



Effects of Mycorrhizal Fungi Symbiosis on Some Morpho-Physiological Traits of *Zataria multiflora* Boiss. Ecotypes under Drought Stress Conditions

Ashraf Aghababapoor Dehkordi¹, Sadollah Houshmand^{2*}, Shahram Mohammady³
and Roudabeh Ravesh³

1- Ph.D. student of Genetics and Breeding plant, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2*- Corresponding author, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, E-mail: s_hoshmand@yahoo.com

3- Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: September 2023

Revised: June 2024

Accepted: July 2024

Abstract

Background and Objectives: *Zataria multiflora* Boiss. is an important medicinal plant species in the Lamiaceae family, native to Iran and some neighboring countries. Water scarcity is a significant limiting factor for crop growth and production. Reduced efficiency of chemical fertilizer uptake under drought conditions and their adverse environmental effects necessitates using sustainable agricultural practices. Mycorrhizal fungi, through their symbiotic with plants, provide essential nutrients to plants and mitigate the adverse effects of biotic and abiotic stresses on plants. This study investigates the influence of mycorrhizal symbiosis under drought stress and non-stress conditions on morpho-physiological characteristics of eight *Z. multiflora* ecotypes.

Methodology: This study was conducted on eight *Z. multiflora* ecotypes collected from Safashahr, Neyriz, Khanekhor, and Fasa (located in Fars province), Faridan, Baharestan, Kalat Ghazi (located in Isfahan province), and Qasreghand (located in Sistan and Baluchestan province). Two-year-old plants of these ecotypes were subjected to two levels of drought stress, consisting of 50% and 90% soil field capacity, representing drought stress and non-drought stress conditions, respectively. Mycorrhizal fungi were applied at two levels (with and without) in a factorial experiment based on the completely randomized design with three replications, conducted in a greenhouse of the Agriculture Faculty, Shahrekord University, Iran. Drought stress was applied through reduced watering, and arbuscular mycorrhizal fungi were inoculated in holes at a depth of 4-5 cm around the roots in the pots. The symbiosis was confirmed through root staining. Morpho-physiological traits, including plant length, width, crown area, leaf area, dry plant yield, and chlorophyll "a" and "b" content, were measured. After variance analysis, the means were compared using the LSD test. Pearson correlation coefficients were used to determine trait correlations, and stepwise regression was employed to identify traits affecting dry plant yield.

Results: The results of the analysis of variance showed that ecotype, drought stress, and mycorrhizal application had highly significant effects on plant length, plant width, crown area, leaf area, dry plant yield, and chlorophyll "a" and "b" content. The significance of the two- and three-



way interaction effects of ecotypes with drought stress and mycorrhizal application in all studied traits indicates the different responses of ecotypes to drought stress and mycorrhizal fungus application. Comparing the means of the two drought stress levels indicated a significant reduction in all traits under stress conditions. Mycorrhizal application in non-stress conditions significantly increased the traits. Using mycorrhizal fungi under drought stress conditions compensated for part of the reduction caused by drought stress in the traits, resulting in an increase ranging from 14% (plant width) to 210% (dry plant yield) compared to drought stress conditions. The comparison of ecotypes in each combination of stress levels and mycorrhizal application levels suggests that plant length and width, crown area, leaf area, and plant dry yield increased. The intensity of response or change in these ecotypes to drought stress and mycorrhizal application varies. The correlation coefficients and stepwise regression results indicate the critical role of leaf area and plant length in dry plant yield under both non-drought and drought stress conditions.

Conclusion: In this restudy, high variability was observed in the evaluated traits such as plant length and width, canopy area, leaf area, plant dry yield, and chlorophyll "a" and "b" levels in *the Z. multiflora* ecotypes. On the other hand, the different reactions of these ecotypes to drought stress indicate the high genetic potential of this native plant in Iran. Therefore, it can be used to select superior genotypes. Considering the increasing and significant effect of most of the characteristics studied, including yield due to the application of mycorrhizal fungus, this fungus can be used in producing *Z. multiflora* under standard cultivation conditions and drought stress.

Keywords: Medicinal plant, biological fertilizers, chlorophyll content, leaf area.

تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.) در شرایط تنش خشکی

اشرف آقاباباپور دهکردی^۱، سعدالله هوشمند^{۲*}، شهرام محمدی^۳ و رودابه راوش^۴

۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، پست الکترونیک: s_hoshmand@yahoo.com

۳- استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۴- استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۲

تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.) یکی از گونه‌های مهم دارویی از تیره نعناعیان، بومی ایران و برخی کشورهای همسایه آن است. کمبود آب عامل محدود کننده بسیار مهم برای رشد گیاه و تولید محصول است. کاهش کارایی جذب کودهای شیمیایی در شرایط تنش خشکی و اثرهای منفی زیست محیطی آنها لزوم استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار را ضروری می‌سازد. قارچ‌های میکوریزا از راه همزیستی با گیاهان، ضمن فراهم کردن بخشی از عناصر غذایی ضروری گیاه، سبب کاهش اثرهای منفی تنش‌های زیستی و غیرزیستی بر گیاهان می‌شوند. در این پژوهش تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا در شرایط تنش و بدون تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک هشت اکوتیپ آویشن شیرازی بررسی شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه روی هشت اکوتیپ آویشن شیرازی شامل نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق صفاسهر، نیریز، خانه‌خوره و فسا (واقع در استان فارس)، فریدن، بهارستان، کلاه‌قازی (واقع در استان اصفهان) و قصرقند (واقع در استان سیستان و بلوچستان) انجام شد. گیاهان دو ساله این اکوتیپ‌ها در شرایط دو سطح رطوبتی شامل ۵۰٪ و ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک (به ترتیب تنش خشکی و بدون تنش خشکی) و دو سطح اعمال و عدم اعمال قارچ میکوریزا در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد بررسی شدند. تنش خشکی به روش وزنی اعمال گردید و قارچ میکوریزا آربوسکولار در حفره‌هایی به عمق ۴ تا ۵ سانتی‌متر در اطراف ریشه در گلدان‌ها ریخته شد و در نهایت همزیستی آن با گیاه از طریق رنگ‌آمیزی بررسی شد. صفات مورفوفیزیولوژیک شامل طول و عرض بوته، مساحت تاج پوشش، مساحت برگ، عملکرد خشک بوته و محتوای کلروفیل a و b اندازه‌گیری گردید. پس از انجام تجزیه واریانس، میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD مقایسه شدند. برای تعیین همبستگی صفات از ضرایب همبستگی پیرسون و برای تعیین صفات مؤثر بر عملکرد خشک بوته از رگرسیون مرحله‌ای استفاده شد.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عوامل اکوتیپ، تنش خشکی و کاربرد میکوریزا اثر بسیار معنی‌داری بر طول و عرض بوته، مساحت تاج پوشش، مساحت برگ، عملکرد خشک بوته و کلروفیل a و b داشتند. معنی‌دار بودن اثرهای برهم‌کنش دو طرفه و سه طرفه اکوتیپ با تنش خشکی و کاربرد میکوریزا در همه صفات مورد بررسی نشان از واکنش متفاوت اکوتیپ‌ها در قبال تنش خشکی و کاربرد میکوریزا دارد. مقایسه میانگین‌ها در دو سطح تنش خشکی، کاهش معنی‌دار همه صفات در شرایط تنش را نشان می‌دهد. کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط بدون تنش افزایش معنی‌دار صفات را به دنبال داشت. بکارگیری این قارچ در شرایط تنش، بخشی از کاهش ناشی از تنش خشکی در صفات را جبران کرد و افزایشی بین ۱۴٪ (عرض بوته) تا ۲۱۰٪ (عملکرد خشک بوته) در مقایسه با شرایط تنش خشکی

را باعث شد. مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها در هر یک از ترکیب‌های سطوح تنش و قارچ میکوریزا بیانگر تفاوت معنی‌دار آنها برای صفات مختلف می‌باشد. شدت واکنش و یا تغییر این اکوتیپ‌ها در قبال اعمال تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا متفاوت است. نتایج ضرایب همبستگی و تجزیه رگرسیون مرحله‌ای حکایت از نقش کلیدی سطح برگ و طول بوته در تولید ماده خشک بوته در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی دارد.

نتیجه‌گیری: تنوع بالای موجود در صفات مختلف مورد ارزیابی از جمله طول و عرض بوته، مساحت تاج پوشش، مساحت برگ، عملکرد خشک بوته و میزان کلروفیل a و b در اکوتیپ‌های مورد مطالعه و از سویی واکنش متفاوت این اکوتیپ‌ها در قبال تنش خشکی، بیانگر ظرفیت ژنتیکی غنی این گیاه بومی در ایران است که می‌توان از آن در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده کرد. با توجه به اثر افزایشده و معنی‌دار اغلب ویژگی‌های مورد مطالعه، از جمله عملکرد در اثر کاربرد قارچ میکوریزا، می‌توان از این قارچ در تولید آویشن شیرازی در شرایط معمول زراعی و تنش خشکی بهره برد.

واژه‌های کلیدی: گیاه دارویی، کود زیستی، محتوای کلروفیل، مساحت برگ.

مقدمه

آویشن شیرازی با نام علمی *Zataria multiflora* Boiss. یکی از گونه‌های مهم تیره نعنا (Lamiaceae) می‌باشد که در نواحی مرکزی و جنوب ایران رشد می‌کند. این گیاه علاوه بر ایران در کشورهای پاکستان و افغانستان به صورت طبیعی رویش دارد (Sajed et al., 2013). گیاه آویشن برای درمان گلودرد، برونشیت و آسم استفاده می‌شود. مواد مؤثره این گیاه در صنایع آرایشی و بهداشتی، تهیه کرم‌ها، عطرها، لوسیون‌ها، دهان‌شویه‌ها و پمادها کاربرد دارد (Pavela et al., 2018). اسانس آویشن شیرازی برای درمان اختلالات دستگاه تنفسی، اختلالات دستگاه گوارش، تب، درد مفاصل، سردرد، اسهال، استفراغ و سرماخوردگی استفاده می‌شود (Sajed et al., 2013).

کمبود آب، عامل محدود کننده بسیار مهم برای رشد گیاه و تولید محصول است (Barchet et al., 2014). میانگین بارندگی سالانه در ایران ۲۲۴-۲۷۵ میلی‌متر در سال بوده که از میانگین جهانی آن حدود ۷۰٪ کمتر است (Biglari et al., 2019). «اجتناب از خشکی» و «تحمل به خشکی» دو سازوکار اولیه برای بقا در شرایط خشکسالی هستند که هر دوی آنها در بهبود سازگاری گیاه و افزایش عملکرد تحت تنش خشکی نقش دارند (Zheng et al., 2017). «اجتناب از خشکی» توانایی گیاهان

برای تنظیم برخی از ساختارهای مورفولوژیکی یا میزان رشد با افزایش جذب آب، کاهش تلفات آب و تسریع یا کاهش انتقال از مرحله رویشی به زایشی است (Monclus et al., 2006). «تحمل خشکی» یک سازوکار حفاظتی است که گیاهان از سیستم آنتی‌اکسیدانی شامل آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی برای کاهش اثرهای زیانبار ROS تحت تأثیر تنش شدید خشکی استفاده می‌کنند (Fang & Xiong, 2015). علائم و نشانه‌های خشکی به صورت به تأخیر انداختن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی، پژمردگی گیاهان، کاهش میزان خالص فتوسنتز، کاهش محتوای کلروفیل برگ، بسته‌شدن روزنه‌ها و برهم خوردن موازنه هورمونی گیاه، کاهش سنتز پروتئین و در نهایت کاهش عملکرد گیاه آشکار است (Okunlola et al., 2017). Yosefzade (۲۰۱۵) با بررسی هشت گونه آویشن باغی در سطوح آبیاری ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی گزارش داد که تنش خشکی بر صفات مورفولوژی گیاه از جمله طول بوته و وزن خشک اندام هوایی بوته اثر معنی‌داری داشته است. Ashiri و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه دوره‌های آبیاری ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ روزه بر آویشن باغی، گزارش کردند که طول شاخساره، وزن خشک گیاه و محتوای کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی کاهش یافت.

در شرایط تنش خشکی کارایی جذب عناصر غذایی به ویژه در مناطقی که کود شیمیایی به میزان زیاد استفاده می‌شود، کاهش می‌یابد. کاهش کارایی جذب کودهای شیمیایی و اثرهای منفی زیست محیطی آنها لزوم استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار از جمله کاربرد کودهای بیولوژی را ضروری می‌سازد. این کودها حاوی قارچ‌ها و باکتری‌های مفید حل کننده عناصر غذایی هستند که با اسیدی کردن خاک و تولید آنزیم منجر به آزادسازی عناصر غذایی از ترکیبات آلی و معدنی موجود در خاک می‌شوند (Golubkina et al., 2020).

قارچ‌های میکوریزا از جمله کودهای بیولوژی هستند که همزیستی آنها با گیاهان میلیون‌ها سال پیش گزارش شده است (Selosse et al., 2015). این همزیستی به صورت توالی فرایندهای بیولوژیکی ایجاد می‌شوند که منجر به اثرهای مفید متعددی در اکوسیستم طبیعی و کشاورزی می‌شود (Van der Heijden et al., 2015). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار که در شاخه فرعی *Glomeromycota* از شاخه *Mucoromycota* طبقه‌بندی می‌شوند (Spatafora et al., 2016)، همزیست اجباری گیاه هستند، در سیستم ریشه استقرار می‌یابند و باعث افزایش رشد و نمو گیاه، جذب مواد غذایی و افزایش تولید بیوماس در شرایط نرمال و تنش می‌گردند (Laurindo et al., 2020).

با توجه به روند خشکسالی‌های اخیر و از سویی کشت گیاه آویشن شیرازی در مناطقی از ایران، در این پژوهش تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا در شرایط تنش و بدون تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک هشت اکوتیپ آویشن شیرازی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، بر روی هشت اکوتیپ آویشن شیرازی (*Z. multiflora* Boiss.) شامل نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق صفاشهر، نیریز، خانه‌خوره و فسا (واقع در استان فارس)، فریدن، بهارستان، کلاه‌قازی (واقع در استان اصفهان) و قصرقند (واقع در استان سیستان و بلوچستان) انجام شد.

بذرهای اکوتیپ‌های آویشن شیرازی ذکر شده در سال ۱۳۹۹ در سینی نشاء، در بستری با ترکیب پیت‌ماس و کوکوپیت به نسبت ۴:۱ کشت شدند. پس از شش هفته نشاءها به گلدان پلاستیکی به ابعاد ۱۲×۱۵ سانتی‌متر حاوی خاکی با ویژگی‌های ذکر شده در جدول ۱ منتقل گردیدند. آبیاری با توجه به نیاز گیاه هر ۲-۳ روز یک‌بار انجام شد. پس از گرم شدن هوا و رشد مناسب گیاهچه‌ها، گلدان‌ها به بیرون از گلخانه انتقال داده شد و در زمستان دوباره به گلخانه منتقل شدند.

به عقیده پژوهشگران هرگونه تنش خشکی در مراحل رشد و نمو گیاه، منجر به کاهش جذب عناصر غذایی و در پی آن کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود (Scharf et al., 2015). شواهد محکمی از کاهش تنش خشکی توسط قارچ‌های میکوریزا در محصولات مختلف وجود دارد (Ruiz-

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physicochemical characteristics of experimental soil

Soil texture	N (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	Organic carbon (%)
Sandy clay loam	0.04	18.8	329	7.84	0.97	0.58

ظرفیت زراعی گلدان مورد نظر مشخص شد و با کاهش ۱۰٪ و ۵۰٪ این وزن از وزن گلدان، آبیاری انجام گردید. برای اعمال قارچ میکوریزا آربوسکولار در هر واحد آزمایش (گلدان)، سه حفره به عمق ۴ تا ۵ سانتی‌متر در اطراف ریشه ایجاد شد و در هر حفره ۲۰ گرم مایه تلقیح قارچ میکوریزا آربوسکولار (خریداری شده از شرکت زیست فناوریان سبز) ریخته شد. یک و نیم ماه بعد از اعمال تیمارها، نمونه ریشه‌ها برای رنگ‌آمیزی و اثبات همزیستی قارچ میکوریزا تهیه شد (Phillips & Hayman, 1970). ریشه‌ها با آب مقطر به خوبی شسته شدند و به داخل ظروف شیشه‌ای شفاف منتقل گردیدند. سپس محلول KOH ۵٪ به ریشه‌ها اضافه و ریشه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در این محلول نگهداری شد و بعد با آب مقطر شسته و به مدت ۳ تا ۵ دقیقه در محلول اسید کلریدریک ۱٪ قرار گرفت. بعد از آن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محلول ۰/۰۱٪ Trypan blue در دمای اتاق نگهداری شدند. پس از رنگ‌آمیزی، در محلول رنگ‌بر لاکتوگلیسرول به مدت سه روز نگهداری شدند. در نهایت برای اثبات همزیستی نمونه‌ها، در زیر میکروسکوپ نوری مشاهده شدند.

پس از اعمال تیمارها، صفات مورفوفیزیولوژیک شامل طول و عرض بوته، مساحت تاج پوشش، مساحت برگ، عملکرد خشک بوته و محتوای کلروفیل روی نمونه‌های گیاهی اندازه‌گیری شد. طول و عرض شکل هندسی گیاه اندازه‌گیری شد. ابعاد بزرگ و کوچک به ترتیب طول و عرض بوته است. مساحت تاج پوشش پس از اندازه‌گیری طول و عرض گیاه از طریق فرمول محاسبه مساحت بیضی اندازه‌گیری شد (Yosefzade, 2015).

$$3.14 \times \left(\frac{a \times b}{4}\right) = \text{مساحت تاج پوشش}$$

a و b به ترتیب طول و عرض بوته است.

مساحت برگ‌ها با کمک نرم‌افزار Imagej (Karim, 2017) اندازه‌گیری گردید و متوسط آنها به عنوان مساحت در نظر گرفته شد.

در بهار سال ۱۴۰۰ یک آزمایش فاکتوریل با سه عامل (اکوتیپ، تنش خشکی و قارچ میکوریزا) در سه تکرار روی این بوته‌های دو ساله اجرا شد. سطوح تنش خشکی شامل دو سطح ۹۰٪ (بدون تنش خشکی) و ۵۰٪ (تنش خشکی) ظرفیت زراعی خاک بود. قارچ میکوریزا آربوسکولار (خریداری شده از شرکت زیست فناوریان سبز) در دو سطح (اعمال و عدم اعمال قارچ) بکار برده شد. در این راستا، بوته‌ها از ارتفاع پنج سانتی‌متری سطح خاک سرزنی شدند و آبیاری و مراقبت‌های لازم به مدت دو ماه انجام و بعد عوامل تنش خشکی و قارچ اعمال گردیدند.

تنش خشکی به روش وزنی انجام شد. برای مشخص کردن ظرفیت زراعی، نمونه‌ای از خاک داخل گلدان زهکش‌دار ریخته شد و آبیاری انجام گردید و با پلاستیک پوشانده شد. پس از قطع آبیاری، گلدان در فواصل مختلف وزن شد. زمانی که در دو فاصله زمانی میزان رطوبت با هم برابر بود از عمق مورد نظر خاک نمونه‌گیری انجام شد و پس از بدست آوردن وزن آن، به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خشک شود. با توزین میزان رطوبت پس از خشک شدن خاک، درصد جرمی رطوبت از طریق فرمول زیر مشخص شد که در این فرمول w_1 وزن نمونه مرطوب و w_2 وزن نمونه خشک شده است. نسبت جرمی و درصد جرمی رطوبت (θ_m) عبارت بود از (Alizade, 2005):

$$\text{نسبت جرمی رطوبت} = \frac{w_1 - w_2}{w_2}$$

$$\text{درصد جرمی رطوبت} = \theta_m = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100$$

با توجه به میزان رطوبت ظرفیت زراعی خاک، آبیاری گلدان‌ها انجام شد و بعد گلدان‌ها برای انجام آبیاری‌های بعدی به صورت پی‌درپی وزن شدند. با رسیدن رطوبت خاک گلدان به سطوح ۹۰٪ (بدون تنش خشکی) و ۵۰٪ (تنش خشکی) ظرفیت زراعی، آبیاری انجام شد. با ضرب میزان خاک گلدان در درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مقدار رطوبت در

تعیین صفات مؤثر بر عملکرد خشک بوته از رگرسیون مرحله‌ای استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شد.

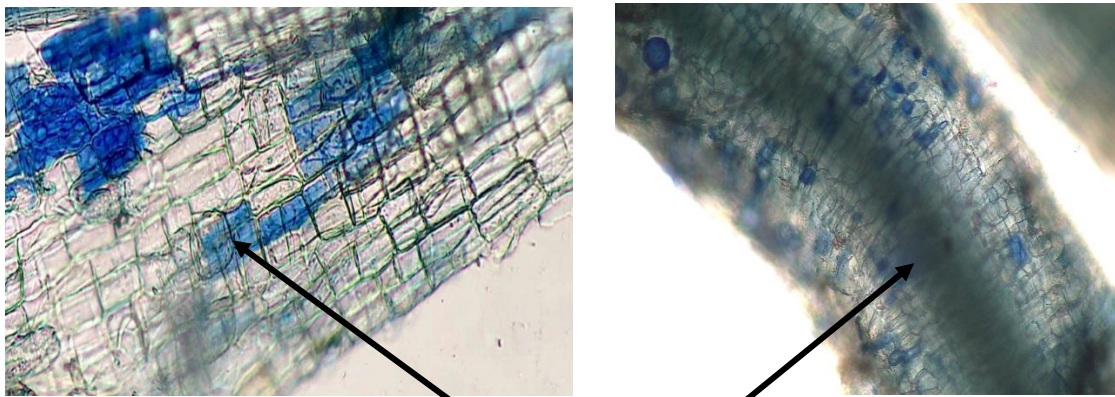
نتایج

تأیید همزیستی

در شکل ۱ نمونه‌ای از همزیستی قارچ میکوریزا آربوسکولار با اکتیپ‌های آویشن شیرازی مورد مطالعه مشاهده می‌شود که قارچ میکوریزا ریشه‌های گیاه را کلونیزه کرده و به داخل اپیدرم‌ها نفوذ کرده است و قادر به رشد همراه ریشه‌های گیاه آویشن شیرازی بوده است.

به منظور اندازه‌گیری عملکرد خشک بوته، پس از اعمال تنش خشکی، گیاه از پنج سانتی‌متری خاک گلدان قطع شد و وزن آن بدست آمد. این وزن به عنوان عملکرد تر لحاظ گردید. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق و در سایه خشک شدند و وزن خشک بوته بدست آمد. محتوای کلروفیل با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) تعیین شد.

داده‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS_{9.4} مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند. برای تعیین همبستگی صفات از ضرایب همبستگی پیرسون و برای



شکل ۱- کلامیدوسپورهای قارچ میکوریزا در همزیستی با ریشه گیاه آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)

Figure 1. Mycorrhiza fungus chlamydospores in symbiosis with roots of *Zataria multiflora*

مربع در شرایط تنش (کاهش ۵۵٪) کاهش یافت (جدول ۵). مقایسه میانگین ترکیب سطوح تنش و قارچ میکوریزا (جدول ۳) بیانگر آنست که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، با کاربرد قارچ میکوریزا طول و عرض بوته و مساحت تاج پوشش افزایش نشان داده است (جدول ۳). به گونه‌ای که بیشترین طول (۳۳/۹۵ سانتی‌متر) و عرض بوته (۱۰/۱۰ سانتی‌متر) و مساحت تاج پوشش (۲۷۱/۰۱ سانتی‌متر مربع) با کاربرد قارچ میکوریزا و شرایط بدون تنش حاصل شده است که نسبت به شرایط بدون تنش و تنش

طول و عرض بوته، مساحت تاج پوشش نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان از تأثیر معنی‌دار اکتیپ، تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا و کلیه اثرهای برهم‌کنش آنها بر طول و عرض بوته و مساحت تاج پوشش داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش معنی‌داری را در هر سه ویژگی موجب شده است (جدول ۳). شدیدترین کاهش در مساحت تاج پوشش مشاهده شد، به نحوی که از ۲۱۱/۷۸ سانتی‌متر مربع در شرایط بدون تنش به ۹۴/۲۵ سانتی‌متر

مربع (۷۲/۵٪) بیشترین کاهش نسبی را در شرایط تنش نشان دادند. با کاربرد قارچ میکوریزا عرض بوته و مساحت تاج پوشش نیز افزایش نشان داد. در اکوتیپ‌های مختلف با کاربرد قارچ میکوریزا عرض بوته افزایش نشان داد که دامنه این تغییرات از ۰/۵ سانتی‌متر افزایش در اکوتیپ کلاه‌قازی تا ۳ سانتی‌متر افزایش در اکوتیپ قصرقند نسبت به بدون تنش مشاهده شد. تحت تأثیر قارچ میکوریزا افزایش مساحت تاج پوشش از ۱۵/۳۵ سانتی‌متر مربع در اکوتیپ صفاشهر (در بدون تنش ۴۷/۵۶ و بعد از کاربرد میکوریزا ۶۲/۹۱ سانتی‌متر مربع) تا ۳۱۹/۴۶ سانتی‌متر مربع در اکوتیپ خانه‌خوره (در بدون تنش ۱۴۶/۹۹ و بعد از کاربرد میکوریزا ۴۶۶/۴۵ سانتی‌متر مربع) به چشم می‌خورد (جدول ۳).

مساحت برگ

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اکوتیپ، تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا بر مساحت برگ معنی‌دار بود که حکایت از تفاوت اکوتیپ‌ها و تأثیر اعمال تنش خشکی و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر این صفت دارد. کلیه اثرهای متقابل اکوتیپ، تنش خشکی و میکوریزا بر مساحت برگ معنی‌دار بود که بیانگر اثر متفاوت سطوح مختلف عوامل مورد بررسی در اکوتیپ‌های آویشن شیرازی است (جدول ۲). با کاربرد قارچ میکوریزا بالاترین مساحت برگ (۵۲/۱۹ میلی‌متر مربع) و در تنش خشکی کمترین مساحت برگ (۹/۱۱ میلی‌متر مربع) بدست آمد. تنش خشکی باعث کاهش مساحت برگ در کلیه اکوتیپ‌ها به‌استثنای صفاشهر (قبل از تنش ۱۵/۱۷ و بعد از تنش خشکی ۱۶/۰۲ میلی‌متر مربع) شد. بیشترین کاهش مساحت برگ پس از تنش خشکی در اکوتیپ نی‌ریز (۱۸/۳ میلی‌متر مربع) و کمترین آن در اکوتیپ فریدن (۶ میلی‌متر مربع) بود. کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش مساحت برگ در کلیه اکوتیپ‌ها گردید، به‌گونه‌ای که در اکوتیپ‌های بهارستان، فسا و کلاه‌قازی مساحت برگ حدود دو برابر شد (جدول ۴).

خشکی تفاوت معنی‌داری دارند. از سویی، کمترین این سه ویژگی (به ترتیب ۱۴/۸۹ سانتی‌متر، ۵/۹۷ سانتی‌متر و ۷۲/۹۴ سانتی‌متر مربع) در شرایط تنش خشکی مشاهده می‌گردد و اضافه کردن قارچ میکوریزا در شرایط تنش به ترتیب افزایش ۴۰٪، ۱۴٪ و ۶۱٪ برای این صفات را به دنبال داشته است.

مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها در ترکیب سطوح تنش و قارچ میکوریزا برای سه ویژگی طول و عرض بوته و مساحت تاج پوشش بیانگر آنست که ضمن تفاوت معنی‌دار اکوتیپ‌های مورد مطالعه در هر یک از ترکیبات تیماری تنش و کاربرد قارچ، در کل تنش خشکی باعث کاهش مقادیر صفات نسبت به بدون تنش شده است (جدول ۵). از سوی دیگر، با کاربرد قارچ میکوریزا طول و عرض بوته و مساحت تاج پوشش اکوتیپ‌ها در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی افزایش یافته است، هر چند میزان این تغییر در اکوتیپ‌ها متفاوت می‌باشد (جدول ۳). اکوتیپ قصرقند در تمام شرایط کمترین طول بوته را نشان داد. البته در شرایط بدون تنش اکوتیپ بهارستان بیشترین طول بوته (۳۸/۳ سانتی‌متر) را داشت. این اکوتیپ بیشترین کاهش (۲۴/۷ سانتی‌متر) را در اثر شرایط تنش خشکی نشان داد. اکوتیپ فریدن تحت تأثیر کاربرد قارچ بیشترین افزایش طول بوته (در شرایط بدون تنش ۹/۳۳ و بعد از کاربرد میکوریزا ۴۰/۳۳ سانتی‌متر) را نشان داد. از سوی دیگر، کمترین کاهش طول بوته تحت تأثیر تنش خشکی در اکوتیپ خانه‌خوره (۳/۳۳ سانتی‌متر) مشاهده شد.

کاهش عرض بوته و مساحت تاج پوشش در اثر تنش خشکی نیز در اکوتیپ‌ها متفاوت بود. کمترین کاهش عرض بوته در اکوتیپ‌های صفاشهر (۰/۷ سانتی‌متر یا ۱۳/۸٪) و فسا (۰/۸۷ سانتی‌متر یا ۹/۳٪) و کمترین کاهش مساحت تاج پوشش در اکوتیپ فریدن (۱۰/۱۸ سانتی‌متر مربع یا ۱۶/۵٪) نسبت به شرایط بدون تنش مشاهده شد (جدول ۳). در حالی که اکوتیپ نی‌ریز با کاهش ۵/۶ سانتی‌متری (۵۱/۶٪) در عرض بوته و اکوتیپ بهارستان با کاهش ۱۴۵/۲ سانتی‌متر

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر خشکی و قارچ میکوریزا بر صفات مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)

Table 2. ANOVA of drought and mycorrhizal fungus effects on morphophysiological traits of *Zataria multiflora* ecotypes

S.O.V.	d.f.	Plant height	Plant width	Crown area	Leaf area	Plant dry yield	Chlorophyll a	Chlorophyll b
Ecotype (E)	7	386.02**	42.81**	4908.9**	1418.81**	64.47**	10.49**	2.28**
Drought stress (S)	1	2581.3**	191.25**	3259.01**	674.43**	190.18**	15.77**	1.85**
Mycorrhiza (M)	1	1809.61**	40.69**	1595.57**	166.48**	464.55**	1.65*	4.72**
S×E	7	102.9**	13.61**	1226.06**	25.67**	3.37**	11.06**	2.32**
M×E	7	122.56**	9.62**	1387.94**	79.46**	9.36**	3.88**	1.01**
M×S	1	177.67*	5.36*	3272.04**	117.64**	6.76**	11.99**	0.26*
M×S×E	7	49.95*	6.41**	6019.97**	72.72*	2.03**	1.29*	0.60**
Experimental error	64	19.76	0.46	26.1	14.66	0.23	0.28	0.05
C.V. (%)		19.27	8.77	12.26	13.97	9.42	7.72	7.39

* and **: significant at 1 and 5% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر خشکی و قارچ میکوریزا بر ارتفاع و عرض بوته و سطح تاج پوشش اکوتیپ‌های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)

Table 3. Means comparison of drought and mycorrhizal fungus effects on height and plant width and crown area in *Zataria multiflora* ecotypes

Ecotype	Plant height (cm)				Plant width (cm)				Crown area (cm ²)			
	Control	Mycorrhiza (M)	Drought stress (S)	S×M	Control	M	S	S×M	Control	M	S	S×M
Safashahr	12.06 ^e	31.56 ^b	8.13 ^c	16.13 ^{cd}	5.06 ^e	2.53 ^f	4.36 ^e	5.1 ^c	47.56 ^g	62.91 ^h	28.58 ^e	64.72 ⁱ
Qasreghand	12.13 ^e	17.16 ^c	6.8 ^c	14.23 ^d	7.46 ^{cd}	10.46 ^{cd}	5.73 ^{cd}	4.73 ^c	71.09 ^e	141.24 ^g	30.68 ^e	55.6 ^g
Freidan	9.33 ^e	40.33 ^a	12.7 ^{bc}	22.36 ^{a-c}	8.3b ^c	10.3 ^{cd}	5.16 ^{de}	6.96 ^b	61.51 ^f	324.01 ^c	51.33 ^d	121.15 ^d
Baharestan	38.3 ^a	37.5 ^{ab}	13.6 ^{bc}	17.3 ^{cd}	6.7 ^d	7.76 ^e	5.06 ^{de}	5.8 ^c	200.38 ^c	228.55 ^f	55.18 ^d	78.86 ^e
Neyriz	31.6 ^{ab}	35.86 ^{ab}	21.16 ^a	18.6 ^{bcd}	10.86 ^a	12.23 ^b	5.26 ^{de}	5.8 ^c	270.72 ^a	345.01 ^b	86.96 ^c	84.41 ^e
Khanekhore	22.86 ^d	36.23 ^{ab}	19.53 ^{ab}	27.6 ^a	8.16 ^c	16.43 ^a	6.63 ^{bc}	8.83 ^a	146.99 ^d	466.45 ^a	101.75 ^b	193.48 ^a
Fasa	30.16 ^{bc}	39.56 ^a	19.06 ^{ab}	25.93 ^a	9.33 ^b	9.86 ^d	8.46 ^a	8.16 ^a	221.11 ^b	305.79 ^d	127.02 ^a	166.3 ^c
Kolahghazi	23.9 ^{cd}	33.36 ^{ab}	18.16 ^{ab}	24.7 ^{ab}	10.73 ^a	11.23 ^{bc}	7.13 ^b	9.06 ^a	201.04 ^c	294.13 ^e	102 ^b	175.88 ^b

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

عملکرد ماده خشک بوته

دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی باعث افزایش عملکرد شده است، به نحوی که در شرایط بدون تنش این کاربرد افزایش ۴/۹۳ گرم در بوته (۱۲۰٪) و در شرایط تنش خشکی افزایش ۳/۸۴ گرم در بوته (۲۱۰٪) را به دنبال داشته است (جدول ۴).

مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها در شرایط مختلف نشان داد که اکوتیپ قصرقد کمترین عملکرد را در شرایط متفاوت دارد، در حالی که بیشترین عملکرد در شرایط بدون تنش و شرایط تنش خشکی و میکوریزا مربوط به اکوتیپ نی‌ریز (به ترتیب ۶/۴۳ و ۸/۳۷ گرم) بود.

معنی‌دار شدن اثر اکوتیپ، تنش خشکی و کاربرد میکوریزا و کلیه اثرهای متقابل آنها بر عملکرد ماده خشک بوته (جدول ۲) بیانگر تفاوت اکوتیپ‌های مورد بررسی، تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر این صفت و برهم‌کنش این عوامل در تأثیر بر عملکرد ماده خشک آویشن شیرازی می‌باشد. در مقایسه میانگین ترکیب سطوح تنش و میکوریزا (جدول ۴)، کمترین عملکرد خشک بوته در تیمار تنش خشکی (۱/۸۴ گرم) بدست آمد که نسبت به شرایط بدون تنش با ۵۵٪ کاهش معنی‌داری مشاهده می‌شود (جدول ۵). کاربرد میکوریزا در هر

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر خشکی و قارچ میکوریزا بر مساحت برگ و عملکرد خشک بوته

اکوتیپ‌های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)

Table 4. Means comparison of drought and mycorrhizal fungus effects on leaf area and plant dry yield in *Zataria multiflora* ecotypes

Ecotype	Leaf area (mm ²)				Plant dry yield (g)/plant			
	Control	Mycorrhiza (M)	Drought stress (S)	S×M	Control	M	S	S×M
Safashahr	15.16 ^{cd}	35.86 ^d	16.02 ^a	22.73 ^b	4.03 ^c	11.8 ^{ab}	0.58 ^c	5.82 ^b
Qasreghand	13.66 ^{cd}	21.46 ^f	5.5 ^c	13.4 ^c	0.75 ^e	2.92 ^g	0.38 ^c	0.89 ^e
Freidan	11.93 ^d	28.4 ^e	5.93 ^c	14.6 ^c	1.75 ^d	4.43 ^f	0.48 ^c	2.04 ^d
Baharestan	24.43 ^{ab}	80.6 ^{ab}	12.33 ^{ab}	44.53 ^a	5.3 ^b	12.21 ^a	3.64 ^a	7.86 ^a
Neyriz	23.73 ^{ab}	52.8 ^c	5.43 ^c	25.2 ^b	6.43 ^a	10.22 ^d	2.11 ^b	8.37 ^a
Khanekhore	18.83 ^{bc}	39.86 ^d	7.3 ^{bc}	25.4 ^b	5.27 ^b	11.09 ^{bc}	3.19 ^a	7.87 ^a
Fasa	25.5 ^a	83.23 ^a	10.73 ^{abc}	40.96 ^a	5.96 ^{ab}	10.38 ^{cd}	3.48 ^a	7.79 ^a
Kolahghazi	22 ^{ab}	75.3 ^b	9.7 ^{bc}	44.2 ^a	3.48 ^c	9.38 ^e	0.85 ^c	5.01 ^c

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

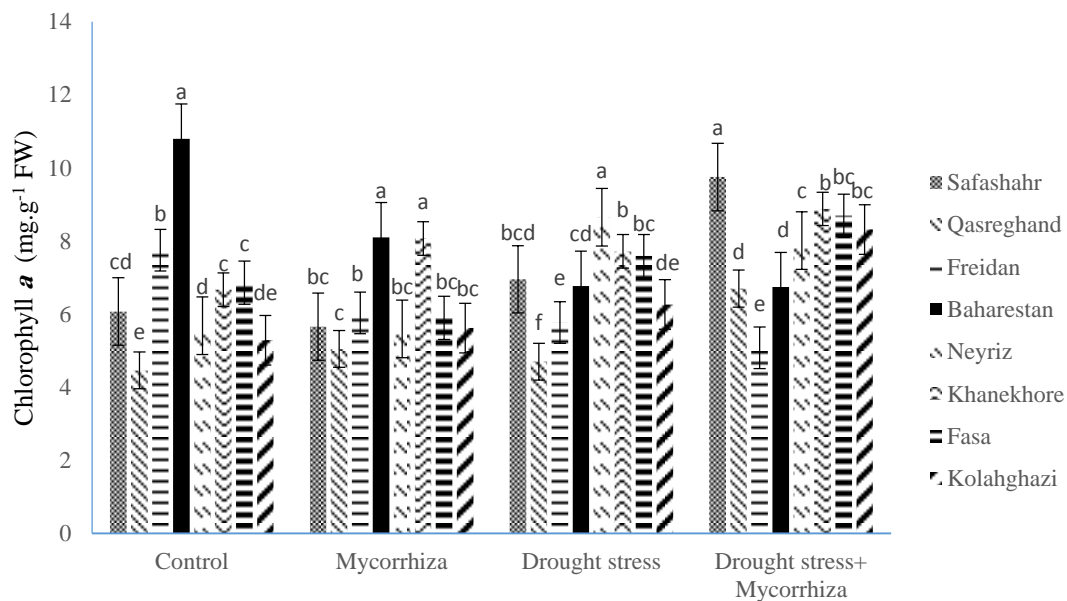
کلروفیل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر اکوتیپ، تنش خشکی و کاربرد میکوریزا و کلیه اثرهای متقابل آنها بر صفات کلروفیل a و b معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمار ترکیبی تنش خشکی و کاربرد میکوریزا بیشترین محتوای کلروفیل a (۷/۷۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بدست آمد. در این شرایط محتوای کلروفیل a به‌استثنای اکوتیپ‌های فریدن و بهارستان که نسبت به بدون تنش کاهش یافت، در سایر اکوتیپ‌ها افزایش نشان داد که دامنه این افزایش از ۳/۶۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر

در شرایط اعمال میکوریزا و شرایط تنش خشکی اکوتیپ بهارستان (به ترتیب ۱۲/۲۱ و ۳/۶۴ گرم) بالاترین عملکرد خشک بوته را دارا بود (جدول ۴). میزان تغییر مقدار عملکرد خشک بوته نسبت به بدون تنش در اثر تنش خشکی و یا اعمال میکوریزا نیز متفاوت بود، به نحوی که مقدار کاهش در اثر تنش خشکی از ۰/۳۷ گرم (۴۹٪ در اکوتیپ قصرقد) تا ۴/۳۲ گرم (۶۷٪ در اکوتیپ نی‌ریز) متغیر بود. با کاربرد قارچ میکوریزا دامنه افزایش عملکرد نسبت به بدون تنش از ۲/۱۷ (اکوتیپ قصرقد) تا ۷/۷۷ گرم (اکوتیپ صفاشهر) بدست آمد.

بین اکوتیپ‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳). در شرایط بدون تنش اکوتیپ فسا به صورت معنی‌داری محتوای کلروفیل b بیشتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشت. اعمال تنش و کاربرد میکوریزا واکنش متفاوتی را در اکوتیپ‌ها نشان داد. برای نمونه، اکوتیپ صفاشهر در شرایط تنش و استفاده از میکوریزا با افزایش ۱۴۵٪ نسبت به شرایط بدون تنش همراه بود.

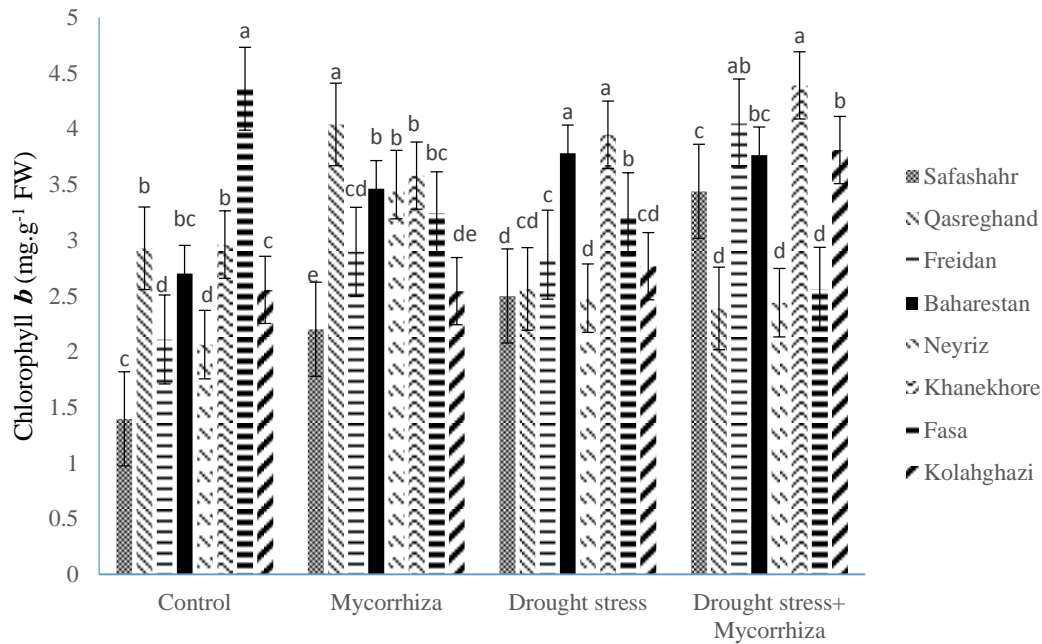
(اکوتیپ صفاشهر در بدون تنش ۶/۰۷ و در تیمار ترکیبی ۹/۷۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) تا ۱/۸۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر (اکوتیپ فسا در بدون تنش ۶/۸۶ و در تیمار ترکیبی ۸/۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) متغیر بود. محتوای کلروفیل a در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۲). مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها برای محتوای کلروفیل b نشان داد برای این صفت نیز در هر یک از تیمارها تفاوت معنی‌داری



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر خشکی و قارچ میکوریزا بر محتوای کلروفیل a اکوتیپ‌های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)

Figure 2. Means comparison of drought and mycorrhizal fungus effects on chlorophyll a content in *Zataria multiflora* ecotypes

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر خشکی و قارچ میکوریزا بر محتوای کلروفیل b اکتیپ‌های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)

Figure 3. Means comparison of drought and mycorrhizal fungus effects on chlorophyll b content in *Zataria multiflora* ecotypes

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر خشکی و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های اکتیپ‌های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)

Table 5. Means comparison of drought and mycorrhizal fungus effects on *Zataria multiflora* ecotypes

Trait	Drought stress condition			Mycorrhiza application		
	Control	Drought stress	Change (%)	Control	Mycorrhiza	Change (%)
Plant height (cm)	28.24 ^a	17.87 ^b	-36.72	18.71 ^b	27.4 ^a	46.44
Plant width (cm)	9.21 ^a	6.38 ^b	-30.73	7.14 ^b	8.45 ^a	18.34
Crown area (cm ²)	211.78 ^a	95.24 ^b	-55.02	112.74 ^b	194.28 ^a	72.32
Leaf area (mm ²)	35.79 ^a	18.99 ^b	-46.94	14.25 ^b	40.53 ^a	184.42
Plant dry yield/plant (gr)	6.58 ^a	3.77 ^b	-42.70	2.98 ^b	7.38 ^a	147.65
Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	6.47 ^b	7.28 ^a	12.51	6.74 ^b	7.00 ^a	3.85
Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	2.90 ^b	3.18 ^a	9.65	2.82 ^b	3.26 ^a	15.60

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

(به ترتیب $r=0.7$ و $r=0.5$) همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. در آبیاری نرمال و تنش خشکی همبستگی مساحت تاج پوشش با عرض بوته (به ترتیب $r=0.8$ و $r=0.85$)، مساحت برگ (به ترتیب $r=0.49$ و $r=0.46$) و عملکرد خشک بوته (به ترتیب $r=0.53$ و $r=0.49$) مثبت و معنی‌دار بود. البته بین

ضرایب همبستگی و تجزیه رگرسیون با توجه به جدول ضرایب همبستگی صفات (جدول ۶) در شرایط بدون تنش و تنش خشکی صفت طول بوته با مساحت تاج پوشش (به ترتیب $r=0.76$ و $r=0.92$)، مساحت برگ (به ترتیب $r=0.60$ و $r=0.40$) و عملکرد خشک بوته

دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، طول بوته به عنوان دومین ویژگی وارد مدل شده است. هرچند در قیاس با ویژگی اول سهم خیلی کمتری از تنوع ماده خشک (به ترتیب ۸/۳٪ و ۴/۷٪ در بدون تنش و تنش خشکی) را پوشش می دهد. در محیط تنش خشکی کلروفیل a به عنوان سومین ویژگی تأثیرگذار بر عملکرد خشک بوته به مدل اضافه شده است. مجموع تنوع پوشش داده شده توسط ویژگی های وارد مدل شده در محیط بدون تنش ۶۹٪ و در محیط تنش خشکی ۶۴/۶٪ می باشد (جدول ۷).

عملکرد خشک بوته و مساحت برگ در شرایط عدم تنش و تنش خشکی همبستگی مثبت و بسیار معنی دار (به ترتیب $r=0.78$ و $r=0.75$) بدست آمد. همبستگی میزان کلروفیل a با عملکرد خشک بوته در تنش خشکی ($r=0.3$) مثبت بود. نتایج تجزیه رگرسیون مرحله ای بیانگر آن بود که از بین صفات مورد مطالعه، سطح برگ تأثیرگذارترین ویژگی مؤثر بر عملکرد ماده خشک بوته در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی می باشد و به ترتیب ۶۰/۱٪ و ۵۷/۳٪ تنوع ماده خشک بوته در این شرایط را توجیه می کند (جدول ۷). در هر

جدول ۶- ضرایب همبستگی ویژگی های مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*) تحت تیمار قارچ میکوریزا (بالای قطر: آبیاری نرمال و زیر قطر: تنش خشکی)

Table 6. Correlation coefficients of morphophysiological characteristics in *Zataria multiflora* ecotypes under mycorrhizal fungus treatment (above diagonal: normal irrigation and under diagonal: drought stress)

Trait	1	2	3	4	5	6	7
1. Plant height	1	0.28	0.76**	0.60*	0.70**	0.21	0.24
2. Plant width	0.63**	1	0.80**	0.20	0.14	-0.17	0.29
3. Crown area	0.92**	0.85**	1	0.49*	0.53*	0.009	0.27
4. Leaf area	0.40*	0.38*	0.46*	1	0.78**	0.24	0.05
5. Plant dry yield	0.50*	0.37*	0.49*	0.75**	1	0.27	0.001
6. Chlorophyll a	0.14	0.21	0.20	0.17	0.30	1	0.04
7. Chlorophyll b	0.18	0.16	0.23	0.23	0.15	0.11	1

* and **: significant at 1 and 5% probability levels, respectively

جدول ۷- رگرسیون مرحله ای برای اجزای عملکرد ماده خشک اکوتیپ های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*) در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 7. Stepwise regression for plant dry yield components of *Zataria multiflora* ecotypes under no stress and drought stress conditions

	Step	Variable Entered	Partial R-Square	Model R-Square	F Value	Pr > F
No stress conditions	1	Leaf area	0.61	0.61	71.02	<.0001
	2	Plant height	0.08	0.69	12.06	0.001
Drought stress conditions	1	Leaf area	0.57	0.57	61.74	<.0001
	2	Plant height	0.05	0.62	6.58	0.02
	3	Chlorophyll a	0.03	0.65	4.24	0.05

بحث

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین اکوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات مورد بررسی تنوع وجود دارد که این تنوع و مقایسه میانگین‌ها ایده‌ای برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر فراهم می‌کند. تنش خشکی باعث کاهش طول و عرض بوته، مساحت تاج پوشش، مساحت برگ و عملکرد خشک بوته شده و کاربرد میکوریزا افزایش صفات مذکور را در پی داشته است.

علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی، کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول نسبت به شرایط بدون تنش است. نیتروژن و فسفر دو عامل اصلی در افزایش طول بوته هستند. در شرایط تنش خشکی جذب این عناصر کاهش می‌یابد و با کاربرد میکوریزا افزایش در جذب عناصر غذایی باعث افزایش تحمل تنش خشکی می‌شود. قارچ میکوریزا در شرایط تنش باعث افزایش طول ریشه شده و در پی آن جذب آب و مواد غذایی افزایش می‌یابد و باعث کاهش زیان وارده به گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Karami *et al.*, 2018). در مطالعه Morshedloo و همکاران (۲۰۱۷) افزایش سطوح تنش خشکی منجر به کاهش صفات رشدی در گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) شد. Zhang و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر روی اسپرس گزارش کردند در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش ۱۰/۳۸٪ طول بوته شد. Masoumi و Zavarian و همکاران (۲۰۱۵) با کاربرد قارچ میکوریزا افزایش طول گیاه و وزن کل ماده خشک را در گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum* L.) گزارش نمودند.

در این مطالعه با اعمال تنش خشکی، اکوتیپ‌های صفاشهر و خانه‌خوره کمترین کاهش طول بوته، اکوتیپ‌های صفاشهر و فسا کمترین کاهش عرض بوته و اکوتیپ‌های صفاشهر و فریدن کمترین کاهش مساحت تاج پوشش را نسبت به بدون

تنش داشتند. با مصرف قارچ میکوریزا در اکوتیپ‌های صفاشهر و فریدن بیشترین افزایش طول بوته، اکوتیپ‌های قصرقند و خانه‌خوره بیشترین افزایش عرض بوته و اکوتیپ‌های فریدن و خانه‌خوره بیشترین افزایش در مساحت تاج پوشش نسبت به بدون تنش بدست آمد.

در این پژوهش پس از تنش خشکی کمترین تغییر در مساحت برگ در اکوتیپ صفاشهر مشاهده شد و با کاربرد میکوریزا بالاترین افزایش مساحت برگ در اکوتیپ‌های فسا و بهارستان بدست آمد. کاربرد میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه موجب افزایش رشد و نمو گیاه و سطح برگ شده و به دنبال آن میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد. افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی در برگ با افزایش میزان همزیستی قارچ میکوریزا ارتباط دارد که به طور مستقیم با جذب نیتروژن، فسفر و کربن مرتبط است. این عناصر به سمت ریشه‌ها حرکت می‌کنند و رشد گیاه را افزایش می‌دهند. این موضوع موجب افزایش مقدار ماده خشک تولید شده در برگ و در پی آن افزایش عملکرد گیاه می‌شود.

از بین اکوتیپ‌های مورد بررسی در این پژوهش، عملکرد خشک بوته در اکوتیپ‌های قصرقند و فریدن پس از تنش خشکی کمترین کاهش را نسبت به بدون تنش نشان داد و در تیمار قارچ میکوریزا در اکوتیپ‌های صفاشهر و بهارستان بیشترین افزایش عملکرد خشک بوته نسبت به بدون تنش مشاهده شد. افزایش رشد گیاه با کاربرد کودهای زیستی را می‌توان این گونه بیان کرد که باکتری‌های محرک رشد با تولید ترکیباتی باعث افزایش ترشحات ریشه گیاهان شده و موجب رشد هیف‌های قارچ و نفوذ بهتر آنها در ریشه گیاهان می‌شوند (Kherizadeh Arough & Seyed Shahrifi, 2019). به دنبال آن قارچ میکوریزا افزایش جذب عناصر غذایی را از راه افزایش انشعابات ریشه گیاه و گسترش ریشه قارچ در خاک ممکن می‌سازد و باعث ایجاد تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود مقاومت به تنش خشکی و یا تحمل در گیاه میزبان

میزان و در بدون تنش کمترین مقدار بدست آمد. بر خلاف نتایج این پژوهش، در شرایط تنش خشکی معمولاً میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. یکی از مهمترین دلایل کاهش کلروفیل، تخریب آنها توسط گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. یکی دیگر از عوامل کاهش کلروفیل‌ها، رقابت آنزیم گلوتامیل‌کیناز (آنزیم کاتالیزکننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) در شرایط تنش خشکی می‌باشد که باعث شده تا پیش‌ساز گلوتامات، بیشتر به مصرف پرولین برسد و در نتیجه بیوسنتز کلروفیل در گیاه با محدودیت مواجه شود (Ramak et al., 2005). Askary و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه گیاهان دارویی آویشن باغی و دناپی مشاهده کردند که تنش خشکی موجب کاهش کلروفیل a و b شد که برخلاف نتایج بدست آمده در این پژوهش می‌باشد. در مطالعه Yosefzade (۲۰۱۵) با اعمال تنش خشکی بر روی هشت گونه آویشن، میزان کلروفیل a و b افزایش یافت. Abbasi (۲۰۱۸) با بررسی چهار گونه آویشن در شرایط تنش خشکی، گزارش کرد که در برخی گونه‌ها در شرایط تنش خشکی میزان کلروفیل a و b افزایش نشان داد. همزیستی با قارچ میکوریزا، سبب کاهش تخریب رنگیزه‌های نوری و کلروفیل برگ می‌شود. علاوه بر این، همزیستی قارچی از طریق جذب بهتر فسفر که به‌عنوان حامل انرژی در طی فتوسنتز است، اثر مثبتی بر مقدار کلروفیل برگ و رشد رویشی گیاه دارد (Yaghoobiyan et al., 2012).

نتایج ضرایب همبستگی و تجزیه رگرسیون مرحله‌ای حکایت از نقش کلیدی سطح برگ و طول بوته در تولید ماده خشک بوته دارد. این ویژگی‌ها به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر تولید ماده خشک در گونه‌های آویشن باغی و دناپی در پژوهش Yosefzade (۲۰۱۵) در شرایط بدون تنش و تنش خشکی اشاره شده است.

می‌شود (Golubkina, Shahhosseini et al., 2012). همکاران (۲۰۲۰) نتیجه گرفتند که کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش صفات رشدی در گیاهان ترخون (*Artemisia dracunculus* L.)، زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.) گردید. Zhang و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه اثر قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر روی گیاه اسپرس، بیان کردند که در شرایط نرمال رطوبتی با کاربرد قارچ میکوریزا وزن خشک اندام هوایی ۶/۵۸٪ افزایش یافت. در مطالعه Zarik و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد قارچ میکوریزا برای *Cupressus atlantica* G. در رژیم‌های رطوبتی ۵۰٪، ۷۵٪ و ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک، باعث افزایش دو برابری وزن خشک هوایی گیاه شد. بررسی ارتباط بین صفات مؤثر بر ویژگی‌های اقتصادی از جمله وزن خشک بوته می‌تواند در کاهش صفات مورد بررسی در مطالعات بعدی و نیز انتخاب غیرمستقیم برای صفات اقتصادی که ژنتیک پیچیده‌ای دارند، فراهم کند. در این مطالعه همبستگی طول بوته، مساحت تاج پوشش، مساحت برگ و عملکرد خشک بوته مثبت و معنی‌دار بدست آمد. همبستگی بین صفات مورفولوژیک از جمله طول ساقه و وزن خشک بوته در آویشن در مطالعات Houshmand و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش شده است. Rezaie و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه گونه‌های آویشن بومی همبستگی مثبت و معنی‌دار طول ساقه با وزن خشک بوته را مشاهده کردند. Abbasi و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی چهار گونه آویشن (*Thymus sp.*) همبستگی مثبت بین طول ساقه با تعداد برگ و وزن خشک ساقه را گزارش کردند.

در این مطالعه محتوای کلروفیل a در تیمار ترکیبی تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا افزایش یافت و در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. محتوای کلروفیل b در تیمار ترکیبی تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا بیشترین

ژنوتیپ‌های برتر استفاده کرد. با توجه به اهمیت تولید عملکرد بالا و اقتصادی بدون استفاده از کودهای شیمیایی در گیاهان دارویی از جمله آویشن شیرازی، می‌توان از قارچ میکوریزا در شرایط معمول زراعی و تنش خشکی بهره برد.

به‌طور کلی، تنوع بالای موجود در طول و عرض بوته، مساحت تاج پوشش، مساحت برگ، عملکرد خشک بوته و میزان کلروفیل a و b اکوتیپ‌های مورد مطالعه و واکنش متفاوت این اکوتیپ‌ها در قبال تنش خشکی، بیانگر ظرفیت ژنتیکی غنی این گیاه بومی در ایران است که می‌توان از آن در انتخاب

References

- Abbasi, Sh., 2018. Investigation of morphological characteristics of trichomes and its role in the active ingredient and the occurrence of genes related to the synthesis of thymol in thymus species under drought stress. Ph.D. thesis, The Field of Plant Breeding, The Tendency of Biometry, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.
- Abbasi, Sh., Houshmand, S.A., Mirakhorli, N. and Ravash, R., 2018. Evaluation of morphological traits, trichome structure and their association with essential oil content in four species of thymus (*thymus* sp.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 34(5): 859-869.
- Alizade, A., 2005. The Relationship between Water and Soil. 5th Edition, Astan Ghods Razavi, 472p, (In Persian).
- Ashiri, F., Khoshkhoie, M., Saharkhiz, M., Phirozie, A. and Javidniya, K., 2010. The effect of water deficit stress on morphological traits and chlorophyll content, proline and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. Journal of Horticultural Science and Technology, Iran, 11: 163-174.
- Askary, M., Behdani, M.A., Parsa, S., Jamialahmadi, M. and Mahmoodi, S., 2018. Assessment of changes in yield components, yield and some physiological traits of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak under drought stress and application of manure. Environmental Stresses in Crop Science Journa, 11: 47-63.
- Barchet, G.L.H., Dauwe, R., Guy, R.D., Schroeder, W.R., Soolanayakanahally, R.Y., Campbell, M.M. and Mansfield, S.D., 2014. Investigating the drought stress response of hybrid poplar genotypes by metabolite profiling. Tree Physiology, 34: 1203-1219.
- Biglari, T., Maleksaeidi, H., Eskandari, F. and Jalali, M., 2019. Livestock insurance as a mechanism for household resilience of livestock herders to climate change. Evidence from Iran. Land Use Policy, 87: 1-9.
- Fang, Y.J. and Xiong, L.Z., 2015. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. Cellular and Molecular Life Sciences Cmls, 72: 673-689.
- Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A. and Caruso, G., 2020. Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracuncululus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by Arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. Plants, 9: 1-16.
- Houshmand, S.A., Karimi, Z., Yousofzadeh, K. and Mohammad Khani, A., 2016. Evaluation of some morphological characteristics of eight thyme species (*Thymus* sp.) in three flowering stages. 2nd International and 13th National Iranian Crop Science Congress, University Guilan, Rasht, Iran, 30 August- 1 September.
- Karim, T., 2017. The influence of Gibberellic Acid on essential oil production in Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Master thesis, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna Department of Crop Sciences, Division of Agronomy.
- Karami, H., Maleki, A. and Fathi, A., 2018. Determination effect of mycorrhiza and vermicompost on accumulation of seed nutrient elements in maize (*Zea mays* L.) affected by chemical fertilizer. Journal of Crop Nutrition Science, 4(3): 15-29.
- Kherizadeh Arough, Y. and Seyed Shahrifi, R., 2019. Effects of endo-mycorrhiza, plant growth promoting rhizobacteria and foliar application with nano zinc oxide on effective traits at grain filling of Triticale under soil salinity condition. Journal of Palnt Process and Function, 23(7): 69-84.
- Laurindo, L.K., Augusto, T., Silva, L.J.R. and Casal, T.B., 2020. Fungos micorrízicos arbusculares. 7-23, In: Tancredo, S.L. (Ed.), Indicadores Da Qualidade Do Solo Em Sistemas Agroflorestais e Ecossistemas Associados. PPGEAN, Curitiba, Curitiba.
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomern

- branes. *Methods in Enzymology*, 148: 350-382.
- Masoumi Zavarian, A., Yousefi Rad, M. and Asghari, M., 2015. Effects of mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative characteristics of anise plant (*Pimpinella anisum*) under salt stress. *Journal of Medicinal Plants*, 4(56): 139-148.
 - Monclus, R., Dreyer, E., Villar, M., Delmotte, F.M., Delay, D., Petit, J.M., Barbaroux, C., Thiec, D., Brechet, C. and Brignolas, F., 2006. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* x *Populus nigra*. *New Phytologist*, 169(4): 765-777.
 - Morshedloo, M.R., Salami, S.A., Nazeri, V. and Craker, L.E., 2017. Prolonged water stress on growth and constituency of Iranian of oregano (*Origanum vulgare* L.). *Journal of Medicinally Active Plants*, 5(2): 7-19.
 - Okunlola, G.O., Olatunji, O.A., Akinwale, R.O., Tariq, A. and Adelusi, A.A., 2017. Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Horticultural Science*, 224: 198-205.
 - Pavela, R., Zabka, M., Vrchotová, N. and Tříska, J., 2018. Effect of foliar nutrition on the essential oil yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Industrial Crops and Products*, 112: 762-765.
 - Phillips, J.M. and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular Arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. *Mycologia Society Journal*, 55: 159-161.
 - Ramak, M., khavarinezhad, R., Heidary-Sharifabadie, H., Rafiei, M. and Khademie, K., 2005. The effect of water stress on dry matter content and photosynthetic pigments in two species of onobrychis. *Journal of Genetic Research and Breeding of Rangeland and Forest Plants of Iran*, 14(2): 80-91.
 - Rezaie, M., Safarnejad, A., Arab, M., Alamdari, B.L. and Delir, M., 2016. Study the morphological diversity and essential oil content of several Thyme species (*Thymus* sp.) native to Iran. *Journal of Horticultural Science*, 30(3): 383-394.
 - Ruiz-Lozano, J.M., Aroca, R., Zamarreño, Á.M., Molina, S., Andreo-Jiménez, B., Porcel, R., Garcia-Mina, J.M., Ruyter-Spira, C. and Lopez-Raez, J.A., 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant Cell Environment*, 39(2): 441-452.
 - Ruiz-Sánchez, J.M., Aroca, R., Muñoz, Y., Polón, R. and Ruiz-Lozano, J.M., 2010. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 167: 862-869.
 - Sajed, H., Sahebkar, A. and Iranshahi, M., 2013. *Zataria multiflora* Boiss. (Shirazi thyme) -an ancient condiment with modern pharmaceutical uses. *Journal of Ethnopharmacology*, 145(3): 686-698.
 - Scharf, P.C., Shannon, D.K. and Latchern, N.R., 2015. Sensor based selenium application producer chosen rates on wheat demonstrations. *Agronomy Journal*, 107: 445-458.
 - Selosse, M.A., Strullu-Derrien, C., Martin, F.M., Kamoun, S. and Kenrick, P., 2015. Plants, fungi and oomycetes: a 400-million years' affair that shapes the biosphere. *New Phytologist*, 206: 501-506.
 - Shahhosseini, Z., Gholami, A. and Asghari, M., 2012. Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 2(1): 39-57.
 - Spatafora, J.W., Chang, Y., Benny, G.L., Lazarus, K., Smith, M.E., Berbee, M.L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., Gryganskyi, A., James, T.Y., O'Donnell, K., Roberson, R.W., Taylor, T.N., Uehling, J., Vilgalys, R., White, M.M. and Stajich, J.E., 2016. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, 108: 1028-1046.
 - Van der Heijden, M.G.A., Martin, F.M., Selosse, M.A.A. and Sanders, I.R., 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205: 1406-1423.
 - Yaghobiyani, E., Pirdashti, H., Mohammadi-Goltappe, A., Feyzi-Asl, V. and Esfandiyarie, A., 2012. Evaluation the response of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) species Azar II to mycorrhiza arbuscular and arbuscular semi mycorrhiza fungi symbiosis at different levels of drought stress. *Agricultural Ecology Journal*, 4(1): 63-73.
 - Yooyongwech, S., Samphumphuang, T., Tisarum, R., Theerawitaya, C. and Chaum, S., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficit tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline. *Horticultural Science*, 198: 107-117.
 - Yosefzade, K., 2015. Phytochemical investigation and

- evaluation of candidate genes related to the synthesis of thymol in thymus species under drought stress. Ph.D. thesis, Shahrekord University, Iran.
- Zarik, L., Meddich, A., Hijri, M., Hafidi, M., Ouhammou, A., Ouahmane, L., Duponnois, R. and Boumezzough, A., 2016. Use of arbuscular mycorrhizal fungi to improve the drought tolerance of *Cupressus atlantica* G. Plant biology and pathology, 339(5-6): 185-196.
 - Zhang, J.J., Li, H., Gao, H.J., Zhu, P., Gao, Q. and Wang, L.C., 2014. Effects of long-term fertilization and cropping regimes on total nitrogen and organic nitrogen forms in a Mollisol of Northeast China. Plant, Soil and Environment, 60(12): 544-549.
 - Zheng, H., Zhang, X., Ma, W., Song, J., Rahman, S.U., Wang, J. and Zhang, Y., 2017. Morphological and physiological responses to cyclic drought in two contrasting genotypes of *Catalpa bungei*. Environment, Experimental, Botany, 138: 77-87.