



## Impact of Foliar Application of Salicylic Acid and Jasmonic Acid on Biochemical and Agronomic Properties of *Thymus vulgaris* L. under Drought Stress

Mohamad Nasri<sup>1</sup>✉ | Zahra Karimi<sup>2</sup> | Meysam Oveysi<sup>3</sup> | Pourang Kasraie<sup>4</sup>  | Hamidreza Larijani<sup>5</sup>

1. Corresponding Author, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Varamin, Tehran, Iran. E-mail: [dr.nasri@iauvaramin.ac.ir](mailto:dr.nasri@iauvaramin.ac.ir)
2. Department of Agronomy, Islamic Azad University, Varamin, Tehran, Iran. E-mail: [meysam.oveisi@yahoo.com](mailto:meysam.oveisi@yahoo.com)
3. Department of Agronomy, Islamic Azad University, Varamin, Tehran, Iran. E-mail: [meysam.oveisi@yahoo.com](mailto:meysam.oveisi@yahoo.com)
4. Department of Agronomy, Islamic Azad University, Varamin, Tehran, Iran. E-mail: [drkasraie@yahoo.com](mailto:drkasraie@yahoo.com)
5. Department of Agronomy, Islamic Azad University, Varamin, Tehran, Iran. E-mail: [larijani2004@gmail.com](mailto:larijani2004@gmail.com)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received:

Received in revised form:

Accepted:

Published online:

17 December 2022

#### Keywords:

Catalase (CAT),  
essential oil,  
glutathione peroxidase (GPX),  
superoxide dismutase (SOD),  
thymol.

### ABSTRACT

To investigate the effect of different levels of foliar applications of salicylic acid and jasmonic acid on biochemical characteristics and yield of *Thymus vulgaris* under drought stress conditions, a split factorial experiment has been performed based on randomized complete design with three replications during cropping seasons of 2019-2020 in Varamin region. The main factor include irrigation levels (60 (normal) and 110 mm of evaporation from the evaporation pan (drought stress)), with the sub factors being different levels of foliar application of salicylic acid (three level: control (zero), 25, and 50 mg l<sup>-1</sup>) and jasmonic acid (three level: control (zero), one, and two mg l<sup>-1</sup>). The effect of irrigation × foliar application treatments has been significant for all studied traits at 1%. The highest plant height (38.2 cm), wet and dry weights (7112.3 and 1778.7 kg h<sup>-1</sup>), percentage of secondary metabolites (essential oil 0.28 and thymol 60.9%), and concentrations of salicylic and jasmonic acid of leaves and the lowest activity of antioxidant enzymes (SOD, CAT and GPX) of thyme are observed in normal irrigation with 50 and 2 mg<sup>-1</sup> salicylic and jasmonic acid treatment. Thus, external use of salicylic and jasmonic acid (50 and 2 mg<sup>-1</sup>) in drought stress conditions can be considered in improving related traits of yield and increasing the production of thyme.

**Cite this article:** Nasri, M., Karimi, Z., Oveysi, M., Kasraie, P., & Larijani, H. R. (2022). Impact of Foliar Application of Salicylic Acid and Jasmonic Acid on Biochemical and Agronomic Properties of *Thymus vulgaris* L. under Drought Stress. under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 24 (4), 1359-1372.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2022.329510.2605>





## اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و زراعی آویشن (*Thymus vulgaris* L.) در شرایط تنش خشکی

محمد نصری<sup>۱</sup> | زهرا کریمی<sup>۲</sup> | میثم اویسی<sup>۳</sup> | پورنگ کسرائی<sup>۴</sup> | حمیدرضا لاریجانی<sup>۵</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، تهران، ایران. رایانامه: [dr.nasri@iauvaramin.ac.ir](mailto:dr.nasri@iauvaramin.ac.ir)

۲. گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، تهران، ایران. رایانامه: [navid.sorayya@yahoo.com](mailto:navid.sorayya@yahoo.com)

۳. گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، تهران، ایران. رایانامه: [meysam.oveisi@yahoo.com](mailto:meysam.oveisi@yahoo.com)

۴. گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، تهران، ایران. رایانامه: [drkasraie@yahoo.com](mailto:drkasraie@yahoo.com)

۵. گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، تهران، ایران. رایانامه: [larijani2004@gmail.com](mailto:larijani2004@gmail.com)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۴  
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۳  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

### کلیدواژه‌ها:

اسانس، تیمول، سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، گلوکاتایون پراکسیداز (GPX).

جهت بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی آویشن، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در منطقه ورامین اجرا شد. عامل اصلی، سطوح آبیاری [۶۰ (نرمال) و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش خشکی)] و فاکتورهای فرعی نیز محلول پاشی سطوح مختلف سالیسیلیک اسید [سه سطح شاهد (صفر)، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر] و جاسمونیک اسید [سه سطح شاهد (صفر)، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر] بود. برهم‌کنش سه گانه تنش خشکی × محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در تمام صفات مورد مطالعه در این پژوهش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین ارتفاع بوته (۲۸/۲ سانتی‌متر)، وزن‌های تر و خشک شاخساره (۷۱۱۲/۳ و ۱۷۷۸/۷ کیلوگرم در هکتار)، درصد متابولیت‌های ثانویه (اسانس ۰/۲۸ و تیمول ۶۰/۹ درصد) و غلظت سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید برگ و کم‌ترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی آویشن باغی در تیمار آبیاری معمول همراه با محلول پاشی ۵۰ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید مشاهده شد. محلول پاشی هم‌زمان سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در شرایط تنش خشکی، به ترتیب با کاهش ۷۰، ۸۵ و ۷۲ درصدی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسیداز دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتایون پراکسیداز نسبت به شاهد باعث شد که آسیمیلاسیون تولیدی صرف تولید ماده خشک شود. بنابراین استفاده خارجی ۵۰ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در شرایط تنش خشکی، در بهبود صفات مرتبط با عملکرد و افزایش تولید گیاه آویشن می‌تواند مدنظر باشد.

استناد: نصری، م.، کریمی، ز.، اویسی، م.، کسرائی، پ. و لاریجانی، ح. ر (۱۴۰۱). اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و زراعی آویشن (*Thymus vulgaris* L.) در شرایط تنش خشکی. به‌زراعی کشاورزی، ۲۴ (۴)، ۱۳۵۹-۱۳۷۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2022.329510.2605>



## ۱. مقدمه

آویشن (*Thymus vulgaris L.*) از مهم‌ترین گیاهان دارویی ایران است که به لحاظ کاربرد فراوان در صنایع دارویی و غذایی، جایگاه ویژه‌ای را در سطح تجارت بین‌الملل دارد (Jafarnia *et al.*, 2011). آویشن گیاهی خشبی، چندساله و از خانواده نعناعیان است که فرم‌های رویشی، زایشی و ترکیب‌های اسانس متفاوتی دارد (Alramamneh, 2009). اندام رویشی یا هوایی (برگ و گل) آویشن مصرف دارویی داشته و سرشاخه‌های آن حاوی اسانس، تانن، ساپونین و ضد عفونی‌کننده‌های گیاهی است (Yavari *et al.*, 2012). اسانس آویشن از جمله ۱۰ اسانس برتر است که دارای خواص ضدباکتریایی و قارچی، آنتی‌اکسیدانی، بادشکن، ضدکرم، خلط‌آور و نگهدارنده طبیعی غذا بوده و در صنایع غذایی، دارویی، بهداشتی و آرایشی استفاده متنوعی دارد. اسانس آویشن حاوی ۱۷ ترکیب فنلی، الکی، مونوترپن و غیره هستند که معمولاً عمده‌ترین ترکیب فنلی گونه‌های مختلف آویشن، تیمول و کارواکرول می‌باشد که به صورت گلوکوزید و لاکتوزید در اسانس وجود دارند (Alamdary *et al.*, 2012).

کمبود آب (تنش خشکی)، از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده رشدونمو بسیاری از گیاهان زراعی، باغی و دارویی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Bhatt & Roa, 2015) که با تأثیر بر فعالیت‌های فیزیولوژیک (تعرق، فتوسنتز، تقسیم سلولی و فعالیت‌های آنزیمی) عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد (Sabaghpour *et al.*, 2016). محققین اظهار داشتند که با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن خشک اندام هوایی، حجم، وزن و طول ریشه گیاه دارویی آویشن کاهش یافت (Letchamo *et al.*, 2015; Ghaderi *et al.*, 2017). زمانی که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، سبب غیرفعال‌سازی آنزیم‌های فتوسنتزی می‌شوند (Ferrarese *et al.*, 2003)، لذا سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی با کارایی بالا در گیاهان وجود دارد که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین ببرد (Guo *et al.*, 2018). این سیستم شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیداسیون از جمله کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون پراکسیداز می‌باشد (Shahid *et al.*, 2014). یکی از روش‌های ساده و ارزان جهت افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشدی هم‌چون سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید است (Daneshmand, 2009).

سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به‌عنوان مهیج، ایستور<sup>۱</sup> یا تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مطرح هستند که نقش حفاظتی و دفاعی در گیاه دارند (Kheiry & Sanikhani, 2014). سالیسیلیک اسید ترکیبی فنلی است که به‌وسیله سلول‌های ریشه در مقادیر کم تولید و به اشکال مختلف در سطح برگ و اطراف ریشه وجود دارد (Zhang *et al.*, 2017). سالیسیلیک اسید نقش آنتی‌اکسیدانی در گیاه داشته و کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید با افزایش تقسیم سلولی، تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک و حذف رادیکال‌های آزاد، باعث افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی خشکی و شوری می‌شود (Ma *et al.*, 2017; Pakar *et al.*, 2016). جاسمونیک اسید با تجمع کلروفیل، ممانعت از پیری و ریزش برگ‌ها، باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی و عملکرد بیولوژیک گیاه شده و به‌عنوان محرک‌هایی برای متابولیسم ثانویه در گونه‌های مختلف گیاهی در تنش خشکی شناخته شدند (Leon & Sanchez Serrano, 2014). پژوهش‌گران گزارش کردند که محلول پاشی هم‌زمان سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز) و محتوای نسبی برگ و توقف پراکسیداسیون لیپید، اثرهای منفی تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاهان را کاهش داده و تولید متابولیت‌های ثانویه را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهند (Mardani *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2012). بنابراین استفاده از ایستورهایی نظیر سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید جهت

افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی و تولیدات گیاهان دارویی می‌تواند مؤثر باشد. در این راستا، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید بر درصد متابولیت‌های ثانویه، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و برخی از صفات زراعی آویشن باغی در شرایط تنش خشکی انجام شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار در منطقه ورامین انجام شد. منطقه ورامین در ۴۰ کیلومتری جنوب‌شرقی استان تهران و در حاشیه غربی کویر مرکزی و در طول جغرافیایی ۵۱ درجه، ۴۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه در ارتفاع تقریبی ۱۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. اقلیم این منطقه خشک بوده و از ویژگی‌های این مناطق بارندگی کم، گرمای زیاد و دوره خشک طولانی می‌باشد. بالاترین میزان بارندگی در ایستگاه ورامین ۲۱۸ میلی‌متر می‌باشد.

عامل اصلی سطوح آبیاری بود که پس از ۶۰ (آبیاری معمول) و ۱۱۰ (تنش خشکی) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A اعمال شد. اولین آبیاری قبل از کاشت، دومین آبیاری به‌فاصله سه روز پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی در کرت‌هایی که دارای تیمار آبیاری بودند، براساس تبخیر از تشتک تبخیر صورت گرفت. مراحل اولیه رشد به تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی حساس هستند، لذا در مرحله جوانه‌زنی، آبیاری به اندازه کافی انجام شد تا آسیبی به گیاه وارد نشود. هم‌چنین معمولاً در مراحل اولیه رشد مشکل کمبود آب وجود ندارد، بنابراین پس از استقرار کامل گیاه تیمارهای آبیاری اعمال شد. آبیاری به‌صورت نشتی و با استفاده از لوله‌های سیفونی انجام شد. آبیاری هر کرت به‌صورت دستی و کنترل شده، با استفاده از لوله‌های انتقال آب به‌گونه‌ای انجام شد که آب موردنیاز، به‌طور یکنواخت در هر کرت توزیع شد. حجم آب موردنیاز در هر بار آبیاری برای هر کرت، بر پایه حجم آب مصرفی در واحد سطح، از راه آبیاری تحت فشار در شرایط مرسوم آبیاری در زراعت آویشن کوهی تعیین شد (Nazarli et al., 2017). این حجم آب، با توجه به زمان لازم برای رساندن رطوبت خاک در عمق گسترش گیاه به حد ظرفیت زراعی مزرعه، تعیین شد. به این ترتیب برای هر کرت، میزان ۵۹۶ لیتر آب در هر بار آبیاری محاسبه شد.

با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به تبخیر روزانه از ایستگاه هواشناسی و محاسبه تبخیر تجمعی، تیمارهای رطوبتی اعمال شدند. افزون بر تبخیر از تشتک تبخیر در تعیین تیمارهای رطوبتی، درصد رطوبت خاک در هر تیمار و پیش از هر بار آبیاری تیمارها اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بدین منظور، در هر بار و از هر تکرار، سه نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری (عمق گسترش ریشه)، تهیه شد و درصد رطوبت وزنی خاک محاسبه شد. عامل‌های فرعی نیز محلول‌پاشی سطوح مختلف سالیسیلیک‌اسید [سه سطح شاهد (صفر)، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر] و جاسمونیک‌اسید [سه سطح شاهد (صفر)، یک و دو میلی‌گرم بر لیتر] بودند (Kohanmoo et al., 2016). تیمارهای مذکور در دو مرحله [ساقه‌روی (۲۵ اردیبهشت‌ماه) و شروع گلدهی (۲۸ خردادماه)]، قبل از طلوع آفتاب بر روی اندام‌های هوایی گیاه آویشن باغی با استفاده از دستگاه سمپاش میکرونر SKN (مدل ۷۰۰۰، کشور ایران) محلول‌پاشی شدند.

جدول ۱. میانگین درصد رطوبت خاک قبل از هر بار آبیاری در رژیم‌های رطوبتی (میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A)

درصد رطوبت خاک	۶۰ (mm)	۱۱۰ (mm)
محتوای آب ثقلی	۱۱/۱	۷/۹
محتوای آب حجمی	۱۶/۸	۱۲/۰
ظرفیت زراعی (FC)	۵۲/۷	۳۷/۶

به منظور بررسی ویژگی خاک مزرعه آزمایشی بر پایه عمق نفوذ ریشه، از اعماق مختلف اقدام به نمونه برداری از چندین نقطه مزرعه شد. براساس نتیجه تجزیه، بافت خاک مزرعه‌های آزمایشی لوم رسی بود (جدول ۲). به منظور اجرای طرح، عملیات آماده‌سازی زمین در نیمه اول فروردین ماه صورت گرفت. بدین منظور پس از عملیات دیسک‌زنی جهت تسطیح خاک با استفاده از فارور اقدام به احداث جوی و پشته شد. هر واحد آزمایشی دارای شش خط کاشت به طول چهار متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود که با اعمال فاصله حدود ۱۵ سانتی‌متر روی ردیف، تراکم بوته در مترمربع ۱۳۰ عدد در نظر گرفته شد. براساس نتایج آزمون خاک قبل از کاشت حدود ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز کود فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل مصرف شد و در طول فصل رشد نیز متناسب با نیاز کودی، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مرحله اوایل ساقه‌دهی به صورت سرک مصرف شد. در هر دو منطقه عملیات کاشت بذرها در نیمه دوم فروردین ماه به صورت دستی انجام شد و پس از اتمام عملیات کاشت مزرعه آبیاری شد. لازم به ذکر است که جهت اطمینان از خلوص بذرها، بذر گیاه آویشن باغی از مرکز فروش بذر گیاهان دارویی استان شیراز تهیه شد. علف‌های هرز مزرعه نیز به صورت دستی وجین شد و مزارع عاری از هرگونه آفات و بیماری بودند، لذا هیچ کنترلی انجام نشد.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

عمق (cm)	کلسیم (mg kg <sup>-1</sup> )	آهن (mg kg <sup>-1</sup> )	سدیم (mg kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم (mg kg <sup>-1</sup> )	فسفر (mg kg <sup>-1</sup> )	هدایت الکتریکی (ds m <sup>-2</sup> )	نیترات (%)	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)	بافت لومی رسی
۰-۳۰	۵۷/۳	۲۴/۵	۱/۲	۷۰۰/۰	۲۱۳/۵	۲/۹	۰/۲	۴/۶	۷/۶	

در انتهای رشد و مرحله بلوغ فیزیولوژیک جهت اندازه‌گیری وزن‌های تر و خشک، در مرحله برداشت نهایی (۵ آبان ماه) از دو ردیف وسط هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای (۵۰ سانتی‌متر ابتدایی و انتهایی هر واحد آزمایشی)، حدود یک مترمربع برداشت شد و پس از ثبت وزن تر، ۱۰ بوته کامل از هر کرت نیز به طور تصادفی جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته انتخاب شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک (عملکرد زیستی)، نیز اندام‌های مورد هدف به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و با ترازوهای دیجیتالی گرمی (مدل EK610I، کشور ژاپن) توزین شدند. جهت اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در مرحله گلدهی ۱۰ عدد برگ جوان و کاملاً ظهور یافته از هر تیمار، قبل از گرم شدن هوا برداشت و جهت انتقال به آزمایشگاه، در محفظه حاوی از یخ قرار داده شد. در آزمایشگاه نمونه برگ‌ها پس از شست‌وشو با آب مقطر بلافاصله در محلول بافر فسفات تریس ۰/۱۶ مول (اسیدیته ۷/۵) ترکیب شد. بافر حاوی دی‌جیتونین (آنزیم هضم‌کننده دیواره) جهت هضم غشا و دیواره‌های سلولی اضافه به آن شد. میزان ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول هموژن برای سنجش پروتئین برداشته شد و مقدار پروتئین آن بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین شد (Lowry, 1951). در باقی‌مانده محلول استخراجی فوق، مقدار هر یک از آنزیم‌ها به روش تعریف شده برای هر کدام تعیین شد. تغییرات آنزیم SOD، توسط روش Misra & Fridovich (1972) تعیین شد. ابتدا محلول بافر تریس (حاوی فسفات و دی‌سدیک با اسیدیته ۷/۲)، به همراه ۱/۳ میلی‌مول EDTA و ۰/۱ میلی‌مول کربنات منوسدیک تهیه شد. پس از آماده‌سازی سوپسترا از اپی‌نفرین با غلظت ۰/۲۵، محلول تهیه شده به آن اضافه گردید و تغییرات جذب نوری حاصله از اکسیداسیون اپی‌نفرین، جهت تعیین فعالیت آنزیمی ارزیابی شد. از آنزیم استاندارد و خالص نیز جهت استاندارد نمودن نتایج استفاده شد که واحد آن اکسیداسیون ۰/۵ میلی‌مول اپی‌نفرین در یک دقیقه در نظر گرفته شد. کاتالاز (CAT) یک آنزیم پاکسازی‌کننده پراکسید هیدروژن است که با افزایش فعالیت این آنزیم، پراکسید هیدروژن

از طریق شکستن آن به آب و اکسیژن، حذف می‌شود. جهت محاسبه فعالیت آنزیم کاتالاز از روش Paglia (1997)، استفاده شد. در این روش شدت حذف آب اکسیژنه به‌عنوان سوبسترا ارزیابی شد. بافر زمینه برای انجام کار حاوی ۰/۱۷ میلی‌مول فسفات دی سدیک (اسیدیته ۷/۵) به‌همراه ۰/۱۵ میلی‌مول EDTA، ۰/۱۱ میلی‌مول کلریدمنیزیم در نظر گرفته شد (Lowry, 1951). واحد فعالیت آنزیم کاتالاز معادل نسبت تبدیل آب اکسیژنه در مدت یک دقیقه به هنگام پیشرفت واکنش درجه اول در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) نیز مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول هموژن برای سنجش پروتئین برداشت شد و مقدار پروتئین آن برحسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین گردید. سپس طبق روش Paglia (1997)، در باقیمانده محلول استخراجی مقدار آنزیم گلوکاتایون اندازه‌گیری شد. عصاره استخراجی با محلول بافر حاوی فسفات منو پتاسیک ۰/۵۶ میلی‌مول (اسیدیته ۷/۵)، همراه ۱/۲ میلی‌مول EDTA و یک میلی‌مول  $\text{NaNO}_3$  و ۰/۲ میلی‌مول NADPH ترکیب شد. به آن ۰/۲ میلی‌لیتر گلوکاتایون احیا به‌همراه ۰/۱ میلی‌مول از آب اکسیژنه اضافه شد. بلافاصله میزان اکسیداسیون NADPH که از طریق تعیین مقدار تغییر جذب در ۳۴۰ نانومتر در ۳۰ درجه سانتی‌گراد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل 100z-u-shimaszu-u، کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد. هم‌زمان یک محلول بلانک حاوی تمام مواد فوق بدون حضور عصاره استخراجی برای تصحیح و حذف خطاهای احتمالی مورد استفاده قرار گرفت. یک واحد از فعالیت آنزیم GPX معادل مقدار آنزیمی که بتواند یک میکرومول از سوبسترا NADPH در یک دقیقه کاتالیز کند، در نظر گرفته شد. برای استاندارد سازی از نمونه آنزیم GPX استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری درصد و ترکیب اسانس ۲۰ گرم برگ توسط آسیاب برقی پودر شد و سپس همراه با ۲۵۰ میلی‌لیتر آب و مقداری هگزان جهت حل شدن اسانس استخراج شده، در یک بالن نیم لیتری کلونجر ریخته شد و حدود چهار ساعت با گرم‌کن برقی حرارت داده شد تا با جوش آمدن آب، اسانس‌گیری انجام شود. هگزان و اسانس حل شده به بشر منتقل و سپس با سولفات سدیم آب‌گیری شد. اسانس حل شده در هگزان در ظروف کوچکی جمع‌آوری شده و به کمک گاز نیتروژن، حلال هگزان تبخیر شد و در نهایت میزان اسانس به‌صورت درصد وزنی محاسبه شد. اسانس‌ها تا زمان تجزیه در فریزر نگهداری شدند و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی (مدل GC/MC، کشور ژاپن) تجزیه، شناسایی نوع و میزان ترکیب تیمول با برنامه‌ریزی حرارتی انجام شد. شروع کار از ۵۰ درجه سانتی‌گراد با پنج دقیقه توقف و افزایش درجه حرارت تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌تدریج با چهار درجه سانتی‌گراد افزایش در هر دقیقه انجام شد (Adams, 1995).

در نهایت بعد از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌های آماری صورت گرفته در پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS صورت گرفت. قبل از تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع خطای آزمایشی در هر یک از تیمارها و یکنواخت بودن آن در بلوک‌های آزمایشی اطمینان حاصل شد و سپس عملیات تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون دانکن در سطح یک درصد انجام شد.

### ۳. نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در تمام صفات مورد مطالعه در این پژوهش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). بنابراین مقایسه میانگین داده‌ها براساس اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای تنش و محلول‌پاشی انجام گرفت (جدول ۴).

### ۳.۱. صفات زراعی (ارتفاع بوته، وزن‌های تر و خشک)

تیمارهای آبیاری معمول همراه با محلول پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۲ میلی‌گرم جاسمونیک اسید ( $S_0 \times SA_2 \times JA_2$ )، آبیاری معمول همراه با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و یک میلی‌گرم جاسمونیک اسید ( $S_0 \times SA_1 \times JA_2$ ) و آبیاری معمول همراه با ۲۵ میلی‌گرم سالیسیلیک اسید و دو میلی‌گرم جاسمونیک اسید ( $S_0 \times SA_1 \times JA_2$ )، به ترتیب بیش‌ترین ارتفاع بوته (۳۸/۲، ۳۷/۳ و ۳۵/۳ سانتی‌متر)، وزن تر (۷۱۱۲/۳، ۶۴۴۱/۲ و ۶۵۳۲/۰ کیلوگرم در هکتار) و وزن خشک بوته (۱۷۷۸/۷، ۱۶۶۳/۵ و ۱۶۶۸/۱ کیلوگرم در هکتار)، را داشتند (جدول ۴). کم‌ترین ارتفاع بوته (۱۳/۶ سانتی‌متر)، وزن‌های تر و خشک بوته (به ترتیب ۱۵۴۹/۴ و ۴۱۰/۳ کیلوگرم در هکتار) آویشن باغی نیز در تیمار تنش خشکی و عدم محلول پاشی ( $S_1 \times SA_0 \times JA_0$ ) مشاهده شد.

بنابراین نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان یا تکی سطوح بالاتر تنظیم‌کننده‌های رشد سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید همراه با آبیاری معمول و بدون تنش خشکی باعث افزایش ۵۵ درصدی ارتفاع بوته، ۷۳ درصدی وزن‌های تر و خشک شاخساره گیاه دارویی آویشن باغی نسبت به شاهد شد، لذا کاربرد دو ایستور مذکور می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را در گیاه آویشن باغی کاهش دهد. محلول پاشی سطوح بالای سالیسیلیک اسید (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط تنش خشکی ( $S_1 \times SA_2 \times JA_0$ )، نسبت به تیمار شاهد سالیسیلیک اسید در تنش خشکی ( $S_1 \times SA_0 \times JA_0$ )، ارتفاع بوته آویشن باغی را حدود ۴۰ درصد (از ۱۶/۲ به ۲۶/۹ سانتی‌متر)، افزایش داد. کاربرد جاسمونیک اسید (۲ میلی‌گرم بر لیتر) نیز در تنش خشکی اثر قابل‌توجهی بر ارتفاع بوته داشت، به طوری که اختلاف بین بیش‌ترین ( $S_0 \times SA_0 \times JA_2$ ) و کم‌ترین ( $S_1 \times SA_0 \times JA_0$ ) ارتفاع بوته ۵۶ درصد بود. پژوهش‌گران گزارش کردند که در گیاه آویشن تنش خشکی اثر معنی‌داری بر پارامترهای رشدی و عملکرد اندام رویشی داشت و با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن تر و خشک اندام هوایی، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و طول ریشه کاهش یافت (Babae et al., 2010; Ghaderi et al., 2017).

تنش خشکی با دخالت در فعالیت ناقل‌ها و کانال‌های یونی در ریشه و کاهش جذب آب و مواد معدنی، موجب کاهش آسیمیلات‌های تولیدی و در نهایت رشدی رویشی و ارتفاع بوته می‌گردد که در این تحقیق کاملاً مشهود است. در تنش خشکی، به علت کاهش سطح برگ، مواد فتوسنتزی و انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت اندام‌های زایشی، عملکرد سرشاخه‌های گلدار آویشن کاهش می‌یابد (Mohammad Noshai et al., 2016)، لذا نخستین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچک‌تر برگ‌ها و ارتفاع کم‌تر گیاهان تشخیص داد. سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در زمان تنش خشکی توانستند احتمالاً با بهبود جذب عناصر غذایی سبب افزایش صفات ظاهری از جمله ارتفاع گیاه، طول و تعداد میانگره شوند.

پژوهش‌گران اظهار داشتند که سالیسیلیک اسید با افزایش تقسیم و طویل شدن سلولی، افزایش فعالیت‌های آنزیمی و تولیدات فتوسنتزی توانست رشد گیاه را بهبود بخشد و منجر به افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Bakry et al., 2012; Eraslan et al., 2007). کاهش مقدار آب آبیاری و تنش ناشی از آن موجب کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز شده که موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کم‌تر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها شده و سبب کاهش ارتفاع بوته می‌شود و محلول پاشی جاسمونیک اسید می‌تواند آثار منفی تنش خشکی را جبران کند (Farzaneh & Tafazoli, 2014).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر آبیاری و محلول پاشی سطوح سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر ویژگی های بیوشیمیایی و زراعی گیاه آویشن در شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	سوپراکسیداز دیسموناز	کاتالاز	گلوتاتیون پراکسیداز	درصد شاخساره	درصد تیمول	غلظت سالیسیلیک اسید برگ	غلظت جاسمونیک اسید برگ	میانگین مربعات
تکرار	۲	۴۴/۳۱ns	۶۲۵۲۱/۵۰ns	۵۴۱۲۹/۱۶ns	۴/۰۹ns	۱/۴۲ns	۲/۱۲ns	-/۰۰۰۲ ns	-/۰۰۰۷۱ ns	-/۰۰۴۱ ns	-/۰۰۴۵۸ ns	
تنش خشکی (S)	۱	۵۲/۰۳*	۳۹۸۳۳/۶۳*	۱۸۴۲۳۳/۱۵*	۱۶/۷۳*	۵/۸۹*	۵/۰۹*	-/۰۰۲۱*	-/۰۰۴۳۵*	-/۰۰۲۵۶*	-/۰۰۱۹۱۶*	
خطای (a)	۲	۲۱/۳۴	۵۶۸۳۹/۱۵	۲۷۰۳۶/۷۵	۲۳/۳۹	۰/۹۸	۰/۷۳	-/۰۰۰۳۳	-/۰۰۰۶۴	-/۰۰۰۳۸	-/۰۰۲۸۴	
سالیسیلیک اسید (SA)	۲	۲۵۸۷/۰۲*	۱۸۰۲۵۴۶۱/۲۵*	۲۸۷۶۴۹/۱۱*	۲۹/۲۶*	۳۵/۴۰***	۱۰/۱۷۹**	-/۰۱۶۲۰**	-/۰۰۳۶۵**	۱/۹۸۴**	۲/۷۶۲۵**	
جاسمونیک اسید (JA)	۲	۶۹۵/۱۱*	۸۷۴۲۹۰۱۶/۷۱**	۷۴۴۵۹۱۲/۳۲**	۳۲/۵۱*	۹/۸۱۲*	۸۴/۲۵**	-/۲۷۳۰**	-/۱۸۴۷**	۳/۲۰۹۱**	۱/۸۹۳۳**	
SA × JA	۴	۶۵۹/۳۰*	۹۶۵۰۳۴۸/۷۵**	۹۵۲۴۶۳۸/۶۶**	۱۳۷/۴۱**	۸۹/۰۹**	۱۸۳/۰۹**	-/۱۸۳۰**	-/۳۶۰۲**	۳/۰۹۵۴**	۲/۱۰۹۴**	
S × SA	۲	۲۵۸۱/۲۳**	۷۳۰۹۰۶۴/۲۱**	۸۷۲۶۹۹/۱۱۴**	۱۲۸/۵۶**	۲۸/۸۲۳*	۱۴۳/۴۸**	-/۲۴۴۱**	-/۱۸۱۷**	۰/۵۳۳۳*	۲/۷۶۴۴*	
S × JA	۲	۶۷۳/۴۱*	۸۹۶۵۰۱۲۷/۴۱**	۱۰۵۲۹۶۷۳/۳۵**	۱۴۱/۸۶**	۳۹/۱۱**	۹۸/۲۳**	-/۱۹۸۵**	-/۱۵۹۳**	۰/۶۲۳۴*	۳/۱۰۱۰**	
S × SA × JA	۴	۳۳۷/۱۵**	۶۲۱۳۹۰۴۱/۶۵**	۹۸۷۸۶۱/۵۵**	۲۰/۱۸۶**	۴۴/۶۷**	۱۱۲/۴۲**	-/۲۳۴۸**	-/۲۳۶۷**	۲/۵۴۶**	۳/۸۹۴۱**	
خطای (bc)	۳۲	۱۱۴/۱۹	۲۴۸۹۲۱/۱۵	۴۲۱۳۶/۷۲	۴/۸۱	۱/۵۰	۳/۶۰	-/۰۰۰۷۶	-/۰۰۰۵۳	-/۰۰۸۵۱	-/۰۰۸۵۱	
ضریب تغییرات (%)	-	۹/۶۰	۱۵/۷۷	۱۰/۲۸	۴/۳۲	۴/۵۳	۳/۷۸	۳/۷۲	۴/۸۹	۸/۲۱	۶/۳۵	

ns, \*\* و \*\*\*: به ترتیب عدم تفاوت معنی دار و وجود تفاوت معنی دار در سطح آماری یک و پنج درصد می باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر آبیاری و محلول پاشی سطوح سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر ویژگی های بیوشیمیایی و زراعی گیاه آویشن در شرایط تنش خشکی

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	وزن تر (kg ha <sup>-1</sup> )	وزن خشک (kg ha <sup>-1</sup> )	سوپراکسیداز دیسموناز (u.mgprotien.min)	کاتالاز (u.mgprotien.min)	گلوتاتیون پراکسیداز (u.mgprotien.min)	اسانس (%)	تیمول (%)	سالیسیلیک اسید (mol g <sup>-1</sup> leaf)	جاسمونیک اسید (mol g <sup>-1</sup> leaf)
S <sub>0</sub> × SA <sub>0</sub> × JA <sub>0</sub>	۲۳/۱c	۴۴۵۰/ef	۱۰۳۳/۲cd	۱۲/۰cd	۲۸/۷c	۱۷/۱b	۰/۱۷e	۵۵/۸c	۷۹/۰e	۱۹/۹e
S <sub>0</sub> × SA <sub>0</sub> × JA <sub>1</sub>	۲۶/۵bc	۵۲۴۱/0de	۱۲۲۴/۹c	۹/۹cde	۲۲/۹d	۱۲/۱c	۰/۲۳de	۵۸/۵c	۸۵/۹e	۳۳/۴d
S <sub>0</sub> × SA <sub>0</sub> × JA <sub>2</sub>	۲۹/۱bc	۵۷۲۶/۰cd	۱۵۱۸/۷ab	۸/۱cde	۱۹/۲de	۹/۶cd	۰/۳۰d	۶۱/۲bc	۹۵/۰de	۴۱/۱cd
S <sub>0</sub> × SA <sub>1</sub> × JA <sub>0</sub>	۲۸/۹bc	۵۳۱۴/۲d	۱۳۳۷/۵bc	۱۱/۴cd	۲۱/۶de	۱۱/۴cd	۰/۱۹e	۵۸/۹c	۱۱۵/۵de	۲۱/۹e
S <sub>0</sub> × SA <sub>1</sub> × JA <sub>1</sub>	۳۱/۷b	۵۹۴۸/۸c	۱۵۳۰/۲ab	۷/۵de	۱۸/۴de	۹/۲cd	۰/۳۲cd	۶۱/۰bc	۱۲۷/۹de	۴۱/۲cd
S <sub>0</sub> × SA <sub>1</sub> × JA <sub>2</sub>	۳۵/۳ab	۶۵۳۲/۰b	۱۶۶۸/۱ab	۶/۶de	۱۲/۱ef	۷/۶d	۰/۳۹bc	۶۴/۸bc	۱۴۳/۹cde	۴۶/۸bc
S <sub>0</sub> × SA <sub>2</sub> × JA <sub>0</sub>	۳۱/۲b	۵۷۰۳/۰cd	۱۴۴۶/۸abc	۹/۲cde	۱۸/۳e	۹/۶cd	۰/۳۰d	۶۱/۸bc	۱۴۲/۸cde	۲۵/۱de
S <sub>0</sub> × SA <sub>2</sub> × JA <sub>1</sub>	۳۷/۳a	۶۴۴۱/۲bc	۱۶۳۶/۵ab	۶/۸de	۱۰/۷f	۷/۴d	۰/۳۴cd	۶۴/۱bc	۱۴۵/۷cde	۴۷/۱bc
S <sub>0</sub> × SA <sub>2</sub> × JA <sub>2</sub>	۳۸/۲a	۷۱۱۲/۳a	۱۷۷۸/۷a	۵/۶e	۹/۴f	۶/۳d	۰/۴۲bc	۶۸/۷ab	۱۷۱/۱cd	۵۵/۰ab
S <sub>1</sub> × SA <sub>0</sub> × JA <sub>0</sub>	۱۳/۶d	۱۵۴۹/۴i	۴۱۰/۳f	۱۹/۰a	۴۴/۵a	۲۲/۴a	۰/۲۸de	۶۰/۹bc	۲۰۴/۰c	۳۶/۲cd
S <sub>1</sub> × SA <sub>0</sub> × JA <sub>1</sub>	۱۷/۴cd	۲۶۳۷/۲h	۶۶۳/۱ef	۱۶/۱ab	۳۹/۷ab	۲۰/۵ab	۰/۳۵bc	۶۳/۷bc	۲۱۰/۸c	۴۷/۳bc
S <sub>1</sub> × SA <sub>0</sub> × JA <sub>2</sub>	۲۱/۸cd	۳۷۱۱/۱g	۸۴۱/۲de	۱۵/۷abc	۳۷/۹b	۱۷/۷b	۰/۳۹bc	۶۶/۸ab	۲۱۶/۴bc	۵۴/۶ab
S <sub>1</sub> × SA <sub>1</sub> × JA <sub>0</sub>	۲۱/۴cd	۲۴۹۸/۶h	۷۴۴/۸e	۱۶/۴ab	۴۰/۲ab	۲۰/۲ab	۰/۳۴cd	۶۳/۳ab	۲۴۱/۶abc	۳۹/۶cd
S <sub>1</sub> × SA <sub>1</sub> × JA <sub>1</sub>	۲۳/۱c	۳۹۰۲/۰fg	۸۹۹/۱d	۱۴/۸abc	۳۷/۹bc	۱۷/۸b	۰/۴۰bc	۶۵/۶b	۲۵/۶abc	۵۴/۴b
S <sub>1</sub> × SA <sub>1</sub> × JA <sub>2</sub>	۲۶/۸bc	۴۸۰۹/۳e	۱۱۶۱/۲cd	۱۳/۴bc	۲۶/۹cd	۱۴/۶bc	۰/۴۶ab	۶۸/۷ab	۲۶۴/۹ab	۵۸/۴ab
S <sub>1</sub> × SA <sub>2</sub> × JA <sub>0</sub>	۲۲/۶cd	۳۲۸۷/۳e	۸۱۹/۹de	۱۴/۰abc	۳۷/۰bc	۱۷/۲b	۰/۳۸c	۶۵/۲b	۲۳۰/۷bc	۴۳/۷c
S <sub>1</sub> × SA <sub>2</sub> × JA <sub>1</sub>	۲۵/۴bc	۴۲۵۲/۰f	۱۰۱۳/۹cd	۱۲/۹c	۲۲/۰cd	۱۴/۵bc	۰/۴۴b	۶۸/۱ab	۲۶۹/۹ab	۵۸/۸ab
S <sub>1</sub> × SA <sub>2</sub> × JA <sub>2</sub>	۲۵/۸bc	۵۴۶۲/۹cd	۱۳۱۰/۳bc	۹/۷cd	۲۳/۳cd	۱۰/۱cd	۰/۵۲a	۷۲/۱a	۲۸۱/۸a	۶۳/۰a

\* میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون مربوط به هر سال فاقد تفاوت معنی دار آماری در سطح یک درصد می باشند.

\* آبیاری معمول (S<sub>0</sub>)، تنش خشکی (S<sub>1</sub>)، محلول پاشی سطوح شاهد (صفر)، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید (به ترتیب SA<sub>0</sub>، SA<sub>1</sub> و SA<sub>2</sub>)، محلول پاشی سطوح شاهد (صفر)، یک و دو میلی گرم بر لیتر جاسمونیک اسید (به ترتیب JA<sub>0</sub>، JA<sub>1</sub> و JA<sub>2</sub>).



### ۲.۳. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و گلوتاتیون پراکسیداز (GPX)

برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی SOD، CAT و GPX گیاه دارویی آویشن باغی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی SOD، CAT و GPX (به ترتیب ۱۹/۰، ۴۴/۵ و ۲۲/۴ u.mgprotien.min) در تیمار تنش خشکی × عدم محلول پاشی سالیسیلیک و جاسمونیک اسید ( $SA_0 \times JA_0 \times S_1$ ) و کم‌ترین (به ترتیب ۵/۶، ۹/۴ و ۶/۳ u.mgprotien.min)، در تیمارهای آبیاری معمول و سطوح بالای سالیسیلیک و جاسمونیک اسید ( $SA_2 \times JA_2 \times S_0$ ) مشاهده شد (جدول ۴). محلول پاشی سالیسیلیک و جاسمونیک اسید به ترتیب با کاهش ۷۰، ۸۵ و ۷۲ درصدی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی SOD، CAT و GPX، باعث شد که آسیمیلایسیون تولیدی صرف تولید ماده خشک شود، زیرا در تیمارهایی که فعالیت آنزیم‌های مذکور کم بود، ارتفاع بوته و وزن‌های تر و خشک شاخساره گیاه دارویی آویشن باغی افزایش یافت (جدول ۴).

در پژوهش حاضر برهم‌کنش تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید سبب کاهش فعالیت آنزیم‌ها نسبت به عدم مصرف شد. کاهش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی ممکن است نتیجه غیرفعال شدن آنزیم، از طریق مولکول‌های تأثیرگذار مرتبط با تنش و همچنین نیاز کم‌تر سلول‌ها برای متابولیسم آنتی‌اکسیداتیو پس از اعمال محلول پاشی باشد. سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به‌طور مستقیم در از بین بردن رادیکال‌های آزاد نقش داشته و با پاکسازی گونه‌های فعال و کاهش اثرات تنش، از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان جلوگیری می‌کنند (Doulatabadian *et al.*, 2008). احتمالاً ایستورهای مذکور با افزایش متابولیت‌های ثانویه به‌عنوان اولین سد دفاعی و کاهش انرژی مصرفی جهت تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث افزایش رشد رویشی اندام‌های هوایی (ارتفاع بوته و وزن‌های تر و خشک) گیاه دارویی آویشن باغی شدند (جدول ۴).

در گیاهان عالی، تحمل به تنش خشکی با سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ارتباط مستقیم دارد (Khan & Ashraf, 2008). سالیسیلیک اسید روی سرعت تولید انواع اکسیژن فعال تحت شرایط تنش تأثیر گذاشته و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانت سوپراکسید دیسموتاز را تغییر و از این طریق تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی را افزایش می‌دهد (Horvath *et al.*, 2007). القای فعالیت کاتالاز باعث غلبه بر تنش اکسیداتیو از طریق سم‌زدایی پراکسید هیدروژن شده و از تولید رادیکال هیدروکسیل جلوگیری و پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و چربی‌ها را در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Rastgoo & Alemzadeh, 2011). پژوهش‌گران نیز اظهار داشتند که تیمار گیاهچه‌های گندم با سالیسیلیک اسید موجب افزایش محتوای رطوبت، ماده خشک و افزایش فعالیت آنزیم کربوکسیلاز و روبیسکو و مجموع محتوای کلروفیل در مقایسه با شاهد شد (Hayat *et al.*, 2010). برخی دیگر از پژوهش‌گران گزارش کردند که کاربرد خارجی جاسمونیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیداسیونی موجب حفظ گیاهان در مقابل خسارت تنش اکسیداسیون ناشی از خشکی شد (Mahmood *et al.*, 2012).

### ۳.۳. متابولیت‌های ثانویه (درصد اسانس و تیمول)

برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر تولید متابولیت‌های ثانویه (درصد اسانس و تیمول شاخساره) گیاه دارویی آویشن باغی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین درصد اسانس و تیمول (۰/۲۸ و ۶۰/۹ درصد) در تیمار تنش خشکی × محلول پاشی ۵۰ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و

جاسمونیک‌اسید ( $S_1 \times SA_2 \times JA_2$ ) و کم‌ترین مقدار آن (اسانس ۰/۱۷ و تیمول ۵۵/۸ درصد) در تیمار آبیاری معمول  $\times$  عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید ( $S_0 \times SA_0 \times JA_0$ ) مشاهده شد (جدول ۴). کاربرد لیستورهای سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در شرایط تنش خشکی و آبیاری معمولی باعث افزایش صفات مذکور نسبت به تیمار شاهد ( $S_1 \times SA_0 \times JA_0$  و  $S_0 \times SA_0 \times JA_0$ ) شد.

محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش خشکی ( $S_1 \times SA_2 \times JA_0$ )، نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) در شرایط تنش خشکی ( $S_1 \times SA_0 \times JA_0$ )، درصد اسانس شاخساره را از ۰/۲۸ به ۰/۳۸ درصد و درصد تیمول را از ۶۰/۹ درصد به ۶۵/۲ درصد افزایش داد. در شرایط آبیاری معمول نیز کاربرد سطوح بالای سالیسیلیک‌اسید ( $S_0 \times SA_2 \times JA_0$ )، درصد اسانس شاخساره را نسبت به تیمار شاهد ( $S_0 \times SA_0 \times JA_0$ )، از ۰/۱۷ به ۰/۳۰ درصد تیمول از ۵۵/۸ به ۶۱/۸ درصد افزایش داد (جدول ۴).

جاسمونیک‌اسید اثر قابل‌توجهی در شرایط تنش خشکی بر درصد اسانس شاخساره و تیمول داشت، به‌طوری‌که محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر جاسمونیک‌اسید در شرایط تنش خشکی ( $S_1 \times SA_0 \times JA_2$ )، نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) در شرایط تنش خشکی ( $S_1 \times SA_0 \times JA_0$ )، درصد اسانس شاخساره را از ۰/۲۸ به ۰/۳۹ درصد و درصد تیمول را از ۶۰/۹ درصد به ۶۶/۸ درصد افزایش داد. در شرایط آبیاری معمول نیز در اثر کاربرد جاسمونیک‌اسید ( $S_0 \times SA_0 \times JA_2$ )، درصد اسانس شاخساره را نسبت به تیمار شاهد ( $S_0 \times SA_0 \times JA_0$ )، از ۰/۱۷ به ۰/۳۰ درصد تیمول از ۵۵/۸ به ۶۱/۲ درصد افزایش داد (جدول ۴). بنابراین تنش خشکی موجب افزایش متابولیت‌های ثانویه (درصد اسانس) که نقش حفاظتی در گیاه داشته و مقدار مناسب سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید نیز با خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد و فرم‌های فعال اکسیژن تولیدشده در اثر تنش خشکی، سبب افزایش مقدار اسانس در آویشن باغی شده‌اند.

پژوهش‌گران اظهار داشتند که تنش خشکی بر رشد، عملکرد متابولیت‌های ثانویه و ترکیب و عملکرد اسانس گیاه دارویی آویشن تأثیر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که تنش متوسط عملکرد اسانس را افزایش داد (Bourd *et al.*, 2014; Nowak *et al.*, 2010). زیرا که طبق فرضیه موازنه رشد- تمایز هر کمبودی که رشد را بیش از فستوسنتز محدود کند، تولید و تجمع متابولیت‌های ثانویه را افزایش می‌دهد (Herms & Mattson, 1992). افزایش متابولیت‌های ثانویه و اجزای اسانس در زمان تنش نشان‌دهنده نقش حفاظتی این ترکیبات به‌عنوان عوامل غیر آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که با افزایش مقدار منتول و تیمول در گیاه آویشن همراه است (Gao-Bin *et al.*, 2009). پژوهش‌گران گزارش کردند که در شرایط تنش تغییرات ترکیب‌های اسانس ناشی از فعالیت آنزیم‌ها و بهبود متابولیسم است (Hendawy & Khalid, 2005). پژوهش‌گران اظهار داشتند که محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید ممکن است سبب افزایش و یا کاهش برخی متابولیت‌های ثانویه به‌ویژه ترکیب‌های فنلی مهم در اسانس آویشن شود (Ashrafi *et al.*, 2012). کاربرد خارجی جاسمونیک‌اسید در گیاهان دارویی مانند آویشن ممکن است منجر به تغییر میزان برخی از ترکیب‌های ثانویه مهم مثل تیمول شود که اختلاف معنی‌داری بین مقدار تیمول با کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومول جاسمونیک مشاهده شد که در این پژوهش مشهود است و با پژوهش‌های برخی از پژوهش‌گران مطابقت داشت (Hamedi *et al.*, 2014).

### ۴.۳. غلظت سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید برگ

برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی  $\times$  محلول‌پاشی بر میزان غلظت سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید برگ گیاه دارویی آویشن باغی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید (به‌ترتیب ۲۸۱ و ۶۳ مول در گرم) در تیمار تنش خشکی  $\times$  محلول‌پاشی ۵۰ و دو میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید و

جاسمونیک اسید ( $S_1 \times SA_2 \times JA_2$ )، و کم‌ترین (به ترتیب ۷۹ و ۱۹ مول در گرم) در تیمار آبیاری معمول  $\times$  عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید ( $S_0 \times SA_0 \times JA_0$ ) مشاهده شد (جدول ۴). بنابراین کاربرد خارجی و هم‌زمان دو ایستور مذکور در شرایط تنش خشکی باعث افزایش ۷۲ و ۷۰ درصدی غلظت سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید برگ آویشن باغی شد. سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به‌عنوان ایستور در شرایط تنش خشکی با تجمع در کلروفیل برگ، با تولید متابولیت‌های ثانویه و تأثیر بر مسیرهای متابولیکی گیاه، اثرات منفی تنش خشکی را خنثی می‌کنند که در این پژوهش نیز مشهود بود. پژوهش‌گران اظهار داشتند که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید در گیاه جو اثرات مخرب کمبود آب روی غشای سلولی را کاهش و موجب افزایش محتوای آبسزیک اسید در برگ‌ها و در نهایت افزایش تحمل به تنش خشکی شد (Bandurska & Stroinski, 2010).

#### ۴. نتیجه‌گیری

با افزایش تنش خشکی ناشی از تشک تبخیر ارتفاع بوته، وزن‌های تر و خشک اندام‌های هوایی آویشن باغی کاهش و درصد متابولیت‌های ثانویه (اسانس و تیمول) و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپر اکسیداز دیسموتاز (SOD)، گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) و کاتالاز (CAT)، افزایش یافتند. در گیاه دارویی آویشن باغی محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به ترتیب با کاهش ۷۰، ۸۵ و ۷۲ درصدی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی SOD، CAT و GPX باعث شد که آسیمیلایون تولیدی صرف تولید ماده خشک شود، زیرا در تیمارهایی که فعالیت آنزیم‌های مذکور کم بود، ارتفاع بوته و وزن‌های تر و خشک شاخساره گیاه دارویی آویشن باغی افزایش یافت. بیش‌ترین درصد متابولیت‌های ثانویه اسانس و تیمول و غلظت سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید نیز در تیمار تنش خشکی  $\times$  سطوح ۵۰ و دو میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید مشاهده شد.

بنابراین محلول پاشی سطوح ۵۰ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در شرایط تنش خشکی، با افزایش غلظت و تجمع دو ایستور مذکور در برگ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، درصد تولید متابولیت‌های ثانویه (اسانس و تیمول) و رشد اندام‌های رویشی (وزن‌های خشک و تر و ارتفاع بوته) را افزایش داد، لذا استفاده خارجی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید، می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را بر تولید گیاه دارویی آویشن باغی در منطقه ورامین کاهش دهد.

#### ۵. تشکر و قدردانی

از تمامی پرسنل زحمت‌کش آزمایشگاه و مدیر گروه محترم گروه کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین جهت همکاری مستمر و پیشبرد اهداف این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۷. منابع مورد استفاده

Adams, R.P. (1995). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy. *Allured Publishing Corporation*, 811 p.

- Alamdary, S.B.L., Safarnejad, A., & Nematzadeh, G.A. (2012). Using RAPD marker for genetic diversity assessment of several *Thymus* species. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 20(2), 192-201. (In Persian).
- Aramamneh, E.D.M. (2009). Plant growth strategies of *Thymus vulgaris* L. in response to population density. *Industrial Crops and Products*, 30, 389-394.
- Ashrafi, M., Ghasemi Baloti, A., Rahimmalek, M., & Hamid, B. (2012). The effect of jasmonic acid sprayed on the composition of (*Thymus daenensis* Celak.). *Herbal Medicines*, 3(2), 75-80.
- Babaei, K., M., Modares Sanavi, S.A.M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 239-251.
- Bakry, B.A., El-Hariri, D.M., Mervat, S.S., & El-Bassiouny, H.M.S. (2012). Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under newly reclaimed sandy soil. *Journal of applied sciences research*, 7, 3503-3514.
- Bandurska, H., & Stroinski, A. (2010). The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27(3), 379-386.
- Bhatt, R.M., & Roa, N.K. (2015). Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20, 124-129.
- Bourd, R., Rezazadeh, S.H., Nagavi, M., Omidi, M., Torabi, S., Parvaneh, S., Hariri Akbari, F., & Taghizadeh Farid, R. (2014). Variation in the essential oil of *Artemisia annua* L. apical shoots at different developmental stages. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(3), 319-324. (In Persian).
- Daneshmand, F., Arvin, M.J. & Kalantari, K.M. (2009). Effect of acetylsalicylic acid (Aspirin) on salt and osmotic stress tolerance in *Solanum bulbocastanum* in vitro: enzymatic antioxidants. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 6, 92-99.
- Doulatabadian, A., Modarres Sanavi, S.A.M., & Etemadi, F. (2008). Effect of pretreatment of salicylic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination under salt stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 5, 692-702. (In Persian).
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., & Alpaslan, M. (2007). Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 113, 120-128.
- Farzaneh, M., & Tafazoli, A.S. (2014). Methyl jasmonic effect on carotenoid pigments and morphological characters of tomato under salt stress conditions. *The First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture*, 10 October, 125-135.
- Ferrarese, N.G., Huber, M.L.L., Ravagnani, D.A., & Ferrarese, A.L.S. (2003). Conola (*Brassica napus* L.) seed effects on germination of Glycine max effects of cinnamic acid and benzoic acids and derivatives. *Seed Science and technology*, 31, 39-48.
- Gao-Bin, P.U., Dong-Ming, M.A., Jian-Lin, C., Hong Wang, A., Guo-Feng, L., He-Chun, Y., & Ben-Ye, L. (2009). Salicylic acid activates artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua* L. *Plant Cell Reports*, 28, 1127-1135.
- Ghaderi, A.A., Fakheri, B.A., & Mahdi-nezhad, N. (2017). Evaluation of the morphological and physiological traits of Thyme under water deficit stress and foliar application of ascorbic acid. *Agricultural Crop Management, Online Publication*.
- Guo, Y., Tian, S., Liu, S., Wang, W. & Sui, N. (2018). Energy dissipation and antioxidant enzyme system protect photosystem II of sweet sorghum under drought stress. *Photosynthetica*, 5, 1-12.
- Hamed, B., Ghasemi Pirbalouti, A., & Moradi, P. (2014). The effect of foliar application of jasmonic acid on hypericin content of *Hypericum perforatum* L. *Electronic Journal of Biology*, 10(2), 35-39.

- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment (a review). *Environmental and Experimental Botany*, 68, 14-25.
- Hendawy, S.F., & Khalid, K.A. (2005). Response of sage (*Salvia officinalis L.*) plants to zinc application under different salinity levels. *Journal of Applied Sciences Research*, 1(2), 147-155.
- Herms, D.A., & Mattson, W.J. (1992). The dilemma of plants: To grow or defend. *The Quarterly Review of Biology*, 67, 283-325.
- Horvath, E., Szalai, G., & Janda, T. (2007). Induction of Abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Plant Growth and Regulation*, 26, 290-300.
- Jafarnia, S., Safaei Khoram, M., & Khosroshahi, S. (2011). The most important medicinal plant in the world. Sokhan Gostar and Sabze Iran, Agricultural Education Complex. 442 p. (In Persian).
- Khan, A., & Ashraf, M. (2008). Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 63, 224 - 31.
- Kheiry, A., Tori, H., & 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 Research*, 33. (In Persian).
- Kohanmoo, M.A., Modaresi, M., & Bagheri Kahkesh, Z. (2016). Effects of spraying salicylic acid and jasmonic acid on the morphological and biochemical characteristics of chamomile (*Matricaria chamomilla L.*) under Bushehr climate conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23(3), 429-435. (In Persian).
- Leon, J., & Sanchez Serrano, J.J. (2014). Molecular biology of jasmonic acid biosynthesis in plants. *Plant Physiology and biochemistry*, 37, 373 - 380.
- Letchamo, W., Marquard, R., Holzl, J., & Gosselin, A. (2015). Effect of water supply and light intensity on growth and essential oil of two *Thymus vulgaris* selections. *Journal of Medicinal Plants*, 65, 11028.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., & Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.
- Ma, Q.D., Turner, W., Levy, D., & Cowling, W.A. (2017). Solute accumulation and osmotic adjustment in leaves of Brassica oil seeds in response to soil water deficit. *Australian Journal of Agricultural Research*, 118, 42-47.
- Mahmood, M., Bidabadi, S.S., Ghobadi, C., & Gray, D.J. (2012). Effect of methyl jasmonate treatments on alleviation of polyethylene glycol-mediated water stress in banana (*Musa acuminata*) shoot tip cultures. *Plant Growth Regulation*, 68, 161-169.
- Mardani, H., Bayat, H., & Azizi, M. (2011). Effect of foliar application of salicylic acid on morphological and physiological parameters of cucumber (*Cucumis sativus*) under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, 25, 320-326. (In Persian).
- Misra, H.P., & Fridovich, I. (1972). The Generation of super oxide radical during oxidation. *Journal of Materials Chemistry*, 110, 51-62.
- Nazarli, H., Moradi, P. & Mohebi, M. (2017). Thymus. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). *Ministry of Agriculture Jahad*, 17 p.
- Nowak, A., Martin Corina, E., Tarnita, B., Edward, O., & Wilson, V. (2010). The evolution of eusociality. *International Journal of Science*, 466, 1057-1062.
- Paglia, D. (1997). Studies on the quantitative trait dase. *Journal of Laboratory Medicine*, 70, 158-165.
- Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., & Emam, Y. (2016). The effect of different concentrations of salicylic acid on barley under saline conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 14, 191-201. (In Persian).
- Rastgoo, L., & Alemzadeh, A. (2011). Biochemical responses of Gouan (*Aeluropus littoralis*) to heavy metals stress. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 375-383.
- Sabaghpour, S.H., Mahmodi, A.A., Saeed, A., Masood, K., & Malhotra, R.S. (2016). Study on chickpea drought tolerance lines under dry land condition of Iran. *Indian Journal of Crop Science*, 11, 126-134.

- Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M., & Pinelli, E. (2014). Heavy-metal induced reactive oxygen species: Phytotoxicity and physicochemical changes in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 232, 1-44.
- Wu, H., Wu, X., Li, Z., Duan, L., & Zhang, M. (2012). Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in cauliflower (*Brassica oleracea* L.) seedlings treated with methyl jasmonate and coronatine. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31, 113-123.
- Yavari, A., Nazeri, V., Sefidkon, F., Zamani, Z., & Hasani, M. (2012). Investigation of genetic variation in between and within sime of azarbeyejan thyme populations (*Thymus migricus*) using rapd markers. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28, 35-47.
- Zhang, W., Cao, Z., Xie, Z., Lang, D., Zhou, L., Chu, Y., Zhao, Q., Zhang, X., & Zhao, Y. (2017). Effect of water stress on roots biomass and secondary metabolites in the medicinal plant *Stellaria dichotoma* L. *Scientia Horticulturae*, 224, 280-285.