Iranian Genetics Society
Journal of Genetics and Plant Breeding
Online ISSN : 3060-7271
Shahid Bahonar University of Kerman

The effect of arbuscular mycorrhizal fungi under drought and non-stress conditions on some morphological traits in three thyme species (*Thymus* spp.)

Fariba Azarbar

*Corresponding Author: MSc Graduate, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email address: azarbarfariba62@gmail.com

Sadullah Hoshmand

Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email address: s_hoshmand@yahoo.com

Roudabeh Ravash

Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email address: r.ravash@gmail.com

Mohammad Rabiei

Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email address: rabiei@sku.ac.ir

Abstract

Objective

Thyme is an important medicinal and spice plant that has played a significant role in nutrition as a spice and in controlling infections and inflammations, thereby improving human health and quality of life over different centuries. Arbuscular mycorrhizal fungi, in symbiosis with plants, enhance nutrient uptake and mitigate the adverse effects of drought and salinity stress. This study investigated the effect of arbuscular mycorrhizal fungi under drought and non-stress conditions on some morphological traits of three thyme species.

Materials and Methods

In this study, a factorial experiment with three replications was conducted to investigate the effect of drought stress at two levels (90 and 50% of field capacity) and the applications of arbuscular mycorrhizal fungi at two levels (with or without fungi) on some morphological traits of nine

ecotypes belonging to three species thyme species: *Thymus vulgaris*, *T. pulegiodes* and *T. serpyllum.* The study was carried out under greenhouse conditions. The investigated traits included morphological traits such as plant height, leaf length, leaf area, number of leaves, and plant fresh weight.

Results

The results of the analysis of variance showed that except for the interaction effect of stress and mycorrhizal fungi on plant height and the effect of mycorrhizal fungi on leaf length and plant fresh weight, the main factors, including ecotype, drought stress, and the application of mycorrhizal fungi as well as the two-way and three-way interaction effects of these factors on the investigated traits were very highly significant. Although the intensity of changes among ecotypes varied under the influence of drought stress and fungi, drought stress generally caused a reduction in most traits, including plant height, leaf length, leaf area, and plant fresh weight. Conversely, the application of mycorrhizal fungi increased the values of these traits to varying degrees in most ecotypes under both moisture conditions.

Conclusion

Mycorrhizal fungi can mitigate the adverse effects of drought stress and, in some cases, fully compensate for it. Therefore, to enhance the traits of thyme species, it is recommended to apply mycorrhizal fungi under both drought stress and non-stress conditions.

Keywords: Interaction effects, Mycorrhizal fungi, Thyme ecotypes, Water deficit.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Azarbar F, Hoshmand S, Ravash R, Rabiei M (2024) The effect of arbuscular mycorrhizal fungi under drought and non-stress conditions on some morphological traits in three thyme species *(Thymus* spp.). *Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (2), 73-86.

Journal of Genetics and Plant Breeding 1 (2), 73-86. DOI: 10.22103/gpb.2025.23056.1008

Received: March 31, 2024. Received in revised form: May 30, 2024.

Accepted: May 31, 2024. Published online: June 29, 2024.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society.

© the authors

تاثیر قارچ میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش و عدم تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک در سه گونه آویشن (*Thymus* spp.)

فریبا آذربار بارده

*نویسنده مسئول: دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: azarbarfariba62@gmail.com

سعداله هوشمند

استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: s_hoshmand@yahoo.com

رودابه راوش

استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: R.ravash@gmail.com

محمد ربیعی

استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: rabiei@sku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۲ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱

چکیده

هدف: آویشن یک گیاه دارویی و ادویه‌ای مهم است و در طی قرون مختلف در تغذیه به‌عنوان یک ادویه و درمان برای کنترل عفونت‌ها و التهاب‌ها در بهبود سلامت و کیفیت زندگی انسان مؤثر بوده است. قارچ میکوریزا آربوسکولار در همزیستی با گیاهان باعث بهبود تغذیه و کاهش اثرات منفی تنش‌های خشکی و شوری در آن‌ها می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی اثر قارچ میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش و عدم تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک در سه گونه آویشن انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، طی یک آزمایش فاکتوریل با سه تکرار تأثیر تنش خشکی با دو سطح (۹۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، و اعمال قارچ میکوریزا آربوسکولار در دو سطح (کاربرد یا عدم کاربرد قارچ) بر برخی صفات مورفولوژیک نُه اکوتیپ از سه گونه آویشن شامل *Thymus vulgaris*، *T. pulegiodes* و *T. serpyllum* در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. صفات مورد بررسی در این پژوهش شامل صفات مورفولوژیکی از جمله ارتفاع بوته، مساحت برگ، عرض برگ، طول برگ و وزن تر بوته بود.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس نشـــان داد به‌جز اثر متقابل تنش و قارچ میکوریزا بر ارتفاع بوته و اثر میکوریزا بر طول برگ و وزن تر بوته، اثر عوامل اصلی شامل اکوتیپ، تنش خشکی و اعمال قارچ میکوریزا و اثرات متقابل دو طرفه و سه طرفه این عوامل بر صفات مورد برر سی ب سیار معنی‌دار بود. هرچند میزان شدت تغییرات اکوتیپ‌ها تحت تاثیر تنش خ شکی و اعمال قارچ متفاوت بود، اما در کل تنش خ شکی باعث کاهش در اغلب صفات از جمله ارتفاع بوته، طول برگ، م ساحت برگ و وزن تر بوته گردید. از طرف دیگر به‌کارگیری قارچ میکوریزا افزایش مقادیر صفات را در اغلب اکوتیپ‌ها با شدت‌های متفاوت در هر دو شرایط رطوبتی به‌دنبال داشت.

نتیجه‌گیری: به‌کارگیری قارچ میکوریزا می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را تعدیل و در برخی موارد به‌طور کامل جبران نماید. لذا برای بهبود صفات گونه‌های آویشن استفاده از این قارچ در شرایط تنش و بدون تنش خشکی توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اثرات متقابل، اکوتیپ‌های آویشن، قارچ‌های میکوریزا، کمبود آب.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: آذربار بارده فریبا، هوشمند سعداله، راوش رودابه، ربیعی محمد (۱۴۰۳) تاثیر قارچ میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش و عدم تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک در سه گونه آویشن (*Thymus* spp.). *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۱(۲)، ۸۶-۷۳.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society

© the authors

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین جنس‌های خانواده Lamiaceae، جنس Thymus است که از ۲۵۰ تا ۳۵۰ گونه تشکیل شده است و در اروپا، آسیا، شمال آفریقا و جزایر قناری پراکنده شده است. این گیاه از قدیم الایام به‌دلیل خواص ارزشمند دارویی خود که با ترکیبات شیمیایی آن به‌ویژه اسانس آن مرتبط است مورد استفاده قرار می‌گرفته است. در میان این گونه‌ها، *T. vulgaris* سابقه طولانی استفاده برای مصارف مختلف غذایی و دارویی متعدد از جمله فعالیت‌های ضد روماتیسمی، ضد عفونی کننده، ضد اسپاسم، ضد میکروبی، ضد التهابی، ضد نفخ، ادرارآور و خلط آور دارد.

یکی از مهمترین تنش‌های محیطی در ایران خشکی است. این تنش برای تولید گیاهان دارویی و زراعی به‌عنوان یک عامل محدود کننده شناخته می‌شود (Ashiri et al. 2010). تنش خشکی یکی از محدودیت‌های عمده‌ای است که تولید محصول را در سراسر جهان محدود می‌کند. مدل‌های رشد محصول پیش بینی می‌کنند که این موضوع در آینده شدیدتر نیز خواهد بود. خشکی رشد طبیعی و روابط آبی را مختل می‌کند و کارایی مصرف آب را در گیاهان کاهش می‌دهد. با این حال، گیاهان در واکنش به تنش

خشکی دارای انواع پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سطوح سلولی و کل ارگانیسم هستند که آن را به یک پدیده پیچیده‌تر تبدیل می‌کند. سرعت فتوسنتز عمدتاً با بسته شدن روزنه، آسیب غشاء و اختلال در فعالیت آنزیم‌هایی که در سنتز ATP دخیل هستند، کاهش می‌یابد. گیاهان طیف وسیعی از مکانیسم‌ها را برای مقاومت در برابر تنش خشکی نشان می‌دهند، مانند کاهش اتلاف آب با افزایش مقاومت انتشاری، افزایش جذب آب با سیستم‌های ریشه کارآمد و عمیق، برگ‌های کوچکتر برای کاهش تلفات تعرق، و تولید اسمولیت‌های با وزن مولکولی کم از جمله گلیسین بتائین، پرولین. سایر اسیدهای آمینه‌ها و اسیدهای آلی نیز نقش حیاتی در حفظ عملکرد سلولی در شرایط خشکی دارند (Yousefzadeh et al. 2022). آویشن همانند اکثر گیاهان نسبت به تنش عکس‌العمل فیزیولوژیک و مورفولوژیک نشان می‌دهد. اگرچه مشخص شده است که تاثیر تنش آبی روی رشد و عملکرد وابسته به ژنوتیپ می‌باشد، با این حال با افزایش تنش خشکی از ماده خشک تولیدی کاسته می‌شود و همزمان روی مقدار اسانس، ترکیب و ماده موثره گیاه اثر می‌گذارد (Babaee et al. 2010).

میکوریزا آربوسکولار یک ارتباط بیولوژیکی دوجانبه سودمند بین گونه‌های شاخه قارچی گلومرومیکوتا و ریشه‌های گیاهان عالی است. تصور می‌شود که این همزیستی به گیاهان سبز فرصت حمله به زمین‌های خشک را در حدود ۴۵۰ میلیون سال قبل داده است و اکثریت قریب به اتفاق گیاهان زمینی موجود این ارتباط را حفظ کرده‌اند. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار (AM) عملکردهای اکولوژیکی مختلفی را در ازای کربن فتوسنتزی میزبان انجام می‌دهند که تقریباً همیشه به تناسب میزبان از سطح فردی تا جامعه کمک می‌کند و در شرایط تنش خشکی به تحمل به خشکی گیاهان مختلف از جمله گیاهان دارویی مانند آویشن شیرازی کمک می‌کند (Zhang et al. 2014; Aghababapoor Dehkordi et al. 2024). میکروب‌های مرتبط با گیاه، مانند قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، می‌توانند پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مولکولی را برای تحمل تنش خشکی تنظیم کنند، و توانایی قوی برای مقابله با آسیب اکسیداتیو ناشی از خشکسالی از طریق سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی تقویت‌شده دارند (Zou et al. 2021). عملکرد میکوریزا در برابر تنش آب و کاهش اثر تنش خشکی بر گیاهان با تنظیم مکانیسم‌های بیوشیمیایی آن‌ها انجام می‌شود. این مکانیسم شامل جذب مستقیم آب توسط هیف‌ها و انتقال آن به گیاه میزبان، افزایش محتوای آب و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن، مانند رادیکال‌های هیدروکسیل، اکسیژن منفرد، پراکسید هیدروژن، و رادیکال آنیون سوپراکسید می‌باشد (Huang et al. 2017). همزیستی گیاهان با قارچ میکـوریزا دارای اثرات مثبت بر روی کمیت و کیفیت گیاهان می‌باشد، به‌طوری‌که همزیسـتی بـا این قارچ اثرات سوء ناشی از فقر عناصر غذایی و اثر منفی تنش‌های خشـکی و شوری را کاهش و رشـد گیـاه، جـذب عناصـرغذایی نظیر نیتروژن، فسفر، برگشت‌پذیری (پس از تـنش) و تحمـل گیـاه را بالا می‌برد (Franken 2012).

از آنجایی که آویشن دارای خواص دارویی و غذایی است، جزء گیاهانی می‌باشد که اهمیت فراوانی دارد و کشت علمی آن می‌تواند نقش مهمی در صنعت دارو سازی، ایجاد اشتغال، صادرات غیرنفتی، جلوگیری از بردا شت بی‌رویه رویشگاه‌های طبیعی و جلوگیری از فرسایش ژنتیکی داشته باشد. با توجه به خشکسالی‌های اخیر و اهمیت گیاه آویشن، در این تحقیق اثر قارچ میکوریزا آربوسکولار و تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک نُه اکوتیپ از سه گونه مختلف گیاه آویشن بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش نُه اکوتیپ از سه گونه مختلف گیاه آویشن شامل چهار اکوتیپ با کدهای THy1، THy17، THy12 و THy9 از گونه *Thymus vulgaris* L، سه اکوتیپ با کدهای THy13، Thy24 و THy23 از گونه *Thymus pulegiodes* L. و دو اکوتیپ با کدهای CHAM و SERP از گونه *Thymus serpyllum* L. بودند. بذور اکوتیپ‌های آویشن از موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی کشور آلمان (IPK) دریافت شد. کشت بذرها در سینی نشاء در شرایط گلخانه در بستری با ترکیب پیت ماس و کوکوپیت به نسبت چهار به یک انجام شد. پس از شش هفته نشاها به گلدان به ابعاد ۱۲×۱۵ سانتی متر منتقل شدند و آبیاری با توجه به نیاز گیاه هر ۳-۲ روز یک بار انجام شد.

اعمال قارچ میکوریزا آربوسکولار و تنش خشکی و طرح آزمایشی: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه شهرکرد انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل تنش خشکی (دو سطح ۹۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، قارچ میکوریزا (دو سطح استفاده و عدم استفاده) و اکوتیپ‌های آویشن (۹ اکوتیپ) بود. برای اعمال تیمار قارچ میکوریزا در هر گلدان سه حفره ایجاد کرده و در هر حفره ۲۰ گرم خاک حاوی قارچ میکوریزا اضافه شد. برای تعیین درصد کلونیزه‌شدن ریشه گیاه آویشن با میکوریز، قسمتی از ریشه تازه گیاهان (حدود ۰/۲ گرم) به‌صورت تصادفی انتخاب شد و برای تعیین درصد کلونیزه‌شدن قارچ میکوریزا با ریشه‌ها از روش Giovannetti & Mosse (1980) استفاده شد. بر اساس این روش ریشه‌های رنگ‌آمیزی‌شده به قطعات یک سانتی‌متری تقسیم شده در و سطح یک پتری‌دیش مشبک پخش گردیدند. سپس با استفاده از میکروسکوپ با بزرگنمائی ۴۰ تعداد برخورد هر یک از اندام قارچی (شامل ریسه، آرباسکول و وزیکل) با خطوط شبکه پتری‌دیش شمارش‌بر و حسب درصد محاسبه گردید.

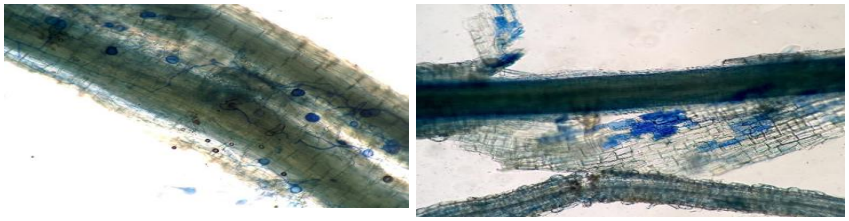
یک و نیم ماه بعد از مصرف قارچ میکوریزا، تنش خشکی به‌مدت چهار هفته به‌روش وزنی اعمال شد. در این راستا ظرفیت مزرعه‌ایی خاک مورد استفاده تعیین و بر اساس رسیدن رطوبت خاک به سطوح ۹۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (به‌ترتیب شاهد و تنش خشکی) آبیاری انجام شد. بعد از اتمام دوره یک ماهه تنش، صفات مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی صفات مورفولوژیک: صفات مورد بررسی در این پژوهش شامل صفات مورفولوژیکی از جمله ارتفاع بوته، طول برگ، عرض برگ، تعداد برگ و وزن تر بوته بود. اندازه‌گیری ارتفاع بعد از اعمال تنش خشکی با استفاده از خط‌کش و به‌صورت میانگین اندازه ارتفاع گیاه در ۵ شاخه به‌طور تصادفی صورت گرفت. طول و عرض برگ‌ها در زیر بینوکولار عکس گرفته شد. با کمک نرم افزار Imagej طول، عرض و مساحت برگ‌ها اندازه‌گیری گردید و متوسط آن‌ها به‌عنوان طول، عرض و مساحت برگ در نظر گرفته شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد تر بوته، پس از اعمال تنش خشکی، گیاه از پنج سانتی‌متری خاک گلدان قطع شد و وزن آن اندازه‌گیری شد. این وزن به‌عنوان عملکرد تر محسوب شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آماری: تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال یک درصد با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی همزیستی: نمونه‌ای از همزیستی قارچ میکوریزا آربوسکولار با اکوتیپ‌های مورد مطالعه آویشن در شکل ۱ ارائه داده شده است. نتایج عکس‌برداری‌های میکروسکوپی نشان داد قارچ میکوریزا به‌خوبی با تمامی اکوتیپ‌های آویشن مورد ارزیابی رابطه همزیستی برقرار کرده و در ریشه این گیاهان مستقر شده است (شکل ۱). به‌عبارتی قارچ میکوریزا ریشه‌های گیاه مایه‌زنی شده را کلونیزه و به داخل اپیدرم‌ها نفوذ کرده است و قادر به رشد همراه با ریشه‌های گیاه آویشن بوده است.



شکل ۱. نمونه‌ای از عکس میکروسکوپی برقراری رابطه هم‌زیستی قارچ میکوریز با ریشه اکوتیپ‌های آویشن (*Thymus spp.*)

Figure 1. An example of a microscopic photograph of the establishment of a symbiotic relationship between mycorrhizal fungi and the roots of thyme ecotypes (Thymus spp.)

اثر قارچ میکوریزا آربوسکولار و تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌های آویشن: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد به‌جز اثر قارچ میکوریزا آربوسکولار بر طول برگ و وزن تر بوته آویشن، عوامل اصلی شامل اکوتیپ، تنش خشکی و اعمال قارچ میکوریزا و اثرات متقابل دو طرفه و سه طرفه این عوامل بر صفات مورد بررسی اثر بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۱). معنی‌دار شدن اثر اکوتیپ بیانگر تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های مورد بررسی برای این صفات می‌باشد. همچنین معنی‌دار شدن اثر تنش خشکی و کاربرد میکوریزا بیانگر بروز متفاوت صفات در سطوح مختلف هر کدام از این عوامل بوده و از طرف دیگر معنی‌دار شدن اثرات متقابل عوامل بیانگر واکنش متفاوت صفات در مواجه با سطوح هر یک از عوامل در سطوح عامل دیگر می‌باشد.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، طول، عرض و مساحت برگ اکوتیپ‌های آویشن در سطوح مختلف تنش خشکی و میکوریز

Table 1. Results of analysis of variance of plant height, length, width and leaf area of thyme ecotypes at different levels of drought stress and mycorrhiza

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares				
		ارتفاع بوته Plant height	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	مساحت برگ Leaf area	وزن تر بوته Plant fresh weight
تکرار Repetition	2	15.1**	29.9**	10.7**	7.4**	0.4**
اکوتیپ (G) Ecotype (G)	8	581.7**	1316.0	565.0**	592.3**	4.3**
تنش خشکی (S) Drought stress (S)	1	751.5**	28.5**	150.6**	10.3**	0.4**
قارچ میکوریزا (M) Mycorrhizal fungi (M)	1	2204.6**	1.6 ns	36.2**	277.2**	0.01**
Drought stress×Ecotype S×G	8	23.3**	117.3**	95.8**	78.6**	1.7**
Mycorrhizal fungi×Ecotype M×G	8	85.6**	191.3**	53.5**	34.6**	1.6**
Drought stress×Mycorrhizal fungi S ×M	1	0.01 ns	325.6**	46.0**	23.1**	0.3**
Ecotype×drought stress×Mycorrhizal fungi G ×S×M	8	26.4**	58.8**	91.1**	46.1**	1.8**
خطا Error	70	0.4	0.8	0.5	0.2	0.0
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)		2.6	2.0	2.3	1.9	4.2

ns، و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۱

ارتفاع بوته: اثر عوامل اصلی اکوتیپ، تنش خشکی و قارچ میکوریزا به‌همراه اثرات متقابل به‌جز اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر صفت ارتفاع بوته ئر گیاه آویشن معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل سه گانه اکوتیپ، تنش و کاربرد قارچ، میانگین صفات برای ترکیب سطوح این سه عامل در جدول ۲ آورده شده است. میانگین ارتفاع بوته اکوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش خشکی و عدم کاربرد قارچ میکوریزا، از ۱۲/۳ سانتی‌متر (اکوتیپ TH23 از گونه *T. pulegiodes*) تا ۳۴/۹ سانتی‌متر (اکوتیپ TH17 از گونه *T. vulgaris*) متغیر بود.

جدول ۲. میانگین برخی صفات مورفولوژیک ژنوتیپ‌هایی از سه گونه آویشن در سطوح تنش خشکی و قارچ میکوریز

Table 2. Average of some morphological traits of genotypes of three thyme species at drought stress levels and mycorrhizal fungus

وزن تر بوته (گرم) Plant fresh weight (g)		مساحت برگ (میلی‌متر مربع) Leaf area (mm^2)		عرض برگ (میلی‌متر×۱۰) Leaf width (mm×10)		طول برگ (میلی‌متر×۱۰) Leaf length (mm×10)		ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)				
با میکوریز With mycorrhiza	بدون میکوریز Without mycorrhiza	با میکوریز With mycorrhiza	بدون میکوریز Without mycorrhiza	با میکوریز With mycorrhiza	بدون میکوریز Without mycorrhiza	با میکوریز With mycorrhiza	بدون میکوریز Without mycorrhiza	با میکوریز With mycorrhiza	بدون میکوریز Without mycorrhiza	اکوتیپ Ecotype	گونه Species	سطح تنش Stress level
1.93 nop	1.75 gh	11.3 q	13.8 p	34.6 de	31.7 gh	51.3 e	48.3 f	30.0 f	29.8 f	THY1		
1.08 klm	0.89 nop	14.1 p	13.8 p	27.9 ij	25.9 kl	41.0 hij	40.7 ij	37.4 c	30.8 ef	THY9	*Thymus vulgaris*	
2.56 c	2.16 ef	33.1 abc	31.8 ef	42.0 ab	37.9 c	51.7 e	59.7 b	28.4 gh	23.3 k	TH12		
2.39 d	2.17 ef	25.4 j	32.9 bcd	31.9 gh	34.8 de	60.5 ab	34.8 l	39.3 b	34.9 d	TH17		
2.10 f	1.27 ij	34.0 a	30.1 g	41.9 ab	42.9 a	56.0 c	51.8 e	45.0 a	25.1 j	TH13		بدون تنش
1.02 lmn	0.97 mno	32.8 bcde	31.2 f	30.8 h	31.8 gh	41.9 hi	34.91 l	15.3 p	12.3 q	TH23	*Thymus pulegiodes*	non stress
1.08 klm	2.34 d	14.3 p	14.4 p	31.8 gh	41.8 ab	52.9 de	56.0 c	35.5 d	18.4 no	TH24		
0.79 pqr	0.60 s	32.3 cde	19.4 n	18.0 o	12.7 p	19.7 o	21.3 no	31.5 e	17.5 o	CHAM	*Thymus serpyllum*	
2.18 ef	1.95 f	28.6 h	18.0 o	26.7 jk	27.3 ijk	41.3 hij	39.7 j	23.9 jk	12.7 q	SERP		
1.68	1.59	25.10	2.83	31.73	31.88	46.25	43.02	31.81	22.76	**Average under non stress conditions**		**میانگین در شرایط بدون تنش**
0.70 qrs	1.37 i	18.2 o	11.9 q	28.7 i	33.0 fg	40.7 ij	49.3 f	27.8 hi	27.0 i	THY1		
1.25 ij	1.70 h	14.2 p	12.0 q	37.8 c	35.9 d	40.4 ij	35.3 kl	34.4 d	21.5 l	THY9	*Thymus vulgaris*	
1.14 jkl	1.14 jkl	27.6 i	26.9 i	27.8 ij	35.8 d	31.8 m	54.6 cd	25.0 j	20.2 lm	TH12		
4.10 a	1.18 jk	33.5 ab	31.9 ef	25.9 kl	33.9 ef	52.9 de	51.8 e	38.2 bc	23.4 k	TH17		تنش خشکی
1.85 g	2.35 d	32.0 def	22.1 m	40.7 b	32.0 gh	61.8 a	59.8 b	29.6 fg	18.7 no	TH13		Drought
1.18 jk	0.83 opq	23.7 l	19.8 n	41.9 ab	22.8 n	45.8 g	40.9 hij	12.6 q	10.8 r	TH23	*Thymus pulegiodes*	stress
2.27 de	2.08 f	24.2 kl	14.4 p	32.0 gh	24.8 lm	44.9 g	51.8 e	24.6 jk	14.3 p	TH24		
0.60 s	0.91 nop	30.2 g	27.0 i	17.0 o	14.0 p	30.7 o	23.0 n	27.5 hi	12.3 q	CHAM	*Thymus serpyllum*	
0.84 opq	0.68 rs	25.1 jk	25.6 j	24.3 m	21.7 n	37.0 k	42.7 h	19.5 mn	9.4 r	SERP		
1.55	1.47	25.41	21.28	30.67	28.21	41.75	45.47	26.52	17.50	**Average under drought stress conditions**		**میانگین در شرایط تنش خشکی**

برای هر صفت میانگین‌های دارای حرف مشترک براساس آزمون LSD و در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته در همه اکوتیپ‌ها شد. به‌نحوی که دامنه تغییرات این صفت در شرایط تنش و بدون اعمال قارچ از ۹/۴ سانتی‌متر (اکوتیپ SERP از گونه *T. serpyllum*) تا ۲۷ سانتی‌متر (اکوتیپ THY1 از گونه *T. vulgaris*) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها در ترکیب سطوح تنش و قارچ میکوریزا برای ارتفاع بوته بیانگر آن است که ضمن تفاوت معنی‌دار اکوتیپ‌ها در هر یک از ترکیبات تیماری تنش و کاربرد قارچ، در کل تنش خشکی باعث کاهش میانگین ارتفاع بوته اکوتیپ‌ها از۲۲/۷۶ به ۱۷/۵۰ سانتی‌متر گردید. به‌کارگیری قارچ میکوریزا در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، افزایش ارتفاع بوته را به دنبال داشت. هرچند این افزایش به نوع اکوتیپ و شرایط تنش بستگی داشت، به‌عنوان مثال در اکوتیپ TH13 از گونه *T. pulegiodes* در شرایط بدون تنش با افزایش حدود ۲۰ سانتی‌متری در پی اعمال قارچ مواجه شد.

به‌طور کلی استفاده از قارچ میکوریزا در شرایط بدون تنش میانگین ارتفاع بوته اکوتیپ‌ها از۲۲/۷۶ به ۳۱/۸۱ سانتی‌متر و در شرایط تنش خشکی ارتفاع بوته را از ۱۷/۵۰ به ۲۶/۵۲ افزایش داد (جدول ۲).

در مطالعه همزیستی قارچ میکوریزا بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های آویشن شیرازی در شرایط تنش خشکی گزارش گردید کاربرد قارچ میکوریزا افزایش ارتفاع بوته اکوتیپ‌های مختلف آویشن شیرازی را در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی به‌دنبال داشت (Aghababapoor Dehkordi et al. 2024). همچنین نتایج مشابهی از اثر قارچ میکوریزا بر افزایش ارتفاع بوته در گیاهان مختلف از جمله زیره، پونه استویا و فلفل در شرایط تنش و عدم تنش خشکی گزارش شده است (Haghir Ebrahimabadi et al. 2018; Zare Hassanabadi et al. 2020; Nabizadeh et al. 2023).

طول، عرض و مساحت برگ: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر اکوتیپ، تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا و کلیه اثرات متقابل بر طول، عرض و مساحت برگ آویشن به‌جز اثر قارچ بر طول برگ بسیار معنی‌دار بود (جدول ۱) که حکایت از تفاوت اکوتیپ‌های سه گونه آویشن، تأثیر اعمال تنش خشکی و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر این صفات بود. اکوتیپ‌ها از نظر ویژگی‌های طول، عرض و مساحت برگ واکنش متفاوتی به تنش خشکی و کاربرد قارچ نشان دادند. به‌عنوان مثال طول برگ اکوتیپ TH13 با اعمال تنش خشکی در هر دو شرایط با و بدون قارچ افزایش نشان داد در حالی که این صفت در شرایط مشابه برای اکوتیپ THY9 از گونه *T. vulgaris* با کاهش مواجه بود. بر مبنای میانگین کل اکوتیپ‌ها، تنش خشکی به‌جز طول برگ، کاهش عرض برگ و سطح برگ را به‌دنبال داشت و از طرف دیگر کاربرد قارچ میکوریزا به‌جز طول برگ در شرایط تنش باعث افزایش طول، عرض و مساحت برگ شد.

گزارش شده است که صفات رویشی گیاه مانند سطح برگ، حجم بوته و ارتفاع گیاه در شرایط کم آبی کاهش می‌یابد (Hafez et al. 2020؛ Abdelaal et al. 2018). تنش خشکی سطح برگ، ارتفاع گیاه و تجمع ماده خشک را در بسیاری از گونه‌های گیاهان دارویی و زینتی کاهش می‌دهد (Soureshjani et al. 2019) و بنابراین باعث افت رشد (رویشی و زایشی) می‌شود. از طرفی استرس اکسیداتیو تحریک شده در گیاهان (ناشی از تنش خشکی)، تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای سلولی، پیامدهای مرتبط با استرس کمبود آب در گیاهان را تشدید می‌کند و از این طریق نیز سطح برگ و حجم کلی بوته را کاهش می‌دهد. در تحقیقی Sakha et al. (2020) مشاهده کردند که تلقیح سیب زمینی شیرین با قارچ میکورز باعث ایجاد شاخه‌های بیشتر و سطح برگ بالاتر شد. این احتمالاً به‌دلیل استقرار سریع سیستم ریشه گیاهان تیمار شده با قارچ میکوریز در شرایط نیمه خشک است. سیستم ریشه تقویت شده به گیاهان اجازه می‌دهد تا مواد مغذی را به‌طور موثرتری جذب کنند (Mutabaruka et al. 2002).

وزن تر بوته: اثر تنش خشکی، اکوتیپ‌ها و کلیه اثرات متقابل به‌جز اثر اصلی قارچ میکوریزا بر عملکرد تر بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). این نتایج بیانگر تفاوت اکوتیپ‌های مورد بررسی، تأثیر تنش خشکی بر این صفت و برهمکنش این عوامل بر عملکرد تر سه گونه آویشن مورد مطالعه می‌باشد.

میانگین وزن تر بوته اکوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش خشکی و عدم کاربرد قارچ میکوریزا، از ۰/۶ گرم در بوته (اکوتیپ CHAM از گونه *T. serpyllum*) تا ۲/۳۴ گرم (TH24 از گونه *T. pulegiodes*) متغیر بود. تنش خشکی باعث کاهش این ویژگی گردید و در مجموع میانگین وزن تر بوته اکوتیپ‌ها را از ۱/۵۹ به ۱/۴۷ گرم کاهش داد. اعمال قارچ میکوریزا در هر دو محیط بدون تنش و تنش خشکی، به‌جز موارد معدود، وزن تر اکوتیپ‌ها را افزایش داد و باعث افزایش میانگین این صفت از ۱/۵۹ به ۱/۶۸ گرم در محیط بدون تنش و از ۱/۴۷به ۱/۵۵ گرم در محیط تنش شد (جدول ۲). از نظر فیزیولوژیکی، خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود که رسانایی روزنه را کاهش می‌دهد تا از هدر رفتن آب از گیاه جلوگیری شود (De Magalhães Erismann et al. 2008). در این حالت تبادل گاز روزنه کاهش می‌یابد و در نتیجه سرعت فتوسنتز و تعرق به تاخیر می‌افتد (Mahmoud & Swaefy 2020) که درنتیجه زیست توده و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد. گزارش شده است که تنش خشکی وزن تر و خشک محصول و همچنین سطح برگ را کاهش می‌دهد (Stikić et al. 2015).

همبستگی صفات مورد بررسی: نتایج حاصل از بررسی ضرایب همبستگی بین صفات در شرایط تنش خشکی و اعمال قارچ میکوریزا نشان داد که بین وزن تر بوته با ارتفاع بوته و طول برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴-۶). به عبارت دیگر افزایش طول برگ و ارتفاع بوته، افزایش وزن تر بوته را به‌دنبال دارد و بالعکس کاهش طول برگ و ارتفاع بوته باعث کاهش وزن تر بوته گردید. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول برگ و عرض برگ در شرایط تنش خشکی و اعمال قارچ میکوریزا وجود داشت. به بیان دیگر تغییرات عرض برگ با طول برگ همسو بوده و هر عاملی که یکی از این صفات را کاهش یا افزایش دهد صفت دیگر را نیز کاهش یا افزایش خواهد داد (جدول ۳). این نتایج مبین آن است که عواملی که باعث افزایش ارتفاع بوته و طول و عرض برگ شوند در نهایت به افزایش وزن تر بوته در شرایط تنش خشکی همراه با اعمال قارچ میکوریزا کمک خواهند کرد. در بررسی همبستگی بین صفات در شرایط بدون تنش و بدون اعمال قارچ میکوریزا همبستگی بسیار معنی‌دار بین صفت طول و عرض برگ مشاهده شد. همچنین وزن تر بوته با صفات طول و عرض برگ همبستگی معنی‌دار در شرایط بدون تنش و بدون اعمال قارچ میکوریزا نشان داد (جدول ۳).

جدول ۳. همبستگی بین صفات اکوتیپ‌های آویشن تحت شرایط تنش خشکی همراه با اعمال قارچ میکوریزا (بالای قطر) و تحت شرایط عدم تنش و بدون اعمال قارچ میکوریزا (پایین قطر)

Table 3. Correlation between traits of thyme ecotypes under drought stress conditions with mycorrhizal fungus application (top of the diameter) and under non-stress conditions without mycorrhizal fungus application (bottom of the diameter)

وزن تر بوته Plant fresh weight	مساحت برگ Leaf area	عرض برگ Leaf width	طول برگ Leaf length	ارتفاع بوته Plant height	
0.5375*	0.1219	-0.1812	0.2043	1.0000	ارتفاع بوته Plant height
0.6156*	0.1893	0.6888*	1.0000	0.1583	طول برگ Leaf length
0.0812	-0.3100	1.0000	0.8309**	0.1990	عرض برگ Leaf width
0.4805	1.0000	0.3541	0.0208	0.0433	مساحت برگ Leaf area
1.0000	0.0833	0.6382*	0.6314*	0.1650	وزن تر بوته Plant fresh weight

*:معنی‌دار در سطح ۵ درصد **:معنی‌دار در سطح ۱ درصد

نتیجه‌گیری: بررسی اثر همزمان تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا بر برخی صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌هایی از سه گونه آویشن *Thymus spp.* مورد بررسی، بیانگر واکنش متفاوت اکوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی در هر یک از سطوح تنش خشکی و اعمال قارچ میکوریزا بود. در کل تنش خشکی باعث کاهش در اغلب صفات مورد بررسی گردید و از طرف دیگر بکارگیری قارچ میکوریزا افزایش مقادیر صفات را در اغلب اکوتیپ‌ها به‌دنبال داشت. به‌کارگیری قارچ میکوریزا می‌تواند کاهش ناشی از تنش خشکی در صفات مورد مطالعه را تعدیل و در برخی موارد به‌طور کامل جبران نماید. لذا برای بهبود صفات گونه‌های آویشن استفاده از این قارچ در شرایط تنش و بدون تنش خشکی توصیه می‌شود.

References

Abdelaal, K. A., Hafez, Y. M., El-Afry, M. M., Tantawy, D. S., & Alshaal, T. (2018). Effect of some osmoregulators on photosynthesis, lipid peroxidation, antioxidative capacity, and productivity of barley (Hordeum vulgare L.) under water deficit stress. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*, 30199-30211. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3023-x

Aghababapoor Dehkordi, A., Houshmand, S., Mohammady, S., & Ravash, R. (2024). Effects of Mycorrhizal Fungi Symbiosis on Some Morpho-Physiological Traits of Zataria multiflora Boiss. Ecotypes under Drought Stress Conditions. *Iranian Journal of Medicinal and*

Aromatic Plants Research, 40(3), 449-466. doi: 10.22092/ijmapr.2024.363502.3375 [In Persian]

Ashiri, F., Khoshkhui, M., Saharkhiz, M., Firuzi, O., & Javidnia, K. (2010). Effects of water deficit stress on morphological characteristics, chlorophyll and proline contents and antioxidant activity of garden thyme (thymus vulgarisl.). *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *11*(2), 163-167. [In Persian]

Babaee, K., Amini Dehaghi, 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 Research*, *26*(2), 239-251. [In Persian]

De Magalhães Erismann, N., Caruso Machado, E., & Sant'Anna Tucci, M. L. (2008). Photosynthetic limitation by CO2 diffusion in drought stressed orange leaves on three rootstocks. *Photosynthesis Research, 96*(2), 163-172. https://doi.org/10.1007/s11120-008-9297-y

Franken, P. (2012). The plant strengthening root endophyte Piriformospora indica: potential application and the biology behind. *Applied Microbiology and Biotechnology*. *96*(6), 1455-1464. https://doi.org/10.1007/s00253-012-4506-1

Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist*, 489-500. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x

Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A., Ibrahim, E., ... & Abdelaal, K. (2020). Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. *Agronomy*, 10(5), 630. https://doi.org/10.3390/agronomy10050630

Haghir Ebrahimabadi, A., Hatami, M., Karimzadeh Asl, K., & Ghorbanpour, M. (2018). Effect of mycorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essential oil constituents in Cuminum cyminum L. *Journal of Medicinal Plants*, *17*(66), 74-90. https://doi.org/20.1001.1.2717204.2018.17.66.3.1 [In Persian]

Huang, Y. M., Zou, Y. N., & Wu, Q. S. (2017). Alleviation of drought stress by mycorrhizas is related to increased root H2O2 efflux in trifoliate orange. *Scientific reports*, *7*(1), 42335. https://doi.org/10.1038/srep42335

Mahmoud, A. W. M., & Swaefy, H. M. (2020). Comparison between commercial and nano NPK in presence of nano zeolite on sage plant yield and its components under water stress. *Agriculture (Pol'nohospodarstvo)*, *66*(1), 24-39. https://doi.org/10.2478/agri-2020-0003

Mutabaruka, R., Mutabaruka, C., & Fernandez, I. (2002). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated to tree species in semiarid areas of Machakos, Kenya. *Arid Land Research and Management*, *16*(4), 385-390. https://doi.org/10.1080/15324980290000485

Nabizadeh, E., Haghshenas, M., Dolatmand, N., & Ahmadi, K. (2023). The effect of mycorrhizal fungus (Piriformospora indica) on the morphological, physiological and biochemical traits of the medicinal plant Stevia (Stevia rebaudiana) under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, *37*(2), 453-465. https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75337.1173 [In Persian]

Sakha, M. A., Jefwa, J., & Gweyi-Onyango, J. P. (2019). Effects of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on growth and yield of two sweet potato varieties. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, *18*(3), 1-8. https://doi.org/10.9734/jaeri/2019/v18i330063

Soureshjani, H. K., Nezami, A., Kafi, M., & Tadayon, M. (2019). Responses of two common bean (Phaseolus vulgaris L.) genotypes to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, *213*, 270-279. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.038

Stikić, R., Jovanović, Z., Marjanović, M., & Djordjević, S. (2015). The effect of drought on water regime and growth of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Ratarstvo i povrtarstvo*, *52*(2), 80-84. https://doi.org/10.5937/ratpov52-8000

Yousefzadeh, K., Houshmand, S., Shiran, B., Mousavi-Fard, S., Zeinali, H., Nikoloudakis, N., ... & Fanourakis, D. (2022). Joint effects of developmental stage and water deficit on essential oil traits (content, yield, composition) and related gene expression: A case study in two Thymus species. *Agronomy*, *12*(5), 1008. https://doi.org/10.3390/agronomy12051008

Zare Hassanabadi, M., Dashti, M., & Akhondi, M. (2020). The effect of two species of Arbuscular mycorrhiza fungi on the activity of antioxidant enzymes and morphophysiological characteristics of Mentha pulegium L. in drought stress. *Technology of Medicinal and Aromatic Plants of Iran*, *2*(2), 83-99. https://doi.org/10.22092/MPT.2020.127803.1049 [In Persian]

Zhang, J. J., Li, H., Gao, H. J., Zhu, P., Gao, Q., & 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. https://doi.org/10.17221/447/2014-PSE

Zou, Y. N., Wu, Q. S., & Kuča, K. (2021). Unravelling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. *Plant Biology*, *23*, 50-57. https://doi.org/10.1111/plb.13161