



Effect of Foliar Application of Wood Vinegar and Use of Three Species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on The Essential Oil Properties of Thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Mehdi Taheri Asghari^{*}, Fatemeh Fateminik and Seyed Reza Miralizadeh Fard

Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

^{*} Corresponding author, Email: mehdi.t.a@pnu.ac.ir

(Received: 27 July 2025; Revised: 16 September 2025; Accepted: 17 September 2025)

Abstract

Background and Objective: Mycorrhizal fungi increase the availability of nutrients in the rhizosphere by producing a wide network of hyphae, phosphatase enzymes, and organic acids. The presence of free amino acids available to the plant, using wood vinegar, can reduce the need to produce these compounds in the plant to zero. The purpose of this study is to investigate the effect of wood vinegar spraying and the use of three mycorrhizal species on the essential oil properties of garden thyme.

Methods: A factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted over two growing seasons (2021–2023). The experimental factors included three species of mycorrhizal fungi (control, seed and soil inoculation with *Glomus mosseae*, *G. etunicatum* and *G. intraradices*) and foliar application of wood vinegar at four levels of control, 0.5, 1 and 1.5 %. The measured traits included essential oil percentage, dry matter yield, and important essential oil compounds.

Results: The results showed that the percentage of essential oil was affected by inoculation with mycorrhiza. Foliar spraying of wood vinegar 1% showed an increase of about 110% compared to the control. Except for α -terpinene and borneol, the interaction of mycorrhiza and wood vinegar on other essential oil compounds was significant at the 1% probability level and on cineole 1 and 8 at the 5% probability level. The inoculation of mycorrhiza *G. mosseae* and spraying of wood vinegar 1% produced the highest amount of thymol and carvacrol, the most important compounds in thyme essential oil are thymol and carvacrol. This treatment also produced the highest p-cymene and γ -terpinene.

Conclusion: The results showed that the use of mycorrhiza, especially *G. mosseae*, and foliar spraying of 1% wood vinegar can increase the quantity and quality of garden thyme.

Keywords: Carvacrol, Dry matter, Essential oil, Thymol.

How to Cite: Taheri Asghari, M., Fateminik, F., Miralizadeh Fard, S.R., 2025. Effect of foliar application of wood vinegar and use of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on the essential oil properties of thyme (*Thymus vulgaris* L.). J. Soil Plant Interact. 16(3), 73–86 (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jspi.16.3.21701>





اثر محلول پاشی سرکه چوب و کاربرد سه گونه میکوریزا بر ویژگی های اسانس آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)

مهدی طاهری اصغری^{*}، فاطمه فاطمی نیک و سید رضا میرعلیزاده فرد

گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^{*} مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehdi.t.a@pnu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۵؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۶/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۶)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: قارچ های میکوریزا با تولید شبکه وسیعی از هیف ها، آنزیم های فسفاتاز و اسیدهای آلی، فراهمی عناصر غذایی در ریزوسفر را افزایش می دهند. وجود اسیدهای آمینه آزاد در دسترس گیاه، با استفاده از سرکه چوب، می تواند نیاز به تولید این ترکیبات را در گیاه به صفر برساند. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر محلول پاشی سرکه چوب و کاربرد سه گونه میکوریزا بر ویژگی های اسانس گیاه آویشن باغی است. **روش ها:** پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار، طی دو سال زراعی ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه گونه قارچ میکوریزا در چهار سطح (بدون تلقیح، تلقیح بذری و خاک با *Glomus mosseae*، *G. etunicatum* و *G. intraradices*) و محلول پاشی سرکه چوب در چهار سطح (شاهد یا صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) بود. صفات اندازه گیری شده شامل درصد اسانس، عملکرد ماده خشک و ترکیبات مهم اسانس بود.

نتایج: نتایج نشان داد درصد اسانس تحت تاثیر تلقیح با میکوریزا قرار گرفت. محلول پاشی سرکه چوب یک درصد نسبت به شاهد حدود ۱۱۰ درصد افزایش نشان داد. به غیر از دو ترکیب آلفا ترپین و بورنئول، برهم کنش میکوریزا و سرکه چوب بر سایر ترکیبات اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر سینئول ۱ و ۸ در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. از مهمترین ترکیبات موجود در اسانس آویشن، تیمول و کارواکرول هستند که تلقیح میکوریزا *G. mosseae* و محلول پاشی سرکه چوب ۱ درصد بیشترین مقدار تیمول و کارواکرول را سبب شد. تیمار یادشده بیشترین پاراسیمین و گاما ترپین را نیز حاصل کرد.

نتیجه گیری کلی: نتایج نشان داد کاربرد میکوریزا به ویژه *G. mosseae* و محلول پاشی سرکه چوب یک درصد می تواند باعث افزایش کمی و کیفی در گیاه آویشن باغی گردد.

واژه های کلیدی: اسانس، تیمول، کارواکرول، ماده خشک.



مقدمه

گیاه آویشن باغی با نام علمی *Thymus vulgaris* L. گیاهی معطر از خانواده نعناع (Lamiaceae) است که برگ‌های آن دارای تعداد زیادی غده ترشح کننده اسانس در سطح زیرین هستند (Mandal and DebMandal, 2016). ترکیب‌های فنلی که در آویشن وجود دارند در فعال سازی فرآیندهای بیوشیمیایی در بدن انسان و در کاهش کلسترول و جلوگیری از گرفتگی رگ‌ها نقش دارند (Alhoushi, 2024). با افزایش جمعیت جهان، به افزایش تولید گیاهان دارویی که از کودهای شیمیایی کمتری در زراعت آن‌ها استفاده شده باشد، توجه فراوانی شده است. از این رو می‌توان با استفاده از فناوری‌های زیستی بسیاری از نیازهای غذایی گیاه را برطرف کرد.

قارچ‌های میکوریزا یکی از عوامل زیستی مهم در اکوسیستم‌ها هستند. این ریزجانداران 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 and Classen, 2020). Golubkina et al. (2020) گزارش کردند که کاربرد قارچ‌های میکوریزا می‌تواند به عنوان یک فناوری سازگار با محیط زیست، دسترسی گیاهان به مواد غذایی را افزایش داده و با افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها، منجر به بهبود در رشد گیاهان شود. در دهه اخیر، تعدادی از پژوهش‌ها آثار مثبت قارچ‌های میکوریزا را بر بهبود تولید و تجمع ترکیبات فعال مهم در گیاهان دارویی گزارش کرده‌اند (Zhao et al., 2022). قارچ‌های میکوریزا از راه تولید شبکه‌ی گسترده هیف‌ها و ترشح آنزیم‌های فسفاتاز و اسیدهای آلی سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی در ریزوسفر می‌شوند (Taheri Asghari and Miralizadeh Fard, 2024). Amani Machiani et al. (2021) نشان دادند با کاربرد قارچ میکوریزا در گیاه آویشن باغی که تیمار تنش ملایم همراه با کاربرد قارچ میکوریزایی *F. mosseae* منجر به بهبود کمیت و کیفیت اسانس آویشن شد. در پژوهش Haghiri Ebrahimabadi et al. (2018) اثر میکوریزا بر درصد و عملکرد اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها بیان

کردند که بیشترین درصد ترکیبات اصلی اسانس از تیمار کاربرد میکوریزا *G. hoi* و *G. mosseae* به دست آمد. تولید یک محصول سالم از اهداف مهم کشاورزی بوده و استفاده از کودهای طبیعی، همچون سرکه چوب بدون داشتن آثار زیست محیطی، می‌تواند در افزایش عملکرد گیاهان مؤثر باشد. سرکه چوب محصول جانبی تجزیه مواد خام آلی بر اثر گرمادهی است که می‌تواند به عنوان ماده‌ای صددرد صد آلی، 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 پژوهشگران کشاورزی پایدار قرار گرفته است. سرکه چوب دارای pH برابر ۳/۲ و اسید استیک و همچنین فنل‌ها (۵۴/۰۰ میلی گرم در لیتر) با غلظت زیاد است. این مواد جزء ترکیبات فعال زیستی بوده و زمانی که یون H^+ وارد برگ می‌شود، pH درون سلول اسیدی تر شده، سبب افزایش فعالیت سلول شده و در نهایت قدرت رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Zhu et al., 2021). ترکیبات هیومیکی موجود در سرکه چوب احتمالاً با افزایش فعالیت آنزیم روییسکو، می‌تواند فتوسنتز را افزایش دهد (Rahbari et al., 2019). همچنین اسید فولویک موجود در سرکه چوب بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی اثر داشته و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه بر محتوای کلروفیل گیاه و تبادلات گازی در گیاه مؤثر است (Anjum et al., 2011). همچنین اسید فولویک می‌تواند با حل کردن ترکیب‌هایی مانند ویتامین‌ها، ایزوآنزیم‌ها، و همچنین هورمون‌ها، بر ویژگی‌های رشدی گیاه مؤثر باشد. وجود اسید آمینه آزاد در دسترس گیاه، با کاربرد سرکه چوب می‌تواند نیاز تولید این ترکیبات در گیاه را به صفر رسانده و انرژی تولید اسید آمینه در گیاه ذخیره شده و انرژی موجود گیاه صرف سایر نیازهای گیاه شود (Najafi et al., 2021).

امروزه ضرورت بهبود کیفیت و سلامت محصولات تولید شده در بخش‌های مختلف کشاورزی (به ویژه گیاهان دارویی) همراه با افزایش کارایی تولید سبب ترغیب این بخش به استفاده از مواد

آلی و زیستی همچون قارچ میکوریزا و سرکه چوب به منظور کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در نظام کشاورزی پایدار شده است. بنابراین پژوهش حاضر، با هدف بررسی کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و سرکه چوب بر بهبود کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی آویشن باغی و تعیین مناسب‌ترین گونه قارچ و میزان مختلف سرکه چوب طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان با مشخصات زیر اجرا شد (عرض جغرافیایی: ۳۶ درجه و ۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی: ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی، و ارتفاع از سطح دریا: ۱۲۶۵ متر). میانگین بارش و دما در سال-های مورد آزمایش، در جدول ۱ آورده شده است. زمین مورد کاشت در هر دو سال در یک مکان و منطقه قرار داشته و سال‌های متمادی به صورت بایر قرار داشتند. عوامل آزمایشی شامل سه گونه قارچ میکوریزا (شاهد یا بدون 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 یا بدون مصرف، محلول‌پاشی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) بود. گونه‌های قارچ میکوریزا تقریباً دارای 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 فرح-بخش بود. محلول‌پاشی 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 به صورت محلول‌پاشی به فاصله هر هفت روز روی گیاهان کشت‌شده انجام شد (گیاهان در انتهای محلول‌پاشی حدود ۱۵ برگ داشتند).

برخی از ویژگی‌های خاک مکان آزمایش و سرکه چوب مورد استفاده در این آزمایش، در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. عملیات کاشت آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L. subsp.)

(*vulgaris*) به صورت نشاءکاری انجام شد. نشاءها با استفاده از بذور تهیه‌شده 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. بذرها پیش از نشاءکاری در خزانه با مایکوریزا تلقیح شدند. در زمان کاشت نشاءها نیز در خطوط کشت و زیر نشاءها ۸۰ گرم خاک دارای هیف‌های قارچ مایکوریزا (حدود ۱۲۰ اسپور در هر گرم خاک) در هر ردیف کاشت استفاده شد. برای جلوگیری از تنش، بلافاصله پس از کاشت، عملیات آبیاری صورت گرفت و آبیاری دوم نیز سه روز بعد انجام شد. کرت‌ها بازمینی شده و در فضاهای خالی واکاری صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز در چندین نوبت به صورت دستی انجام شد.

به دلیل اینکه آثار تیمارهای مورد آزمایش بر گیاه دارویی مشخص شود، از کاربرد 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 (هر کرت ۲/۴ در ۵ متر و تعداد گیاه در هر کرت ۱۲۵ عدد). بین کرت‌ها برای جلوگیری از اختلاط آن‌ها یک متر فاصله و بین تکرارها ۲ 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 تعیین شد. در مرحله نمونه‌برداری، با رعایت اثر حاشیه تعداد ۱۰ بوته از خطوط کاشت کف‌بر شده و پس از قرار دادن آن‌ها در پاکت‌های مجزا نمونه‌ها در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و عملکرد ماده خشک هر نمونه با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. همچنین درصد اسانس و ترکیبات اسانس اندازه‌گیری شد.

نمونه‌های گیاهی در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی که بهترین زمان برداشت برای مواد مؤثره و اسانس است، برداشت شدند (Hadi Panah et al., 2011). اسانس‌گیری از ۵۰ گرم نمونه گیاهی خشک‌شده در شرایط طبیعی (Csongor et al., 2023) به روش

جدول ۱. میانگین دما و بارش سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱

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

	September	August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October
مجموع	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
177.3	0.0	1.3	0.0	0.2	1.2	11.2	27.9	18.4	21.5	20.4	53.1	0.2
بارش در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ (mm)												
-	22.8	25.5	25	21.3	15.8	11.6	2.8	2.2	3.3	6.5	8.5	16.4
Temperature in 2021-2022 (°C)												
108.4	0.0	0.0	1.9	1.0	7.3	20.0	29.5	30.4	12.7	3.9	1.7	0.0
Rainfall in 2022-2023 (mm)												
-	23.6	25.9	24.4	21.3	16.8	11.5	8.9	0.5	1.0	5.2	4.2	19.5
Temperature in 2022-2023 (°C)												
دما در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ (°C)												

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه (لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 2. Some chemical characteristics of field soil (0 to 30 cm layer) in crop years 2021-2022 and 2022-2023

pH واکنش	Electrical conductivity رسانایی الکتریکی (dS ml ⁻¹)	Calcium carbonate equivalent کربنات کلسیم معادل (%)	Organic carbon کربن آلی (%)	N نیترژن (%)	P فسفر (mg kg ⁻¹)	K پتاسیم (mg kg ⁻¹)	Clay رس (%)	Silt شن (%)	Sand شن (%)	Soil texture بافت خاک
سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰										
7.5	2.28	5.4	0.28	0.03	6.2	152	22	18	60	Sandy clay loam لوم رسی شنی
سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱										
7.5	2.18	5.7	0.24	0.03	5.5	156	24	16	60	Sandy clay loam لوم رسی شنی

جدول ۳. ویژگی‌های سرکه چوب مورد استفاده در این آزمایش

Table 3. Characteristics of wood vinegar used in this experiment

N _{total} نیتروژن کل (%)	C/N ratio نسبت کربن به نیتروژن	pH واکنش	Amino acid آمینو اسید (%)	Acetic acid استیک اسید (%)	Fulvic acid فولویک اسید (%)	Humic acid اسید هیومیک (%)	Organic carbon کربن آلی (%)	Organic matter ماده آلی (%)	Brand name نام تجاری
0.39	1/17	2.75	0.28	1.33	3.50	3.85	6.58	14.48	Farah Bakhsh wood vinegar سرکه چوب فرح بخش

بارش به مراتب بهتر از سال دوم بوده و می تواند بر رشد گیاه اثر مطلوبی داشته باشد. نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* باعث افزایش تقریباً ۱۲ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به شاهد شد (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد محلول پاشی سرکه چوب ۱ درصد دارای بیشترین مقدار عملکرد ماده خشک بود و نسبت به شاهد حدود ۱۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

درصد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۴) نشان داد، اثر میکوریزا و سرکه چوب بر درصد اسانس در سطح یک درصد معنی دار شد. نتایج نشان دادند بیشترین درصد اسانس از تیمار شاهد بدست آمد و تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۵). چنین به نظر می رسد که در بین میکوریزاهای استفاده شده در این طرح، *G. mosseae* بیشتر از بقیه میکوریزاها بر درصد اسانس اثر داشته است. با توجه به جدول ۵، قارچ میکوریزا به تنهایی اثر بیشتری بر عملکرد ماده خشک نسبت به سرکه چوب داشته است. کاهش درصد اسانس نیز اینگونه توجیه پذیر است که با کاربرد میکوریزا عملکرد ماده خشک، افزایش بیشتری داشته و بنابراین درصد اسانس کاهش یافته است. البته مقدار درصد اسانس تولید شده در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا *G. mosseae* نزدیک به مقدار شاهد است ولی از نظر آماری تفاوت معنی داری نشان می دهد.

اثر همچنین محلول پاشی سرکه چوب ۱ درصد دارای بیشترین مقدار درصد اسانس بود و نسبت به شاهد حدود ۱۱۰ درصد افزایش نشان داد و تیمارهای ۵/۰ و ۱/۵ درصد مشترکاً در گروه بعدی قرار گرفتند (جدول ۵).

ترکیبات اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثر میکوریزا و سرکه چوب بر آلفا-ترپین و بورنئول در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۵، بیشترین مقدار آلفا-ترپین و

تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر (مدل فارماکوپه بریتانیا)، در مدت زمان سه ساعت انجام شد. به منظور بررسی اجزاء تشکیل دهنده اسانس گیاه، نمونه های اسانس مربوط به هر تیمار برای تجزیه با دستگاه MS/GC کدگذاری شدند. دستگاه کروماتوگرافی گازی Agilent مدل A ۷۸۹۰ مجهز به طیف سنج جرمی Agilent سری C ۵۹۷۵ با انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و ستون ناقطبی DB-5 به طول ۶۰ متر، قطر درونی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون مورد استفاده قرار گرفت. گاز هلیوم با سرعت جریان یک میلی لیتر بر دقیقه به عنوان گاز حامل به کار گرفته شد. برنامه دمایی ستون به ترتیبی تنظیم شد که دمای ابتدایی آن ۷۵ درجه سلسیوس، دمای انتهایی ۲۶۰ درجه سلسیوس (دما به مدت ۵ دقیقه متوقف شد) و گرادیان گرمایی آن ۲/۵ درجه سلسیوس در هر دقیقه بود. حجم تزریق ۱۰ میکرولیتر بود. اسانس ها تا روز تزریق در تاریکی و در دمای یخچال نگهداری شدند. نمونه های آماده شده به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد و مناسب ترین برنامه-ریزی دمایی برای جداسازی کامل ترکیب های اسانس به دست آمد. همچنین، درصد ترکیب های تشکیل دهنده هر نمونه اسانس محاسبه شد (Arjmand and Dastan, 2020).

نتایج حاصل توسط نرم افزار SAS (نسخه SAS V9.CFG) به صورت مرکب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از آزمون بارتلت یکنواختی واریانس ها بررسی شد و مقایسه میانگین ها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی داری (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

عملکرد ماده خشک

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۴) نشان داد، اثر میکوریزا و سرکه چوب بر عملکرد ماده خشک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین اثر سال و سرکه چوب بر عملکرد ماده خشک در سطح پنج درصد معنی دار شد که این مطلب با توجه به جداول مربوط به بارش و دما قابل توجیه است که در سال اول

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای سرکه چوب و مایکوریزا بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.)
Table 4. Analysis of variance (mean squares) of the effects of wood vinegar and mycorrhiza treatments on some quantitative and qualitative characteristics of thyme (*Thymus vulgaris* L.)

لینالول	ترپینولن	میرسن	آلفا-ترپینن	گاما-ترپینن	پارا-سیمین	کارواکرول	تیمول	عملکرد ماده خشک	درصد اسانس	df	درجه آزادی	منابع تغییر
Linalool	Terpinolene	Myrcene	α -Terpinene	γ -Terpinene	p-Cymene	Carvacrol	Thymol	Dry matter yield	Essential oil	df	df	SOV
0.17ns	0.001ns	0.0003ns	0.01ns	0.75*	0.20ns	0.57*	2.04ns	638471**	0.28ns	1	1	سال (Year)
0.73**	0.05**	0.13**	0.69**	5.30**	2.32**	2.07**	75.69**	282465**	1.22**	2	2	تکرار (Rep)
0.30*	0.0006ns	0.002ns	0.001ns	0.12ns	0.03ns	0.001ns	4.19ns	4228ns	0.05ns	2	2	(Rep $\times$ Year)
6.63**	0.19**	2.11**	1.83**	20.73**	7.46**	22.70**	647.2**	350862**	8.77**	3	3	سرکه چوب (Wood vinegar, W)
9.06**	0.14**	1.21**	0.63**	34.55**	19.66**	83.83**	1251.1**	635752**	2.16**	3	3	مایکوریزا (Mycorrhiza, M)
0.33**	0.007**	0.07**	0.01ns	0.61**	1.29**	1.75**	40.33**	13960ns	0.13ns	9	9	M $\times$ W
0.09ns	0.002ns	0.01ns	0.0004ns	0.28ns	0.004ns	0.31ns	3.48ns	37688*	0.11ns	3	3	Year $\times$ W
0.11ns	0.0002ns	0.02ns	0.008ns	0.82**	0.57*	0.19ns	10.81ns	1421ns	0.12ns	3	3	Year $\times$ M
0.03ns	0.001ns	0.007ns	0.002ns	0.14ns	0.06ns	0.10ns	7.37ns	8758ns	0.02ns	9	9	Year $\times$ M $\times$ W
0.08	0.001	0.01	0.01	0.17	0.14	0.13	5.95	12436	0.07	60	60	خطا (Error)
14.58	14.65	6.84	9.04	9.11	10.09	8.01	9.67	4.51	13.366			ضریب تغییرات (CV)

* و ** به ترتیب بیانگر آثار معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد و ns نشان‌دهنده اثر غیرمعنی‌دار است.

* and ** stand for significant effects at the levels of 5 and 1 percents, respectively, and ns shows non-significant effect.

ادامه جدول ۴.

Table 4. (Continued)

سینتول ۱ و ۸ 1,8-Cineole	کاریوفیلین Caryophyllene oxide	بورنئول Borneol	بتا-پینین β-Pinene	آلفا-پینین α-Pinene	لیمونین Limonene	df	درجه آزادی	منابع تغییر SOV
0.38 **	0.49 **	0.18 ns	0.001 ns	0.04 ns	0.03 ns	1	سال (Year)	
1.74 **	0.47 **	1.45 **	0.85 **	0.39 **	0.32 **	2	تکرار (Rep)	
0.04 ns	0.01 ns	0.01 ns	0.005 ns	0.008 ns	0.001 ns	2	(Rep × Year)	
8.41 **	7.73 **	12.02 **	3.21 **	5.19 **	2.22 **	3	سرکه چوب (Wood vinegar, W)	
2.48 **	7.12 **	21.51 **	3.64 **	9.15 **	2.61 **	3	مایکوریزا (Mycorrhiza, M)	
0.08 *	0.22 **	0.21 ns	0.06 **	0.28 **	0.03 **	9	M × W	
0.37 **	0.30 **	0.18 ns	0.24 **	0.17 *	0.11 **	3	Year × W	
0.01 ns	0.11 ns	0.44 ns	0.03 ns	0.02 ns	0.01 ns	3	Year × M	
0.03 ns	0.03 ns	0.11 ns	0.02 ns	0.02 ns	0.01 ns	9	Year × M × W	
0.04	0.06	0.17	0.01	0.04	0.01	60	خطا (Error)	
11.48	13.71	13.23	8.16	13.32	7.23		ضرب تغییرات (CV)	

* و ** به ترتیب بیانگر آثار معنی دار در سطوح پنج و یک درصد و ns نشان دهنده اثر غیر معنی دار است.

* and ** stand for significant effects at the levels of 5 and 1 percents, respectively, and ns shows non-significant effect.

جدول ۵. اثر تیمارهای سرکه چوب و میکوریزا بر برخی ویژگی‌های گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.)

Table 5. The effect of wood vinegar and mycorrhiza treatments on some characteristics of thyme (*Thymus vulgaris* L.)

بورنئول (Borneol) (%)	آلفا-ترپینن (α -Terpinene) (%)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg ha ⁻¹)	تیمارها Treatments
2.27 ^d	0.75 ^d	1.36 ^c	2388.6 ^c	Control
2.93 ^c	1.10 ^c	2.03 ^b	2485.6 ^b	0.5%
3.95 ^a	1.41 ^a	2.84 ^a	2632.4 ^a	1%
3.36 ^b	1.23 ^b	2.06 ^b	2367.0 ^c	1.5%
2.81 ^b	1.0 ^c	2.42 ^a	2400.5 ^c	Control
4.51 ^a	1.3 ^a	2.22 ^b	2670.9 ^a	<i>G. mosseae</i>
2.35 ^c	0.9 ^c	1.77 ^c	2289.7 ^d	<i>G. etunicatum</i>
2.86 ^b	1.1 ^b	1.87 ^c	2512.4 ^b	<i>G. intraradices</i>

در هر ستون و در هر گروه، میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column and in each group, the means with different letters are significantly different based on LSD test at the 5% probability level.

بررسی قرار گرفت پاراسیمین و گاما-ترپینن بودند که از لحاظ مقدار در رتبه بعدی نسبت به تیمول و کارواکرول قرار گرفتند. در این دو ترکیب نیز تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و محلول‌پاشی سرکه چوب ۱ درصد با مقادیر ۵/۶۳ و ۷/۴۰ درصد بیشترین مقدار را نشان دادند.

در ترکیبات میرسن، ترپینولن، لینالول، لیمونن، آلفا-پینن، بتا-پینن، کاریوفیلن و سینئول ۱ و ۸، اثر تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و محلول‌پاشی سرکه چوب ۱ درصد بهتر از سایر ترکیبات تیماری بود. در بتا-پینن بدون سرکه چوب و سینئول ۱ و ۸ به همراه محلول‌پاشی ۱ درصد سرکه چوب، تفاوتی بین شاهد، *G. etunicatum* و *G. intraradices* مشاهده نشد. با توجه به جدول ۶ مشاهده شد که در لینالول، بتا-پینن و کاریوفیلن بدون محلول‌پاشی و در کاریوفیلن و سینئول ۱ و ۸ به همراه محلول-پاشی ۵/۵ درصد سرکه چوب و در لیمونن و کاریوفیلن به همراه محلول‌پاشی ۱ درصد سرکه چوب و در لینالول به همراه محلول-پاشی ۱/۵ درصد سرکه چوب، تفاوتی بین *G. etunicatum* و *G. intraradices* مشاهده نشد.

بورنئول از تیمار سرکه چوب ۱ درصد بدست آمد که نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸۸ و ۵۸ درصد افزایش را نشان داد. همچنین بیشترین مقدار آلفا-ترپینن و بورنئول از تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* به ترتیب ۱۳۰ و ۱۶۰ درصد افزایش را نشان دادند. به غیر از دو ترکیب گذشته (آلفا-ترپینن و بورنئول)، اثر برهمکنش میکوریزا و سرکه چوب بر همه ترکیبات دیگر در سطح یک درصد و بر سینئول ۱ و ۸ در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

از مهم‌ترین ترکیبات موجود در اسانس آویشن، تیمول و کارواکرول هستند (Mohammadi et al., 2020). بررسی نتایج بدست‌آمده (جدول ۵) نشان داد تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و محلول‌پاشی سرکه چوب ۱ درصد بیشترین مقدار تیمول (۴۲/۵۰ درصد) را به همراه داشت و تیمار ۱/۵ درصد سرکه چوب و تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* در مرتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۶). دیگر ترکیب مهم در آویشن باغی یعنی کارواکرول نیز در اثر تیمار تلقیح با میکوریزا *G. mosseae* و محلول‌پاشی سرکه چوب ۱ درصد بیشترین مقدار را نشان داد (جدول ۶). ترکیبات دیگری که در گیاه آویشن باغی مورد

جدول ۶. اثر برهمکنش تیمارهای سرکه چوب و مایکوریزا بر برخی ویژگی‌های گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.)Table 6. Interaction effect of wood vinegar and mycorrhiza treatments on some characteristics of thyme (*Thymus vulgaris* L.)

ترپینولن Terpinolene (%)	میرسن Myrcene (%)	گاما ترپینن γ -Terpinene (%)	پاراسیمین p-Cymene (%)	کارواکرول Carvacrol (%)	تیمول Thymol (%)		
0.12 ^c	1.05 ^b	3.16 ^b	2.35 ^c	1.91 ^d	14.66 ^c	Control	Control
0.24 ^a	1.23 ^a	4.71 ^a	3.05 ^b	5.36 ^a	26.83 ^a	<i>G. mosseae</i>	
0.14 ^c	1.05 ^b	2.80 ^c	3.08 ^{ab}	2.71 ^c	18.33 ^b	<i>G. etunicatum</i>	
0.19 ^b	1.11 ^b	3.0 ^{bc}	3.51 ^a	3.55 ^b	16.0 ^{bc}	<i>G. intraradices</i>	
0.20 ^c	1.10 ^c	4.53 ^b	2.70 ^c	2.16 ^d	16.66 ^d	Control	Wood vinegar (0.5%)
0.32 ^a	1.69 ^a	6.18 ^a	4.78 ^a	6.20 ^a	32.00 ^a	<i>G. mosseae</i>	
0.23 ^{bc}	1.40 ^b	3.00 ^c	2.88 ^c	3.20 ^c	20.50 ^c	<i>G. etunicatum</i>	
0.25 ^b	1.66 ^a	4.35 ^b	3.95 ^b	5.40 ^b	23.66 ^b	<i>G. intraradices</i>	
0.22 ^c	1.46 ^c	5.48 ^b	2.98 ^d	2.63 ^d	20.50 ^d	Control	Wood vinegar (1%)
0.51 ^a	2.15 ^a	7.40 ^a	5.63 ^a	8.53 ^a	42.50 ^a	<i>G. mosseae</i>	
0.37 ^b	1.63 ^c	4.15 ^c	3.63 ^c	4.78 ^c	26.66 ^c	<i>G. etunicatum</i>	
0.41 ^b	1.87 ^b	5.55 ^b	4.95 ^b	6.68 ^b	32.83 ^b	<i>G. intraradices</i>	
0.22 ^c	1.34 ^d	5.11 ^b	2.86 ^c	3.03 ^d	18.16 ^c	Control	Wood vinegar (1.5%)
0.43 ^a	1.95 ^a	6.61 ^a	5.33 ^a	6.80 ^a	38.33 ^a	<i>G. mosseae</i>	
0.32 ^b	1.65 ^c	3.36 ^c	3.21 ^c	4.25 ^c	28.83 ^b	<i>G. etunicatum</i>	
0.36 ^b	1.82 ^b	4.58 ^b	4.43 ^b	5.73 ^b	27.16 ^b	<i>G. intraradices</i>	

در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, the means with different letters are significantly different based on LSD test at the 5% probability level.

ادامه جدول ۶.

Table 6. (continued)

سینئول ۱ و ۸ 1,8-Cineole (%)	کاریوفیلن Caryophyllene oxide (%)	بتا پینن β -Pinene (%)	آلفا پینن α -Pinene (%)	لیمونن Limonene (%)	لینالول Linalool (%)		
0.82 ^c	0.68 ^c	0.78 ^b	0.59 ^c	0.82 ^d	0.88 ^c	Control	Control
1.25 ^a	1.68 ^a	1.40 ^a	1.45 ^a	0.38 ^a	1.68 ^a	<i>G. mosseae</i>	
0.76 ^c	1.03 ^b	0.72 ^b	0.70 ^c	1.14 ^c	1.35 ^b	<i>G. etunicatum</i>	
1.03 ^b	0.89 ^b	0.81 ^b	0.94 ^b	1.22 ^b	1.29 ^b	<i>G. intraradices</i>	
1.48 ^b	1.21 ^c	1.10 ^c	0.87 ^d	0.94 ^d	1.04 ^d	Control	Wood vinegar (0.5%)
2.10 ^a	2.46 ^a	2.03 ^a	2.27 ^a	1.78 ^a	2.51 ^a	<i>G. mosseae</i>	
1.47 ^b	1.56 ^b	1.21 ^c	1.32 ^c	1.26 ^c	1.51 ^c	<i>G. etunicatum</i>	
1.65 ^b	1.63 ^b	1.52 ^b	1.54 ^b	1.41 ^b	2.16 ^b	<i>G. intraradices</i>	
1.96 ^c	1.41 ^c	1.30 ^d	1.05 ^d	1.38 ^c	1.53 ^c	Control	Wood vinegar (1%)
2.90 ^a	3.05 ^a	2.35 ^a	3.03 ^a	2.30 ^a	3.36 ^a	<i>G. mosseae</i>	
1.91 ^c	2.266 ^b	1.44 ^c	1.61 ^c	1.86 ^b	2.23 ^b	<i>G. etunicatum</i>	
2.43 ^b	2.53 ^b	1.88 ^b	2.22 ^b	1.92 ^b	2.85 ^a	<i>G. intraradices</i>	
1.75 ^c	1.43 ^d	1.40 ^c	0.97 ^d	1.07 ^d	1.31 ^c	Control	Wood vinegar (1.5%)
2.50 ^a	2.85 ^a	2.18 ^a	2.54 ^a	1.95 ^a	3.01 ^a	<i>G. mosseae</i>	
1.93 ^{bc}	2.08 ^c	1.38 ^c	1.57 ^c	1.42 ^c	2.21 ^b	<i>G. etunicatum</i>	
2.25 ^{ab}	2.47 ^b	1.70 ^b	2.11 ^b	1.57 ^b	2.48 ^b	<i>G. intraradices</i>	

در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, the means with different letters are significantly different based on LSD test at the 5% probability level.

بحث

استفاده از کودهای زیستی و تغذیه گیاه به عنوان مهم‌ترین عوامل بهبود حاصلخیزی خاک از اولویت‌های کشاورزی پایدار است. در راستای کشاورزی پایدار، استفاده از قارچ‌های همزیست میکوریزا و مواد زیستی مانند سرکه چوب در سامانه‌های کشاورزی مدرن جهانی، به دلیل پایداری آن‌ها و کمک به جذب پایدار عناصر غذایی در طول فصل رشد و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، اهمیت ویژه‌ای دارد.

در این پژوهش میکوریزا (*G. mossaeae*) به‌ویژه سبب افزایش در وزن خشک آویشن شد. پژوهشگران مختلفی گزارش کردند که قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش وزن تازه و خشک شاخساره در گیاه آویشن می‌گردد (Taksera et al., 2024; Amani Machiani et al., 2021). در این پژوهش نیز، با کاربرد میکوریزا عملکرد ماده خشک در گیاه آویشن باغی افزایش یافت که این به احتمال زیاد 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 سبب گسترش ریشه شده و بر افزایش جذب آب و عناصر غذایی تأثیر گذاشته است. در این راستا، در پژوهش دیگری بیان شد که غلظت عناصری چون 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. توزیع فراورده‌های فتوسنتزی در گیاهان می‌تواند به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی قرار گیرد و کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و سرکه چوب می‌تواند به عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر توزیع فراورده‌های فتوسنتزی باشد (Tombesi et al., 2019). در زمینه آثار مثبت قارچ میکوریزا بر ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس می‌توان گفت که فراهمی بیشتر مواد غذایی برای گیاهان تلقیح‌شده، باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی شده که به نوبه خود در افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه اثرگذار است. با تغذیه مناسب، مسیرهای مرتبط با تولید متابولیت‌های ثانویه تقویت می‌شود و می‌توان انتظار داشت که میزان ترکیبات موثره موجود در اسانس، افزایش یابد.

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 بیش از ۲۰۰ ترکیب به عنوان ماده کامل آلی می‌تواند جایگزین مناسبی برای بخشی از مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی باشد. سرکه چوب یک محصول جانبی اسیدی ارزشمند از پیرولیز زیست‌توده است که برای تولید زغال چوب استفاده می‌شود (Hongyin et al., 2024). در این پژوهش، سرکه چوب با افزایش جذب عناصر غذایی (به ویژه نیتروژن و پتاسیم) و از این راه با تأثیر بر بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی و شاخساره گیاه، سبب افزایش صفات کمی (وزن خشک) و کیفی (درصد اسانس) آویشن باغی شد. در این راستا، به نظر می‌رسد با افزایش میزان کاربرد سرکه چوب، تغییراتی در تعادل ترکیب‌های گیاهی همچون تنظیم‌کننده‌های رشد ایجاد شده و بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد که با افزایش مقدار وزن تازه و وزن خشک می‌تواند همراه باشد. در پژوهشی نشان داده شد که تیمار ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین وزن خشک شاخساره 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). این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

براساس پژوهش‌های انجام‌شده، سرکه چوب دارای عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مانند منگنز، مولیبدن، کلسیم، آلومینیوم، نیتروژن، آهن، مس، پتاسیم، سدیم، روی، فسفر و بور است که نقش مهمی در متابولیسم گیاه و فتوسنتز دارند. علاوه بر این، سرکه چوب دارای 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 وزن تازه و وزن خشک گیاه و عناصر موجود در گیاه را به همراه دارد (Zhu et al., 2021). پژوهشگران نشان دادند که با کاربرد سرکه چوب، سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ، برتری محسوسی را نسبت

نتیجه گیری

به نظر می رسد در پژوهش حاضر، کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا، به دلیل تاثیر مثبت بر رشد گیاه و جذب عناصر غذایی، عملکرد کمی و کیفی گیاه آویشن باغی را بهبود می بخشد. زیرا هیف های گسترده ی میکوریزا، مواد غذایی را به فراوانی جذب نموده و در اختیار گیاه قرار می دهد و از طرفی سرکه چوب با داشتن ترکیباتی همچون اسید آمینه و اسید هیومیک سبب افزایش فراهمی عناصر پرمصرف همچون نیتروژن می شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که در اکثر صفات مورد بررسی، تفاوت آماری معنی داری بین گونه های مختلف میکوریزا وجود نداشت ولی برتری نسبی با گونه *G. mosseae* میکوریزا مشاهده شد و توصیه می شود تیمار همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ های میکوریزا مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از منابع مالی دانشگاه پیام نور انجام شده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ گونه تضاد منفعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

به شاهد در گیاهان کلزا (Ma et al., 2022) ایجاد کرد. ترکیبات استری موجود در سرکه چوب باعث افزایش کلروفیل شده که این امر سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی در گیاه می شود (Yuan et al., 2022). در آزمایش حاضر، کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ های میکوریزا (به دلیل اثر مثبتی که بر رشد گیاه، جذب عناصر غذایی، تولید قند، افزایش کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی داشته است) سبب افزایش در اغلب ترکیبات اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد. سنتز اسانس نیاز به انرژی دارد و افزایش عوامل مؤثر بر انرژی گیاه می تواند منجر به افزایش سنتز اسانس شود. در پژوهش Hazrati et al. (2023) که به بررسی اثر سرکه چوب و میکوریزا بر گیاه بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) پرداخته بودند، نتایج نشان داد در تیمار تلقیح بذر و خاک با میکوریزا و کاربرد چهار لیتر در هکتار سرکه چوب عملکرد دانه کاهش یافته، با اینکه این تیمار دارای بیشترین مقدار زیست توده بوده است. آن ها چنین بیان کردند که با در نظر گرفتن افزایش در زیست توده، به احتمال زیاد این کاهش مربوط به توزیع فراورده های فتوسنتزی به بخش هایی غیر از دانه است. در این شرایط گیاه از زیست توده زیادی برخوردار بوده و به همین دلیل فراورده های فتوسنتزی خود را در بخش های دیگری مانند برگ، ساقه و ریشه مورد مصرف قرار داده است. در پژوهش حاضر نیز می توان این مطلب را به گونه ای دیگر صادق دانست. درصد اسانس در بین گونه های میکوریزا به ویژه *G. mosseae* افزایش نشان داده است ولی با در نظر گرفتن افزایش در عملکرد ماده خشک، کاهش در درصد اسانس قابل توجیه است.

منابع مورد استفاده

References

- Alavi Asl, S.A., Majidian, M., Modares Sanavy, S.A.M., 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. Iran. J. Field Crop Sci. 54(3), 163–176. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.356625.654990>. (In Persian with English abstract)
- Alhoushi, G., 2024. Improving the growth of thyme plants (*Thymus vulgaris* L.) by nitrogen and potassium fertilization. Asian J. Adv. Res. 7(1), 234–240.
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi1, A., Morshedloo, M.R., Chabokpour, J., 2021. Effects of harvest time and mycorrhiza fungus application on quantitative and qualitative yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil at different irrigation levels. Iran. J. Med. Aro. Plant Res. 36(6), 1022–1037. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351323.2835>. (In Persian with English abstract)
- Anjum, S.A., Wang, L., Farooq, M., Xue, L., Ali, S., 2011. Fulvic acid application improves the maize performance under wellwatered and drought conditions. J. Agron. Crop Sci. 197(6), 409–417.
- Arjmand, Z., Dastan, D., 2020. Chemical characterization and biological activity of essential oils from the aerial part

- and root of *Ferula haussknechtii*. Flavour Fragrance J. 35, 114–123.
6. Bennett, A.E., Classen, A.T., 2020. Climate change influences mycorrhizal fungal–plant interactions, but conclusions are limited by geographical study bias. Ecology 101(4), e02978. <https://doi.org/10.1002/ecy.2978>.
 7. 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 Complement Med. Ther. 23, 168. <https://doi.org/10.1186/s12906-023-03966-1>.
 8. Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A., 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>.
 9. Hadi Panah, A., Gol Parvar, A.R., Ghasemi Pir Balooiy, A., Zeinali, H., 2011. Determining the best harvest time to achieve the highest yield and thymol in garden thyme in Isfahan conditions. Herb. Med. J. 2(1), 23 – 32.
 10. Haghiri Ebrahimabadi, A., Hatami, M., Karimzadeh Asl, K.H., Ghorbanpour, M., 2018. Effect of mycorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essential oil constituents in *cuminum cyminum* L. J. Med. Plants. 17(2), 174 – 184. (In Persian with English abstract)
 11. Hazrati, S., Shiri, S., Sarabi, V., 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 Proc. Func. 12(57), 69–89. <https://doi.org/10.22034/12.57.69>. (In Persian with English abstract)
 12. Iacomino, G., Idbella, M., Staropoli, A., Nanni, B., Bertoli, T., Vinale, F., 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>.
 13. Ma, J., Islam, F., Ayyaz, A., Fang, R., Hannan, F., Farooq, M.A., Zhou, W., 2022. Wood vinegar induces salinity tolerance by alleviating oxidative damages and protecting photosystem II in rapeseed cultivars. Ind. Crops Prod. 189, 115763. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115763>.
 14. Mandal, S., DebMandal, M., 2016. Thyme (*Thymus vulgaris* L.) oils. In: Preedy, V. R. Preedy. (Eds.), Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety. Academic Press, pp. 825–834. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00094-8>.
 15. Mohammadi, S., Azizi M., Vaezi, J., 2020. A comparison of morphological characteristics, composition and essential oils content of *Thymus vulgaris* and two landraces of *Thymus transcaspicus* in Mashhad region climate. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 33(4), 567–676. (In Persian with English abstract)
 16. Najafi, M., Arouiee, H., Aminifard, M.H., 2021. Effects of folic acid and amino acid application on some morphophysiological characteristics of *Cucumis sativus* L. under deficit irrigation conditions. J. Soil Plant Interact. 12(4), 19–36. (In Persian with English abstract)
 17. Rahbari, A., Masoud Sinaki, J., Damavandi, A., Rezvan, S., 2019. Responses of castor (*Ricinus communis* L.) to foliar application of zinc nano-chelate and humic acid under limited irrigation. Agric. Sci. Sustain. Prod. 29(2), 153–171. (In Persian with English abstract)
 18. 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.). J. Crop. Improv. 26(2), 423–438. <https://doi.org/10.22059/jci.2024.364586.2843>. (In Persian with English abstract)
 19. Taksera, N.R., AbuEl-Leil, E.F., 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. Minia. J. Agric. Res. Develop. 43(4), 853–872.
 20. 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. Environ. Exp. Bot. 157, 293–298. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.023>.
 21. Yuan, Y., Kong, Q., Zheng, Y., Zheng, H., Liu, Y., Cheng, Y., Li, Y., 2022. Co-application of biochar and pyroligneous acid improved peanut production and nutritional quality in a coastal soil. Environ. Technol. Innov. 28, 102886. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102886>.
 22. Zhao, Y., Cartabia, A., Lalaymia, I., Declerck, S., 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi and production of secondary metabolites in medicinal plants. Mycorrhiza 32, 221–256.
 23. Zhou, H., Shen, Y., Zhang, N., Liu, Z., Bao, L., Xia, Y., 2024. Wood fiber biomass pyrolysis solution as a potential tool for plant disease management: A review. Heliyon. 10, e25509. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25509>.
 24. Zhu, K., Gu, S., Liu, J., Luo, T., Khan, Z., Zhang, K., 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>.