

Modulation of Drought Stress Effects and Improvement of Fruit Quality Indices with Exogenous Application of Methyl Jasmonate in *Physalis peruviana* L.)

Raheleh Ghasemzadeh^{1*}, Sevda Mojarab Gushchi²

Received: 09 October 2021 Accepted: 05 February 2022

1-Assist. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.

2-Former M.Sc. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.

*Corresponding Author Email: r.ghasemzade@urmia.ac.ir

Abstract

Background & Adjective: In the recent years, studies have been focused on the use of safe and biocompatible compounds to reduce the damage caused by drought stress. In this study, the effect of exogenous application of methyl jasmonate in modulating the effects of drought stress on *Physalis* plants and improvement of antioxidant activity was evaluated.

Material & Methods: In the present study, drought stress at 3 levels (100, 75 and 50 % of field capacity) and different concentrations of methyl jasmonate at 3 levels (0, 10 and 100 μ M) were used as the experimental factors.

Results: According to the results, drought stress significantly reduced fresh and dry weight, relative water content, chlorophyll a and b, carotenoids and beta-carotene in *physalis* leaves while total phenol and flavonoid content and antioxidant activity (fruits and leaves), soluble sugar, proline and malondialdehyde (leaves) increased under drought stress conditions. Foliar application with methyl jasmonate reduced the negative effects of drought stress in *physalis* plants by affecting the relative water content, chlorophyll content, membrane stability (decrease of malondialdehyde), and increasing compatible solutions (soluble sugar and proline), total phenol and flavonoids and antioxidant activity so that the fresh weight of the fruit increased (54.73%) by spraying 100 μ M methyl jasmonate in the second level of stress.

Conclusion: In general, the results of the study showed that foliar application of methyl jasmonate, especially at 100 μ M concentration, reduced the effects of drought stress on the *physalis* plants, and improved antioxidant activity and fruit weight, thus improving the yield.

Keywords: Antioxidant, Chlorophyll, Fruit Weight, Malondialdehyde, Proline, Soluble Sugar

تعدیل اثرات تنش خشکی و بهبود شاخص های کیفی میوه با کاربرد خارجی متیل جاسمونات (*Physalis peruviana* L.) در گیاه دارویی فیسالیس

راحله قاسم‌زاده*^۱، سودا مجرب قوشچی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

۱-استادیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

۲-دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: r.ghasemzade@urmia.ac.ir

چکیده

اهداف: در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات سالم و زیست‌سازگار برای کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه گلخانه‌ای تاثیر کاربرد خارجی متیل جاسمونات در تعدیل اثرات تنش خشکی و بهبود آنتی اکسیدانی گیاه دارویی فیسالیس بررسی شد.

مواد و روش‌ها: تنش خشکی در ۳ سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به عنوان فاکتور اول و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات در ۳ سطح صفر، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار به عنوان فاکتور دوم در طرح آزمایش فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار اعمال شد.

یافته‌ها: تنش خشکی به طور معنی‌داری میزان وزن تر و خشک، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a و b، کاروتنوئید و بتاکارتن برگ گیاه فیسالیس را کاهش داد در حالی که میزان فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ و میوه، قند محلول، پرولین و مالون دی آلدهید برگ در شرایط تنش خشکی افزایش یافتند. محلول‌پاشی متیل جاسمونات با تاثیر بر محتوای نسبی آب برگ، حفظ کلروفیل و پایداری غشا (کاهش مالون دی آلدهید)، افزایش میزان محلول‌های سازگار برگ (قند محلول و پرولین) و میزان فنل و فلاونوئید کل، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ و میوه فیسالیس توانست اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد به طوری که وزن تر میوه با محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات، ۵۴/۷۳ درصد در سطح دوم تنش، افزایش یافت.

نتیجه گیری: نتایج پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی متیل جاسمونات به خصوص در غلظت ۱۰۰ میکرومولار می‌تواند اثرات تنش خشکی را در گیاه دارویی فیسالیس کاهش داده و باعث بهبود خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، وزن میوه و در نتیجه عملکرد گردد.

واژه های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، پرولین، قند محلول، کلروفیل، مالون دی آلدهید، وزن میوه

مقدمه

Solanaceae می‌باشد که میوه‌های رسیده و برگ آن جنبه خوراکی، دارویی و صنعتی دارد (الوارز فلورز و همکاران ۲۰۱۷). این گیاه بومی آمریکای جنوبی بوده و در ایران

فیسالیس یا عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) گیاهی بوته‌ای، نیمه خشبی و چند ساله از خانواده

آسیب‌های ناشی از فعالیت ROSها (تنش ناشی از اکسیداتیو) که ممکن است در پی مداخله طولانی مدت تنش‌های زیستی و غیر زیستی از جمله تنش خشکی در گیاه اتفاق افتد، از عوامل مهم و محدود کننده برای گیاه است (میتلر ۲۰۰۶). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو، دارای سیستم دفاعی با کارایی بالایی هستند که می‌توانند تولید و کارایی رادیکال‌های آزاد را محدود و یا خنثی کنند (بلوخینا و همکاران ۲۰۰۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام مختلف توت فرنگی از جمله کوئین الیزا و کردستان اثر گذاشته و منجر به کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ و ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن خشک کل، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد شد (قادری و همکاران ۲۰۱۵). افزایش تنش خشکی در توت فرنگی باعث افزایش غلظت ترکیباتی چون آنتوسیانین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش در اندازه میوه و عملکرد میوه شده است (جین بوردونابا و تری ۲۰۱۶). کاربرد خارجی مواد تنظیم کننده رشد، عامل موثری بر بهبود سطح تولید تنظیم کننده‌های رشد درونی گیاه بوده و شرایط را برای افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی در گیاه فراهم می‌کند (باجگوز ۲۰۰۹). از مهم‌ترین مواد تنظیم کننده رشد در این رابطه براسینواستروئیدها (Brassinosteroid) و جاسمونات‌ها (Jasmonats) هستند. جاسمونات‌ها گروه مهمی از هورمون‌های غیرکلاسیک هستند که بیشتر شامل اسید جاسمونیک و متیل جاسمونات می‌باشند. اکثر مشتقات جاسمونات‌ها اثرات مشابهی بر شاخص‌های رشد و نمو گیاهان دارند، اما به دلیل در دسترس بودن زیاد و سهولت استفاده، بیشتر مطالعات با استفاده از اسید جاسمونیک و متیل جاسمونات انجام شده است. جاسمونات‌ها با تاثیر بر شاخص‌های فتوسنتزی باعث افزایش راندمان فتوسنتز و تجمع ساکاریدها می‌شوند (سیرهندی و همکاران ۲۰۲۰). مشخص شده است که استفاده بیرونی جاسمونیک اسید میزان مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی را از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در گیاهان بهبود می‌بخشد (ای و همکاران

به نام‌های گیلان زمینی، فانوس چینی نیز شناخته می‌شود. عروسک پشت پرده به دلیل ترکیبات تغذیه‌ای و ترکیبات فعال زیستی از جمله اسید آسکوربیک، ترکیبات فنلی، فیتواسترول‌ها و کاروتنوئیدها که خطر برخی بیماری‌ها مانند سرطان، مالاریا، آسم، هیپاتیت، درمانیت و روماتیسم را کاهش می‌دهد، در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است (ایزیلی و همکاران ۲۰۱۴ و رمدان ۲۰۱۱). از دیگر ترکیبات این گیاه می‌توان به آلکالوئیدها، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، لیکوپن و ترکیبات الکلی اشاره کرد (نامجویان و همکاران ۲۰۱۵). از نقطه نظر طبی، قسمت‌های مختلف این گیاه دارای ارزش دارویی است. از جام گل و میوه آن ماده‌ای به نام کریپتوکزانثین (Cryptoxanthin) یا کاریکاکزانثین (Caricaxanthine) استخراج شده است که نوعی ماده رنگی کارتنوئیدی با اثری مشابه ویتامین آ می‌باشد. با توجه به ارزش دارویی این گیاه در درمان بسیاری از بیماری‌ها و افزایش سیستم ایمنی بدن، در سال‌های اخیر کشت و کار این گیاه به شدت افزایش پیدا کرده است (هلواسی و همکاران ۲۰۱۰).

کاهش رطوبت خاک و ایجاد محدودیت برای رشد و نمو گیاه که به عنوان تنش خشکی از آن یاد می‌شود، از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که در بیشتر مناطق کره زمین، بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک اتفاق می‌افتد و رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش خشکی هر ساله باعث کاهش تولیدات کشاورزی می‌شود. این در حالی است که در سال‌های اخیر دلیل افزایش جمعیت جهان، نیاز به مواد غذایی افزایش یافته است. کمبود آب که به دلیل کاهش بارندگی و افزایش دفعات دوره‌های خشک اتفاق می‌افتد، اغلب با اثرات مخرب دیگری مانند شوری، گرما و حمله عوامل بیماری‌زا همراه است (الیوالیا و همکاران ۲۰۲۱). تنش خشکی بر رشد، عملکرد، پایداری ساختار و عملکرد غشای سلولی، تورژسانس سلولی، تطابق اسمزی و روابط آبی گیاه، محتوای رنگدانه‌ها و فعالیت فتوسنتزی، عملکرد و کیفیت میوه و همچنین فعالیت گونه‌های اکسیژن آزاد (Reactive Oxygen Species (ROS)) تاثیر می‌گذارد (میتلر ۲۰۰۶ و پاشورا ۲۰۰۷).

دارویی که به عنوان ترکیبات ارزشمند در ساخت داروهای گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در طول دوره رشد و نمو گیاهان تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی و انواع محرک-ها قرار می‌گیرند. در راستای بهبود خصوصیات کمی و کیفی میوه و تعدیل اثرات تنش خشکی در گیاه دارویی فیسالیس، پژوهش حاضر با محلول پاشی غلظت های مختلف متیل جاسمونات در سطوح مختلف تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر محلول پاشی متیل جاسمونات بر گیاه دارویی فیسالیس تحت شرایط تنش خشکی، پژوهش حاضر در گلخانه های تحقیقاتی دانشگاه ارومیه، با شرایط نوری ۱۶ ساعت طول روز و تناوب دمایی ۳۶ درجه روزانه و ۱۹ درجه سانتی‌گراد شبانه در سال زراعی ۱۳۹۸ انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل تنش خشکی در ۳ سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و فاکتور دوم محلول پاشی غلظت-های مختلف متیل جاسمونات در ۳ سطح (۰، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بود. جهت تهیه نشاء، بذرهای گیاه دارویی فیسالیس (*Physalis peruviana*) در سینی‌های تولید نشاء (با مشخصات تعداد حفره ۴۵ تایی، با ابعاد هر سلول ۹×۵ سانتی‌متر و عمق هر سلول ۵۵ میلی‌متر) کشت و پس از مراقبت‌های لازم، در مرحله چهار تا هشت برگی به گلدان-های اصلی آزمایش از نوع پلاستیکی با ارتفاع ۳۰ سانتی-متر و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر انتقال داده شد. هر گلدان با ۱۰ کیلوگرم خاک (۰/۵ کیلوگرم سنگ ریزه جهت زهکش گلدان) + ۳ قسمت خاک مزرعه + ۱ قسمت ماسه) پر شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲۰۰۸ و بندورسکا و همکاران ۲۰۰۳). محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید بر روی گیاه *Agropyron cristatum* که تحت شرایط تنش خشکی پرورش یافته بودند، موجب تنظیم متابولیسم آسکوربات و گلوکاتیون شده و از این طریق، نقش مهمی را در افزایش مقاومت به خشکی ایفا کرد (شان و لاینج ۲۰۱۰). جاسمونات‌ها به شدت باعث تولید متابولیت‌های مهم دفاعی از جمله مواد آلی فرار و آلکالوئیدها می‌شوند، همچنین باعث افزایش تولید اتیلن شده و برخی از مکانیسم‌های مقاومت را به واسطه افزایش تولید اتیلن ایجاد می‌نمایند (اصغری ۲۰۱۹). علاوه بر این، جاسمونات‌ها به عنوان ترکیبات ایمن در نظر گرفته می‌شوند و استفاده از این مواد شیمیایی به عنوان مواد افزودنی غذایی مورد تأیید سازمان‌های بین المللی است (ام سی چارلی ۲۰۱۳). در پژوهشی توسط اصغری و همکاران (۲۰۱۹) محلول پاشی متیل جاسمونات با غلظت (۰/۱ تا ۰/۵ میلی مولار)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز، مواد فنولیک، مواد جامد محلول، وزن آریل، میزان سفتی پوست و آب میوه انار در هنگام برداشت را به طور قابل توجهی افزایش داد. همچنین اثر تیمار قبل از برداشت متیل جاسمونات در میوه آلوی رقم قطره طلا سبب حفظ بهتر ویتامین ث، مواد جامد محلول، اسیدیته، سفتی، فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه گردید (سلامی و حاجیلو ۲۰۱۸). ملکپور و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تیمار با غلظت ۴۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک باعث افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد شد. طبق نتایج پژوهشی گزارش شد که تنش خشکی سبب افزایش غلظت پرولین و کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود و تیمار متیل جاسمونات باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ گردید (حسنلو و همکاران ۲۰۱۲).

در سال‌های اخیر به دلیل اثرات سوء ناشی از مصرف مواد شیمیایی، توجه زیادی به کشت و مصرف گیاهان دارویی شده است. متابولیت‌های ثانویه در گیاهان

نمونه خاک	pH	EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی (%)	CaCO ₃ (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	K Mg.kg ⁻¹	P Mg.kg ⁻¹
cm ۳۰-۰	۷/۶۹	۱/۰۹	۱/۹۰	۱۸/۵	۴۶	۳۳	۲۲	لومی	۳۴۳	۱۳/۴

تورژسانس ((TW)) / ((وزن خشک (DW) - وزن تر (FW)) × ۱۰۰

استخراج عصاره برای اندازه گیری محتوای فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی برگ و میوه

جهت عصاره گیری از نمونه ها از روش ونگ و همکاران (۲۰۱۹) با کمی تغییر استفاده شد. نمونه ها بصورت جداگانه توزین و داخل هاون چینی توسط ازت مایع بصورت پودر در آمدند. ۱ گرم از نمونه پودر شده با ۳ میلی لیتر متانول ۸۰٪ مخلوط و سپس به مدت ۱ دقیقه ورتکس گردید. سپس با استفاده از دستگاه اولتراسونیک مدل (Ultrasonic S60H - ساخت کشور آلمان) در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه با هم مخلوط شدند. سپس مخلوط حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ مدل (Micro 186 - شرکت Hettich ساخت کشور آلمان) با دور ۵۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس قسمت روشناور نمونه ها به آرامی برداشته شده و توسط فیلتر سر سرنگ ۰/۲ میکرون صاف گردید و در فالكون های درب دار در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری شدند و برای سنجش صفات بیوشیمیایی مانند فنل کل و فلاونوئید کل مورد استفاده قرار گرفت.

فنل کل

جهت اندازه گیری محتوای فنل کل از روش Folin-ciocalteu استفاده شد. به این صورت که ۱۰۰ میکرو لیتر از عصاره متانولی در لوله آزمایشی ریخته شد و سپس به ترتیب ۱۲۰۰ میکرو لیتر از محلول فولین ۱۰٪ و پس از سه دقیقه ۹۶۰ میکرو لیتر بی کربنات سدیم (۷٪) و ۱۸۰ میکرو لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. نمونه ها ۴۵ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی قرار داده شدند سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مقدار جذب نمونه ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد. داده ها بر حسب میلی گرم

پس از رشد و استقرار مناسب بوته ها، اعمال تنش با ۳ سطح شامل بدون تنش آبیاری (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) انجام گرفت. محلول-پاشی متیل جاسمونات در سه سطح (۰، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار) همزمان با اعمال تنش در ۳ مرحله به فاصله ۱۵ روز روی گیاهان اعمال شد. برای حفظ رطوبت گلدان ها در سطوح تنشی مورد مطالعه، گلدان ها روزانه در ساعت مشخصی وزن شدند و میزان کاهش آب محاسبه و به گلدان ها اضافه شد. در پایان دوماه اعمال تنش های رطوبتی، نمونه برداری جهت اندازه گیری صفات مورد نظر انجام گردید.

وزن تر و خشک برگ و وزن تر میوه

جهت اندازه گیری وزن تر برگ و میوه های برداشت شده از ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱) استفاده شد. جهت تعیین وزن خشک برگ ها از دمای ۷۲ درجه سانتی-گراد به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد و در نهایت با استفاده از ترازوی دیجیتالی توزین گردید.

محتوای نسبی آب برگ

بدین منظور ۴ عدد برگ توسعه یافته جوان از هر گلدان انتخاب و به اندازه یک سانتی متر مربع از هر ۴ برگ تهیه گردید و وزن تر آن یادداشت برداری شد. سپس نمونه ها داخل فالكون های ۵۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت غوطه ور گردید و در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد. بلا فاصله پس از خشک کردن رطوبت سطح برگ ها وزن تورژسانس آن ها اندازه گیری شد. نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند و سپس وزن خشک آن ها توزین گردید. مقدار نسبی آب برگ بر حسب درصد و با استفاده از رابطه زیر بدست آمد (یاماساکی و دیلنبورج ۱۹۹۹).

محتوای نسبی آب (RWC) = (وزن خشک (DW) - وزن

گردید. سپس به مدت ۱۰ دقیقه و در ۲۶۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. فاز رویی جداسازی و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۶۲، ۶۴۵، ۴۷۰ و ۴۷۹ نانومتر قرائت شد. از استون به عنوان شاهد استفاده شد. میزان کلروفیل a و b، کاروتنوئید و بتاکاروتن برای هر نمونه با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید (شامه و همکاران ۲۰۱۹).

$$C_a = 11.75 A_{662} - 2.350 A_{645}$$

$$C_b = 18.61 A_{645} - 3.960 A_{662}$$

$$C_{x+c} = 1000 A_{470} - 2.270 C_a - 81.4 C_b / 227$$

$$\beta\text{-Carotene} = 0.854 A_{479} - 0.312 A_{645} + 0.039 A_{663} - 0.005$$

استخراج عصاره برای اندازه‌گیری محتوای قند محلول و پرولین و برگ

جهت عصاره‌گیری برای قندهای محلول و پرولین، ۰/۲ گرم بافت تازه برگ همراه با ۲ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در داخل هاون چینی کوبیده شد. محلول حاصله به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۵۰۰ rpm در سانتریفیوژ قرار داده شد. سپس عصاره اتانولی بدست آمده تا زمان اندازه‌گیری قندهای محلول و پرولین در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شد (آیریجوبین و همکاران ۱۹۹۲).

قند محلول

جهت اندازه‌گیری قندهای محلول ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره اتانولی تهیه شده به داخل لوله آزمایش ریخته و به آن ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲٪) اضافه شد. لوله‌های آزمایشی به مدت ۱۰ دقیقه در داخل بن ماری (حمام آب جوش) برای تشکیل ماده رنگی سبز قرار داده شد پس از خنک شدن نمونه‌ها میزان جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید. مراحل فوق جهت تهیه استاندارد قند از گلوکز با محلول‌هایی با غلظت صفر تا ۱۲۰ ppm تکرار گردید و میزان جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید (آیریجوبین و همکاران ۱۹۹۲).

اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد (اریزا و همکاران ۲۰۱۸).

فلاونوئید کل

جهت اندازه‌گیری فلاونوئید کل از روش شاینو و همکاران (۲۰۱۴) با کمی تغییر استفاده شد. ابتدا ۱۰۰ میکرولیتر عصاره متانولی تهیه شده را به ترتیب با ۱۵۰ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵٪ مخلوط کرده و پس از گذشت ۵ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰٪ به آن اضافه گردید و پس از طی ۵ دقیقه، ۱ میلی‌لیتر سود (NaOH) یک مولار به آن اضافه شد و در نهایت حجم محلول به ۵ میلی‌لیتر رسانده شد و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۳۸۰ نانومتر قرائت گردید و برحسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر برحسب استاندارد کوئرسیتین بیان شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدان از روش خنثی‌سازی رادیکال آزاد DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) استفاده شد. بدین صورت که ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۲ میلی‌لیتر محلول متانولی حاوی DPPH (۰/۰۰۸ گرم DPPH در ۲۰۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰٪) مخلوط گردید و به مدت ۴۵ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی گذاشته شد. تغییرات جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد، ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل طبق فرمول زیر محاسبه گردید (ناکاجیما و همکاران ۲۰۰۴).

$$DPPH (\% \text{ inhibition}) = [(Abs_0 - Abs_1) / Abs_0] \times 100$$

(% inhibition) = بازدارندگی DPPH برحسب درصد

DPPH

Abs₀ = مقدار جذب نمونه Abs₁ = مقدار جذب شاهد

کلروفیل a و b، کاروتنوئید و بتاکارتن

جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل، کاروتنوئید و بتاکاروتن مقدار ۰/۱ گرم از بافت برگ با ازت مایع در یک هاون چینی سرد و در حمام یخ، هموژن شد. سپس به مخلوط همگن حاصل، ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ اضافه

پرولین

جهت اندازه گیری غلظت پرولین، یک میلی لیتر از عصاره الکی تهیه شده را با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر رقیق نموده و ۵ میلی لیتر معرف نین هیدرین به آن اضافه گردید (تهیه نین هیدرین به ازای هر نمونه: ۰/۱۲۵ گرم نین هیدرین + ۲ میلی لیتر اسید فسفریک ۶ مولار + ۳ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال). پس از افزودن معرف نین هیدرین، ۵ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده شد و مخلوط حاصله پس از به هم زدن به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی گراد) قرار داده شد. پس از خنک شدن نمونه ها ۱۰ میلی لیتر بنزن به نمونه ها اضافه گردید و به شدت تکان داده شد تا پرولین وارد فاز بنزن گردد. نمونه ها به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون قرار داده شد و در نهایت میزان پرولین در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه گیری شد و به صورت میلی گرم بر گرم وزن تر بیان شد (پاکوئین و لچاسنور ۱۹۷۹).

مالون دی آلدهید (MDA)

جهت اندازه گیری مالون دی آلدهید ۰/۱ گرم بافت برگ در ۵ میلی لیتر تری کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد (TCA) همگن شد. سپس نمونه ها به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۲۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. ۰/۵ میلی لیتر از فاز بالایی نمونه ها با ۵ میلی لیتر محلول تیوباربیتریک اسید ۰/۵ درصد (TBA) مخلوط شد و نمونه ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد و بی درنگ در آب یخ به مدت پنج دقیقه سرد شدند و در نهایت در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید و به صورت میکرومول مالون دی آلدهید بر گرم وزن تر بیان شد (پافام و نواچی ۱۹۹۱).

نتایج و بحث

بر طبق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس داده ها، اثرات ساده تنش خشکی و محلول پاشی متیل جاسمونات و اثر متقابل آن ها بر اکثر شاخص های مورد ارزیابی در برگ و میوه فیسالیس معنی دار بود (جدول ۲، ۳ و ۴).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و تیمار متیل جاسمونات بر وزن تر و خشک برگ، محتوای نسبی آب برگ، میزان فنل و فلانوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی برگ گیاه فیسالیس

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر	وزن خشک	محتوای نسبی آب برگ	فنل کل
تنش خشکی A	۲	۳۹/۲۵**	۰/۷۳۶**	۱۴۱۲/۵۱**	۶۵۰۴/۷۱**
متیل جاسمونات B	۲	۵/۰۸**	۰/۱۲۸**	۱۴۵/۷۰**	۸۱۰/۳۰**
اثر متقابل A×B	۴	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۸/۵۲*	۱۷/۱۷**
خطای آزمایشی	۱۸	۰/۶۵	۰/۰۰۵	۲/۱۱	۱/۲۵
ضریب تغییرات (%)		۳/۲۵	۱/۶۴	۲/۱۷	۰/۷۰۶
					۱/۸۷
					۲/۶۸

ns, *, ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و تیمار متیل جاسمونات بر وزن تر، میزان فنل و فلانوئید کل، فعالیت آنتی-اکسیدانی و میزان کاراتنوئید میوه گیاه فیسالیس

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
-------------	------------	----------------

وزن میوه	فنل کل	فلاونوئید کل	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	کارتونوئید		
۰/۳۳ ^{ns}	۴۱۲/۳۵ ^{**}	۷۶۶۹/۵۴ ^{**}	۱۷۲۵۷/۶۰ ^{**}	۹۳۶۰۴/۰۶ ^{**}	۲	تنش خشکی A
۰/۹۵ [*]	۲۱۴۵/۳۳ ^{**}	۱۷۵۲/۸۲ ^{**}	۲۹۶۴/۲۷ ^{**}	۱۲۸۴۹/۰۲ ^{**}	۲	متیل جاسمونات B
۱/۰۳ [*]	۱۰۲/۱۹ ^{**}	۲۷۱/۴۲ ^{**}	۴۲۵/۴۲ ^{**}	۲۳۶۸/۰۶ ^{**}	۴	اثر متقابل A×B
۰/۲۶	۲۴/۷۳	۲۳/۳۶	۱۵/۸۰	۲۳۳/۶۴	۱۸	خطای آزمایشی
۱۵/۰۴	۱/۵۷	۸/۳۰	۵/۶۱	۵/۶۹		ضریب تغییرات (%)

ns, *, ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی، تیمار متیل جاسمونات و اثر متقابل آن‌ها بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان قند محلول، پرولین و مالون دی‌آلدهید برگ گیاه فیسالیس

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتونوئید	بناکارتن	قند محلول	پرولین	مالون دی‌آلدهید
تنش خشکی A	۲	۷۶/۱۷ ^{**}	۸/۱۲ ^{**}	۵۲۶۵۱۹/۷۵ ^{**}	۰/۴۰۱ ^{**}	۳۰۷۹/۴۰ ^{**}	۱۱۰/۳۰ ^{**}	۱۲۰/۵۵ ^{**}
متیل جاسمونات B	۲	۱۳/۰۸ ^{**}	۰/۹۰۶ ^{**}	۵۰۷۶۱/۶۹ ^{**}	۰/۰۴۳ ^{**}	۳۴۴/۴۱ ^{**}	۲۱/۲۳ ^{**}	۲۱/۷۷ ^{**}
اثر متقابل A×B	۴	۰/۶۹۳ [*]	۰/۲۰۵ ^{**}	۵۷۸۵/۲۶ [*]	۰/۰۰۵ ^{**}	۱۹/۴۰ ^{**}	۲/۸۸ ^{**}	۳/۸۰ ^{**}
خطای آزمایشی	۱۸	۰/۱۷۳	۰/۰۱۶	۱۳۷۱/۰۳	۰/۰۰۰۸۷	۳/۲۸	۰/۱۳۲	۰/۱۷۱
ضریب تغییرات (%)		۸/۸۱	۷/۲۰	۹/۲۰	۸/۳۱	۳/۴۰	۶/۰۲	۵/۸۵

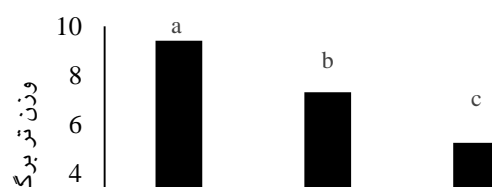
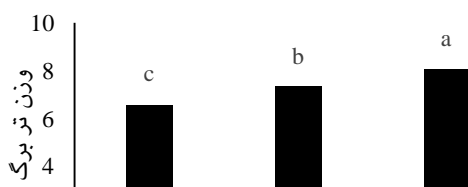
ns, *, ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

وزن تر و خشک برگ و وزن تر میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر سطوح مختلف متیل جاسمونات و تنش خشکی بر وزن تر و خشک برگ گیاه فیسالیس معنی‌دار بود. با این حال اثر متقابل تیمار متیل جاسمونات و تنش خشکی بر میزان وزن تر و خشک معنی‌دار نبود (جدول ۲). تأثیر محلول پاشی متیل جاسمونات و اثر متقابل تنش و متیل جاسمونات در سطح احتمال ۵ درصد بر وزن تر میوه معنی‌دار بود (جدول ۳). مطابق نتایج مقایسات میانگین‌ها، بیشترین میزان وزن تر و خشک برگ گیاه فیسالیس به ترتیب با ۸/۰۵ و ۱/۴۹ گرم در تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات و کمترین میزان وزن تر و خشک برگ گیاه فیسالیس به ترتیب با ۶/۵۵ و ۱/۲۶ گرم در تیمار شاهد (صفر میکرو مولار متیل جاسمونات) مشاهده گردید (شکل ۱ و ۲). همچنین بر اساس نتایج مقایسات میانگین، وزن تر و خشک برگ گیاه فیسالیس با اعمال تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافت. به

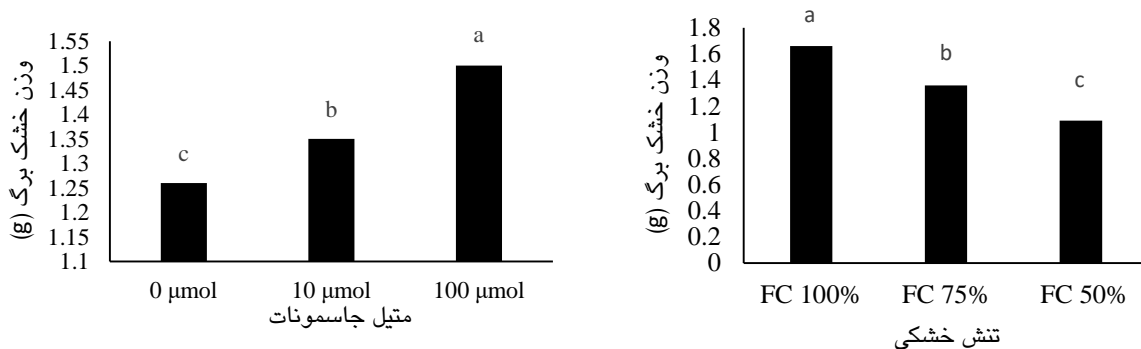
طوری که بیشترین میانگین وزن تر و خشک برگ گیاه فیسالیس به ترتیب با ۹/۴۱ و ۱/۶۶ گرم در تیمار بدون تنش آبیاری با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میانگین وزن تر و خشک برگ گیاه فیسالیس به ترتیب با ۵/۲۴ و ۱/۰۸ گرم در تیمار شدید تنش آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد (شکل ۱ و ۲). با اعمال تنش خشکی میزان وزن تر میوه کاهش یافت و تیمار متیل جاسمونات به طور معنی‌داری باعث بهبود اندازه میوه فیسالیس در شرایط تنش خشکی گردید (شکل ۳).

متیل جاسمونات با توجه به غلظت استفاده شده، گونه گیاهی و مرحله رشد، تاثیرهای متفاوتی بر رشد و نمو گیاهان دارد. وطنخواه و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که محلول‌پاشی ۶۰ میکرومولار متیل جاسمونات با تسریع رشد ریشه در جذب آب تأثیر گذاشته و موجب افزایش وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ گیاه نعنا فلفلی نسبت به گیاهان گروه شاهد گردید.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات ساده غلظت های متیل جاسمونات (سمت چپ) و سطوح مختلف تنش خشکی (سمت راست) بر وزن تر برگ گیاه فیسالیس

میانگین های با حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد با آزمون دانکن می باشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده غلظت های متیل جاسمونات (سمت چپ) و سطوح مختلف تنش خشکی (سمت راست) بر وزن خشک برگ گیاه فیسالیس

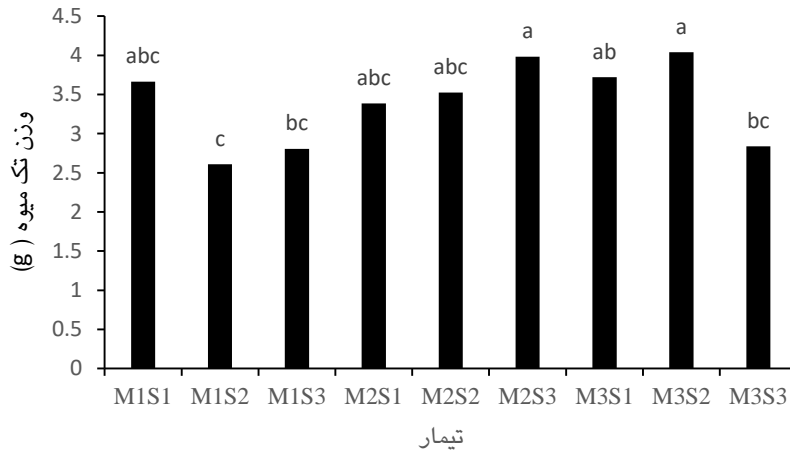
میانگین های با حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد با آزمون دانکن می باشد.

باشد. بیان شده است که کاهش وزن تر و خشک در شرایط تنش خشکی ناشی از همبستگی مثبت با کاهش محتوای نسبی آب برگ با سرکوب انبساط و رشد سلول به دلیل فشار تورژسانس کم و پیری بیشتر برگ ها تحت تنش خشکی می باشد (میرانشاهی و سیاری ۲۰۱۶). کاهش در میزان کلروفیل و شدت فتوسنتز و بدنبال آن کاهش رشد رویشی و وزن خشک در شرایط تنش خشکی در گیاه مرزنجوش نیز گزارش شده است (فارسی و همکاران ۲۰۲۰). افزایش اندازه و وزن میوه متأثر از افزایش تعداد و اندازه سلول ها در طول دوره رشد و افزایش مواد جامد محلول می باشد. در پژوهش حاضر تنش خشکی باعث کاهش وزن میوه فیسالیس شد هر چند که این کاهش از نظر آماری معنی دار نبود و

متیل جاسمونات از طریق افزایش یا جلوگیری از کاهش عملکرد فتوسنتزی گیاه سبب تولید غیر مستقیم کربوهیدرات ها و دیگر مواد مورد استفاده در متابولیسم های گیاه شده و بدین صورت سبب مقاومت گیاه به شرایط تنش می شود. همچنین متیل جاسمونات با فعال کردن آنزیم های آنتی اکسیدانی در کلروپلاست از تخریب کلروفیل و کاهش شدت فتوسنتز جلوگیری کرده و بدین ترتیب موجب بهبود رشد و فعالیت گیاه می گردد. گزارش شده است که تیمار متیل جاسمونات بر شاخص های رشدی در گیاه ریحان تحت تنش شوری تاثیر معنی دار قابل توجهی داشته است (مقدم و طالبی ۲۰۱۶). کاهش وزن تازه و خشک می تواند به دلیل کاهش رشد گیاه، فتوسنتز و کاهش بزرگ شدن سلول در طول تنش آبی

سیب (مریخی و همکاران ۲۰۱۹) و آلو (مارتینز و همکاران ۲۰۱۴) نیز گزارش شده است.

تیمار متیل جاسمونات باعث بهبود وزن میوه گردید. تاثیر مثبت تیمار متیل جاسمونات در اندازه و وزن میوه



شکل ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری غلظت‌های متیل جاسمونات و سطوح مختلف تنش خشکی برای وزن تر تک میوه فیسالیس

میانگین‌های با حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن می‌باشد. M1، M2 و M3 به ترتیب غلظت‌های ۰، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات و S1، S2 و S3 به ترتیب ۷۵، ۵۰ درصد FC می‌باشد.

مورد استفاده قرار می‌گیرد. گیاهان متحمل به خشکی با جذب آب از پروتوپلاست، آب بیشتری را در خود نگهداری می‌کنند، بنابراین دارای مقدار بالاتری از محتوای آب نسبی هستند. یکی از مهم‌ترین عوامل حفظ بقاء گیاه در شرایط تنش، توانایی گیاه در حفظ آب سلولی از طریق افزایش مقدار محتوای نسبی آب برگ و حفظ بهتر پتانسیل آب گیاه است. کاهش میزان محتوای نسبی آب گیاه در شرایط تنش خشکی، با کاهش میزان رطوبت خاک مرتبط است. کاهش رطوبت باعث تخریب پروتئین‌ها و بروز تغییراتی در غشای سلولی می‌شود و به طور کلی سبب کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب دی اکسید کربن و در نهایت سبب کاهش فتوسنتز می‌گردد (قوپتا و همکاران ۲۰۲۰).

گزارش شده است که متیل جاسمونات با بستن روزنه‌ها به عنوان یک مکانسیم مقاومت به تنش، باعث کاهش تعرق و حفظ آب برگ در حد بهینه می‌شود. همچنین، این احتمال وجود دارد که متیل جاسمونات به عنوان یک تنظیم کننده تولید مواد تنظیم کننده اسمزی به ویژه ساخت قندها و پرولین را در جهتی القاء کند که در نهایت موجب حفظ محتوای نسبی آب گیاه شود (قمی

محتوای نسبی آب برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده محلول‌پاشی برگی متیل جاسمونات و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و نیز اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای نسبی آب برگ گیاه فیسالیس معنی‌دار شد (جدول ۲). محتوای نسبی آب برگ گیاه فیسالیس در نمونه‌های مورد مطالعه، در محدوده بین ۴۸/۲۳ و ۸۳/۱۸ درصد قرار داشت. بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به نمونه‌های بدون تنش تحت تیمار غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات و کمترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به نمونه‌های تحت تاثیر غلظت صفر میکرومولار متیل جاسمونات و در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. به طور کلی با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ گیاه کاهش یافت و کاربرد متیل جاسمونات سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ گیاه در گیاهان شاهد و تحت تنش خشکی شد (جدول ۵).

محتوای نسبی آب برگ منعکس کننده فعالیت متابولیک در بافت‌های گیاه بوده و به عنوان شاخصی مناسب به منظور شناسایی گیاهان در تحمل پسابیدگی

فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب با ۱۲۳/۹۸ میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم وزن تر، ۶۵/۴۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر کوئرستین و ۲۶/۲۰ درصد DPPH، مربوط به غلظت صفر میکرومولار متیل جاسمونات در تیمار بدون تنش آبیاری با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود. به طور کلی با افزایش غلظت متیل جاسمونات و شدت تنش، روند تغییرات فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایشی بود (جدول ۵). میزان فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه نیز به طور معنی داری با افزایش سطوح تنش و غلظت متیل جاسمونات افزایش یافت. در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و غلظت ۱۰ میکرومولار متیل جاسمونات میزان فلاونوئید کل کاهش یافت. البته این کاهش از نظر آماری معنی دار نبود. بالاترین مقدار فنل کل (۱۶۲/۸۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم وزن تر میوه) در تیمار ۱۰ میکرومولار متیل جاسمونات و تنش خشکی ۵۰ درصد مشاهده شد (جدول ۶).

۲۰۲۰ و صدیقی و حسین ۲۰۱۹). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات در گیاهچه های موز نیز تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش محتوی نسبی آب نسبت به شاهد گردید (محمود و همکاران ۲۰۱۲).

فنل و فلاونوئید کل و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات متقابل غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات و سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه فیسالیس هم در برگ و هم در میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین میزان فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی-اکسیدانی (به ترتیب ۱۹۶/۴۵ میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم وزن تر، ۱۳۷/۶۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر کوئرستین و ۸۲/۴۹ درصد DPPH) مربوط به غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات در تشدید تنش آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود و کمترین میزان فنل و

جدول ۵- مقایسات میانگین ترکیبات تیماری تنش خشکی و تیمار متیل جاسمونات برای برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ فیسالیس

تنش خشکی	متیل جاسمونات (μM)	محتوای نسبی آب برگ (%)	فنل کل برگ (mg GAL/100 g FW)	فلاونوئید کل برگ (mg QU/100 g FW)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ (% DPPH)	کلروفیل a (mg /100 g FW)	کلروفیل b (mg /100 g FW)
	۰	۷۸/۱۹ ^b	۱۲۳/۹۸ ⁱ	۶۵/۴۷ ⁱ	۲۶/۲۰ ⁱ	۶/۳۰ ^c	۲/۲۰ ^c
FC%۱۰۰	۱۰	۷۶/۸۱ ^b	۱۳۵/۰۶ ^h	۷۱/۷۸ ^h	۴۲/۳۹ ^g	۷/۳۷ ^b	۲/۱۵ ^c
	۱۰۰	۸۳/۱۸ ^a	۱۴۱/۵۰ ^g	۸۱/۵۳ ^g	۳۰/۵۶ ^h	۹/۵۲ ^a	۳/۳۶ ^a
	۰	۶۳/۱۱ ^e	۱۴۷/۵۲ ^f	۸۵/۷۸ ^f	۴۶/۶۲ ^f	۳/۲۹ ^e	۱/۲۰ ^f
FC%۷۵	۱۰	۶۶/۵۸ ^d	۱۵۲/۴۹ ^e	۹۲/۹۰ ^e	۵۵/۵۰ ^e	۴/۴۱ ^d	۱/۵۳ ^e
	۱۰۰	۶۹/۴۰ ^c	۱۶۶/۵۱ ^d	۱۰۳/۳۳ ^d	۶۶/۰۱ ^d	۵/۸۵ ^c	۱/۸۳ ^d
	۰	۴۸/۳۳ ^h	۱۷۶/۰۳ ^c	۱۱۲/۴۷ ^c	۶۸/۵۸ ^c	۱/۲۵ ^f	۰/۸۹ ^g
FC%۵۰	۱۰	۵۴/۹۱ ^g	۱۸۸/۵۴ ^b	۱۲۱/۹۸ ^b	۷۷/۵۷ ^b	۱/۸۷ ^f	۰/۹۵ ^g
	۱۰۰	۵۹/۷۹ ^f	۱۹۶/۴۵ ^a	۱۳۷/۶۶ ^a	۸۲/۴۹ ^a	۲/۶۵ ^e	۱/۰۰ ^f

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با آزمون دانکن می باشد

جدول ۶- مقایسات میانگین ترکیبات تیماری تنش خشکی و تیمار متیل جاسمونات برای برخی صفات بیوشیمیایی میوه فیسالیس

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با آزمون دانکن می باشد

همبستگی مثبتی بین فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی-اکسیدانی مشاهده شد (بسون و همکاران ۲۰۱۸). کاربرد

تنش‌های محیطی مختلف از جمله کم آبی و شوری، به عنوان تنش‌های اکسایشی منجر به تولید گونه‌های

کارتونوئید میوه (mg /100 g FW)	فعالیت آنتی اکسیدانی میوه (DPPH%)	فلاونوئید کل میوه (mg QU/100 g FW)	فنل کل میوه (mg GAL/100 g FW)	متیل جاسمونات (μ M)	تنش خشکی
۲۲۹/۴۸ ^f	۳۰/۱۰ ^h	۳۴/۴۳ ^g	۶۲/۲۳ ^g	۰	
۲۴۱/۷۴ ^{ef}	۴۱/۱۵ ^g	۳۴/۰۲ ^g	۶۸/۴۴ ^g	۱۰	%۱۰۰FC
۲۴۸/۵۶ ^{ef}	۵۵/۶۹ ^{ef}	۴۲/۷۴ ^f	۶۴/۱۳ ^g	۱۰۰	
۲۵۳/۵۸ ^{ef}	۵۱/۳۲ ^f	۵۵/۷۷ ^{de}	۷۹/۴۴ ^f	۰	
۲۴۷/۴۱ ^e	۶۱/۰۸ ^e	۵۰/۸۸ ^{ef}	۹۷/۲۳ ^e	۱۰	%۷۵FC
۳۳۲/۸۲ ^d	۶۸/۴۰ ^c	۶۰/۱۳ ^{cd}	۱۰۵/۳۰ ^d	۱۰۰	
۳۷۰/۹۹ ^c	۶۸/۳۰ ^c	۶۶/۴۳ ^c	۱۳۷/۴۴ ^c	۰	
۴۳۶/۲۱ ^b	۸۱/۵۳ ^b	۸۶/۸۸ ^b	۱۶۲/۸۷ ^a	۱۰	%۵۰FC
۴۹۸/۷۵ ^a	۸۸/۴۶ ^a	۱۱۲/۵۲ ^a	۱۵۹/۳۴ ^a	۱۰۰	

متیل جاسمونات در میوه‌های سیب فوجی نیز باعث افزایش قابل توجهی در فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه نسبت به میوه‌های گروه شاهد شد (اوزتورک و همکاران ۲۰۱۵).

کلروفیل a و b، کارتونوئید و بتاکارتن

نتایج نشان داد که اثرات متقابل محلول‌پاشی برگ‌های متیل جاسمونات و تنش خشکی بر میزان کلروفیل a و کارتونوئید در سطح احتمال پنج درصد و بر میزان کلروفیل b و بتاکارتن برگ گیاه فیسالیس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). بنا به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵ و ۷) بیشترین میزان کلروفیل a و b، کارتونوئید و بتاکارتن برگ (به ترتیب ۹/۵۲، ۳/۳۶، ۷۸۴/۵۵ و ۰/۷۰ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) به نمونه‌های تحت تاثیر غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات و در شرایط بدون تنش تعلق داشت و کمترین میزان کلروفیل a و b، کارتونوئید و بتاکارتن برگ (به ترتیب با ۱/۲۵، ۰/۸۹، ۱۵۸/۹۱ و ۰/۱۵ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) در نمونه‌های تحت تیمار غلظت صفر میکرومولار متیل جاسمونات و در تشدید تنش آبی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید.

اکسیژن واکنشگر (ROS) در گیاه می‌شود، آنتی‌اکسیدان‌های گیاهان نیز ترکیباتی پیچیده می‌باشند که از واکنش رادیکال‌های آزاد جلوگیری نموده و از این طریق باعث حفظ سلامت سلول می‌گردند (شریفی فر و همکاران ۲۰۰۷). ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک در فعالیت آنزیم‌های دخیل در سرکوب رادیکال‌های آزاد، کلاته کردن فلزات انتقالی و غیرفعال کردن ردوکس‌ها نقش دارند به طوری که در شرایط تنش خشکی محتوی فنل همانند دیگر ترکیبات آنتی‌اکسیدان افزایش می‌یابد (ناکابایاشی و همکاران ۲۰۱۴).

جاسمونات‌ها به عنوان مولکول‌های سیگنالی باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز و در نتیجه باعث سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه به ویژه ترکیبات فنلی می‌شود، با توجه به اینکه متیل جاسمونات در کد کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دخیل است، با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و قدرت حذف رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد (بورجو و همکاران ۲۰۱۲). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، در گیاه دارویی آویشن، با افزایش تنش خشکی، درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت (بورجو و همکاران ۲۰۱۲). همچنین در گیاه *Phyllanthus pulcher* کاربرد متیل جاسمونات سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید و

جدول ۷- مقایسات میانگین اثر غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات و تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها بر محتوای کارتونوئید،

بتاکارتن، میزان قند محلول، پرولین و مالون دی آلدئید برگ گیاه فیسالیس

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با آزمون دانکن می باشد

تنش خشکی	متیل جاسمونات (μm)	کارتونوئید (mg /100 g FW)	بتاکارتن (mg /100 g FW)	کربوهیدرات محلول (mg / g FW)	پرولین (mg / g FW)	مالون دی آلدئید (μmol / g FW)
	۰	۵۵۸/۷۹ ^c	۰/۴۸ ^c	۲۸/۳۴ ^h	۲/۰۷ ^g	۴/۷۴ ^f
%۱۰۰FC	۱۰	۶۴۲/۴۸ ^b	۰/۵۷ ^b	۲۸/۱۹ ^g	۲/۶۸ ^g	۳/۵۹ ^g
	۱۰۰	۷۸۴/۵۵ ^a	۰/۷۰ ^a	۴۲/۵۵ ^f	۳/۸۱ ^f	۲/۵۸ ^h
	۰	۲۹۱/۰۹ ^e	۰/۲۴ ^f	۴۷/۲۵ ^e	۴/۴۱ ^f	۷/۵۳ ^d
%۷۵ FC	۱۰	۳۳۸/۳۰ ^e	۰/۳۰ ^e	۴۹/۰۲ ^e	۵/۴۷ ^e	۶/۵۸ ^e
	۱۰۰	۴۵۳/۴۷ ^d	۰/۳۸ ^d	۵۴/۸۰ ^d	۶/۵۶ ^d	۵/۹۷ ^e
	۰	۱۵۸/۹۱ ^f	۰/۱۵ ^g	۶۵/۶۰ ^c	۷/۳۰ ^c	۱۴/۱۱ ^a
%۵۰FC	۱۰	۱۷۷/۸۱ ^f	۰/۲۰ ^{fg}	۷۲/۴۹ ^b	۹/۴۷ ^b	۹/۹۸ ^b
	۱۰۰	۲۱۳/۷۱ ^f	۰/۱۷ ^g	۸۰/۹۶ ^a	۱۲/۵۹ ^a	۸/۶۹ ^c

می‌کنند اما نقش مهم‌تر آن‌ها آنتی‌اکسیدانی است. جاسمونات‌ها نقش محافظت از RNA و DNA، کنترل سنتز پروتئین و عمل آنزیم‌ها و خواص بافری را دارند و از تخریب کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌های گیاه جلوگیری می‌کند. متیل جاسمونات باعث افزایش سنتز هورمون‌های گیاهی، آنزیم‌ها و افزایش فرآیند فتوسنتز، تجمع رنگیزه‌هایی نظیر کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها در گیاه می‌شود (زاهدی و همکاران ۲۰۱۹).

کاروتنوئیدها به منظور حفاظت نوری از فتوسنتز ضروری‌اند و به عنوان پیشگام سیستم انتقال پیام طی مراحل توسعه گیاهی تحت تنش‌های زنده و غیر زنده نقش مهمی را ایفاء می‌کنند. نقش کاروتنوئیدها در جاروب گونه‌های اکسیژن فعال بخوبی مورد مطالعه قرار گرفته است (فراسر و براملی ۲۰۰۴). تخریب بتاکاروتن می‌تواند با افزایش تولید اکسیژن یکتایی در تیلاکوئیدها ارتباط داشته باشد بنابراین گرچه در این تحقیق تفکیکی بین انواع مختلف کاروتنوئیدها انجام نشده است، اما با توجه به آنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت که کاهش میزان کل کاروتنوئیدها به عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی مهم در مقابله با تنش اکسیداتیو، می‌تواند نشان دهنده تخریب بیشتر این دسته از رنگیزه‌های گیاهی در شدت‌های بالای تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی در برگ باشد. از طرفی فعالیت‌های فتواکسیداتیو درون کلروپلاست در شدت بالای تنش خشکی می‌تواند منجر به آسیب به غشاهای کلروپلاست و در نتیجه

طبق نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) میزان کارتوتنوئید میوه بر خلاف برگ به طور معنی داری با افزایش شدت تنش افزایش یافت. تیمار متیل جاسمونات نیز به طور معنی داری باعث بهبود میزان کارتوتنوئید میوه فیسالیس گردید به طوری که بالاترین مقدار کارتوتنوئید در تنش ۵۰ درصد و تیمار متیل جاسمونات ۱۰۰ میکرومولار مشاهده شد.

اثر تنش خشکی نه تنها مانع ساخته شدن کلروفیل می‌شود بلکه به نظر می‌رسد که موجب تحریک فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و باعث تخریب کلروفیل می‌شود. خشکی باعث شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد. در اثر خشکی تشکیل پلاستیدهای جدید کلروفیل a و b و کاروتن کاهش یافته و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b تغییر می‌یابد. در شرایط کمبود آب غلظت اسید آمینه پرولین افزایش می‌یابد و از آنجایی که کلروفیل و پرولین هر دو از پیش ماده مشترکی به نام گلوتامات سنتز می‌شوند، بنابراین می‌توان گفت افزایش سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش سنتز کلروفیل می‌گردد (پیر جلیلی و امیدی ۲۰۱۷).

احتمالا کاهش میزان کلروفیل a و b در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن نیز باشد که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تخریب این رنگیزه می‌گردد (قوپتا و همکاران ۲۰۲۰ و کپور و همکاران ۲۰۲۰). کاروتنوئیدها تتراترپن‌هایی هستند که در کلروپلاست‌ها به عنوان رنگیزه کمکی عمل

تخریب رنگیزه‌های مستقر بر روی این غشاءها شود (کنان و کولاندیولو ۲۰۱۱). جاسمونات‌ها تأثیر مثبتی بر جلوگیری از آسیب‌های تنش خشکی روی کلروفیل دارند. نشان داده شده است که متیل جاسمونات از طریق فعال کردن آنزیم روبیسکو کربوکسیلاز باعث افزایش میزان فتوسنتز می‌گردد همچنین این هورمون‌ها با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه کاهش خسارت اکسایشی ناشی از گونه‌های اکسیژن واکنشگر، به صورت غیرمستقیم باعث حفظ محتوی کلروفیل گیاهان تحت تنش‌های مختلف زیستی می‌شوند جاسمونیک اسید و متیل جاسمونات با تشکیل آمینولولینیک اسید سبب بیان ژن‌های آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز کلروفیل می‌شوند و از این طریق میزان کلروفیل را افزایش می‌دهند (دلفانی و همکاران ۲۰۲۱).

قند های محلول

طبق نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس، اثرات ساده و اثرات متقابل محلول‌پاشی برگ متیل جاسمونات و تنش خشکی بر میزان قند محلول برگ گیاه فیسالیس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷) میزان قند محلول برگ گیاه فیسالیس در نمونه‌های مختلف مورد ارزیابی در محدوده بین ۲۸/۳۴ و ۸۰/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر قرار داشت. بیشترین میزان قند محلول برگ گیاه فیسالیس مربوط به نمونه‌های تحت تیمار غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات در تشدید تنش آبیاری با ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بود و کمترین آن در نمونه‌های حاوی غلظت صفر میکرومولار متیل جاسمونات در تیمار بدون تنش آبیاری با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید.

تنظیم اسمزی به عنوان جزئی مهم از مکانیزم‌های تحمل به خشکی در گیاهان مطرح است. گیاهان در شرایط متفاوت محیطی، مواد محلول با وزن مولکولی کم که به طور کلی مواد محلول سازگار نامیده می‌شوند را سنتز می‌نمایند. تنظیم اسمزی با هدف حفظ تورژسانس سلولی، تداوم جذب از محیط ریشه و پایداری غشاها انجام می‌گیرد، تنش خشکی متابولیسم کربوهیدرات‌های

محلول را به عنوان ترکیباتی اسمولیت با خاصیت آنتی-اکسیدانی بالا، تحت تأثیر قرار می‌دهد (اسدی و همکاران ۲۰۱۹). یکی از اسمولیت‌های سازگار، قندهای محلول می‌باشد که در شرایط خشکی تجمع یافته و به عنوان عوامل حفاظتی در گیاهان عمل می‌کنند. در شرایط تنش، قندها از سلول‌ها از طریق تنظیم اسمزی و نگهداری تورژسانس و همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌ها محافظت می‌کنند (داو و همکاران ۱۹۸۴). در برخی از منابع گزارش شده است که در اثر تنش خشکی میزان نشاسته کاهش ولی قندهای محلول افزایش می‌یابد. افزایش قندهای محلول در سلول‌های گیاهی سبب کاهش پتانسیل اسمزی و متعاقباً پتانسیل آبی شده و جذب آب به درون سلول‌ها را آسان می‌نماید (فاروق و همکاران ۲۰۰۹). در پژوهشی مقدار قند محلول تحت شرایط تنش خشکی ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی در گیاه مرزنجوش افزایش یافت و کاربرد جاسمونات باعث سنتز اتیلن شده و کربوهیدرات‌های ذخیره شده در گیاه تجزیه و میزان قند محلول برگ را افزایش داد (فارسی و همکاران ۲۰۲۰). به طور کلی افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها تحت تنش خشکی را می‌توان به واسطه ی تخریب نشاسته به قندهای محلول نظیر ساکارز، کاهش انتقال ساکارز از برگ‌ها به خارج، توقف رشد در شرایط تنش و سنتز قندهای محلول از مسیرهای غیر فتوسنتزی دانست (اسدی و همکاران ۲۰۱۹).

پرولین

اثرات متقابل محلول‌پاشی برگ متیل جاسمونات و تنش خشکی بر میزان پرولین برگ گیاه فیسالیس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). طبق نتایج مقایسات میانگین بیشترین میزان پرولین برگ گیاه فیسالیس (۱۲/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در نمونه‌های تحت تیمار غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات با تشدید تنش آبیاری با ظرفیت زراعی ۵۰ درصد مشاهده گردید و کمترین میزان پرولین برگ گیاه فیسالیس (۲/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار غلظت صفر میکرومولار متیل جاسمونات و تیمار بدون تنش آبیاری با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت شد (جدول ۵). با توجه

خشکی نیز گزارش شده است (اسدی و همکاران ۲۰۱۹). در شرایط کمبود آب اغلب بیوسنتز پرولین از گلوتامیک اسید در سیتوزول و کلروپلاست سلول های گیاهی اتفاق می افتد، بنابراین پرولین در سیتوزول تجمع یافته تا توزیع آب به درون سلول انجام شود، ممکن است متیل جاسمونات در تنش ها نظیر تنش خشکی با القای آنزیم های سنتزکننده پرولین موجب افزایش پرولین در بافت گیاه گردد (امینی و همکاران ۲۰۱۵).

مالون دی آلدهید

اثرات متقابل محلول پاشی برگ متیل جاسمونات و تنش خشکی بر میزان مالون دی آلدهید برگ گیاه فیسالیس در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). طبق نتایج مقایسات میانگین، بیشترین میزان مالون دی آلدهید برگ گیاه فیسالیس (۱۴/۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر) در نمونه های تحت تاثیر غلظت صفر میکرومولار متیل جاسمونات با تشدید تنش آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید و کمترین میزان مالون دی آلدهید برگ گیاه فیسالیس (۲/۵۸ میکرومول بر گرم وزن تر) در تیمار غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات و تیمار بدون تنش آبیاری با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت شد (جدول ۵).

افزایش غلظت مالون دی آلدهید تحت شرایط تنشی مختلف نشان می دهد که تنش خشکی می تواند منجر به القای پراکسیداسیون غشاء به وسیله گونه های اکسیژن آزاد شود (پریور و استنلی ۱۹۷۵). البته کاهش غلظت مالون دی آلدهید پس از یک دوره افزایش را شاید بتوان به تأثیر سیستم آنتی اکسیدانی آنزیمی گیاه بر کاهش اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو نسبت داد. به عبارت دیگر در هر سطحی از تنش خشکی که سیستم آنتی اکسیدانی آنزیمی گیاه فعالیت بالاتری داشته و موفق تر عمل کرده است، میزان مالون دی آلدهید و در نتیجه خسارت سلولی نیز پایین تر بوده و ارتباط بین فعالیت سیستم آنتی-اکسیدان آنزیمی گیاه و خسارت سلولی اغلب خود را به صورت افزایش میزان پراکسیداسیون غشاء سلولی نشان می دهد و در نتیجه تولید مالون دی آلدهید افزایش نشان می دهد (نورسته نیا و یوسفزاده ۲۰۱۷).

به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر مشخص شد که با افزایش تنش آبی و تیمار متیل جاسمونات میزان تجمع پرولین به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۷).

گونه های مختلف گیاهی دامنه وسیعی از مکانیسم های مقاومت به خشکی را نشان می دهند که منجر به ایجاد سازگاری های فیزیولوژی و بیوشیمیایی می گردد و یکی از مهم ترین مکانیسم های سازگاری گیاهان به شرایط کم آبی پدیده تنظیم اسمزی است، تحمل به تنش خشکی می تواند نتیجه تولید و یا تجمع محلول های اسمزی سازگار باشد (عباسی کاشیانی و همکاران ۲۰۱۵). افزایش قندهای محلول و پرولین همراه با افزایش تنش، اهمیت آن ها را در تنظیم اسمزی و تحمل به تنش آبی نشان می دهند. تجمع پرولین در شرایط تنش ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم های درگیر در سنتز پرولین و جلوگیری از فعالیت آنزیم پرولین اکسیداز باشد (مانی و انان و همکاران ۲۰۰۷). تجمع پرولین باعث می شود گیاه طی دوره کوتاهی بعد از تنش، زنده مانده و پس از رفع تنش، رشد خود را بازیابد، بنابراین اثر مثبتی بر عملکرد دارد. در شرایط تنش خشکی، افزایش هورمون های اسید جاسمونیک و اسید آبسزیک در بافت های گیاه مانع از رشد طولی ریشه شده و از این طریق ممکن است تولید ریشه های فرعی را تحریک نمایند. همچنین تاثیر مثبت کاربرد اسید جاسمونیک در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل اثر بر هدایت روزنه ای و تحریک بسته شدن روزنه ها و یا افزایش قندهای محلول و بدنبال آن کاهش پتانسیل آب در گیاه باشد (عباسی کاشیانی و همکاران ۲۰۱۵). تجمع پرولین به عنوان یک اسمولیت در شرایط تنش خشکی، سبب کاهش پتانسیل آب، حفظ و جذب آب به درون سلول و در نتیجه حفظ تورژسانس و رشد گیاه، پایداری شکل طبیعی پروتئین ها، آنزیم ها، غشاء ها و ساختارهای درون سلولی می شود. علاوه بر این پرولین در مهار رادیکال های آزاد و جلوگیری از اثرات تخریبی گونه های واکنشگر اکسیژن در سلول نیز نقش دارد (وربروگن و هرمانس ۲۰۰۸). متیل جاسمونات با مکانیسم های مختلفی موجب افزایش غلظت پرولین در گیاه می شود. تأثیر مثبت متیل جاسمونات بر افزایش غلظت پرولین در گیاهان سویا و جو در شرایط تنش

نتیجه گیری کلی

در تحقیق حاضر مشخص شد که تنش خشکی باعث کاهش میزان وزن تر و خشک برگ، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a و b کاروتنوئید و بتاکارتن برگ گیاه فیسالیس گردید در حالی که میزان فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ و میوه، قند محلول، پرولین و مالون دی‌آلدهید برگ در شرایط تنش خشکی افزایش یافتند. با توجه به اینکه ارتباط مستقیم و محکمی بین محتوای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد، می‌توان بیان داشت که ترکیبات فنلی به عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌توانند از فعالیت رادیکال‌های آزاد جلوگیری و باعث افزایش پایداری غشاء و ترکیبات داخل سلول شوند. در پژوهش حاضر محلول-پاشی متیل جاسمونات به طور چشمگیری توانست با حفظ بهتر وضعیت آبی برگ از جمله محتوای نسبی آب برگ، حفظ کلروفیل در حد مطلوب، حفظ بهتر پایداری غشا (کاهش مالون دی‌آلدهید)، افزایش میزان محلول‌های سازگار (قند محلول و پرولین) و همچنین افزایش میزان فنل و فلاونوئید کل و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه فیسالیس، اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد. با توجه به اینکه اندازه میوه و بهبود ارزش تغذیه‌ای و آنتی‌اکسیدانی از شاخص‌های مهم تاثیر گذار در خصوصیات کیفی میوه فیسالیس محسوب می‌شوند، محلول‌پاشی برگی متیل جاسمونات به خصوص در غلظت ۱۰۰ میکرومولار باعث بهبود خصوصیات فیتوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و وزن میوه گردید. این موضوع می‌تواند در تولید تجاری مواد موثره از میوه و برگ فیسالیس و افزایش خصوصیات کمی و کیفی میوه توسط تولید کنندگان مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه ارومیه به جهت استفاده از گلخانه‌های تحقیقاتی دانشگاه و جناب آقای دکتر ابوالفضل علیرضالو و جناب آقای دکتر پرویز نوروزی اعضای هیات علمی گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه که در انجام این پژوهش نهایت همکاری را داشتند، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

پایداری غشاء سلولی تحت شرایط تنش، به وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن ارزیابی می‌شود (کپور و همکاران ۲۰۲۰). نشان داده شده است که پایداری غشاء سلولی در تنش‌ها با سنتز پروتئین‌های شوک گرمایی و ویژگی‌های سیستم فتوسنتزی، از جمله آنزیم‌های کلیدی و غشاء‌های تیالکوئیدی مرتبط است (کمین و همکاران ۲۰۰۸). افزایش شدت و مدت زمان تنش خشکی باعث اختلال شدیدتر در فعالیت‌های بیولوژیک غشاء سلولی، کاهش سیالیت آن و غیر فعال‌سازی یا کاهش سرعت پمپ شدن یون‌های غشائی و در نتیجه افزایش نشت یون-ها می‌گردد (جیانگ و هانگ ۲۰۰۱). تنش خشکی باعث تغییر در فسفولیپیدهای غشاء و افزایش اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود. در تنش‌های شدید بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دو انتهای غشاء، حالت هگزگونال (شش وجهی) پیدا کرده و ساختار غشاء به ساختار منفذدار با مقاومت کم تبدیل و محتویات سلول به بیرون ریخته می‌شود در این شرایط مقدار ماده تری‌هالوز که وظیفه استحکام غشای سلولی را دارد، کاهش می‌یابد. بنابراین تنش خشکی باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نهایت کاهش شاخص پایداری غشای سلول در گیاهان مختلف می‌شود (قوپتا و همکاران ۲۰۲۰). محتوی مالون دی‌آلدهید شاخصی از میزان خسارت تنش اکسیداتیو است. تخریب غشاهای سلول یکی از پیامدهای مستقیم کمبود آب است. به عبارت دیگر بین میزان مالون دی‌آلدهید و شدت تنش خشکی رابطه مستقیمی وجود دارد. در بررسی صورت گرفته توسط خادیمان و همکاران (۲۰۱۹) مشخص شد که جاسمونات-ها از افزایش میزان مالون دی‌آلدهید در برگ گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی جلوگیری نمود. جاسمونات‌ها با بالا نگه داشتن سطح فعالیت آنتی‌اکسیداتیوی سلول مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مانع اثر ROS‌ها حاصل از تنش خشکی بر غشاء سلولی گیاه توت فرنگی شده و در نتیجه از پراکسیده شدن لیپیدهای غشاء و نشت یونی جلوگیری می‌کنند (دلفانی و همکاران ۲۰۲۱) که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- Abbasi Kashani A, Shamshiri M, Karimi H and Ismailizadeh M, 2015. The effect of jasmonic acid treatment and different levels of drought on some vegetative and physiological traits of pistachio seedlings. *Pistachio Science and Technology*, 1 (1): 1-13. (In Persian).
- Ai L, Li ZH, Xie ZX, Tian XL, Eneji AE and Duan LS, 2008. Coronatine alleviates polyethylene glycol-induced water stress in two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Journal Agronomy Crop Science*, 194: 360-368.
- Ahluwalia O, Singh PC, Bhatia R, 2021. A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*, 5: 1-13.
- Álvarez-Flórez F, López-Cristoffanini C, Jáuregui O, Melgarejo LM and López-Carbonell M, 2017. Changes in ABA, IAA and JA levels during calyx, fruit and leaves development in Cape gooseberry plants (*Physalis peruviana* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 115: 174-182.
- Amini S, Ghobadi C and Yamchi A, 2015. Proline accumulation and osmotic stress: an overview of P5CS gene in plants. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 3: 44-55.
- Ariza MT, Reboredo-Rodríguez P, Cervantes L, Soria C, Martínez-Ferri E, González- Barreiro C and Simal-Gándara J, 2018. Bio accessibility and potential bioavailability of phenolic compounds from achenes as a new target for strawberry breeding programs. *Food Chemistry*, 248: 155-165.
- Asghari M, 2019. Impact of jasmonates on safety, productivity and physiology of food crops. *Trends in Food Science and Technology*, 91: 169-183.
- Asadi W, Gholami M, Rasouli M and Maleki M, 2019. Effect of drought stress on some physiological traits in three varieties of grapes (*Vitis vinifera* L.). *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 9(3): 45-59. (In Persian).
- Asghari MR, Merrikhi M and Kavooosi B, 2019. Methyl jasmonate foliar spray substantially enhances the productivity, quality and phytochemical contents of pomegranate fruit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39: 1153-1161.
- Bajguz A and Hayat S, 2009. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47: 1-8.
- Bandurska H, Stroinski A and Kubis J, 2003. The effect of jasmonic acid on the accumulation of ABA, proline and spermidine and its influence on membrane injury under water deficit in two barley genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 25: 279-285.
- Besson JCF, Carvalho Picoli C, Matioli G and Natali MRM, 2018. Methyl jasmonate: a phytohormone with potential for the treatment of inflammatory bowel diseases. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 70(2): 178-190.
- Blokhina O, Virolainen E and Fagerstedt KV, 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a Review. *Annals of Botany*, 91: 149-179.
- Bourgou S, Bettaieb I, Hamrouni I and Marzouk B, 2012. Effect of NaCl on fatty acids, phenolics and antioxidant activity of *Nigella sativa* organs. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34: 379-386.
- Delfani K, Asadi M, Golein B, Babakhani B and Razeghi Jadid R, 2021. Study of the physiological changes of Thomson Navel orange in response to foliar application of jasmonic acid under drought stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 9(3): 45-59.
- Demin IN, Deryabin AN, Sinkevich MS and Trunova TI, 2008. Insertion of cyanobacterial desA gene coding for $\Delta 12$ -acyl-lipid desaturase increases potato plant resistance to oxidative stress induced by hypothermia. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55: 710-720.
- Dow EW, Daynard TB, Muldoon JF, Major DJ and Thutell GW, 1984. Resistance to drought and density stress in Canadian and European maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Canadian Journal of Plant Science*, 64: 575-585.

- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujrita P and Basra SA, 2009. Drought stress effects mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 195-212.
- Fraser PD and Bramley PM, 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research*, 43: 228-265.
- Farsi M, Abdollahi F, Salehi A and Ghasemi S, 2020. Effect of methyl jasmonate on growth and essential oil content of marjoram (*Origanum majorana* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(3): 674-688. (In Persian).
- Ghaderi N, Nourmohammadi S and Javadi T, 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria ananassa*) to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17: 167-178.
- Gine-Bordonaba J and Terry LA, 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria ananassa*) fruit and leaves. *Scientia Horticulturae*, 199: 63-70.
- Gomi K, 2021. Jasmonic acid pathway in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22: 1-3.
- Gupta A, Rico-Medina A and Cano-Delgado AI, 2020. The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368: 266-269.
- Hasanlu T, Shahbazi M, Ghaffari A and Yousefi A, 2012. Investigation of the effects of drought stress and jasmonate on growth and some physiological parameters of selected barley genotypes. *Iran Agricultural Biotechnology Research Institute*, 33(8): 250-263.
- Helvacı S, Kokdil G, Kawai M, Duran N, Duran G and Guvenç A, 2010. Antimicrobial activity of the extracts and physalin D from *Physalis alkekengi* and evaluation of antioxidant potential of physalin D. *Pharmaceutical Biology*, 48: 142-150.
- Irigoyen J, Einerich DW and Sánchez-Díaz M, 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1): 55-60.
- İzli N, Yıldız G, Ünal H, Işık E and Uylaşer V, 2014. Effect of different drying methods on drying characteristics, color, total phenolic content and antioxidant capacity of G oldenberry (*Physalis peruviana* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 49(1): 9-17.
- Jiang Y and Huang N, 2001. Drought and Heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41:436-442.
- Kannan ND and Kulandaivelu G, 2011. Drought induced changes in physiological, biochemical and phytochemical properties of *Withania somnifera* Dun. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5: 3929-3935.
- Kapoor D, Bhardwaj S, Landi M, Sharma A, Ramakrishnan M and Sharma A, 2020. The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10: 56-92.
- Khademian R, Ghorbani B and Asghari M, 2019. Effect of jasmonic acid on physiological and phytochemical attributes and antioxidant enzymes activity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficient. *Journal of Medicinal Plants*, 18(72): 122-134.
- Mahmood M, Bidabadi S, Ghobadi C and Gray DJ, 2012. Effect of methyl jasmonate treatments on alleviation of polyethylene glycol-mediated water stress in banana (*Musa acuminata* cv. 'Berangan', AAA) shoot tip cultures. *Plant Growth Regulation*, 68(2): 161-169.
- Malekpoor F, Salimi A and Pirbalouti AG, 2016. Effect of jasmonic acid on total phenolic content and antioxidant activity of extract from the green and purple landraces of sweet basil. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 73: 1229-1234.

- Manivannan P, Jaleel CA, Sankar B, Kishorekumar A, Somasundaram R, Lakshmanan GA and Panneerselvam R, 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59(2): 141-149.
- Martínez-Esplá A, Zapata PJ, Castillo S, Guillén F, Martínez-Romero D, Valero D and Serrano M, 2014. Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 1. Improvement of fruit growth and quality attributes at harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 98: 98-105.
- Merikhi M, Asghari MR and Kavooosi B, 2019. Effect of Methyl Jasmonate foliar application on some qualitative attributes and phytochemical contents of 'Rabab' pomegranate fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 20(1): 11-20. (In Persian).
- McCarthy G, 2013. Federal register rules and regulations, Washington D.C. Federal Register, 78(74): 22789-22794.
- Miranshahi B and Sayyari M, 2016. Methyl jasmonate mitigates drought stress injuries and affects essential oil of summer savory. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18: 1635-1645.
- Mittler R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, 11: 15–19.
- Moghaddam M and Talebi M, 2016. The effects of salinity and methyl jasmonate on morphological and biochemical characteristics and photosynthetic pigments content in two basil cultivars. *Seed and Plant Production Journal*, 32(1): 46-69. (In Persian).
- Nakabayashi R, Yonekura-Sakakibara K, Urano K, Suzuki M, Yamada Y, Nishizawa T and Michael AJ, 2014. Enhancement of oxidative and drought tolerance in *Arabidopsis* by over accumulation of antioxidant flavonoids. *The Plant Journal*, 77(3): 367-379.
- Nakajima JI, Tanaka I, Seo S, Yamazaki M and Saito K, 2004. LC/PDA/ESI-MS profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *Biomed Research International*, (5): 241-247.
- Namjoyan F, Jahangiri A, Azemi ME, Arkian E and Mousavi H, 2015. Inhibitory effects of *Physalis alkekengi* L., *Alcea rosea* L., *Bunium persicum* B. Fedtsch and *Marrubium vulgare* L. on mushroom tyrosinase. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 10: 1-6.
- Norastehnia A and Yousefzadeh G, 2017. Improving the growth of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seedling by methyl jasmonate under drought stress. *Nova Biologica Reperta*, 3(4): 308-318.
- Ozturk B, Yildiz K and Kucuker E, 2015. Effect of preharvest methyl jasmonate treatments on ethylene production, water soluble phenolic compounds and fruit quality of Japanese plums. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 95(3): 583-591.
- Paquin R and Lechasseur P, 1979. Observations sur une method de dosage de la proline libre dans les extraits de plants. *Canadian Journal of Botany*, 57: 1851-1854.
- Passioura J, 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 58: 113–117.
- Pirjalili F and Omidi 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 Research*, 33(1): 25-38. (In Persian).
- Popham PL and Novacky A, 1991. Use of dimethyl sulfoxide to detect hydroxyl radical during bacteria-induced hypersensitive reaction. *Plant Physiology*, 96: 1157-1160.
- Ramadan MF, 2011. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International*, 44(7): 1830-1836.
- Pryor WA and Stanley JP, 1975. A suggested mechanism for the production of malonaldehyde during the antioxidation of polyunsaturated fatty acids, nonenzymatic production of prostaglandin endo peroxides during autoxidation. *Organelles*, 40(24): 3615-3617.

- Salami F and Hajiloo J, 2018. Effect of pre-harvest application of methyl jasmonate on qualitative characteristics and storage life of plum. *Journal of Food Research*, 28(1): 93-104.
- Shameh S, Alirezalu A, Hosseini B and Maleki R, 2019. Fruit phytochemical composition and color parameters of 21 accessions of five *Rosa* species grown in North West Iran. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13): 5740-5751.
- Shan C and Liang Z, 2010. Jasmonic acid regulates ascorbate and glutathione metabolism in *Agropyron cristatum* leaves under water stress. *Plant Science*, 178: 130– 39.
- Shin SW, Ghimeray AK and Park CH, 2014. Investigation of total phenolic, total flavonoid, antioxidant and allyl isothiocyanate content in the different organs of wasabi japonica grown in an organic system. *African Journal of Traditional Complementary Alternative Medicine*, 3(11): 38-45.
- Shrififar F, Moshafi MH and Mansouri SH, 2007. In vitro evolution of antibacterial and antioxidant of the essential oil and methanol extract of endemic *Zataria multiflora* Boiss. *Food Control*, 18: 800-805.
- Siddiqi KS and Husen A, 2019 Plant response to jasmonates: Current developments and their role in changing environment. *Bulletin of the National Research Centre*, 43: 153.
- Sirhindi G, Mushtaq R, Gill SS, Sharma P, Abd_Allah EF, Ahmad P. 2020. Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity and expression of photosystem II subunit genes in *Brassica oleracea* L. *Scientific Reports*, 10(1): 1-14.
- Vatankhah E, Kalantari B and Andalibi B, 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 Research*, 33(3): 449-465. (In Persian).
- Verbruggen N and Hermans C, 2008. Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35(4): 753-759.
- Wang J, Ye J, Vanga SK and Raghavan V, 2019. Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. *Food Control*, 96: 128-136.
- Yamasaki S and Dillenburg LC, 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira De Fisiologia Vegetal*, 11: 69-75.
- Zahedi SM, Hosseini MS and Moharrami F, 2019. The Effect of methyl Jasmonate on some physiological and biochemical characteristics of strawberry (*Fragaria × ananassa* cv. Paros) under drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8(33): 249-262.