به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ٤ ■ زمستان ١٤٠٠
صفحه‌های ۸۵۳-۸۳۹
DOI: 10.22059/jci.2021.309204.2443

مقاله پژوهشی:

اثر قارچ پریفورموسپورا ایندیکا و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت آویشن‌باغی در شرایط قطع آبیاری

سمیه میرزایی[۱*]، سیدعطاالله سیادت[۲]، بابک پاکدامن سردرود[۳]، محمدرضا مرادی تلاوت[۴]
۱. دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ملاثانی، ایران.
۲. استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
۳. دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ملاثانی، ایران.
۴. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷

چکیده
به‌منظور بررسی اثر قارچ پریفورموسپورا ایندیکا (*Piriformospora indica*) و سطوح مختلف سالیسیلیک‌اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت تیمار قطع آبیاری، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در دهلران در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح سالیسیلیک‌اسید (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰، ٦۰۰ میکرومولار) به‌صورت محلول‌پاشی برگی و قارچ شبه‌مایکوریزا دردو سطح تلقیح و عدم تلقیح و عامل قطع آبیاری آب در سه سطح (آبیاری در ۹۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند. در این آزمایش تیمار قطع آبیاری تا سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی باعث کاهش ارتفاع، وزن کل اندام هوایی، تعداد برگ، درصد کلونیزاسیون و هم‌چنین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد. تلقیح با قارچ و تیمار با سالیسیلیک‌اسید تا غلظت ۳۰۰ میکرومولار توانست تا حدود زیادی از اثرات مخرب تیمار قطع آبیاری بر این صفات بکاهد، اما افزایش غلظت سالیسیلیک‌اسید تا سطح ٦۰۰ میکرومولار باعث تشدید اثرات تیمار قطع آبیاری شد و مانع از بروز اثرات مثبت قارچ شد.

کلیدواژه‌ها: پراکسیداز، شبه مایکوریزا، کاتالاز، کلونیزاسیون، همزیستی.

Effect of Preformormosporaindica and Foliar Application of Salicylic Acid on Morphological Characteristics and Antioxidant Enzymes of Thyme under Irrigation with Holding Condition

Somayeh Mirzaei[1*], Seyed Ataollah Siadat[2], Babak pakdaman sardrod[3], Mohammad Moradi Telavat[4]
1. Ph.D. Candidate, Department of Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
2. Professor, Department of Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
3. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
4. Associate Professor, Department of Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
Received: October 26, 2020 Accepted: February 15, 2021

Abstract
In order to investigate the effect of Piriformospora indica and different levels of salicylic acid on morphological characteristics and activity of antioxidant enzymes of thyme (*Thymus vulgaris* L.) irrigation cut-off stress, an experiment has been conducted in the water year 2016. It has employed a split factorial experiment based on randomized complete block design with four replications in the research farm of Dehloran Agricultural Research Center. The treatments are consisted of four levels of salicylic acid (0, 150, 300, and 600 µm) as foliar application and a mycorrhiza fungus agent at two levels of inoculation and non-inoculation and irrigation cut-off stress at three levels (irrigation at 90%, 50%, and 30% filed capacity). The results of this study show that with increasing irrigation cut-off stress up to 30% filed capacity plant height, total weight of shoot, number of leaves, colonization percentage, and the enzymes Catalase and Peroxidase have decreased. Inoculation and treatment with salicylic acid up to a concentration of 300 µM could significantly reduce the destructive effects of irrigation cut-off stress on these traits. However, increasing the concentration of salicylic acid to the level of 600 µM intensifies the effects of irrigation cut-off stress, preventing the positive effects of the fungus.

Keywords: Catalase, coexistence, colonization, mycorrhiza-like, peroxidase.

* نویسنده مسئول
Email: mirzayi.zeraat@asnrukh.ac.ir

۱. مقدمه

نعناییان یکی از بزرگ‌ترین خانواده های گیاهی است که تنوع زیستی زیادی در سراسر جهان و به‌ویژه نواحی مدیترانه‌ای و مرطوب دارد. گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) یکی از گیاهان تیره نعناع و از مهم‌ترین گیاهان دارویی دنیا بوده که به‌دلیل کاربرد فراوان در صنایع دارویی و غذایی جایگاه ویژه ای را در بین گیاهان دارویی دارد (Naghdi Badi *et al*., 2015). این گیاه ساختار بوته‌ای دارد و دارای ساقه مستقیم و علفی یا چوبی و پرشاخه به ارتفاع ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و در بعضی موارد تا ٤٥ سانتی‌متر است. وزن هزاردانه آن ۰/۲۵ تا ۰/۲۸ گرم است، از کاربردهای اسانس گیاه آویشن می‌توان به فعالیت‌های ضد اسپاسم، آنتی‌اکسیدانت،ضد باکتری،ضد قارچی، ضد رماتیسم و غیره اشاره کرد (Zeghad & Merghan, 2013).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌هایی است که بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه تأثیر گذاشته و موجب کاهش و به تأخیر انداختن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. آویشن نیز مانند بیش‌تر گیاهان نسبت به تنش خشکی عکس‌العمل فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نشان می‌دهد که میزان تأثیر تنش به مدت زمان و اندازه آن بستگی دارد (Babaee *et al*., 2010). طی پژوهشی بر گیاه آویشن باغی مشاهده شد که با اعمال تنش خشکی، از عملکرد بیولوژیکی به‌طور معنی‌داری کاسته شد (Fath & Alimohammdi, 2011).

قارچ *P. indica* متعلق به راسته Sebacinales، رده Hymenomycetes و شاخه بازیدیومایکوتا می‌باشد. این قارچ شبه‌مایکوریزا علاوه بر این‌که سطوح مختلف تنش را تحمل می‌کند تحمل به تنش در گیاه میزبان را افزایش و بنابراین از اثرات تنش می‌کاهد (Varma, *et al*., 2012). نتایج پژوهشی در رابطه با اثر قارچ شبه‌مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی گیاه زوفا تحت شرایط تنش نشان داد که تلقیح مایکوریزایی باعث افزایش عملکرد شد (Shabahang *et al*., 2014).

سالیسیلیک‌اسید یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک یک ترکیب فنلی است که در طبیعت و در برخی بافت‌های گیاهی به فراوانی یافت می‌شود. گیاهان متابولیت‌های ثانویه با ارزش اقتصادی بالا تولید می‌کنند که تولید این ترکیبات همواره تحت تأثیر عوامل مختلف چون عوامل محیطی و ژنتیک قرار می‌گیرد (Aminizade, 2015). افزایش مقاومت گیاهان از راه‌های مختلف شامل به‌نژادی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد عملی است. در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، استفاده از مواد شیمیایی مانند سالیسیلیک‌اسید آسان‌تر و ارزان‌تر است (Khan *et al*., 2015). در همین راستا، طی پژوهشی بر گیاه گندم مشاهده شد که تحت شرایط تیمار قطع آبیاری خشکی، محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید سبب بهبود رشد و تعدیل اثرات مخرب تنش خشکی شد (Mohamed *et al*., 2010).

با توجه به شرایط آب‌وهوایی دهلران و گرایش کشاورزان منطقه به کاشت گیاهان دارویی نظیر آویشن و هم‌چنین وجود شرایط کم‌آبی طی دوره رشد این گیاه، این پژوهش به‌منظور بررسی عوامل تعدیل‌کننده تیمار قطع آبیاری کم‌آبی نظیر تأثیر همزیستی قارچ شبه‌مایکوریزای پریفورموسپورا ایندیکا و سطوح مختلف سالیسیلیک‌اسید هم‌چنین تعیین بهترین اثرات متقابل هر یک از تیمارها در تعدیل اثرات حاصل از قطع آبیاری و ارزیابی مقاومت به قطع آبیاری در گیاه آویشن انجام گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر قارچ شبه مایکوریزای پریفورموسپورا ایندیکا (*Piriformospora indica*) و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسیدسالیسیلیک‌اسید بر عملکرد و

کیفیت آویشن‌باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت سطوح مختلف آبیاری در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در روستای جلیزی در منطقه موسیان با فاصله ۲۵ کیلومتری از شهرستان دهلران با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه، طول جغرافیایی ٤۷ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹ متر به‌اجرا درآمد.

این پژوهش به‌صورت آزمایش اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تیمار قطع آبیاری آب در سه سطح (آبیاری در ۹۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی)، عامل قارچ شبه‌مایکوریزا در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح که این قارچ یکی از قارچ‌های اندوفیت میکوریزا می‌باشد و برخلاف قارچ‌های مایکوریزای آربوسکولار که همزیست اجباری گیاهان میزبان هستند، همزیست اختیاری است و به‌آسانی در محیط‌های کشت در شرایط آزمایشگاهی قابل کشت می‌باشد، سالیسیلیک‌اسید که در چهار غلظت صفر، ۱۵۰، ۳۰۰، ٦۰۰ میکرومولار به‌صورت محلول‌پاشی برگی در سه مرحله رشدی و تا قبل از گلدهی با فواصل ۱۰ روزه صورت گرفت که اعمال اولین مرحله آن دو هفته پس از استقرار گیاهچه در مزرعه (مرحله ۱۰-۱۵ سانتی بوته) انجام گرفت و تمامی گیاهان به‌صورتی‌که تمام سطوح فوقانی و زیرین اندام‌های هوایی کاملاً خیس شوند محلول‌پاشی شد. در زمان اعمال تیمار آبیاری جهت ممانعت از ورود آب باران به واحدهای آزمایش از محافظ نایلونی جهت حفظ تیمار قطع آبیاری خشکی مدنظر استفاده شد. تنش ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌صورتی اعمال شد که میزان رطوبت خاک از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب به ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت یا به‌عبارتی ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی صورت گرفت. پس از تعیین ظرفیت زراعی و درصد تخلیه رطوبت خاک با کمک دستگاه صفحات فشاری و کالیبره‌نمودن دستگاه رطوبت‌سنج با داده‌های حاصل از تعیین بافت و ساختمان خاک در آزمایشگاه، میزان رطوبت خاک در تیمارهای مختلف با استفاده از دستگاه رطوبت سنج به‌طور مرتب اندازه‌گیری شد و نقطه تفاضل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی، به‌عنوان رطوبت قابل‌دسترس در نظر گرفته شد. هر روز درصد حجمی رطوبت خاک تعیین شد و زمان آبیاری تیمارهای مختلف به‌دست آمد. به منظور محاسبه حجم آب آبیاری در هر کرت آزمایشی، آبیاری با استفاده از سیستم تحت فشار مجهز به شیلنگ و کنتور انجام شد.

زمان اعمال تیمار قارچ شبه‌مایکوریزا به هنگام انتقال نشا به زمین اصلی و به‌صورت تلقیح با ریشه‌های گیاهچه بود، به‌طوری‌که به تعداد هر نشا یک عدد بذر جو تلقیح‌شده در کنار هر یک از نشاها قرار داده شد، بذرهای تلقیح‌شده ۱۵ روز قبل از انتقال نشاها به زمین اصلی از آزمایشگاه قارچ‌شناسی گروه گیاهپزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تهیه شد و بعد از مدت دو هفته نشاهای تلقیح‌شده به‌همراه خاک اطراف ریشه به زمین اصلی انتقال داده شد. نشاهای گیاه آویشن‌باغی از رقم واریکو۳ از مرکز جهاد دانشگاهی ایلام تهیه شد. برای اطمینان از وجود یا عدم وجود جمعیت قارچ پریفورموسپور ایندیکا در خاک مزرعه، پیش از کاشت گیاه اصلی چندین نوع گیاه مختلف به‌عنوان نمونه در مزرعه موردنظر کشت شد و سپس درصد کلونیزاسیون این گیاهان محاسبه شد. برای تهیه محلول ، پودر سالیسیلیک‌اسید در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر با غلظت ده برابر نسبت به بیش‌ترین غلظت مورد نظر (٦۰۰ میکرومولار) حل شده و سپس برای تهیه غلظت‌های موردنظر با آب مقطر رقیق‌سازی شد.

قبل از کشت عملیات آماده‌سازی بستر بذر شامل شخم، دیسک‌زدن، تسطیح و مرزبندی مزرعه انجام شد. آزمون خاک اطلاعات جامعی در رابطه با خصوصیات خاک (فیزیکی و

شیمیایی) شامل وضعیت عناصر غذایی (کمبودها و سمیت‌ها)، شوری، اسیدیته، بافت خاک و غیره را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به این‌که آزمون خاک روشی مؤثر برای جلوگیری از کمبود و مسمومیت‌های عناصر غذایی در خاک می‌باشد، یک نمونه مرکب از خاک مزرعه (به‌صورت تصادفی از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک) تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه موردآزمایش قرار گرفت، که نتایج آن در جدول (۱) نشان داده شده است. کوددهی مزرعه با توجه به نتایج آزمایش خاک انجام گرفت. ابعاد هر کرت ۲×۲ متر، فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها از یکدیگر ۱۵ سانتی‌متر و فاصله بلوک‌ها حدوداً یک متر بود. صفات موردمطالعه شامل ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، وزن خشک شاخساره، طول ریشه، درصد اسانس، وزن خشک ریشه، کاروتنوئید، کاتالاز و پراکسیداز و درصد کلونیزاسیون بودند. مقدار کلروفیل و کاروتنوئید بر اساس روش معرفی شده توسط Arnon (1949) با استون ۸۰ درصد استخراج شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالار براساس روش ارائه‌شده توسط Cakmak & Horst (1991) و پراکسیداز براساس روش ارائه‌شده توسط Chance & Mehly (1955) انجام‌گرفت. درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها درصدی از طول ریشه گیاه می‌باشد که کلنی‌دار شده است برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون از روش تقاطع شبکه (Philips & Hayman, 1970) استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری این صفات با نرم‌افزار کامپیوتری SAS انجام گرفت و در صورت معنی‌داربودن اثر عوامل آزمایشی، برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

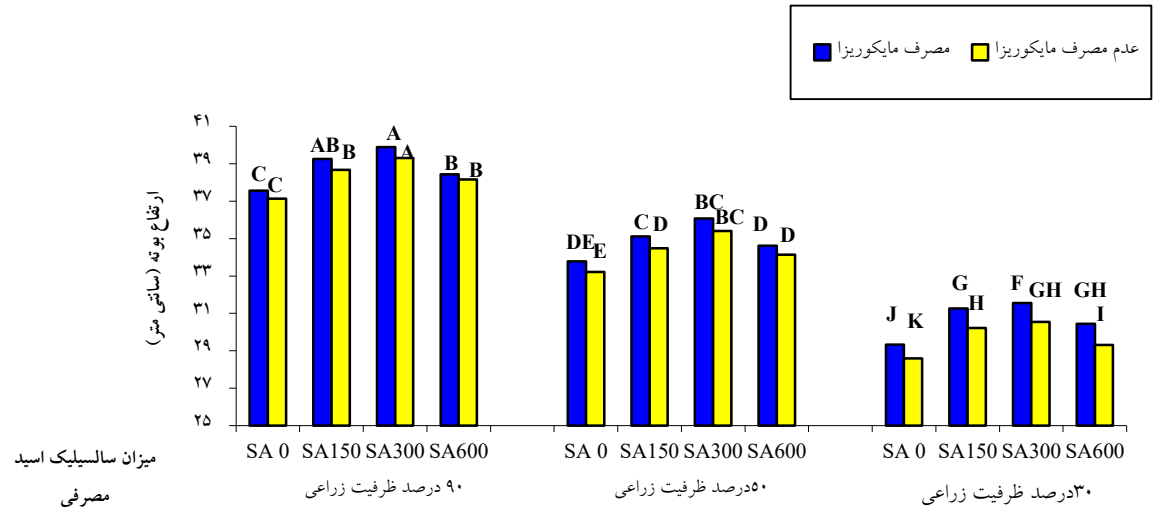
۳. ۱. ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داربودن اثر ساده قطع آبیاری، سالیسیلیک‌اسید و قارچ شبه‌مایکوریزا، اثرات متقابل خشکی و قارچ، خشکی و سالیسیلیک و هم‌چنین اثرات سه‌گانه قطع آبیاری، سالیسیلیک‌اسید و قارچ بر ارتفاع گیاه می‌باشد (جدول ۲). جدول مقایسات میانگین اثرات اصلی نشانگر معنی‌داربودن اثر ساده قطع آبیاری، سالیسیلیک‌اسید و قارچ شبه‌مایکوریزا بر ارتفاع آویشن می‌باشد (جدول ۳). در این آزمایش تیمار سالیسیلیک‌اسید تا غلظت ۳۰۰ میکرومولار در کلیه سطوح آبیاری باعث افزایش ارتفاع بوته شد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک‌اسید از طریق سنتز پروتئین‌های خاصی به نام کیناز که وظیفه تنظیم، تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلولی را بر عهده دارد) فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و تکامل گیاه را تنظیم می‌کند و نقش مؤثری در افزایش ارتفاع در شرایط تنش خشکی دارد (Yadollahi *et al*., 2015). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمامی شرایط آبیاری قارچ باعث افزایش ارتفاع بوته شد، با این‌حال افزایش ارتفاع در اثر اعمال این تیمار قارچی در سطح تیمار قطع آبیاری متوسط بیش‌تر مشهود بود که نشان‌دهنده اثرات مثبت قارچ در شرایط قطع آبیاری می‌باشد.

نتایج پژوهش‌های Shabahng *et al*. (2014) با نتایج این پژوهش مطابقت دارد، آن‌ها در پژوهش‌های خود نشان دادند که بیش‌ترین ارتفاع بوته در گیاه زوفا در اثر تلقیح گیاه با قارچ در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد و دلیل این امر را قدرت جذب بیش‌تر آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر توسط گیاهان تلقیح‌شده با قارچ دانستند (جدول ۵). بررسی اثرات سه‌گانه نشان داد که تلقیح با قارچ شبه‌مایکوریزا در سطح آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار با سالیسیلیک‌اسید ۳۰۰ میکرومولار بیش‌ترین ارتفاع و گیاهان بدون تلقیح در سطح آبیاری ۳۰ در صد ظرفیت زراعی و بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید کم‌ترین ارتفاع را به‌خود اختصاص داده‌اند (شکل ۱).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه پژوهشی

عمق نمونه‌برداری (cm)	نیتروژن (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی	ماده آلی (%)	بافت خاک
۰-۳۰	۰/۰٤	۸/۱	۲۵۹	۷/۱	۳/۹	۰/۵٦	رسی-سیلتی



شکل ۱. اثرات متقابل قطع آبیاری، مصرف سالیسیلیک‌اسید و تلقیح قارچ مایکوریزا بر میزان ارتفاع گیاه

۳. ۲. وزن خشک ریشه

جدول مقایسه میانگین‌ها بیانگر معنی‌داربودن اثرات تیمار قطع آبیاری، سالیسیلیک‌اسید و قارچ شبه‌مایکوریزا بر وزن خشک ریشه گیاه می‌باشد (جدول ۳). این موضوع دلالت بر تأثیر مثبت قارچ بر وزن خشک ریشه در رژیم‌های مختلف آبیاری داشت. با این‌حال، تأثیر مثبت قارچ در رژیم‌های مختلف یکسان نیست و بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر قارچ به‌ترتیب در تیمار قطع آبیاری شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار شاهد (۹۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌دست آمد (جدول ۵). بنابراین این نتایج دلالت بر تأثیر مثبت قارچ بر وزن ریشه در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب دارد که این امر می‌تواند به‌دلیل قابلیت بیش‌تر جذب آب توسط گیاهان تلقیح‌شده با قارچ باشد. در همین راستا، در آزمایشی بر گیاه برنج نتایج مشابهی در رابطه با اثرات مثبت قارچ گزارش شد (Ghabooli *et al.*, 2015). اثر تیمار سالیسیلیک‌اسید بر وزن خشک ریشه گیاه آویشن باغی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). به‌گونه‌ای که در سطح محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار، وزن خشک ریشه به‌ترتیب میزان ۳۱/۱۲ و ۲۰/۱۵ گرم افزایش داشتند. در پژوهشی مصرف غلظت‌های پایین سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش وزن ریشه‌های گیاه گوجه‌فرنگی شد (Shahba *et al.*, 2010). اثر متقابل خشکی و سالیسیلیک‌اسید و هم‌چنین سالیسیلیک و قارچ و اثر متقابل سه‌گانه قطع آبیاری با سالیسیلیک‌اسید و قارچ بر وزن خشک ریشه از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات پروکسیداز، کاتالاز، درصد اسانس، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، کاروتنوئید، طول ریشه، تعداد شاخه جانبی، وزن هزاردانه، کلونیزاسیون و ارتفاع گیاه تحت تأثیر سالیسیلیک‌اسید و مایکوریزا تحت شرایط قطع آبیاری بر روی آویشن باغی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع گیاه	کلونیزاسیون	وزن هزاردانه	تعداد شاخه جانبی	طول ریشه	کاروتنوئید
تکرار	۳	۰/۰۷ ns	۰/۰۲**	۰/۰۰۳ **	۰/۳۹**	۱۳/۸۷*	۰/۰۵*
قطع آبیاری	۲	۵٦٤/۲٦ **	۳۵۲/۷٤**	۳/۰٦ **	۲۵/۰۷**	۱۱٦/۳**	۱٦/۳۹*
تکرار × قطع آبیاری	٦	۰/۰۹ ns	۰/۳ **	۰/۰۰٦**	۰/۱۸*	۰/۰٤۱**	۰/۷٦ ns
سالیسیلیک اسید	۳	۲۱/۰۷ **	۹۷/٤**	۱/۹٤ **	۲۲/۲٤ns	۹/۵٦**	۳/۵۹**
مایکوریزا	۱	۱۱ **	۹٦۷/۵٤**	۰/۹٦ **	۲۰/۸۳ns	۲۵/۷۱ *	۰/۰۹ *
قطع آبیاری × سالیسیلیک اسید	٦	۰/۱۵ *	۳**	۰/۰۲٤ns	۰/۲٤ *	۰/۰٦**	۰/۰٤**
قطع آبیاری × مایکوریزا	۲	۰/۵۵*	۳/۲۳ ns	۰/۰۲۱**	۰/۵ ns	۰/۱۹*	۰/۰٦ ns
سالیسیلیک‌اسید× مایکوریزا	۳	۰/۰٤*	۱/۳ *	۰/۰۱۲ns	۰/۵۹ ns	۰/۰۷ ns	۰/۰۰۲ns
سالیسیلیک‌اسید× مایکوریزا× قطع آبیاری	٦	۰/۰۳ *	۲/٦٦ns	۰/۰۱۲ns	۰/۳۳ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۱٤ns
خطا	٦۳	۰/۰۳٦	۲/٦۲	۰/۰۰۰۵	۰/۲٦	۰/۱	۰/۰۵
ضریب تغییرات (%)	–	۱۱/۳۵	۸/۳۲	۷/۱۸	٦/۵	۸/۰۸	۹/۷

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات پروکسیداز، کاتالاز، درصد اسانس، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، کاروتنوئید، طول ریشه، تعداد شاخه جانبی، وزن هزاردانه، کلونیزاسیون و ارتفاع گیاه تحت تأثیر سالیسیلیک‌اسید و مایکوریزا تحت شرایط قطع آبیاری بر روی آویشن باغی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	درصد اسانس	کاتالاز	پروکسیداز
تکرار	۳	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۱	۹/۷۲**	۰/۰۲ ns
قطع آبیاری	۲	۱۳/۸۷**	۲٦۱/۱۳**	۰/۳۷۵**	۹/٤۵**	۸/۷۱**
تکرار× قطع آبیاری	٦	۰/۰٤*	۰/۱**	۰/۰۰۲	۱/٤٦**	۰/۱۵ *
سالیسیلیک اسید	۳	۵/۷۷*	۱٤/۹۳**	۰/۱۸۷**	۱/۸۹**	۱۳/۷۸**
مایکوریزا	۱	۲۷/۰٤*	۰/۰۰۱ *	۰/۱٦۲ **	۹/۸۸**	۰/۰۵ *
قطع آبیاری× سالیسیلیک اسید	٦	۰/۰۲ ns	۰/۹۲**	۰/۰۰۱**	۸/٤۸ns	۲/٦٤ns
قطع آبیاری× مایکوریزا	۲	۰/۰۱*	۰/۲٤ **	۰/۰۰۰٤ns	۳/۷۵*	۰/۰۱ *
سالیسیلیک‌اسید× مایکوریزا	۳	۰/۱۱ ns	۱/۵ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۳/۰۹ns	/۱۷۱ns
سالیسیلیک‌اسید× مایکوریزا× قطع آبیاری	٦	۰/۰۰٤ *	۲/۲۲ **	۰/۰۰۱۸ ns	۱/۷۷ns	۰/۱۷۷ns
خطا	٦۳	۰/۰۱	۰/۱٦	۰/۰۰۱۱	٤/٤۹	۰/۰۲
ضریب تغییرات (%)	–	۱۰/٦۹	۱۰/۸	۵/۳٤	۹/۰۲	۸/۹۵

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۳. مقایسات میانگین اثرات اصلی سالیسیلیک‌اسید، مایکوریزا و تیمار قطع آبیاری و خصوصیات مورفولوژیکی آویشن

تیمارها	سطوح	خصوصیات مورد بررسی					
		ارتفاع گیاه (cm)	کلونیزاسیون (%)	وزن هزاردانه (gr)	تعداد شاخه جانبی	طول ریشه (cm)	کاروتنوئید (mg/g.fw)
سالیسیلیک‌اسید	صفر میکرومولار	۳٤/۲۱ D	۵۱/٦٤ B	۰/۱۱۹ D	۲۳/٦۱ C	۲۰/۱۹ C	٤/۸۳ C
	۱۵۰ میکرومولار	۳۹/٤ B	۵۳/٤۷ A	۰/۱٦۱ B	۲۵/۱۸ B	۲۱/٦٦ B	۵/۹۳ B
	۳۰۰ میکرومولار	٤۱/۵۲A	۵٦/۳۳ A	۰/۱۷۲ A	۲۹/۳۳ A	۲۳/۵ A	۷/۲٤ A
	٦۰۰ میکرومولار	۳۷/۳٤ C	٤۲/٦۲ C	۰/۱۲٤ C	۲٤/۹۱ B	۲۱/۹۲B	٤/۵ C
قطع آبیاری	۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۳۸/۵۵ A	۵٤/٦۳ A	۰/۱۸۳ A	۲۵/٤A	۱٦/۰۸ C	۷/٤۳ A
	۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۳٤/٦ B	۵۲/۲B	۰/۱٦۱ B	۲٤/۸ B	۲۱/۸٦ B	٦/۵۹ A
	۳۰ درصد ظرفیت زراعی	۳۰/۱۵ C	٤۸/۰٦ C	۰/۱۲٤ C	۲۳/٦ C	۲۷/۸۹ A	۳/۰٦ B
کود زیستی	عدم تلقیح	۳۳/٦۹ B	۵۳/٤۹ B	۰/۱۲ B	۲۳/۲٦ B	۲۱/۷۳ B	٤/۳۹ B
	تلقیح	٤۰/۷۷ A	۵٤/۵۱ A	۰/۱۸ A	۲۵/۳۹ A	۵۰/٦۹ A	٦/۵٤ A

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

ادامه جدول ۳. مقایسات میانگین اثرات اصلی سالیسیلیک‌اسید، مایکوریزا و تیمار قطع آبیاری و خصوصیات مورفولوژیکی آویشن

تیمارها	سطوح	خصوصیات مورد بررسی				
		وزن خشک شاخساره (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	درصد اسانس (%)	کاتالاز (µgr.protien/permin)	پروکسیداز (µgr.protien/permin)
سالیسیلیک‌اسید	صفر میکرومولار	۵/٤۵ D	۱۳/٦۱D	۰/٤۵ D	۰/۰۰۱۱ C	۰/۰۰۱۹ C
	۱۵۰ میکرومولار	۵/۹۷ B	۱٦/۷۸ B	۰/۵۷ B	۰/۰۰۱۵ B	۰/۰۰۲۲ B
	۳۰۰ میکرومولار	۷/۸۳ A	۲۰/۱۵ A	۰/٦۲A	۰/۰۰۱۷A	۰/۰۰۲۵ A
	٦۰۰ میکرومولار	۵/۵۳ C	۱۵/۲۳ C	۰/۵۵ C	۰/۰۰۱۵ B	۰/۰۰۲۵ A
قطع آبیاری	۹۰ درصد ظرفیت زراعی	٦/۳٤A	۸/۲۱ C	۰/٤۵ C	۰/۰۰۱۲ B	۰/۰۰۱٦ C
	۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۵/۱۲ B	۱۹/٦۲ B	۰/٦۲ A	۰/۰۰۱٤ A	۰/۰۰۲٤ B
	۳۰ درصد ظرفیت زراعی	٤/۸۷ C	۲۵/۸ A	۰/۵٦ B	۰/۰۰۱ C	۰/۰۰۳۱ A
کود زیستی	عدم تلقیح	٤/۲۱ B	۱۱/۲۵ B	۰/۵۹ A	۰/۰۰۰۵ B	۰/۰۰۰٤ B
	تلقیح	٦/٦۳ A	۱۷/۰۹ A	۰/۵ B	۰/۰۰۱۷ A	۰/۰۰۱٤ A

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

۳. ۳. طول ریشه

اثر متقابل سه‌گانه قطع آبیاری با سالیسیلیک‌اسید و قارچ بر رشد طولی ریشه تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیش‌ترین طول ریشه در شرایط تلقیح با قارچ در سطح آبیاری ۳۰ درصد و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در غلظت ۳۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۲).

کم‌ترین مقدار طول ریشه نیز در شرایط بدون تلقیح در سطح آبیاری ۹۰درصد و تیمار بدون سالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد. در این پژوهش به‌نظر می‌رسد که تیمار با غلظت بالای سالیسیلیک‌اسید باعث کاهش توانایی *P. indica* برای کلونیزاسیون با گیاه آویشن از طریق کاهش قطر هیف شده است، درنتیجه تأثیرات مفید قارچ میکوریزا را درافزایش رشد طولی ریشه گیاهان میکوریزی کاهش داده است. Ozgonen *et al.* (2011) نیز بیان نمودند که حضور غلظت بالای سالیسیلیک‌اسید و تلقیح با میکوریزا باعث کاهش طول ریشه در گوجه‌فرنگی نسبت به عدم حضور سالیسیلیک‌اسید و تلقیح با میکوریزا شد.

جدول ٤. مقایسات میانگین اثرات متقابل سالیسیلیک‌اسید و قطع آبیاری بر عناصر غذایی و خصوصیات مورفولوژیکی آویشن

تیمارها		خصوصیات مورد بررسی					
قطع آبیاری	سالیسیلیک‌اسید	ارتفاع گیاه (cm)	کلونیزاسیون (%)	وزن هزاردانه (gr)	تعداد شاخه جانبی	طول ریشه (cm)	کاروتنوئید (mg/g.fw)
	صفر میکرومولار						
۹۰ درصد	۱۵۰ میکرومولار	۳۸/۹٦B	٤٥/۹۷ B	۰/۱۷۲ A	۲٥/۰۱ A	۲۰/۷۸ B	٥/۳٤ B
ظرفیت زراعی	۳۰۰ میکرومولار	۳۹/٥۹ A	٦٦/۸۸ A	۰/۱۷٦ A	۲٦/۲۲ A	۲۱/۷۱ A	٥/۹۹ A
	٦۰۰ میکرومولار	۳۸/۲۹ C	٤۲/۲۱ G	۰/۱٥۹ A	۲٦/۰۹ A	۲۲/۱٤ A	٥/۲٤ B
	صفر میکرومولار	۳۳/٥I	٤۲/۷۳ F	۰/۱٥۱A	۲۳/۹ B	۲۲/٦۹ A	٤/۷۹ D
٥۰ درصد	۱٥۰ میکرومولار	۳٤/۸F	٤۲/۹۹ E	۰/۱٦٦A	۲٤/۰۳ A	۲۳/۳٤ A	٥/۱٤ C
ظرفیت زراعی	۳۰۰ میکرومولار	۳٥/۷٤E	٤۳/۸٥ C	۰/۱٦۸ A	۲٥/۸۸ A	۲۳/۲۷ A	٥/٦۳ A
	٦۰۰ میکرومولار	۳٤/۳۷ H	۳۹/۲۲ I	۰/۱٥۳ A	۲٥/۷۲ A	۲٤/۱۸ A	٤/۸۱D
	صفر میکرومولار	۲۸/۹٦ M	٤۸/۳۲ K	۰/۱۳۸ B	۲۲/٦۱B	۲٤/٥۲ A	۳/۷۷F
۳۰ درصد	۱٥۰ میکرومولار	۳۰/۷٤K	۳۸/۹٥ J	۰/۱٥۲ A	۲۳/۲ B	۲٥/٤٤A	٤/۱٦ E
ظرفیت زراعی	۳۰۰ میکرومولار	۳۱/۰٤J	۳۹/۸ H	۰/۱٥٦ G	۲٤/۷ A	۲٥/٤۲ A	٤/٦ D
	٦۰۰ میکرومولار	۲۹/۸۷ L	۳٥/۱۸ L	۰/۱٤ K	۲٤/۲٥ A	۲۳/٦۹ A	۳/۷۱ F

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥ درصد باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

ادامه جدول ٤. مقایسات میانگین اثرات متقابل سالیسیلیک‌اسید و قطع آبیاری بر عناصر غذایی و خصوصیات مورفولوژیکی آویشن

تیمارها		خصوصیات مورد بررسی				
قطع آبیاری	سالیسیلیک‌اسید	وزن خشک شاخساره (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	درصد اسانس (%)	کاتالاز (µgr.protien/permin)	پروکسیداز (µgr.protien/permin)
	صفر میکرومولار					
۹۰ درصد	۱٥۰ میکرومولار	٥/۸ B	۱۱/٤۳ A	۰/٥٥C	۰/۰۰۱٤ D	۰/۰۰۱٥٥ J
ظرفیت زراعی	۳۰۰ میکرومولار	٦/۳۹ A	۱۲/٥۲ A	۰/٤۷D	۰/۰۰۱٥C	۰/۰۰۱۹ G
	٦۰۰ میکرومولار	٥/۲۷ C	۱۰/۹ B	۰/٤۲E	۰/۰۰۱٤ D	۰/۰۰۱۹ G
	صفر میکرومولار	٤/۰٤ F	۱٤/۰۳ A	۰/٥٥C	۰/۰۰۱٦ B	۰/۰۰۲ F
٥۰ درصد	۱٥۰ میکرومولار	٥/۱٤ C	۱٤/۱۱A	۰/۷۱A	۰/۰۰۱٦ B	۰/۰۰۱۸ H
ظرفیت زراعی	۳۰۰ میکرومولار	٥/٥ B	۱٥/۳٦ A	۰/٤۸D	۰/۰۰۱۷ A	۰/۰۰۲۱ E
	٦۰۰ میکرومولار	٤/٥٦ E	۱٤/٦٦ A	۰/٦٥A	۰/۰۰۱٤ D	۰/۰۰۲۱ E
	صفر میکرومولار	۳/۷۳ G	۱٦/۱٤ A	۰/٤٦E	۰/۰۰۱۲ F	۰/۰۰۲۲ C
۳۰ درصد	۱٥۰ میکرومولار	٤/٤۸ E	۱۷/۱۷ A	۰/٦۲B	۰/۰۰۱۳ E	۰/۰۰۲ F
ظرفیت زراعی	۳۰۰ میکرومولار	٥/۰۸ D	۱۸/۲٥ A	۰/٦٦A	۰/۰۰۱٤ D	۰/۰۰۲٤ B
	٦۰۰ میکرومولار	۳/۸۷G	۱٦/٤٤ A	۰/٥٤C	۰/۰۰۱۳ E	۰/۰۰۲٤٥ A

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥ درصد باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. مقایسات میانگین اثرات متقابل قطع آبیاری و کود زیستی بر عملکرد کیفی آویشن.

تیمارها		خصوصیات مورد بررسی				
کود زیستی	قطع آبیاری	ارتفاع گیاه	کلونیزاسیون	وزن هزاردانه	تعداد شاخه جانبی	طول ریشه
عدم تلقیح	۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۳۸/۳۱B	۱۳/۰۹D	۰/۱۶۲B	۲۵/۰۶C	۲۰/٤۷B
	۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۳٤/۳۱D	۱۰/۲٦E	۰/۱۵٦C	۲٤/۲۸D	۲۲/۳۸A
	۳۰ درصد ظرفیت زراعی	۲۹/٦۷F	۵/۰۱F	۰/۱٤٤E	۲۳/۲٦ F	۲٤/٤۲A
تلقیح	۹۰ درصد ظرفیت زراعی	٤۱/۷۸ A	۵۸/۱٦ A	۰/۱٦۹ A	۲۵/۷۸ A	۳۲/٦۹ A
	۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۳۹/۸۹C	۵۵/۱٤B	۰/۱٦۳ B	۲۵/٤۹ B	٤۰/۳٤ A
	۳۰ درصد ظرفیت زراعی	۳۸/٦٤ E	۵۱/۱۱ C	۰/۱۵ D	۲٤/۱۲ E	۵۲/۳٦ A

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

ادامه جدول ۵. مقایسات میانگین اثرات متقابل قطع آبیاری و کود زیستی بر عملکرد کیفی آویشن.

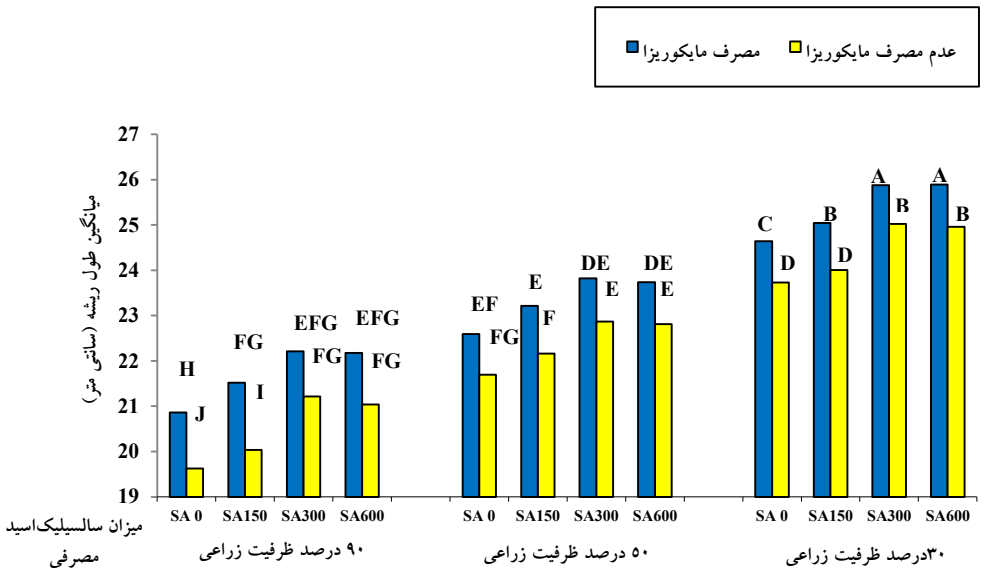
تیمارها		خصوصیات مورد بررسی				
کود زیستی	قطع آبیاری	کاروتنوئید	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	کاتالاز	پروکسیداز
عدم تلقیح	۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۵/۳۵A	۵/٦٤B	۱۱/ ۲۳E	۰/۰۰۱۲D	۰/۰۰۱۷ I
	۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۵/۰۹A	٤/۸C	۱٤/۵۳C	۰/۰۰۱٤ B	۰/۰۰۱۹D
	۳۰ درصد ظرفیت زراعی	٤/۰٦B	٤/۲D	۱٦/۱۵B	۰/۰۱۲۵D	۰/۰۰۲۲B
تلقیح	۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۵/۵۲ A	٦/٦ A	۱۱/۳۸D	۰/۰۰۱۳ C	۰/۰۰۱۸E
	۵۰ درصد ظرفیت زراعی	A۵/۱	B۵/۹	C۱٤/۵۵	A۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۱C
	۳۰ درصد ظرفیت زراعی	٤/۰٦ B	۵/۲ B	۱۷/۱ A	۰/۰۰۱۲۹ D	۰/۰۰۲۳ A

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

۳. ٤. تعداد ساقه جانبی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌داربودن اثر قطع آبیاری، قارچ *P. indica* و سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل قطع آبیاری با قارچ شبه‌مایکوریزا بر تعداد شاخه جانبی بود (جدول ۲). سومین سطح محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید (۳۰۰ میکرومولار) با تولید ۲۹/۳۳ شاخه بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی را در بین تیمارها به‌خود اختصاص داد و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد (غلظت صفر) مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک‌اسید با متعادل‌کردن وضعیت هورمونی گیاه باعث افزایش میزان اکسین و سیتوکینین می‌شود و از این طریق تقسیم سلولی را درون مریستم رأسی گیاه‌چه افزایش می‌دهد و باعث افزایش شاخه جانبی در گیاه می‌شود (Bayat *et al.*, 2011).

مقایسه میانگین سطوح قطع آبیاری با قارچ شبه‌مایکوریزا نشان داد که با افزایش سطح تنش ، قارچ از کاهش تعداد شاخه‌های جانبی جلوگیری کرده و در بالاترین سطح تنش (تیمار قطع آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) باعث افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های جانبی در مقایسه با عدم تلقیح می‌شود. تلقیح با قارچ مایکوریزا، شاخص‌های رشد رویشی گیاه نخود را در شرایط تنش در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده به‌طور معنی‌داری افزایش داد و باعث افزایش تعداد شاخه‌های جانبی این گیاه شد (Garg & Chandel, 2011). اثر متقابل خشکی و سالیسیلیک و اثر سه گانه قطع آبیاری با سالیسیلیک‌اسید و قارچ بر تعداد شاخه‌های جانبی از لحاظ آماری معنی‌دار نشد.



شکل ۲. اثرات متقابل قطع آبیاری، مصرف سالیسیلیک و تلقیح قارچ مایکوریزا بر رشد طولی ریشه گیاه

۳.۵. وزن خشک شاخساره

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر قطع آبیاری، سالیسیلیک‌اسید و قارچ شبه‌مایکوریزا و هم‌چنین اثر متقابل خشکی و قارچ شبه‌مایکوریزا بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار گردید (جدول ۲). طبق مشاهدات افزایش غلظت سالیسیلیک‌اسید تا ۳۰۰ میکرومولار توانست وزن خشک شاخساره را افزایش دهد (جدول۳)، که این افزایش مشاهده‌شده را می‌توان به بهبود فتوسنتز در اثر کاربرد غلظت مناسب سالیسیلیک‌اسید نسبت داد، این ماده از طریق افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش کلروفیل، فتوسنتز کل را افزایش می‌دهد (Habibi, 2012). تأثیر اعمال تیمار قارچ بر وزن خشک شاخساره درتمامی سطوح آبیاری مشهود بود با این وجود بالاترین میزان در تیمار تلقیح قارچ در شرایط عدم تنش مشاهده شد (جدول ۵). افزایش مشاهده‌شده در وزن خشک گیاه تلقیح‌شده با قارچ پریفورموسپورا ممکن است با افزایش جذب آب و محتوای نسبی آب مرتبط باشد و هم‌چنین می‌تواند به‌دلیل جذب بهتر و بیش‌تر عناصر غذایی، افزایش میزان محتوای کلروفیل برگ و نقش فعال‌تر واکنش نوری در شرایط تلقیح باشد (Soltanian & Tadayyon, 2016). سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر این صفت معنی‌دار نشد.

۳.۶. وزن هزاردانه

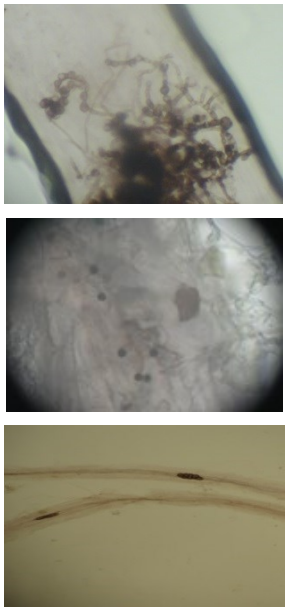
نتایج جدول تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داربودن سطوح مختلف قطع آبیاری، سالیسیلیک‌اسید و قارچ پریفورموسپوراایندیکا و اثر متقابل قطع آبیاری و قارچ شبه‌مایکوریزا بر وزن هزاردانه گیاه آویشن بود. درحالی‌که دیگر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر این میزان معنی‌دار نشد (جدول ۲). در این آزمایش قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار در میزان وزن هزاردانه گیاه شد، درحالی‌که محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید تا غلظت ۳۰۰ میکرومولار باعث افزایش وزن هزاردانه گیاه شد (جدول ۳). نتایج این بررسی نشان داد با اعمال تیمار قطع آبیاری در این گیاه وزن هزاردانه کاهش یافت، اما کاربرد قارچ شبه‌مایکوریزا توانست وزن هزاردانه‌ی گیاه آویشن را در شرایط قطع آبیاری افزایش دهد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد در این آزمایش با تلقیح

گیاه‌چه‌ها به‌وسیله قارچ شبه‌مایکوریزا جذب عناصر غذایی از خاک بیش‌تر شده و باعث افزایش شاخص سطح برگ، افزایش فتوسنتز و طول دوره پرشدن دانه شده و با افزایش تجمع ماده خشک وزن هزاردانه نیز افزایش داشته است.

۳. ۷. کلونیزاسیون

تصاویر به‌دست‌آمده از بررسی میکروسکوپی ریشه نشان داد که قارچ قابلیت جوانه‌زنی و فعالیت در ریشه آویشن‌باغی را دارد و کلامیدوسپورهای قارچ تقریباً در بیش‌تر نقاط ریشه دیده شدند، به‌طوری‌که تعداد انبوهی از ریسه‌های قارچ و اندامک‌های کروی در سطح خارجی و بخش کورتکس ریشه مشاهده شد (شکل ۳).

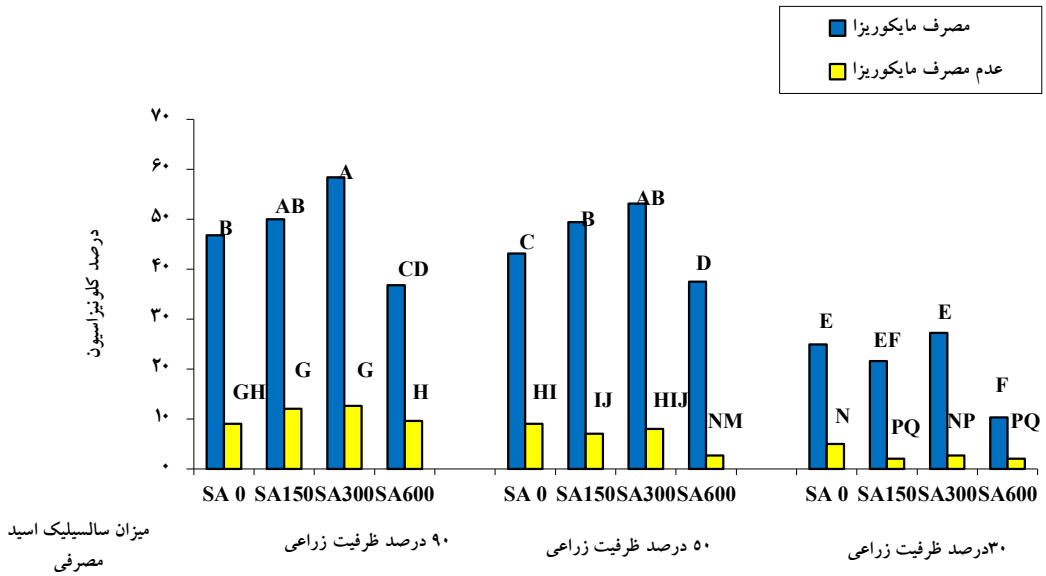
کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون با افزایش سطح تنش احتمالاً به‌علت کاهش در تندش و رشد هیف می‌باشد مرحله مهم‌تر از تندش اسپور، رشد هیف حاصل از تندش است که نقش اساسی در کلونیزاسیون ریشه ایفا می‌کند. ظاهراً رشد هیف بیش‌تر از تندش اسپور تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد (Mazaraie *et al*., 2017). در این آزمایش اثر متقابل بین سالیسیلیک‌اسید و خشکی بر صفات کلونیزاسیون معنی‌دار شد (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار با سالیسیلیک ۶۰۰ میکرومولار در تیمار قطع آبیاری شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) باعث کاهش شدید درصد کلونیزاسیون شد. درواقع سالیسیلیک‌اسید در این شرایط باعث کاهش کلونیزاسیون ریشه آویشن شده است. اثر متقابل سه‌گانه بین خشکی، سالیسیلیک‌اسید و قارچ نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین کلونیزاسیون مربوط به تلقیح قارچ در سطح آبیاری شاهد (بدون تنش) و تیمار سالیسیلیک‌اسید ۳۰۰ میکرومولار و کم‌ترین میزان مربوط به گیاهان بدون تلقیح بود (شکل ٤). این نتیجه با یافته‌های Ansari *et al.* (2016) مطابقت داشت.



شکل ۳. کلامیدوسپور داخل سلولی قارچ پریفورموسپوراایندیکا در کورتکس ریشه

۳. ۸. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

اثر قطع آبیاری بر میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). به‌طوری‌که در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی میزان آنزیم کاتالاز و پروکسیداز افزایش پیدا کرد، اما با قطع آبیاری در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی از میزان آنزیم کاتالاز کاسته شد و بالاترین میزان آن در تیمار دوم قطع آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) با میانگین ۰/۰۰۱٤ مشاهده شد. بالاترین میزان آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار قطع آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۰/۰۰۳۱ بود. که این افزایش تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد (آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) نشان داد. در هنگام قطع آبیاری به‌دلیل محدودشدن جذب و تثبیت CO_2 و افزایش فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو تنفس نوری افزایش می‌یابد، که این امر منجر به افزایش تولید H_2O_2 می‌شود، آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در حذف این H_2O_2 نقش مهمی ایفا می‌کنند (Habibi, 2010).



شکل ٤. اثرات متقابل قطع آبیاری، مصرف سالیسیلیک و تلقیح قارچ مایکوریزا بر کلونیزاسیون

سازوکار قارچ *P. indica* بر سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان تلقیح‌شده تحت تیمار قطع آبیاری شناخته‌شده نیست، اما به‌نظر می‌رسد که قارچ به‌طور مستقیم باعث خنثی‌کردن فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه می‌شود. محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بر میزان آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد گذاشته است (جدول ۲). محلول‌پاشی باعث افزایش میزان آنزیم‌های مذکور می‌شود، به‌طوری‌که محلول‌پاشی تا سطح ۳۰۰ میکرومولار باعث افزایش آنزیم کاتالاز و پراکسیداز به میزان ۰/۰۰۱۷ و ۰/۰۰۲۵ نسبت به تیمار شاهد شد.

در غلظت ٦۰۰ میکرومولار سالیسیلیک‌اسید باعث کاهش میزان و فعالیت آنزیم کاتالاز شد. اثر مهارکنندگی کاتالاز توسط غلظت‌های بالای سالیسیلیک‌اسید در بسیاری از گونه‌های گیاهی دیگر نیز مانند سیب زمینی به اثبات رسیده است (Ahmed, 2010). احتمال می‌رود کنترل سالیسیلیک‌اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌تواند از طریق افزایش موقتی و گذرای آبسیزیک‌اسید ناشی از سالیسیلیک‌اسید باشد (Alyemeni *et al*., 2014). براساس نتایج این پژوهش، همزیستی با قارچ پریفورموسپوراایندیکا سیستم آنتی‌اکسیدانت گیاه را فعال کرد. بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز و پروکسیداز در برگ گیاهان تلقیح‌شده با قارچ در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با گیاهان تلقیح‌نشده داشته است (جدول ٤).

۳.۹. کاروتنوئید

تیمار قطع آبیاری، سالیسیلیک‌اسید، قارچ و هم‌چنین اثر متقابل قطع آبیاری و سالیسیلیک‌اسید تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان کاروتنوئید گیاه آویشن باغی داشت (جدول ۲). در این آزمایش تلقیح با قارچ میزان کاروتنوئید افزایش داد (جدول ۳). بنابراین به‌نظر می‌رسد این افزایش راه‌کاری در جهت مقاومت به تیمار قطع آبیاری باشد در واقع *P. indica* با ایجاد تغییراتی در سلول‌ها از کاهش کلروپلاست در شرایط تنش جلوگیری می‌کند. اثر متقابل تیمار قطع آبیاری و سالیسیلیک‌اسید بر میزان کاروتنوئید گیاه

در سطح یک درصد معنی‌دار شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و سومین سطح از غلظت سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک‌اسید از طریق تأثیر مثبت بر شاخص‌های رشد، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل- کاروتنوئید) استحکام غشا و در نتیجه کاهش درصد نشت الکترولیتی باعث کاهش اثرات تیمار قطع آبیاری شده است (Moein & Shariait, 2011).

۳. ۱۰. درصد اسانس

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر متقابل تیمار قطع آبیاری و سالیسیلیک‌اسید، بر صفت درصد اسانس درسطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین درصد اسانس از اثر متقابل سطح دوم تیمار قطع آبیاری و سطح سوم سالیسیلیک‌اسید و کم‌ترین آن از اثر متقابل سطح اول تیمار قطع آبیاری و سطح اول سالیسیلیک‌اسید حاصل شد (جدول ٤). براساس فرضیه موازنه رشد- تمایز، تا زمانی که شرایط محیطی (عدم وجود عوامل تنش‌زا در محیط اطراف گیاه) اجازه تقسیم و گسترش سلولی را بدهد کربوهیدرات صرف رشد گیاه می‌شود. اما با وقوع تنش فرایند رشد متوقف شده، سلول‌ها تمایز یافته و مخازن متابولیت‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند و گیاه کربن را به تولید مواد مؤثره دارویی اختصاص می‌دهد (Mazaraie *et al*., 2017).

براساس نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۳) اعمال تیمار مایکوریزیی موجب کاهش درصد اسانس گیاهان مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی شد، دلیل این امر می‌تواند بهبود وضعیت آبی گیاهان مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی و اختصاص بخش بیش‌تر فتوآسیملات‌ها برای رشد گیاه باشد (Ghabooli *et al.*, 2015).

٤. نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، با افزایش شدت تنش قطع آبیاری رشد رویشی گیاه کاهش یافت. تلقیح با قارچ پریفورموسپوراایندیکا در کنار تیمار با غلظت مناسب سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش برخی صفات نسبت به شرایط بدون تلقیح و بدون تیمار با اسید شد، اما نسبت به شرایط تلقیح با قارچ شبه‌مایکوریزا و عدم کاربرد سالیسیلیک‌اسید صفات موردبررسی را کاهش داد که این حالت نشان‌دهنده عدم وجود اثر افزایشی بین مایکوریزا و غلظت‌های بالای سالیسیلیک‌اسید است. در بین تیمارهای سالیسیلیک‌اسید غلظت متوسط یعنی ۳۰۰ میکرومولار تأثیر مثبتی بر افزایش تحمل به تنش قطع آبیاری داشت و ازآنجایی‌که این ماده از تنظیم‌کننده‌های رشد است. از این‌رو، در غلظت‌های زیاد و کم ممکن است عملکرد را کاهش دهد. به‌طورکلی، در این گیاه صفات مورفولوژیکی از قطع آبیاری تأثیر منفی گرفته و در این زمینه کاربرد الیستورهای زیستی مانند سالیسیلیک‌اسید در غلظت‌های مناسب و هم‌چنین به‌کارگیری قارچ‌های همزیستی مانند *P. indica* با تعدیل اثرات تخریبی تنش هم‌چون کاهش وزن هزاردانه، کاهش وزن تر و خشک شاخساره و کاهش تعداد شاخه جانبی و بهبود وضعیت فیزیولوژیکی گیاه می‌تواند باعث افزایش مقاوت گیاه آویشن‌باغی به تنش و افزایش عملکرد گیاه در شرایط قطع آبیاری شود.

٥. تشکر و قدردانی

از زحمات بی‌شائبه آقای کاظم مرادی دانشجوی دکترای روزانه زراعت گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه سیستان و بلوچستان، تقدیر و تشکر می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Ahmed S. M., (2010). Effects of salicylic acid, ascorbic acid and two fungicides in control of early blight disease and some physiological components of two varieties of potatoes. *Journal Agricultural Research*, Kafer El-Shiekh University, *36*(2), 220-237.

Alyemeni, M. N., Hayat, Q., Wijaya, L., & Hayat, S. (2014). Effect of salicylic acid on the growth, photosynthetic efficiency and enzyme activities of leguminous plant under cadmium stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. *42*, 440-445.

Aminizade, A. (2015). *The effect of salicylic acid and different irrigation regimes on the growth, yield and yield components of maize single cross 704*. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, University of Shahid bahonar Kerman, Iran. (in Persian).

Ansari, A., Razmjoo, J., & Karimmojeni, H. (2016) Mycorrhizal colonization and seed treatment with salicylic acid to improve physiological traits and tolerance of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) plants grown under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum 38*(2), 34 DOI: 10.1007/s11738-015-2054-x

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast. Polypheol oxide in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*, 1-15.

Babaee, K., AminiDehaghi, M., ModaresSanavi, S.A.M., & Jabbari, R. (2010) Water deficit effect onmorphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *26*(2), 239-251. (In Persian). DOI: 10.22092/IJMAPR.2010.6939

Bayat, H., Mardani, H., Arouie, H., & Salahvarzi, Y. (2011) Effects of salicylic acid on morphological andphysiological characteristics of cucumber seedling (*Cucumis sativus* cv. *Super Dominus*) under drought stress. *Journal of Plant Production*, *18*, 125-135.

Cakmak, I., & Horst, W. ()1991. Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glysin max*). *Plant Physiology*, 83, 463-468.

Chance, B., & Maehly, A.C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymologist*, *11*, 764-755. DOI: 7.107860. 2017.ijmapr/22092.1.

Fath, A., & Alimohammadi, R. (2011). Evaluation of drought and salinity on the germination herb thyme (*Thymus vulgaris* L.). Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development (Opportunities and Challenges Ahead). 2-3 March, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran. (In Persian).

Garg, N., & Chandel, Sh. (2011) Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixationand nutrient uptake in (*Cicer arietinum* L.) under salt stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *35*, 205-214.

Ghabooli, M., Hosseini Salekdeh, Gh., & Sepehri, M. (2015). The effect of mycorrhiza-like Fungi *Piriformospora indica* on some morphophysiological traits of rice under normal and drought stress conditions. *Plant Production Technology*, *15*(1), 59-69. (in persian)

Habibi, G. (2012). Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. *Acta Biologica Szegediensis*, *56*(1), 57-63.

Khan, M. I., Fatma M, Per, T.S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 462. DOI:10.3389/fpls.2015.00462.

Mazaraie, A., Sirousmehr, A.R., & Babaei, Z. (2017). Effect of mycorrhizal fungi on some morphological and physiological charactristics of Milk thistle (*Silybum marianum* L.) Gaertn under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*(4), 620-635. (in Persian).

Moein, M., & Shariait, M., (2011). Effect of salicylic acid and salt stress on growth (cell division), photosynthetic pigments and beta-carotene content of unicellular alga Dunaliella salina Teod. *Iranian Journal of Biology*, *23*(5), 638-647. (in Persian).

Mohamed, A., Tayeb, E.L., & Naglaa, A. (2010). Response of wheat cultivars to drought and salicylic acid. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, *3*(1), 01-07.

Naghdi Badi, H., Labbafi, M., Qavami, N., Qaderi, A., Abdossi, V., Agharebparast, M., & Mehrafarin, A. (2015). Responses of Quality and Quantity Yield of Garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.) to Foliar Application of Bio-stimulator Based on Amino Acids and Methanol. *Journal of Medicinal Plants*, *14*(54),146-158. http://jmp.ir/article-1-1017-en.html

Ozgonen, H., Bicici, M., & Erkilic, A. (2011). The Effect of Salicyclic Acid and Endomycorrhizal Fungus Glomusetunicatum on Plant Development of Tomatoes and Fusarium Wilt Caused by Fusarium oxysporum f. splycopersici. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *25*, 25-29.

Phillips, J.M., & Hayman, D.S. (1970). Improved procedures clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of British Mycological Society*, *55*, 158-161.

Shabahang, J., Khorramdel, S., Siahmargue, A., Gheshm, R., & Jafari, L. (2014). Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, ualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. *Journal of Agroecology*, *6*(2), 353-363. (In Persian).

Shahba, Z., Baghizadeh, A., Vakili, S. M. A., Yazdanpanah, A., & Yosefi, M. (2010). The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) sugar, protein and proline contents under salinity stress (NaCl). *Journal of Biophysics and Structural Biology*, *2*(3), 35-41.

Tadayyon, A., & Soltanian, M. (2016). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on root colonization and phosphorus uptake of linseed (*Linum ussitatissimum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Process and Function Iranin Society of Plant Physiology*, *5* (15), 147-156. URL: http://jispp.iut.ac.ir/article-1-329-en.html.

Varma, A., Bakshi, M., Lou, B., Hartmann, A., & Oelmueller, R. (2012). Piriformospora indica: Anovel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. *Agricultural Research*, *1*(2), 117-131.

Yadollahi, P., Asgharipour, R., Kheiri, N., & Ghaderi, A. (2015). Effects of drought stress and different types of organic fertilizers on the yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) *Journal of Oil Plants Production*, *1*(2), Autumn & Winter, 27-40. (in Persian).

Zeghad, N., & Merghan, R. (2013). Antioxidant and antimicrobial activities of (*Thymus vulgaris* L.) *Medicinal and Aromatic Plant Research Journal*, *1*(1), 5-11.