

Effect selenium on Growth, Physiology and Secondary Metabolites of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Frought Dtrress Condition

Masome Moradi^{1*}, Behrooz Esmaielpour², Saeid Alipour³, Mosa Torabi Giglou⁴

Received: 10 July 2022 Accepted: 22 April 2024

1-M.Sc. Dept. of Horticultural Sciences, , University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- Dept. of Horticultural Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3- Dept. of Horticultural Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4-Assist. Prof., Dept. of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email: behsmaiel@yahoo.com

Abstract

Background and Objective:: Basil (*Ocimum basilicum* L.) is a annual herbaceous plant belongs to the mint family and the genus *Ocimum*, which includes many species. *O. basilicum* species is the most important economic species and like other the mint family plants, it is known as a source of important cyclic compounds and essential oils, as well as a rich source of phenolic compounds and flavonoids. The most important compounds of the basil essential oil are Linalool, methyl chavicol, citral, eugenol, cineole, geraniol, and camphor and methyl cinnamate. Drought stress is one of the most important abiotic stresses, it plays an important role in reducing the performance of medicinal plants and causes many morphological and biochemical changes in plants. This study attempts to investigate the effect of foliar application selenium on basil (*Ocimum basilicum* L.), the ative population "Shahre-ray", under drought stress conditions.

Materials and Methods:In order to investigation the effect of selenium foliar spraying on the basil plant of the native Shahr Ray variety under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted in layout of a randomized complete block design with four replications in the research field of the Department of Horticultural Sciences of Mohaghegh Ardabili University. The experimental factors include different levels of drought stress (full irrigation and irrigation cut-off at the beginning of reproductive growth and irrigation cut-off at 50% of flowering) and spraying with selenium in four concentrations of 0, 0.5, 1 and 2 mM

Results: The results showed that with increasing drought stress severity, morphological traits including plant height, number of lateral branches, and biochemical traits including chlorophyll a, chlorophyll b decreased, but the content of leaf proline and essential oil increased. Selenium foliar application improved the growth of basil plants under drought stress conditions. During this study, the use of selenium foliar application created a type of resistance in the basil plant that maintained the plant under stress conditions. With lower levels of selenium, this resistance was higher, but with higher levels, the resistance was lower.

Conclusion: In the current situation and despite the lack of water resources and the abundant need of plants for water, it is possible to use some non-toxic elements that are necessary for plants in the form of foliar application, to make plants resistant to stress conditions.

Keywords: Drought, Morphological Traits, Selenium, *Ocimum Basilicum*, Physiological Traits

تأثیر سلنیوم بر رشد، فیزیولوژی و متابولیت‌های ثانویه گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی

معصومه مرادی^۱، بهروز اسماعیل پور*^۲، سعید علی پور^۳، موسی ترابی گیگلو^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۳

۱- کارشناس ارشد، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۳- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۴- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

*مسئول مکاتبه: behsmaiel@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی علفی و یکساله از تیره نعنا و جنس *Ocimum* بوده که گونه‌های زیادی را شامل می‌شود. گونه *O. basilicum*، مهمترین گونه اقتصادی این تیره و مانند دیگر گیاهان خانواده نعناعیان دارای ترکیبات مهم حلقوی، اسانس و منبع غنی از ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها است. ترکیبات اسانس ریحان شامل لینالول، متیل چاویکول، سیترال، اوژینول، سینئول، ژرانیول، کامفور و متیل سینامات می باشد. تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که سبب ایجاد تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان گشته و عملکرد ماده موثره در گیاهان دارویی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این پژوهش به منظور بررسی اثر محلول پاشی سلنیوم روی گیاه ریحان بومی شهر ری، تحت شرایط تنش خشکی، انجام گردید.

مواد و روش‌ها: جهت بررسی تاثیر سلنیوم بر روی گیاه ریحان رقم بومی شهر ری در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفت. فاکتورهای مورد آزمایش شامل سطوح مختلف تنش خشکی (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی) و محلول پاشی با سلنیوم در چهار غلظت صفر، ۰/۵، یک و دومیلی مولار بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی، و کلروفیل a، کلروفیل b، کاهش و محتوای پرولین برگ و اسانس افزایش یافت. محلول پاشی با سلنیوم موجب بهبود رشد گیاهان ریحان در شرایط تنش خشکی شد. استفاده از محلول پاشی سلنیوم باعث ایجاد مقاومت در گیاه ریحان و حفظ گیاه در شرایط تنش شد. با استفاده از مقادیر پایین سلنیوم این مقاومت بیشتر و در مقادیر بالاتر مقاومت کمتر شد.

نتیجه‌گیری: در شرایط کنونی و با وجود کمبود منابع آبی و نیاز فراوان گیاهان به آب، می‌توان با محلول پاشی برخی عناصر غیرسمی که وجود آن‌ها برای گیاهان لازم و ضروری است، سبب شدت مقاومت گیاهان به شرایط تنش افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ریحان، سلنیوم، صفات فیزیولوژیکی، صفات مورفولوژیکی

مقدمه

آب ماده‌ای حیاتی برای رشد و نمو گیاه می‌باشد و خشکی از مهم‌ترین عامل تنش‌زای غیر زیستی مؤثر بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است (آندرو و همکاران ۲۰۰۰). بررسی شاخص‌های پایداری در وضعیت فعلی حاکی از ناپایداری منابع آبی بوده و تغییر اقلیم، شرایط سختی را برای رشد و نمو گیاهان ایجاد خواهد کرد (دستی و همکاران ۲۰۲۱). کم آبی به‌عنوان یکی از مضرترین تنش‌های محیطی است که تولید و عملکرد را در گیاهان محدود می‌کند (قاسمی و همکاران ۲۰۲۱). تنش ناشی از کمبود آب چه به شکل مستمر و چه به صورت موقت، رشد و توزیع پوشش گیاهی را محدود و بیش از هر عامل محیطی دیگری بر گیاهان کشت شده تأثیر دارد (مک دوول و همکاران ۲۰۰۸ و پورقاسمیان و مرادی ۲۰۱۷). در بین عوامل بازدارنده محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی و دارویی، خشکی مهم‌ترین عامل کاهش تولید، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و معمولاً به‌عنوان یک عامل خارجی با تأثیر منفی بر زندگی گیاه تعریف می‌شود (فاروق و همکاران ۲۰۰۹، فتحی و تیری ۲۰۱۶، ردی و همکاران ۲۰۰۴ و جابری و همکاران ۲۰۱۶).

تنش خشکی می‌تواند برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تعرق، فتوسنتز، طویل شدن بافت و فعالیت‌های آنزیمی سلول را مختل و حتی موجب توقف آن‌ها شود (گل ۲۰۰۵ و خیری و همکاران، ۲۰۰۷). تنش خشکی روی پیدایش و تشکیل گل، گرده افشانی و لقاح و تشکیل دانه اثرات شدیدی می‌گذارد (زو و همکاران ۲۰۰۷). تنش خشکی از بین عوامل ایجادکننده تنش مانند بیماری‌ها، آفات، علف‌های هرز، غرقابی، شوری و سرما به‌تنهایی عامل کاهش ۴۵ درصدی عملکرد دانه است (ینگ و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی‌ها نشان داده است که خشکی و تنش آب به همراه تغییر در الگوهای بارندگی و حرارتی از فاکتورهای مهم کاهش عملکرد به‌شمار می‌آید (جعفرزاده و همکاران ۲۰۱۰). عموماً خشکسالی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد گیاه و تولید محصول در سراسر نقاط جهان است (عابدی و پاک نیت ۲۰۱۰ و پیرجیلی و امیدی ۲۰۱۷). اثر تنش کم‌آبی بر کلیه‌ی

مراحل رشد و نمو یکسان نبوده و در گیاهان بعضی مراحل نسبت به تنش رطوبتی بسیار حساس و در برخی مراحل کم‌تر تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند (کافی و همکاران ۲۰۰۹). کاهش رشد تحت تنش خشکی، در تمام ابعاد گیاه مشاهده و کاهش رشد در مراحل اولیه تنش می‌تواند به‌علت کاهش توسعه سلولی ناشی از کاهش فشار آماس و تقسیم سلولی، کاهش فتوسنتز به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و تخصیص بیشتر مواد به بخش زیرزمینی باشد (زو و همکاران، ۲۰۰۷). برخی مطالعات نشان داده است که تنش ناشی از کمبود آب می‌تواند به کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه‌ها و اندام‌های هوایی، کاهش سطح برگ، ارتفاع، وزن خشک، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، تعرق، تخریب آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و تغییر در سنتز پروتئین‌ها، تجمع اسیدهای آمینه و کاهش کلروفیل منجر شود (امیری ده احمدی ۲۰۱۲). اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه‌ی سلول به خصوص در ساقه و برگ‌ها بوده و اثر محسوس کم آبی روی گیاهان، اندازه‌ی کوچک‌تر برگ‌هاست که با کاهش سطح برگ، گیاه آب کم‌تری را از طریق تعرق از دست داده و محدود شدن سطح برگ را می‌توان به‌عنوان اولین سازوکار دفاعی گیاه در برابر خشکی در نظر گرفت (لویت ۱۹۸۰). تنش‌های محیطی از جمله خشکی، عملکرد متابولیت‌های ثانویه در گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اگرچه تولید متابولیت‌های ثانویه به‌طور مستقیم تحت تأثیر فرایندهای متابولیکی اولیه مانند فتوسنتز، تنفس و تعرق نیست (بلیتز و سامز ۲۰۰۷) اما عملکرد مواد مؤثره تحت تأثیر عملکرد اقتصادی گیاه و در نتیجه تابع شرایط محیطی می‌باشد (زنگانی و همکاران، ۲۰۱۷). خشکی سبب کاهش محتوای رنگیزه‌های سلول‌های گیاهی (کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها) شده و فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (حسن ۲۰۰۵). یکی از عوامل مهم در کاهش فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کمبود آب هست که نتیجه آن کاهش هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 در فضای بین سلولی برگ و در نهایت کاهش میزان فتوسنتز می‌باشد که به نوبه خود سبب جلوگیری از متابولیسم می‌شود (لالور ۲۰۰۲). روزنه‌ها نقش

عمل می‌کنند و تجمع این مواد سبب کاهش پتانسیل آب اندام‌های گیاهی و به دنبال آن ایجاد شیب پتانسیل آب نسبت به محیط خارج شده، که در چنین حالتی جذب آب توسط گیاه امکان‌پذیر می‌گردد (خاکشور مقدم و همکاران ۲۰۱۱). در میان ترکیب‌های آلی، پرولین یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی که (ردی و همکاران ۲۰۰۴) در همه اندام‌های گیاه کامل در طی تنش خشکی تجمع می‌یابد و سریع‌ترین انباشت را در برگ‌ها دارد. تجمع پرولین در ریشه‌ها با تأخیر زمانی نسبت به تجمع در برگ‌ها صورت می‌گیرد (ردی و همکاران ۲۰۰۴).

سلنیوم به عنوان یک ریزمغذی برای بسیاری از موجودات زنده از جمله انسان و سایر حیوانات ضروری و تحقیقات زیادی روی اثرات بیولوژیکی سلنیوم بر محیط و زنجیره غذایی در حال انجام است (بای بوردی ۲۰۱۶). متابولیسم سلنیوم در گیاهان اهمیت زیادی از نظر تغذیه انسان‌ها و حیوانات دارد (زوهو و همکاران ۲۰۰۹). مطالعات متعددی نشان داده است که احتمالاً غلظت‌های پایین سلنیوم اثرات مفید متنوعی همچون تحریک فعالیت‌های رشدی داشته که برخی گونه‌های گیاهی رشد یافته در محیط غنی از سلنیوم در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی (یاهو و همکاران ۲۰۰۹)، شوری (هاریلک-نواک و همکاران ۲۰۰۹)، سرمازدگی (هاریلک-نواک و همکاران ۲۰۱۰)، فلزات سنگین (سیرواستوا و همکاران ۲۰۰۹) و تشعشع ماوراء بنفش (یاهو و همکاران ۲۰۰۹) مقاومت نشان می‌دهند. غلظت‌های کم سلنیوم از طریق بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اثرات مفیدی بر رشد و تحمل گیاهان به تنش ایجاد می‌نماید. سلنیوم موجب جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. (سپن و همکاران ۲۰۰۳) مطالعات مختلف، اثر مفید سلنیوم را بر رشد و عملکرد گیاهان اثبات و سلنیوم پیری حاصل از گل‌دهی در گیاهان علفی را به تعویق می‌اندازد (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۱۹). حبیبی (۲۰۱۳) با بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد سلنیوم روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فیزیولوژیکی جو دریافت که گیاهان کشت شده تحت شرایط تنش خشکی با کاربرد سلنیوم در مقابل آسیب ناشی از تنش، تحمل بهتری به دلیل افزایش فعالیت کاتالاز

کلیدی در مسیرهای اتلاف آب و جذب گاز دی‌اکسید کربن دارند و طی فرایند فتوسنتز در گیاهان، روزه‌ها مسئول جلوگیری از اتلاف آب هستند (کافی و همکاران، ۲۰۱۷). تنش‌های محیطی از جمله خشکی، رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش و در تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن اختلال ایجاد کرده که منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (FOS) و القای تنش اکسیداتیو، خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود (فو و هوانگ ۲۰۰۱). یکی از سازوکارهای دفاعی در مقابل تنش‌های گوناگون، تولید ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی است. به این ترتیب گیاهان با افزایش فعالیت گونه‌های اکسیژن فعال از طریق آنزیم‌ها و مولکول‌های آنتی‌اکسیدانی، از خود محافظت می‌کنند (یلدیز آکداش و همکاران ۲۰۰۷). تنش خشکی از طریق اختلال در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها موجب تغییراتی در میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه شده و در ادامه نمو گیاه، وزن میوه و وزن هزاردانه در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد (آقایی و احسان‌زاده ۲۰۱۱). آب به‌عنوان مهم‌ترین و بیشترین ترکیب (۸۵٪ و ۹۰٪) اندام گیاهی، از جمله عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر روند رشد و نمو و همچنین مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد (حکمت‌شعار ۱۹۹۳ و محتشمی و همکاران ۲۰۱۵). افزایش عملکرد در گیاهان مختلف به دنبال رفع تنش کمبود آب توسط (سیف زاده و همکاران ۲۰۲۱) و احمدپور ابنوی و همکاران، (۲۰۱۹) گزارش شده است. محققان در تحقیقات خود نشان دادند که تنش‌های محیطی موجب افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می‌شود (زبیده و همکاران ۲۰۰۷، زبیده و همکاران ۲۰۰۵ و جمشیدی و همکاران ۲۰۱۲). گیاهان در واکنش به تنش خشکی، مواد محلول با وزن مولکولی کم را تجمع داده که به طور کلی مواد محلول سازگار نامیده می‌شوند و این مواد حل‌شونده سازگار شامل اسیدهای آمینه (پرولین، گلیسین)، قندها (ساکارز، گلوکز)، الکل‌های قندی (مانیتول، سوربیتول)، یون‌ها، اسیدهای آلی، آمیدها، آمین‌ها و گروه‌های بتائین می‌باشند. مواد محلول سازگار با واکنش‌های بیوشیمیایی عادی سلول، تداخل نداشته و به عنوان محافظان اسمزی در طی تنش

دانشگاه محقق اردبیلی، استان اردبیل (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۱۱ متری از سطح دریا) انجام گرفت. فاکتورهای مورد آزمایش شامل تنش خشکی (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی) و محلول‌پاشی سلنیوم در چهار غلظت (صفر، ۰/۵، یک و دو میلی مولار) بود.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین قبل از اجرای آزمایش صورت گرفت. پس از آماده‌سازی زمین اقدام به ایجاد کرت‌هایی به طول و عرض یک متر گردید. بذور در سه خط با فواصل بوته‌ها ۱۵ (روی ردیف) و ۲۵ سانتی‌متر (فاصله بین بوته‌ها) کشت شدند و برای پوشاندن بذور از کود دامی با ضخامت ۳-۴ سانتی‌متر استفاده و اولین آبیاری به صورت غرقابی صورت گرفت. در آبیاری‌های بعدی، آبیاری تیمار شاهد و تیمارهای قطع آبیاری تا قبل از اعمال قطع آبیاری، پس از تخلیه ۵۰٪ رطوبت قابل استفاده خاک انجام شد بطوریکه پس از فرارسیدن موعد آبیاری در هریک از تیمارهای مورد آزمایش، با توجه به رطوبت موجود خاک، مقدار آب مورد نیاز بر اساس رابطه ۱ و ۲ (Farsh et al, 2003) برآورد و سپس با استفاده از سیستم تیپ مقدار آب محاسبه شده بطور یکنواخت وارد کرت‌های آزمایشی شد.

$$\text{WMC}(\%) = \left(\frac{FSW - DSW}{DSW} \right) * 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن WMC مقدار رطوبت محتوای خاک، FSW وزن خاک تر و DSW وزن خاک خشک است. پس از تعیین میزان رطوبت وزنی خاک با استفاده از رابطه ۲ مقدار آبی مورد نیاز جهت حصول ظرفیت زراعی برآورد شد.

$$I_s = \left(\frac{(FC - AW) * Bd * D}{100} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

و پراکسیداز و کاهش پراکسیده شدن لیپیدها نشان می‌دهند. این نتایج نشان داد که کاربرد این ماده، سیستم دفاعی گیاه را تحت تنش، افزایش می‌دهد. کاربرد خارجی سلنیوم در غلظت‌های کم، از پراکسیده شدن لیپیدها و فعالیت آنزیم‌های کاهشی، جلوگیری و وضعیت اکسیداسیون-احیای سلول را تغییر و مقاومت به تنش را افزایش می‌دهد (ویخاروا و همکاران ۲۰۰۲).

ریحان گیاهی از راسته لامیالها^۱، تیره نعناع و جنس *Ocimum* می‌باشد. این گیاه به سرما بسیار حساس و در طول رویش به هوای گرم و نور و آب کافی نیاز دارد و از مرحله سبز شدن بذر تا برداشت پیکره رویشی به ۵۰۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر بارندگی (آبیاری) و ۱۵۰۰ ساعت روشنایی نیاز دارد. آبیاری منظم برای تولید محصول اقتصادی لازم است و می‌توان از روش آبیاری قطره‌ای یا غرقابی استفاده کرد. درجه حرارت مطلوب برای جوانه زنی بذر ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در گلخانه بهتر است دمای شب از ۱۰ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر نرود. در صورت افزایش دما به بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد رشد بوته‌ها متوقف و کنار برگ‌ها به حالت سوخته در می‌آید. خاک مناسب ریحان دارای بافت شنی سبک تا ماسه‌ای لومی با pH ۶/۴ و هدایت الکتریکی ۲-۳ میلی‌موس بر سانتی‌متر است. عملکرد پیکره رویشی تازه و خشک به ترتیب ۸ تا ۱۰ و ۱/۲ تا ۲ تن در هکتار می‌باشد که در شرایط مساعد تا ۱۲ تن در هکتار نیز می‌رسد. عملکرد اسانس ۸ تا ۱۰ کیلوگرم و عملکرد بذر نیز ۶۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (امیدبیگی، ۲۰۰۰). با توجه به گستردگی کم آبی و تنش خشکی در اکثر مناطق کشور و تاثیر شدید این تنش در رشد گیاهان، لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر سلنیوم بر رشد، فیزیولوژی و متابولیت‌های ثانویه گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی

سانتی متر تعیین گردید. تعداد شاخه جانبی در هر بوته در پایان دوره رشد شمارش و جهت تعیین میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش آرنون (۱۹۴۹) استفاده شد. برای این منظور مقدار ۰/۱ گرم از بافت برگ با استون ۸۰ درصد ساییده و در نهایت حجم محلول با استون ۸۰ درصد به ۲ سی سی رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ گردید و در نهایت عصاره استونی شفاف جدا و پس از نیم ساعت تاریکی مقدار ۰/۵ سی سی از محلول رویی برداشته و در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵، ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل طبق معادله‌های زیر به دست آمد. در این معادله‌ها، V حجم نهایی استون و W وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V/100W$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A_{470}) + 3.27(\text{mg chl.A}) - 104(\text{mg chl.B})/227$$

غلظت پرولین از رابطه زیر تعیین و بر حسب میکروگرم برگرم محاسبه شد.

$$\text{پرولین } (\mu\text{mol/gFw}) = [\mu\text{g / پرولین} / \text{ml} \times \text{ml تلوئن} / 115/5 \mu\text{g} / \mu\text{mol}] / [(g) / 5]$$

جرمی و مقایسه ترکیب‌های استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در نرم افزار SATURN ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس‌ها، مورد شناسایی کمی و کیفی قرار گرفت. برای محاسبه اندیس‌های بازداری از تزریق هیدروکربن‌های نرمال ۹ تا ۲۲ کربنه، در شرایط برنامه‌ریزی حرارتی ستون (مشابه با تزریق نمونه) استفاده گردید.

داده‌ها با نرم‌افزار SAS9.1 مورد تجزیه آماری قرار گرفت و میانگین‌های به‌دست آمده به وسیله آزمون دانکن در سطح ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی گیاه ریحان (جدول ۱) نشان داد که

که در آن Is عمق آب جهت حصول ظرفیت زراعی (سانتی‌متر)، FC حد ظرفیت زراعی (۳۱/۶، درصد)، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۲) گرم بر سانتی‌متر مکعب، AW درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری و D عمق توسعه ریشه (متر) است. پس از تعیین عمق آب آبیاری از رابطه بالا، با توجه به مساحت هر کرت حجم آب لازم جهت آبیاری برآورد و سپس با استفاده از سیستم نوار تیپ اعمال شد. در طول دوره رشد و نمو عملیات وجین و تنک‌کردن بوته‌ها انجام و در این مدت صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری و ثبت گردید.

ارتفاع کل بوته در پایان دوره رشد از محل طوقه تا انتهای شاخه گل‌دهنده بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بعد از خارج کردن بوته‌ها از خاک، ریشه از محل طوقه جدا و پس از شست‌وشو، طول ریشه بر حسب

جهت تعیین میزان پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده گردید و به کمک رسم منحنی استاندارد

استخراج اسانس از روش تقطیر با دستگاه کلونجر بود و جهت انجام این کار مقدار ۵۰ گرم از نمونه گیاهی خشک در بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته و به آن حدود ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به مدت سه ساعت جوشانده شد. اسانس به‌دست آمده در میکروتیوپ‌های شیشه‌ای نگهداری و برای شناسایی ترکیبات از دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC) استفاده گردید که پس از تزریق اسانس‌ها و یافتن مناسب‌ترین برنامه‌ریزی حرارتی ستون DB-5، جهت دستیابی به بهترین جداسازی، نمونه اسانس‌ها با دی‌کروماتان رقیق و به دستگاه گاز کروماتوگراف کوپل شده با طیف سنجی جرمی (GC/MS) تزریق گردید و طیف‌های جرمی و کروماتوگرام‌های مربوطه به‌دست آمد که با استفاده از زمان بازداری، اندیس بازداری کوئاس، مطالعه طیف‌های

صفات ارتفاع کل بوته، طول ریشه، طول ساقه در سطح ۱٪ درصد معنی‌دار شد، اثر متقابل تنش خشکی و محلول-پاشی در صفات ارتفاع کل بوته، طول ریشه، طول ساقه،

در سطح ۵٪ معنی‌دار و برای صفت تعداد شاخه جانبی در سطح ۱٪ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی بر شاخص‌های مورفولوژیک ریحان در شرایط تنش خشکی

میانگین مربعات							
تعداد شاخه جانبی	طول ساقه	طول ریشه	ارتفاع بوته	درجه آزادی	منابع تغییر		
۵۲۴/۳۳	۸/۷۵	۵/۵	۱۹/۲۳	۲	تکرار		
۱۰۵/۲۵**	۴۴۵/۵۲**	۳۲۰/۳۶**	۱۱۵۱/۶۸**	۲	تنش خشکی		
۹/۰۶**	۴۸/۲۴**	۲۸/۳۵**	۱۵۸/۱۲**	۳	محلول پاشی		
۵/۰۸**	۷/۵۴*	۵/۲۲*	۳/۵۸*	۶	تنش خشکی × محلول پاشی		
۰/۹۵	۲/۸۳	۱/۳۸	۱/۹۸	۳۳	خطا		
۸/۷۸	۱۰/۳۹	۷/۴۹	۲/۸۰		ضریب تغییرات (%)		

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار بودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد در جدول (۲) آورده شده است. به‌طور کلی با افزایش تنش خشکی از ارتفاع کل بوته کاسته و محلول پاشی سلنیوم توانست اثر تنش خشکی در کاهش ارتفاع کل بوته را تعدیل نماید. بیشترین ارتفاع کل بوته (۸۹/۱۶ سانتی‌متر) در گیاهان تحت آبیاری کامل و محلول پاشی شده با غلظت ۰/۵ میلی مولار سلنیوم حاصل شد و پس از آن در غلظت یک میلی مولار سلنیوم با ارتفاع ۱۶/۸۸ سانتی‌متر ارتفاع قرار داشتند. و کمترین مقدار برای این صفت در گیاهان محلول پاشی نشده و در تیمار قطع آبیاری از ابتدای رشد زایشی مشاهده شد. در تنش قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی نیز گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۰/۵ میلی مولار سلنیوم بیشترین ارتفاع (۲۷/۵ سانتی‌متر) را داشتند که با سایر غلظت‌های این ماده تفاوت معنی‌داری نداشتند. کمترین ارتفاع کل بوته در این سطح از آبیاری در گیاهان محلول پاشی نشده حاصل شد. در شرایط تنش شدید نیز بیشترین ارتفاع برای غلظت ۰/۵ میلی مولار سلنیوم حاصل شد که بعد از آن گیاهان تیمار شده با غلظت یک میلی مولار از

سلنیوم قرار داشتند و کمترین ارتفاع کل بوته در گیاهان محلول پاشی نشده حاصل شد.

طول ساقه و ریشه

مطابق نتایج بدست آمده، بیشترین طول ساقه مربوط به شرایط آبیاری کامل و غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی مولار سلنیوم می‌باشد. بین شاهد در شرایط آبیاری کامل و نیز محلول پاشی با غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط تنش تا ۵۰٪ گلدهی غلظت یک میلی مولار سلنیوم بیشترین طول ساقه (۶۱/۵۰) را داشت. در تنش شدید بیشترین طول برای سلنیوم ۰/۵ میلی مولار بدست آمد. طبق نتایج بدست آمده با افزایش میزان تنش، طول ریشه افزایش یافته و محلول پاشی با سلنیوم منجر به کاهش تنش شده و بیشترین طول ریشه برای شاهد و تحت آبیاری کامل بدست آمد. در شرایط تنش تا ۵۰٪ گلدهی در محلول پاشی با سلنیوم بیشترین طول ریشه با ۱۹/۸۳ سانتی‌متر برای غلظت ۰/۵ میلی مولار بدست آمد. در شرایط تنش از ابتدای گلدهی بیشترین طول ریشه مربوط به غلظت ۱ میلی مولار سلنیوم با ۱۶/۵۰ سانتی‌متر بود و بین غلظت‌های دیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر شاخص‌های رشد ریحان

تعداد شاخه جانبی	طول ساقه (Cm)	طول ریشه (Cm)	ارتفاع کل بوته (Cm)	محلول-پاشی	آبیاری
۱۱/۶۶ ^{b-e}	۶۵/۸۳ ^{abc}	۱۲/۰۰ ^{c-g}	۸۰/۸۳ ^{a-d}	شاهد	آبیاری کامل
۱۵/۳۳ ^a	۷۳/۱۶ ^a	۱۰/۶۶ ^{efg}	۸۹/۱۶ ^a	سلنیوم ۰/۵	
۱۲/۸۳ ^{ab}	۷۱/۶۶ ^a	۱۱/۰۰ ^{e-g}	۸۸/۱۶ ^{ab}	سلنیوم ۱	
۱۱/۰۰ ^{c-f}	۶۵/۶۶ ^{abc}	۱۰/۰۰ ^g	۸۱/۰۰ ^{a-d}	سلنیوم ۲	
۱۳/۵۰ ^{a-c}	۵۶/۱۶ ^{b-e}	۱۳/۸۳ ^{b-g}	۷۰/۰۰ ^{a-f}	شاهد	تنش مرحله ۵۰ درصد گلدهی
۱۱/۵۰ ^{b-e}	۵۷/۶۶ ^{a-d}	۱۹/۸۳ ^a	۷۷/۵۰ ^{a-e}	سلنیوم ۰/۵	
۱۱/۵۰ ^{b-e}	۶۱/۵۰ ^{a-d}	۱۴/۵۰ ^{b-f}	۷۶/۰۰ ^{a-e}	سلنیوم ۱	
۱۰/۸۳ ^{c-f}	۶۰/۱۶ ^{a-d}	۱۳/۰۰ ^{b-g}	۷۳/۱۶ ^{a-e}	سلنیوم ۲	
۱۰/۶۶ ^{c-f}	۳۹/۶۶ ^e	۱۵/۰۰ ^{b-e}	۵۱/۶۶ ^f	شاهد	تنش از ابتدای گلدهی
۱۰/۱۶ ^{efd}	۵۹/۳۳ ^{a-d}	۱۶/۰۰ ^{abc}	۷۰/۰۰ ^{a-f}	سلنیوم ۰/۵	
۷/۱۶ ^{gh}	۵۷/۶۶ ^{a-d}	۱۶/۵۰ ^{ab}	۶۸/۳۳ ^{b-f}	سلنیوم ۱	
۵/۸۳ ^h	۵۳/۱۶ ^{b-e}	۱۵/۳۳ ^{bcd}	۶۳/۱۶ ^{def}	سلنیوم ۲	

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (Duncan, $\alpha=0.05$)

تعداد شاخه جانبی

طبق نتایج مشاهده شده، که با افزایش میزان تنش از تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد برگ کاسته شد. در شرایط آبیاری کامل گیاهان محلول‌پاشی شده با سلنیوم غلظت ۰/۵ میلی مولار بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۵/۳۳)، و سلنیوم ۱ میلی مولار، و شاهد با گیاهان محلول‌پاشی شده با سلنیوم ۲ میلی مولار تفاوت معنی داری نداشتند. در شرایط تنش ابتدای گلدهی بیشترین و کمترین تعداد شاخه جانبی به ترتیب مربوطه به شاهد با ۱۰/۶۶ و گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم با ۵/۸۳ بود.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش تنش خشکی کلیه صفات رویشی روند کاهشی داشتند و بیشترین کاهش در رشد گیاه در شرایط تنش خشکی شدید و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی حاصل شد. نتایج حاصله با یافته‌های سایر محققین به شرح زیر سازگار است. در اثر تنش رطوبتی (۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰)، ۶۰، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) ارتفاع گیاه، ضخامت ساقه، تعداد و سطح برگ، شاخص سطح برگ (LAI) و محتوای کلروفیل گیاه ریحان بنفش کاهش یافت (علیشا و همکاران ۲۰۰۶). همچنین تنش خشکی منجر به کاهش

تعداد شاخه فرعی در ریحان (حسنی و امیدبیگی ۲۰۰۲) و بادرشبو (صفی خانی، ۲۰۰۶) شد. بررسی اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشد بادرنجبویه نشان داد که تنش خشکی بر شاخص سطح برگ، ماده خشک، سرعت رشد گیاه و سرعت رشد نسبی و درصد عملکرد اسانس گیاه مؤثر است (اردکانی و همکاران، ۲۰۱۰). عربی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و خصوصیات مرفولوژیک گیاه *Pimpinella anisum* L. شد. کمبود آب در جریان تولید گیاهان می‌تواند صدمات سنگینی به رشد و نمو گیاهان وارد نماید (امید بیگی، ۲۰۰۰ و بابایی و همکاران ۲۰۱۰). تنش خشکی با محدودیت‌هایی که در جذب آب توسط گیاه و همچنین جذب عناصر غذایی برای گیاه ایجاد می‌کند موجب کاهش بیوماس تولیدی می‌شود. در طول دوره تنش سطح کل برگ برای هر گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و کاهش سطح برگ در اثر تنش آبی، دلیل اصلی کاهش عملکرد می‌باشد (عقلمند و همکاران، ۲۰۱۸). محدود شدن طول ساقه‌های جانبی در شرایط تنش خشکی را می‌توان به‌عنوان مکانیسم سازگاری در نظر گرفت، زیرا در مواقع بحرانی مانند کم‌آبی، گیاه تلاش می‌کند رشد

تنش خشکی شود (ولکمار و همکاران، ۱۹۹۸). تحقیقات بیانگر آن است که سلنیوم می‌تواند در غلتهای مناسب موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی گردد (دیجاناگورامان و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین سلنیوم می‌تواند از با افزایش جذب پتاسیم از طریق اکسین، سبب طویل شدن سلول و نیز ایجاد پتانسیل اسمزی مورد نیاز جهت جذب آب و در نهایت ایجاد یک فشار تورگر در داخل سلول شود که همین عامل گسترش سلول را موجب می‌شود (الومالایی و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج پژوهش‌های نمالی و وان ایرسل (۲۰۰۴)، نشان داد که تنش کم آبی در گل جعفری می‌تواند کاهش در پارامترهای رشدی از جمله وزن خشک شاخساره، سطح برگ، تعداد برگ و ارتفاع گیاه را ایجاد کند.

تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر صفات فیزیولوژیک گیاه ریحان

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر شاخص‌های فیزیولوژیک ریحان (جدول ۳) نشان داد اثر متقابل تنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی با سلنیوم بر صفت میزان پرولین در سطح ۱٪ معنی‌دار و اثر متقابل برای صفات میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید معنی‌دار نبود. تأثیر تنش خشکی بر صفات میزان پرولین، میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. تأثیر محلول‌پاشی با سلنیوم نیز بر صفات میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و میزان پرولین در سطح ۱٪ معنی‌دار بود.

رویشی خود را سریع‌تر تمام کرده تا به مرحله زایشی و گلدهی برسد تا بقای نسل خود را حفظ کند. همچنین از طرفی وقتی گیاه با تنش خشکی مواجه می‌گردد، ریشه یکی از اندام‌های است که شروع به گسترش می‌کند تا سطح جذب‌کننده گیاه را افزایش دهد، در نتیجه هر چه طول ریشه گسترش می‌یابد قدرت جذب آب افزایش یافته و اثر تنش خشکی کم می‌شود. کاهش در جذب آب منجر به کاهش در مقدار آب بافت می‌شود. در نتیجه تورم سلول‌ها از بین می‌رود. به همین ترتیب، تنش خشکی همچنین جذب نوری و مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای تقسیم سلولی را کاهش می‌دهد. به عنوان یک نتیجه، اختلال در میتوز، توسعه و طویل شدن سلول منجر به کاهش رشد می‌شود. اختلال در تقسیم میتوزی، توسعه و طویل شدن سلول منجر به کاهش طول گیاه، سطح برگ و رشد محصول تحت تنش خشکی می‌شود (بابایی و همکاران ۲۰۱۰). آنجوم و همکاران (۲۰۱۱)، بیان داشتند که تنش خشکی موجب ایجاد اختلال در تقسیم میتوز و از طرفی طویل و حجیم شدن سلول و کاهش رشد گیاه می‌گردد. کاهش در ارتفاع، سطح برگ و نیز طول گل آذین تحت شرایط تنش خشکی برای گیاه سلوی زینتی گزارش گردیده است (بورنت و همکاران، ۲۰۰۵). می‌توان چنین بیان داشت که کاهش سطح برگ در نتیجه کاهش سرعت گسترش سلول‌ها و یا به علت کاهش سرعت تقسیم سلولی به دلیل کم شدن آماس سلولی می‌باشد که عکس‌العملی در پاسخ به تنش خشکی است و می‌تواند موجب کاهش تعرق و افزایش تحمل گیاهان به شرایط

جدول ۳- مقایسه تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد ریحان در شرایط تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
تکرار	۲	۰/۰۰۰۲۹	۱/۹۸	۱/۰۱۸	۱/۴۸۸
تنش خشکی	۲	۹۵۸۲۷/۳۰**	۱/۰۰۱۳**	۰/۰۰۰۰۱۸**	۰/۰۰۰۰۵۰**
محلول پاشی	۳	۱۸۵۴۱۸/۳**	۱/۰۰۲۳**	۱/۰۰۰۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۰۰۷۵**
تنش خشکی × محلول پاشی	۶	۱۳۵۲/۰۰۸۵**	۱/۰۰۰۴۵ ^{NS}	۱۰/۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۱/۰۰۰۰۰۰۹۷ ^{NS}
خطا	۳۳	۰/۰۰۰۱۵	۱/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۰۱۳
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۱۴	۹/۷۰	۱۲/۲۰	۷/۶۱

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار بودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند

نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و محلول پاشی بر صفات فیزیولوژیک گیاه ریحان پرولین

باتوجه به نتایج بدست آمده در اثر متقابل تنش و محلول پاشی بیشترین میزان پرولین برای غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم با ۸۰/۶۳۰ بود. میزان پرولین با افزایش شدت تنش افزایش پیدا کرد بطوریکه در شرایط آبیاری کامل بیشترین و کمترین میزان پرولین به ترتیب برای شاهد (۱۸/۸۰۸) و غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم (۴۲/۷۵۰) به دست آمد. در تنش ۵۰٪ گلدهی با افزایش تنش بر میزان پرولین افزوده شد. همچنین در تنش از ابتدای گلدهی بیشترین میزان در محلول پاشی با غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم (۱۴۳/۶۴) به دست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که با افزایش شدت تنش خشکی بر میزان پرولین برگ افزوده شد بطوریکه بیشترین میزان پرولین در شرایط تنش تا ۵۰٪ مرحله گلدهی بدست آمد.

پرولین محافظت کننده اسمزی می باشد و در هنگام تنش های خشکی مقدار آن در گیاه افزایش می یابد. پرولین علاوه بر تنظیم اسمزی، وظایف دیگری مانند حفاظت از غشای پلاسمایی، از بین بردن رادیکال های هیدروکسیل و اکسیژن فعال دارد و می تواند منبعی برای نیتروژن و کربن باشد (ساکیهاما و همکاران، ۲۰۰۲). وانگ و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند که تجمع پرولین در هنگام تنش خشکی یکی از عوامل حفظ ساختار و جلوگیری

کننده از آسیب های سلولی است. بر اساس گزارشات بابایی و همکاران (۲۰۱۰)، با افزایش میزان تنش خشکی بر مقدار پرولین نیز افزوده می گردد. نقش پرولین به عنوان یک آنتی اکسیدان در توانایی آن جهت غیر فعال کردن رادیکال های هیدروکسیل و نیز سایر ترکیبات دارای فعالیت بالا که در شرایط تنش تولید شده اند و در انتقال الکترون در کلروپلاست ها و میتوکندری ها اختلال ایجاد می کنند، ظاهر می گردد و از این طریق موجب حفاظت از پروتئین ها و غشاهای در برابر آسیب ها می شود (بوهنرت و جنسن، ۱۹۹۶).

وانگ و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند تجمع پرولین هنگام تنش خشکی یکی از عوامل حفظ ساختار و جلوگیری از آسیب های سلولی می باشد. یائو و همکاران (۲۰۰۹) طی مطالعه ای بیان کردند در اثر محلول پاشی سلنیوم در شرایط تنش خشکی بر روی گیاه گندم سبب افزایش میزان پرولین شد. بابایی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که با افزایش تنش میزان پرولین نیز افزوده می شود. نقش آنتی اکسیدانی پرولین در توانایی آن برای غیرفعال کردن رادیکال های هیدروکسیل و سایر ترکیبات دارای فعالیت بالا که تحت شرایط تنش تولید شده و در انتقال الکترون در کلروپلاست ها و میتوکندری ها اختلال ایجاد می کنند، تظاهر می یابد و از این طریق پروتئین ها و غشاهای را در برابر آسیب محافظت می نماید (بهنرت و جانسن، ۱۹۹۶).

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی بر شاخص های فیزیولوژیک ریحان

پرولین	سطح	تیمار
۱۸/۸۰۸ ^o	شاهد	آبیاری کامل
۲۴/۱۰۶ ^{no}	سلنیوم ۰/۵	
۳۱/۴۳۴ ^{mno}	سلنیوم ۱	
۴۲/۷۵۰ ^{klm}	سلنیوم ۲	
۴۸/۵۳۷ ^{ijkl}	شاهد	تنش ۵۰٪ گلدهی
۵۸/۵۰۱ ^{ij}	سلنیوم ۰/۵	
۷۱/۶۸۰ ^{ghi}	سلنیوم ۱	
۸۰/۶۳۰ ^B	سلنیوم ۲	
۸۵/۰۹۱ ^{fg}	شاهد	تنش از ابتدای گلدهی
۱۰۵/۴۹۶ ^{de}	سلنیوم ۰/۵	
۱۲۰/۶۲۷ ^{bc}	سلنیوم ۱	
۱۴۳/۶۴ ^a	سلنیوم ۲	

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد (Duncan, $\alpha=0.05$)

کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید

طبق نتایج بدست آمده به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد (جدول ۵)، با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش یافته و بیشترین میزان کلروفیل a برای شاهد بدست آمد. در گیاهان محلول‌پاشی شده با افزایش غلظت بر میزان کلروفیل a افزوده شد. در اثر محلول‌پاشی با سلنیوم بیشترین میزان به دست آمده برای غلظت ۲ میلی مولار با ۰/۰۱۱ و کمترین میزان با ۰/۰۸۲ برای غلظت ۰/۵ میلی مولار سلنیوم بود. مطابق نتایج در اثر تنش خشکی میزان کلروفیل b کاهش یافته بیشترین میزان در گیاهان شاهد بدست آمد. در اثر محلول‌پاشی نیز با افزایش غلظت بر میزان کلروفیل b افزوده شد بیشترین میزان برای غلظت‌های ۲ میلی مولار سلنیوم ۰/۰۲۷ و کمترین برای غلظت‌های ۰/۵ میلی مولار سلنیوم با ۰/۰۲۰ بدست آمد. تنش خشکی سبب تغییراتی در میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید نیز شد اما در اثر محلول‌پاشی این اثر کمتر شده بطوریکه در محلول‌پاشی با سلنیوم بیشترین میزان برای غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل a کاهش و کلروفیل b افزایش و میزان کلروفیل کل نیز کاهش یافت، که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت بررسی اثر تنش خشکی بر ریحان (حسنى و امیدبیگی، ۲۰۰۲) و نعناع (میشرا و سینگ ۲۰۱۰)، نعناع فلفلی (ایزدی و همکاران، ۲۰۰۹). نشان داده شد که همزمان با تنش خشکی محتوای کلروفیل کاهش پیدا می‌کند. تنش خشکی در گیاهان موجب پیری زودرس برگ، شکسته شدن کلروپلاست‌ها و تجزیه کلروفیل در اثر افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز می‌گردد. ضمن آنکه کاهش میزان کلروفیل برگ در اثر تنش خشکی، موجب کاهش کارایی فتوسنتز می‌شود و گیاهانی که در شرایط تنش میزان کلروفیل خود را در سطح بالایی حفظ می‌کنند، کارایی فتوسنتزی بالاتری دارند (تایز و زایگر ۲۰۰۶). عقیقی‌شاهوردی و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثر محلول‌پاشی سلنیوم، بور و آهن بر برخی صفات فیزیولوژیک و گلیکوزیدهای استویا تحت تنش شوری

دریافتند که بیشترین کلروفیل کل، کلروفیل a و کلروفیل b به ترتیب با میانگین ۳۹/۴، ۲۴/۸ و ۱۴/۶ میکروگرم بر گرم وزن تر در محلول‌پاشی با ترکیب سه عنصر آهن، بور و سلنیوم در شرایط عدم شوری به دست آمد. در شدت‌های بیشتر تنش خشکی، رخدادهایی همانند کاهش شدید فتوسنتز، اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی، توقف رشد و سرانجام خشک شدن و مرگ گیاه روی می‌دهد (علی-زاده، ۲۰۰۴). سلنیوم موجب جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط تنش‌های محیطی (سپنن و همکاران ۲۰۰۳) و سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تنش دیده می‌شود (عقیقی‌شاهوردی و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش در میزان غلظت سلنیوم تا یک مقدار معین موجب افزایش قابل توجه در سلنیوم موجود در محصولات می‌گردد و نتیجه آن افزایش در عملکرد گیاهان از طریق حفاظت از کلروفیل است (راموس و همکاران، ۲۰۱۰). سلنیوم از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از پیری جلوگیری می‌کند (توگنون و همکاران، ۲۰۱۶). چن و همکاران اذعان داشتند که کاهش کلروفیل عمدتاً به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیدان کلروفیل‌ها، تخریب پیش ماده‌های سنتز کلروفیل و یا ممانعت از بیوسنتز کلروفیل است. قرارگیری گیاهان در برابر تنش‌های محیطی و نیز فلزات سنگین باعث تخریب کلروپلاست‌ها گردیده و فتوسنتز به سوی گسیختگی هدایت می‌شود اما با افزودن سلنیوم می‌توان تا حدودی از تخریب کلروپلاست‌ها جلوگیری کرد و موجب افزایش محتوای کلروفیل گردید (فیلک ماریا و هارتیکاینس هلینا، ۲۰۰۸). به کار بردن سلنیوم سبب تنظیم گونه‌های واکنش‌پذیر و آنتی‌اکسیدان‌ها، بازسازی غشای سلول، ساختمان کلروپلاست و بهبود سیستم فتوسنتزی می‌شود (لویت، ۱۹۸۰). نتایج مولکولی بررسی تجمع سلنیوم در گیاه *Stanleya pinnata* نشان داد سلنیوم باعث بیان شدن ژن‌های درگیر در مسیرهای آسیمیلاسیون گوگرد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و نیز ژن‌های دفاعی مسیر جاسمونیک اسید و سالیسیک اسید می‌گردد (دیائو و همکاران، ۲۰۱۴).

وجود شرایط تنش خشکی منجر به بسته شدن

با کمک سلنوپروتئین‌ها قادر به خنثی سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن بوده و در نتیجه موجب حفاظت از ترکیبات سلولی در برابر آسیب اکسیداتیو می‌گردد. سلنوپروتئین‌ها مانند گلوکاتایون پراکسیداز و تیوردوکسین ردوکتاز فعالیت می‌نمایند (احمد و همکاران ۲۰۱۶).

روزنه‌ها و در نتیجه کاهش غلظت CO₂ می‌گردد در حالیکه با از دست رفتن آب سلول‌های مزوفیل، دستگاه فتوسنتزی آسیب دیده و تحت این شرایط فتوسنتز مختل می‌شود (واسم و همکاران ۲۰۱۱). سلنیوم به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های موثر در برخی مسیره‌های بیوشیمیایی در حیوانات و گیاهان عمل می‌نماید. سلنیوم

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر نش خشکی و محلول‌پاشی بر شاخص‌های فیزیولوژیک ریحان

کاروتنوئید (mg/g DW)	کلروفیل کل (mg/g DW)	کلروفیل b (mg/g DW)	کلروفیل a (mg/g DW)	سطح	تیمار
۰/۱۴۹ ^a	۰/۰۱۳ ^a	۰/۰۰۲۸ ^a	۰/۰۱۱ ^a	شاهد	
۰/۱۱۹ ^b	۰/۰۱۱ ^b	۰/۰۰۲۱ ^b	۰/۰۰۹۲ ^b	تنش ۵۰٪ مرحله گلدهی	خشکی
۰/۰۸۱ ^c	۰/۰۰۷ ^c	۰/۰۰۱۵ ^c	۰/۰۰۶۱ ^c	تنش از ابتدای گلدهی	
۰/۰۸۹ ^e	۰/۰۰۸۳ ^f	۰/۰۰۱۷ ^e	۰/۰۰۶۶ ^e	.	
۰/۱۰۴ ^{cd}	۰/۰۱۰۲ ^d	۰/۰۰۲۰ ^d	۰/۰۰۸۲ ^c	۰/۵	
۰/۱۳۰ ^b	۰/۰۱۲ ^b	۰/۰۰۲۴ ^b	۰/۰۱۰ ^a	۱	سلنیوم
۰/۱۴۶ ^a	۰/۰۱۳ ^a	۰/۰۰۲۷ ^a	۰/۰۱۱ ^a	۲	

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (Duncan, $\alpha=0.05$)

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (آنزیم‌های گلوکاتایون پراکسیداز، گلوکاتایون اس ترانسفراز) فنگ و همکاران، ۲۰۱۳). این عنصر در غلظت پایین مکانیسم آنتی‌اکسیدان در گیاهان را تحریک می‌کند اما در سطوح بالاتر به عنوان پراکسیدانت عمل می‌کند و موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (نواز و همکاران، ۲۰۱۴؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰). این عنصر با افزایش راندمان جذب آب از طریق ریشه و کاهش میزان تلفات آب بافت‌ها در تنظیم کردن وضعیت آب در گیاهان نقش موثری دارد (لان و همکاران، ۲۰۱۹). سلنیوم با حفاظت از سیستم غشایی که موجب رشد طولی ریشه و شاخه می‌شود سبب تحریک رشد گیاه شده و نیز توسعه سیستم ریشه را حمایت می‌کند (سان و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج آزمایش در شرایط گلخانه‌ای نشان داد که اثر سلنیوم در افزایش تحمل خشکی و نیز بهبود روابط آبی در گیاه کلزا در ارتباط با افزایش میزان جذب آب به دلیل توسعه‌ی ریشه، افزایش فتوسنتز و نیز تشکیل قندهای محلول بوده

گیاهان با استفاده از سلنیوم می‌توانند رشد و مقاومت خود را افزایش دهند. این عنصر با کمک به تولید بیشتر کلروفیل و کاروتنوئید و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدان آنزیمی (پراکسیداز، کاتالاز) که قادر به حذف، خنثی‌سازی یا مهار رادیکال‌های آزاد هستند و ترکیبات آنتی-اکسیدان (آنتوسیانین، فلاونوئید، ترکیبات فنلی) از آسیب‌های ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی جلوگیری می‌کند. این عنصر با افزایش راندمان فتوسیستم II (PS II)، افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش تخریب کلروفیل، فتوسنتز را بهبود می‌بخشد. همچنین سلنیوم با تنظیم حالت آبی گیاهان، به آن‌ها کمک می‌کند که با تنش کم آبی مقابله کنند (نواز و همکاران، ۲۰۱۴). سلنیوم به شیوه‌های مختلفی سطوح گونه‌های فعال اکسیژنی در گیاهان تنش دیده را کاهش می‌دهد از جمله ۱- تحریک خودبخودی تجزیه آنیون سوپراکسید (O₂⁻) به پراکسید هیدروژن ۲- واکنش مستقیم بین ترکیبات حاوی سلنیوم و ROS و ۳- از طریق تنظیم

سلنیوم و سیلیسیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک کلزا تحت شرایط تنش شوری دریافت که اثر ژنولیت، سلنیوم و سیلیسیوم بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار می‌باشد. طی این آزمایش ابتدا میزان اسانس زیاد و با افزایش شدت تنش از میزان اسانس کاسته شد. این نتیجه با مشاهدات مون و همکاران (۲۰۰۰) روی رزماری و بادرنجبویه، دیامانتوگلون و ریزوپولو (۱۹۹۱) روی نوعی مرزنجوش مطابقت دارد. دشتی و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی تأثیر تنش کمبود آب بر عملکرد و ترکیب‌های اسانس گیاه دارویی نوروژک دریافتند که درصد اسانس برگ‌های سبز و ساقه گل‌دهنده در تیمارهای تنش شدید و بدون آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آبیاری کامل بود. بر اساس مطالعات، تنش آبی سبب افزایش اسانس آویشن باغی (امام و همکاران ۲۰۰۸)، مریم‌گلی (بتائیب و همکاران، ۲۰۰۹) شده است. ایزدی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش میزان تنش خشکی بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی افزوده شد. محمدپور و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه بر روی آویشن نشان دادند که با افزایش میزان تنش، گیاه میزان زیادی از مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم‌کننده‌ی اسمزی نظیر پرولین، گلیسین بتائین و ترکیبات قندی می‌کند و به همین دلیل از درصد اسانس کاسته شد. بر اساس یافته‌های کیندر و همکاران (۲۰۱۶) تنش خشکی موجب افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه در گیاه سرخارگل شد. نتایج نشان داده است که گیاهان هنگام مواجهه با شرایط خشکی و تنش میزان بیشتری از مواد پرورده را برای سنتز متابولیت‌های ثانویه اختصاص می‌دهند (ربی و همکاران ۲۰۱۲).

است (حاجی بلند و همکاران، ۲۰۱۴). کاربرد سلنیوم می‌تواند تحمل گیاهان به تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم-آبی و شوری و پیری گل در آنتوریوم، ری‌گراس، کاهو و نیز سویا را افزایش دهد (توگنون و همکاران، ۲۰۱۶؛ دیجاناگویرامان و همکاران، ۲۰۰۵).

نتایج تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی سلنیوم بر اجزای اسانس ریحان

با تجزیه اسانس نمونه‌های گیاهی در این آزمایش حدود ۴۳ ترکیب شناسایی گردید که عمده ترین ترکیبات در اسانس ریحان ده ترکیب بوده (جدول ۶) و در مورد بیشتر ترکیبات با افزایش تنش خشکی بر میزان ترکیبات و اجرای اسانس افزوده شده و محلول‌پاشی نیز در این افزایش ترکیبات سهم می‌باشد. با افزایش تنش میزان ژرانیول افزوده شده و بیشترین میزان مربوط به شرایط تنش در ابتدای رشد زایشی و محلول‌پاشی با سلنیوم ۰/۵ میلی مولار بود (۲۷/۱۳٪). در متیل چاویکول، آلفاپینن، کوپن و نرال بیشترین میزان تحت شرایط تنش تا ۵۰٪ گلدهی و غلظت ۰/۵ میلی مولار سلنیوم به ترتیب مقادیر ۴۲/۵۶٪، ۴/۵۴٪، ۱/۰۱٪ و ۱۴/۳۰٪ بدست آمد. افزایش تنش تا ابتدای مرحله زایشی میزان ترکیبات سیترال، لیمونن و کاریوفیلین را افزایش داد و بیشترین مقادیر در شرایط محلول‌پاشی با سلنیوم ۲ و ۰/۵ میلی مولار بدست آمد (به ترتیب ۲۱/۴۵٪، ۰/۲۷٪، ۲۸/۹۳٪). در شرایط آبیاری کامل و غلظت ۲ میلی مولار کارواکرول با ۲/۹۹٪ و غلظت ۱ میلی مولار سلنیوم لینالول با ۱/۴۳٪ بیشترین مقادیر را دارا بودند. در بررسی تأثیر ژنولیت و محلول‌پاشی

جدول ۶- تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی با سلنیوم بر ترکیبات اسانس ریحان

ترکیب تیماری	ژنیوم	بوتانول	پنتان	آلفا پینن	کاربونیل	سیترال	پینن	کارداکرول	ژنرال	بیتانول	بپنن
شاهد	۴/۷۹	۱۳/۲۹	۱/۲۲	۳/۵۳	۹/۹۸	-	-	۸/۸۷	۰/۶۱	۰/۱۴	
سلنیوم ۰/۵	۱۰/۸۶	۳۳/۳۶	-	۸/۷۶	۱۴/۳۶	۰/۸۲	-	۱۰/۴۶	۰/۱۶	۰/۱۳	آبیاری کامل
سلنیوم ۱	۱۰/۷۶	۳۳/۸۶	-	۸/۵۳	۱۶/۵۰	-	-	۱۳/۱۰	۱/۴۳	۰/۱۱	
سلنیوم ۲	۱۱/۴۶	۳۵/۶۴	-	۷/۹	۱۶/۳۷	۰/۷۴	۲/۹۹	۱۲/۹۹	۰/۳۵	۰/۱۶	
شاهد	۵/۶۹	۲۱/۹۸	۰/۱۳	۷/۴۱	۱۶/۰۴	۰/۸۴	-	۹/۴۶	-	-	قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی
سلنیوم ۰/۵	۱۵/۰۱	۴۲/۵۶	۴/۵۴	۱۰/۱۵	۱۵/۷۸	۱/۰۱	-	۱۴/۳۰	-	-	
سلنیوم ۱	۱۵/۰۱	۳۷/۹۰	-	۱۴/۲۵	۲۰/۷۶	-	-	۱۰/۵۳	-	-	
سلنیوم ۲	۱۱/۱۲	۳۷/۲۴	۱/۸۳	۱۱/۱۶	۲۰/۶۵	۰/۶۸	-	۱۰/۷۵	-	۰/۱۱	
شاهد	۶/۰۲	۱۴/۳۰	-	۹/۴۶	۱۳/۴۵	-	-	۶/۹۶	۰/۳۰	۰/۱۷	ابتدای رشد زایشی
سلنیوم ۰/۵	۲۷/۱۳	۲۱/۲۷	۰/۲۹	۲۸/۹۳	۱۷/۷۹	۰/۷۲	-	۹/۳۶	۰/۳۴	۰/۲۱	
سلنیوم ۱	۱۰	۲۵/۸۶	۰/۱۲	۲۴/۵۵	۲۰/۴۱	-	۱/۱۸	۱۰/۵۳	۰/۱۵	۰/۱۴	
سلنیوم ۲	۷/۲۷	۲۱/۲۷	-	۲۲/۳۶	۲۱/۴۵	۰/۴۹	۲/۰۰	۶/۴۰	-	۰/۲۷	

نتیجه گیری کلی

در طی این پژوهش، محلول پاشی سلنیوم سبب مقاومت گیاه ریحان به شرایط تنش خشکی گردید. مصرف مقادیر پایین سلنیوم این مقاومت را افزایش داد اما در مقادیر بالاتر، میزان مقاومت کمتر گردید بطوریکه از میزان صفاتی نظیر تعداد شاخه جانبی کاسته و میزان پرولین و طول ریشه افزایش یافت در شرایط کنونی و با وجود کمبود منابع آبی و نیاز فراوان گیاهان به آب،

می توان با استفاده از (خصوصاً بصورت محلول پاشی) برخی عناصر غیرسمی که وجود آن‌ها برای گیاهان لازم و ضروری است، مقاومت گیاهان به شرایط تنش را افزایش داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه محقق اردبیلی به خاطر تامین هزینه و حمایت مالی در انجام این پژوهش کمال سپاسگزاری به عمل می آید.

منابع مورد استفاده

- Abedi T and Pakniyat H. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Czech. Journal of Genetics and Plant Breeding, 46: 27-34. DOI: 10.17221/67/2009-CJGPB
- Aghighi Shahverdi M, Omid H and Tabatabaei SJ. 2018. Effect of Foliar Application of Selenium, Boron and Iron on Some Physiological Traits and Glycosides Of Stevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*) Under Salinity Stress. Iranian Journal of Medicinal and aromatic plants, 33(6):1017-1033. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.114425.2067>
- Aghlmand S, Esmailpour B, Jalilvand P, Hiedari H R, Tavakoli-hassankelo N. 2018. Effect of Salicylic acid and Paclobutrazol on growth and physiological traits of basil under water deficit stress conditions. Journal of plant proc. Func, 6 (19) :35-46 (In Persian). DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.18.6
- Ahmad P, Abd-Allah EF, Hashem A, Sarwat M and Salih G. 2016. Exogenous application of selenium mitigates cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. (Czern and Cross) by up-regulating antioxidative system

- and secondary metabolites. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35: 936-951. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9592-3>
- Alishah H.M, Heidari R, Hassani A and Dizaji A.A. 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Biological Science*, 6(4): 763-767. DOI: 10.3923/jbs.2006.763.767
- Amiri Deh Ahmadi SR, Rezvani Moghaddam P and Ehyae HR. 2012. The Effects of Drought Stress on Morphological Traits And Yield of Three Medicinal Plants (*Coriandrum Sativum*, *Foeniculum Vulgare* and *Anethum Graveolens*) In Greenhouse Conditions. *Iranian Journal OF Field Crops Research*, 10 (1):116-124. (In Persian).Doi:10.22067/GSC.V10I1.14479
- Andrew KB, Hammer GL and Henzell RG. 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought II. Dry matter production and yield. *Journal of Crop Science*, 40: 10371048.<https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4041037x>
- Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. and Zou, C.M., 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197: 177-185.<https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x>
- Arabi Z, Kaboosi K, Rezvantlab N, and Torke-Lalebagh J. 2015. Effects of irrigation and super – absorbent hydrogels on morphological characteristics, yield and essential oil of Anise (*Pimpinella anisum L.*). *Journal Crop Production*, 8(4): 51-66. (In Persian).DOR: 20.1001.1.2008739.1394.8.4.3.9
- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoloxidase in Beta Vulgaris. *Journal of Plant Physiology*, 24: 1-15.<https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Babaei K, Amini-Dehaghi M, Modares Sani SAM and Jabari R. 2010. Water Deficit Effect On Morphology, Prolin Content and Thymol Percentage Of Thyme (*Thymus Vulgaris L.*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant*, 26 (2): 239-251. (In Farsi). (In Persian).<https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939>
- Bates LS, Waldern RP and Tear ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Belitz AR and Sams CE. 2007. The effect of population density on growth, yield, & flavonolignan content in milk thistle (*Silybum marianum*). *Journal of Acta Horticulture*, 756: 251-257. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.756.26>
- Bettaieb I, Zakhama N, Wannas WA, Kchouk ME and Marzouk B. 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Journal of Scientia Horticulture*, 120(2): 271-275.<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.10.016>
- Bohnert, H.J. and Jensen, R.G., 1996. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. *Journal of Trends Biotechnol*, 14: 89-97.[https://doi.org/10.1016/0167-7799\(96\)80929-2](https://doi.org/10.1016/0167-7799(96)80929-2)
- Burnett, S. E., Pennisi, S. V., Thomas, P. A. and Van Iersel, M. W. (2005) Controlled drought affects morphology and anatomy of *salvia splendens*. *Journal American Society Horticultur Science* 130: 775 - 781.<https://doi.org/10.21273/JASHS.130.5.775>
- Bybordi, A., 2016. Effect of zeolite, selenium and silicon on yield, yield components and some physiological traits of canola under salt stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 14(1): 154-170. DOI:10.22067/GSC.V14I1.36936
- Dashti G, Sani F, Hosseinzad J and Majnooni A. 2021. Evaluation of Agricultural Sustainability Indicators under Climate Change and WaterResources Management Scenarios in Aji Chay Basin. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*. 32 (1): 325-341. (In Persian). DOI:10.22034/SAPS.2021.44368.2628
- Diao, M., Ma, L., Wang, J., Cui, J., Fu, A. and Liu, H. Y. (2014) Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. *Journal of Plant Growth Regulation* 33: 671-682. doi.org/10.1007/s00344-014-9416-2

- Djanaguiraman, M., Durga Devi, D., Shanker, A. K., Annie Sheeba, J. and Bangarusamy, U. (2005) Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence .272:77 -86. doi.org/10.1007/s11104-004-4039-1
- Elumalai, R. P., Nagpal, P. and Reed, J. W. (2002) A mutation in the arabidopsis KT2/KUP2 potassium transporter gene affects shoot cell expansion. Journal of The Plant Cell 14:119-131. doi:10.1105/tpc.010322.
- Eman E, Aziz ST, Hendawi E, Din A and Omer EA. 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* plant. American-Eurasian, Journal of Agricultural and Environmental Science,4(4): 443-450.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra SMA. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Journal of Agronomy for Sustainable Development, 29:185-212. . DOI:10.1051/agro:2008021
- Fathi A and Tari DB. 2016. Effect of drought stress and its mechanism in plants. International Journal of Life Sciences, 10 (1): 1-6. DOI:10.3126/ijls.v10i1.14509
- Feng, R., Wei, C. and Tu, M. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. Environmental and Experimental.
- Filek Maria and Hartikainenc Helina (2008) The protective role of selenium in rape seedling subjected to cadmium stress, Journal of Plant Physiology. 165: 833-844.DOI: 10.1016/j.jplph.2007.06.006
- Fu J and Huang B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Journal of Environmental and Experimental Botany, 45:105-14. DOI: 10.1016/s0098-8472(00)00084-8
- Ghassemi A, Farzaneh S, Moharramnejad S. 2021. Effect of Ascorbic Acid Foliar Application on Grain Yield and Morphophysiological Traits in Corn under Water deficit Stress. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science. 31(4): 177-188. (In Persian). DOI:10.22034/SAPS.2021.43675.2598
- Habibi G. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. Journal of Acta Agriculturae Slovenica, 101: 3139. doi.org/10.14720/aas.2013.101.1.14943
- Hajiboland R., Rahmat, S., Zeinalzadeh, N., Farshas-Akhtar and hosseinpour-Feizi A. 2019. Senescence is delayed by selenium in oilseed rape plants. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,55:96106.DOI:[10.1016/j.jtemb.2019.06.005](https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.06.005)
- Hajiboland, R., N. Keyvanfar, A. Joudmand, H. Rezaee, and M. Yousefnejad. 2014. Effect of selenium treatment on drought tolerance of canola plants. Journal of Plant Research. 27(4): 557-568.DOI: 10.30495/JCEP.2020.671641
- Hassan IA. 2005. Effects of water stress and high temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence in *Triticum aestivum* L. Photosynthetica, 44: 312-315. DOI: doi.org/10.1007/s11099-006-0024-7
- Hassani A and Omidbaigi R. 2002. Effect of water stress on some morphological, physiological and metabolic characteristics of basil. Journal of Agricultural. Science,12(3), 47-99. DOI:[10.3923/jbs.2006.763.767](https://doi.org/10.3923/jbs.2006.763.767)
- Hawrylak-Nowak B, Matraszek R and Szymanska M. 2010. Selenium modifies the effect of short term chilling stress on cucumber plants. Journal of Biological Trace Element Research, 138: 307-315. DOI: [10.1007/s12011-010-8613-5](https://doi.org/10.1007/s12011-010-8613-5)
- Hawrylak-Nowak B. 2009. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedling subjected to salt stress. Journal of Biological Trace Element Research, 132:259-269.
- Hekmatshoar, H., 1993. Plants Physiology under difficult condition (Translation). Journal of Niknam Press. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103620>
- Izadi Z, Asnaashari M and Ahmadvand G. 2009. Influence of drought tension on yield, proline contents, soluble sugars, chlorophyll, relative water contents and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L). Iranian Journal of Horticultural Science,10(3),223.234. (In Persian).DOI: 10.22055/JISE.2017.21315.1532

- Jaberi H, Lotfi B, Feilinezhad AR, Fathi A, KianErsi F and Abdollahi A. 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and *Pseudomonas* on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). *Advances in Bioresearch, Iranian Journal of Plant Biology*. 7(5): 27-31. DOI:10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.234238
- Jamshidi E, Ghalavand A, Sefidkon F and Goltaph EM. 2012. Effects of different nutrition systems (organic and chemical) on quantitative and qualitative characteristics of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) under water deficit stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 28 (2): 309-323. (In Persian). DOI: <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.3048>
- Kafi M, Borzoei A, Salehi M, Kamandi A, Masomi A and Nabati J. 2009. Physiology of environmental stresses in plants. 467. *Journal of Ecology*, Vol.7 No.4, April 26, 2017 (In Persian). DOI: 10.4236/als.2019.74012
- Khakshoor-Moghadam Z, Lahouti M and Ganjeali A. 2011. Effects Of Drought Stress Induced By Polyethylene Glycol On Germination And Morphophysiological Characteristics Of Dill (*Anethum Graveolens* L.) *Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology)*. 25(2): 185-193, (in Farsi). DOI:10.22067/jhorts4.v1390i0.9989
- Kheiry A, Tori H and Mortazavi N. 2017. Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(2):269-280. (In Persian). doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106481.1783
- Kindscher K. 2016. *Echinacea Herbal Medicine with a Wild History*. Journal of Springer International Publishing. Switzerland, 238p. DOI:10.14237/ebl.8.1.2017.911
- Lawlor DW. 2002. Limitation to photosynthesis in Water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Journal of Annals of Botany*, 89: 871-885. doi.org/10.1093/aob/mcf110
- Lan, C.Y., C.Y.K.H. Lin, W.D. Huang, and C.C. Chen. 2019. Protective effects of selenium on wheat seedlings under salt stress. *Agronomy Journal*. 9(6): 272-286. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060272>
- Levitt, J. 1980. *Responses of Plants to Environmental Stresses. Volume II. Water, Radiation, Salt, and other stresses*. Academic Press, New York. *Journal of American Journal of Plant Sciences*, Vol.7 No.13, September 16, 2016. doi.org/10.1016/B978-0-12-445501-6.50016-6
- McDowell NG, Adams HA, Bailey JD, Hess M, Kolb TE. 2006. Homeostatic maintenance of ponderosa pine gas exchange in response to stand density changes. *Journal of Ecological Applications* 16: 1164–1182. DOI: 10.1890/1051-0761(2006)016[1164: hmoppj]2.0.co;2
- Mishra AK and Singh VP. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391 (1):202-216. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.012
- MohammadPour-Voshvaie R, Ghloy M, Ramroodi M and Fakheri B. 2015. Effect of drought stress and biological fertilizers on the growth, yield and essence component of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, 7(2): 237-253. DOI: 10.22067/JAG.V7I2.36935
- Mohtashami F, Pouryousef M, Andalibi B and Shekari F. 2015. Effects Of Seed Priming And Foliar Application Of Salicylic Acid On Yield And Essence Of Fennel (*Foeniculum Vulgare* Mill.) Under Drought Stress Condition. *Iranian Journal of Medicinal and aromatic plants*, 31(5): 841-852. (In Persian). doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103620
- Munn S and Alegre L. 2000. The significance of beta carotene, alpha, tocopherol and the xanthophyll cycle in droughted *Melissa officinalis* plant. *Journal of plant physiology*, 27(2): 139-146. DOI:10.1071/PP99107
- Nawaz, F., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., Waraich, E. A. and Shabbir, R. N. (2014) Selenium (Se) regulates seedling growth in wheat under drought stress. *Journal Of Advances in Chemistry* 2014: 1-7. doi.org/10.1155/2014/143567
- Omidbaigi, R. 2005. Production and processing of medicinal plants. *Iranian Journal Of Publications Astan Quds Razavi, Mashhad*, 438p. (In Persian). DOI:10.22077/escs.2019.1958.1475

- Pirjalili F and Omid H. 2017. Effects of Drought Stress On Grain Yield And Qualitative Characteristics Of Three Populations of *Lallemantia Royleana Benth.* Iranian Journal Of medicinal And Aromatic Plants. 33(1): 38-25. (In Persian). doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109704
- Pourghasemian N and Moradi R. 2017. Assessing Effect of Drought Stress and Ascorbic Acid Application On Some Growth And Bio-Chemical Parameters Of Marigold (*Calendula Officinalis L.*). Journal of Plant Process and Function.6(19):77.88. (In Persian). DOR:20.1001.1.23222727.1396.6.19.5.3
- Ramos, S. J., Faguin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Avila, F. W., Carvalho, G. S., Bastos, C. E. A. and Oliveira, C. (2010) Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. Journal of Plant and Soil Environment. 12: 584 -588. DOI: 10.17221/113/2010-PSE
- Rebey IB, Jabri-Karoui I, Hamrouni-Sellami I, Bourguou S, Limam F and Marzouk B (2012) Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum L.*) seeds. Journal of Industrial Crop and Products. 36: 238-245. DOI:10.1016/j.indcrop.2011.09.013
- Reddy AR, Chaitanya KV and Vivekananda M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161: 1189–1202 DOI: 10.1016/j.jplph.2004.01.013.
- Rizopoulou S and Diamantoglou S. 1991. Water stress, induced diurnal variation in leaf water relation stomatal conductance, soluble sugar, lipids and essential oil content of *Origanum majorana*. L. Journal of Horticultural Science, 66: 119-125. doi.org/10.1080/00221589.1991.11516133
- Safikhani F. 2006. Investigation of physiological aspects of drought resistance in Dragonhead (*Dracocephalum moldavica L.*). Ph.D. Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Ramin Higher Education Agriculture and Natural Resources. Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture), 41(4), Winter, 2019.(In Persian). DOI:10.22077/escs.2018.1363.1286
- Sakihama, Y., Cohen M. F., Grace, S. C. and Yamasaki, H. 2002. Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals. Journal of Toxicology. 177: 67-80. DOI: 10.1016/s0300-483x(02)00196-8
- Seppanen M, Turakainen M and Hartikainen H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. Journal of Plant Science, 165: 311-319. DOI:10.1016/S0168-9452(03)00085-2
- Seyfzadeh S, Norouzi J, Eradatmand-Asli D, Zakerin HR, Ismail HM, Ismail-Hadidi M. 2021. Effect of Nitrogen Fertilizer Splitting on Eco-Physiological Traits of Two Maize Cultivars under Normal Irrigation and Stress. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science. 32 (1):115-132. (In Persian).DOI: 10.22034/SAPS.2021.44340.2627
- Sun HW, Ha J, Liang SX and Kang WJ, 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis 41: 1195–1204. doi.org/10.1080/00103621003721395
- Tognon, G. B., Sanmartin, C., Alcolea, V., Cuque, F. L. and Goicoechea, N. (2016) Mycorrhizal inoculation and/or selenium application affect postharvest performance of snapdragon flowers. Journal of Plant Growth Regulation 78: 389 -400. DOI:10.1007/s10725-015-0100-8
- Taiz L and Zeiger E. 2006. Plant Physiology, 4th Ed., Journal of Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts. 690 pages.
- Van Iersel, M. W. and Nemali, K. S. (2004) Drought stress can produce small but not compact marigolds. Journal of Horticultural Science 39:1298 -1301. DOI:10.21273/HORTSCI.39.6.1298
- Vikhreva, V.A., T.I. Balakhnina and V.K. Gins, 2002. Effect of selenium on intensity of peroxide processes and enzyme activity in Caucasian goat's rue leaves under extreme growing condition. Journal of Russian Agricultural Sciences5, 58-62. doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1298

- Volkmar, K., Hu, Y. and Steppuhn, H. (1998) Physiological responses of plants to salinity: A review. *Canadian Journal of Plant Science*. 78: 19 -27. DOI:[10.4141/P97-020](https://doi.org/10.4141/P97-020)
- Wang Y, Luo Z, Huang X, Yang K, Gao S and Du R. 2014. Effect of exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Journal of Scientia Horticulturae*, 168: 132-137. DOI:[10.1016/j.scienta.2014.01.022](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.022)
- Waseem M, Ali A, Tahir M, Nadeem MA, Ayub M, Tanveer A, Ahmad R and Hussain M. 2011. Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. *Continental Journal of Agricultural Science*, 5(1): 10-25. <http://www.wiloludjournal.com>
- Yao X, Chu J and Ba CJ. 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biological Trace Element Research*, 130(3): 283-290. DOI: [10.1007/s12011-009-8328-7](https://doi.org/10.1007/s12011-009-8328-7)
- Yildiz-Aktas L, Turkyilmaz B, Akca H and Parlak S. 2007. Role of abscisic acid and proline treatment on induction of antioxidant enzyme activities and drought tolerance responses of *Laurus nobilis* L. seedlings. *Fen Bilimleri Dergisi*, 28: 14-27. <https://www.researchgate.net/publication/238690978>
- Ying Ma M, Dias C and Freitas H. 2020. Drought and Salinity Stress Responses and Microbe-Induced Tolerance in Plants. *Front. Plant Sci*. 11:591911. doi.org/[10.3389/fpls.2020.591911](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911)
- Zangani E, Zehtab-Salmasi S, Andalibi B and Zamani AA. 2017. Effects of Methyl Jasmonate and Salt Stress on Physiological and Phytochemical Characteristics Of Peppermint (*Mentha Piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*.3(4): 636-648. (InPersian).doi.org/[10.22092/ijmapr.2017.107594.1848](https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.107594.1848)
- Zhu YG, Pilon-Smits EAH, Zhao FJ, Williams PN and Meharg AA. 2009. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. *Trends in Plant Science*, 14 (8): 436-442. doi:[10.1016/j.tplants.2009.06.006](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.06.006)
- Zhang Z, Gao S and Shan C, 2014. Effects of sodium selenite on the antioxidant capacity and the fruit yield and quality of strawberry under cadmium stress. *Journal of Scientia Horticulturae*. 260: 108876. DOI:[10.1016/j.scienta.2019.108876](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108876)
- Zobayed SMA, Afreen F and Kozai T. 2005. Temperature stress can alter the photosynthetic alterations in essential oil content and composition of sweet basil. *Journal of Essential Oil Research*, 4(1): 71-75. DOI:[10.1016/j.plaphy.2005.07.013](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.07.013)
- Zobayed SMA, Afreen F and Kozai T. 2007. Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. John's wort plants under a water stress condition. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2): 109-116. DOI:[10.1016/j.envexpbot.2005.10.002](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.10.002)
- Zou GH, Liu, HY, Mei, HW, Liu GL, Yu, XQ, Li, MS, Wu, JH, Chen, L and Luo, LJ . 2007. Screening for Drought resistance of rice recombinant inbred pulations in the field. *Journal of Integrative Plant Biol*, 49: 1508- 1516. doi.org/[10.1111/j.1672-9072.2007.00560.x](https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00560.x)