



Investigation of some Agronomic and Biochemical Characteristics of the Garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.) Affected as Inoculation with Mycorrhizal Species and Wood Vinegar Foliar Spraying

Mehdi Taheri Asghari¹ | Saiedeh Salavati² | Seyed Reza Miralizadeh Fard³

1. Corresponding Author, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: mehdi.t.a@pnu.ac.ir
2. Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: s.salavati@pnu.ac.ir
3. Department of Agriculture and Environment, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: r.miralizadeh@pnu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Objective: This study aimed to investigate the effects of foliar application of wood vinegar and mycorrhizal fungi on the agronomic and biochemical characteristics of <i>Thymus vulgaris</i> (thyme).
Article history: Received 14 August 2024 Received in revised form 27 February 2025 Accepted 16 May 2025 Published online 27 June 2025	Method: A factorial experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications at the Takestan University research farms during 2021-2023. Factors included three mycorrhizal treatments (control, seed inoculation, and soil inoculation with <i>G. mosseae</i> , <i>G. etunicatum</i> , and <i>G. intraradices</i>) and four wood vinegar levels (control, foliar spray of 5, 10, and 15 mL/L).
Keywords: Colonization Essential oil Total carbohydrate Total protein	Results: The interaction between wood vinegar and mycorrhiza significantly affected root fresh and dry weight. The highest root fresh weight (7587.5 kg/ha), representing a 93% increase over the control, was achieved with 10 mL/L wood vinegar combined with <i>G. mosseae</i> . Conversely, the lowest root fresh weight was observed with 15 mL/L wood vinegar and <i>G. etunicatum</i> . Similarly, the highest root dry weight (89% above control) occurred under the same treatment. Foliar application of wood vinegar and inoculation with <i>G. mosseae</i> enhanced canopy diameter and root colonization, with the peak colonization (about 14% increase) at 10 mL/L wood vinegar. Biochemical analyses revealed that 10 mL/L wood vinegar increased carbohydrate content, total protein, and essential oil content by 32%, 55%, and 100%, respectively. <i>G. mosseae</i> also increased carbohydrate and protein levels by approximately 15% and 45%.
	Conclusions: Applying 10‰ wood vinegar in combination with <i>G. mosseae</i> optimized dry matter production and improved biochemical traits such as soluble carbohydrates, total protein, and essential oil content. These treatments enhanced nutrient uptake and root colonization, leading to significant improvements in thyme's biomass yield and quality.

Cite this article: Taheri Asghari, M., Salavati, S., & Miralizadeh Fard, S. R. (2025). Investigation of some Agronomic and Biochemical Characteristics of the Garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.) Affected as Inoculation with Mycorrhizal Species and Wood Vinegar Foliar Spraying. *Journal of Crops Improvement*, 27 (2), 277-298. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.380862.2893>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.380862.2893>

Publisher: University of Tehran Press.



بررسی برخی خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت تأثیر تلقیح با گونه‌های مایکوریزا و محلول پاشی با سرکه چوب

مهدی طاهری اصغری^۱ | سعیده صلواتی^۲ | سید رضا میرعلیزاده فرد^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: mehdi.t.a@pnu.ac.ir

۲. گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: s.salavati@pnu.ac.ir

۳. گروه کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: r.miralizadeh@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: هدف از اجرای آزمایش، بررسی اثر محلول پاشی با سرکه چوب و تلقیح با گونه‌های مایکوریزا بر خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی گیاه دارویی آویشن باغی (<i>Thymus vulgaris</i> L.) بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴	روش پژوهش: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد تاستان اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل مایکوریزا (شاهد، تلقیح بذر و خاک با <i>Glomus mosseae</i> ، <i>Glomus etunicatum</i> و <i>Glomus intraradices</i>) و سرکه چوب (شاهد، محلول پاشی پنج، ۱۰ و ۱۵ در هزار) بود.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۰۹	یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر متقابل سرکه چوب و مایکوریزا بر وزن تر و خشک ریشه و قطر کانویی آویشن باغی معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار وزن تر ریشه به میزان ۷۵۸۷/۵ کیلوگرم بر هکتار، از تیمار ۱۰ در هزار سرکه چوب و کاربرد مایکوریزا <i>G. mosseae</i> به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۹۳ درصد افزایش نشان داد. کم‌ترین مقدار وزن تر ریشه نیز از تیمار ۱۵ در هزار سرکه چوب و مایکوریزا <i>G. etunicatum</i> به‌دست آمد. بیش‌ترین وزن خشک ریشه نیز به میزان ۱۵۶۶/۶ کیلوگرم بر هکتار از تیمار ۱۰ در هزار سرکه چوب و کاربرد مایکوریزا <i>G. mosseae</i> حاصل شد که نسبت به شاهد ۸۹ درصد افزایش داشت. هم‌چنین نشان داد که اگرچه کاربرد هم‌زمان قارچ مایکوریزا <i>G. mosseae</i> با تیمار سرکه چوب در تمامی سطوح آن باعث افزایش قطر کانویی می‌شود بیش‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه با کاربرد سرکه چوب ۱۰ در هزار به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۱۴ درصد افزایش داشت. بیش‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه با کاربرد <i>G. etunicatum</i> به‌دست آمد که با <i>G. mosseae</i> در گروه آماری مشابهی قرار گرفت. بیش‌ترین کربوهیدرات محلول شاخساره و پروتئین کل با کاربرد ۱۰ در هزار سرکه چوب حاصل شد که به‌ترتیب ۳۲ و ۵۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. بیش‌ترین کربوهیدرات محلول شاخساره و پروتئین کل با کاربرد <i>G. mosseae</i> حاصل شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۵ و ۴۵ درصد افزایش را نشان داد. تیمار ۱۰ در هزار سرکه چوب، توانست افزایش دو برابری درصد اسانس را نسبت به شاهد ایجاد کند.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۶	نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تیمار کاربرد ۱۰ در هزار سرکه چوب و مایکوریزا <i>Glomus mosseae</i> بهترین نتیجه را در عملکرد ماده خشک و صفات کیفی همچون کربوهیدرات محلول شاخساره، پروتئین کل و درصد اسانس به‌همراه داشت. با تأمین مواد غذایی و فراهم کردن شرایط افزایش جذب با استفاده از سرکه چوب و مایکوریزا، کلونیزاسیون ریشه در آویشن باغی افزایش یافت و در صفات کل کربوهیدرات محلول شاخساره، پروتئین کل اندام هوایی، درصد اسانس و در نهایت عملکرد ماده خشک افزایش قابل توجهی مشاهده شد.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۶	کلیدواژه‌ها: آویشن/اسانس، پروتئین کل، کربوهیدرات کل، کلونیزاسیون

استناد: طاهری اصغری، مهدی؛ صلواتی، سعیده و میرعلیزاده فرد، سیدرضا (۱۴۰۴). بررسی برخی خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت تأثیر تلقیح با گونه‌های مایکوریزا و محلول پاشی با سرکه چوب. *به زراعی کشاورزی*، ۲۷ (۲)، ۲۷۷-۲۹۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.380862.2893>



۱. مقدمه

جنس آویشن^۱ با حدود ۲۱۵ گونه، متعلق به خانواده نعنائیان بوده که به‌ویژه در منطقه مدیترانه پراکنده شده است (توحیدی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹) و یکی از پرشمارترین جنس‌ها با تعداد بالای گونه محسوب می‌شود. یکی از گونه‌های آویشن، گیاه دارویی آویشن باغی^۳ بوده که گیاهی علفی با شاخه‌های فراوان است و بیش‌تر در مناطق مرتفع کوهستانی می‌روید و به‌دلیل طیف وسیعی از خواص درمانی اسانس آن، به‌عنوان یکی از رایج‌ترین گیاهان دارویی و معطر شناخته شده است. پیکر رویشی آویشن باغی حاوی مواد مؤثره اسانس با میزان ۱-۳ درصد می‌باشد. اسانس آویشن از جمله ۱۰ اسانس معروف است که دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی، آنتی‌اکسیدان، نگهدارنده طبیعی غذا و تأخیردهنده پیری بوده و جایگاه خاصی در تجارت جهانی دارد (عسکری^۴ و همکاران، ۲۰۱۸). رشد گیاه، عملکرد زیست‌توده، محتوای اسانس و ترکیب آن تحت تأثیر شرایط محیطی، تکنیک‌های کشت و رشد رویشی قرار دارند (نجار^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). ترکیب‌های طبیعی (نظیر تیمول، کارواکرول، هسپریدین و تیموکینون) امکان اتصال به پروتئاز اصلی ویروس‌ها را دارند (آسیف^۶ و همکاران، ۲۰۲۰) و از نظر ماهیت لیپوفیلی، اسانس‌ها می‌توانند به‌راحتی به غشاهای ویروسی نفوذ کرده و منجر به ازهم‌پاشیدگی آن شوند (وانی^۷ و همکاران، ۲۰۲۰).

با هدف حفظ سلامت محصولات تولیدشده از لحاظ وجود بقایای سموم و مواد شیمیایی و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست، بررسی روش‌های تولید و نهاده‌های به‌کاررفته در امر تولید، بسیار مهم بوده و در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی برای بهبود کیفیت خاک، محصولات کشاورزی و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی انجام شده است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به کارایی پایین کودهای شیمیایی (۵۱-۳۱ درصد) و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بالای آن‌ها، ضروری است استفاده از کودهای زیستی توسعه پیدا کنند.

کودهای زیستی حاوی قارچ‌ها و باکتری‌های مفید حل‌کننده عناصر غذایی هستند که معمولاً با اسیدی کردن خاک و یا ترشح آنزیم‌ها موجب آزادسازی عناصر از ترکیبات پیچیده معدنی و آلی خواهند شد (امانی مایجانی و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین استفاده از کودهای زیستی و انتخاب بهترین گونه میکروارگانیسم که بیش‌ترین سازگاری را نسبت به اقلیم منطقه داشته باشد، می‌تواند در پایداری سیستم کشاورزی مفید واقع شود (زمانی و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از روش‌های تغذیه زیستی استفاده از قارچ‌های میکوریزا است (طاهری اصغری، ۱۴۰۱). در دهه اخیر، تعدادی از مطالعات اثرات مثبت قارچ‌های میکوریزا را بر بهبود تولید و تجمع ترکیبات فعال مهم در گیاهان دارویی گزارش کرده‌اند (ژائو^۸ و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج مطالعات سان^۹ و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد گروهی از قارچ‌های مفید آرباسکولار میکوریزا^{۱۰} در ریزوسفر گیاهان دارویی وجود دارند که می‌توانند همزیستی متقابلی را با ریشه‌های خود ایجاد کنند، این قارچ‌ها در سازگاری زیستگاهی گیاهان دارویی بسیار مهم هستند. عبداللهی آرپناهی^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند تلقیح گیاهان دارویی با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار، تولید اسانس را افزایش و اثرات نامطلوب تنش خشکی در گونه آویشن

1. *Thymus L.*
2. Tohidi
3. *Thymus vulgaris L.*
4. Askary
5. Najar
6. Asif
7. Wani
8. Zhao
9. Sun
10. Arbuscular mycorrhiza
11. Abdollahi Arpanahi

را کاهش می‌دهد و نیز کلونیزاسیون ریشه در تیمارهای تلقیح‌شده با این قارچ‌ها در تنش خشکی کم، افزایش می‌یابد. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۳) اثر مثبت همزیستی قارچ میکوریزای آرباسکولار با ریشه گیاه ریحان روی ویژگی‌های رشدی و میزان اسانس را نشان دادند. در پژوهشی که توسط رستمی و همکاران (۱۴۰۱) انجام شد، نتایج نشان داد که استفاده از قارچ میکوریزا از طریق افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، سازمندی سازوکارهای دفاعی آنتی‌اکسیدان و جلوگیری از جذب و انتقال سرب به بخش هوایی گیاه، اثرات مخرب ناشی از تنش سمیت سرب را کاهش داد. لطف‌اللهی و همکاران (۱۴۰۰)، نیز گزارش دادند که استفاده از قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار مورد استفاده در آزمایش برای گیاه گشنیز مثبت بود.

امروزه برای به حداقل رساندن خطرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد مداوم از سموم دفع آفات و سایر مواد شیمیایی مصنوعی، استفاده از ماده آلی دیگری به نام سرکه چوب نیز در کشاورزی مرسوم شده است. سرکه چوب مایعی چسبناک و اسیدی بوده (سان^۱ و همکاران، ۲۰۲۰) که طی فرایند سرد و مایع کردن گازهای حاصل از گرماکافت زغال چوب به‌دست می‌آید (گریول^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). محصولات گرماکافت مانند سرکه چوب می‌تواند جهت اصلاح خاک و کشاورزی اکولوژیک کاربردی باشند (تراورو^۳ و میهارا^۴، ۲۰۱۵). گزارش شده است کاربرد سرکه چوب به‌عنوان کود زیستی تخمیرشده برای سویا یک روش کشاورزی اکولوژیک است که ممکن است به کاهش استفاده از سموم و کودها کمک کند (امینی پاک‌سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). امروزه نقش سرکه چوب در بهبود کیفیت و افزایش عناصر غذایی خاک، همچنین به‌عنوان جایگزین مواد شیمیایی در بهبود عملکرد محصولات کشاورزی به اثبات رسیده است. سرکه چوب می‌تواند عملکرد، میزان پروتئین، میزان فتوسنتز، تعداد پانیکول و پنجه‌ها را افزایش دهد (سیمما^۵ و همکاران، ۲۰۱۷). کاربرد سرکه چوب به‌صورت اسپری روی توتون، عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پروتئین محلول و محتوای پتاسیم در گیاه را افزایش داده است (وانگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین از آنجایی که اغلب خاک‌های ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، دارای ماده آلی کم‌تر از یک درصد می‌باشند، این مسأله می‌تواند باعث کاهش کیفیت خاک گردد، که کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی مانند سرکه چوب و زغال زیستی می‌تواند باعث افزایش فراهمی و در دسترس بودن عناصر غذایی و بهبود کیفیت خاک شود (کریمیان شمس‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۱). به‌دلیل اثرات مفیدی که سرکه چوب بر گیاهان دارد، اکنون از آن به‌عنوان یک محرک زیستی در کشاورزی برای افزایش بهره‌وری محصول و بهبود دفاع گیاهان در برابر عوامل بیماری‌زا استفاده می‌شود و مطالعات نشان می‌دهد که می‌تواند در برابر تنش‌های اکسیداتیو مانند آلاینده‌های هوا نیز محافظت‌کننده باشد (وانینی^۷ و همکاران، ۲۰۲۲؛ گراول^۸ و همکاران، ۲۰۱۸). بسیاری از پژوهش‌گران پیشنهاد کرده‌اند که محلول‌پاشی سرکه چوب باعث افزایش محتوای کلروفیل و براقیت برگ‌های گیاه می‌شود و در نهایت باعث افزایش فتوسنتز و سنتز قندها و اسیدهای آمینه می‌شود (حکیم^۹ و همکاران، ۲۰۲۳). با توجه به این که در مورد جایگزینی کودهای زیستی به جای کودهای شیمیایی و یا کاهش مصرف آن‌ها به‌ویژه در گیاهان دارویی پژوهش‌های زیادی انجام نشده است، هدف از این آزمایش، بررسی تغییرات برخی خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی آویشن باغی در پاسخ به استفاده هم‌زمان از قارچ‌های میکوریزا و سرکه چوب بود.

1. Sun
2. Grewal
3. Traverro
4. Mihara
5. Simma
6. Wang
7. Vannini
8. Grewal
9. Hakim

۲. پیشینه پژوهش

کودهای زیستی با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص به طور مستقیم و یا غیرمستقیم موجب بهبود شاخص‌های رشد و نمو گیاه می‌گردند (صفری مطلق و همکاران، ۱۴۰۰). یکی از این روش‌ها، استفاده از مایکوریزا است (طاهری اصغری و میرعلیزاده فرد، ۱۴۰۳). این مسئله می‌تواند از طریق مکانیسم‌هایی مثل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه، طول ریشه و تعداد ریشه‌های جانبی، سبب افزایش کلونیزاسیون ریشه در شرایط طبیعی شده و افزایش هم‌زیستی، صفات رشدی و مقاومت به تنش‌ها را بهبود می‌بخشد (محمدی و رجالی، ۱۴۰۰). کاربرد مایکوریزا باعث افزایش رشد، عملکرد و خصوصیات فیتوشیمیایی به ویژه درصد اسانس در گشنیز شد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۳). از آنجاکه رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت بهبود کمیت و کیفیت و سلامت ماده مؤثره می‌باشد، بنابراین تغذیه سالم این گیاهان از طریق کاربرد کودهای بیولوژیک دارای بیش‌ترین تطابق با اهداف تولید گیاهان دارویی بوده و منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی آن‌ها می‌شود (لطف‌اللهی و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهشی که توسط عظیمی و همکاران (۱۳۹۲) انجام شد، گیاه آویشن باغی قادر به هم‌زیستی با قارچ مایکوریزا بود. آن‌ها بیان کردند که این رابطه هم‌زیستی با گونه *G. mosseae* بیش‌تر از گونه *G. intraradices* بود.

کاربرد سرکه چوب به عنوان کود طبیعی ممکن است به کاهش استفاده از سموم و کودها کمک کند. استفاده از کودهای طبیعی، از جمله سرکه چوب بدون اثرات محیط زیستی برای بالابردن عملکرد می‌تواند مؤثر باشد (علوی اصل و همکاران، ۱۴۰۲). سرکه چوب به عنوان محلول ارگانیک و به دست آمده از طبیعت می‌تواند شروع جهت‌گیری جدید برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی باشد (امینی پاک‌سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). در پژوهش‌های انجام شده در مورد استفاده از سرکه چوب مشخص گردید که ماده مذکور سبب افزایش رشد در گیاهان می‌گردد (حقیقی و سورانی، ۱۳۹۸). نتایج پژوهش علوی اصل و همکاران (۱۴۰۲) نیز نشان داد استفاده از سرکه چوب، در کنار اسید هیومیک، به عنوان کود آلی سبب بهبود رشد، عملکرد و درصد اسانس نعنای فلفلی گردید.

۳. روش‌شناسی پژوهش

به منظور بررسی کاربرد قارچ مایکوریزا و محلول پاشی سرکه چوب بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی آویشن باغی^۱، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و ۱۲۶۵ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. میانگین بارش و دما در سال‌های مورد آزمایش، در جدول (۱) آورده شده است. زمین مورد کاشت در هر دو سال در یک محل و منطقه قرار داشته و سال‌های متمادی به صورت بایر قرار داشتند. عوامل آزمایشی شامل سه گونه قارچ مایکوریزا (شاهد (عدم تلقیح)، تلقیح بذر و خاک با *Glomus mosseae*، تلقیح بذر و خاک با *Glomus etunicatum* و تلقیح بذر و خاک با *Glomus intraradices*) و سطوح سرکه چوب (شاهد (عدم مصرف)، محلول پاشی پنج، ۱۰ و ۱۵ در هزار) بود. گونه‌های قارچ مایکوریزا دارای تقریباً تعداد ۱۲۰ اسپور در هر گرم بود و از کلینیک گیاه‌پزشکی ارگانیک واقع در اسدآباد همدان تهیه شد. سرکه چوب مورد استفاده نیز با نام تجاری سرکه چوب فرح‌بخش بود. سرکه چوب در غلظت‌های مشخص شده در طرح، با اسپری دستی و در چهار مرحله محلول پاشی شد. از مرحله رشد رویشی و از زمان چهار برگی به صورت محلول پاشی به فاصله هر

هفت روز (درمجموع چهار بار محلول‌پاشی) روی گیاهان کشت‌شده انجام شد. برخی از ویژگی‌های خاک محل آزمایش و سرکه چوب مورد استفاده در این آزمایش، در جدول‌های (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول ۱. میانگین دما و مجموع بارش سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

سال زراعی ۱۴۰۰ - ۱۴۰۱											
مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بارش (میلی‌متر)	۰/۲	۵۳/۱	۲۰/۴	۲۱/۵	۱۸/۴	۲۷/۹	۱۱/۲	۲۳/۱	۰/۲	۱/۳	۰
دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۶/۴	۸/۵	۶/۵	۳/۳	۲/۲	۱/۸	۱۱/۶	۱۵/۸	۲۱/۳	۲۵	۲۲/۸

ادامه جدول ۱. میانگین دما و مجموع بارش سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

سال زراعی ۱۴۰۱ - ۱۴۰۲											
مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بارش (میلی‌متر)	۰	۱/۷	۳/۹	۱۲/۷	۳۰/۴	۲۹/۵	۷/۳	۱	۱/۹	۰	۰
دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۹/۵	۴/۲	۵/۲	۱	-۰/۵	۸/۹	۱۱/۵	۱۶/۷	۲۱/۳	۲۴/۴	۲۵/۹

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	مواد خنثی‌شونده (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیترژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	ماسه (درصد)	بافت
۷/۵	۲/۲۸	۵/۴	۰/۲۸	۰/۰۳	۶/۲	۱۵۲	۲۲	۱۸	۶۰	لوم رسی شنی

ادامه جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲

pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	مواد خنثی‌شونده (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیترژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	ماسه (درصد)	بافت
۷/۵	۲/۱۸	۵/۷	۰/۲۴	۰/۰۳	۵/۵	۱۵۶	۲۴	۱۶	۶۰	لوم رسی شنی

جدول ۳. مشخصات شیمیایی سرکه چوب مورد استفاده در این آزمایش

نیترژن کل (درصد)	نسبت کربن به نیترژن (C/N)	pH	آمینو اسید (درصد)	اسید استیک (درصد)	اسید فولویک (درصد)	هیومیک اسید (درصد)	کربن آلی (درصد)	ماده آلی (درصد)	نام تجاری
۰/۳۹	۱۷	۲/۷۵	۰/۲۸	۱/۳۳	۳/۵۰	۳/۸۵	۶/۵۸	۱۴/۴۸	سرکه چوب فرح بخش

عملیات کاشت آویشن باغی به‌صورت نشاکاری انجام شد. نشاها با استفاده از بذور تهیه‌شده از شرکت پاکان‌بذر اصفهان در ابتدای بهار در خزانه تولید شدند و پس از تهیه زمین و رسیدن نشاها به ارتفاع حدود ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متر در اوایل خردادماه هر دو سال زراعی مورد آزمایش، به کرت‌های آزمایش منتقل شدند. بذرها قبل از نشا-کاری با مایکوریزا تلقیح شدند. برای چسبندگی بهتر بذور و مایکوریزا از صمغ عربی استفاده شد و پس از ۱۰ دقیقه و اطمینان از اختلاط با قارچ، بذرها به مدت یک ساعت در سایه خشک شدند و سپس عملیات کاشت صورت گرفت. در زمان کاشت نشاها نیز در خطوط کشت و زیر نشاها ۸۰ گرم خاک حاوی هیف‌های قارچ مایکوریزا (cfu) قارچ حدود ۱۲۰ اسپور در هر گرم خاک) در هر ردیف کاشت استفاده شد (طاهری اصغری و میرعلیزاده، ۱۴۰۳). برای

ممانعت از تنش، بلافاصله بعد از کاشت عملیات آبیاری صورت گرفت و آبیاری دوم نیز سه روز بعد انجام شد. کرت‌ها بازبینی شده و در فضاهای خالی واکاری صورت گرفت. برای مبارزه با علف‌های هرز در چندین نوبت به صورت دستی انجام شد.

به دلیل این که اثرات تیمارهای مورد آزمایش بر گیاه دارویی مشخص گردد، از مصرف کود شیمیایی خودداری شد. در هر کرت پنج خط کاشت به طول پنج متر با فواصل ردیف ۴۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی متر ایجاد شد. بین کرت‌ها به جهت جلوگیری از اختلاط آن‌ها یک متر فاصله و بین تکرارها ۲ متر فاصله در نظر گرفته گرفت. جهت اندازه‌گیری صفات در مرحله رشد کامل و ۵۰ درصد گلدهی با در نظر گرفتن اثر حاشیه، به طور تصادفی ۱۰ گیاه از هر کرت انتخاب شد و صفات قطر کانوپی (برحسب سانتی متر و دایره فرض گردید و با استفاده از کولیس انجام گرفت)، ارتفاع گیاه، طول ریشه (اطراف ریشه گیاه به عمق حدود ۳۰ سانتی متر و قطر ۱۵ سانتی متر خالی شده و تا آنجایی که مقدور بود، ریشه سالم از خاک خارج و با استفاده از خط کش طول ریشه اندازه‌گیری شد) تعداد شاخه جانبی، وزن تر و خشک ریشه و عملکرد ماده خشک (با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم و در سطح یک مترمربع از هر کرت)، درصد کلونیزاسیون، کل کربوهیدرات محلول شاخساره، پروتئین کل شاخساره و درصد اسانس اندازه‌گیری شد.

نمونه‌های گیاهی در زمان ۵۰ درصد گلدهی که بهترین زمان برداشت برای مواد مؤثره و اسانس می‌باشد، برداشت شدند (هادی پناه^۱ و همکاران، ۲۰۱۱).

۱.۳. اندازه‌گیری اسانس

اسانس‌گیری از ۵۰ گرم نمونه گیاهی خشک شده در شرایط طبیعی که از سرشاخه‌های گلدار تهیه شده بود به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر (مدل فارماکوپه، ساخت بریتانیا)، در مدت زمان سه ساعت انجام شد (سی اسونگور^۲ و همکاران، ۲۰۲۳).

۲.۳. اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه

برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه، ریشه‌های جوان و نازک، در مرحله گل‌دهی، انتخاب و در مخلوطی از ۵۰ درصد الکل اتیلیک و ۵۰ درصد آب مقطر قرار گرفت (ارجمند علوی و همکاران، ۱۳۹۳). پس از خارج کردن ریشه‌ها از مخلوط یادشده، سه الی چهار بار با آب معمولی شست و شو شدند. سپس نیم ساعت در هیدروکسید پتاسیم هشت تا ۱۰ درصد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شده و سپس ۱۵ دقیقه در داخل اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر قرار گرفتند. سپس ریشه‌ها سه الی چهار بار با آب معمولی شسته شدند. سپس ریشه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در محلول آب اکسیژنه دو درصد قرار گرفتند. پس از آن، دوباره نمونه‌ها با آب معمولی شسته شده و سپس به مدت یک دقیقه در داخل کلریدریک اسید ۱ درصد غوطه‌ور شدند. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از اسید، در محلول تریپان بلو (به نسبت ۱:۱:۱ اسیدلاکتیک- گلیسرول- آب مقطر و ۰/۰۵ درصد وزنی- حجمی تریپان بلو) به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. پس از آن، با استفاده از روش کورمانیک^۳ و مگرو^۴ (۱۹۸۲)، درصد کلونیزه شدن ریشه

مشخص شد. تعدادی از این نمونه‌ها به‌طور تصادفی انتخاب و توسط میکروسکوپ نوری موردبررسی قرار گرفته و با استفاده از فرمول (۱) درصد کلونیزاسیون تعیین شد (جیو واتی^۱ و موسی، ۱۹۸۰).

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{\text{تعداد قطعات ریشه آلوده شده به قارچ}}{\text{تعداد کل قطعات ریشه مطالعه شده}} \times 100 = \text{درصد کلونیزاسیون}$$

۳.۳. اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول

برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول ۰/۵ گرم برگ خشک شده را با استفاده از ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی کوبیده و قسمت بالای محلول جدا شد. عمل استخراج دو بار دیگر و هر بار با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد. محلول حاصل، به‌مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ (مدل Chermle Z 230 A، ساخت آلمان) با سرعت ۳۵۰۰ rpm قرار گرفت. پس از جداسازی فاز مایع از جامد، بخش مایع برای استخراج کربوهیدرات محلول مورد استفاده قرار گرفت. میزان ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره الکلی با ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه‌شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون به‌علاوه ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک‌اسید ۷۲ درصد) مخلوط شد. محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد تا واکنش انجام داده و رنگی شود. سپس میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل HITACHI 340، کشور ژاپن) در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت و مقدار کربوهیدرات محلول اندازه‌گیری شد (پاکوئن^۲ و همکاران، ۱۹۷۹).

۴.۳. اندازه‌گیری پروتئین کل

برای اندازه‌گیری پروتئین کل از روش برادفورد^۳ (۱۹۷۶) استفاده شد. مقدار ۰/۲ گرم از اندام هوایی در هاون چینی سرد و در ظرف یخ با دو میلی‌لیتر بافر فسفات یک دهم مولار و با اسیدیته ۶/۸ هموژن و سانتریفیوژ شد. سوپر ناتانت حاصل برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین محلول مورد استفاده قرار گرفت و با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل HITACHI 340، ساخت ژاپن) و در طول موج ۵۹۵ مقدار آن قرائت شد. نتایج حاصل توسط نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1.3) به‌صورت مرکب (واریانس‌ها با آزمون بارتلت مقایسه و نتایج در جدول (۴) نشان داده شد) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که اثر متقابل تیمارهای سرکه چوب و مایکوریزا بر وزن تر و خشک ریشه و قطر کانوی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. هم‌چنین در همه صفات مورد مطالعه، اثرات ساده تیمارهای سرکه چوب و مایکوریزا معنی‌دار شد.

۴.۱. ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شده اما اثر متقابل معنی‌دار نشد. نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه، ۲۵/۴۵ سانتی‌متر و با کاربرد سرکه چوب ۱۰ در هزار به‌دست آمد که نسبت به شاهد (عدم کاربرد سرکه چوب) حدود ۱۱ درصد افزایش نشان داد

1. Giovannetti
2. Paquin
3. Bradford

(جدول ۴). بیش‌ترین ارتفاع گیاه، ۲۶ سانتی‌متر و با کاربرد *G. mosseae* حاصل شد و نسبت به شاهد (عدم کاربرد مایکوریزا) ۱۵ درصد افزایش داشت و پس از آن کاربرد *G. etunicatum* دارای بیش‌ترین مقدار بود (جدول ۴).

جدول ۴. جدول مقایسه واریانس‌های سال‌های انجام آزمایش (آزمون بارتلت) در گیاه آویشن باغی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	عملکرد ماده خشک	درصد کلونیزاسیون	طول ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	تعداد شاخه‌های جانبی	قطر کانوبی	کل کربوهیدرات محلول شاخصاره	پروتئین کل اندام هوایی	درصد اسانس
سال	۱	* ۰/۰۲۹	ns ۰/۰۶۶	ns ۰/۰۶۹	ns ۰/۰۷۶	ns ۰/۰۸۸	ns ۰/۰۹۳	ns ۰/۰۶۴	ns ۰/۰۸۸	ns ۰/۰۲۶	ns ۰/۰۱۵	ns ۰/۰۹۷

جدول ۵. جدول تجزیه واریانس صفات موردبررسی در گیاه آویشن باغی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	عملکرد ماده خشک	درصد کلونیزاسیون	طول ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	تعداد شاخه‌های جانبی	قطر کانوبی	کل کربوهیدرات محلول شاخصاره	پروتئین کل اندام هوایی	درصد اسانس
سال (Year)	۱	** ۴۴/۰۱	** ۶۳۸۴۷۱/۲۶	* ۹۱/۴۵	** ۸۶/۲۶	* ۱۰۵۰۰۶/۵	** ۳۷۹۲۶۴۶/۸	** ۲/۳۴	** ۱۰/۹۳	** ۶/۰۰	** ۰/۰۲۰	** ۰/۲۸
تکرار	۲	** ۵۸/۳۴	** ۲۸۲۴۶۵/۸۲	* ۷۶/۵۳	** ۴۷/۲۶	** ۱۸۲۵۶/۸	** ۵۴۵۱۸۸/۰۹	** ۲۹/۳۸	** ۲۸/۷۳	** ۹۴/۸۲	** ۰/۲۹	** ۱/۲۲
سال در تکرار	۲	** ۲/۹۴	** ۴۳۲۸۶۳/۶۳	* ۵۸/۰۵	** ۱۸/۶۳	** ۴۸۹۴/۲	** ۱۲۴۴۸۸/۰۲	** ۶۱/۰۳	** ۶/۵۱	** ۲۴/۵۹	** ۰/۱۸	** ۰/۰۵
سرکه چوب (S)	۲	** ۶۷/۲۶	** ۳۵۰۸۶۲/۷۶	** ۱۷۴/۳۰	** ۹۱/۵۳	** ۱۲۴۹۸۶۷/۶	** ۲۶۸۷۶۷۲۲/۴	** ۱۵۰/۱۷	** ۸۳/۷۵	** ۲۱۹/۳۶	** ۰/۵۰	** ۸/۷۷
مایکوریزا (M)	۳	** ۷۷/۸۷	** ۶۳۵۷۵۲/۴۵	** ۴۱۷۴/۴۲	** ۱۲۵/۴۸	** ۳۳۰۱۶۷/۱	** ۸۳۵۸۹۴۳/۸	** ۱۸۵/۵۱	** ۱۴۷/۵۰	** ۷۱/۵۵	** ۰/۳۶	** ۲/۱۶
M * S	۶	** ۱/۶۶	** ۱۳۹۶۰/۱۴	** ۲۵/۲۸	** ۵/۱۹	** ۵۹۳۰۰/۶	** ۱۰۹۷۰۶۴/۸	** ۵/۰۱	** ۱۵/۴۷	** ۶/۹۵	** ۰/۰۳	** ۰/۱۳
Year * S	۲	** ۷/۵۶	** ۳۷۶۸۸/۷۳	** ۱۰/۷۹	** ۹/۲۸	** ۷۲۴۶۶/۰۹	** ۳۱۸۴۸۱/۳	** ۱/۲۷	** ۰/۱۷	** ۱۵/۰۸	** ۰/۰۳	** ۰/۱۱
Year * M	۳	** ۴/۱۲	** ۱۴۲۱/۹۲	** ۱۹/۳۶	** ۵/۴۵	** ۶۶۶۰/۱۵۶	** ۱۶۶۷۱۹/۴	** ۷/۰۶	** ۱/۸۸	** ۱/۳۳	** ۰/۰۱	** ۰/۱۲
Year * M * S	۶	** ۰/۷۱	** ۸۷۵۸/۸۰	** ۴۱/۴۸	** ۲/۰۳	** ۳۷۵۵/۰۶	** ۱۰۶۱۰۶/۷	** ۲/۳۴	** ۳/۲۱	** ۶/۳۰	** ۰/۰۱	** ۰/۰۲
خطا	۴۴	** ۱/۳۹	** ۱۲۴۳۶/۱۱	** ۱۶/۲۴	** ۳/۵۲	** ۱۵۱۲۰/۶	** ۳۹۷۹۲۸/۵	** ۵/۱۷	** ۴/۱۲	** ۴/۱۵	** ۰/۰۱	** ۰/۰۷
CV		۴/۸۴	۴/۵۱	۱۰/۰۴	۱۰/۴۳	۱۱/۳۹	۱۲/۱۳	۹/۹۶	۹/۶۰	۹/۶۲	۷/۷۷	۱۳/۳۶

* و **: به‌ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار است و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

* and ** are significant at the level of five and one percent, respectively, and ns is not significant.

۲.۴. عملکرد ماده خشک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) مشخص کرد که اثر تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر عملکرد ماده خشک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اما اثر متقابل این دو تیمار بر عملکرد ماده خشک، تأثیر معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین مقدار عملکرد ماده خشک از تیمار ۱۰ در هزار سرکه چوب به‌دست آمد که نسبت به شاهد، ۱۰ درصد افزایش را نشان داد. کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* نیز نسبت به شاهد ۱۱ درصد افزایش در میزان عملکرد ماده خشک را نشان داد (جدول ۴).

جدول ۶. اثر تیمارهای سرکه چوب و مایکوریزا بر برخی خصوصیات گیاه آویشن باغی

ارتفاع گیاه (سانتی متر)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار)	درصد کلونیزاسیون (درصد)	طول ریشه (سانتی متر)	تعداد شاخه‌های جانبی (عدد)	میلی گرم بر گرم وزن تر (کربوهیدرات محلول شاخساره)	پروتئین کل اندام هوایی (درصد)	درصد اسانس (درصد)
اول	۲۴/۱۴ a	۴۱/۰۹ a	۱۷/۰۴ b	۲۲/۹۷ a	۲۰/۹۱ a	۰/۷۱ a	۲/۰۲ a
دوم	۲۲/۷۹ b	۲۳۸۶/۸۸ b	۳۹/۱۴ b	۱۸/۹۳ a	۲۱/۴۱ a	۰/۷۴ a	۲/۱۳ a
عدم کاربرد (شاهد)	۲۲/۷۵ c	۲۳۸۸/۶۳ c	۳۸/۱۳ c	۱۶/۳۷ c	۲۰/۵۰ c	۰/۶۰ c	۱/۳۶ c
سرکه چوب	۲۴/۰۸ b	۲۴۸۵/۶۳ b	۴۱/۱۰ b	۱۸/۰۸ b	۲۲/۱۶ b	۰/۷۲ b	۲/۰۳ b
۵ در هزار	۲۵/۴۵ a	۲۶۳۲/۴۶ a	۴۳/۴۸ a	۲۰/۷۰ a	۲۶/۳۷ a	۰/۹۳ a	۲/۸۴ a
۱۰ در هزار	۲۱/۵۸ d	۲۳۶۷/۰۰ c	۳۷/۷۶ c	۱۶/۷۹ c	۲۲/۲۵ b	۰/۶۵ c	۲/۰۶ b
۱۵ در هزار	۲۲/۵۸ c	۲۴۰۰/۵۸ c	۲۱/۱۹ c	۱۷/۱۲ bc	۱۹/۴۱ d	۰/۶۲ c	۲/۴۲ a
عدم کاربرد (شاهد)	۲۶/۰۰ a	۲۶۷۰/۹۲ a	۴۸/۲۹ a	۲۱/۲۹ a	۲۶/۰۸ a	۰/۹۰ a	۲/۲۲ b
مایکوریزا	۲۳/۴۱ b	۲۲۸۹/۷۵ d	۴۹/۹۱ a	۱۶/۰۴ c	۲۲/۲۰ c	۰/۶۶ bc	۱/۷۷ c
<i>G. mosseae</i>	۲۱/۸۷ d	۲۵۱۲/۴۶ b	۴۱/۰۸ b	۱۷/۵۰ b	۲۳/۵۸ b	۰/۷۳ b	۱/۸۷ c
<i>G. etunicatum</i>							
<i>G. intraradices</i>							

اعداد با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری با آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۳.۴ درصد کلونیزاسیون

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اثر متقابل معنی‌دار نشد. نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاربرد سرکه چوب ۱۰ در هزار، بیش‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه با مقدار ۴۳/۴۸ درصد بود که نسبت به شاهد حدود ۱۴ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۶). بیش‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار مایکوریزا، ۴۹/۹۱ درصد با کاربرد *G. etunicatum* حاصل شد (جدول ۶) و پس از آن تیمار *G. mosseae* با ۴۸/۲۹ درصد قرار داشت که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین درصد کلونیزاسیون ریشه حاصل از این دو گونه مایکوریزا دیده نشد.

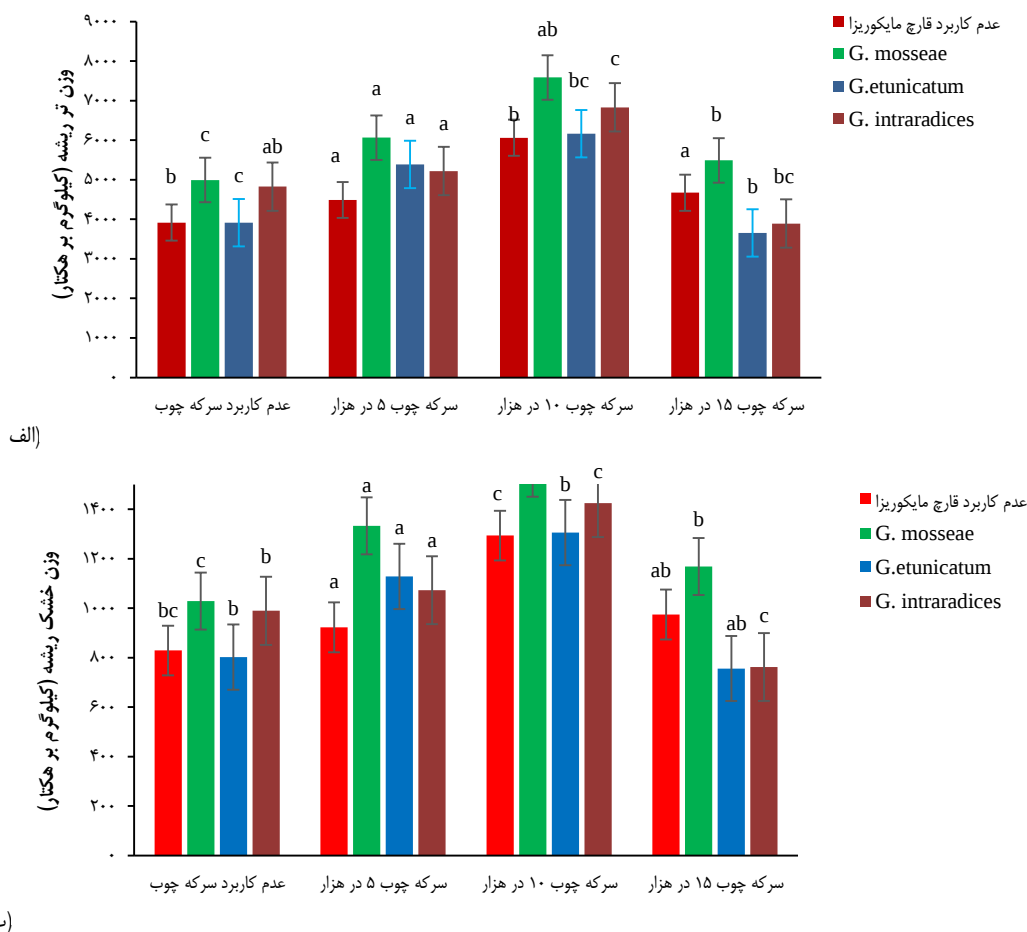
۴.۴ طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) مشخص کرد که اثر تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر طول ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اما اثر متقابل این دو تیمار اثر معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین طول ریشه به اندازه ۲۰/۷۰ سانتی‌متر از تیمار ۱۰ در هزار سرکه چوب به‌دست آمد که نسبت به شاهد، ۲۶ درصد افزایش را نشان داد. کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* نیز نسبت به شاهد ۲۴ درصد افزایش در طول ریشه را نشان داد و طول ریشه از ۱۷/۱۲ سانتی‌متر بدون کاربرد قارچ مایکوریزا (شاهد) به ۲۱/۲۹ سانتی‌متر رسید (جدول ۶).

۵.۴ وزن تر و خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر متقابل تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر وزن تر و خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیش‌ترین مقدار وزن تر ریشه به میزان ۷۵۸۷/۵ کیلوگرم بر هکتار، از تیمار ۱۰ در هزار سرکه

چوب و کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* به دست آمد که نسبت به شاهد ۹۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱-الف). کمترین مقدار وزن تر ریشه نیز از تیمار ۱۵ در هزار سرکه چوب و مایکوریزا *G. etunicatum* به دست آمد. بیشترین وزن خشک ریشه نیز به میزان ۱۵۶۶/۶ کیلوگرم بر هکتار از تیمار ۱۰ در هزار سرکه چوب و کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* حاصل شد که نسبت به شاهد ۸۹ درصد افزایش داشت (شکل ۱-ب).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سرکه چوب و مایکوریزا بر وزن (الف) تر و (ب) خشک ریشه آویشن باغی

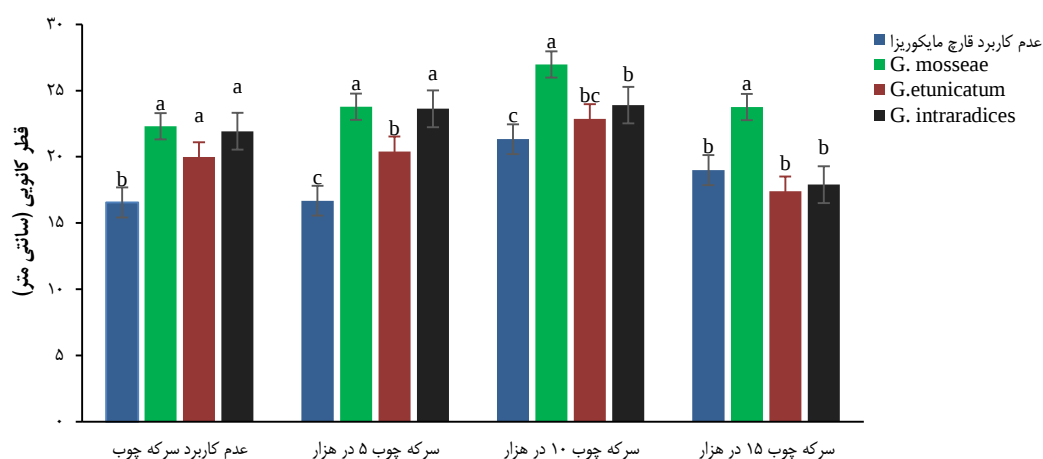
۴.۶. تعداد شاخه‌های جانبی

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، مشخص شد که اثر تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر تعداد شاخه‌های جانبی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اما اثر متقابل این دو تیمار اثر معنی‌داری نداشت. بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی ۲۶/۳۷ از تیمار ۱۰ در هزار سرکه چوب به دست آمد که نسبت به شاهد، ۲۸ درصد افزایش را نشان داد. کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* نیز نسبت به شاهد به میزان ۳۴ درصد باعث افزایش تعداد شاخه جانبی از ۱۹/۴۱ به ۲۶/۰۸ گردید (جدول ۶).

۴.۷. قطر کانوپی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر متقابل تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر قطر کانوپی در سطح یک

درصد معنی‌دار شد. جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اگرچه کاربرد هم‌زمان قارچ مایکوریزا *G. mosseae* با تیمار سرکه چوب در تمامی سطوح آن باعث افزایش قطر کانویی می‌شود، اما بیش‌ترین قطر کانویی به میزان ۲۶/۹۸ سانتی‌متر، از تیمار ۱۰ در هزار سرکه چوب و کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد ۶۳ درصد افزایش را نشان داد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سرکه چوب و مایکوریزا بر قطر کانویی آویشن باغی

۴.۸. کل کربوهیدرات محلول شاخساره

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر کل کربوهیدرات محلول شاخساره در سطح یک درصد معنی‌دار شده و اثر متقابل معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد بیش‌ترین کربوهیدرات محلول شاخساره به میزان ۲۵/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر با کاربرد ۱۰ در هزار سرکه چوب به‌دست آمد که ۳۲ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود. همچنین براساس نتایج جدول (۴)، با کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* بیش‌ترین کربوهیدرات محلول شاخساره به میزان ۲۳/۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۱۵ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۶).

۴.۹. پروتئین کل اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر پروتئین کل اندام هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار شده اما اثر متقابل معنی‌دار نشد. نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها بیانگر این مطلب بود که بیش‌ترین پروتئین کل اندام هوایی به میزان ۰/۹۳ درصد با کاربرد سرکه چوب ۱۰ در هزار به‌دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۵۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶). همچنین براساس نتایج جدول (۵)، با کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* پروتئین کل اندام هوایی به بیش‌ترین سطح خود یعنی ۰/۹۰ درصد رسید که نسبت به شاهد حدود ۴۵ درصد افزایش داشت.

۴.۱۰. درصد اسانس

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر تیمار سرکه چوب و مایکوریزا بر درصد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اثر متقابل معنی‌دار نشد. نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین درصد اسانس، به

میزان ۲/۸۴ درصد با کاربرد سرکه چوب ۱۰ در هزار به دست آمد که نسبت به شاهد با درصد اسانس ۱/۳۶، بیش از دو برابر افزایش داشت (جدول ۶). هم‌چنین بیش‌ترین درصد اسانس آویشن باغی بدون کاربرد مایکوریزا (شاهد) به میزان ۲/۴۲ درصد و بعد از آن بیش‌ترین مقدار اسانس ۲/۲۲ درصد بود که با کاربرد *G. mosseae* حاصل شد (جدول ۶).

۵. بحث

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس می‌توان اثرات تیمارهای به کاررفته در این آزمایش را چنین بیان کرد که براساس پژوهش‌های انجام شده، سرکه چوب حاوی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف از قبیل منگنز، مولیبدن، کلسیم، آلومینیوم، نیتروژن، آهن، مس، پتاسیم، سدیم، روی، فسفر و بور است که نقش مهمی در متابولیسم گیاه و فتوسنتز دارند (ژو^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). هم‌چنین آن‌ها بیان کردند که با در نظر گرفتن ترکیبات پیچیده سرکه چوب، بیش‌ترین ترکیبات آن را اسیدها و فنل‌ها تشکیل می‌دهند. این مواد در گروه ترکیبات فعال بیولوژیکی قرار داشته و زمانی که یون H^+ وارد بافت برگ می‌شود، pH درون سلول اسیدی‌تر شده و باعث افزایش فعالیت سلول شده و در نتیجه قدرت رشد گیاه را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، سرکه چوب حاوی ترکیبات آلی مختلف از جمله اسیدها، الکل‌ها، فنل‌ها، آلدئیدها، استرها و ترکیب‌های تحریک‌کننده رشد گیاه است و بر مقدار رشد گیاه تأثیر مثبت می‌گذارد که افزایش طول ساقه، مقدار وزن تر، مقدار وزن خشک گیاه و عنصرهای موجود در گیاه را نیز به همراه دارد (ژو و همکاران، ۲۰۲۱). اوزدمیر^۲ و تورپ^۳ (۲۰۲۲) نشان دادند که کاربرد سرکه چوب موجب افزایش ارتفاع بوته لوبیا شده است که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. علوی‌اصل و همکاران (۱۴۰۲) هم با آزمایش خود بر روی گیاه نعنای فلفلی نشان دادند که کاربرد سرکه چوب باعث افزایش ارتفاع گیاه شد. یاماتو^۴ و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که حجم، سطح و طول ریشه در خیار و ریحان با افزایش تیمار سرکه چوب افزایش یافته است.

نتایج پژوهش حقیقی و سورانی (۱۳۹۸) نشان داد که وزن تر و خشک و حجم ریشه تحت تأثیر کودهای آلی غنی شده، تغییر معنی‌داری داشتند و از آنجایی که یکی از مشکلات عمده خاک‌های کشور ما کمبود ماده آلی و اثرات متعاقب آن است، به نظر می‌رسد سرکه چوب که دارای کربن آلی، ماده آلی بالایی است سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی، افزایش جمعیت میکروبی خاک، افزایش توسعه ریشه و تقویت ویژگی‌های گیاه می‌شوند (کریمیان شمس‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۱). زاهدی و شرقی (۱۳۹۸) بیان کردند که کاربرد سرکه چوب ۱۰ در هزار به علاوه ژئولیت سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گیاه گردید. مصرف سرکه چوب در غلظت مناسب علاوه بر اثرات مثبتی که روی رشد گیاه دارد، می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به بیماری‌ها و حشرات مهاجم و هم‌چنین تنش‌های غیرزیستی، افزایش داده و از این طریق باعث بهبود در عملکرد گیاه شود (کالرزمن و پیراپان^۵، ۲۰۰۹). مطالعه‌ای نشان داد کاربرد سرکه چوب روی برنج باعث افزایش در عملکرد، میزان پروتئین، میزان فتوسنتز، تعداد پانیکل و پنجه‌ها شد (سیمما^۶ و همکاران، ۲۰۱۷).

کاربرد سرکه چوب به صورت محلول‌پاشی در گیاه توتون، عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پتاسیم در این گیاه افزایش داد (وانگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۹). تسهیم فرآورده‌های فتوسنتزی در گیاهان می‌تواند به شدت تحت

1. Zhu
2. Ozdemir
3. Turp
4. Yamato
5. Chalermisan and Peerapan
6. Simma
7. Wang

تأثیر عوامل محیطی و ژنتیک و قرار گیرد و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریزا و سرکه چوب می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر تسهیم فرآورده‌های فتوسنتزی باشد (تومبسی^۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ تاگوا^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). به‌نظر می‌رسد رابطه همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه آویشن، سیستم ریشه‌ای را گسترش داده، سبب بیش‌ترشدن جذب رطوبت و عناصر غذایی شده و صفات رشدی از جمله ارتفاع گیاه را افزایش می‌دهد. افزایش ارتفاع بوته با کاربرد قارچ میکوریزا با نتایج پژوهش گودرزبان^۳ و همکاران (۲۰۲۰)، روی گیاه نعنای فلفلی مطابقت داشت. بینگلی^۴ و همکاران (۲۰۲۳) و اولسن^۵ و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش دادند که قارچ میکوریزا با تولید هورمون‌های رشد به‌ویژه جیبرلین نقش مهمی در تقسیم سلولی و افزایش ارتفاع بوته دارد.

قارچ‌های میکوریزا یکی از انواع کودهای زیستی هستند که از طریق رابطه همزیستی با ریشه گیاهان موجب افزایش کارایی جذب عناصر غذایی پرمصرف و حتی کم‌مصرف توسط گیاهان می‌شوند. یکی از مهم‌ترین اثرات قارچ‌های میکوریزا، افزایش عملکرد گیاهان زراعی به‌ویژه در خاک‌هایی با حاصلخیزی پایین است. هم‌چنین این عوامل قارچی از طریق افزایش جذب آب و افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری‌زا) و غیرزنده (خشکی، شوری و ...) سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (خالوندی^۶ و همکاران، ۲۰۱۹؛ اینگرافیا^۷ و همکاران، ۲۰۱۹). تلقیح گیاه با قارچ‌های میکوریزا می‌تواند از طریق افزایش مؤثر سطح جذب ریشه، طول ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی، ترشح اسیدهای آلی و ترکیبات کلات‌کننده منجر به افزایش کلونیزاسیون ریشه در شرایط طبیعی شود.

افزایش رشد گیاه در اثر تلقیح با میکوریزا می‌تواند ناشی از تسریع تقسیم سلولی و رشد ریشه، جذب آب و مواد غذایی، افزایش ترشح هورمون‌هایی مانند سیتوکینین و اکسین باشد که نشان‌دهنده یک رابطه مثبت قوی بین کلونیزاسیون ریشه، جذب عناصر غذایی و بهبود رشد می‌باشد (زیدی^۸ و خان^۹، ۲۰۰۶). پژوهش‌های بیطرفان و همکاران (۱۳۹۶) روی آویشن، کاپور^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۴) روی رازیانه و رتی^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۱) روی گیاه دارویی علف لیمو نشان داد که تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا به‌طور معنی‌داری درصد کلونیزاسیون ریشه را افزایش داد. امیری^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند کلونیزاسیون ریشه، مقاومت به خشکی، پارامترهای رشدی و فیزیولوژیک در پایه‌های شمعدانی تلقیح‌شده با گونه‌های قارچی *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus intraradices* در هر سه نوع رژیم کم آبی (بدون تنش، متوسط و شدید) بهبود یافت. در گیاه نعنای فلفلی هم نتایج نشان‌دهنده معنی‌دارشدن اثر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه بود. به‌طوری‌که بر طبق اظهارنظر پژوهش‌گران، درصد کلونیزاسیون ریشه می‌تواند به بیولوژی میکروارگانیسم‌ها، قدرت رقابت آن‌ها با سایر میکروب‌ها، خصوصیات ریشه گیاه، خواص فیزیکی خاک و محیط گیاه میزبان وابسته باشد (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی سرکه چوب نیز به‌علت داشتن مواد مغذی و نیز متانول و فورفورال، سبب افزایش میکروارگانیسم‌های خاک و گسترش ریشه گیاه می‌شود. به‌نظر می‌رسد قارچ میکوریزا با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و روابط آبی و تغییر در سطح ترکیبات هورمونی گیاه باعث تغییر و

1. Tombesi
2. Tagawa
3. Goudarzian
4. Binglei
5. Olson
6. Khalvandi
7. Ingrassia
8. Zaidi
9. Khan
10. Kapoor
11. Ratti
12. Amiri

افزایش انشعابات و حجم ریشه گیاه شده و می‌تواند از این طریق باعث افزایش عملکرد ماده خشک ریشه شود. نتایج پژوهش‌های لطف‌اللهی و همکاران (۱۴۰۰) هم نشان داد که اثر هر سه گونه قارچ (مایکوریزا و شبه مایکوریزا) بر شاخص‌های رشدی (وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه) و غلظت فسفر در مقایسه با شاهد معنی‌دار می‌باشد. قارچ *P. indica* با افزایش سطح جذب در خاک از طریق گسترش میسلیوم‌های خود، فراهمی آب و عناصر غذایی را برای گیاه افزایش می‌دهد و این افزایش به نوبه خود سبب می‌گردد که میزان فتوسنتز و تولید قندها و مواد ذخیره‌ای افزایش یابد و در نتیجه رشد اندام هوایی و ریشه‌ها افزایش یابد (لطف‌اللهی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج حاصل از پژوهش رستمی و همکاران (۱۴۰۱) مبین آن است که استفاده از قارچ مایکوریزا از طریق افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، سازمندی سازوکارهای دفاعی آنتی‌اکسیدان و جلوگیری از جذب و انتقال عنصر سنگین سرب به بخش هوایی گیاه اثرهای زیان‌بار ناشی از تنش سمیت سرب را تخفیف می‌دهد.

افزایش تعداد شاخه فرعی در بوته شوید با استفاده از قارچ مایکوریزا نیز توسط ویسانی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش شده است. جهانبیگ و همکاران (۱۴۰۳) و فاضلی‌کاخکی و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که تعداد شاخه‌های جانبی با استفاده از کودهای زیستی افزایش یافت. به نظر می‌رسد این افزایش تعداد شاخه جانبی در بوته تحت تأثیر کودهای زیستی می‌تواند در نتیجه بهبود جذب عناصر غذایی و به دنبال آن افزایش فتوسنتز در این تیمار باشد (پوریوسف و همکاران، ۱۳۹۳).

افزایش ترکیبات مختلف در دسترس گیاه از طریق کاربرد سرکه چوب و نیز افزایش سطح جذب با کاربرد مایکوریزا، بیانگر این است که این دو تیمار نسبت به هم هم‌افزایی داشته و باعث رشد بهتر و افزایش قطر کانوپی در این گیاه شده‌اند. بخش مورد استفاده از گیاه آویشن، اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد، با کاربرد کودهای زیستی می‌توان عناصر غذایی مورد نیاز در رشد اندام‌های هوایی را به خوبی فراهم کرد و این ترکیبات در گیاه با تولید بیش‌تر مواد فتوسنتزی، سبب افزایش شاخساره و در نهایت قطر کانوپی خواهد شد. قطر کانوپی از صفات مؤثری است که هرچه بزرگ‌تر باشد گیاه را قادر می‌کند تا از منابع محیطی اطراف مانند نور و دی‌اکسیدکربن استفاده بیش‌تری کند و دیگر صفات مانند ارتفاع گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. قطر کانوپی گیاه از شاخص‌های تأثیرگذار در تولید بوده و در صورتی که گیاهان قطر کانوپی مناسبی تولید نکنند از فضایی که در اختیار آن‌ها قرار داده شده به خوبی استفاده نکرده و کارایی گیاهان در استفاده از منابع قابل دسترس کم خواهد (نگاری و همکاران، ۱۴۰۰).

نتایج پژوهش امیریوسفی و همکاران (۱۳۹۹) هم نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار کودهای زیستی به ویژه در شرایط کاربرد تلفیقی آن‌ها، بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی ارزیابی شده در گیاه کینوا از جمله پروتئین کل بود.

بیش‌ترین درصد اسانس آویشن باغی بدون کاربرد مایکوریزا (شاهد) و با استفاده از سرکه چوب ۱۰ در هزار حاصل شد به نظر می‌رسد با تلقیح مایکوریزا شرایط برای رشد بیش‌تر گیاه مهیا شده و به همین خاطر درصد اسانس کاهش یافته است. این نتیجه با گزارش‌های بیطرفان و همکاران (۱۳۹۶) در خصوص تأثیر قارچ مایکوریزا بر روی اسانس آویشن باغی نیز مطابقت دارد. مرادی^۱ و همکاران (۲۰۱۱) هم در پژوهش خود در مورد تأثیر کودهای بیولوژیک و آلی بر میزان اسانس رازیانه نشان دادند که بیش‌ترین درصد اسانس از شاهد حاصل شد. هم‌چنین علوی‌اصل و همکاران (۱۴۰۳) در نتیجه حاصل از پژوهش خود روی اسانس نعنای فلفلی، گزارش داد که با افزایش غلظت سرکه چوب از صفر به ۱۵ درصد، میزان اسانس ۷/۹۰ درصد افزایش داشت. به نظر می‌رسد کودهای زیستی بر جذب عناصر غذایی پرمصرف مانند فسفر تأثیر کرده، فسفر با مشارکت در فرایندهای رشدی و تقسیم سلولی، سطح برگ را گسترش داده و از طریق فعالیت‌های آنزیمی و شرکت در واکنش‌های تولید انرژی و ترکیبات چرخه کالوین موجب افزایش فتوسنتز و تولید بیش‌تر

کربوهیدرات‌های فتوسنتزی می‌گردد (رزاق^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). به‌طور کلی، گزارش شده که مصرف کودهای زیستی به‌عنوان مکمل، به‌دلیل فراهم کردن و رهاسازی آسان‌تر و سریع‌تر عناصر مورد نیاز در فتوسنتز، علاوه بر افزایش کارایی کودهای شیمیایی، موجب افزایش کربوهیدرات‌های محلول گیاهان می‌شوند (امانی^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج پژوهش‌های فواد^۳ و همکاران (۲۰۱۴) هم نشان داد که آثار هم‌افزایی تلقیح انواع ریز موجودات روی غلظت قندهای محلول به‌علت افزایش میزان فتوسنتز بوده است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، تیمار کاربرد ۱۰ در هزار سرکه چوب و مایکوریزا *Glomus mosseae* بهترین نتیجه را در بر داشت. سرکه چوب با داشتن ترکیبات مختلف از جمله عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف و قارچ مایکوریزا با در دسترس قرار دادن این عناصر، می‌توانند نیازهای گیاه دارویی آویشن به مواد مغذی را تأمین کنند و گیاه در شرایط رشدی بهتری قرار گیرد. در تمام صفات بررسی‌شده در این پژوهش، کاربرد سرکه چوب اثرات مثبتی در آن‌ها داشته و در بین مایکوریزاهای استفاده شده، *G. mosseae* نسبت به بقیه، اثرگذاری بیش‌تری نشان داد. در صفات وزن تر و خشک ریشه و قطر کانویی نیز هم‌افزایی بین تیمارهای به‌کار برده شده وجود داشت، به‌طوری‌که در اثر اعمال این دو تیمار، وزن تر و خشک ریشه و قطر کانویی، به‌ترتیب افزایش ۹۳، ۸۹ و ۶۳ درصدی نسبت به شاهد نشان دادند. با توجه به این‌که هدف از کشت گیاهان دارویی افزایش عملکرد و نیز افزایش مواد مؤثره آن‌ها می‌باشد، می‌توان با استفاده از تیمارهایی نظیر سرکه چوب و مایکوریزا، در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی، کاهش فرسایش خاک، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی، تولید محصول بیش‌تر و با کیفیت و توسعه سیستم کشاورزی پایدار گام برداشت.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه پیام نور به‌خاطر تأمین بخشی از هزینه‌های این آزمایش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- امانی ماچیان، مصطفی؛ جوانمرد، عبدالله؛ استادی، علی و مرشدلو، محمدرضا (۱۴۰۰). ارزیابی عملکرد اسانس و شاخص‌های اکولوژیکی در کشت مخلوط آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) و سویا (*Glycine max* L.) با کاربرد قارچ میکوریز. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۱(۳)، ۳۱-۵۰.
- امیریوسفی، مهدی؛ تدین، محمدرضا و ابراهیمی، رحیم (۱۳۹۹). اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر برخی صفات بیوشیمیایی و عملکردی دو رقم کینوا. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۹(۳۶)، ۳۱۴-۲۹۹.
- امینی پاک سلطانی، سارا؛ مدرس ثانوی، سید علی محمد و سادات اسیلان، کمال (۱۴۰۱). تأثیر سرکه چوب و بیوجار بر عملکرد کمی و کیفی گیاه سویا در شرایط تنش کمبود آب. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۵(۴)، ۹۰۷-۹۲۰.

- ارجمند علوی، محمد؛ حاتم‌زاده، عبدالله و احتشامی، سید محمدرضا. (۱۳۹۳). تأثیر تلقیح پیاز با چهار گونه قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی دو گونه سوسن. *مجله علوم و تحقیقات بذر/ایران*، ۱(۲)، ۵۷-۶۵.
- بیطرفان، نعیمه؛ غلامی، احمد؛ عباس‌دخت، حمید؛ برادران، مهدی و خلیقی سیگارودی، فرحناز (۱۳۹۶). تأثیر ورمی کمپوست و قارچ میکوریزا بر خصوصیات رشد، میزان اسانس و عملکرد آویشن باغی (*Thymus vulgaris L.*). *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۹(۱)، ۱۰۲-۱۱۴.
- پوریوسف، مجید؛ مظاهری، داریوش؛ یوسفی، علیرضا؛ رحیمی، اصغر و توکلی، افشین (۱۳۹۳). ارزیابی صفات کیفی دانه اسفرزه *(Plantago ovata Forsk.)* تحت رژیم‌های کم‌آبیاری و تیمارهای مختلف کودی. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۰(۳)، ۴۱۴-۴۲۴.
- جهاننیک، طاهره؛ رئیس، عبدالشکور و پیری، حسین (۱۴۰۳). بررسی تأثیر کودهای زیستی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba L.*) در شهرستان ایرانشهر. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶(۲)، ۴۷۱-۴۸۵.
- حقیقی، مریم و سورانی، معین (۱۳۹۸). اثر سرکه چوب غنی‌شده ارگانیک بر رشد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در بستر کشت خاکی و بدون خاک. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۲۰(۲)، ۲۲۶-۲۱۱.
- ذوالفقاری، مریم؛ ناظری، وحیده؛ سفید کن، فاطمه و رجالی، فرهاد (۱۳۹۳). بررسی تأثیر گونه‌های مختلف مایکوریزا بر ویژگی‌های رشدی و میزان اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum L.*). *تولیدات گیاهی*، ۳۷(۴)، ۴۷-۵۶.
- رستمی، رویا؛ اسماعیل‌پور، بهروز؛ حسینی، سید احمد؛ سلیمی، قباد و اطمینان، علیرضا (۱۴۰۱). تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی و عملکرد اسانس (*Thymus vulgaris L.*) در شرایط تنش عنصر سنگین سرب. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۸(۱)، ۱۱۴-۱۳۲.
- زاهدی، حسین و شرقی، یونس (۱۳۹۸). اثر برخی حاصلخیزکننده‌های آلی خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد جو. *فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی*، ۱۵(۳)، ۳۴-۲۳.
- زمانی، فاطمه؛ امیرنیا، رضا؛ رضائی چپانه، اسماعیل و رحیمی، امیر (۱۳۹۷). بررسی اثر کودهای زیستی باکتریایی و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه و ترکیبات شیمیایی اسانس سه توده رازیانه. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۰(۴)، ۸۳۱-۸۴۸.
- صفری مطلق، محمد رضا؛ کاویانی، بهزاد و انصاری، محمدحسین (۱۴۰۰). تأثیر گونه‌های قارچ مایکوریزای آربوسکولار بر برخی صفات رشدی، بیوشیمیایی و جذب عناصر در ریشه‌زایی قلمه ارقام زیتون. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) (علمی)*، ۳۴(۲)، ۴۸۱-۴۹۳.
- طاهری اصغری، مهدی (۱۴۰۱). اثر همزیستی قارچ مایکوریزا و کاربرد برگی اسیدهای آمینه بر برخی صفات رشدی و روغن گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis L.*). *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۲۰(۱)، ۹۳-۱۰۳.
- طاهری اصغری، مهدی و میرعلیزاده فرد، سیدرضا (۱۴۰۳). اثر محلول‌پاشی هیومیک‌اسید و همزیستی با گونه‌های قارچ مایکوریزا بر خصوصیات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی آویشن باغی (*Thymus vulgaris L.*). *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶(۲)، ۴۳۸-۴۲۳.
- عظیمی، ریحانه؛ جنگجو، محمد و اصغری، حمیدرضا (۱۳۹۲). تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر استقرار اولیه و خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی آویشن باغی در شرایط عرصه طبیعی. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*، ۴(۱۱)، ۶۶۶-۶۷۶.
- علوی اصل، سید علی؛ مجیدیان، مجید؛ مدرس ثانوی، سید علی محمد و اصفهانی، مسعود (۱۴۰۲). اثر محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدهیومیک بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی، آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و محتوای اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita L.*) در شرایط تنش کم‌آبی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۳)، ۱۷۶-۱۶۳.
- علوی اصل، سید علی؛ مجیدیان، مجید؛ مدرس ثانوی، سید علی محمد و اصفهانی، مسعود (۱۴۰۳). تغییرات بیوشیمیایی و ترکیبات عمده اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita L.*) تحت تأثیر هیومیک‌اسید و سرکه چوب در شرایط تنش خشکی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۲)، ۵۵.

فاضلی کاخکی، سید فاضل؛ اسکندری تربقان، مهرانوش؛ دانشیان جهانفر و آناهید، صدیقه (۱۴۰۰). تأثیر کودهای زیستی بر ترکیبات شیمیایی دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط مزرعه. گیاهان دانه روغنی، ۳(۲)، ۵۶-۶۴.

کریمیان شمس‌آبادی، نسرین؛ قربانی دشتکی، شجاع؛ متقیان، حمیدرضا؛ ایرانی پور، رامین و خلیلی مقدم، بیژن (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد زغال زیستی و سرکه چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک زیرکشت ذرت علوفه‌ای. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹(۳)، ۲۳-۴۴.

لطف الهی، علی؛ بلندنظر، صاحب‌علی؛ علی اصغرزاد، ناصر؛ خوشرو، بهمن و صیامی، آرزو (۱۴۰۰). بررسی اثر تلقیح قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و شبه میکوریز بر رشد و جذب فسفر گیاه گشنیز. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۱(۱)، ۸۷-۱۰۱.

محمدی اشکفتکی، محمود و رجالی، فرهاد (۱۴۰۰). بررسی تأثیر همزیستی میکوریزی بر خصوصیات رشدی و کلنیزاسیون پایه‌های متداول بادام در شرایط مطلوب و تنش کم آبی. زیست‌شناسی خاک، ۹(۱)، ۱۵-۲۸.

محمودزاده، مهدی؛ رسولی صدقیانی، میرحسن و عسگری لجایر، حمایت (۱۳۹۴). تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر خصوصیات ریخت‌شناسی و غلظت عناصر پرمصرف گیاه دارویی نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط گلخانه. روابط خاک و گیاه، ۴(۴)، ۱۵۵-۱۶۸.

نگاری، عبدالکریم؛ جامی الاحمدی، مجید و زمانی، غلامرضا (۱۴۰۰). پاسخ آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) به کروناتین، متیل جاسمونات و سیکلودکسترین در سطوح مختلف تأمین رطوبت در شرایط گلخانه. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۷(۶)، ۹۳۴-۹۵۳.

ویسانی، وریا؛ راعی، یعقوب؛ زهتاب سلماسی، سعید و سهرابی، یوسف (۱۳۹۵). اثر قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر عملکرد و اجزای عملکرد شوید (*Anethum graveolens* L.) و لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) در کشت خالص و مخلوط. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۶(۳)، ۱-۱۹.

References

- Alavi Asl, S. A., Majidian, M., Modares Sanavy, S. A. M., & Esfahani, M. (2023). Effect of wood vinegar and humic acid on morphological and biochemical traits, antioxidant enzymes, and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 163-176. DOI: 10.22059/IJFCS.2023.356625.654990. (In Persian).
- Alavi Asl, S. A., Majidian, M., Modares Sanavy, S. A. M., & Esfahani, M. (2024). Changes of biochemical and main compounds of peppermint essential oil (*Mentha piperita* L.) under the influence of humic acid and wood vinegar under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(2). DOI: 10.22059/IJFCS.2023.363279.655022. (In Persian).
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., & Morshedloo, M. R. (2021). Evaluation of essential oil yield and ecological indices in the intercropping of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) with application of arbuscular mycorrhizal fungus. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 31-50. DOI: 10.22034/SAPS.2021.13687. (In Persian).
- Amany, S., Al-Toukhy, A., & Bafeel, S. (2016). Effect of chemical, organic and bio fertilizers on photosynthetic pigments, carbohydrates and minerals of wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated with sea water. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3, 296-310.
- Amini Pak Soltani, S., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Sadat Asylan, K. (2022). The effect of wood vinegar and biochar on the quantitative and qualitative yield of soybean in water shortage condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(4), 907-920. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.4142.1977>. (In Persian).
- Amiri, R., Nikbakht, A., Rahimmalek, M., & Hosseini, H. (2017). Variation in the essential oil composition, antioxidant capacity, and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. inoculated with two species of mycorrhizal fungi under water deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 58(1), 1-14. DOI 10.1007/s00344-016-9659-1
- Amiryousefi, M., Tadayon, M., R., & Ebrahimi, R. (2020). Effect of biological and chemical fertilizers on some biochemical and yield traits of two quinoa cultivars. *Plant Process and Function*, 9(36), 299-314. (In Persian).

- Arjmand Alavi, M., Hatamzadeh, A., & Ehteshami, S. M. (2014). Effect of bulb inoculation with four species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of two lily species. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 1(2), 57-65. DOR: 20.1001.1.24763780.1393.1.2.5.7. (In Persian).
- Arpanahi, A. A., Feizian, M., Mehdipourian, G., & Khojasteh, D. N. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, 100, 103217. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217>
- Asif, M., Saleem, M., Saadullah, M., Yaseen, H. S., & Al-Zarzur, R. (2020). COVID-19 and therapy with essential oils having antiviral, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties. *Inflammo Pharmacology*, 28(5), 1153-1161. DOI: 10.1007/s10787-020-00744-0
- Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Mahmoodi, S., & Jamialahmadi, M. (2018). Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 111, 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056>
- Azimi, R., Jangu, M., & Asghari, H. (2014). The effect of mycorrhiza inoculation on the initial establishment and morphological characteristics of the thyme medicinal plant in natural conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(4), 666-676. (In Persian).
- Bako, C., BalAzs, V. L., Kerekes, E., Kocsis, B., Nagy, D. U., Szabo, P., Micalizzi, G., Mondello, L., Krisch, J., PethO, D., & Horváth, G. (2023). Flowering phenophases influence the antibacterial and anti-biofilm effects of *Thymus vulgaris* L. essential oil. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 23(1), 1-14. DOI:10.1186/s12906-023-03966-1
- Binglei, W., Chong, W., Xuelian, L., Rui, X., Mengli, L., Guangxia, X., & Zhiyi, L. (2023). Effects of earthworm (*Eisenia fetida*) and arbuscular mycorrhizal fungi improving plant hormones and antioxidant enzymes under simulated acid rain stress. *Applied Soil Ecology*, 182, 104729. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104729>
- Bitarafan, N., Gholami, A., Abbas Dokht, H., Baradaran, M., & Khalighi Sigaroodi, F. (2017). Effects of vermicompost and mycorrhizal fungi on growth characteristics, essential oil and yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, 9(1), 102-114. DOI: 10.22067/JAG.V9I1.41414. (In Persian).
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram of protein utilizing of protein-day binding. *Annual Biochemistry*, 72, 248-254.
- Chalermisan, Y., & Peerapan, S. (2009). Wood vinegar: By-product from rural charcoal kiln and its role in plant protection. *Asian Journal of Food Agriculture*, 2, 189-195.
- Csongor, B., Viktoria, L. B., Erika, K., Bela, K., David, U. N., Peter, S., Giuseppe, M., Luigi, M., Judit, K., Dora, P., & Gyorgyi, H. (2023). Flowering phenophases influence the antibacterial and anti-biofilm effects of *thymus vulgaris* L. essential oil. *BMC complementary Medicine and Therapies*, 23, 168. <https://doi.org/10.1186/s12906-023-03966-1>
- Fazeli Kakhki, S. F., Eskandari, M., Daneshian, J., & Anahid, S. (2022). The effect of biofertilizers on the chemical composition of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) in field conditions. *Journal of oilseed plants*, 3(2), 56-64. (In Persian).
- Fouad M. O., Essahibi A., Benhiba, A., & Qaddoury, A. (2014). Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in the protection of olive plants against oxidative stress induced by drought. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12, 763-771.
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980) An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84, 489-500
- Goudarzian, A., Pirbalouti, A. G., & Hossaynzadeh, M. (2020). Menthol, balance of menthol/menthone, and essential oil contents of *Mentha×Piperita* L. under foliar-applied chitosan and inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 23(5), 1012-1021. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1828177>
- Grewal, A., Abbey, L., & Gunupuru, L. R. (2018). Production, prospects and potential application of pyrolygneous acid in agriculture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 135, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.09.008>
- Hadi panah, A., Gol Parvar, A. R., Ghasemi Pir Balooyi, A., & Zeinali, H. (2011). Determining the best harvest time to achieve the highest yield and thymol in garden thyme in Isfahan conditions. *Journal of Herbal Medicines*, 2(1), 23-32.

- Haghighi, M., & Sourani, M. (2019). Effect of organic fortified wood vinegar on greenhouse tomato growth in two soil and soilless media. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 20(2), 211-226. (In Persian).
- Ouattara, H. A. A., Bobele, F., Yao, J. C., Amusant, N., & Garnier, B. (2023). Wood vinegars: production processes, properties, and valorization. *Forest Products Journal*, 73(3), 239-249. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-23-00021>
- Ingraffia, R., Amato, G., Frenda, A. S., & Giambalvo, D. (2019). Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, N₂ fixation, N transfer, and growth in a wheat/faba bean intercropping system. *PloS One*, 14(3), e0213672. DOI: 10.1371/journal.pone.0213672
- Irigoyen, J. J., Emerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induce changes in concentration of proline and total soluble sugar in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84, 55-60.
- Jahantigh, T., Raissi, A., & Piri, H. (2024). Investigating the effect of biological fertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of guar plant (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Iranshahr city. *Journal of Crops Improvement*, 26(2), 471-485. DOI: 10.22059/jci.2024.353499.2787 (In Persian).
- Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K. G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Journal of Biological Resource Technology*, 93, 307-311.
- Karimian, N., Ghorbani Dashtaki, S., Motaghian, H., Iranipour, R., & Khalili Moghadam, B. (2022). Effect of application of biochar and wood vinegar on some chemical and microbiological properties of soil under forage corn cultivation. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29(3), 23-44. DOI: 10.22069/JWSC.2023.20460.3575 (In Persian).
- Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Keramati, S., & Hosseini, J. (2019). Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and methyl jasmonate application under saline condition. *Industrial Crops and Products*, 127, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.072>
- Kormanik, P. P., & McGraw, A. C. (1982). Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In *Methods and Principles of Mycorrhizal Research* (N. C. Schenck, Ed.). American Phytopathological Society, St. Paul, 37-45.
- Lotfollahi, A., Bolandnazar, S., Aliasgharzad, N., Khoshru, B., & Siامي, A. (2021). Effects of inoculation with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza-like fungi on growth and phosphorus uptake of coriander. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 87-101. DOI: 10.22034/SAPS.2021.12791. (In Persian).
- Mahmoudzadeh, M., Sadaghiani, M. H. R., & Lajayer, H. A. (2015). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth characteristics and concentration of macronutrients in peppermint (*Mentha piperita* L.) under greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions Isfahan University of Technology*, 6(24), 155-168. DOI:10.18869/acadpub.ejgcst.6.4.155 (In Persian).
- Mohammadi Eshkaftaki, M., & Rejali, F. (2021). Effect of mycorrhizal symbiosis on growth properties and colonization of common Almond rootstock at water deficit conditions. *Journal of Soil Biology*, 9(1), 15-28. DOI: 10.22092/SBJ.2020.343209.197 (In Persian).
- Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., & Nezhadali, A. (2011). Effects of organic and biological fertilizers on fruit yield and essential oil of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var. Dulce). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2), 546-553.
- Najar, B., Pistelli, L., Ferri, B., Angelini, L. G., & Tavarini, S. (2021). Crop yield and essential oil composition of two *Thymus vulgaris* chemotypes along three years of organic cultivation in a hilly area of central Italy. *Molecules*, 26, 1-18. DOI:10.3390/molecules26165109
- Negari, A., Jami Al-Ahmadi, M., & Zamani, G. (2022). Response of *Thymus vulgaris* L. to coronatine, methyl jasmonate, and cyclodextrin at different levels of moisture supply under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(6), 934-953. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.355557.3042>. (In Persian).
- Olson, D., Berry, H. M., Riggs, J. D., Argueso, C. T., & Gomez, S. K. (2022). Phytohormone profile of *medicago* in response to mycorrhizal fungi, aphids, and gibberellic acid. *Plants*, 11(6), 720. DOI: 10.3390/plants11060720

- Ozdemir, S., & Turp, G. A. (2022). The impact of the pyroligneous acid-assisted biomass ash vermicompost on dry beans through climatic and agroecosystem changes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25, 490-500. <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-022-01556-w>
- Paquin, R., & Lechasseur, P. (1979). Observations sur une methode dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*, 57(18), 1851-1854.
- Pouryousef, M., Mazaheri, D., Yousefi, A., Rahimi, A., & Tavakoli, A. (2014). Evaluation of grain qualitative traits of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) under limited irrigation regimes and different fertilizing treatments. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 30(3), 414-424. (In Persian).
- Ratti, N., Kumar, S., Verma, H. N., & Gautam, S. P. (2001). Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. motia by rhizobacteria, AMF and Azospirillum inoculation. *Microbiological Research*, 156, 145-149.
- Razaq, M., Zhang, P., Shen, H., & Salahuddin, A. (2017). Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of *Acer mono*. *PloS One*, 12(2), e0171321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171321>
- Rostami, R., Esmailpour, B., Hosseini, S., Salimi, G., & Etminan, A. (2022). Effects of arbuscular mycorrhizae on growth, biochemical characteristics, and essential oil yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.) under lead heavy metal stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(1), 114-132. DOI:10.22092/ijmapr.2022.352729.2904 (In Persian).
- Safari Motlagh, M. R., Kaviani, B., & Ansari, M. H. (2021). Effect of arbuscular mycorrhizal fungus species on some growth and biochemical traits and nutrients uptake in the rooting of cutting of olive cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(2), 481-493. (In Persian).
- Simma, B., Polthanee, A., & Goggi, A. S. (2017). Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland directseeding rice under rainfed production. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(56), 1-9. DOI:10.1007/s13593-017-0466-2
- Sun, H., Feng, Y., Xue, L., Mandal, S., Wang, H., Shi, W., & Yang, L. (2020). Response of ammonia volatilization from rice paddy soil to application of wood vinegar alone or combined with biochar. *Chemosphere*, 242, 125247. DOI:10.1016/j.chemosphere.2019.125247
- Sun, R. T., Zhang, Z. Z., Zhou, N., Srivastava, A., Kuča, K., Abd-allah, E. F., Hashem, A., & Wu, Q. S. (2021). A review of the interaction of medicinal plants and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(3), 12454. DOI:10.15835/nbha49312454
- Tagawa, A., Ehara, M., Ito, Y., Araki, T., Ozaki, Y., & Shishido, Y. (2022). Effects of CO₂ enrichment on yield, photosynthetic rate, translocation and distribution of photoassimilates in strawberry 'Sagahonoka'. *Agronomy*, 12(2), 473. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020473>
- Taheri asghari, M. (2022). Effect of mycorrhizal fungi symbiosis and foliar application of amino acids on some growth traits and pot marigold oil (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20(1), 93-103. DOI: 10.22067/JCESC.2021.72735.1092. (In Persian).
- Taheri Asghari, M., & Miralizadeh Fard, S. R. (2024). The Effects of foliar application of humic acid and symbiosis with mycorrhiza fungi species on the morphological and phytochemical characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Crops Improvement*, 26(2), 423-438. DOI: 10.22059/jci.2024.364586.2843 (In Persian).
- Tohidi, B., Rahimmalek, M., & Trindade, H. (2019). Review on essential oil, extracts composition, molecular and phytochemical properties of Thymus species in Iran. *Industrial Crops and Products*, 134, 89-99. DOI:10.1016/j.indcrop.2019.02.038
- Tombesi, S., Cincera, I., Frioni, T., Ughini, V., Gatti, M., Palliotti, A., & Poni, S. (2019). Relationship among night temperature, carbohydrate translocation and inhibition of grapevine leaf photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany*, 157, 293-298. DOI:10.1016/j.envexpbot.2018.10.023
- Travero, J., & Mihara, M. (2015). Impacts of pyroligneous acid to biological and chemical properties of depleted soil in Bohol, Philippines. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 6(1), 132-137.
- Vannini, A., Fedeli, R., Guarnieri, M., & Loppi, S. (2022) Foliar application of wood distillate alleviates ozone-induced damage in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Toxics*, 10, 178. <https://doi.org/10.3390/toxics10040178>

- Wang, Y., Qiu, L., Song, Q., Wang, S., Wang, Y., & Ge, Y. (2019). Root proteomics reveals the effects of wood vinegar on wheat growth and subsequent tolerance to drought stress. *International Journal of Molecular Science*, 20(4), 943.
- Wani, A. R., Yadav, K., Khursheed, A., & Rather, M. A. (2020). An updated and comprehensive review of the antiviral potential of essential oils and their chemical constituents with special focus on their mechanism of action against various influenza and coronaviruses. *Microbial Pathogenesis*, 152, 104620. DOI: 10.1016/j.micpath.2020.104620
- Weisanny, W., Raei, Y., Zehtab-Salmasi, S., & Sohrabi, Y. (2016). Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) in mono and intercropping system. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(3), 1-19. (In Persian).
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., & Ogawa, M. (2006). Effect of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of mize, Cowpea and peanut and soil chemical properties in south Sumatra indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(4), 489-495.
- Zahedi, Hossein, and Sharqi, Yunus (2018). The effect of some organic soil fertilizers on yield and yield components of barley. *Crop Ecology Quarterly*, 15(3), 23-34. (In Persian).
- Zaidi, A., & Khan, M. S. (2006). Co-inoculation effects of phosphate solubilizing microorganisms and *Glomus fasciculatum* on green gram-bradyrhizobium symbiosis. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 223-230.
- Zamani, F., Amirnia, R., Rezaei-chiyaneh, E., & Rahimi, A. (2019). The effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil of three fennel landrace. *Journal of Crops Improvement*, 20(4), 831-848. (In Persian).
- Zhao, Y., Cartabia, A., Lalaymia, I., & Declerck, S. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and production of secondary metabolites in medicinal plants. *Mycorrhiza*, 32, 221-256.
- Zhu, K., Gu, S., Liu, J., Luo, T., Khan, Z., Zhang, K., & Hu, L. (2021). Wood vinegar as a complex growthregulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. *Agronomy*, 11, 510.
- Zolfaghari, M., Nazeri, V., Sefidkon, F., & Rejali, F. (2015). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content of *Ocimum basilicim* L.. *Plant Productions*, 37(4), 47-56. (In Persian).