



Effects of mycorrhiza and wood vinegar foliar application on growth, quality traits, and uptake in garden thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Mehdi Taheri Asghari^{1*}, Abolfazl Baghbani-Arani² and Seyed Reza Miralizadeh Fard³

1*- Corresponding author, Department of Agricultural Sciences, Faculty of Engineering Technology, Payame Noor University, Tehran, Iran, E-mail: mehdi.t.a@pnu.ac.ir

2- Department of Agricultural Sciences, Faculty of Engineering Technology, Payame Noor University, Tehran, Iran

3- Department of Agriculture and Environment, Faculty of Engineering Technology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Received: 25/11/2024

Revised: 15/10/2025

Accepted: 22/10/2025

Abstract

Background and objectives: Garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) is recognized as one of the most important essential oil-producing and medicinal plants worldwide, and the use of biological fertilizers in its cultivation is considered vital for achieving sustainable agriculture and producing safe medicinal products. Among the key chemical constituents in thyme are phenolic acids, terpenoids, and flavonoids, which are widely used in the treatment of diseases such as diabetes, Alzheimer's disease, and cardiovascular disorders. This experiment aimed to examine the effect of the synchronic application of mycorrhizae, important ecological symbionts that receive carbon and lipids from the host plant and, in return, enhance water uptake and the absorption of rare mineral nutrients, and foliar spraying of wood vinegar on selected quantitative and qualitative traits and nutrient elements of garden thyme shoots.

Methodology: To investigate the effect of the combined application of mycorrhiza and wood vinegar foliar spraying on the quantitative and qualitative properties and nutrient content of thyme shoots, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications at the research farms of Takestan University from 2021 to 2023. The experimental factors included mycorrhiza treatments (control, seed and soil inoculation with *G. mosseae*, *G. etunicatum*, and *G. intraradices*) and wood vinegar treatments (control and foliar spraying at 5, 10, and 15 mg/L). Dry matter yield (determined using a scale with 0.01 g precision), essential oil percentage, chlorophyll index, carotenoid content, flavonoid percentage, phenolic compounds, anthocyanin content, and nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations in the shoots were measured. All data were analyzed using SAS software (version 9.1.3), and mean comparisons were performed using the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.

Results: The findings indicated that the synchronic use of mycorrhizal fungi and wood vinegar significantly enhanced dry matter yield, essential oil percentage, carotenoid content, nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations, anthocyanin levels, phenolic compounds, flavonoid percentage, and chlorophyll index of garden thyme relative to the control. Moreover, the application of mycorrhiza, particularly the species *G. mosseae*, resulted in notable improvements in most evaluated traits. In addition, the combined application of 10% wood vinegar and *G. mosseae* produced the highest quantitative and qualitative attributes of garden thyme. The inoculation treatment with *G. mosseae*, combined with 10% wood vinegar,



produced the greatest concentrations of phosphorus and potassium in the shoots, representing increases of 133% and 231%, respectively, compared to the control. Furthermore, this combined treatment yielded the highest anthocyanin, phenolic compound content, and flavonoid percentage, with increases of 140%, 97%, and 107%, respectively, over the control.

Conclusion: Overall, it can be concluded that, in alignment with the principles of sustainable agriculture, the synchronic use of mycorrhizal fungi, especially *G. mosseae*, together with foliar application of 10 mg/L wood vinegar, constitutes an effective approach for achieving maximum quantitative and qualitative yield in garden thyme. This strategy not only enhances essential agronomic and biochemical traits but also reduces reliance on chemical fertilizers, thereby contributing to the production of healthier and more environmentally sustainable plant products.

Keywords: Biofertilizers, essential oil, sustainable agriculture, dry matter.

اثر سه گونه میکوریزا و محلول پاشی سرکه چوب بر برخی ویژگی های گیاهی و جذب عناصر غذایی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)

مهدی طاهری اصغری^{۱*}، ابوالفضل باغبانی آرانی^۲ و سیدرضا میرعلیزاده فرد^۳

۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیک: mehdi.t.a@pnu.ac.ir

۲- دانشیار، گروه علوم کشاورزی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- مربی، گروه علوم کشاورزی و محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: کاربرد کودهای زیستی در تولید آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) به عنوان یکی از مهمترین گیاهان اسانس دار و دارویی جهان در راستای کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم حائز اهمیت است. از ترکیب های شیمیایی موجود در آویشن، اسیدهای فنولیک، ترپنوئیدها و فلاونوئیدها هستند که از آنها در درمان بیماری هایی مانند دیابت، آلزایمر و بیماری های قلبی می توان استفاده کرد. هدف از انجام این آزمایش، بررسی اثر کاربرد همزمان میکوریزا و محلول پاشی سرکه چوب بر برخی ویژگی های کمی و کیفی و عناصر غذایی شاخساره گیاه آویشن باغی بود.

مواد و روش ها: پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار، طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۲ اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه گونه قارچ میکوریزا (شاهد (عدم تلقیح)، تلقیح بذر و خاک با *Glomus mosseae*، *G. etunicatum* و *G. intraradices*) و محلول پاشی سرکه چوب در چهار سطح شاهد (عدم مصرف)، ۵، ۱۰ و ۱۵ (در هزار) بود. عملکرد ماده خشک، درصد اسانس، شاخص کلروفیل، کاروتنوئید، درصد فلاونوئید، ترکیب های فنلی، آنتوسیانین، نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره اندازه گیری شد. نتایج حاصل بوسیله نرم افزار SAS (نسخه 9.1.3) به صورت مرکب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین ها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی داری (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد که کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و سرکه چوب سبب افزایش معنی دار عملکرد ماده خشک، درصد اسانس و کاروتنوئید، آنتوسیانین، ترکیب های فنلی و درصد فلاونوئید و شاخص کلروفیل آویشن باغی نسبت به شاهد شد. همچنین کاربرد میکوریزا به ویژه گونه (*G. mosseae*) سبب افزایش بیشتر صفات مورد بررسی گردید. علاوه بر این، پلات هایی که با کاربرد ۱۰ در هزار سرکه چوب با گونه (*G. mosseae*) میکوریزا تیمار شده بودند بالاترین خصوصیات کمی و کیفی آویشن باغی را به خود اختصاص دادند. نتایج نشان داد بیشترین جذب فسفر و پتاسیم شاخساره از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و سرکه چوب ۱۰ در هزار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۳۳ و ۲۳۱ درصد افزایش را نشان داد. نتایج نشان داد بیشترین آنتوسیانین، ترکیب های فنلی و درصد فلاونوئید از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و سرکه چوب ۱۰ در هزار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۴۰، ۹۷ و ۱۰۷ درصد افزایش را نشان داد.

نتیجه گیری: به طور کلی می توان نتیجه گرفت که کاربرد همزمان قارچ میکوریزا به ویژه *G. mosseae* با تیمار محلول پاشی ۱۰ در هزار سرکه چوب تیمار مطلوبی برای تولید بالاترین عملکرد کمی و کیفی آویشن باغی به شمار می رود که می تواند کاربرد کودهای شیمیایی را کاهش دهد.

واژه های کلیدی: کودهای زیستی، اسانس، کشاورزی پایدار، ماده خشک

مقدمه

گیاه آویشن با نام علمی *Thymus vulgaris* L. گیاهی معطر از خانواده نعناع (Lamiaceae) با برگ‌های معطر است که سطح زیرین برگ‌ها دارای غدد ترشح‌کننده اسانس زیادی است (Mandal & DebMandal, 2016). از ترکیب‌های شیمیایی موجود در آویشن، اسیدهای فنولیک، ترپنوئیدها و فلاونوئیدها هستند که از آنها در درمان بیماری‌هایی مانند دیابت، آلزایمر و بیماری‌های قلبی می‌توان استفاده کرد (Foroughi et al., 2024). ترکیب‌های فنلی که در آویشن وجود دارند در فعال‌سازی فرایندهای بیوشیمیایی در بدن انسان و در کاهش کلسترول و جلوگیری از تصلب شرایین نقش دارند (Alhoushi, 2024). با افزایش جمعیت جهان، به افزایش تولید گیاهان دارویی که از کودهای شیمیایی کمتری در زراعت آنها استفاده شده، توجه فراوانی شده است. از این‌رو، با فناوری‌های زیستی می‌توان بسیاری از نیاز غذایی گیاه را برطرف کرد.

قارچ‌های میکوریزا یکی از بازیگران مهم در اکوسیستم‌ها هستند. این زیست‌جانداران همزیست کربن و چربی را از گیاه دریافت کرده و در مقابل، جذب آب و مواد معدنی کمیاب را در گیاه میزبان تسهیل می‌کنند (Bennett & Classen, 2020). شواهدی وجود دارد که میکوریزا قادر به کمک در جذب نیتروژن، پتاسیم، فسفات، روی و مس است (Begum et al., 2019). تشکیل رابطه همزیستی با قارچ‌های میکوریزا می‌تواند یک رابطه اکوفیزیولوژیکی باشد که موفقیت آن رابطه به گیاه، نوع قارچ و محیط‌زیست گیاه بستگی دارد (Sabbagh et al., 2020). Golubkina و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد قارچ‌های میکوریزا می‌تواند به‌عنوان یک فناوری سازگار با محیط‌زیست دسترسی گیاهان به مواد غذایی را افزایش داده و با افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها، منجر به بهبود در رشد گیاهان شود. Amani Machiani و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقاتی که بر روی گیاه دارویی آویشن باغی انجام دادند، چنین بیان کردند که با کاربرد میکوریزا گونه *Funneliformis mosseae* غلظت عناصر آهن، روی،

نیتروژن، منیزیم، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب ۲۰/۶، ۱۱/۸، ۱۷/۴، ۱۸/۲، ۲۴/۷ و ۲۰/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت.

تولید یک محصول سالم از اهداف مهم کشاورزی بوده و استفاده از کودهای طبیعی، مانند سرکه چوب بدون داشتن آثار زیست‌محیطی، می‌تواند در افزایش عملکرد گیاهان مؤثر باشد. سرکه چوب محصول جانبی از تجزیه مواد خام آلی بر اثر حرارت است که می‌تواند به‌عنوان ماده‌ای صددردارگانیک، جایگزین مناسبی برای بخشی از مواد شیمیایی مورد استفاده در صنعت کشاورزی باشد (Iacomino et al., 2024). در سال‌های اخیر، این محصول با توجه به نوآوری و ارزان بودن هزینه تولید آن، مورد توجه بسیاری از محققان کشاورزی پایدار قرار گرفته است. سرکه چوب دارای pH ۳/۲ و اسید استیک و فنل (۵۴ میلی‌گرم در لیتر) با غلظت بالاست. این مواد جزء ترکیب‌های فعال زیستی بوده و زمانی که یون H^+ وارد برگ می‌گردد، pH درون سلول اسیدی‌تر شده و موجب افزایش در فعالیت سلول شده و در نهایت باعث افزایش در قدرت رشد گیاه می‌شود (Zhu et al., 2021). طبیعت اسیدی در سرکه چوب باعث تنظیم pH خاک و باعث بهبود در قابلیت دسترسی مواد مغذی ازجمله یون آمونیوم برای گیاهان نیز می‌شود (Grewal & Abbey, 2018; Zhu et al., 2021). Abdolahipour و Haghighi (۲۰۱۹) گزارش کردند که غلظت نیتروژن در تیمار ۳۳۳۳ و غلظت عنصر پتاسیم در تیمار ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرکه چوب در گیاه ریحان نسبت به تیمارهای دیگر در بالاترین سطح قرار داشت. در تحقیق دیگری، Maleki-lajayer (۲۰۲۳) با محلول‌پاشی سرکه چوب بر گیاه جعفری وحشی (*Antriscus cerifolium*) بیان کرد که تیمارهای مربوط به غلظت‌های سرکه چوب به‌طور معنی‌داری رشد و صفات فیزیولوژیکی گیاه جعفری وحشی را تحت تأثیر قرار داد. کاربرد سرکه چوب به‌صورت اسپری روی توتون، عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پروتئین محلول و محتوای پتاسیم در گیاه را افزایش داده است (Wang et al., 2019).

امروزه لزوم ارتقای کیفیت و سلامت محصولات تولید شده در بخش‌های مختلف کشاورزی (به‌ویژه گیاهان دارویی) همراه با افزایش بازدهی تولید موجب ترغیب این بخش به استفاده از مواد آلی و زیستی مانند قارچ میکوریزا و سرکه چوب به منظور کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در نظام کشاورزی پایدار شده است. بنابراین، این پژوهش، با هدف بررسی کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و سرکه چوب بر بهبود کمیت و کیفیت گیاه دارویی آویشن باغی و تعیین مناسبترین گونه قارچ و میزان مختلف سرکه چوب طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه

بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱ 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 بودند. عوامل آزمایشی شامل سه گونه قارچ میکوریزا (شاهد (عدم تلقیح)، تلقیح بذر و خاک با *G. mosseae*، تلقیح بذر و خاک با *G. etunicatum* و تلقیح بذر و خاک با *G. intraradices*) و سطوح سرکه چوب (شاهد (عدم مصرف) محلول پاشی ۵، ۱۰ و ۱۵ در هزار) بود.

جدول ۱- میانگین دما و بارش سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲

Table 1. Average temperature and rainfall for the crop years 2021-2022 and 2022-2023

	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September
Rainfall in 2021-22 (mm)	0.2	53.1	20.4	21.5	18.4	27.9	11.2	1.23	0.2	0	1.3	0
Temperature in 2021-22 (°C)	16.4	8.5	6.5	3.3	2.2	2.8	11.6	15.8	21.3	25	25.5	22.8
Rainfall in 2022-23 (mm)	0	1.7	3.9	12.7	30.4	29.5	20	7.3	1	1.9	0	0
Temperature in 2022-23 (°C)	19.5	4.2	5.2	1	0.5	8.9	11.5	16.8	21.3	24.4	25.9	23.6

گونه‌های قارچ میکوریزا 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 انجام شد. از مرحله رشد رویشی و از زمان چهار برگی به‌صورت محلول پاشی به فاصله هر هفت روز روی گیاهان کشت شده انجام گردید (گیاهان در پایان محلول پاشی حدوداً ۱۵ برگ داشتند). برخی از ویژگی‌های

خاک محل آزمایش و سرکه چوب مورد استفاده در این آزمایش، در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است. عملیات کاشت آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) به‌صورت نشاءکاری انجام شد. نشاءها با استفاده از بذرهای تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان در ابتدای بهار در خزانه تولید شدند و پس از تهیه زمین و رسیدن نشاءها به ارتفاع حدود ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متر در اوایل خردادماه هر دو سال زراعی مورد آزمایش، به کرت‌های آزمایش منتقل شدند. بذرهای قبل از نشاءکاری با میکوریزا تلقیح گردیدند. در زمان کاشت

نشاءها نیز در خطوط کشت و زیر نشاها ۸۰ گرم خاک حاوی هیف‌های قارچ مایکوریزا (حدود ۱۲۰ اسپور در هر گرم خاک) در هر ردیف کاشت استفاده شد. برای ممانعت از تنش، بلافاصله بعد از کاشت عملیات آبیاری انجام گرفت و

آبیاری دوم نیز سه روز بعد انجام شد. کرت‌ها بازبینی شده و در فضاها خالی واکاری انجام گردید. برای مبارزه با علف‌های هرز در چندین نوبت وجین به صورت دستی انجام شد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 2. Some chemical characteristics of field soil (depth 0-30 cm)

Year	Soil texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	N (%)	O. C. (%)	NV (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH
2021-2022	Sandy clay loam	60	18	22	152	6.2	0.03	0.28	5.4	2.28	7.5
2022-2023	Sandy clay loam	60	16	24	156	5.5	0.03	0.24	5.7	2.18	7.5

جدول ۳- مشخصات سرکه چوب مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Characteristics of wood vinegar used in the experiment

Brand name	Organic matter (%)	Organic carbon (%)	Humic acid (%)	Fulvic acid (%)	Acetic acid (%)	Amino acid (%)	pH	C/N	N (%)
Farah bakhsh wood vinegar	14.48	6.58	3.85	3.50	1.33	0.28	2.75	17	0.39

به دلیل اینکه آثار تیمارهای مورد آزمایش بر گیاه دارویی مشخص گردد، از دادن کود شیمیایی پایه خودداری شد. در هر کرت پنج خط کاشت به طول پنج متر با فواصل ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر ایجاد شد. بین کرت‌ها به دلیل جلوگیری از اختلاط آنها یک متر فاصله و بین تکرارها دو متر فاصله در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری صفات با در نظر گرفتن اثر حاشیه، به طور تصادفی ۱۰ گیاه از هر کرت انتخاب شد و عملکرد ماده خشک (با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم)، درصد اسانس، شاخص کلروفیل، کاروتنوئید، درصد فلاونوئید، ترکیب‌های فنلی، آنتوسیانین، نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخصه اندازه‌گیری شد. نمونه‌های گیاهی در زمان ۵۰ درصد گلدهی که بهترین زمان برداشت برای مواد مؤثره و

اسانس می‌باشد، برداشت شدند (Hadi Panah et al., 2011).

اسانس‌گیری از ۵۰ گرم نمونه گیاهی خشک شده در شرایط طبیعی (Csongor et al., 2023) به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر (مدل، ساخت بریتانیا)، در مدت زمان سه ساعت انجام شد. شاخص کلروفیل با استفاده از کلروفیل‌متر (SPOD 502 Minolota) اندازه‌گیری گردید.

برای اندازه‌گیری کاروتنوئید در مرحله گلدهی، ۰/۱ گرم از بافت برگ تر گیاه با ۱۰ سی‌سی استون ۸۰ درصد در هاون چینی خرد شد. نمونه‌های به دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه در ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده، سپس محلول رویی به عنوان عصاره به بالن شیشه‌ای انتقال داده شد و مورد طیف‌سنجی (Analytika Jena 1500S, Germany) در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرار

گرفت (Banu, 2015).

برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین، ابتدا ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی با چهار میلی‌لیتر محلول اسیدکلریدریک یک درصد و متانول در یک هاون چینی ساییده شد. محلول به‌دست آمده به مدت ۲۴ ساعت در یخچال قرار داده شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد (۱۳۰۰۰ دور در دقیقه). محلول بالایی به ظرف دیگری انتقال داده شد و طیف‌سنجی در طول موج‌های ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر انجام گردید (Mita et al., 1997). نهایتاً میزان آنتوسیانین برای هر عصاره با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Goshasbi et al., 2020).

$$A=A530-(0/25A657) \quad (۱)$$

در رابطه (۱) A: جذب نور در طول موج‌های ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر است.

برای اندازه‌گیری میزان فلاونوئید، ابتدا دو دهم گرم از برگ در سه میلی‌لیتر اتانول اسیدی شامل اتانول و اسیدکلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱، کاملاً ساییده شده و در مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ (۱۲۰۰۰ دور در دقیقه) شد. محلول بالایی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و پس از سرد شدن، میزان جذب نوری نمونه با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی در طول موج ۳۰۰ نانومتر قرار گرفت (Krizek, 1998).

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن در آون و پودر شدن، عصاره (به روش هضم توسط اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم) تهیه و برای ارزیابی میزان عناصر، استفاده شد. بدین ترتیب درصد نیتروژن کل به روش تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کج‌دال، درصد فسفر کل به روش نورسنجی با معرف مولیبدات- وانادات و با دستگاه اسپکتروفتومتر و

میزان پتاسیم کل به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (Emami, 1996).

برای اندازه‌گیری ترکیب‌های فنلی از معرف فولین سیوکالتیو استفاده شد. به این منظور، به ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره ۲/۵ میلی‌لیتر واکنشگر فولین سیو کالتیو ۰/۲ نرمال اضافه شد، پس از پنج دقیقه دو میلی‌لیتر از محلول ۷۵ گرم بر لیتر کربنات سدیم اضافه گردید. پس از گذشت دو ساعت، جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر در مقابل بلانک خوانده شد. گالیک اسید به‌عنوان استاندارد مورد استفاده قرار گرفت (Slinkard & Singleton, 1977).

نتایج حاصل توسط نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1.3) به‌صورت مرکب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از آزمون بارتلت یکنواختی واریانس‌ها بررسی شد و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج عملکرد ماده خشک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر میکوریزا و سرکه چوب بر عملکرد ماده خشک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). همچنین اثر سال و سرکه چوب بر عملکرد ماده خشک در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد، تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* باعث افزایش تقریباً ۱۲ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به شاهد شد. همچنین نتایج نشان داد، محلول پاشی سرکه چوب ۱۰ در هزار دارای بیشترین مقدار عملکرد ماده خشک بود و نسبت به شاهد حدود ۱۰ درصد افزایش نشان داد.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سرکه چوب و مایکوریزا بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه آویشن باغی

Table 4. ANOVA of wood vinegar and mycorrhiza effect on some quantitative and qualitative characteristics of *Thymus vulgaris*

S.O.V.	D.f.	Dry matter yield	Essential oil	Chlorophyll index	Carotenoids	Flavonoids	Phenolic compounds	Anthocyanins	N (Shoot)	P (Shoot)	K (Shoot)
Year (Y)	1	638471.26**	0.33 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	1.47*	0.018**	0.009**	0.0001 ^{ns}	1.53 ^{ns}	14.26 ^{ns}	27.22 ^{ns}
Replication (R)	2	282465.82**	1.32**	0.004**	5.18**	0.016**	0.014**	0.001**	68.08**	432.44**	4063.14**
R×Y	2	4228.63 ^{ns}	0.041 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.010**	0.005**	0.001**	49.56**	114.72 ^{ns}	1141.48 ^{ns}
Wood vinegar (S)	2	350862.76**	9.022**	0.008**	10.69**	0.164**	0.108**	0.004**	211.10**	3451.44**	101301.19**
Mycorrhiza (M)	3	635752.45**	1.961**	0.009**	5.53**	0.190**	0.060**	0.005**	176.56**	5131.03**	99095.07**
S×M	6	13960.14 ^{ns}	0.132 ^{ns}	0.001*	0.50 ^{ns}	0.006**	0.007**	0.0003*	7.85 ^{ns}	160.44**	2250.94**
S×Y	2	37688.73*	0.105 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	1.21**	0.008**	0.002 ^{ns}	0.0009**	3.89 ^{ns}	51.32 ^{ns}	516.26 ^{ns}
M×Y	3	1421.92 ^{ns}	0.120 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.005*	0.007**	0.0001 ^{ns}	5.52 ^{ns}	11.09 ^{ns}	825.74 ^{ns}
S×M×Y	6	8758.80 ^{ns}	0.049 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.004**	0.002*	0.0001 ^{ns}	5.29 ^{ns}	26.90 ^{ns}	351.85 ^{ns}
Experimental error	44	12436.11	0.087	0.0004	0.29	0.001	0.001	0.0001	4.50	44.63	403.47
C. V. (%)		4.51	14.23	7.58	10.24	6.76	7.61	14.91	18.19	11.74	8.73

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

درصد اسانس

رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد محلول پاشی سرکه چوب ۱۰ در هزار دارای بیشترین مقدار درصد اسانس بود و نسبت به شاهد حدود ۱۱۰ درصد افزایش نشان داد و تیمارهای ۵ و ۱۵ در هزار مشترکاً در گروه بعدی قرار گرفتند (جدول ۵).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر میکوریزا و سرکه چوب بر درصد اسانس در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد بیشترین درصد اسانس از تیمار شاهد بدست آمد و تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* در

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی خصوصیات گیاه آویشن باغی تحت تأثیر سال، سرکه چوب و میکوریزا

Table 5. Means comparison of some *Thymus vulgaris* characteristics affected by year, wood vinegar, and mycorrhiza

Level of treatment		Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)	Essential oil (%)	Carotenoids (mg.g ⁻¹ F.W.)	N (Shoot) (kg.h ⁻¹)
Year	1	2549.98 ^a	2.02 ^a	5.14 ^b	11.79 ^a
	2	2386.88 ^b	2.14 ^a	5.39 ^a	11.54 ^a
Wood Vinegar	Control	2388.63 ^c	1.36 ^c	4.45 ^d	9.24 ^c
	% 0.5	2485.63 ^b	2.00 ^b	5.56 ^b	11.68 ^b
	% 1	2632.46 ^a	2.85 ^a	6.00 ^a	15.84 ^a
	% 1.5	2367.00 ^c	2.10 ^b	5.07 ^c	9.91 ^c
Mycorrhiza	Control	2400.58 ^c	2.42 ^a	4.69 ^c	9.60 ^c
	<i>G. mosseae</i>	2670.92 ^a	2.20 ^b	5.87 ^a	15.43 ^a
	<i>G. etunicatum</i>	2289.75 ^d	1.81 ^c	5.23 ^b	9.77 ^c
	<i>G. intraradices</i>	2512.46 ^b	1.87 ^c	5.28 ^b	11.86 ^b

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

کاروتنوئید

سرکه چوب بر میزان جذب نیتروژن شاخساره در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد بیشترین جذب نیتروژن شاخساره از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح ۶۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد محلول پاشی سرکه چوب ۱۰ در هزار نیز بیشترین مقدار نیتروژن شاخساره را داشت و نسبت به شاهد حدود ۵۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر میکوریزا و سرکه چوب بر کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). همچنین اثر سال و سرکه چوب بر کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی دار گردید. نتایج نشان داد که بیشترین درصد کاروتنوئید از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح ۲۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد محلول پاشی سرکه چوب ۱۰ در هزار نیز بیشترین مقدار درصد کاروتنوئید را داشت و نسبت به شاهد حدود ۳۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

جذب فسفر و پتاسیم شاخساره

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر متقابل میکوریزا و سرکه چوب بر میزان جذب فسفر و پتاسیم شاخساره به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد بیشترین میزان جذب فسفر و پتاسیم شاخساره از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و

جذب نیتروژن شاخساره

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر میکوریزا و

سرکه چوب ۱۰ در هزار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۰۰ و ۴۱۶ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۶). نتایج نشان داد در تیمارهای میکوریزا *G. mosseae* بالاترین مقدار را نسبت به دیگر میکوریزاها داشت و در بیشتر تیمارها دو میکوریزای دیگر در گروه آماری یکسانی قرار گرفتند.

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی خصوصیات گیاه آویشن باغی تحت تأثیر سرکه چوب × میکوریزا

Table 6. Means comparison of some *Thymus vulgaris* characteristics affected by wood vinegar × mycorrhiza

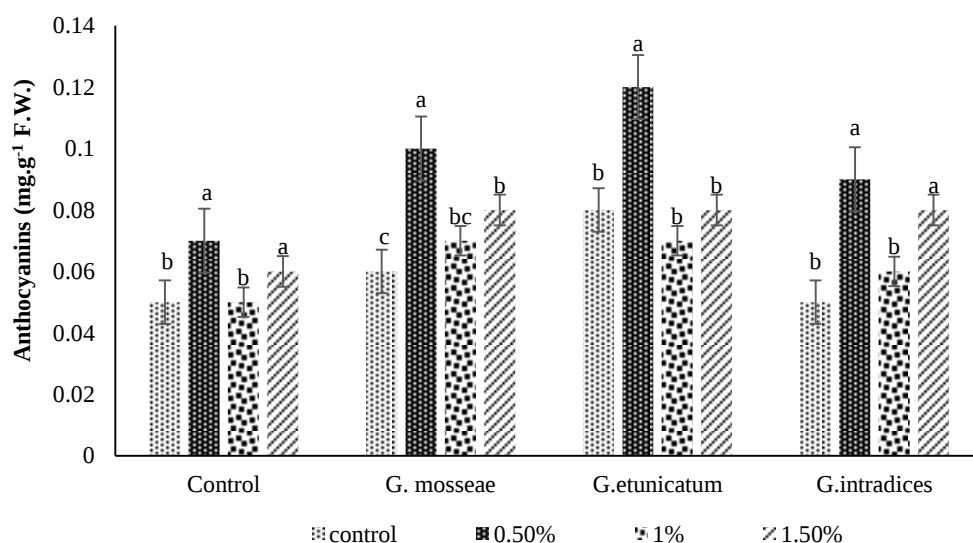
		Chlorophyll index	Flavonoids (%)	Phenolic compounds (mg.g ⁻¹ F.W.)	Anthocyanins (mg.g ⁻¹ F.W.)	P (Shoot) (kg.h ⁻¹)	K (Shoot) (kg.h ⁻¹)
Control	Control	0.22 ^b	0.39 ^c	0.30 ^c	0.05 ^b	31.84 ^c	98.61 ^c
	<i>G. mosseae</i>	0.26 ^a	0.57 ^a	0.38 ^a	0.07 ^a	58.42 ^a	224.73 ^a
	<i>G. etunicatum</i>	0.26 ^a	0.48 ^b	0.32 ^{bc}	0.05 ^b	37.45 ^c	137.02 ^b
	<i>G. intraradices</i>	0.27 ^a	0.57 ^a	0.36 ^{ab}	0.06 ^a	47.11 ^b	160.78 ^b
Wood Vinegar (% 0.5)	Control	0.26 ^b	0.51 ^d	0.40 ^c	0.06 ^c	44.25 ^d	181.07 ^d
	<i>G. mosseae</i>	0.30 ^a	0.77 ^a	0.51 ^a	0.10 ^a	83.88 ^a	345.87 ^a
	<i>G. etunicatum</i>	0.27 ^{ab}	0.59 ^c	0.43 ^b	0.07 ^{bc}	50.90 ^c	232.26 ^c
	<i>G. intraradices</i>	0.30 ^a	0.67 ^b	0.37 ^c	0.08 ^b	67.33 ^b	283.75 ^b
Wood Vinegar (% 1)	Control	0.28 ^b	0.59 ^b	0.50 ^b	0.08 ^b	49.19 ^d	201.55 ^d
	<i>G. mosseae</i>	0.33 ^a	0.81 ^a	0.59 ^a	0.12 ^a	96.00 ^a	411.34 ^a
	<i>G. etunicatum</i>	0.28 ^b	0.63 ^b	0.51 ^b	0.07 ^b	65.35 ^c	282.11 ^c
	<i>G. intraradices</i>	0.28 ^b	0.76 ^a	0.41 ^c	0.08 ^b	73.89 ^b	315.70 ^b
Wood Vinegar (% 1.5)	Control	0.24 ^c	0.47 ^c	0.41 ^b	0.05 ^b	43.83 ^b	156.57 ^c
	<i>G. mosseae</i>	0.28 ^a	0.64 ^a	0.47 ^a	0.09 ^a	65.70 ^a	268.01 ^a
	<i>G. etunicatum</i>	0.25 ^{bc}	0.58 ^b	0.37 ^c	0.06 ^b	44.31 ^b	178.73 ^{bc}
	<i>G. intraradices</i>	0.26 ^{ab}	0.57 ^b	0.32 ^d	0.08 ^a	50.58 ^b	199.78 ^b

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

آنتوسیانین

G. mosseae و سرکه چوب ۱۰ در هزار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۴۰ درصد افزایش را نشان داد، البته بین این تیمار و تیمارهای عدم مصرف سرکه چوب و کاربرد ۱۵ در هزار سرکه چوب به همراه میکوریزا *G. intraradices* تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۶).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر متقابل میکوریزا و سرکه چوب بر آنتوسیانین در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۴). همچنین اثر سال و سرکه چوب بر آنتوسیانین در سطح یک درصد معنی دار گردید. نتایج نشان داد بیشترین آنتوسیانین از تیمار تلقیح با میکوریزا



شکل ۱- مقایسه میانگین محتوای آنتوسیانین گیاه آویشن باغی تحت تأثیر سرکه چوب × میکوریزا

Figure 1. Means comparison of *Thymus vulgaris* anthocyanins content affected by wood vinegar × mycorrhiza
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و سرکه چوب ۱۰ در هزار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۰۷ درصد افزایش را نشان داد، البته بین این تیمار و تیمارهای عدم کاربرد سرکه چوب و کاربرد ۱۵ در هزار سرکه چوب به همراه میکوریزا *G. intraradices* تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۶).

شاخص کلروفیل

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر متقابل میکوریزا و سرکه چوب بر شاخص کلروفیل در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد بیشترین شاخص کلروفیل از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و سرکه چوب ۱۰ در هزار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۵۰ درصد افزایش را نشان داد، البته بین این تیمار و تیمارهای عدم کاربرد سرکه چوب و دیگر میکوریزاها تفاوت معنی دار نبود (جدول ۶).

ترکیب‌های فنلی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر متقابل میکوریزا و سرکه چوب بر ترکیب‌های فنلی در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). همچنین اثر سال، میکوریزا و سرکه چوب بر ترکیب‌های فنلی در سطح پنج درصد معنی دار گردید. نتایج نشان داد بیشترین ترکیب‌های فنلی از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و سرکه چوب ۱۰ در هزار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۹۷ درصد افزایش را نشان داد و میکوریزا *G. etunicatum* در مرتبه بعدی قرار داشت (جدول ۶).

درصد فلاونوئید

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر متقابل میکوریزا و سرکه چوب بر درصد فلاونوئید در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). همچنین اثر سال، میکوریزا و سرکه چوب بر درصد فلاونوئید در سطح یک درصد معنی دار گردید. نتایج نشان داد بیشترین درصد فلاونوئید از

بحث

استفاده از کودهای زیستی و تغذیه گیاه به عنوان مهمترین عوامل حاصلخیزکننده خاک از اولویتهای کشاورزی پایدار است. در راستای کشاورزی پایدار، استفاده از قارچهای همزیست میکوریزا و مواد زیستی مانند سرکه چوب در سیستمهای کشاورزی مدرن جهانی بدلیل پایداری آنها و کمک به جذب پایدار عناصر غذایی در طول فصل رشد و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

در این تحقیق میکوریزا (بهویژه *G. mosseae*) باعث افزایش در وزن خشک آویشن شد. محققان مختلفی گزارش کردند که قارچهای میکوریزا موجب افزایش وزن تر و خشک اندامهای هوایی در گیاه آویشن می‌گردد (Taksera et al., 2024; Amani Machiani et al., 2021b). در این تحقیق نیز، با کاربرد میکوریزا عملکرد ماده خشک در گیاه آویشن باغی افزایش یافت که این احتمالاً به دلیل وجود بخشی از ریشههای قارچ بوده که وارد سیستم ریشه گیاه شده و بر اثر کاهش غلظت اسید آبسزیک و افزایش میزان سیتوکنین موجب گسترش ریشه شده است و بر افزایش جذب آب و عناصر غذایی تأثیر گذاشته است. قارچهای میکوریزا از راه تولید شبکه گسترده هیفها و ترشح آنزیمهای فسفاتاز و اسیدهای آلی موجب افزایش دسترسی به عناصر غذایی در ریزوسفر می‌شوند (Taheri Asghari & Miralizadeh Fard, 2024). در این راستا، در پژوهش دیگری بیان شد که غلظت عناصری مانند نیتروژن، آهن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱۷/۴، ۲۰/۶، ۲۴/۷ و ۲۰/۹ درصد با کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به شاهد افزایش داشته است. تسهیم فراوردههای فتوسنتزی در گیاهان می‌تواند به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنتیک قرار گیرد و کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و سرکه چوب می‌تواند به عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر تسهیم فراوردههای فتوسنتزی باشد (Tombesi et al., 2019). نتیجه این تحقیق با نتایج طاهری اصغری (Taheri Asghari, 2022) که تلقیح با میکوریزا سبب افزایش در

مقدار کاروتنوئید برگ و گل در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) شد، مطابقت دارد. چنین به نظر می‌آید که میکوریزا از راه زیست فراهمی عناصر و برقراری تعادل در مواد غذایی خاک و افزایش تغذیه معدنی گیاه، اثر مثبتی بر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه داشته و میزان آنها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد.

بیشترین ترکیبهای فنلی از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و سرکه چوب ۱۰ در هزار بدست آمد. همچنین در تحقیقی اثر میکوریزا در افزایش ترکیبهای فنلی در گیاه دارویی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) بررسی گردید و بیان شد که کاربرد قارچهای میکوریزا *G. mosseae* و *G. intraradices* مقدار فنل گاوزبان را نسبت به شرایط عدم کاربرد قارچ به ترتیب ۱۳ و ۹ درصد افزایش دادند که با نتایج بدست آمده در این آزمایش همخوانی دارد (Rahimi et al., 2016). با توجه به اینکه اسانسها از گروه ترینها بوده و یا منشأ ترپنی دارند و واحدهای سازنده آنها از جمله ایزوپنتنیل پیروفسفات (IPP) و دی‌متیل آلیل پیروفسفات (DMAPP) نیاز زیادی به NADPH و ATP دارند و از سویی حضور عناصری مانند فسفر و نیتروژن برای تشکیل ترکیبهای فوق ضروریست (Mohammadpour Vashvaei, 2015)، بنابراین میکوریزا در حضور سرکه چوب با جذب کارآمد فسفر و نیتروژن توسط ریشههای آویشن، موجب افزایش ترکیبهای فنلی می‌شود. افزایش اسانس آویشن با کاربرد میکوریزا را هم می‌توان به افزایش در فعالیت فتوسنتزی و غدههای تشکیل‌دهنده اسانس نسبت داد که می‌تواند با دسترسی بهتر عناصر غذایی و افزایش سطح جذب مرتبط باشد و فراهم بودن عناصر مهم در ترکیب اسانس، از جمله فسفر و نیتروژن در این افزایش مؤثر بوده است (Golubkina et al., 2020). از سوی دیگر، امروزه استفاده از فناوریهای مختلف کشت و کار برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد گیاهان دارویی راهکار مناسبی در پاسخ به افزایش تقاضای جهانی برای استفاده از گیاهان دارویی است، به گونه‌ای که سرکه چوب با دارا بودن

گیاه دارویی بالنگوی شهری پرداختند، به این نتیجه رسیدند که کاربرد همزمان سرکه چوب به میزان دو لیتر در هکتار و تلقیح بذر و خاک قارچ میکوریزا مطلوبترین تیمار از جهت تولید این گیاه دارویی در خاکهای فقیر می باشد.

به نظر می رسد در این تحقیق، کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا، به دلیل تأثیر مثبت بر رشد گیاه، جذب عناصر غذایی، تولید آنتوسیانین، کارتنوئید، ترکیبهای فلاونوئیدی و فنل، افزایش کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی موجب بیشترین عملکرد کمی و کیفی گیاه آویشن باغی گردید. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که در بیشتر صفات مورد بررسی، تفاوت آماری معنی داری بین گونه های مختلف میکوریزا وجود نداشت ولی برتری نسبی با گونه (*G. mosseae*) میکوریزا مشاهده شد. علاوه بر این، در بیشتر صفات مورد بررسی، پلاتهایی که با کاربرد ۱۰ و ۱۵ در هزار سرکه چوب با گونه (*G. mosseae*) میکوریزا تیمار شده بودند بالاترین خصوصیات کمی و کیفی آویشن باغی را به خود اختصاص دادند ولی اختلاف آماری معنی داری بین سطوح ۱۰ و ۱۵ در هزار سرکه چوب این پلاتها نیز مشاهده نشد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که در راستای کشاورزی پایدار، کاربرد همزمان قارچ میکوریزا به ویژه قارچ (*G. mosseae*) با تیمار محلول پاشی ۱۰ در هزار سرکه چوب تیمار مطلوبی برای تولید بالاترین عملکرد کمی و کیفی آویشن باغی به شمار می رود.

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات دانشگاه پیام نور انجام شده است. بنابراین از همکاری و مساعدت مدیران محترم دانشگاه قدردانی می گردد.

بیش از ۲۰۰ ترکیب به عنوان ماده کامل آلی می تواند جایگزین مناسبی برای بخشی از مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی باشد. سرکه چوب یک محصول جانبی اسیدی با ارزش بالا از پیرولیز زیست توده است که برای تولید زغال چوب استفاده می شود (Hongyin et al., 2024). در این تحقیق، سرکه چوب با افزایش جذب عناصر غذایی (به ویژه نیتروژن و پتاسیم) و از این طریق با تأثیر بر بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و کارتنوئید برگ و شاخساره گیاه، سبب افزایش ویژگی های کمی (وزن خشک) و کیفی (درصد اسانس) آویشن باغی گردید. در این راستا، به نظر می رسد با افزایش در سطوح تیمار سرکه چوب، تغییراتی در تعادل ترکیب های گیاهی مانند تنظیم کننده های رشد ایجاد شده و بر رشد گیاه تأثیر می گذارد که با افزایش مقدار وزن تر و وزن خشک در گیاه گوجه فرنگی می تواند همراه باشد (Haghighi & Sourani, 2019). همچنین در تحقیقی نشان داده شد که تیمار ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس نعناع فلفلی را تولید کرد، به طوری که با افزایش غلظت محلول پاشی سرکه چوب از صفر به ۱۵ درصد، عملکرد اسانس آن ۸۱ درصد افزایش یافت (Alavi Asl et al., 2023). سرکه چوب حاوی عناصر ماکرو و میکرو مانند کلسیم، پتاسیم، مس، روی، آهن، آلومینیوم، منگنز و فسفر بوده و این عناصر در افزایش فتوسنتز گیاه نقش داشته و با افزایش در فتوسنتز، زیست توده گیاه افزایش می یابد. سرکه چوب توانایی جذب مواد غذایی را از خاک توسط گیاهان دارد و توانایی سیستم دفاعی گیاهان را افزایش می دهد. حضرتی و همکاران (Hazrati et al., 2023) در تحقیقی که به بررسی کاربرد همزمان قارچ میکوریزا (*Glomus*) و سطوح مختلف سرکه چوب (صفر، ۲ و ۴ لیتر در هکتار) در

References

- Alavi Asl, S.A., Majidian, M., Modares Sanavy, S.A.M. and Esfahani, M., 2023. Effect of wood vinegar and humic acid on morphological, biochemical, 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. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.356625.654990>
- Abdollahipour, B. and Haghighi, M., 2019. Effect of

- pine wood vinegar on germination, growth and physiological characteristics, and uptake of elements in basil. *Journal of Science and Technology Greenhouse Culture*, 10(2): 11-24. <http://dx.doi.org/10.29252/ejgcst.10.2.11>
- Alhoushi, G., 2024. Improving the growth of thyme plants (*Thymus vulgaris* L.) by nitrogen and potassium fertilization. *Asian Journal of Advances in Research*, 7(1): 234-240. <https://prh.mbimph.com/review-history/3551>
 - Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., Aghaee, A. and Rasouli, F., 2021a. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and harvesting time on the macro- and micronutrients and antioxidant enzymes activity of thyme (*Thymus Vulgaris* L.) in the different irrigation levels. *Plant Process and Function*, 10(44), 235-250. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1456-fa.html>
 - Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., Morshedloo, M.R. and Chabokpour, J., 2021b. Effects of harvest time and mycorrhiza fungus application on quantitative and qualitative yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil at different irrigation levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(6): 1022-1037. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351323.2835>
 - Banu, N., 2015. Extraction and estimation of chlorophyll from medicinal plants. *International Journal of Science and Research*, 4(11): 209-212. file:///C:/Users/EZ_Tech/Downloads/NOV151021.pdf
 - Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. and Zhang, L., 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
 - Bennett, A.E. and Classen, A.T., 2020. Climate change influences mycorrhizal fungal-plant interactions, but conclusions are limited by geographical study bias. *Ecology*, 101(4): 02978. <https://doi.org/10.1002/ecy.2978>
 - Csongor, B., Viktoria, L.B., Erika, K., Bela, K., David, U.N., Peter, S., Giuseppe, M., Luigi, M., Judit, K., Dora, P. and 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>
 - Emami, A., 1996. *Plant Decomposition Methods*. Agricultural Education Publication, Karaj, 128p (In persian). <https://sid.ir/paper/422970/fa>
 - Foroughi, S., Shahanipour, K., Monajemi, R. and Ahadi, A.M., 2024. Investigating the effects of *Thymus vulgaris* essential oil, *Allium cepa* extract, and their active compounds (thymol and quercetin) on expression profile of genes related to Alzheimer's disease in PC12 model cell. *Brain Research*, 1838: 148966. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2024.148966>
 - Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S.K. and Makarian, H., 2020. Effect of water deficit stress and bio and non-bio-fertilizers on flowering branches yield, photosynthetic pigments and concentration of macro elements in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2): 157-172. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.293187.654660>
 - Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A. and Caruso, G., 2020. Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracunculus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, 9: 1-16. <https://doi.org/10.3390/plants9030375>
 - Grewal, A. and Abbey, G.L.R., 2018. Production, prospects and potential application of pyroligneous 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 Balooiy, A. and Zeinali, H., 2011. Determine optimum of harvest time on the quantity/quality of essential oil and thymol of thyme (*Thymus vulgaris* L.) in Isfahan. *Journal of Medicinal Herbs*, 2(1): 23-32. <file:///C:/Users/padideh/Downloads/Article.pdf>
 - Haghighi, M. and 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. <https://journal-irshs.ir/article-1-242-en.pdf>
 - Hazrati, S., Shiri, S., Sarabi, V. and Mohammadi, H., 2023. Effect of pyroligneous acid application and inoculation with arbuscular mycorrhiza fungi (*Glomus* Genus) on growth, yield and fatty acids of *Lallemantia iberica* in poor soils. *Plant Process and Function*, 12(57): 69-89. <https://doi.org/10.22034/12.57.69>
 - Hongyin, Z., Yan, S., Naiming, Z., Zhizong, L., Li, B. and Yunsheng, X., 2024. Wood fiber biomass pyrolysis solution as a potential tool for plant disease management: A review. *Heliyon*, 10: 25509. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25509>
 - Iacomino, G., Idbella, M., Staropoli, A., Nanni, B., Bertoli, T., Vinale, F. and Bonanomi, G., 2024.

- Exploring the potential of wood vinegar: Chemical composition and biological effects on crops and pests. *Agronomy*, 14: 114. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010114>
- Krizek, D.T., Britz, S.J. and Mirecki, R.M., 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. new red fire lettuce. *Physiologia Plantarum*, 103: 1-7. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1030101.x>
 - Maleki Lajayer, H., 2023. Evaluation of influence of wood vinegar and light quality on growth and biochemical traits of chervil plant (*Anthriscus cerifolium*). *Journal of Vegetables Sciences*, 7(13): 198-209.
 - Mandal, S. and DebMandal, M., 2016. Thyme (*Thymus vulgaris* L.) oils: 825-834. In: Preedy, V.R., (Ed.). *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Academic Press, 895p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00094-8>
 - Mita, S., Murano, N., Akaike, M. and Nakamura, K., 1997. Mutants of *Arabidopsis thaliana* with pleiotropic effects on the expression of the gene for beta-amylase and on the accumulation of anthocyanin those are inducible by sugars. *Plant Journal*, 11: 841-851. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113X.1997.11040841.x>
 - Mohammadpour Vashvaei, R., Goloi, M., Ramroudi, M. and Ali Fakheri, B., 2015. The effects of drought stress and inoculation of biofertilizers on the growth, yield and composition of thyme essential oil. *Journal of Agroecology*, 7(2): 237-253. <https://doi.org/10.22067/jag.v7i2.36935>
 - Rahimi, A., Jahanbin, S., Salehi, A. and Faraji, H., 2016. The effect of mycorrhizal fungi on morphological characteristics, amount of phenolic compounds and chlorophyll fluorescence under drought conditions in *Borago officinalis* L. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 11(42): 46-55. <file:///C:/Users/padideh/Downloads/6015313954206.pdf>
 - Sabbagh, S., Sarafriz, M., Taheri, M. and Bolok, H., 2020. Effect of *glomus intraradices* fungus on enzymatic activities and growth condition of seven wheat genotypes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(1): 43-53. <https://doi.org/10.22034/csrar.2020.119122>
 - Slinkard, K. and Singleton, V.L., 1977. Total phenol analysis automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28: 49-55. <https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49>
 - Taheri Asghari, M. and 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. <https://doi.org/10.22059/jci.2024.364586.2843>
 - Taheri Asghari, M., 2022. Effect of seed inoculation with Mycorrhiza fungi and leaf application of amino acid on some qualitative and herbaceous properties of pot marigold. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 9(3): 57-71. https://jms.guilan.ac.ir/article_6164.html#:~:text=10.22124/JMS.2022.6164
 - Taksera, N.R., AbuEl-Leil, E.F. and Abdel-Fattah, G.M., 2024. Impact of bio-fertilizer and humic acid applications on productivity and some biochemical characteristics of *Thymus vulgaris* grow in sandy soil. *Journal of Agricultural Research and Development*, 43(4): 853-872. https://mjard.journals.ekb.eg/article_340131_8023feaba9367b16b5e7cb7959079374.pdf
 - Tombesi, S., Cincera, I., Frioni, T., Ughini, V., Gatti, M., Palliotti, A. and Poni, S., 2019. Relationship among night temperature, carbohydrate translocation and inhibition of grapevine leaf photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany*, 157: 293-298. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.023>
 - Wang, Y., Qiu, L., Song, Q., Wang, S., Wang, Y. and 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: 943. <https://doi.org/10.3390/ijms20040943>
 - Zhu, K., Gu, S., Liu, J., Luo, T., Khan, Z., Zhang, K. and Hu, L., 2021. Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. *Agronomy*, 11: 510. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030510>