J. Crop Prod. Process. 2026, 15(4), 55-74; DOI: 10.47176/jcpp.15.4.38051

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

The Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Nutrient Uptake of Four Grape Cultivars Under Drought Stress Conditions

Ali Ghermezi[1], Gholamreza Rabiei*[1], Behrouz Shiran[2], Habibollah Nourbakhsh[3] and Ehsan Shahbazi[2]

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Shahrekord Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shahrekord, Iran

Extended Abstract:

Introduction: Drought stress is one of the important limiting factors affecting horticultural crops production in Iran. It is estimated that more than 80% of Iran's land area is predominated by arid or semi-arid climate. Grape is of both economical and historical importance among the country's horticultural products. The long history of viticulture in Iran, besides the availability of a wide variety of commercial grape cultivars, makes it possible to select for the superior and more tolerant genotypes, better adapted to water-scarce environments. It has been shown that inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) may improve plant's adaptability to soil conditions, including water stress. Hence, a combination of a tolerant grapevine cultivar and a inoculation with mycorrhizal fungus may improve plant's tolerance to water stress.

Materials and Methods: This study investigated the effect of five species of AMF (*Glomus versiform*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, *Glomus caledonium* and *Glomus mosseae*) at three levels of drought stress (irrigation based on 100% of field capacity (available water) as control, 60% and 35% of field capacity) on growth and nutrient absorption of four grapevine cultivars (Rasheh, Siah-e-Samarghandi, Shirazi and Flame Seedless). A completely randomized design experiment with five replications was conducted in a glasshouse at Shahrekord University, Shahrekord, central Iran, during the 2023-2024. Shoot cuttings were potted to induce adventitious roots, then they were inoculated with the mycorrhizal fungi. Evaluation of symbiosis associations of the mycorrhizal fungi with the plants was performed. Then, drought stress treatments were applied and data on leaf area, fresh and dry weight of both the shoots and roots, root colonization, and nitrogen, phosphorus, potassium, iron and zinc contents were collected.

Results: Results revealed that leaf area, internode length and fresh and dry weight of shoots and roots were significantly affected by cultivar, AMF and drought stress. With intensification of drought stress, plant nitrogen, phosphorus, iron and zinc concentrations decreased, whilst potassium concentration increased. Drought stress resulted in growth reduction in all examined grape cultivars. Inoculation and hence symbiosis with AMF improved grapevine growth characteristics and nutrient absorption under drought drought stress conditions. The highest plant phosphorus concentration was observed for Siah-e-Samarghandi inoculated with *G. intraradices* under 60% and 35% drought stress levels (0.23%). The highest potassium concentration was noted for Siah-e-Samarghandi inoculated with *G. etanicatum* under 60% drought stress (2.12%). Flame Seedless vines inoculated with *G. caledonium* and at 35% stress level showed the lowest iron (28.59 ppm) and zinc (7.52 ppm) concentrations. The lowest percentage of colonization (44%) was observed for *G. caledonium* at 35% drought stress. Flame Seedless inoculated with *G. intraradices* showed the highest leaf area, while the highest internode length was observed for Siah-e-Samarqandi inoculated with *G. versiform* (3.94 cm) at 60% drought stress. Therefore, based on the results of this study, inoculation with different AMF species may alleviate the adverse effects of drought stress. Siah-e-Samarqandi appeared to be the most tolerant cultivar to drought stress, whereas Flame Seedless was the most sensitive one.

Received: Dec. 20, 2024; Revised: Oct. 07, 2025; Accepted: Oct. 11, 2025; Published Online: Dec 27, 2025.
* Corresponding Author: rabiei.hort@gmail.com

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Conclusions: This research demonstrated that inoculation with AMF under water stress conditions, significantly improved grapevine cultivars' growth. This effect was more pronounced when *G. intraradices* was used. Inoculation with the selected AMF species can improve nutrients' uptake, as well as the growth of the above ground parts of the grapevine plants. Increase in the colonization of the roots, resulted in higher plant's concentrations of N, P, K, Fe and Zn, and hence increase in the fresh and dry weight of the grapevine's shoots and roots. Among the studied AMF species, *G. intraradices* and *G. mosseae* led to greater symbiotic associations with the plants under drought stress. It can be infered that this enhanced symbiotic association can positively affect roots' morphology and distribution, leading in turn to an enhanced tolerance to drought stress. These findings highlight the importance of mycorrhizal inoculation of grapevine cultivars in their tolerance to drought stress.

Keywords: Field Capacity, Grapes, Growth Characteristics, Symbiosis

How to Cite: Ghermezi A., Rabiei Gh., Shiran B., Nourbakhsh H., Shahbazi E. The Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of four grape cultivars under drought stress conditions. *J. Crop Prod. Process*. 2026, 15(4), 55-74. (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.4.38051.

Copyright © 2026 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱٤۰٤، دوره ۱۵، شماره ٤، صص. ۷٤-۵۵، DOI: 10.47176/jcpp.15.4.38051

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تاثیر قارچ مایکوریزا آربسکولار بر رشد و جذب عناصر در چهار رقم تاک تحت شرایط تنش خشکی

علی قرمزی[۱]، غلامرضا ربیعی*[۱]، بهروز شیران[۲]، حبیب اله نوربخش[۳] و احسان شهبازی[۲]

چکیده: در این پژوهش، اثر پنج نوع قارچ مایکوریزای "ورسیفرم"، "اینترارادیسز"، "اتانیکیتوم"، "کالدونیوم" و "موسهآ" در سه سطح تنش آب (۱۰۰ درصد، ٦۰ درصد و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی)، بر رشد و جذب عناصر غذایی چهار رقم تاک ("رشه"، "سیاه سمرقندی"، "شیرازی" و "فلیم سیدلس") در قالب طرح کاملا تصادفی در پنج تکرار مورد بررسی قرار گرفت. صفات اندازه‌گیری شده سطح برگ، طول میانگره، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، میزان همزیستی ریشه، عناصر معدنی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی بودند. با افزایش سطح تنش خشکی، میزان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، آهن و روی کاهش، اما میزان پتاسیم افزایش یافت. تنش خشکی سبب کاهش پارامترهای رشدی در تمامی ارقام تاک شد. همزیستی با مایکوریزا، سبب بهبود ویژگی‌های رشدی انگور و جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان فسفر در رقم سمرقندی همزیست شده با قارچ اینترارادیسز در شرایط تنش خشکی ٦۰ درصد و ۳۵ درصد (۰/۲۳ درصد) مشاهده شد. بیشترین میزان پتاسیم در تیمار تنش خشکی ٦۰درصد در انگور رقم سیاه سمرقندی همزیست شده با قارچ اتانیکیتوم به‌دست آمد (۲/۱۲ درصد) تاک‌های "فلیم سیدلس" تلقیح شده با قارچ کالدونیوم در تنش ۳۵ درصد کمترین میزان آهن (۲۸/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان روی (۷/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان دادند. کمترین میزان همزیستی در قارچ کالدونیوم در تنش ۳۵ درصد به میزان ٤٤درصد مشاهده شد. بیشترین سطح برگ در همزیستی با قارچ اینترارادیسز در رقم فلیم سیدلس و بیشترین میزان طول میانگره در رقم سیاه سمرقندی همزیست شده با قارچ ورسیفرم (۳/۹٤ سانتی‌متر) در تنش خشکی ٦۰درصد مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج، رقم سیاه سمرقندی متحمل‌ترین و فلیم سیدلس حساس‌ترین رقم بودند.

واژه‌های کلیدی: انگور، ظرفیت زراعی، ویژگی‌های رشدی، همزیستی

دریافت مقاله: ۱٤۰۳/۰۹/۳۰، بازنگری: ۱٤۰٤/۰۷/۱۵، پذیرش: ۱٤۰٤/۰۷/۱۹، اولین انتشار: ۱٤۰٤/۱۰/۰۷

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲.گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد، شهرکرد، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: rabiei.hort@gmail.com

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱٤۰٤ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

در ایران تنش آبی یکی از عوامل محیطی مهمی است که توزیع و بهره‌وری محصولات عمده را محدود می‌کند، زیرا بیش از ۸۲ درصد مناطق ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند که میانگین بارندگی آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر بوده که کمتر از یک سوم میانگین بارندگی در جهان (۸٦۰ میلی‌متر) است (۳). تنش خشکی اغلب باعث کاهش پتانسیل آب خاک، القای کم آبی سلولی و در نهایت مهار گسترش و تقسیم سلولی، اندازه برگ، طویل شدن ساقه، تکثیر ریشه، اختلال در نوسانات روزنه، آب گیاه، جذب مواد مغذی و کارایی مصرف آب می‌شود (۲۲). مطمئناً گیاهان مکانیسم‌های پیچیده‌ای را در ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ایجاد می‌کنند که به فرار، اجتناب و تحمل به خشکی تقسیم می‌شوند تا با تنش خشکی مقابله کنند (۱۱ و٤۱).

گیاهان ارتباط نزدیکی با میکروارگانیسم‌هایی دارند که در آندوسفر خاک-ریزوسفر-ریشه زندگی می‌کنند (۳٤). این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند مزایایی را برای گیاهان فراهم کنند که در تحرک و انتقال مواد مغذی، محافظت در برابر عوامل بیماری‌زا یا آفات نقش داشته و همچنین سبب افزایش عملکرد، تعدیل اثرات نامطلوب انواع تنش‌ها و بهبود ویژگی‌های خاک می‌شوند (۳۸). یکی از این ریزجلنداران، قارچ مایکوریزا بوده که با ریشه گیاهان به‌صورت همزیست زندگی می‌کند (۹). در همزیستی، دو طرف به‌طور متقابل عناصر لازم برای رشد مناسب خود را مبادله می‌کنند؛ قارچ‌های مایکوریزا آب و مواد مغذی را در ازای مولکول‌های کربن حاصل از فتوسنتز به گیاه منتقل می‌کنند (۳۱). مطالعات نشان داد که همزیستی مایکوریزای آربوسکولار قادر به افزایش تحمل گیاهان به خشکی است. تحت شرایط خشکی، مایکوریزای آربوسکولار می‌تواند بقای دانهال را افزایش، جذب و انتقال آب توسط گیاه میزبان را ارتقا، مورفولوژی ریشه را تغییر، توانایی تبادل گاز و مصرف آب را بهبود، سطح هورمون درون‌زای گیاه را تنظیم و حذف گونه‌های اکسیژن فعال را تسریع کند که هدف همه آنها کاهش تأثیر منفی خشکسالی بر گیاهان است (۱۱).

انگور (*Vitis vinifera* L.) از خانواده ویتاسه یکی از ۱۷ جنس این خانواده است. این جنس دارای ۷۰-٦۰ گونه است که به سه گروه اصلی آسیایی، اروپایی و آمریکایی تقسیم می‌شوند. در گروه آسیایی- اروپایی بیش از ۹۰ درصد ارقام انگور تجاری جهان (به‌صورت خالص یا دورگه) جای دارد (٤). مجموع سطح کاشت تاکستان در سال ۲۰۲۰، ۷/۳ میلیون هکتار بود (١٤). با توجه به این‌که بیشتر تاکستان‌های ایران در مناطق خشک و نیمه خشک پراکنده هستند، تنش خشکی سبب بروز مشکلاتی از جمله کوتاه شدن دورهٔ رشد، کاهش گل‌انگیزی و پیری فیزیولوژیک و درنهایت منجر به کاهش عملکرد و از بین رفتن بوته‌های تاک می‌شود (۱۵، ۲۱ و ۳٤). گزارش شده‌است که با افزایش تنش خشکی، رشد ریشه و شاخساره و میزان کلروفیل در ارقام انگور کاهش و میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز افزایش یافت (۵، ۲۳ و ۲٦). نشان داده شده است که کاهش رطوبت خاک، کلونیزاسیون مایکوریزا را تحریک می‌کند، که دلالت بر رابطه مستقیم بین دسترسی به آب توسط گیاه و قارچ‌های مایکوریزا دارد. این رابطه برای افزایش تحمل گیاه به شرایط خشکی نشان داده شده است که قارچ مایکوریزا ابزار مناسبی برای بوته‌های تاک برای مقابله با اثرات تغییرات آب و هوایی است (۳٦).

با توجه به مشکل کم آبی در سال‌های اخیر می‌بایست از راهکارهای مناسبی به‌منظور استفاده بهتر و بهینه از آب در باغ‌های کشور و از جمله تاکستان‌ها استفاده کرد. در این میان، استفاده از قارچ‌های مایکوریزا ممکن است در کارایی استفاده بهتر از آب و حفظ افزایش عملکرد انگور در شرایط کنونی کم آبی موثر باشد. استفاده از تلقیح مایکوریزا به‌عنوان یک روش قابل اعتماد مشخص شده است و روشی برای افزایش بهره‌وری کشاورزی مطرح شده است که همزمان هزینه‌های زیست محیطی را نیز کاهش می‌دهد (۳۷). بنابراین در این پژوهش، از

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک زراعی مورد استفاده

آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	مس (میلی گرم بر کیلوگرم)	منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم)	pH	شوری ($dS\ m^{-1}$)	رطوبت (درصد)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک
۱/۲٤	۰/۱۱	۱/۰۵	۱/۳۳	۷/۳٤	۱	٤٤/٤	٦/۲۰	۳۰۰	۰/۱۹	۰/۰۲	٤٦	٤۰	۱٤	لوم

پنج گونه قارچ مایکوریزایی که در مطالعات پیشین بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است استفاده شد تا میزان تاثیر و همزیستی آنها بر چهار رقم تجاری انگور ارزیابی و بهترین همزیستی قارچ و رقم در شرایط تنش خشکی و متحمل‌ترین رقم مشخص شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سالهای ۱٤۰۳-۱٤۰۲ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد با هدف بررسی اثر قارچ مایکوریزا بر افزایش رشد و جذب عناصر غذایی در چهار رقم انگور در شرایط تنش خشکی طراحی و در سه بخش کلی انجام شد. بخش اول شامل انتخاب قلمه های انگور؛ بخش دوم انتقال قلمه ها به گلدان‌هایی با بستر کشت مناسب در گلخانه و مایه‌زنی پنج نوع قارچ مایکوریزا در گلدان‌های ریشه‌دار شده و بخش سوم شامل اعمال سطوح مختلف تنش خشکی به مدت دو ماه روی قلمه‌های ریشه‌دار شده بود.

مواد گیاهی و شرایط کاشت

قلمه رقم‌های "شیرازی" و "سمرقندی"، از باغ‌های دیم منطقه دشمن‌زیاری استان فارس و رقم‌های "فلیم سیدلس" و "رشه" از باغ‌های شهرکرد که قلمه‌ها به قطر ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر و طول ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر از درختان ۲۰ ساله تهیه شد. پنج نوع قارچ مایکوریزا موسه‌آ (*Glomu mossea*)، اینترارادیس (*G. intraradicese*)، ورسیفرم (*G. versiform*)، اتانیکیتوم (*G. etunicatum*) و کللدونیوم (*G. caledonium*) از شرکت توسعه و تعاون زیست فناور توران استان سمنان خریداری شد. قلمه‌های ۳ جوانه‌ای به‌طور یکسان ابتدا در شرایط گلخانه در محیط پرلیت ریشه‌دار شدند، سپس گلدان‌های ۲ لیتری حاوی خاک زراعی و پرلیت به نسبت ۷۵به ۲۵ انتقال داده شدند. خاک زراعی مورد استفاده قبل از استفاده در گلدان‌ها در دمای ۱۲۰°C به مدت یک ساعت اتوکلاو شدند. نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی در جدول ۱ آمده است. در زمان انتقال قلمه‌های ریشه‌دار شده به گلدان ابتدا مخلوط خاک زراعی و پرلیت در ته گلدان‌های پلاستیکی ریخته و به هر گلدان میزان ۱۰۰ گرم مایه قارچ مایکوریزا در قسمت ریشه قلمه ریخته و بقیه گلدان با ترکیب مخلوط خاک زراعی و پرلیت مورد نظر پر شد. در مرحله‌ی کشت، به گلدان‌های شاهد نیز مقادیر برابر آمیخته خاکی بدون قارچ افزوده شد و تا مدت ۳ ماه آبیاری تمام گلدان‌ها به‌صورت یکسان انجام شد. قبل از شروع اعمال تنش نسبت به نمونه‌برداری از ریشه‌ها جهت تایید همزیستی قارچ اقدام شد. زمانی که نهال‌ها به اندازه کافی رشد نمودند، تنش خشکی اعمال و قلمه ها بر اساس ظرفیت زراعی گلدان‌ها آبیاری شدند. ظرفیت زراعی مقدار رطوبتی است که یک خاک اشباع پس از خارج شدن آب ثقلی در خود نگه می‌دارد. در خاک زراعی این حالت معمولا ۲٤ تا ٤۸ ساعت پس از آن که خاک اشباع شده به حال خود نگه داشته شد رخ می‌دهد. برای محاسبه میزان رطوبت خاک از میانگین رطوبت ۱۰ گلدان استفاده شد. بدین صورت که گلدان‌ها آبیاری شدند

تا آب زهکشی از آن خارج شود. سپس گلدان‌ها وزن و وزن گلدان اولیه که عددی ثابت بود از این وزن گلدان کم شد و وزن آب آبیاری به‌دست آمد. برای اعمال سطوح مختلف تنش، بعد از محاسبه ظرفیت زراعی، سطوح تنش به‌صورت درصدی از رطوبت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد و مقدار کاهش رطوبت تا رسیدن به مقدار رطوبت مدنظر بر حسب گرم آب محاسبه و به گلدان اضافه شد. تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان شاهد و تیمار ٦۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان تنش خشکی متوسط و تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان تیمار خشکی شدید اجرا شد. نهال‌ها به مدت دوماه در معرض تنش خشکی قرار گرفتند و پس از این مدت فاکتورهای زیر مورد بررسی قرار گرفت.

پس از اعمال تنش خشکی، ۳ برگ بالغ کاملا توسعه یافته از موقعیت یکسان از هر تکرار انتخاب و سطح برگ با استفاده از تصویر برداری از برگ های برداشت شده توسط نرم افزار ImageJ ورژن 1.54h محاسبه شد. سپس میانگین هر تکرار مورد بررسی قرار گرفت. طول میانگره با استفاده از خط کش سانتی‌متری تعیین شد.

اندام هوایی هرگلدان قطع و با دقت وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس ریشه‌های آن‌ها همراه با محیط کشت از گلدان‌ها خارج و برای جداکردن محیط کشت از آن‌ها به‌طور کامل و با احتیاط با آب شستشو داده شدند. وزن‌تر اندام هوایی گیاه و وزن‌تر ریشه با استفاده از ترازوی دیجیتالی تعیین شد. سپس اندام هوایی و ریشه به مدت ٤۸ ساعت در آون ۸۰°C قرار گرفتند و وزن خشک اندام هوایی و ریشه با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری کلونیزاسیون ریشه به روش رنگ‌آمیزی انجام شد (۲۹). نیتروژن با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری میزان پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و فسفر با اسپکتروفتومتر ارزیابی شدند. جهت اندازه‌گیری عناصر معدنی روی و آهن از روش جذب اتمی (دستگاه جذب اتمی) استفاده شد (۲۰).

واکاوی داده‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در ۵ تکرار (هر تکرار یک نهال) انجام شد. پس از اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، واکاوی آماری داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/٤ (۲۰۱۳) انجام شد. همچنین مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD، و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

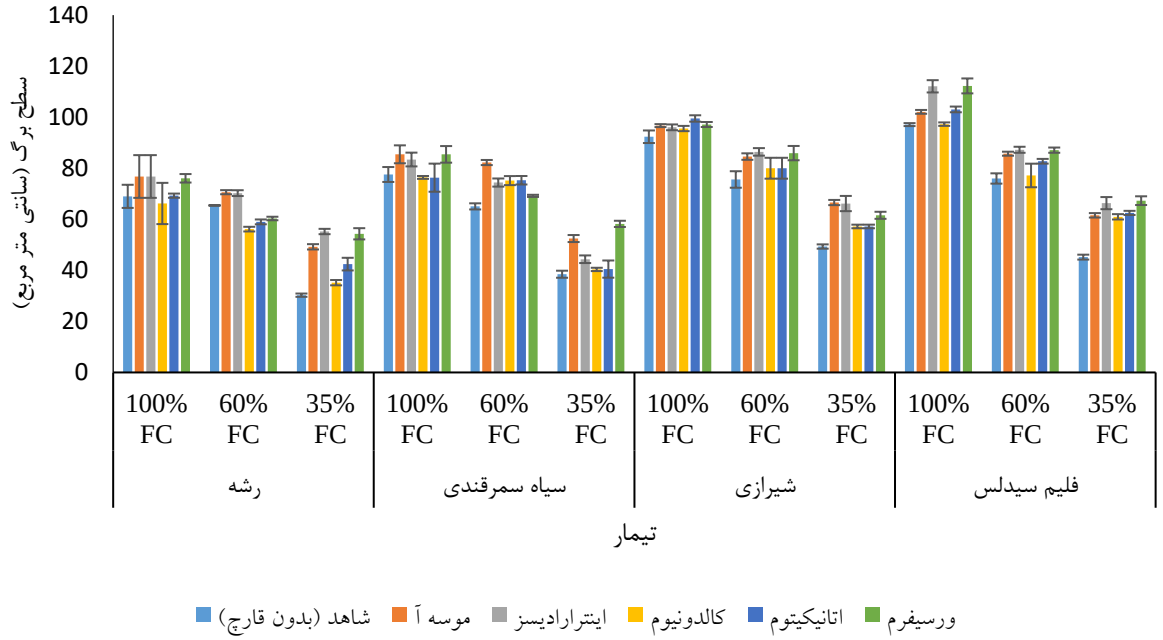
نتایج

سطح برگ

سطح برگ ارقام انگور در شرایط بدون تنش و همزیست با قارچ افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان سطح برگ در رقم فلیم سیدلس همزیست با قارچ‌های ورسیفرم و اینترارادیسز (به‌ترتیب ۱۱۲ و ۱۱۲ سانتی‌متر مربع) مشاهده شد. با اعمال تنش خشکی سطح برگ در تمامی ارقام کاهش یافت که این کاهش در شرایط بدون همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا بیشتر بود. همزیستی با قارچ سبب حفظ سطح برگ در ارقام انگور در شرایط تنش خشکی شد که بیشترین سطح برگ در همزیستی با قارچ اینترارادیسز در رقم فلیم سیدلس در تنش خشکی ٦۰ درصد مشاهده شد. اگر چه با برخی تیمارهای مورد پژوهش تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان سطح برگ در رقم رشه بدون همزیست با قارچ در خشکی ۳۵ درصد (۳۰/۳ سانتی‌متر مربع) وجود داشت (شکل ۱).

طول میانگره

با افزایش تنش خشکی طول میانگره ارقام انگور در کلیه همزیستی با قارچ‌ها کاهش یافت که این کاهش در تیمار بدون همزیستی (شاهد) بیشتر بود. با همزیست شدن قارچ‌ها با ریشه ارقام انگور میزان کاهش طول میانگره در شرایط تنش کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان طول میانگره در رقم سمرقندی



شکل ۱. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم، قارچ‌های مایکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر سطح برگ تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

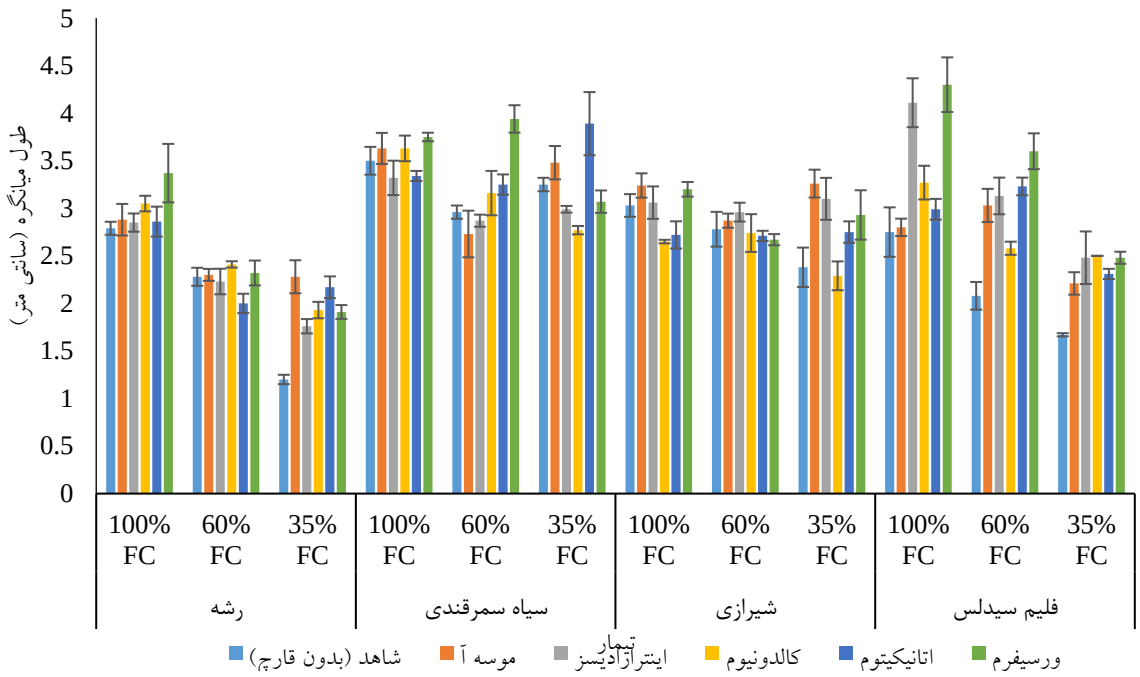
همزیست شده با قارچ ورسیفرم در شرایط تنش خشکی ٦۰ درصد (۳/۹٤ سانتی‌متر) مشاهده شد. کمترین میزان طول میانگره در رقم رشه و همزیست شده با قارچ اینترارادیسز در خشکی ۳۵ درصد به‌دست آمد (۱/۷٦ سانتی‌متر). که با رقم رشه همزیست با قارچ کالدونیوم در تنش ۳۵ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲). ارقام شیرازی و سمرقندی کمترین کاهش طول میانگره تحت شرایط تنش خشکی داشتند و رقم فلیم سیدلس تحت شرایط تنش خشکی بیشترین کاهش طول میانگره را داشت.

وزن تر شاخساره

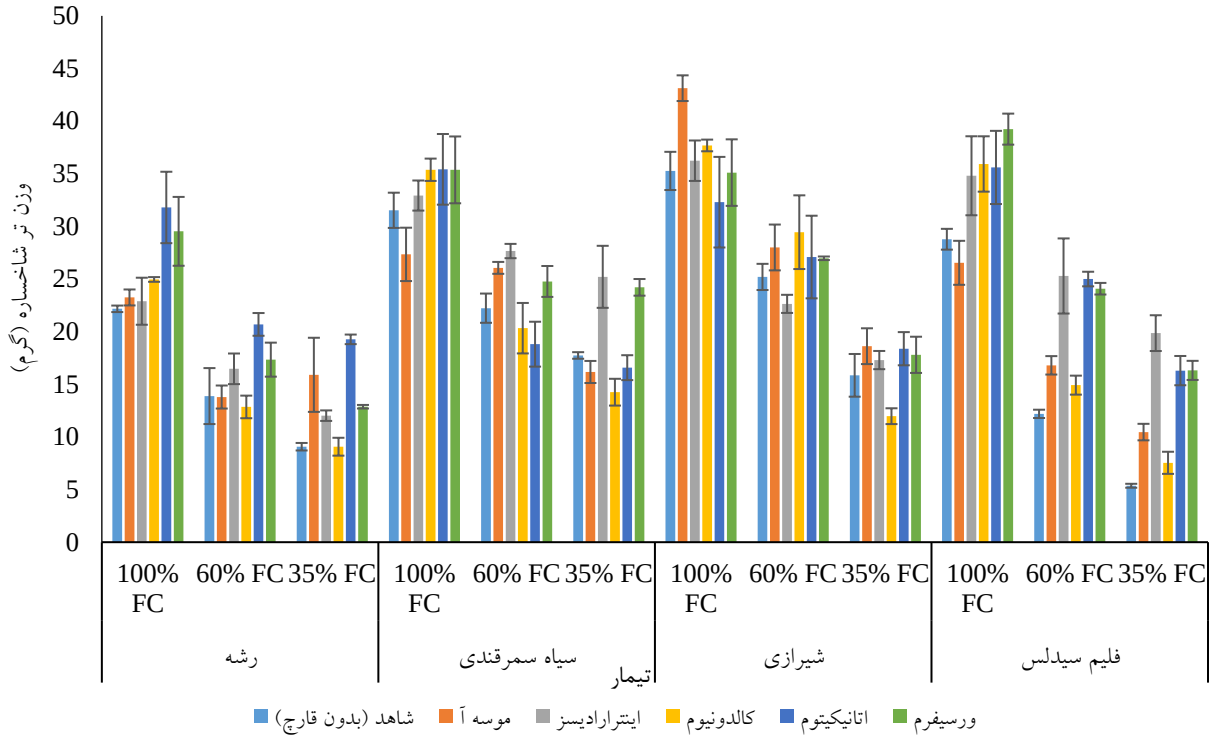
تنش خشکی سبب کاهش وزن تر شاخساره در ارقام انگور شد که این کاهش در ارقام همزیست با قارچ‌های مایکوریزا کمتر بود. بیشترین وزن تر شاخساره در رقم شیرازی همزیست با قارچ موسه‌آ در شرایط بدون تنش خشکی مشاهده شد (٤۳/۱ گرم). تنش خشکی ۳۵ درصد سبب کمترین میزان وزن تر شاخساره در رقم فلیم سیدلس بدون همزیستی با قارچ به میزان ۵/۳٦ گرم شد (شکل ۳). کمترین درصد کاهش وزن تر شاخساره مربوط به رقم سمرقندی همزیست شده با قارچ اینترارادیسز تحت شرایط تنش خشکی (۲۳/٤ درصد) بود.

وزن خشک شاخساره

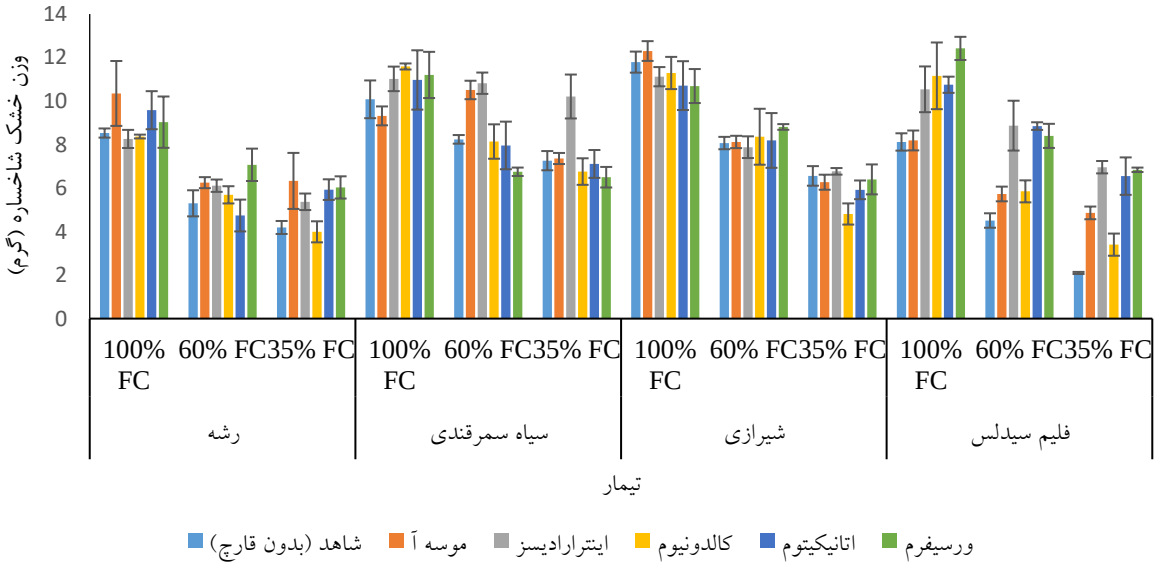
وزن خشک شاخساره در رقم فلیم سیدلس همزیست با قارچ ورسیفرم در شرایط بدون تنش خشکی بیشترین میزان را داشت (۱۲/٤ گرم). تنش آبی سبب کاهش وزن خشک شاخساره در کلیه ارقام مورد مطالعه شد. کمترین میزان وزن خشک شاخساره در رقم فلیم سیدلس بدون همزیست با قارچ در شرایط تنش خشکی ۳۵ درصد ثبت شد (۲/۱۰ گرم) (شکل ٤). کمترین میزان درصد کاهش وزن خشک شاخساره در رقم سمرقندی همزیست شده با قارچ اینترارادیسز در شرایط تحت تنش خشکی (۷/۳۵ درصد) و بیشترین درصد کاهش وزن خشک شاخساره در رقم فلیم سیدلس بدون همزیست با قارچ مایکوریزا در شرایط تنش خشکی (۷٤/۱ درصد) اتفاق افتاد.



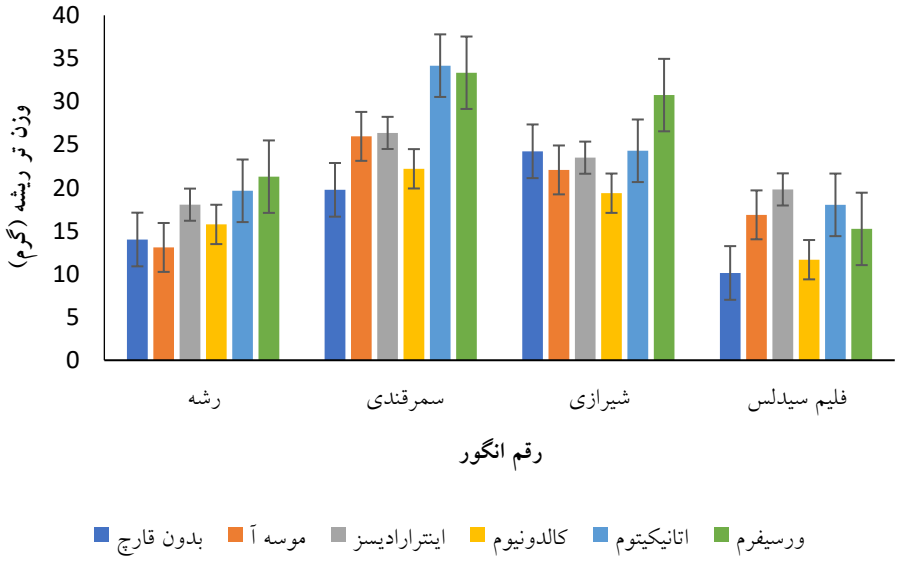
شکل ۲. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم، قارچ‌های مایکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر طول میانگره تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)



شکل ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم، قارچ‌های مایکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر وزن تر شاخساره تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)



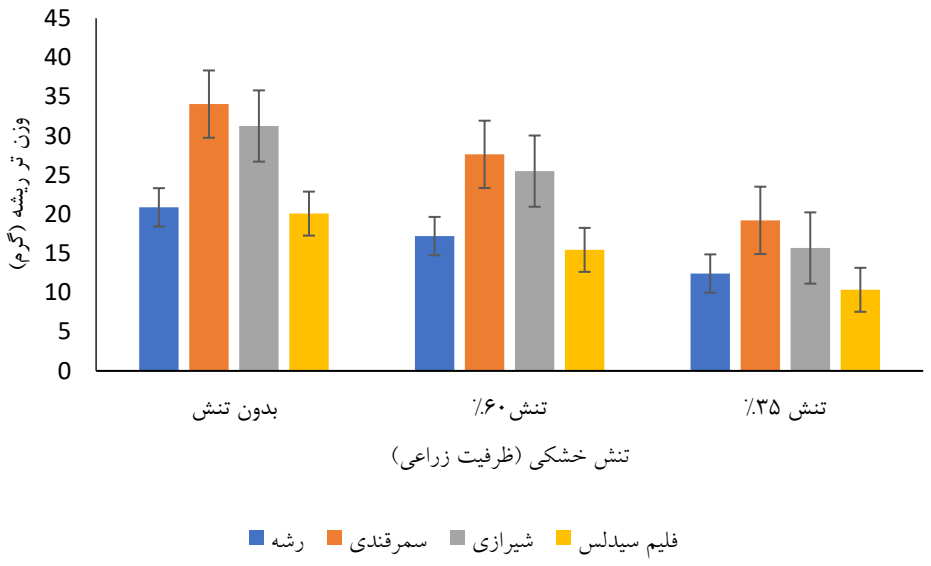
شکل ٤. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم، قارچ‌های مایکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر وزن خشک شاخساره تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)



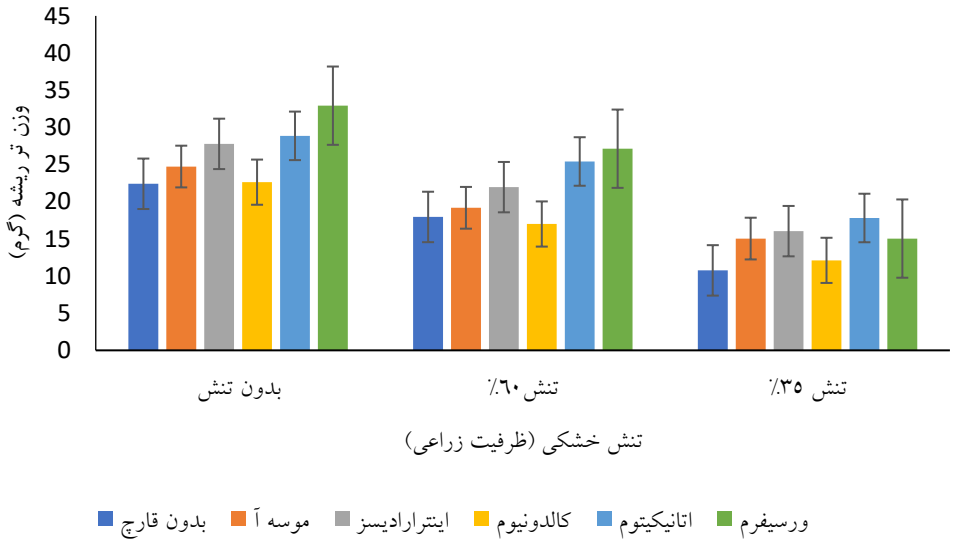
شکل۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش قارچ و رقم بر وزن ترریشه تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

وزن تر ریشه

اثر همزیستی قارچ‌های مایکوریزا با ارقام مختلف انگور بر میزان وزن تر ریشه نشان داد که همزیستی انگور سمرقندی با قارچ ورسیفرم و اتانیکیتوم بیشترین میزان وزن تر ریشه (به‌ترتیب ۳۳/۳ و ۳٤/۱ گرم) را داشت (شکل ۵). کمترین میزان وزن تر ریشه در رقم فلیم سیدلس بدون تلقیح مشاهده شد (۱۰/۱ گرم) که با همزیستی با قارچ کالدونیوم در همین رقم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵). جدول مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر وزن تر ریشه نشان داد که رقم سمرقندی در شرایط بدون تنش خشکی بیشترین و رقم فلیم سیدلس در



شکل ٦. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم و تنش خشکی بر وزن تر ریشه تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

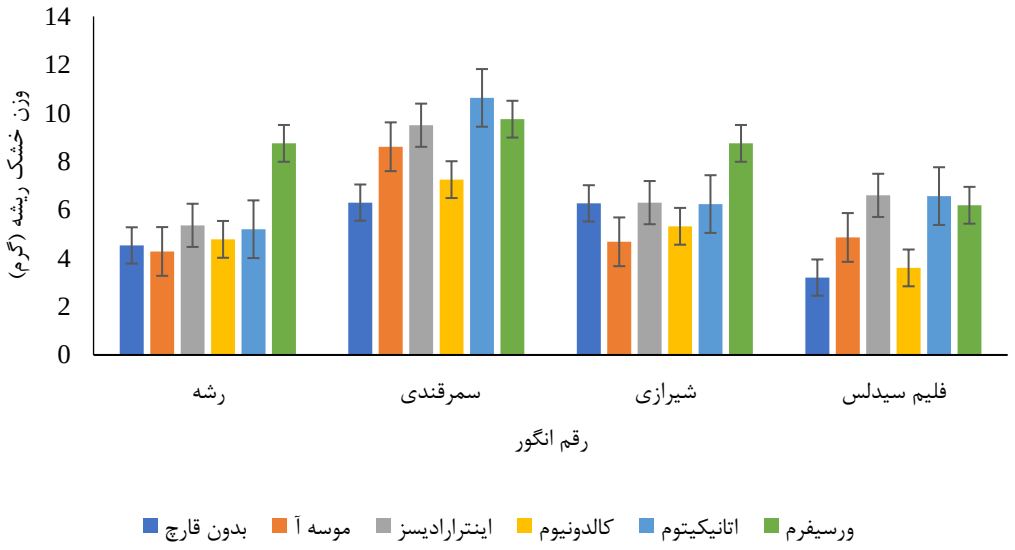


شکل ۷. مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و قارچ بر وزن تر ریشه تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

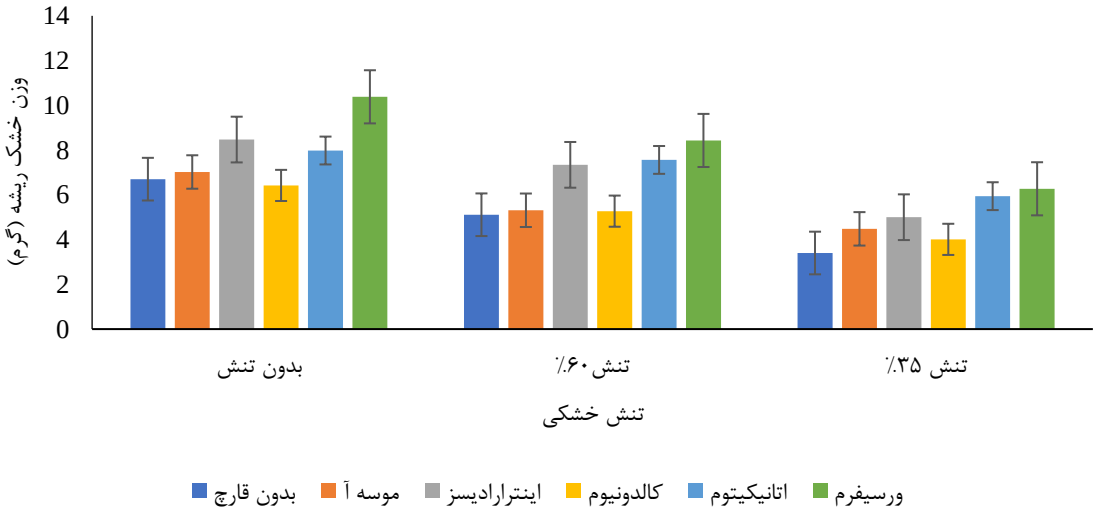
شرایط تنش خشکی ۳۵ درصد کمترین وزن تر ریشه را داشته است (شکل ٦). همچنین، جدول مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر میزان وزن تر ریشه نشان داد که قارچ ورسیفرم در شرایط بدون تنش بیشترین میزان وزن تر ریشه (۳۲/۹ گرم) و قارچ کالدونیوم در تنش ۳۵ درصد کمترین میزان وزن تر ریشه (۱۲/۱ گرم) داشت (شکل۷).

وزن خشک ریشه

اثر همزیستی قارچ‌های مایکوریزا با ارقام مختلف انگور بر میزان وزن خشک ریشه نشان داد که همزیستی انگور سمرقندی با قارچ اتانیکیتوم بیشترین وزن خشک ریشه (۱۰/٦ گرم) را داشت. اگرچه با همزیستی قارچ‌های ورسیفرم و اینترارادیسز در همین رقم از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین



شکل۸. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رقم و قارچ بر وزن خشک ریشه تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

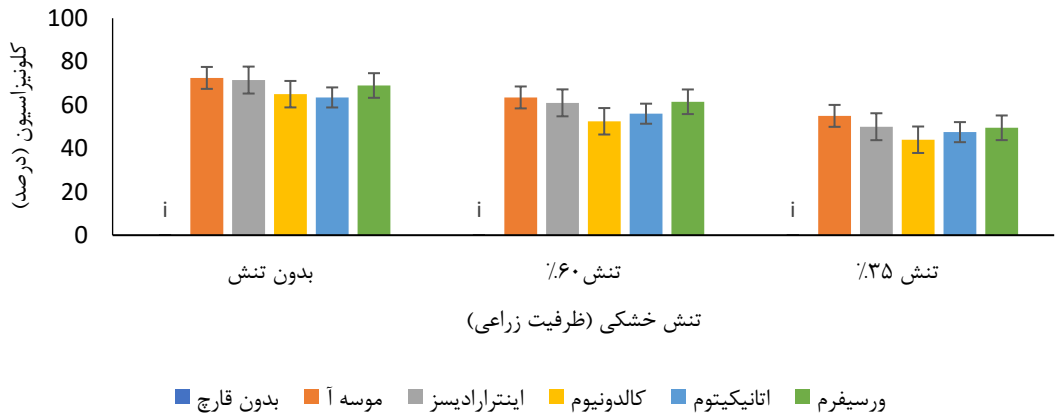


شکل۹. مقایسه میانگین برهم‌کنش قارچ و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

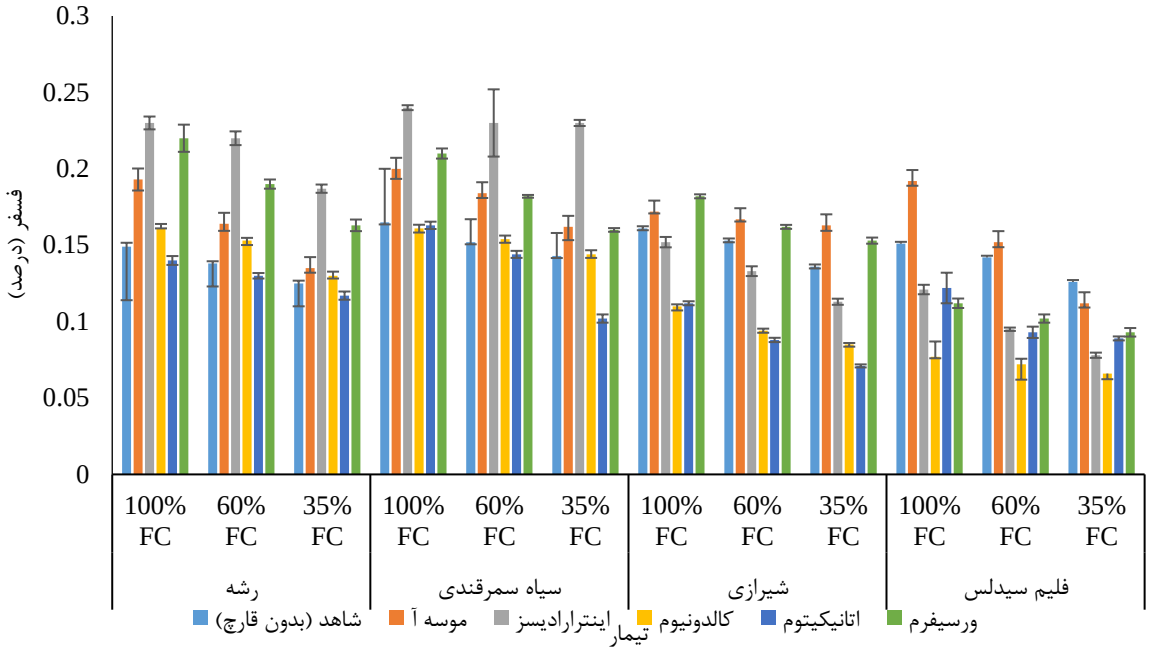
وزن خشک ریشه در رقم فلیم سیدلس بدون تلقیح مشاهده شد (۳/۲۰ گرم) که با همزیستی با قارچ کلدونیوم در همین رقم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۸) همچنین، مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه نشان داد که قارچ ورسیفرم در شرایط بدون تنش بیشترین وزن خشک ریشه (۱۰/٤ گرم) داشت و کمترین وزن خشک ریشه در برهم‌کنش تنش خشکی ۳۵ درصد با شرایط بدون قارچ (۳/٤۰ گرم) مشاهده شد (شکل ۹).

کلونیزاسیون ریشه

میزان کلونیزاسیون قارچ موسه‌آ و اینترارادیسز در شرایط بدون تنش در بیشترین میزان بود (به‌ترتیب ۷۲/۵ درصد و ۷۱/۵ درصد). با افزایش تنش این همزیستی کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین میزان همزیستی در قارچ کالدونیوم در تنش ۳۵ درصد به میزان ٤٤درصد مشاهده شد (شکل ۱۰).



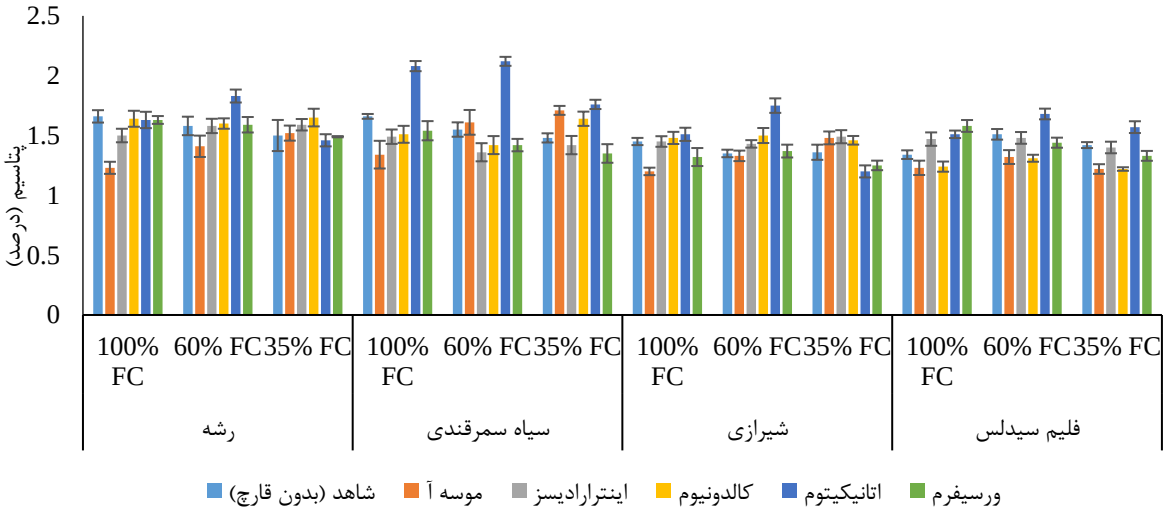
شکل۱۰. مقایسه میانگین برهم‌کنش قارچ‌های مایکوریزا و تنش خشکی بر درصد کلونیزاسیون ریشه تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)



شکل ۱۱. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم، قارچ‌های مایکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان فسفر تاک (خطوط روی هیستوگرام-ها میانگین ± انحراف معیار)

فسفر

با توجه به شکل ۱۱، با افزایش تنش خشکی میزان فسفر ارقام انگور در کلیه همزیستی با قارچ‌ها کاهش یافت که این کاهش در تیمار شاهد بیشتر بود. با همزیست شدن قارچ‌ها با ریشه ارقام انگور میزان کاهش فسفر در شرایط تنش کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان فسفر در رقم سمرقندی همزیست شده با قارچ اینترارادیسز در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد و ۳۵ درصد (۰/۲۳ درصد) مشاهده شد. کمترین میزان فسفر در رقم "فلیم سیدلس"و همزیست شده با قارچ کالدونیوم در خشکی ۳۵ درصد به‌دست آمد (۰/۰۶۶ درصد) (شکل ۱۱).



شکل ۱۲. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم، قارچ‌های ماکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان پتاسیم برگ تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

پتاسیم

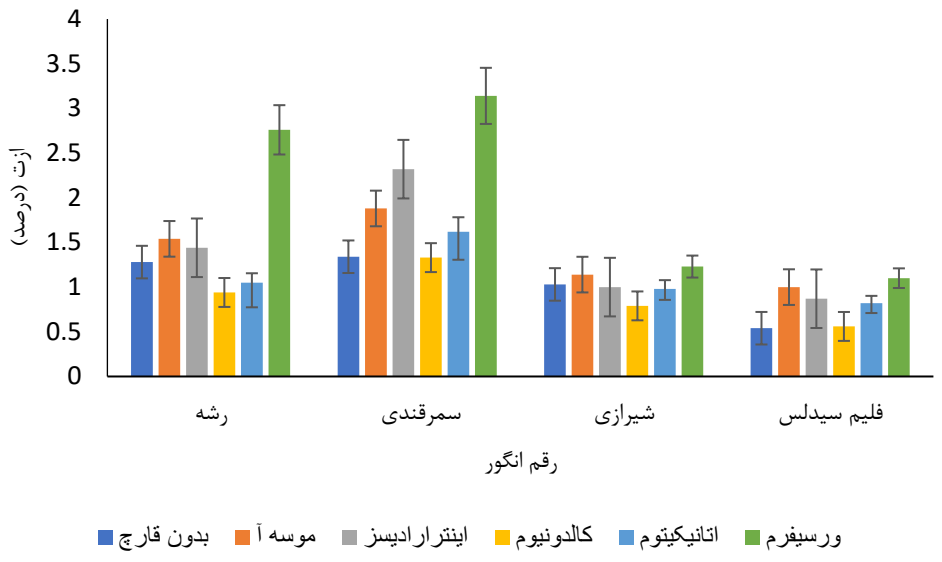
با افزایش سطح تنش خشکی میزان پتاسیم در انگورهای مایه‌کوبی شده با قارچ‌های مایکوریزا افزایش یافت. کمترین میزان پتاسیم در شرایط بدون تنش در رقم انگور شیرازی همزیست شده با قارچ موسه‌آ به میزان ۱/۲۰ درصد مشاهده شد. اگر چه با برخی تیمارهای این پژوهش تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان پتاسیم در تیمار تنش خشکی ٦۰ درصد در انگور رقم سمرقندی همزیست شده با قارچ اتانیکیتوم به‌دست آمد (۲/۱۲ درصد) که با شرایط بدون تنش در این رقم و همزیست با قارچ اتانیکیتوم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۱۲). قارچ موسه‌آ در بیشتر ارقام انگور به جز رقم فلیم سیدلس باعث افزایش میزان جذب پتاسیم در طی دوره تنش خشکی شد که بیشترین درصد افزایش جذب پتاسیم در رقم سمرقندی به میزان ۲۷/٦ درصد تحت شرایط تنش خشکی بود.

نیتروژن

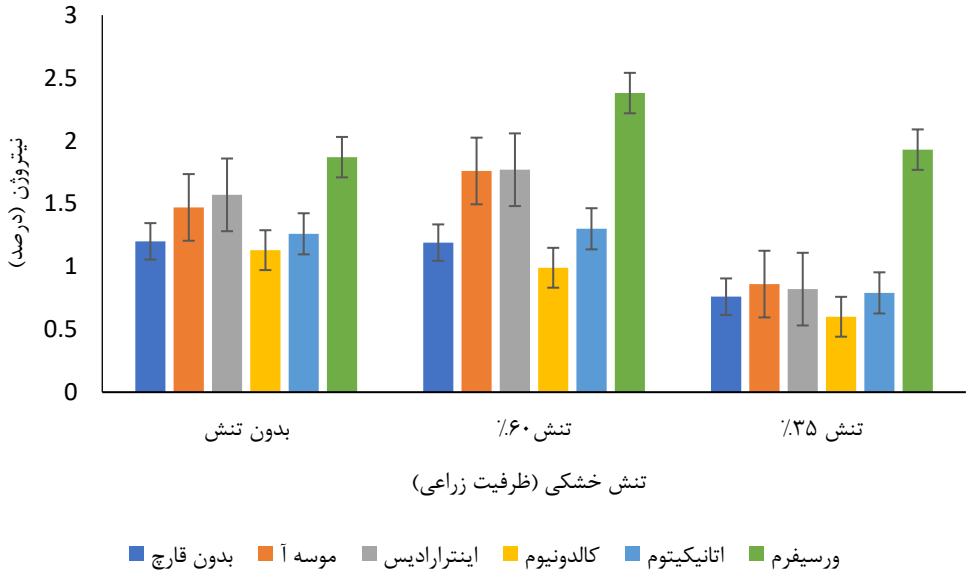
اثر همزیستی قارچ‌های مایکوریزا با ارقام مختلف انگور بر میزان درصد نیتروژن نشان داد که همزیستی انگور سمرقندی با قارچ ورسیفرم بیشترین درصد نیتروژن (۳/۱٤ درصد) را داشت. کمترین میزان نیتروژن در رقم فلیم سیدلس بدون تلقیح (۰/٥٤ درصد) مشاهده شد که با همزیستی با قارچ کالدونیوم در همین رقم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱۳). همچنین، جدول مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر میزان درصد نیتروژن نشان داد که قارچ ورسیفرم در شرایط تنش ٦۰ درصد بیشترین میزان نیتروژن را (۲/۳۸ درصد) داشت (شکل ۱٤).

آهن

میزان آهن در رقم رشه در شرایط بدون تنش خشکی و همزیست با قارچ اینترارادیسز افزایش یافت (۸٥/۹ درصد) اگرچه با برخی تیمارهای این پژوهش اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نداشت. با افزایش سطح تنش خشکی میزان آهن در ارقام همزیست با قارچ کاهش یافت. به‌طوری‌که در رقم فلیم سیدلس تلقیح شده با قارچ کالدونیوم در تنش ۳٥ درصد کمترین میزان آهن (۲۸/٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌دست آمد (شکل ۱٥).



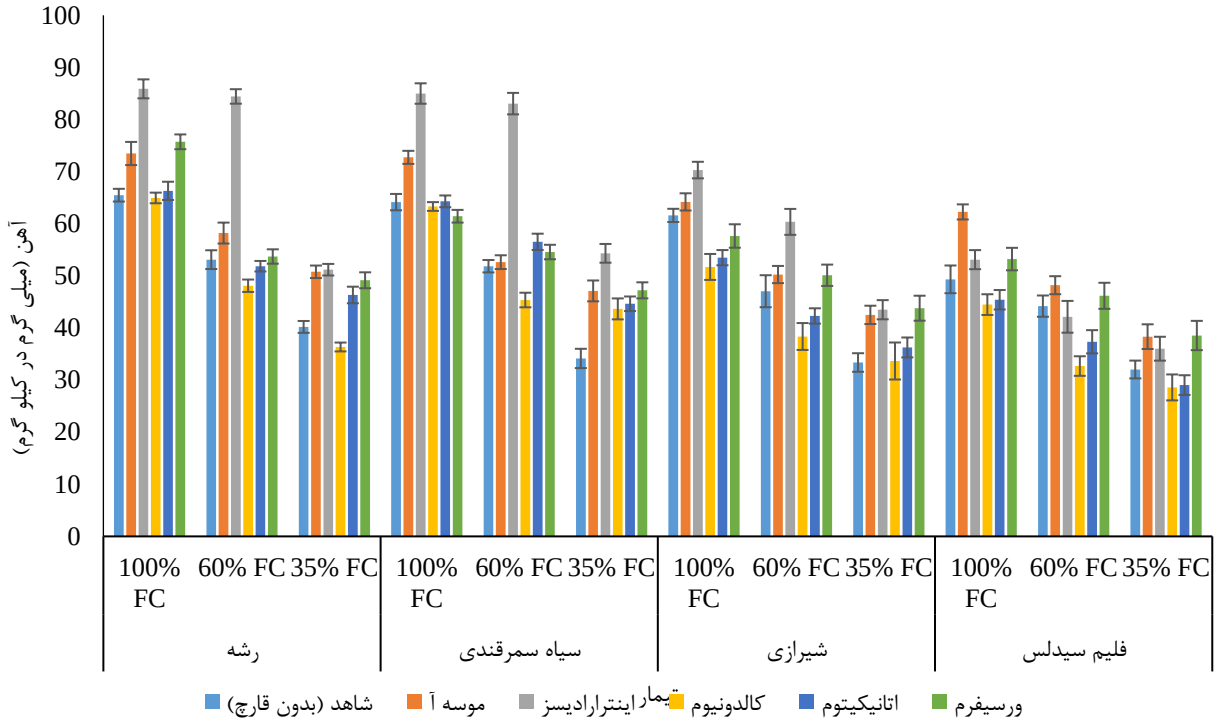
شکل۱۳. مقایسه برهم‌کنش قارچ و رقم بر درصد نیتروژن برگ تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)



شکل۱٤. مقایسه میانگین برهم‌کنش قارچ و تنش خشکی بر درصد ازت برگ تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

روی

میزان روی هم در ارقام مواجه شده با تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا در شرایط تنش خشکی توانست میزان کاهش را در ارقام انگور کاهش دهد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان روی به‌ترتیب در انگور رقم رشه همزیست با قارچ ورسیفرم در تنش خشکی ٦٠ درصد (٢٨/٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) و رقم فلیم سیدلس همزیست با قارچ کالدونیوم در تنش خشکی ٣٥ درصد (٧/٥٢ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. لازم به ذکر است که بیشترین میزان روی در شرایط بدون تنش در تمامی ارقام همزیست با قارچ مشاهده شد (شکل ١٦).



شکل ۱۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم، قارچ‌های مایکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان آهن تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

شکل ۱٦. مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم، قارچ‌های مایکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان روی تاک (خطوط روی هیستوگرام‌ها میانگین ± انحراف معیار)

بحث

در سطح جهانی، در طول فصل رشد، بیشتر تاکستان‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک یا مناطق آب و هوایی خشک قرار دارند. با توجه به این شرایط، کمبود آب به راحتی و مکرر رخ می‌دهد. با تغییرات آب و هوایی، کمبود آب احتمالا بیشتر اتفاق می‌افتد و به یک عامل محدودکننده برای کشت انگور تبدیل می‌شود (٤٤). همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا به‌طور فزآینده‌ای به عنوان کودهای زیستی طبیعی و جایگزینی پایدار برای بهبود سلامت و رشد گیاه استفاده می‌شود.

سطح برگ یک ویژگی ژنتیکی است که تحت تاثیر شرایط محیطی، متحمل تغییرات اندکی می شود (١٨). کاهش سطح برگ یکی از ترفندهای گیاهان جهت اجتناب از تنش خشکی است (٤٢). وضعیت آب انگور بستگی زیادی به سطح برگ و تبخیر و تعرق از آن دارد. تنش آب سبب آسیب زدن به سطح برگ می شود و از این طریق باعث کاهش میزان فتوسنتز و عملکرد می‌شود (٣٨). پژوهش‌های پیشین نشان داد که سطح برگ به کمبود آب بسیار حساس است و کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی اولین پاسخ دفاعی گیاه به تنش خشکی است (٢٨ و ٣٥). هماهنگ با نتایج پژوهش حاضر، دولتی بانه و همکاران (١٢) کاهش سطح برگ در همه ارقام انگور مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی را گزارش کردند. از آن‌جایی که رقم رشه کمترین سطح برگ را داشت می‌توان اظهار کرد که با سطح تبخیر کمتر، تحمل بیشتری نسبت به سایر ارقام در رویارویی با تنش خشکی دارد. طول میانگره نشان‌دهنده رشد رویشی است و طول میانگره بیشتر یکی از دلایل رشد رویشی بیشتر است. بیشترین میزان طول میانگره در رقم سمرقندی همزیست شده با قارچ در شرایط تنش خشکی به‌دست آمد. یکی از دلایل این امر را می‌توان به رشد طولی سلول‌ها و در نتیجه رشد بیشتر طول میانگره نسبت داد. کاهش طول میانگره در شرایط تنش خشکی در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (١٩).

در شرایط تنش خشکی مقادیر عناصر غذایی مورد مطالعه در بافت برگ کاهش یافت، که با بسیاری از مطالعات قبلی همسو است (١٣، ٢٧ و ٣٠). تعادل در جذب مواد معدنی برای اجازه رشد انگور در شرایط تنش لازم است. تحت تنش خشکی، همزیستی با میکوریزها اثرات مثبتی بر بهبود تجمع عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، روی و پتاسیم در برگ انگور دارد که با نتایج مطالعه فتاحی و همکاران (١٦) همسو بود. هیف‌های مایکوریزا جذب نیتروژن، ریز مغذی‌های غیر متحرک در خاک مانند روی و سایر مواد مغذی خاک مانند پتاسیم، منیزیوم و کلسیم را افزایش می‌دهند (١٦). مطالعات قبلی همچنین اثرات مایکوریزا بر جذب فسفر را نشان داده‌اند (١٠ و ١٣). گزارش شده‌است که ارتقاء جذب مواد مغذی توسط همزیستی با قارچ مایکوریزا یک مکانیسم فیزیولوژیکی مهم مقاومت به خشکی ناشی از مایکوریزا در گیاه میزبان است (٨). یلنگ و همکاران (٤٣) بیان کردند که گیاهان تلقیح شده باموسه‌آ و اینترارادیس غلظت فسفر، نیتروژن و کربن برگ را در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش افزایش داده است که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت. در مطالعه حاضر، تلقیح انواع مختلف قارچ‌های مایکوریزا، سبب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر و غلظت پتاسیم در برگ ارقام مختلف انگور شد. این داده‌ها نشان می‌دهد که مقاومت به خشکی بیشتر ارقام انگور پس از تلقیح می‌تواند تا حدی به بهبود جذب مواد مغذی توسط مایکوریزا نسبت داده شود، زیرا کمبود مواد مغذی تا حد زیادی با تنش خشکی در ارتباط است.

همزیستی مایکوریزا می‌تواند مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های غیرزیستی افزایش دهد که احتمالاً با حفظ جذب بیشتر مواد مغذی از جمله فسفر و نیتروژن و سایر عناصر مرتبط است. زیرا گیاهان مایکوریزا رشد ریشه را افزایش داده و سطح جذب مواد مغذی بیشتری ایجاد می‌کنند. در دسترس بودن آب خاک بر تحرک مواد مغذی در سیستم ریشه-خاک تأثیر می‌گذارد، میسلیوم‌های قارچی از سطح ریشه به داخل خاک گسترش می‌یابند و مساحت سطح و آب را توسط ریشه افزایش

می‌دهند و بنابراین مواد مغذی بیشتری را فراتر از منطقه تخلیه به‌دست می‌آورند (٦). گزارش شده‌است که تنش آبی سبب کاهش قابل‌توجه وزن خشک و تر اندام هوایی و ریشه شد. همچنین رشد گیاه می‌تواند با تغییر در خواص کشسانی دیواره های سلولی یا با تولید اسید آبسیزیک در ریشه‌ها در شرایط تنش آبی کاهش یابد (٤٥). علاوه بر این، در دسترس بودن آب خاک و کاهش جذب عناصر غذایی باعث کاهش وزن خشک گیاه می شود (٢٤). علت کاهش عملکرد وزن خشک گیاهان در زمان تنش کم آبی کاهش ارتفاع، ریزش برگ، کاهش سطح برگ و به‌طور کلی کاهش رشد گیاه است. در زمان تنش کم آبی، ترشح هورمون‌های موثر در کاهش تقسیم سلولی و سرعت تقسیم سلولی افزایش و سرعت تقسیم سلولی و فشار تورژسانس کاهش می‌یابد، که درنتیجه آن رشد سبزینه ای گیاه و به‌خصوص رشد اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد (٤۰). در ارتباط با تغییرات ریشه نیز بیان شده که مورفولوژی رشد ریشه به طور ژنتیکی تعیین می‌شود با این حال تحت تاثیر شرایط محیطی و فیزیکی، خواص شیمیایی و بیولوژیکی خاک، آب وهوا و شرایط محصول، به‌ویژه دسترسی به آب قرار می‌گیرد (۱۷). نویسندگان متعددی نشان داده‌اند که محتوی کم آب خاک توسعه ریشه را در درختان بادام (۲) و زردآلو (۳۲) کاهش می‌دهد که با نتایج این پژوهش همسو هستند.

تفاوت در درجه کلونیزاسیون ریشه‌ای در ارقام مورد بررسی می‌تولند به‌دلیل مورفولوژی ریشه، ترشحات ریشه‌ای و سازگاری آنها باگونه‌های قارچ مایکوریزای باشد (۲۵). در تمام ارقام مورد پژوهش درصد کلونیزاسیون ریشه با افزایش شدت تنش آبی کاهش یافت که با نتایج تحقیقات عزیزی و همکاران (۷) و رامبرگ و همکاران (۳۳) مطابقت داشت. میزان کمتر کلونیزاسیون قارچ‌های مایکوریزای در شرایط تنش آبی می‌تواند ناشی از کاهش کربن در دسترس گیاه میزبان و کاهش جوانه‌زنی اسپور قارچی باشد (۳۹).

چنین افزایشی در پارامترهای رشد (وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، سطح برگ و طول میانگره) ارقام انگور به‌دلیل کلونیزاسیون مایکوریزای به‌طور مستقیم با سطح مربوط به کلونیزاسیون مایکوریزا مرتبط است. اثرات افزایش یافته رشد گیاهان همزیست اغلب به بهبود جذب فسفر و سایر مواد مغذی (منیزیوم، پتاسیم، نیترون و کلسیم) مربوط می‌شود، زیرا در دسترس بودن فسفر با خشک شدن خاک کاهش می‌یابد. علاوه بر این، بیان شده است که مکانیسم اصلی برای افزایش تحمل به خشکی در گیاهان همزیست با قارچ مایکوریزا، بهبود تغذیه فسفر بیان شده‌است (۱).

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که تلقیح قارچ‌های مختلف مایکوریزا به‌ویژه اینترارادیسز به‌طور قابل‌توجهی سبب بهبود رشد ارقام مختلف انگور در شرایط خشکی شد. همزیستی با مایکوریزاها می‌تولند جذب مواد مغذی (فسفر، نیتروژن، پتاسیم، آهن و روی) و نیز رشد قسمت‌های بالای زمینی (برگ ها و ساقه ها) را افزایش دهد. علاوه بر این با افزایش درجه کلونیزاسیون ریشه‌ها با مایکوریزاها جذب عناصر معدنی افزایش یافت که منتج به افزایش وزن تر و خشک ریشه و شاخساره در تاک شد. تحت تنش خشکی، موسه‌آ و اینترارادیسز می‌تولند رابطه همزیستی خوبی با تاک ایجاد کند، و همزیستی یا قارچ‌های مایکوریزا در واقع مورفولوژی و ساختار ریشه را بهبود بخشید و جذب عناصر را در ارقام انگور ارتقا داد که برای سازگاری گیاه با شرایط خشک مفید بود. بنابراین، رقم سیاه سمرقندی متحمل‌ترین رقم و قارچ اینترارادیسز قابلیت همزیستی بهتری داشت. این مقاله عمدتا شامل فرآیندهای مورفولوژیکی است. با این حال، نمی‌توان نادیده گرفت که ژنتیک نمونه‌های قارچ‌های انتخاب شده در گیاهان می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر نتیجه برهم‌کنش داشته باشد، که باید به‌عنوان یکی دیگر از حوزه‌های عدم قطعیت و تمرکز آینده در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی حمایت‌ها و مساعدت‌های بخش باغبانی دانشکده کشاورزی شهرکرد به جهت فراهم نمودن امکانات مورد نیاز و همکاری لازم در اجرای این پروژه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

1. Abdel-Salam, E., A. Alatar and M. A. El-Sheikh. 2018. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. *Saudi Journal of Biological Sciences* 25: 1772-1780.
2. Abrisqueta, J. M., A. Hernansáez and J. A. Franco. 1994. Root dynamics of young almond trees under different drip-irrigation rates. *Journal of Horticultural Science* 69(2): 237-242.
3. Amiri, M. J. and S. S. Eslamian. 2010. Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology* 3(4): 208-216.
4. Asadi, W., M. Gholami, M. Rasouli and M. Maleki. 2019. Effect of drought stress on some physiological traits in three varieties of grapes (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Crop Production and Processing* 9(3):45-59. (In Farsi).
5. Asadi, W., M. Rasouli, M. Gholami and M. Maleki. 2020. Effect of some cultivars of native grapevine as rootstocks and triachenetanol on the physiology of' Bidaneh Sefid'grapevine scion (*Vitis vinifera* L.), under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science* 51(2): 413-428. (In Farsi).
6. Aslani, Z., A. Hassani, M. Rasouli-Sadaghiani, B. Esmailpour and Z. Rohi. 2014. Effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on essential oil content and nutrients uptake in basil under drought stress. *Journal of Medicinal Plants and By-Product*s 3(2): 147-153.
7. Azizi, S., M. Tabari Kouchaksaraei, J. Hadian, A. Fallah Nosrat Abad1 and S. A. M. Modarres Sanavi. 2019. Physiological responses of common myrtle seedling (*Myrtus communis* L.) to multimicrobial inoculation under water deficit stress. *Iranian Journal of Soil Biology* 7(2): 167-181 (In Farsi).
8. Behrooz, A., K. Vahdati, F. Rejali, M. Lotfi, S. Sarikhani and C. Leslie. 2019. Arbuscular mycorrhiza and plant growth- promoting bacteria alleviate drought stress in walnut. *HortScience* 54(6): 1087-1092.
9. Carbone, M. J., S. Alaniz, P. Mondino, M. Gelabert, A. Eichmeier, D. Tekielska and D. Gramaj. 2021. Drought influences fungal community dynamics in the grapevine rhizosphere and root microbiome. *Journal of Fungi* 7(9): 1-22.
10. Cavagnaro, T. R., S. F. Bender, H. R. Asghari and M. G. van der Heijden. 2015. The role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. *Trends in Plant Science* 20(5): 283-290.
11. Chen, W., P. Meng, H. Feng and C. Wang. 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological performance of Catalpa bungei CA Mey. under drought stress. *Forests* 11(10): 1117.
12. Dolati Baneh, H., J. Ahmadali and M. Rasouli. 2019. The effect of drought stress on some morphophysiological traits in some domestic and foreign commercial grape cultivars. *Pomology Research* 4: 127-142 (In Farsi).
13. Evelin, H., T. S. Devi, S. Gupta and R. Kapoor. 2019. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. *Frontiers in Plant Science* 10: 470.
14. FAOSTAT. (2020). Food and agriculture organization of the United Nations. Retrieved from FAOSTAT database. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/metadata.
15. Fattahi, M. and A. Mohammadkhani. 2019. Effects of deficit irrigation on some morphological characteristics of grape (*Vitis vinifera* cv. ʻAsgariʼ) symbiosis with arbuscular mycorrhizal. *Journal of Horticultural Science* 32(4): 581-592. (In Farsi).
16. Fattahi, M., A. Mohammadkhani, B. Shiran, B. Baninasab, R. Ravash and Y. Gogorcena. 2021. Beneficial effect of mycorrhiza on nutritional uptake and oxidative balance in pistachio (*Pistacia* spp.) rootstocks submitted to drought and salinity stress. *Scientia Horticulturae* 281:109937.
17. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270, In: C. G. Kuo, (ed.), Adaptation of Food Crop to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
18. Gispert, J. R., F. J. Vargas, F. J. Miarnau and S. Alegre. 2009. Assessment of drought tolerance in almond varieties. In: Proceeding of 5th International Symposium on Pistachios and Almonds. Sanliurfa, Turkey. pp. 121-127.
19. Haddadinejad, M., A. Ebadi, M. R. Fattahi Moghaddam and M. A. Nejatian. 2015. Primary Morphological Screening of 698 Grapevine Genotypes to Select Drougth Tolerant Rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Science* 44: 193-207. (In Farsi).
20. Helrich, K. 1990. Official methods of Analysis of the AOAC. Association of Official Analytical Chemists Inc. Arlington, USA.

21. Ju, Y. L., X. F. Yue, X. F. Zhao, H. Zhao and Y. L. Fang. 2018. Physiological, micro-morphological and metabolomic analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaf of plants under water stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 130: 501-510.
22. Kaushal, M. and S. P. Wani. 2016. Rhizobacterial-plant interactions: strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 231: 68-78.
23. Kazemi, M., M. Maleki, M. Rasouli, M. Abdoli and M. Rostami-Borujeni. 2024. Effect of drought stress on some morphophysiological characteristics of grape cultivars in Khuzestan province of Iran. *Russian Journal of Plant Physiology* 71(6): 230.
24. Marschner, H. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic press. Adelaide, Australia.
25. Mohammadi, M. and F. Rejali. 2021. Evaluation of the effect of mycorrhizal symbiosis on growth characteristics and colonization of common almond rootstocks under favorable conditions and water deficit stress. *Journal of Soil Biology* 9: 15-29. (In Farsi).
26. Mirfatah, S. M. M., M. Rasouli, M. Gholami and A. Mirzakhani. 2024. Physiochemical and molecular response of the grafted 'Bidaneh Ghermez' grape cultivar on native rootstocks to identify tolerant cmbination to drought stress in vineyard conditions. *Russian Journal of Plant Physiology* 71(4): 124.
27. Paymaneh, Z., M. Sarcheshmehpour, P. Bukovská and J. Jansa. 2019. Could indigenous arbuscular mycorrhizal communities be used to improve tolerance of pistachio to salinity and/or drought. *Symbiosis* 79(3): 269-283.
28. Pellegrino, A., E. Lebon, T. Simonneau and J. Wery. 2005. Towards a simple indicator of water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11(3): 306-315.
29. Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society 55*(1): 158-160.
30. Rahneshan, Z., F. Nasibi and A. A. Moghadam. 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions* 13(1): 73-82.
31. Razouk, R. and A. Kajji. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on water relations and growth of young plum trees under severe water stress conditions. *International Journal of Plant & Soil Science* 5(5): 300-312.
32. Ruiz-Canales, A., V. Plana, J. A. Franco and J. M. Abrisqueta. 2006. Root distribution in apricot orchard (*Prunus armeniaca* L.'Bulida') under trickle irrigation. *Acta Horticulturae* 717: 307-311.
33. Rümberg, B. C., C. Urcelay, M. A. Shroeder, S. Vargas-Gil and C. M. Luna. 2015. The role of inoculum identity in drought stress mitigation by arbuscular mycorrhizal fungi in soybean. *Biology and Fertility of Soils* 51(1): 1-10.
34. Soukhtesaraee, R., A. Ebadi, S. A. Salami and H. Lesani. 2017. Evaluation of oxidative parameters in three grapevine cultivars under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science* 48(1): 85-98. (In Farsi).
35. Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology. Sinauer Associates: Sunderland, MA.
36. Torres, N., M. C. Antolín and N. Goicoechea. 2018. Arbuscular mycorrhizal symbiosis as a promising resource for improving berry quality in grapevines under changing environments. *Frontiers in Plant Science* 9: 1-12
37. Torres, N., R. Yu and S. K. Kurtural. 2021. Arbuscular mycrorrhizal fungi inoculation and applied water amounts modulate the response of young grapevines to mild water stress in a hyper-arid season. *Frontiers in Plant Science* 11: 2189.
38. Van Leeuwen, C. and P. Darriet. 2016. The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics* 11(1): 150-167.
39. Wu, Q. S., A. K. Srivastava and Y. N. Zou. 2013. AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: a review. *Scientia Horticulturae* 164: 77-87.
40. Wu, Q. S., R. X. Xia and Y. N. Zou. 2006. Reactive oxygen metabolism in mycorrhizal and non-mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings subjected to water stress. *Journal of Plant Physiology* 163(11): 1101-1110.
41. Wu, Q. Sh. and Y. N. Zou. 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of drought stress in plants. pp: 25-41. In: Q. Sh. Wu, (ed.), Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants. Springer Singapore, Jingzhou.
42. Yadollahi, A., K. Arzani, A. Ebadi, M. Wirthensohn and S. Karimi. 2011. The response of different almond genotypes to moderate and severe water stress in order to screen for drought tolerance. *Scientia Horticulturae* 129(3): 403-413.
43. Yang, Y., M. Tang, R. Sulpice, H. Chen, S. Tian and Y. Ban. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi alter fractal dimension characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings through regulating plant growth, leaf water status, photosynthesis, and nutrient concentration under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 33: 612-625.
44. Ye, Q., H. Wang and H. Li. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, photosynthetic activity, and chlorophyll fluorescence of vitis vinifera l. cv. ecolly under drought stress. *Agronomy* 12(7): 1563.

45. Zarei, M., Z. Paymaneh and A. Ronaghi. 2016. The effects of arbuscular mycorrhizal fungus and water stress on some antioxidant enzymes activities and nutrients uptake of two citrus rootstocks. *Iran Agricultural Research* 35(2): 19-26.