰/۱ – ۹/۹ درصد) کاهش داشت (شکل ۴a). در شرایط تنش خشکی، غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر محتوای نسبی آب برگ را ۱۱ درصد افزایش داد ولی در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر مشابه شاهد بود. در غلظت ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نیز در مقایسه با شاهد این صفت به طور معنی‌داری کمتر بود (شکل ۴a).

در شرایط بدون تنش، نشت الکترولیتی غشاء در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف سلنیوم) افزایش معنی‌داری داشت ولی در غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۵۵/۳ و

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]




**شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و غلظت سلنیوم بر تعداد پیاز خواهری در بوته (a و b) و وزن پیازخواهری در بوته (c) موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.**

**جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف سلنیوم بر صفات فیزیولوژیک در موسیر ایرانی.**

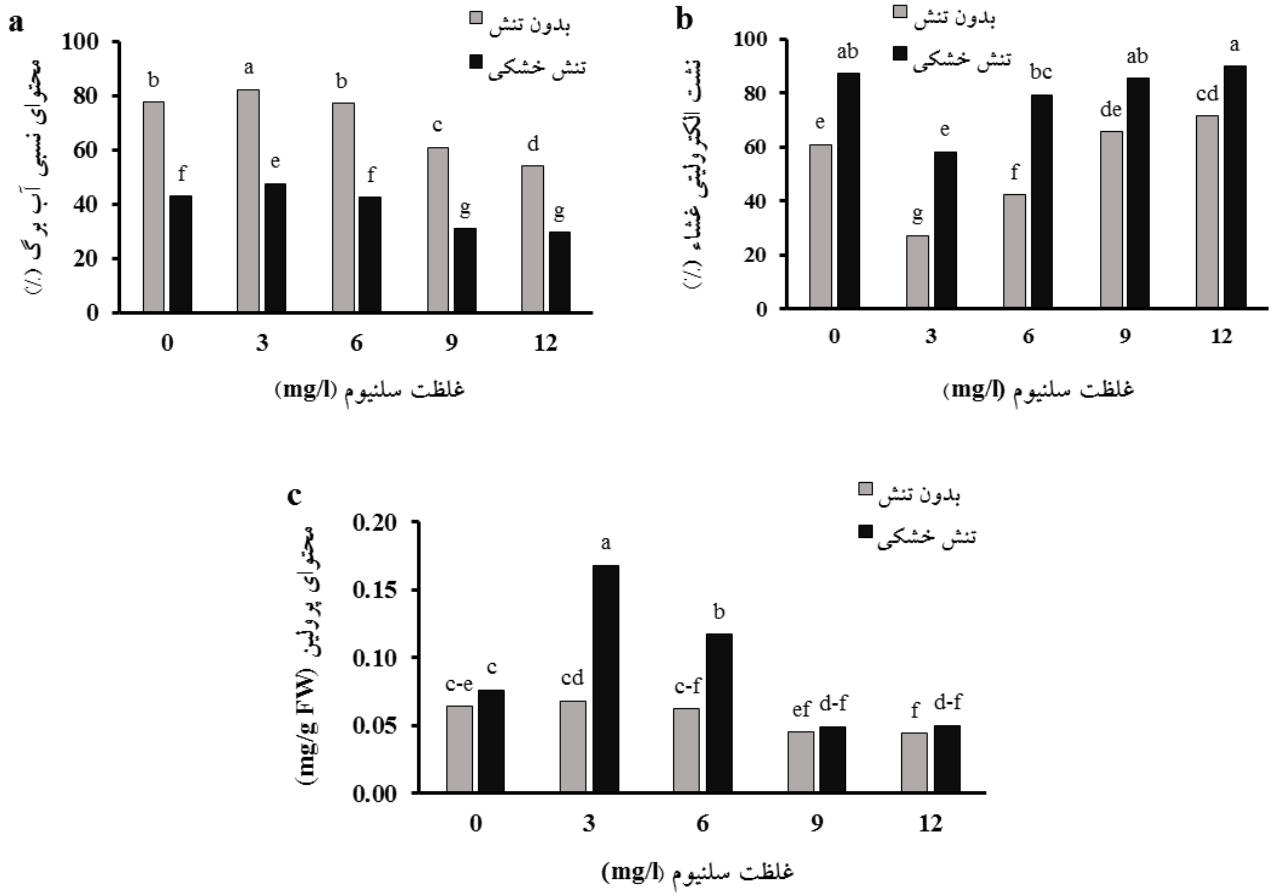
| منابع تغییر | درجه آزادی | محتوای نسبی آب برگ | نشت الکترولیتی غشاء | محتوای پرولین برگ | محتوای پروتئین محلول برگ | پراکسید هیدروژن | مالون دی‌آلدئید |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۳ | ۶۷/۹$^{**}$ | ۳۲/۰۸$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۳$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۳$^{ns}$ | ۰/۰۰۲$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ |
| خشکی (D) | ۱ | ۱۰۱۵۷$^{**}$ | ۲۰۷۳$^{**}$ | ۰/۱$^{**}$ | ۰/۰۰۳$^{**}$ | ۱/۶۴$^{**}$ | ۱/۵$^{**}$ |
| سلنیوم (S) | ۴ | ۸۲۹$^{**}$ | ۱۸۷۸$^{**}$ | ۰/۰۰۷$^{**}$ | ۰/۰۰۷$^{**}$ | ۰/۳۲$^{**}$ | ۰/۲۹۴$^{**}$ |
| S × D | ۴ | ۴۰/۵$^{**}$ | ۱۲۰$^{*}$ | ۰/۰۰۳$^{**}$ | ۰/۰۰۳$^{**}$ | ۰/۱$^{**}$ | ۰/۸۹۰$^{**}$ |
| خطا | ۲۷ | ۴/۵۱ | ۳/۲۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۰۷ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۳/۹ | ۸/۲۲ | ۱۸/۶۴ | ۱۷/۱۴ | ۶/۳۳ | ۵/۹۲ |

**ns، *، **، به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هستند.**

۳۰/۷ درصد کاهش داشت (شکل ۴b). در شرایط تنش خشکی، میزان نشت الکترولیتی غشاء در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم در مقایسه با شاهد کاهش یافت ولی دیگر غلظت‌های سلنیوم اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند (شکل ۴b).

**محتوای پرولین و پروتئین محلول برگ:** اثر متقابل بین

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]




**شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و غلظت سلنیوم بر محتوای نسبی آب برگ (a)، نشت الکترولیتی غشا (b) و محتوای پرولین (c) موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.**

خشکی و سلنیوم بر محتوای پرولین و پروتئین محلول در برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط بدون تنش، محتوای پرولین تحت تأثیر غلظت‌های سلنیوم قرار نگرفت. اما در شرایط تنش خشکی، محتوای پرولین در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر ۱۲۱ درصد و در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر ۵۳/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. اثرات سطوح بالای سلنیوم ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر مشابه بود و میزان پرولین را در مقایسه با شاهد (عدم مصرف سلنیوم) کاهش دادند (شکل 4c). در شرایط بدون تنش، غلظت‌های مختلف سلنیوم بر محتوای پروتئین محلول برگ تأثیر معنی‌داری نداشتند. در شرایط تنش خشکی، غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر محتوای پروتئین برگ را به ترتیب ۱۱۵ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند اما اثر غلظت‌های ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر با هم مشابه بود و در مقایسه با شاهد محتوای پروتئین برگ را به ترتیب ۳۴/۲ و ۲۹/۸ درصد کاهش دادند (شکل 5a).

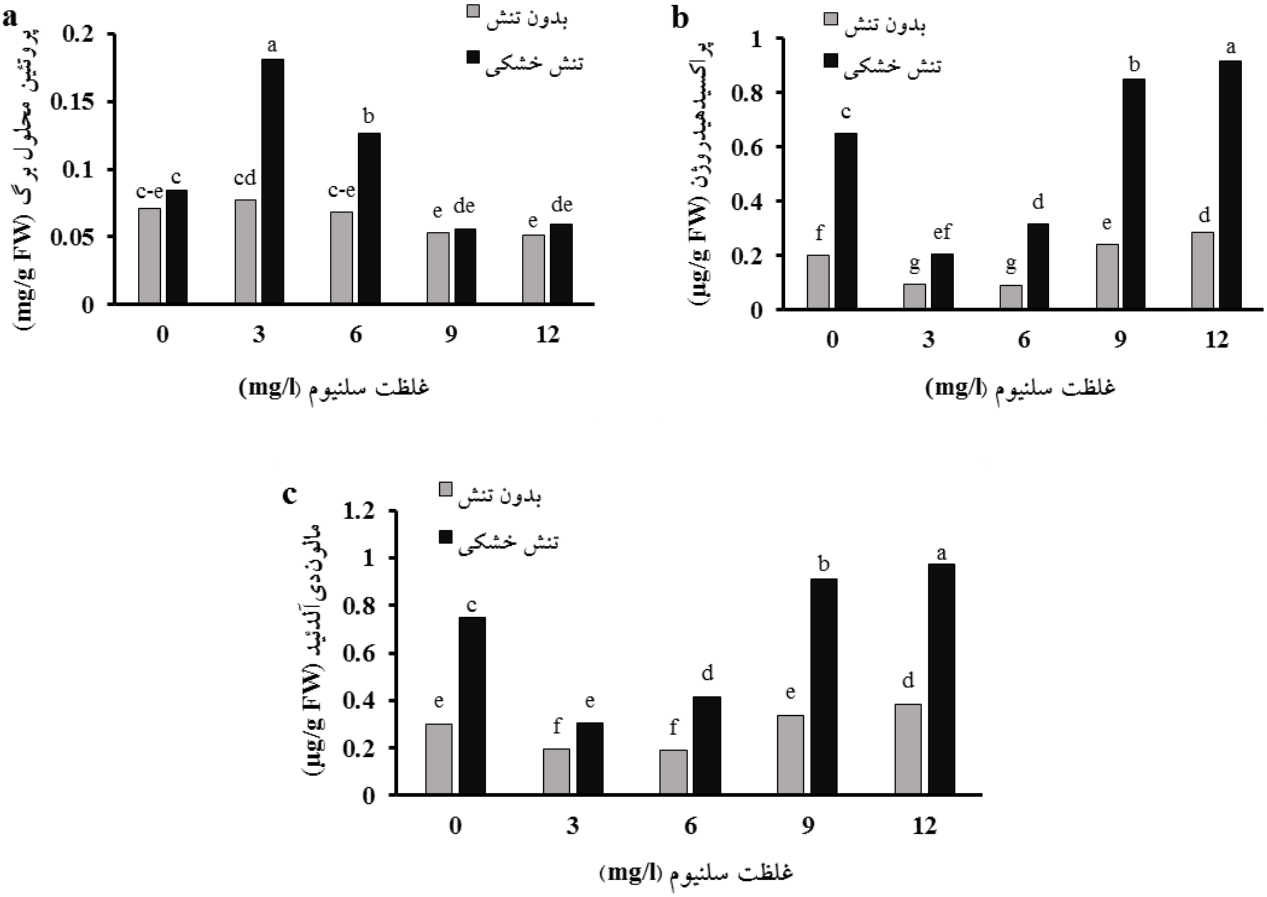
**پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید:** اثر متقابل بین خشکی و سطوح سلنیوم برای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید موسیر ایرانی معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط بدون تنش، غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر میزان پراکسید هیدروژن را نسبت به عدم مصرف سلنیوم (شاهد) کاهش معنی‌داری (۵۴/۷ – ۵۳/۷ درصد) دادند، اما در غلظت‌های ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر این صفت در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری (۴۲/۳ – ۱۸/۹ درصد) یافت (شکل 5b). در شرایط تنش خشکی، غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر میزان پراکسید هیدروژن را به ترتیب ۶۸/۳ و ۵۱/۱ درصد نسبت به

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

**جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف سلنیوم بر رنگدانه‌های فتوسنتزی در موسیر ایرانی.**

| منابع تغییر | درجه آزادی | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کارتنوئیدها |
|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۳ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۳$^{*}$ | ۰/۰۰۶ $^{ns}$ | ۰/۰۶$^{*}$ |
| خشکی (D) | ۱ | ۰/۱۶$^{**}$ | ۰/۲۲$^{**}$ | ۰/۷۷$^{**}$ | ۰/۶۸$^{**}$ |
| سلنیوم (S) | ۴ | ۰/۰۰۰۷$^{ns}$ | ۰/۰۰۲$^{ns}$ | ۰/۰۰۵$^{*}$ | ۰/۰۰۳$^{ns}$ |
| S × D | ۴ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۳$^{ns}$ |
| خطا | ۲۷ | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۰۰۹ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۷ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۱۳/۶۱ | ۱۴/۹۴ | ۱۱/۵۳ | ۲۱/۷۷ |

**ns، *، **، به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هستند.**

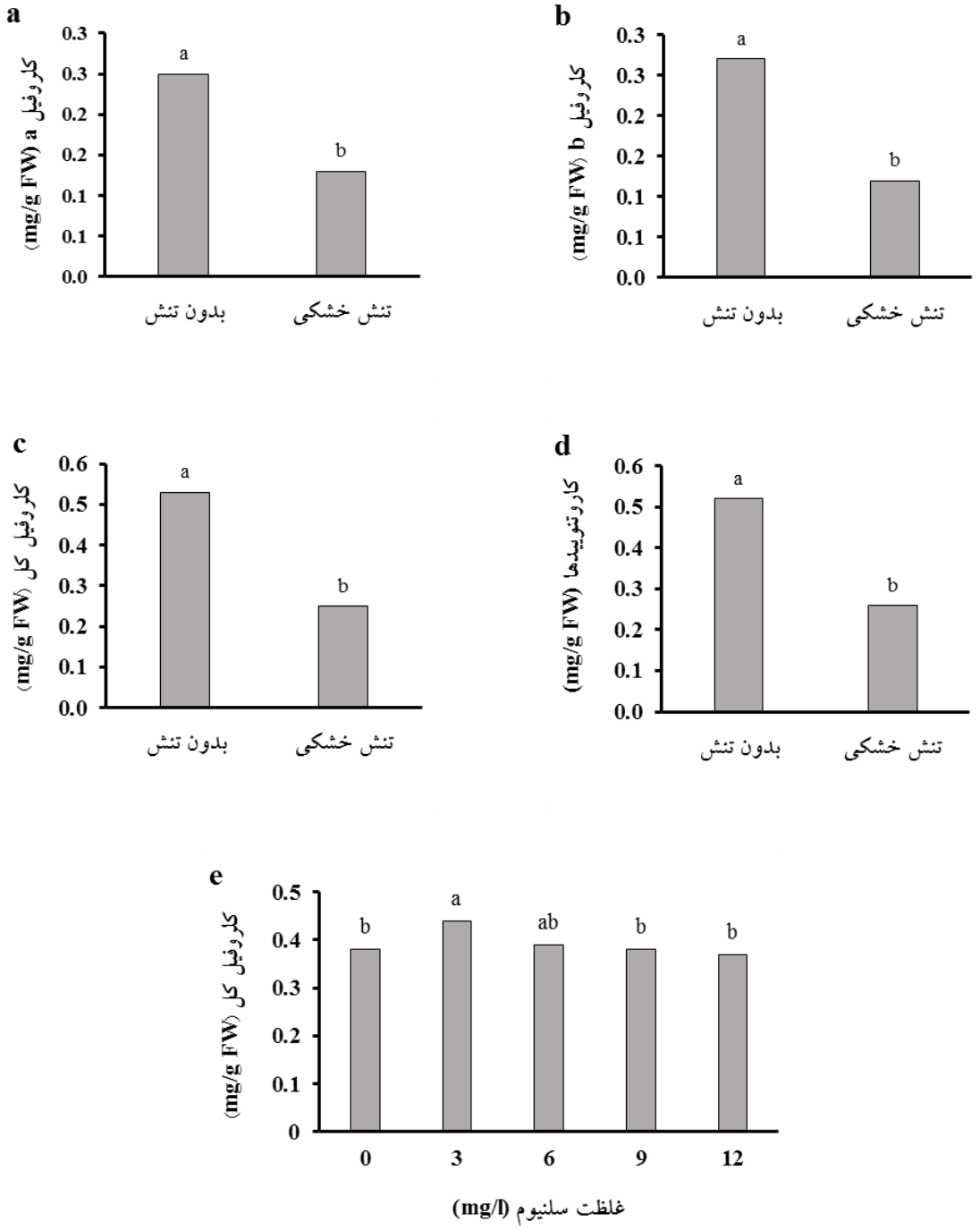



**شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و غلظت سلنیوم بر پروتئین محلول در برگ (a)، پراکسید هیدروژن (b) و مالون دی‌آلدئید (c) موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.**

شاهد کاهش معنی‌داری دادند، اما در غلظت‌های ۹ و ۱۲ میلی‌گرم افزایش معنی‌داری (۴۱/۷ – ۳۱/۷ درصد) یافت (شکل 5b).

مقدار مالون دی‌آلدئید در شرایط بدون تنش تحت تأثیر غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد کاهش (۳۷/۲ – ۳۵/۹ درصد) و در غلظت ۹ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت، اما در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر ۲۸/۲ درصد افزایش یافت (شکل 5c). در شرایط تنش خشکی،

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]




**شکل ۶- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و غلظت سلنیوم بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی (a-e) موسیر ایرانی. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.**

غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر مقدار مالون دی‌آلدئید را به ترتیب ۵۹/۲ و ۴۴/۲ درصد کاهش داد و در غلظت‌های ۹ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد افزایش (۲۹/۸ – ۲۱/۹ درصد) داشت (شکل 5c).

**رنگدانه‌های فتوسنتزی:** اثر تنش خشکی بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی کاهش شدیدی نسبت به شرایط بدون

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

تنش داشت و به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل، a-d ۶). اثرات غلظت سلنیوم بر کلروفیل کل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل کل برگ در تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر به مقدار ۰/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد که ۱۵/۸ درصد در مقایسه با عدم کاربرد سلنیوم افزایش داشت (شکل ۶e).

## بحث

کاهش محتوای نسبی آب ناشی از تنش خشکی موجب کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها در گیاه می‌شود که می‌تواند منجر به اختلال در رشد گیاه شود (Singh *et al*., 2018). در آزمایش حاضر اعمال تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ موسیر را کاهش داد اما محلول‌پاشی گیاهان با ۳ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر محتوای نسبی آب برگ را بهبود داد. این تأثیر احتمالاً به دلیل تنظیم اسمزی در گیاه است (Liu *et al*., 2009)، علاوه بر این گزارش شده است که تحریک تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به وسیله سلنیوم می‌تواند از غشاء سلول‌ها حفاظت نماید (کریمی و صیدی‌خواه، ۱۳۹۵). مطالعات قبلی نیز نشان داده است که سلنیوم با بهبود توسعه ریشه، تنظیم اسمزی و حفظ ساختار غشایی در شرایط تنش خشکی باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه می‌شود (Rady *et al*., 2020). در گزارش Singh و همکاران (۲۰۱۸)، با کاربرد سطح ۵ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر، میزان رطوبت نسبی آب برگ و نشت الکترولیتی غشاء در گیاه سیر به ترتیب به مقدار ۳/۷ درصد افزایش و ۵۰ درصد کاهش یافت. مهدوی اردکانی (۱۴۰۰) نیز در مطالعه گیاه مرزنجوش نشان داد در شرایط تنش خشکی، میزان محتوای نسبی آب برگ تحت غلظت ۸ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر به مقدار ۴۰ درصد در مقایسه با عدم مصرف سلنیوم افزایش یافت.

کاهش سطح پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در گیاه موسیر در غلظت‌های پایین سلنیوم (شکل ۵) می‌تواند بیان‌گر اثرات فیزیولوژیکی و متابولیکی مثبت عنصر سلنیوم باشد (Feng *et al*., 2013; Lu *et al*., 2020) که گیاه را نسبت به پیامدهای تنش خشکی متحمل‌تر نموده است، زیرا سلنیوم در غلظت‌های پایین با افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در تعدیل فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه کاهش تنش اکسیداتیو مؤثر است (Xue *et al*., 2001). در این ارتباط، عامریان و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی تأثیر سلنیوم بر پیاز خوراکی (*Allium cepa*) گزارش کردند که سلنیوم در غلظت‌های کم، رشد گیاه را تحریک کرده و به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند. بنابراین، در گیاه موسیر ایرانی تحت شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی سلنیوم ممکن است به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل کرده و با کاهش سطح پراکسید هیدروژن، غشاء را در برابر پراکسیداسیون لیپیدی محافظت نموده است. در مطالعه عامریان و همکاران (۱۳۹۷) گزارش شد که کاربرد غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از قبیل کاتالاز و کاهش پراکسید هیدروژن و محتوای مالون دی‌آلدئید بخش هوایی گیاه گردید که همسو با نتایج این پژوهش است.

افزایش محتوای پرولین و پروتئین محلول برگ در شرایط تنش خشکی در گیاهان محلول‌پاشی شده با ۳ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر (شکل ۴c) می‌تواند ناشی از توسعه بهتر ریشه و دسترسی به حجم بیشتری از خاک برای جذب عناصر غذایی باشد (Zhu *et al*., 2004). پرولین در شرایط تنش خشکی به ساختار سلولی ثبات می‌بخشد و اثرات گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهد (Feng *et al*., 2013). سلنیوم می‌تواند دسترسی عناصر مورد نیاز گیاه در شرایط تنش را فراهم کند و در غلظت‌های اندک تأثیر سودمندی بر متابولیسم سلول‌های گیاهی دارد (Poldma *et al*., 2013; Chen *et al*., 2005). نتایج آزمایش ما با مطالعه قره‌باغلی و سپهری (۱۳۹۹) مطابقت دارد، آنها گزارش کردند که ۵ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر محتوای پرولین و پروتئین محلول برگ گیاه سیر را به ترتیب به میزان ۳۰ و ۱۳ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف آن افزایش داد.

رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافتند که بیان‌گر تأثیر مخرب پراکسید هیدروژن تولیدشده بر این رنگدانه‌ها است (شکل ۶). این در

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

حالی است که محلول‌پاشی گیاه موسیر با سلنیوم (در شرایط تنش خشکی و بدون تنش) تا حدودی غلظت کلرفیل a و کلروفیل b را افزایش داد و مجموع این افزایش‌ها موجب شد که در غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم محتوای کلروفیل کل به طور معنی‌داری افزایش یابد (شکل ۶e) که این تأثیر می‌تواند فعالیت فتوسنتزی بهتر گیاه را در تیمارهای ۳ و ۶ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر را منعکس نماید. سلنیوم با تأثیر مثبت بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن و تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی (شکاری و همکاران، ۱۳۹۴) باعث افزایش رشد در گیاه می‌شود. در دیگر مطالعات نیز افزایش محتوای کلروفیل تره ایرانی (*Allium iranicum wendelbo*) در غلظت ۲ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر گزارش شده است (کریمی و صیدی‌خواه، ۱۳۹۵).

اگر چه تنش خشکی رشد گیاه را از نظر ارتفاع و تعداد برگ تحت تأثیر قرار داد (شکل ۱a,b) اما کاربرد ۳ و ۶ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر با خنثی‌کردن اثر تنش خشکی، تعداد برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۱c). این تأثیر می‌تواند به دلیل تقویت توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به رشد رویشی (شکل ۲a) و کاهش آثار مخرب پراکسید هیدروژن باشد (شکل ۵a,b). در مطالعه شکاری و همکاران (۱۳۹۴) گزارش شده است که تحریک هورمون‌های رشدی مانند اکسین به وسیله غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر، نیز می‌تواند عاملی در افزایش تقسیم سلولی و در نتیجه افزایش ارتفاع و رشد گیاه باشد.

در شرایط بدون تنش تا غلظت ۶ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر وزن برگ‌ها واکنشی به سلنیوم نشان نداد و پس از آن کاهش یافت (شکل ۲a) این در حالی است که در غلظت ۳ و ۶ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر اثرات مثبت بر وزن ریشه مشاهده شد (شکل ۲b). در شرایط تنش خشکی این وضعیت بر عکس بود که به‌نظر می‌رسد در این شرایط در غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر با مکانیسم‌های بهبود محتوی نسبی آب برگ (شکل ۴a) و تنظیم اسمزی (Feng *et al.*, 2013) نقش بیشتری در تقویت منبع فتوسنتزی و حفظ برگ‌ها داشته است (شکل ۲a). علاوه بر این احتمالاً توسعه محدود ریشه در گیاه موسیر نتوانست به طور معنی‌داری تغییرات وزنی را در مواجهه با تنش خشکی منعکس نماید (شکل ۲b). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده سلنیوم در غلظت‌های کم، تقسیم سلولی را در سلول‌های نوک ریشه بهبود می‌بخشید و باعث توسعه و رشد سیستم ریشه گیاه می‌شود بنابراین همین امر می‌تواند موجب جذب بهتر آب و عناصر غذایی توسط گیاهان شود و در نتیجه وزن برگ و اندام‌های گیاه هم افزایش یابد (Han–wens, 2010).

کاهش شدید وزن تر غده در شرایط تنش خشکی (شکل ۲c) نشان‌دهنده تأثیر منفی خشکی انتهای فصل بر تعداد و وزن غده‌های تشکیل شده موسیر است. با اعمال ۳ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر، تعداد و وزن پیازهای خواهری (شکل ۳) و غده موسیر (شکل ۲d) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که بیان‌گر اهمیت کاربرد سلنیوم در کشت موسیر است. در شرایط تنش خشکی اگر چه روند تغییرات وزن غده و تعداد پیاز خواهری در پاسخ به غلظت‌های سلنیوم مشابه بود اما وزن پیاز خواهری در تیمار ۳ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر پاسخ مناسب‌تری داشت (شکل ۳c). بهبود محتوای نسبی آب برگ و غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند به تداوم دستگاه فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش خشکی کمک کند و انرژی لازم را برای سنتز اسمولیت‌ها تأمین نماید (شکل ۴c) و هم‌زمان با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان (Chen *et al.*, 2005) آثار گونه‌های فعال اکسیژن را در سطح سلولی نیز کاهش دهد (شکل ۵) که مجموع این اثرات برای حفظ پتانسیل رشد گیاه موسیر در مواجهه با کم آبی مفید واقع شده است (شکل ۲d). در مطالعات عامریان و همکاران (۱۳۹۷) و خادمی آستانه و همکاران (۱۳۹۶) بیشترین وزن زیست‌توده و عملکرد سوخ گیاهان پیاز و سیر در غلظت‌های اندک از سلنات سدیم به ترتیب در غلظت‌های ۱/۵ و ۴ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر حاصل شد که با نتایج این آزمایش تطابق دارد.

## نتیجه‌گیری

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی غلظت‌های اندک سلنیوم در گیاه موسیر ایرانی با حفظ محتوای نسبی آب برگ و تولید پرولین، در کاهش محتوی مالون دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن و نشت یونی دخیل است. علاوه بر این سلنیوم با حفاظت از کلروفیل و تعادل رطوبتی در گیاه موجب افزایش تعداد پیاز خواهری و وزن غده در شرایط تنش خشکی گردید. بنابراین، محلول‌پاشی ۳ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر برای بهبود تحمل موسیر ایرانی به تنش خشکی و کمک به رشد و تولید آن مفید است.

## منابع


خادمی آستانه، رزیتا، زارع نهندی، فریبرز، بلندنظر، صاحبعلی، و اوستان، شاهین (۱۳۹۶). تأثیر سلنیوم بر برخی صفات فیزیولوزیکی و غلظت پتاسیم و سدیم سیر (*Allium sativum* L.) تحت تنش شوری. *مجله علمی کشاورزی*، ۵(۳۵)، ۱۵۶-۱۶۱. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.003

زینلی، حسین، کمالیون، احمدرضا، و توکلی، مهسا (۱۳۹۸). آشنایی با گیاه دارویی موسیر (*Allium hirtifolium* Boiss.) و روش تولید آن. *نشر آموزش کشاورزی*، ۶، ۱۲-۱.

شریف روحانی، میلاد، کافی، محمد، و نظامی، احمد (۱۳۹۳). تأثیر رژیم آبیاری و عمق کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی و صنعتی موسیر در شرایط آب و هوایی مشهد. *نشریه اقتصادی و توسعه منطقه‌ای (دانش و توسعه)*، ۶(۲)، ۲۱۹-۲۲۸. کد col اختصاصی:JR_ AGRY_6_2_007

شکاری، لیلی، کامل‌منش، محمدمجتبی، مظفریان میمندی، مریم، و صادقی، فرشاد (۱۳۹۴). بررسی اثر سلنیوم بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه فلفل تند (*Capsicum anuum*). *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع غذایی)*، ۲۹(۴)، ۵۹۴-۶۰۰. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.32110

عامریان، معصومه، دشتی، فرشاد، و دلشاد، مجتبی (۱۳۹۷). اثر سطوح مختلف سلنیوم و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی دانهال پیاز (*Allium cepa* L.). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*، ۲۵(۱)، ۱۱۹-۱۳۵. http://jopp.gau.ac.ir

قره باغلی، نساء، و سپهری، علی (۱۳۹۹). اثر سلنیوم و سولفید هیدروژن بر رشد و جذب عناصر در گیاهچه‌های سیر تحت تأثیر سرب و تنش شوری. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۵(۳)،۱-۱۳. DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4 . http://dx.doi.org/10.22077/escs.2017.584.1116

کریمی، ناصر، و صیدی‌خواه، زینب (۱۳۹۵). اثر سلنیوم بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژکی دو گونه تره ایرانی (*Allium iranicum* wendelbo) و تره کوهی (*Allium ampeloprasum*). *نشریه فرایند و کاربرد گیاهی (فیزیولوژی گیاهی ایران)*، ۷(۲۴)، ۱۸۳-۱۹۶. DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.1.6

مهدوی اردکانی، سیدرضا، کمالی علی‌آبادی، کاظم، سودایی‌زاده، حمید، و دهقانی، حمید (۱۴۰۰). تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم و سیلسیوم بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکردی گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) در شرایط تنش خشکی. *نشریه مدیریت بیابان*، ۹(۳)، ۳۸-۴۸. Doi:10.22034/JDMAL.2021.537458.1346

Bates, L. S.,Waldren, R. P., &Teare, l. D. (1973). Rapid determination of free prolin for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207. http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060

Borbely, P., Molnar, A., Valyon, E., Ordog, A., Horvath-BoROS, K., Csupor, D., Feher, A., & Kolbert, Z. (2021). The effect of foliar selenium (Se) treatment on growth, photosynthesis, and oxidative-nitrosative signalling of *Stevia rebaudiana* leaves. *Antioxidants*, *10*(1), 1-18. https://doi.org/10.3390/antiox10010072

Bradford, M. (1979). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1). 248-254. doi:10.1006/abio.1976.9999


[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

Chen, T. F., Zheng, W. J., Luo, Y., Yang, F., Bai, Y., & Tu, F. (2005). Effects of selenium stress on photosynthetic pigment contents and growth of *Chlorella vulgaris*. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, *31*, 369-373. Corpus ID: 1042017.

Dionisio-sese, M. L, & tobita, S. (1998). Antioxidant responses of rice seeding to salinity stress. *Plant Science, 135*(1), 1-9. http://doi.org/10.1016/s0168-9452(98)00025-9

Feng, R., Wei, C., & Tu, S. (2013). The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, *87*(1), 58-68. http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.09.002

Gouveia, G. C. C., Aparecido, C. F. F., Carr, N. F., Feitosa, Y. B., Santos, E. F., Lavres, J., & Dos Reis, A. R. (2020). *Coffea arabica* seedlings genotypes are tolerant to high induced selenium stress, evidence from physiological plant responses and antioxidative performance. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *203*. http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111016

Habibi, G. (2013). Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta Agriculturae Slovenica*, *10*(1), 167-77. DOI: 10.2478/acas-2013-0004

Hajiboland, R. (2012). "Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Agriculturae Slovenica*, *99*(1), 13-19. http://doi.org/10.14720/aas.2012.99.1.14515

Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L., & Wei-Jun, K. (2010). Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Plant Analysis, 41,* 1195-1204. DOI:10.1080/00103621003721395

Heath, R. L, & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplast. Kinetics and stoichionetry of fatty acid peroxidation. *Arch Biochemistry and Biophysic*, *125*(1), 189-198. doi:10.1016/0003-9861(68)90657-1

Huang, H., Li, M., Rizwan, M., Dai, Z., Yuan, Y., Hossain, M. M., Cao, M., Xiong, S., & Tu, S. (2021). Synergistic effect of silicon and selenium on the alleviation of cadmium toxicity in rice plants. *Journal of Hazardous Materials*, *401*(1), 123393. http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.123393

Lichtenthaler, H. K, & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids Extraction, Isolation and Purification. Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA), John Wiley, New York. http://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Liu, D., Zou, J., Meng, Q., Zou, J., & Jiang, W. (2009). Uptake and accumulation and oxidative stress in garlic (*Allium sativum* L.) under lead phytotoxicity. *Ecotoxicology, 18*, 134-143. DOI:10.1007/s10646-008-0266-1

Lu, N., Wu, L., & Shi, M. (2020). Selenium enhances the vase life of *Lilium longiflorum* cut flower by regulating postharvest physiological characteristics. *Scientia Horticulturae*, 246, 109172. http://doi.org/10.1016/j.scieta.2020.109172

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*(1), 30-38. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.08.003

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. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00281-8.doi:10.1371/journal.pone.0068060

Paciolla, C., De Leonardis, S., & Dipierro, S. (2011). Effects of selenite and selenate on the antioxidant systems in *Senecio scandens* L. *Plant Biosyst*, *145*(1), 253-259. doi:10.1080/112638504.2010.509942

Poldma, P., Moor, U., Tonutare, T., & Herodes, K. (2013). Selenium treatment under field conditions affects mineral nutrition, yield and antioxidant properties of bulb onion (*Allium cepa* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 12*(6), 167-181. doi:10.1021/jf200226p

Rady, M. O., Semida, W. M., Abd El-Mageed, T. A., Howladar, S. M., & Shaaban, A. (2020). Foliage applied selenium improves photosynthetic efficiency, antioxidant potential and wheat productivity under drought stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, *24*(5), 1293-1300. doi:10.17957/IJAB/15.1562

Singh, R., Upadhyay, A. K., & Singh, D. P. (2018). Regulation of oxidative stress and mineral nutrient status by selenium in arsenic treated crop plant *Oryza sativa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *148*(1), 105-113. doi:10.1016/j.plaphy.2018.09.037

Skrypnik, L., Novikova, A., & Tokupova, E. (2019). Improvement of phenolic compounds, essential oil content and antioxidant properties of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) depending on type and concentration of selenium application. *Plants*, *8*(11), 458. http://doi.org/10.3390/plants8110458

Xue, T., Hartikainen, H., & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil, 237*, 55-61. http://doi.org/10.1023/A:1013369804867

Zhu, Y. G., Huang, Y., Hu, Y., Liu, Y., & Christie, P. (2004). Interactions between selenium and iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) in solution culture. *Plant and Soil, 261*, 99-105. http://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000035539.58054.e1

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]

# Characteristics of Iranian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.) under drought stress conditions

**Saeid Davoodinia, Sina Fallah*, Mohammad Rafieiolhossaini, Ali Abbasi Surki and Parto Roshandel**

**Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran**
**(Received: 2024/11/25, Accepted: 2025/05/20)**

**Abstract**

To assess the influence of selenium on the growth and production of Persian shallot under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted utilizing a randomized complete block design with four replications at the Shahrekord University Research Farm in 2023-2024. The experimental factors included levels of drought stress (absence of stress and presence of drought stress) and foliar application of selenium (0, 3, 6, 9, and 12 mg/L). The results indicated that drought stress significantly impacted plant height, the number and fresh weight of leaves, root fresh weight, the number and weight of sisal bulbs, bulb fresh weight, relative leaf water content, membrane electrolyte leakage, proline and leaf soluble protein levels, malondialdehyde, hydrogen peroxide, and photosynthetic pigments. Selenium exhibited a significant effect on the aforementioned traits except for carotenoids. The interaction between selenium and drought stress was significant for leaf fresh weight, root fresh weight, bulb weight, relative leaf water content, membrane electrolyte leakage, proline and leaf soluble protein levels, malondialdehyde, and hydrogen peroxide. Under drought stress conditions, the application of foliar selenium at a concentration of 3 mg/L selenium led to an increase of 10%, 154%, 11%, and 121% in leaf fresh weight, bulb weight, relative leaf water content, and proline levels, respectively, compared to the treatment without selenium treatment. The greatest and least bulb fresh weights (65.4 and 48.9 g/plant) were recorded with foliar application of 3 and 12 mg/L selenium, respectively. Overall, it can be concluded that the foliar spraying of selenium at a concentration of 3 mg/L enhances the drought tolerance of Persian shallot plants and augments metabolic and biochemical activities associated with plant growth, thereby aiding in the preservation of its production capacity.

**Keywords**: Lipid peroxidation, Proline, Root, Bulb, Photosynthesis, Iranian shallot

Corresponding author, Email: falah1357@yahoo.com

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/14.69.41 ]