University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Investigating Changes in the Composition of Active Substances and the Amount of Essential Oil of *Thymus vulgaris* (L.) Affected by the Foliar Application of Humic Acid and Mycorrhizal Species.

Mehdi Taheri Asghari [1]✉ | Hamid Mohamadzadeh[2]

1. Corresponding Author, Faculty of Technical and Engineering, Department of Agriculture, Payam Noor University, Tehran, Iran. Email: mehdi.t.a@pnu.ac.ir
2. Agricultural Jihad Organization, Kohgiluyeh and Boyerahmad Province, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: April 08, 2024
Received in revised form: April 30, 2024
Accepted: May 17, 2024
Published online: December 21, 2024

Keywords:
Carotenoid,
limonene,
linalool,
myrcene.

ABSTRACT

In order to investigate the effects of foliar application of humic acid and mycorrhizal fungi symbiosis on *Thymus vulgaris* (L.), a factorial experiments was conducted based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the field of the research farm of Islamic Azad University, Takestan Branch during 2020-2021 and 2021-2022 years. Experimental factors included three species of mycorrhiza fungi (control, *Glomus mosseae*, *G.etunicatum*, and *G.intradices*) and humic acid fertilizer levels included (control, 150, and 300 mg.lit^{-1}). The results showed that the effect of mycorrhiza and humic acid on chlorophyll a and b was significant. The highest amount of carotenoid was obtained from the application of 300 mg/liter of humic acid and *G. mosseae*, which showed a 256% increase compared to the control. The results showed that the highest amount of phenolic compounds (0.87 mg g^{-1} fresh weight) was obtained from the application of 300 mg/liter of humic acid without inoculation but humic acid treatments did not show any significant difference with G. mosseae mycorrhiza treatment. In addition, the interaction effect of mycorrhiza and humic acid on essential oil yield limonene and linalol essential oil compounds was significant at the level of 1%. The highest essential oil yield (92.45 kg hectare^{-1}) was obtained from the treatment of 150 mg of humic acid and the application of mycorrhiza *G. mosseae*, which showed a 254% increase compared to the control. The highest amount of limonene and linalol was obtained from the application of 300 mg/liter of humic acid and *G. mosseae* mycorrhiza, which showed an increase of 250 and 280%, respectively, compared to the control. According to the obtained results, the use of mycorrhiza especially *G. mosseae* and humic acid with a concentration of 300 mg/l can have a positive effect on the composition of effective substances and cause an increase in their amount.

Cite this article: Taheri Asghari, M., & Mohamadzadeh, H. (2024). Investigating the changes of some essential compounds and effective substances of *Thymus vulgaris* (L.) affecting foliar application of humic acid and mycorrhizal species. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(4), 117-129. Doi: 10.22059/ijfcs.2024.374447.655071.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.374447.655071

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

بررسی تغییرات ترکیبات مواد موثره و مقدار اسانس آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) متاثر از کاربرد برگی هیومیک‌اسید و گونه‌های مایکوریزا

مهدی طاهری اصغری[1]✉ | حمید محمدزاده[2]

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

۲. سازمان جهاد کشاورزی، استان کهگیلویه و بویراحمد، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
کاروتنوئید،
لیمونن،
لینالول،
میرسن.

چکیده

به منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی هیومیک‌اسید و کاربرد قارچ مایکوریزا بر گیاه دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه گونه قارچ مایکوریزا (شاهد، *Glomus mosseae*، *G.etunicatum* و *G. intraradices*) و سطوح کود هیومیک‌اسید (شاهد، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد اثر مایکوریزا و هیومیک‌اسید بر مقادیر کلروفیل a و b برگ آویشن معنی‌دار شد. بیشترین میزان کاروتنوئید نیز از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و مایکوریزا *G. mosseae* به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۲۵۶ درصد افزایش را نشان می‌داد. بیشترین میزان ترکیبات فنلی (۰/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و بدون تلقیح مایکوریزا به‌دست آمد؛ ولی تیمارهای هیومیک‌اسید با تیمار مایکوریزا *G. mosseae* تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. همچنین اثر متقابل مایکوریزا و هیومیک‌اسید بر عملکرد اسانس و ترکیبات اسانس لیمونن و لینالول در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد اسانس (۹۲/۴۵ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم هیومیک‌اسید و کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲۵۴ درصد افزایش را نشان داد. بیشترین میزان لیمونن و لینالول از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و مایکوریزا *G. mosseae* به‌دست آمد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۵۰ و ۲۸۰ درصد افزایش را نشان می‌داد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده کاربرد مایکوریزا به‌ویژه *G. mosseae* و هیومیک-اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر توانست بر افزایش ترکیبات مواد موثره اثر مثبتی داشته باشد.

استناد: طاهری اصغری، م.، و محمدزاده، ح. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات برخی ترکیبات اسانس و مواد موثره گیاه دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) در اثر کاربرد برگی اسیدهیومیک و گونه‌های مایکوریزا. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۴)، ۱۱۷-۱۲۹.
Doi: 10.22059/ijfcs.2024.374447.655071

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

گونه‌های آویشن، گیاهان چندساله علفی از خانواده Lamiaceae هستند که به صورت تجاری در مقیاس وسیع در بسیاری از کشورها کشت می‌شوند. آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) یک گیاه معطر و دارویی بومی نواحی شمالی منطقه مدیترانه غربی است (Aebisher *et al*., 2021). به دلیل اسانس آن به عنوان یک گیاه دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از دم‌کرده و جوشانده آن به عنوان ضد نفخ، هضم‌کننده، ضد اسپاسم، ضد التهاب و خلط‌آور استفاده می‌شود و مونوترپن‌ها، سسکوئی‌ترپن‌ها، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها در اسانس و عصاره آن یافت می‌شوند (Bistgani *et al*., 2019). این گیاه دارای خواص ضد باکتری، ضد قارچی و ضد ویروسی است و اغلب به عنوان یک نگهدارنده طبیعی در مواد غذایی و محصولات آرایشی استفاده می‌شود (Hammoudi *et al*., 2022).

یکی از مؤثرترین اقدامات در کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای بیولوژیک و ارگانیک است (Faridvand *et al*., 2021). هیومیک‌اسید به‌دلیل ترکیبات شبه هورمونی، تأثیرات مطلوبی بر رشد و نمو گیاهان دارد (Noroozisharaf & Kaviani, 2018). هیومیک‌اسیدها توانایی محافظت از گیاهان در برابر تنش‌های غیر زیستی و زیستی و همچنین تحریک رشد و نمو آنها را دارند و باعث افزایش عملکرد و تولید محصولات کشاورزی می‌شوند (Perminova *et al*., 2019). مزیت بالقوه دیگر برای اسیدهای هیومیک، کاهش تنش آبی است، زیرا گیاهان با تنظیم فشار اسمزی از طریق حفظ جذب آب و تورم سلولی به ماده هیومیک پاسخ می‌دهند و در نتیجه، اثرات تنش آبی را کاهش می‌دهند (Maitra *et al*., 2020). Yadegari (2022) در آزمایش خود که بر سه گونه آویشن انجام داد، بیان کرد که در بیشتر ترکیب‌های موثره اسانس، از تیمار ترکیبی کود کامل به همراه هیومیک‌اسید به‌دست آمد و در رقابت با بهترین تیمار بود. Alavi Asl *et al*. (2023) در پژوهش خود بر گیاه نعناء فلفلی (*Mentha piperita* L.) گزارش دادند که در محلول‌پاشی یک، دو و سه درصد هیومیک‌اسید ، درصد اسانس به‌ترتیب ۳۲/۲۵، ۶۲/۰۵ و ۷۲/۳۵ درصد افزایش یافت و افزایش غلظت محلول‌پاشی هیومیک‌اسید از صفر تا سه درصد، افزایش ۶۹/۲۸ درصدی را در عملکرد اسانس باعث شد. بررسی‌ها نشان داد کاربرد هیومیک‌اسید در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) باعث افزایش در محتوی کلروفیل کل، کاروتنوئید و میزان اسانس در این گیاه شد (Mafakheri & Asghari, 2018). در تحقیق دیگری که اثر هیومیک‌اسید بر گیاه آویشن را مورد بررسی قرار داده بودند، بیان شد که حداکثر درصد اسانس در سطح سوم آبیاری (شش روز یک‌بار) با کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید به‌دست آمد (Gorgini Shabankareh *et al*., 2018).

قارچ‌های مایکوریز آربسکولار (Arbuscular mycorrhizal fungi) که تقریباً با ۷۲ درصد از گیاهان آوندی در اکوسیستم‌های مختلف همزیستی می‌کنند، نقش مهمی در توسعه پایدار کشاورزی و طبیعی دارند (Qin *et al*., 2020). میزبان‌های گیاهی با جذب P، N، S، عناصر غذایی کم‌مصرف و آب منتقل‌شده از خاک، از قارچ‌های مایکوریز سود می‌برند (Lang *et al*., 2021). نتایج تحقیقی نشان داد که درصد کلونیزه‌شدن ریشه گیاه آویشن باغی با *G.mosseae* در حدود ۹۲ درصد و با *G.intraradices* در حدود ۶۸ درصد بود (Azimi *et al*., 2014). آنها بیان کردند گیاه آویشن باغی قادر به همزیستی با قارچ مایکوریزا بوده و این رابطه همزیستی با گونه *G. mosseae* بیشتر از گونه *G. intraradices* بود. Amani Machiani *et al*. (2021) با کاربرد قارچ مایکوریزا بر گیاه آویشن باغی نتیجه گرفتند که تیمار تنش ملایم همراه با کاربرد قارچ میکوریزایی *F. mosseae* منجر به بهبود کمیت و کیفیت اسانس آویشن شد. در تحقیق Haghir Ebrahimabadi *et al*. (2018) اثر مایکوریزا بر درصد و عملکرد اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) مورد بررسی قرار گرفت و آنها بیان کردند که بیشترین درصد و عملکرد اسانس و بیشترین درصد ترکیبات اصلی اسانس از تیمار کاربرد مایکوریزا *G. hoi* و *G. mosseae* به‌دست آمد. Saadi Moghaddam *et al*. (2020) با کاربرد مایکوریزا بر گیاه بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) بیان کردند که کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی به همراه قارچ‌های مایکوریزا علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی به بهبود کمیت و کیفیت اسانس بالنگو منجر شد. Golubkina *et al*. (2020) گزارش دادند که کاربرد قارچ‌های مایکوریزا به عنوان یک فناوری که سازگار با محیط زیست است، با افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی و افزایش مقاومت در برابر تنش‌ها و همچنین بهبود جذب آب، می‌تواند منجر به بهبود رشد گیاهان شود. با در نظر گرفتن اینکه گیاهان دارویی جهت درمان و سلامتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، با کاربرد تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش،

می‌توان از کاربرد زیاد کودهای شیمیایی برای تولید گیاهان دارویی کاست. هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر هم‌زمان استفاده از قارچ‌های مایکوریزا و هیومیک‌اسید در جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه آویشن باغی بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی هیومیک‌اسید و کاربرد قارچ مایکوریزا بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ 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 دما و بارش در سال‌های زراعی مورد آزمایش، در جدول ۱ آورده شده است. زمین مورد استفاده در هر دو سال در یک منطقه و محل بوده و چندین سال به صورت بایر قرار داشت. عوامل آزمایشی شامل سه گونه قارچ مایکوریزا (شاهد، *Glomus mosseae*، *G. etunicatum* و *G. intraradices*) و سطوح کود هیومیک‌اسید (شاهد (عدم مصرف)، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. گونه‌های قارچ مایکوریزا از کلینیک گیاه‌پزشکی ارگانیک واقع در اسدآباد همدان تهیه شده و در هر گرم آن، تعداد ۱۲۰ اسپور قارچ مایکوریزا وجود داشت. هیومیک‌اسید مورد استفاده نیز با نام تجاری سوپر هیومیک بود.

جدول ۱. میانگین دما و بارش سال‌های زراعی ۱۳۹۹ – ۱۴۰۰ و ۱۴۰۰ – ۱۴۰۱.

سال زراعی ۱۳۹۹ – ۱۴۰۰

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین بارش	9.1	22.1	82.7	3.2	21.8	8.3	9.7	13.5	5.1	2.5	11	0
میانگین دما (°C)	15.6	11.4	2.4	1.7	5.8	10.2	13.2	18.7	23.8	26.2	25.8	24.2

ادامه جدول شماره ۱

سال زراعی ۱۴۰۱ – ۱۴۰۰

	مهر September	آبان October	آذر November	دی December	بهمن January	اسفند February	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر Juan	مرداد July	شهریور August
میانگین بارش average rainfall (mm)	0.2	53.1	20.4	21.5	18.4	27.9	11.2	23.1	0.2	0	1.3	0
میانگین دما Average temperature (C°)	16.4	8.5	6.5	3.3	2.2	6.8	11.6	15.8	21.3	25	25.5	22.8

هیومیک‌اسید در غلظت‌های مشخص‌شده در طرح، با اسپری دستی و در سه مرحله محلول‌پاشی شد. مرحلهٔ اول محلول‌پاشی، زمانی که گیاهان در مرحلهٔ چهار تا شش برگی بودند و مرحله دوم و سوم آن به فاصلهٔ ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. برخی از ویژگی‌های خاک محل آزمایش و هیومیک‌اسید مورد استفاده در آزمایش، در جداول ۲ و ۳ آورده شده است.

عملیات کاشت آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) 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. برای ممانعت از تنش، بلافاصله بعد از کاشت عملیات آبیاری صورت گرفت و آبیاری دوم نیز سه روز بعد انجام شد. یک هفته پس از کاشت، تمام کرت‌ها بازبینی شده و در فضاهای خالی عملیات واکاری انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز در چندین مرحله به‌صورت وجین دستی انجام گرفت. قبل از کاشت و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون خاک، از کودهای فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به‌ترتیب با مقادیر ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و یک‌سوم کود اوره (۳۵ کیلوگرم در هکتار) استفاده و با خاک مخلوط شد. دو قسمت باقیمانده کود اوره نیز در مراحل پایان تنک‌کردن و قبل از گلدهی به کرت‌ها داده شد. در هر کرت پنج خط کاشت به طول چهار متر با فواصل ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بین کرت‌ها به جهت عدم اختلاط در آنها نیم متر فاصله و بین

تکرارها نیز دو متر فاصله قرار گرفت. قبل از کاشت، از خاک حاوی هیف‌های قارچ مایکوریزا (حدود ۱۲۰ اسپور در هر گرم خاک) در خطوط کاشت و زیر نشاءها به مقدار ۸۰ گرم در هر ردیف کاشت استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری صفات با در نظر گرفتن اثر حاشیه، به‌طور تصادفی ۱۰ گیاه از هر کرت انتخاب شد و صفات قطر کانوپی (بر حسب سانتیمتر و دایره فرض شد و با استفاده از کولیس انجام گرفت)، کلروفیل a و b، کلروفیل کل، اسانس و ترکیبات آن، ترکیبات فنلی و کاروتنوئید اندازه‌گیری شد. نمونه‌های گیاهی در زمان ۵۰ درصد گلدهی که بهترین زمان برداشت برای مواد موثره و اسانس می‌باشد، برداشت شدند (Hadi Panah *et al*., 2011).

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر در سال زراعی ۱۴۰۰ – ۱۳۹۹.

pH	هدایت الکتریکی خاک ($dS.m^{-1}$)	مواد خنثی‌شونده (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	رس (٪)	سیلت (٪)	ماسه (٪)	بافت خاک
7.5	2.38	5.2	0.32	0.03	5.9	141	22	18	60	لوم رسی شنی

ادامه جدول شماره ۱. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر در سال زراعی ۱۴۰۱ – ۱۴۰۰.

pH	هدایت الکتریکی خاک ($dS.m^{-1}$)	مواد خنثی شونده (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	رس (٪)	سیلت (٪)	ماسه (٪)	بافت خاک
7.5	2.21	5.4	0.28	0.03	4.7	156	24	16	60	لوم رسی شنی

جدول ۳. مشخصات هیومیک‌اسید مورد استفاده در این آزمایش.

ویتامین (٪)	روی (mg/kg)	بور (mg/kg)	نیتروژن (٪)	آهن (mg/kg)	کلسیم (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	آمینو اسید (٪)	هیومیک‌ اسید (٪)	مواد آلی (٪)	منیزیم (mg/kg)	مس (mg/kg)	نام تجاری
0.7	410	10	2	2500	3	0.05	12	6	37	92	12	23	سوپر هیومیک

۲–۱. اندازه‌گیری ترکیبات اسانس

برای اندازه‌گیری درصد اسانس، اسانس‌گیری از ۵۰ گرم نمونه گیاهی خشک‌شده در شرایط محیطی (برداشت‌شده از پیکره رویشی حاوی سرشاخه‌های گلدار در زمان گلدهی) (Csongor *et al*., 2023) به روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر (مدل فارماکوپه بریتانیا) در مدت زمان سه ساعت انجام شد. برای اندازه‌گیری ترکیبات اسانس از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent 7990B ساخت کشور آمریکا با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) و ستون 5MS-VF استفاده شد. دمای تزریق و آشکارساز به‌ترتیب روی ۲۳۰ و ۲۴۰ درجه سلسیوس تنظیم شد. گاز هلیوم با سرعت جریان یک میلی‌لیتر در دقیقه و نسبت تقسیم ۱:۲۴ مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های اسانس به نسبت یک به صد در هگزان، رقیق‌سازی و به‌میزان یک میکرولیتر به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد. نهایتاً، شناسایی ترکیب‌های اصلی اسانس با مقایسه زمان بازداری آنها با زمان بازداری استانداردهای خالص به‌دست آمد (Morshedloo *et al*., 2018).

برای تعیین محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل برگ و کاروتنوئید، ۶۰ میلی‌گرم نمونه برگ خشک‌شده که در زمان ۵۰ درصد گلدهی برداشت شده بودند (Hadi Panah *et al*., 2011) انتخاب شد و در هاون چینی به‌همراه سه میلی‌لیتر متانول ۹۹ درصد، ساییده و سپس به مدت پنج دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. عصاره استخراج‌شده را با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج‌های ۶۶۶ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۵۳ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید مورد سنجش قرار گرفت و محتوای کلروفیل و کاروتنوئید محاسبه شد (Lutts *et al*., 1996). برای اندازه‌گیری محتوای ترکیبات فنلی از معرف فولین سیوکالتیو استفاده شد. به این منظور به ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره ۲/۵ میلی‌لیتر واکنشگر فولین‌سیوکالتیو ۰/۲ نرمال اضافه شد، پس از پنج دقیقه دو میلی‌لیتر از محلول ۷۵ گرم بر لیتر کربنات سدیم اضافه شد. پس از گذشت دو ساعت، جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر در مقابل بلانک خوانده شد. گالیک‌اسید به عنوان استاندارد مورد استفاده قرار

گرفت (Slinkard & Singleton, 1977). نتایج حاصل توسط نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1.3) به صورت مرکب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون بارتلت استفاده شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳–۱. قطر کانوپی

نتایج نشان داد که اثر اصلی تیمار هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر قطر کانوپی در سطح یک درصد معنی‌دار شده و اثر متقابل معنی‌دار نشد (جدول ۴). با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین قطر کانوپی با کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید به‌دست آمد که حدود ۱۳ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۵). استفاده از اسیدهیومیک باعث رشد اندام‌های هوایی شده که دلیل آن را می‌توان افزایش در جذب عناصری مانند کلسیم، فسفر، پتاسیم، نیتروژن، آهن، روی و مس دانست. اسیدهیومیک با کلات‌کردن عناصر ضروری، باعث افزایش در جذب آنها شده که این امر در افزایش سرعت رشد محصول مؤثر خواهد بود و قطر کانوپی به سرعت افزایش می‌یابد (Tourfi & Shokuhfar, 2019). با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین قطر کانوپی با کاربرد *G. mosseae* حاصل شد و نسبت به شاهد ۲۵ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۵). Amani Machiani *et al.* (2021) نشان دادند که کاربرد قارچ مایکوریزا سبب افزایش ۱۳/۸ درصدی قطر کانوپی در گیاه آویشن نسبت به عدم کاربرد آن شد. همزیستی ریشه گیاه آویشن با قارچ مایکوریزا می‌تواند منجر به افزایش قطر کانوپی شود. بهبود صفات رشدی گیاه آویشن با کاربرد قارچ مایکوریزا را می‌توان به افزایش سطح جذب عناصر غذایی توسط ریشه و جذب بیشتر آنها نسبت داد (Golubkina *et al.*, 2020).

جدول ٤. تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در آویشن باغی متاثر از کاربرد برگی هیومیک‌اسید و گونه‌های مایکوریزا.

منابع تغییر	درجه آزادی	قطر کانوپی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a به b	ترکیبات فنلی	کاروتنوئید
سال (Year)	1	19.013 **	0.080 ns	0.033 ns	0.125 ns	0.027 ns	0.036 *	0.0072 ns
تکرار (Rep)	2	85.0555 **	0.679 *	0.076 *	0.717 **	0.348 ns	0.020 *	0.063 **
سال در تکرار (Rep in Year)	2	1.7222 ns	0.218 ns	0.0024 ns	0.111 ns	0.217 ns	0.030 *	0.00007 ns
هیومیک‌اسید (Humic acid)	2	30.7222 **	18.443 **	0.952 **	1.635 **	0.190 ns	0.279 **	0.273 **
مایکوریزا (Mycorhiza)	3	57.9398 **	6.493 **	0.655 **	3.412 **	11.871 **	0.394 **	0.289 **
M *H	6	4.4814 ns	0.201 ns	0.031 ns	0.127 *	0.209 ns	0.016 *	0.010 *
Year * H	2	1.0555 ns	0.195 ns	0.011 ns	0.005 ns	0.033 ns	0.026 *	0.001 ns
Year * M	3	3.3472 ns	0.266 ns	0.014 ns	0.037 ns	0.049 ns	0.012 ns	0.008 ns
Year * M* H	6	1.2222 ns	0.144 ns	0.009 ns	0.027 ns	0.148 ns	0.011 ns	0.008 ns
error	44	2.5707	0.188	0.020	0.042	0.382	0.0065	0.0037
CV		8.50	6.57	9.76	6.52	13.37	12.86	11.85

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

۳–۲. کلروفیل a، کلروفیل b و نسبت کلروفیل a به b

نتایج نشان داد که اثر تیمار هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر کلروفیل a و کلروفیل b در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). همچنین در نسبت کلروفیل a به کلروفیل b اثر مایکوریزا در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اثر هیومیک‌اسید معنی‌دار نشد (جدول ۴). با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین کلروفیل a و کلروفیل b با کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید بدست آمد که به‌ترتیب حدود ۳۱ و ۳۲ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۵). در تحقیقی اثر هیومیک‌اسید را بر گیاه گشنیز مورد آزمایش قرار داده و نشان دادند که بیشترین محتوای کلروفیل a و b مربوط به کاربرد دو

کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید بود (Sharifi Rad *et al*., 2016). هیومیک‌اسید با داشتن توانایی کلات‌کنندگی عناصر غذایی و با در اختیار قرار دادن آب و مواد غذایی بیشتر در گیاه، می‌تواند ساخت رنگیزه‌ها را افزایش داده و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه آسان‌تر کند (Sabouri *et al*., 2018).

ادامه جدول شماره ٤.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی Df	لیمونن Limonene	لینالول Linalol	ترپینئول terpinolene	میرسن myrcene	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال (Year)	1	0.0002 ns	0.125 ns	0.00001 ns	0.067 *	78.00 ns
تکرار (Rep)	2	0.038 **	0.058 ns	0.018 *	0.132 **	128.781 **
سال در تکرار (Rep in Year)	2	0.001 ns	0.004 ns	0.011 ns	0.067 **	52.47 ns
هیومیک‌اسید (Humic acid)	2	0.079 **	1.762 **	0.093 **	0.193 **	1157.52 **
مایکوریزا (Mycorhiza)	3	1.878 **	8.893 **	0.484 **	0.254 **	5567.75 **
M *H	6	0.031 **	0.211 **	0.006 ns	0.009 ns	98.88 **
Year * H	2	0.017 **	0.034 ns	0.001 ns	0.016 ns	14.64 ns
Year * M	3	0.004 ns	0.038 ns	0.005 ns	0.011 ns	179.02 **
Year * M* H	6	0.002 ns	0.018 ns	0.0007 ns	0.031 ns	17.63 ns
error	44	0.003	0.04	0.003	0.011	21.20
CV		4.54	9.18	15.25	7.57	6.98

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

جدول ۵. اثر تیمارهای هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر برخی ویژگی‌های گیاه آویشن.

		قطر کانوپی Canopy diameter (cm)	کلروفیل a Chlorophyll a mg/g FW	کلروفیل b Chlorophyll b mg/g FW	نسبت کلروفیل a به b Ratio of chlorophyll a to b	ترپینولن terpinolene (٪)	میرسن myrcene (٪)
سال (Year)	1	18.33 b	5.57 a	1.44 a	4.64 a	0.41 a	1.45 a
	2	19.36 a	6.64 a	1.48 a	4.60 a	0.41 a	1.39 b
هیومیک‌اسید (Humic acid)	شاهد (Control)	17.79 b	5.69 c	1.27 c	4.59 a	0.35 c	1.34 b
	۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر (150 mg per liter)	18.70 b	6.70 b	1.43 b	4.72 a	0.41 b	1.40 b
	۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (300 mg per liter)	20.04 a	7.43 a	1.67 a	4.56 a	0.47 a	1.52 a
مایکوریزا (mycorrhiza)	شاهد (Control)	16.61 d	6.00 d	1.71 a	3.54 c	0.18 d	1.32 c
	Glomus mosseae	20.83 a	6.76 b	1.26 c	5.41 a	0.57 a	1.58 a
	G.etunicatum	18.38 c	6.30 c	1.40 b	4.51 b	0.47 b	1.44 b
	G. intraradices	19.55 b	7.37 a	1.47 b	5.03 a	0.42 c	1.34 c

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

بررسی نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها مشخص کرد که بیشترین کلروفیل a از تیمار مایکوریزا *G. intraradices* به‌دست آمد. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل b از شاهد به‌دست آمد. البته مایکوریزاهای *G.etunicatum* و *G. intraradices* در گروه آماری مشابه قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری نسبت به هم نشان ندادند (جدول ۵). در نسبت کلروفیل a به کلروفیل b مایکوریزهای *G. mosseae* و *G. intraradices* دارای بیشترین مقدار بودند و در گروه مشابه قرار گرفتند. مایکوریزهای یاد شده در این مشخصه، نسبت به شاهد به‌ترتیب ۵۳ و ۴۲ درصد افزایش را نشان دادند (جدول ۵). تلقیح با قارچ مایکوریزا *P. indica* در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده، میزان کلروفیل a ، b و کل بافت برگ گیاه دارویی استویا را افزایش داد (Nabizadeh *et al*., 2023). مقدار کلروفیل گیاه به ویژگی‌های ذاتی و ژنتیکی گیاه، شرایط محیطی و تغذیه‌ای آن بستگی دارد. بنابراین هر چه شرایط تغذیه‌ای و محیطی، همچون عناصر غذایی، نور، رطوبت و غیره برای رشد گیاه فراهم‌تر باشد، توان گیاه برای تولید کلروفیل بیشتر خواهد بود. همزیستی مایکوریزایی از عواملی است که سبب بهبود در برخی از این شرایط شده و می‌تواند بر میزان کلروفیل گیاه اثر بگذارد (Mohammadi & Rejali, 2020).

۳-۳. کلروفیل کل

نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمار هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر کلروفیل کل در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد بیشترین کلروفیل کل از تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید بدون تلقیح به‌دست آمد و البته با تیمارهای ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و تلقیح با مایکوریزا *G. intraradices* و تیمار مایکوریزای یادشده و بدون هیومیک‌اسید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). افزایش قرائت کلروفیل‌سنج در تیمار با کاربرد مایکوریزا به سبب نقش مفید و مؤثر این قارچ‌ها در افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، روی، منیزیم و آهن می‌باشد. این عناصر در ساخت کلروفیل نقش اساسی داشته و با افزایش در غلظت این عناصر سنتز کلروفیل در گیاه افزایش پیدا می‌کند (Mohammadi & Rejali., 2020). با کاربرد قارچ‌های مایکوریزا به همراه هیومیک‌اسید میزان کلروفیل کل کاهش یافت و در شاهد و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید مقدار بالاتری داشت. علت کاهش در میزان کلروفیل در تیمارهای تلقیح مایکوریزایی را احتمالاً در اثر رقیق‌سازی (Dilution effect) بتوان مربوط دانست و برخی محققان علت کاهش در میزان کلروفیل کل را اثر رقیق‌سازی دانسته و بیان کرده‌اند که به دلیل افزایش قابل توجه رشد اندام‌های گیاهان مایکوریزی، غلظت عناصر در واحد وزن بوته کاهش می‌یابد (Bitarafan *et al*., 2017).

جدول ٦. اثر متقابل تیمارهای هیومیک‌اسید و میکوریزا بر برخی ویژگی‌های *Thymus vulgaris* L.

		کلروفیل کل Total chlorophyll mg/g FW	ترکیبات فنلی Phenolic compounds mg/g FW	کاروتنوئید Carotenoids mg/g FW	لیمونن Limonene mg/g FW	لینالول Linalol mg/g FW	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha^{-1})
شاهد (Control)	شاهد (Control)	3.35 a	0.66 a	0.30 b	0.61 d	1.25 c	36.41 c
	G.mosseae	2.08 c	0.60 a	0.52 a	1.45 a	2.54 a	71.95 a
	G.etunicatum	2.76 b	0.40 b	0.37 b	1.35 b	2.45 ab	69.44 a
	G. intraradices	3.18 a	0.42 b	0.47 a	1.25 c	2.24 b	55.51 b
هیومیک‌اسید ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر (Humic acid 150 mg per liter)	شاهد (Control)	3.51 a	0.79 a	0.33 c	0.76 c	1.45 b	41.98 d
	G.mosseae	2.85 c	0.77 a	0.56 a	1.51 a	2.95 a	92.45 a
	G.etunicatum	3.25 b	0.40 c	0.45 b	1.37 b	2.66 a	73.22 b
	G. intraradices	3.58 a	0.53 b	0.61 a	1.38 b	2.68 a	65.21 c
هیومیک‌اسید ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (Humic acid 300 mg per liter)	شاهد (Control)	3.78 a	0.87 a	0.42 c	0.91 d	1.48 d	49.81 d
	G.mosseae	2.76 c	0.80 a	0.77 a	1.53 a	3.50 a	87.63 a
	G.etunicatum	3.20 b	0.54 b	0.57 b	1.37 b	3.06 b	87.23 b
	G. intraradices	3.43 b	0.74 a	0.74 a	1.28 c	2.58 c	71.21 c

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

۳-۴. عملکرد اسانس

نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارهای هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر عملکرد اسانس در سطح یک درصد (p<0.01) معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین مقدار عملکرد اسانس از تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم هیومیک‌اسید و کاربرد مایکوریزا *G. mosseae* به‌دست آمد که نسبت به شاهد، ۲۵۴ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۶). Amani Machiani *et al*. (2021) نتیجه گرفتند که درصد اسانس آویشن با کاربرد مایکوریزا افزایش ۸/۵ درصدی را نشان داد. افزایش اسانس آویشن با کاربرد مایکوریزا را 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 فراهم‌بودن عناصر مهم در ترکیب اسانس، از جمله فسفر و نیتروژن در این افزایش موثر بوده است (Golubkina *et al*., 2020).

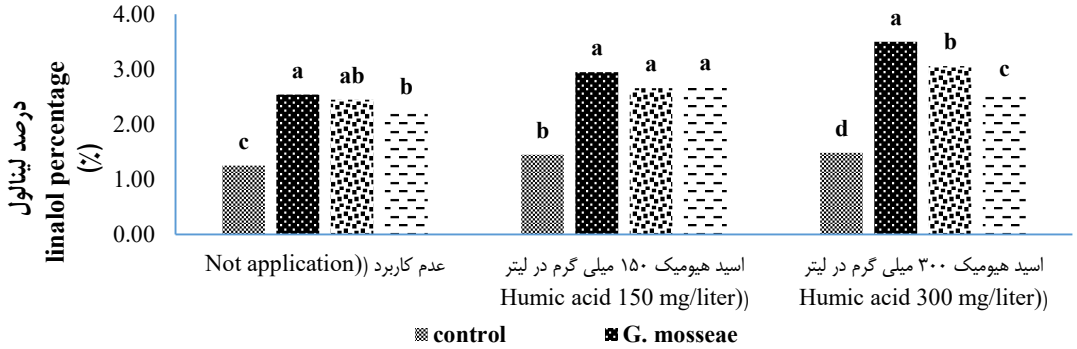
کاربرد اسیدهیومیک و کودهای آلی، باعث افزایش در وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس گیاه مرزه (*Satureja khuzistanica* Jamzad) شد (Alizadeh Ahmadabadi *et al*., 2016). کاربرد هیومیک‌اسید از طریق اثرات هورمونی و

تأثیر آن بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و از سویی دیگر با داشتن قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصرغذایی همچون نیتروژن و فسفر سبب افزایش در رشد و اسانس گیاهان می‌گردد. با افزایش میزان اسانس در اثر کاربرد هیومیک‌اسید، با توجه به اینکه اسانس‌ها، ترکیبات ترپنوئیدی بوده و بیوسنتز واحدهای سازنده آنها (ایزوپرونوئیدها) نیازمند وجود NADPH و ATP است و از سویی حضور عناصری همچون فسفر نقش مهمی در ساختارهای سازنده اسانس‌ها همچون دی‌متیل‌آلیل‌پیروفسفات و ایزوپنتنیل‌پیروفسفات دارند (Sangwan *et al*., 2001)، هیومیک‌اسید از طریق فراهم‌آوری جذب بیشتر نیتروژن و فسفر موجب افزایش در میزان اسانس پیکر رویشی گیاه می‌گردد. با توجه به نتیجه به‌دست‌آمده می‌توان چنین گفت که بین هیومیک‌اسید و مایکوریزا یک هم‌افزایی برای افزایش در درصد اسانس و عملکرد ماده خشک و در نتیجه افزایش در عملکرد اسانس وجود دارد.

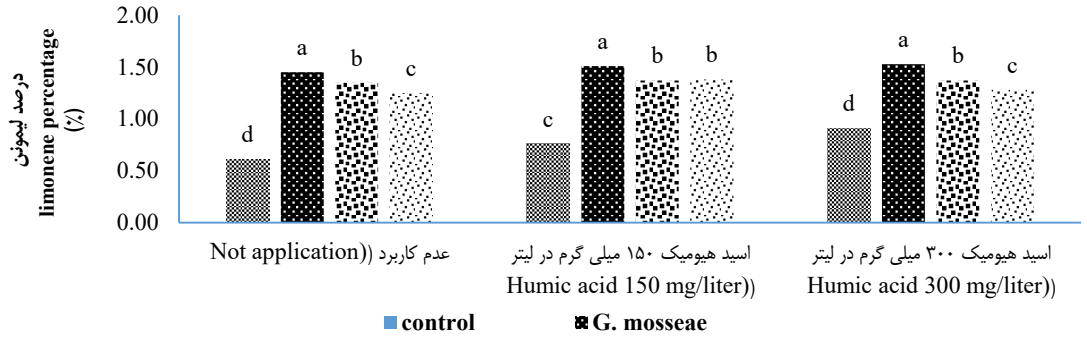
۳-۵. میزان میرسن، ترپینولن، لیمونن و لینالول

نتایج نشان داد که اثر تیمار هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر میزان میرسن و ترپینولن در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اثر متقابل آنها معنی‌دار نشد (جدول ۴). همچنین اثر متقابل تیمارهای هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر لیمونن و لینالول در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در بررسی مقایسه میانگین‌ها مشخص شد بیشترین میزان میرسن و ترپینولن از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید به‌دست آمد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۴ و ۳۵ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۵). همچنین بیشترین میزان میرسن و ترپینولن از تیمار مایکوریزا *G. mosseae* بود که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۰ و ۲۱۶ درصد افزایش نشان داد.

با بررسی مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین میزان لیمونن و لینالول از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و مایکوریزا *G. mosseae* به‌دست آمد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۵۰ و ۲۸۰ درصد افزایش را نشان داد (شکل‌های ۱ و ۲). محلول‌پاشی اسیدهیومیک منجر به افزایش در میزان اسانس و ترکیب‌های مؤثره اسانس در گونه‌های مرزه (*Satureja*) شد (Yadegari, 2022). با توجه به تأثیر اسیدهیومیک بر رشد و نمو گیاهان، یکی از دلایل افزایش فعالیت فتوسنتزی را می‌توان مرتبط با مهمترین بخش فتوسنتزکننده در گیاه یعنی برگ‌ها دانست؛ به‌طوری‌که با فراهمی عناصر غذایی، سطح برگ گیاه افزایش یافته و باعث تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کننده اسانس در برگ می‌شود (Yadegari, 2022). در خصوص اثرات قارچ مایکوریزا بر درصد و ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس چنین می‌توان گفت که فراهم‌بودن بیشتر عناصر غذایی برای گیاهان تلقیح‌شده، موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی شده و آن نیز به نوبه خود در افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه موثر است. تغذیه مناسب گیاهان، باعث تقویت مسیرهای دخیل در تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Weisany *et al*., 2015) و افزایش در میزان ترکیبات مواد موثره اسانس را می‌توان انتظار داشت.



شکل ۱. اثر متقابل مایکوریزا و هیومیک‌اسید بر درصد لینالول.



شکل ۲. اثر متقابل مایکوریزا و هیومیک‌اسید بر درصد لیمونن.

۳-۶. میزان کاروتنوئید

نتایج نشان داد که اثر متقابل هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر میزان کاروتنوئید در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در بررسی مقایسه میانگین‌ها مشخص شد بیشترین میزان کاروتنوئید از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و مایکوریزا *G. mosseae* به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۲۵۶ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۶). تیمار یادشده با تیمار کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و مایکوریزا *G. intraradices* تفاوت معنی‌داری نداشت. کاربرد هیومیک‌اسید باعث افزایش رشد و نمو و افزایش کاروتنوئیدها در گیاهان زراعی می‌شود (Octavio *et al*., 2023). Senjari Meijani *et al.* (2015) با آزمایش هیومیک‌اسید بر گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdarifa*) بیان کردند که هیومیک‌اسید باعث افزایش در محتوای کاروتنوئید شد. اسیدهیومیک را می‌توان به عنوان یک ماده محرک شیمیایی در نظر گرفت که از طریق فعال‌کردن بیان ژن‌های مربوط به مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه باعث افزایش تولید آنها در گیاهان می‌گردد (Mir *et al*., 2019). Kheyri *et al.* (2020) در پژوهش خود روی گیاه دارویی همیشه‌بهار عنوان کردند که میزان کاروتنوئید گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا *G. mosseae* به میزان ۷۷/۵ درصد افزایش نشان داده است. نتیجه تحقیق حاضر با نتایج طاهری اصغری (Taheri Asghari, 2022) که تلقیح با مایکوریزا سبب افزایش در مقدار کاروتنوئید برگ و گل در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalidemirs* L.) شد، مطابقت دارد. با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد مایکوریزا از طریق زیست‌فراهمی عناصر و برقراری رابطه تعادل در مواد غذایی خاک و بهبود در تغذیه معدنی، تاثیر مثبتی بر مسیرهای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه داشته و میزان مواد موثره را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۳-۷. میزان ترکیبات فنلی

نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمار هیومیک‌اسید و مایکوریزا بر میزان ترکیبات فنلی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در بررسی مقایسه میانگین‌ها مشخص شد بیشترین میزان ترکیبات فنلی از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و بدون تلقیح به‌دست آمد. البته تیمارهای هیومیک‌اسید با تیمار مایکوریزا *G. mosseae* تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۶). کاربرد هیومیک‌اسید باعث افزایش در رشد و نمو و افزایش فنول‌های محلول در گیاهان می‌شود (Octavio *et al*., 2023). Rahimi *et al.* (2022) بیان کردند که با کاربرد هیومیک‌اسید در گیاه آویشن باغی مقدار فنل افزایش یافت. در تحقیقی اثر مایکوریزا بر ترکیبات فنلی در گیاه دارویی گل گاوزبان (*Borago officinails* L.) مورد بررسی قرار دادند با نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش همخوانی دارد (Rahimi *et al*., 2016). با توجه به اینکه اسانس‌ها از گروه ترپن‌ها بوده و یا منشأ ترپنی دارند و واحدهای سازنده آن‌ها از جمله ایزوپنتنیل‌پیروفسفات (IPP) و دی‌متیل‌آلیل‌پیروفسفات (DMAPP) نیاز زیادی به NADPH و ATP دارند و از سویی حضور عناصری همچون فسفر و نیتروژن برای تشکیل ترکیب‌های فوق ضروری است (Mohammadpour Washwai *et al*., 2015)، بنابراین مایکوریزا در حضور هیومیک‌اسید با جذب کارآمد فسفر و نیتروژن توسط ریشه‌های آویشن، موجب افزایش مواد موثره ترکیبات فنلی می‌شود.

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش، در بین مایکوریزاهای مورد استفاده در این آزمایش، *G.mosseae* نسبت به بقیه، اثرگذاری بیشتری نشان داد. اثر تیمارهای مورد آزمایش بر دو ترکیب اسانس یعنی لیمونن و لینالول بالا بود و بیشترین میزان این ترکیبات و همچنین کاروتنوئید از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و مایکوریزا *G. mosseae* به‌دست آمد. با درنظرگرفتن اینکه هدف از کشت گیاهان دارویی، برداشت بیشتر به همراه افزایش مواد موثره آنها می‌باشد، می‌توان با اعمال تیمارهایی از جمله کاربرد هیومیک‌اسید و مایکوریزا، برای کاهش کاربرد کودهای شیمیایی و کاهش اثرات مخرب آنها بر محیط زیست و خاک اقدام کرد و از سویی دیگر موجبات اصلاح خاک را نیز فراهم آورد تا هم محصول باکیفیت تولید کرد و هم از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی جلوگیری کرد.

۵. سپاسگزاری

از دانشگاه پیام نور بابت تامین بخشی از هزینه‌های این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. منابع

Aebisher, D., Cichonski, J., Szpyrka, E., Masjonis, S., & Chrzanowski, G. (2021). Essential oils of seven lamiaceae plants and their antioxidant capacity. *Molecules*, *26*(13). https://doi.org/10.3390/molecules26133793.

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. (In Persian). DOI: 10.22059/ijfcs.2023.356625.654990.

Alizadeh Ahmadabadi, A., Khorasaninejad, S., & Hemti, K. (2016). Effect of drought stress and humic acid on content phenol, flavonoid and antioxidant of purple coneflower (*Echinacea purpurea*). *The first national conference of medicinal, aromatic and spicy plants*. Gonbad Kavus University. (In Persian).

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., Morshedlou, M., & 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. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *36*(6), 1022–1037. Doi: 10.22092/ijmapr.2021.351323.2835. (In Persian).

Azimi, R., Jangjoo, M., & Asghari, H. (2014). The effect of inoculation with mycorrhizal fungi on the initial establishment and morphological characteristics of the medicinal plant thyme in the natural environment. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *11*(4), 666-676. (In Persian).

Bistgani, Z.E., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F., & Morshedloo, M.R. (2019). Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products, 135*, 311–320. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055.

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).

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.

Faridvand, S., Rezaei-Chiyaneh, E., Battaglia, M., Gitari, H., Raza, M.A., & Siddique, K.H.M. (2021). Application of bio and chemical fertilizers improves yield, and essential oil quantity and quality of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) intercropped with mung bean (*Vigna radiata* L.). *Food Energy Secur*., *10*, 1–16. DOI: 10.1002/fes3.319.

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.

Gorgini Shabankareh, H., Khorasani Nejad, S., Sadeghi, M., & Tabasi, A. (2018). Effect of irrigation cycle and humic acid on morphophysiological and biochemical properties of thyme medicinal plant. *Journal of Plant Environmental Physiology, 13*(51), 67–82. (In Persian).

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.

Hammoudi, H.D., Krayem, M., Khaled, S., & Younes, S. (2022). A focused insight into thyme: Biological, chemical, and therapeutic properties of an indigenous Mediterranean herb. *Nutrients*, *14*(10), https://doi.org/10.3390/nu14102104.

Kheyri, Z., Moghaddam, M., & Moradi, M. (2020). Study the effect of different mycorrhizal fungi on some growth indices, photosynthetic pigments, flavonoids and carotenoid content of pot marigold flower. *Journal of Horticultural Plant Nutrition*, *3*(1), 37–50. (In Persian).

Lang, A.K., Jevon, F.V., Vietorisz, C.R., Ayres, M.P., & Hatala Matthes, J. (2021). Fine roots and mycorrhizal fungi accelerate leaf litter decomposition in a northern hardwood forest regardless of dominant tree mycorrhizal associations. *New Phytologist*, *230*, 316–326.

Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*(3), 389-398.

Mafakheri, S., & Asghari, B. (2018). Effect of seaweed extract, humic acid and chemical fertilizers on morphological, physiological and biochemical characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *20*, 1505-1516

Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J.B., Jena, J., Bhattacharya, U., Duvvada, S.K., Lalichetti, S., & Sairam, M. (2020). Intercropping system- A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agron.*, *11*(2), 343. https://doi.org/10.3390/agronomy11020343.

Mir, M., Talei, D., & Rafiei, F. (2019). Morpho-physiological responses of purslane (*Portulaca oleracea* L.) to humic acid under Nickle stress. *Scientific Journal of Horticultural Plant Nutrition*, *2*(1), 1–20. (In Persian).

Mohammadi, M., & Rejali, F. (2020). Effect of mychorhizal symbiosis on growth properties and colonization of common almond rootstock at water deficit conditions. *Scientific Journal of Soil Biology*, *9*(1), 15–29. (In Persian).

Mohammadpour Washwai, R., Goloi, M., Ramroudi, M., & 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. (In Persian).

Morshedloo, M.R., Maggi, F., Neko, H.T., & Aghdam, M.S. (2018). Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. *Industrial Crops and Products, 111*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.002. (In Persian).

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

Noroozisharaf, A., & Kaviani, M. (2018). Effect of soil application of humic acid on nutrients uptake, essential oil and chemical compositions of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under greenhouse conditions. *Physiol. Mol. Biol. Plants, 24*(3), 423–431. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0510-y.

Octavio, V.T., Ricardo, Luiz L.B., Danielle, França de O.T., *et al*., (2023). Humic foliar application as sustainable technology for improving the growth, yield, and abiotic stress protection of agricultural crops. A review, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.05.001.

Qin, Z., Zhang, H., Feng, G., Christie, P., & Gai, J. (2020). Soil phosphorus availability modifies the relationship between AM fungal diversity and mycorrhizal benefits to maize in an agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry, 144*, 107790.

Rahimi, A., Jahanbin, S., Salehi, A., & Faraji, H. (2016). The effect of mycorrhizal fungi on morphological characteristics, amount of phenolic compounds and chlorophyll fluorescence under drought conditions in *Borago officinails* (L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, *11*(42), 46–55. (In Persian).

Rahimi, A., Manji Mohammadi, M., Siavash Moghaddam, S., Heydarzadeh, S., & Gitari, H. (2022). Effects of stress modifier biostimulants on vegetative growth, nutrients, and antioxidants contents of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under water deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*, 2059–2072. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10604-6.

Sabouri, F., Sirousmehr, Al., & Gorgini Shabankareh, H. (2018). Effect of irrigation regimes and application of humic acid on some morphological and physiological characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, *9*(34), 13–24. (In Persian).

Sangwan, N.S., Farooqi, A.H.A., Shabih, F., & Sangwan, R.S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, *34*, 3-21.

Senjari Meijani, M., Siros Mehr, A.R., & Fakheri, B.A. (2015). Effect of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of *Hibiscus sabdarifa*. *Journal Crop. Improv*., *17*(2), 403–414. (In Persian).

Sharifi Rad, M., Najafi, S., & Esmailzadeh Bahadi, S. (2016). Investigation of the effect of humic acid on the amount of some secondary metabolites and antioxidant properties of coriander leaves. *International Conference on Agricultural Sciences, Medicinal Plants and Traditional Medicine*, Mashhad, https: //civilica.com/doc/740336. (In Persian).

Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture, 28*, 49-55.

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. DOI: 10.22124/jms.2022.6164. (In Persian).

Tourfi, F., & Shokuhfar, A. (2019). Effect of humic acid on yield, yield components and physiological parameters of wheat in deficit irrigation conditions. *Quarterly Journal of Plant Production*, *9*(2), 121–132.

Yadegari, M. (2022). Effects of NPK, botamisol, and humic acid on morphophysiological traits and essential oil of three satureja species under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *38*(1), 61–80. DOI: 10.22092/ijmapr.2022.356264.3073. (In Persian).