نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد چهاردهم، شماره ۳(۵۵)، پاییز ۱۳۹۹، صفحه ۳۴۴-۳۲۵

**مقاله پژوهشی** DOI: 10.30495/jcep.2020.679066

# تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی و اجزای اسانس گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) تحت تنش خشکی

**قباد سلیمی[۱]، محمد فیضیان[۲*] و ناصر علی‌اصغرزاد[۳]**

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۳/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱**

## چکیده

جذب عناصر غذایی و ترکیب اجزای اسانس گیاه تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. به منظور بررسی اجزای اسانس گیاه بادرشبو در پاسخ به تلقیح قارچ میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی بر اساس حداکثر تخلیه مجاز (MAD) (بدون تنش آبیاری کامل در حد ظرفیت مزرعه، ۰/۵ و ۰/۷۵ MAD) و دو سطح عدم تلقیح و تلقیح با قارچ (*Glumus verciforme*) بودند. اجزای اسانس از طریق کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی (GC/MS) شناسایی شدند. حدود ۳۶ ترکیب در گیاه بادرشبو در تلقیح با میکوریزا تحت تنش خشکی شناسایی شد که ۱۳ ترکیب، درصد بالاتری نسبت به بقیه ترکیبات دارا بودند. ترکیبات ژرانیال (۱۸/۳ درصد)، ژرانیول (۳۰/۹۸ درصد)، ژرانیل استات (۲۶/۷۸درصد) و نرال (۱۱/۹۴ درصد) بخش عمده اسانس را تشکیل می‌دادند. اعمال تنش خشکی و تلقیح با قارچ سبب افزایش درصد اجزای اصلی اسانس شد. اما میزان اسانس با افزایش شدت تنش خشکی تا ۰/۵۰ MAD کاهش یافت. بالاترین درصد اسانس (۱/۲۴ درصد) در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا در شرایط تنش ۰/۷۵ MAD به‌دست آمد. تنش خشکی سبب کاهش میزان عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه گردید. تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا، میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش داد. بالاترین میزان پتاسیم در شرایط بدون تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا بود. به‌طورکلی، تلقیح با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی باعث افزایش درصد عناصر غذایی و افزایش درصد اسانس در گیاه بادرشبو شد.

**واژگان کلیدی**: حداکثر تخلیه مجاز، ژرانیول، ژرانیال استات، کروماتوگرافی گازی–طیف سنجی جرمی.

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد و عضو هیات علمی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) m.feizian39@yahoo.com

۳- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

## مقدمه

بادرشبو گیاهی علفی، یک‌ساله با نام علمی (*Dracocephalum moldavica* L.) و نام‌های فارسی بادرشبی، بادرشبو، بادرشبویه و شاطرامرزه (Mozhafrian, 2003) متعلق به تیره نعناعیان (Lamiaceae) پر شاخ و برگ و منشعب با ارتفاع ۱۵ تا ۴۰ سانتی‌متر و گل‌های درشت آبی مایل به بنفش یا سفید است (Naghibi *et al.*, 2010). بادرشبو در شمال غربی ایران، آذربایجان، تبریز، ارومیه، یزد، مازندران (در جنگل‌های مرطوب) و در رشته کوه‌های البرز یافت می‌شود (Nasrabadi *et al.*, 2007). جنس بادرشبو در دنیا ۴۵ گونهٔ علفی و درختچه‌ای و در ایران هشت گونهٔ علفی یک‌ساله و چندساله معطر دارد که برخی از گونه‌ها انحصاری ایران هستند (Dastmalchi *et al.*, 2007). عصاره بادرشبویه برای رفع سردرد، سرماخوردگی، ضعف عمومی بدن، به‌عنوان مسکن در دردهای عصبی و اسپاسم‌های معدوی کلیوی دندان، برای شستشوی دهان و درد دندان استفاده می‌شود (Hussein *et al.*, 2006). اسانس آن دارای خاصیت ضدتوموری، آنتی‌اکسیدانی، ضدمیکروبی و ضدباکتریایی بوده و التیام دهنده زخم و جراحات می‌باشد. همچنین، اسانس این گیاه در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی، صنایع غذایی و عطرسازی، کاربردهای بسیاری دارد (Aprotosoaie *et al.*, 2016; Ghilavizadeh *et al.*, 2013). اسانس بادرشبو، بویی مطبوع و شبیه بادرنجبویه دارد. در این گیاه، ۶۶ ترکیب توسط گاز کروماتوگرافی-طیف سنجی جرمی شناسایی شده که ژرانیل استات، ژرانیال، ژرانیول و نرال اصلی‌ترین ترکیب‌های شناخته شده آن بوده و از مونوترپن‌های حلقوی اکسیژن‌دار هستند و ۹۰ درصد اسانس را تشکیل می‌دهند. گل و اندام رویشی بادرشبو (برگ‌ها و ساقه‌های جوان) دارای بیشترین درصد اسانس می‌باشند (Fadaee *et al.*, 2018).

تنش خشکی یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین تنش‌های غیرزنده در دنیا است و رشد و عملکرد گیاهان را در جهان به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک با محدودیت مواجه ساخته است (Wang *et al.*, 2014). گیاه بادرشبو تا حد زیادی به تنش خشکی مقاومت دارد و کشت آن می‌تواند در مناطق به نسبت خشک به عنوان گیاه دارویی مورد توجه قرار گیرد (Omidbaigi *et al.*, 2009). تولید و کیفیت متابولیت‌های ثانویه مثل آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، استروئیدها و اسانس‌ها در گیاهان دارویی به وسیله عواملی محیطی تغییر می‌یابند و تنش خشکی نیز یکی از عوامل مهم و مؤثر در کمیت و کیفیت ترکیبات مؤثره این گیاهان می‌باشد، بنابراین به‌کارگیری روش‌هایی که توسط آنها گیاهان دارویی با ماده مؤثره بیشتر تولید شوند حایز اهمیت است (Baher *et al.*, 2002). نتایج تحقیقات نشان داد که تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و درصد اسانس بادرشبو معنی‌دار بود و با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد ماده خشک کاهش و درصد اسانس افزایش یافت (Hassani, 2006; Safikhani *et al.*, 2007). بتایب و همکاران (Bettaieb *et al.*, 2009) گزارش کردند که کمبود آب تاثیرات متفاوتی بر اسیدهای چرب، عملکرد اسانس و ترکیب‌های اسانس گیاه مریم‌گلی دارد، به‌طوری‌که در تنش متوسط عملکرد اسانس افزایش پیدا می‌کند.

کودهای زیستی شامل ریزجانداران و متابولیت‌های آنها می‌باشد که قادر به بالا بردن تولید و کیفیت ماده مؤثره گیاهان دارویی مثل

آلکالوئیدها، استروئیدها، گلیکوزیدها و اسانس‌ها هستند (Mikovacki *et al*., 2010). قارچ‌های میکوریزای وزیکولار- آربوسکولار[1] یکی از انواع کودهای زیستی بوده که دارای رابطه همزیستی با ریشه اکثر گیاهان زراعی می‌باشد (Gogoi and Singh, 2011). قارچ‌های میکوریزا به‌عنوان کودهای زیستی به‌دلیل نقش تنظیم‌کنندگی سبب افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف شده و با راه‌اندازی مسیرهای پیام‌رسانی سبب افزایش توان استقرار و مقاومت گیاهان در مقابل آفات و بیماری‌ها شده و با ایجاد شبکه‌ی هیف در ریزوسفر بر اصلاح و حفظ ساختار خاک و انباشت آب در محیط ریشه مؤثر هستند و همین امر سبب مقاومت گیاه بر تنش خشکی می‌شود (Ghanta *et al*., 2013). نتایج تحقیقات نشان داده است که در شرایط عرصه‌های طبیعی و در اکوسیستم‌های طبیعی ۹۰ درصد ریشه گیاهان در طبیعت با میکوریزاها همزیستی دارند (Brundrett, 2002).

همزیستی گیاهان با قارچ میکوریزا علاوه بر تأثیر مثبت بر کمیت تولید گیاه، دارای اثرات مثبت زیادی بر کیفیت نیز می‌باشد. همزیستی با میکوریزا اثرات سوء ناشی از فقر عناصر غذایی، تنش‌های خشکی و شوری را کاهش داده (Sasanelli *et al*., 2009) و رشد گیاه، جذب عناصر غذایی پر مصرف از جمله نیتروژن، فسفر، برگشت‌پذیری (پس از تنش) و تحمل گیاه را افزایش می‌دهد (Franken, 2012). به عقیده محققان هرگونه کاهش در تأمین آب در مراحل رشد و نمو گیاه، سبب کاهش جذب عناصر شده و منجر به کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آنها به دانه‌ها می‌شود (Scharf *et al*., 2015). از آنجا که در اغلب خاک‌های زراعی، کمیت و کیفیت ارگانیسم‌های خاک‌زی در حد مطلوب نیست، مصرف کودهای زیستی به‌منظور بهبود استقرار و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، ضمن حفظ محیط زیست، پایداری عملکرد و کیفیت تولید را در گیاهان دارویی به‌همراه می‌آورد (Brundrett, 2002). کاربرد کودهای زیستی در کشت گیاهان دارویی، اثرات منفی ناشی از تنش خشکی بر کیفیت اسانس آنها را نیز کاهش می‌دهد (Sharma *et al*., 2009). در تحقیق مندل (Mandal *et al*., 2013) تلقیح گیاه دارویی استویا با قارچ میکوریزا سبب بهبود بیوماس شاخه‌ها و افزایش غلظت گلیکوزیدهای اسانس این گیاه دارویی نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد. همزیستی قارچ با ریشه گیاه دارویی (*Coleus forskohlii*) منجر به گلدهی زودتر، تعداد گل بیشتر، گل‌های بزرگ‌تر و قدرتمندتر شده که نتیجه آن توسعه گل‌آذین، افزایش مواد مؤثره گل‌آذین و افزایش اسانس کلی گیاه در مقایسه با گیاه شاهد شد (Das *et al*., 2012). مطالعه‌ای روی گیاه دارویی زنیان (*Carum copticum*) نشان داد که کود زیستی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد (Ghilavizadeh *et al*., 2013). استفاده از میکوریزا در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) جذب مواد مغذی و تولید متابولیت‌های ثانویه را بهبود می‌بخشد و همچنین باعث افزایش عملکرد و کیفیت متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Zaller *et al*., 2011).

با توجه به اهمیت دارویی گیاه بادرشبو و اثرات مطلوب کاربرد قارچ‌های میکوریزا در بهبود عملکرد کمی و کیفی و نیز تعدیل تنش خشکی

---

۱- Vesicular Arbuscular Mycorrhizal (VAM)

در گیاهان و از سوی دیگر وقوع خشک‌سالی‌های مکرر در کشور، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد قارچ میکوریزا بر اجزای اسانس گیاه دارویی بادرشبو و جذب عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در شرایط تنش خشکی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه به‌صورت گلدانی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش خشکی در سه سطح شامل، ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل استفاده، ۰/۵۰ حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل استفاده و بدون تنش خشکی و فاکتور تلقیح با قارچ میکوریزا در دو سطح شامل بدون تلقیح با قارچ (شاهد) و تلقیح با قارچ (*Glomus versiforme*) بود. بذر گیاه بادرشبو از شرکت پاکان بذر تهیه گردید. برای انجام آزمایش، ابتدا پنج کیلوگرم خاک پاستوریزه شده با رطوبت اولیه حدود ۱۰ درصد در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر ریخته شد و قبل از کشت با توجه به تعداد اسپورها در مایه تلقیح قارچی به ازای هر کیلوگرم خاک به میزان ۱۰ گرم از قارچ میکوریزا گلوموس ورسی‌فرم (*G. versiforme*) در ۱۰ گرم خاک از مایه تلقیح حدود ۷۵۰ اسپور معادل ۷۵ اسپور در گرم خاک می‌باشد، در عمق پنج سانتی‌متری زیر بذر به هر یک از گلدان‌های تیمار قارچی برای مایه‌کوبی اضافه شد (Aliasgharzad *et al.*, 2006). بذرها در ۱۵ اردیبهشت سال ۱۳۹۶ کشت شدند و گیاهان در اوایل شهریور برداشت شدند. برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است. گلدان‌های کشت شده تحت شرایط کنترل شده گلخانه با دمای ۲ ± ۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰٪ قرار داده شدند و در فواصل زمانی دو روز یک بار آبیاری شدند. تیمار تنش خشکی در مرحله ۶-۴ برگی گیاه آغاز گردید و تا زمان برداشت اعمال تنش خشکی ادامه داشت. دور آبیاری و تنش خشکی بر اساس حداکثر تخلیه مجاز رطوبت از خاک منطقه توسعه ریشه ۰/۷۵ و ۰/۵۰(MAD) و صفر (بدون تخلیه و حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی) اعمال شد (رابطه ۲). برای اعمال تنش خشکی، بافت خاک، چگالی ظاهری خاک، رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی و آب قابل نگهداری خاک اندازه‌گیری شد و همچنین MAD مناسب برای گیاه بادرشبو از نشریه فنی شماره ۵۶ فائو (Allen *et al.*, 1998) به‌دست آمد و از رابطه ۱ رطوبت لازم برای اعمال تنش خشکی محاسبه شد:

$$AW = \frac{(\theta_{FC} - \theta_{WP})}{100} \times D \times \rho_b$$ رابطه ۱:

در این رابطه AW: آب قابل نگهداری در خاک بر حسب سانتی‌متر، $\theta_{Fc}$: درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای بر حسب گرم بر گرم، $\theta_{wp}$: درصد رطوبت نقطه پژمردگی بر حسب گرم بر گرم، D : ارتفاع ریشه در خاک به سانتی‌متر و $\rho_b$: جرم مخصوص ظاهری بودند.

$$RAW=AW \times MAD$$ رابطه ۲:

که RAW: آب سهل الوصول بر حسب سانتی متر و MAD: حداکثر تخلیه مجاز بود. حداکثر تخلیه مجاز در این آزمایش‌ها ۰/۷۵، ۰/۵ و بدون تخلیه (نگهداشتن خاک در رطوبت ظرفیت مزرعه) در نظر گرفته شد. هنگامی که ۸۰

درصد بوته‌ها به مرحله گلدهی رسیدند، بخش هوایی گیاهان برداشت و در شرایط سایه آفتاب و بدون دریافت نور مستقیم خورشید خشک شدند. از تمامی تیمارها از برگ و سرشاخه گل‌دهنده پس از رسیدن به رطوبت حدود ۱۰ تا ۱۴ درصد به مقدار ده گرم ماده خشک برداشت و نمونه‌های ۴۰ گرمی تهیه شده، کاملاً خرد و مخلوط گردید.

استخراج اسانس از نمونه‌ها در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه محقق اردبیلی با روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام گرفت. پس از رسیدن دمای آب به ۲۰۰ درجه سلسیوس در دیگ کلونجر، به مدت دو ساعت حرارت داده شد، مایع روغنی به‌دست آمده توسط سولفات سدیم خشک و به دقت توزین گردید و جهت جلوگیری از نفوذ نور تا زمان آنالیز در جای تاریک و دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شد. از رابطه ۳ جهت تعیین درصد اسانس استفاده گردید (Adams, 2007).

رابطه ۳: $$\text{درصد اسانس} = \left(\frac{\text{وزن اسانس (g)}}{\text{وزن خشک ماده اولیه (g)}}\right) \times 100$$

شناسایی ترکیبات اسانس در دانشگاه محقق اردبیلی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Shimadzu 9A ساخت کشور ژاپن انجام و اجزای اسانس گیاه بادرشبو در جداول ۳ و ۴ ارایه شده است. ستون دستگاه با نام تجاری DB-5 ساخت شرکت J&W به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر بود که سطح داخلی آن با فاز ساکن از جنس Phenyl وDimethyl Siloxane به ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر پوشیده شده بود. برنامه‌ریزی حرارتی ستون به این صورت بود که از دمای اولیه ۶۰ درجه سلسیوس تا دمای نهایی ۲۱۰ درجه سلسیوس که در هر دقیقه ۳ درجه سلسیوس به آن افزوده شد. گاز حامل هلیوم با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد و فشار ورودی آن به ستون برابر ۳ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع تنظیم شده بود. کروماتوگراف گازی متصل به طیف سنج جرمی GC/MS، دستگاه کروماتوگراف گازی مدل Varian 3400، متصل شده به دستگاه طیف سنج جرمی Satuorn ll، ستون همانند ستون دستگاه GC بود. فشار گاز سر ستون ۳۵ پوند بر اینچ مربع، انرژی یونیزاسیون معادل ۷۰ الکترون ولت، برنامه‌ریزی حرارتی ستون از ۴۰ تا ۲۵۰ درجه سلسیوس و دمای ترانسفرلاین ۲۷۰ درجه سلسیوس تنظیم گردید (Stamatopoulos *et al.*, 2013). درصد ترکیب‌های تشکیل‌دهنده هر اسانس پس از جداسازی به‌همراه شاخص بازداری محاسبه شد.

به‌منظور بررسی میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مرحله گلدهی از بخش هوایی تمامی تیمارها و تکرارها نمونه‌گیری انجام شد. اندازه‌گیری نیتروژن نمونه‌ها توسط دستگاه میکروکجلدال الکتروترمال انگلستان انجام شد. این کار با استفاده از نیم گرم نمونه گیاهی و پس از انجام عمل هضم و تقطیر صورت گرفت (Anonymous, 2000). برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم، ابتدا نیم گرم نمونه گیاهی آسیاب شده به مدت چهار ساعت در کوره با دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل JENWEY-6700 ساخت انگلستان با طول موج ۶۶۰ نانومتر برای اندازه‌گیری فسفر (Ali-ehyaeie and Behbahnizade, 1993) و از دستگاه فلیم فتومتر مدل JENWEY- PEP7 انگلستان برای اندازه‌گیری پتاسیم استفاده شد (Hamada and EL-enany, 1994).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. در مواردی که اثر متقابل معنی‌دار بود برای مقایسه میانگین برهم‌کنش‌ها از برش‌دهی استفاده شد.

## نتایج و بحث

### درصد اسانس و اجزای تشکیل دهندهٔ آن:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا و نیز اثر متقابل آنها بر درصد اسانس بادرشبو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که بالاترین میزان اسانس (۱/۲۴ درصد) در تیمار ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز (تنش متوسط) به دست آمد و تلقیح با قارچ میزان اسانس را افزایش داد (شکل ۱). اردکانی و همکاران (Ardakani *et al*., 2007) گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب افزایش میزان اسانس و عملکرد اسانس گیاه بادرشبو گردید. رضاپور و همکاران (Rezapor *et al*., 2011) دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد اسانس گیاه دارویی سیاهدانه شد اما با تشدید تنش درصد اسانس افزایش یافت.

در این تحقیق، اسانس گیاه بادرشبو پس از استخراج به‌وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی و طیف‌سنجی جرمی مورد آنالیز قرار گرفت و حدود ۳۶ ترکیب شیمیایی از اسانس گیاه بادرشبو تحت سطوح مختلف تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا شناسایی شد. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از کروماتوگرافی گازی (اجزای اسانس بادرشبو) در (جدول ۳) آورده شده است. از میان این ترکیبات آنالیز شده، برخی از آنها ناشناخته بودند. منظور از ناشناخته بودن این است که این ترکیبات در اسانس ردیابی شدند ولی ترکیبات جدیدی بودند که هنوز اطلاعاتی راجع به ساختار این ترکیبات در منابع علمی موجود نیست. همچنین، برخی ترکیبات با مقادیر بسیار اندک در اسانس وجود داشتند (جدول ۴). ترکیبات تشکیل دهنده عمده اسانس (۱۳ ترکیب)، درصد کمی هریک از آنها و شاخص بازداری مربوطه را در تیمارهای تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزای (*G. versiforme*) نشان می‌دهد.

از میان ۱۳ ترکیب معرفی شده در جدول ۳، ترکیباتی مانند ژرانیول، ژرانیال، ژرانیال استات و نرال به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۸/۳، ۳۱/۲، ۲۶/۷۵ و ۱۱/۵۳ درصد، به‌طور متوسط در تیمارهای تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا (*G. versiforme*) بخش عمده اسانس گیاه بادرشبو را تشکیل می‌دادند. ترکیبات دیگر مانند توتارن (۱/۳۳درصد)، اکتادکانول استات (۱/۲۴درصد)، لینالول (۱/۱۴درصد) و نرول (۰/۸۲درصد) با مقادیر کمتری در اسانس گیاه بادرشبو وجود داشتند (جدول ۴). ژرانیال، نرال، ژرانیل استات و ژرانیول از مونوترپن‌های حلقوی اکسیژن‌دار هستند و ۹۰٪ اسانس بادرشبو را تشکیل می‌دهند (Omidbaigi *et al*., 2009). سنبلی و همکاران (Sonboli *et al*., 2008) گزارش کردند ترکیبات نرال، ژرانیال، ژرانیل استات و ژرانیول به‌ترتیب با ۳۲/۱، ۲۱/۶، ۱۹/۹ و ۱۷/۶ درصد اجزای اصلی اسانس بادرشبو را تشکیل می‌دهند. همچنین، گزارش شده است که سیترال، بتاسیترال، ژرانیال استر اجزای اصلی اسانس بادرشبو می‌باشند (Shuge *et al*., 2009).

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اجزای اسانس گیاه بادرشبو تحت تأثیر تیمارهای

اعمال شده آزمایش قرار گرفتند. سطوح مختلف تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا مقادیر ترکیبات اسانس را به‌طور متفاوتی تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). طبق نتایج (جدول ۴)، بیشترین مقدار ترکیبات ژرانیال، ژرانیال استات و نرول در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا و تنش خشکی ۰/۷۵ MAD حاصل شد (به‌ترتیب ۳۴ ، ۳۰/۹ و ۱/۱ درصد). میزان ترکیبات دیگر مانند ژرانیول، نرال و اکتادکانول استات نیز در شرایط تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا دچار تغییر شد و پاسخی متفاوت از ترکیبات دیگر نشان داد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار ترکیب ژرانیول، نرال و اکتادکانول استات (به‌ترتیب ۲۲، ۱۳/۶ و ۱/۶ درصد) در شرایط تنش خشکی ۰/۵ MAD و تلقیح با قارچ میکوریزا حاصل شد.

شکل ۲ میانگین میزان ترکیبات تشکیل دهنده اسانس را در سطوح مختلف تنش خشکی نشان می‌دهد. به‌طورکلی، تنش خشکی سبب افزایش میزان ترکیبات تشکیل دهنده اسانس بادرشبو شد. اما واکنش ترکیبات مختلف به شدت تنش خشکی مشابه نبود. به‌عنوان مثال مقادیر برخی ترکیبات مانند ژرانیال، ژرانیل استات و نرول با افزایش شدت تنش خشکی از ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز (تنش خشکی متوسط) به ۰/۵۰ (تنش خشکی شدید) به‌ترتیب از مقادیر ۳۴/۰۱، ۳۰/۹۶ و ۱/۱۳ درصد به مقادیر به‌ترتیب ۳۰/۶۴، ۲۴/۰۵ و ۰/۴۶ درصد کاهش یافت (شکل ۲). همانند سایر گیاهان، گیاهان دارویی نیز به شدت تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند که بر حسب شدت و مدت تنش خشکی تغییراتی در کمیت اسانس و نیز اجزای تشکیل دهنده اسانس از جمله آلکالوئیدها و فلاونوئیدها و سایر ترکیبات از خود نشان می‌دهند (Petropoulos *et al*., 2008). به گزارش برخی محققان در شرایط تنش خشکی، گیاهان متابولیت‌های ثانویه بیشتری را برای واکنش و سازگاری با شرایط نامساعد محیطی تولید می‌کنند که این امر منجر به افزایش درصد ماده مؤثره خواهد شد (Petropoulos *et al*., 2008; Amiri, *et al*., 2017). عباس‌زاده و همکاران (Abaaszadeh *et al*., 2007) نیز گزارش کردند تنش شدید خشکی باعث کاهش عملکرد مواد آلی و اجزای آن از جمله اسانس در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) شده است. بحرینی‌نژاد و همکاران (Bahreininejad *et al*., 2014) افزایش درصد اسانس گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار درصد اسانس و عملکرد اسانس در گیاه نعنا فلفلی (*Mentha peperita*) شد (Khorasaninejad *et al*., 2011). عندلیبی و نوری (Andalibi and Nouri, 2014) کاهش درصد اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare*) را در اثر وقوع تنش خشکی شدید، گزارش کردند.

تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش درصد اغلب ترکیبات اصلی بادرشبو نسبت به شاهد شد (شکل ۳). مسیر بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌تواند توسط میکروارگانیسم‌ها تحریک شود. به گزارش محققان تلقیح نعناع فلفلی با میکوریزا در مقایسه با گیاهان شاهد، میزان اسانس گیاه و همچنین اجزای اسانس را تغییر می‌دهد (Mucciarelli *et al*., 2003). استفاده از میکوریزا در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) جذب مواد مغذی و تولید متابولیت‌های ثانویه را بهبود بخشید و همچنین باعث افزایش عملکرد و کیفیت متابولیت‌های

ثانویه شد (Zaller *et al*., 2011). تلقیح گیاه بادرشبو با دو سویه میکوریزا، *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* تحت شرایط تنش شدید خشکی، میزان رشد و عملکرد و درصد اسانس را ۴۵ تا ۱۰۰ درصد افزایش داد (Fadaee *et al*., 2018). در پژوهشی تلقیح گیاه دارویی گشنیز با دو گونه قارچ میکوریزا *G. fasiculatum* و*G. macrocarpum* سبب افزایش قابل ملاحظه کمیت اسانس گشنیز در مقایسه با گیاهان شاهد شد، به‌طوری‌که میزان اسانس در گیاهان تلقیح شده با گونه‌های مذکور به‌ترتیب در حدود ۲۸ و ۴۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد، بیشتر بود (Kapoor *et al*., 2004). یاداو و همکاران (Yadav et al., 2015) در یک آزمایش گلخانه‌ای در بررسی تاثیر تلقیح با قارچ‌های میکوریزا *G. mosseae* و *Acaulospora laevis* به تنهایی و در ترکیب با *Trichoderma viride* روی گیاه آفتابگردان بیشترین درصد اسانس را در شرایط تیمار با *G. mosseae* + *A. laevis* همراه با *T. viride* گزارش و اظهار داشتند که قارچ میکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش جذب آب، کنترل بیولوژیکی پاتوژن‌ها و سنتز هورمون‌های رشد در گیاه باعث بهبود رشد گیاهان و افزایش درصد اسانس می‌شوند.

**جذب عناصر پرمصرف:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس میزان عناصر پرمصرف در گیاه نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر میزان عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین، اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر میزان پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی بر درصد عناصر نیتروژن و فسفر (شکل ۴-الف و شکل ۵-الف) نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان عناصر کاهش یافت. با افزایش شدت تنش خشکی، به‌علت کاهش رطوبت موجود در خاک، اغلب عناصر، یا در خاک تثبیت می‌شوند و یا برای گیاه قابل جذب نمی‌باشند. همچنین، با کاهش جذب آب به‌علت پایین آمدن سطح رطوبت خاک، عناصر غذایی که همراه با آب وارد گیاه می‌شوند، توانایی ورود به گیاه را از دست داده و در نهایت مقدار آنها در بافت‌ها و برگ‌ها کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین اثر اصلی تلقیح با قارچ میکوریزا، افزایش میزان عناصر نیتروژن و فسفر (شکل۴-ب و شکل ۵-ب) را در اثر تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر میزان عناصر نیز نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان عنصر پتاسیم در گیاه کاهش یافت، اما تیمار تلقیح با قارچ توانست این کاهش را جبران نماید (شکل ۶). به‌طوری‌که، در تیمارهایی که تلقیح با قارچ انجام شده بود در تمامی سطوح تنش خشکی میزان پتاسیم از نظر آماری مشابه و به‌طور معنی‌داری میزان پتاسیم افزایش یافت. در تنش خشکی ۰/۷۵ MAD میزان پتاسیم در تلقیح با قارچ میکوریزا نسبت به عدم تلقیح با قارچ به ترتیب ۲/۳۹ و ۱/۵۶ درصد بود و در تنش خشکی ۰/۵ MAD میزان پتاسیم در تلقیح با قارچ میکوریزا نسبت به عدم تلقیح به‌ترتیب ۲/۳۷ و ۱/۳۵ درصد بود (شکل ۶). پتانسیل قارچ‌های میکوریزا در افزایش تحمل گیاه به تنش غیرزنده از گذشته تاکنون مطالعه و اثبات شده است و همزیستی آنها در سیستم‌های کشاورزی پایدار از اهمیت فوق‌العاده‌ای برای حفظ و بهبود کیفیت خاک و تولیدات زراعی تحت شرایط آب و هوایی

سخت و پرتنش خواهد بود (Lal, 2009). همزیستی میکوریزایی سبب افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه در خاک‌های فقیر می‌شود. افزایش جذب ممکن است به‌دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از راه نفوذ میسیلیوم قارچ در خاک و به تبع آن دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک باشد. قارچ‌ها با تولید هورمون‌های گیاهی و افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌توانند رشد گیاه و رشد ریشه را تشدید کنند، در نتیجه ظرفیت جذب عناصرغذایی را بالا برده و شانس گیاه را در اجتناب از خشکی افزایش می‌دهند (Alguacil *et al*., 2004; Barea *et al*., 2005). به‌گزارش (James *et al*., 2008) افزایش میزان عناصر غذایی می‌تواند ناشی از گسترش ریسه‌های خارجی قارچ و در نتیجه افزایش سطح جذب و انتقال مواد غذایی به ریشه گیاه باشد. همچنین، تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول درآید و برای ریشه قابل جذب گردد (Song, 2005). نتایج آزمایش (Aliabadi Farahani and Valadabadi, 2010) در گیاه گشنیز حاکی از آن است که کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش مقدار فسفر اندام هوایی گردید که دلیل این امر، ساز و کار عمل قارچ میکوریزا در جذب فسفر می‌باشد. پس از رویش اسپورهای قارچی و گسترش آنها در ریزوسفر، بخشی از ریسه‌ها وارد سیستم ریشه گیاه شده و سبب کاهش غلظت اسید آبسیزیک گشته و میزان سیتوکینین را افزایش می‌دهند. این عمل باعث گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب می‌گردد. ریسه‌های برون ریشه‌ای نیز با ترشح اسیدهای آلی حل‌کننده فسفات‌های نامحلول نظیر اسید مالیک، جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهند (Khalvati *et al*., 2005). وایت و همکاران (White *et al*., 2008) و نوتیال و همکاران (Nautiyal *et al*., 2010) نیز گزارش کردند که قارچ میکوریزای *G. mosseae* سبب افزایش جذب پتاسیم، فسفر، نیتروژن، آب و مواد معدنی نسبت به تیمار عدم تلقیح می‌شود. گوپتا و همکاران (Gupta *et al*., 2002) گزارش کردند که تلقیح گیاه نعناع با گونه *G. fasiculatum* به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان جذب پتاسیم را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، افزایش داد.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده در این آزمایش نشان داد که به‌طورکلی تنش خشکی سبب کاهش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه بادرشبو شد و با افزایش شدت تنش خشکی میزان جذب عناصر کاهش یافت. تلقیح بذور با قارچ میکوریزا (*G. versiforme*) اثرات مخرب خشکی را به‌طور موثری کاهش داد. لذا، می‌توان از این تیمار جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی استفاده کرد و همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیبات اسانس گیاه بارشبو تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله تنش خشکی و فراهمی عناصر غذایی قرار می‌گیرند. در این تحقیق افزایش سطوح تنش خشکی، تأثیر متفاوتی بر ترکیبات عمده تشکیل دهنده اسانس بادرشبو داشت به طوری‌که تلقیح با قارچ میکوریزا، احتمالاً از طریق ایجاد تغییر در فراهمی عناصر غذایی و آب توانست درصد ترکیبات تشکیل دهنده اسانس را افزایش دهد.

**جدول ۱**- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

**Table 1-** Physical and chemical properties of the soil experimental region

| **هدایت الکتریکی** EC (dS/m) | **اسیدیته** pH | **پتاسیم** K (mg/g) | **فسفر** P (mg/g) | **نیتروژن** N (%) | **بافت خاک** Soil Texture |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.83 | 7.4 | 247 | 6.6 | 0.049 | **لوم رس شنی** Sandy-clay -loam |

**جدول ۲**- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و تلقیح با میکوریزا بر میزان جذب عناصر پرمصرف در بادرشبو

**Table 2-** Analysis of variance for the effect of drought stress and mycorrhiza inoculation on content of nutrient in (*D. moldavica*)

| **منابع تغییر** Source of Variation | **درجه آزادی** df | **میانگین مربعات** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **اسانس** Essential oil | **نیتروژن** Nitrogen | **پتاسیم** Potassium | **فسفر** Phosphorus |
| **تنش خشکی** Drought stress (A) | 2 | $0.365^{**}$ | $1.391^{**}$ | $0.135^{**}$ | $0.128^{**}$ |
| **قارچ میکوریزا** Mycorrhiza (B) | 1 | $0.605^{**}$ | $5.434^{**}$ | $3.476^{**}$ | $0.933^{**}$ |
| B×A | 2 | $0.334^{**}$ | $0.077^{ns}$ | $0.042^{*}$ | $0.0003^{ns}$ |
| **خطا** Error | 12 | 0.0042 | 0.167 | 0.085 | 0.002 |
| C.V. (%) **ضریب تغییرات** | | 8.91 | 6.48 | 4.22 | 7.59 |

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪و ۱٪.

ns, * and **: Not significant and significant at $p<0.05$ and $P<0.0.1$, respectively.

**جدول ۳**- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و تلقیح با میکوریزا (*G.versiforme*) بر ترکیبات اسانس بادرشبو (*D. moldavica*)

**Table 3-** Analysis of variance for the effect of drought stress and mycorrhiza inoculation on essential oil component in (*D. moldavica*)

| منابع تغییر S.O.V. | درجه آزادی df | ژرانیول Geraniol | ژرانیال Geranial | ژرانیل استات Geranyl-acetate | نرال Neral | نرول Nerol | کاریوفیلن Caryophyllene | لینالول Linalool | لینالول اکسید Linalool oxide |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی Drought stress (A) | 2 | 33.80$^{**}$ | 34.43$^{*}$ | 115.49$^{**}$ | 12.51$^{*}$ | 0.23$^{**}$ | 0.53$^{**}$ | 0.37$^{**}$ | 0.22$^{**}$ |
| میکوریزا Mycorrhiza (B) | 1 | 21.67$^{**}$ | 34.77$^{*}$ | 29.41$^{*}$ | 14.38$^{*}$ | 0.004$^{ns}$ | 0.03$^{*}$ | 0.013$^{ns}$ | 0.0008$^{ns}$ |
| B×A | 2 | 0.48$^{ns}$ | 2.33$^{ns}$ | 4.06$^{ns}$ | 2.18$^{ns}$ | 0.15$^{**}$ | 0.031$^{*}$ | 0.089$^{*}$ | 0.053$^{**}$ |
| خطا Error | 12 | 1.83 | 6.92 | 6.03 | 2.87 | 0.006 | 0.0036 | 0.021 | 0.0021 |
| ضریب تغییرات C.V. (%) | | 7.37 | 8.41 | 9.18 | 14.70 | 9.68 | 12.55 | 12.77 | 10.91 |

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪و ۱٪.

ns,* and **: Not significant and significant at at p<0.05 and P<0.0.1, respectively.

**ادامه جدول ۳-**

**Table 3-** Continued

| منابع تغییر S.O.V. | درجه آزادی df | توتارن Totarene | ژرماسرن-دی Germacrene-D | فیتول Phytol | وتیونول Vetivenol | اکتادکانول استات Octadecanol-acetate |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی Drought stress (A) | 2 | 0.26$^{**}$ | 0.198$^{**}$ | 0.51$^{**}$ | 0.19$^{**}$ | 0.53$^{**}$ |
| میکوریزا Mycorrhiza (B) | 1 | 0.00005$^{ns}$ | 0.026$^{ns}$ | 0.04$^{**}$ | 0.00001$^{ns}$ | 0.027$^{ns}$ |
| B×A | 2 | 0.062$^{*}$ | 0.007$^{ns}$ | 0.0037$^{ns}$ | 0.029$^{**}$ | 0.044$^{**}$ |
| خطا Error | 12 | 0.009 | 0.013 | 0.002 | 0.0024 | 0.006 |
| ضریب تغییرات C.V. (%) | | 7.26 | 10.86 | 10.27 | 10.65 | 6.21 |

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪و ۱٪.

ns,* and **: Not significant and significant at at p<0.05 and P<0.0.1, respectively.

**جدول ۴**- ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در اسانس گیاه بادرشبو در تیمارهای تنش خشکی و میکوریزا (*G. versiforme*)

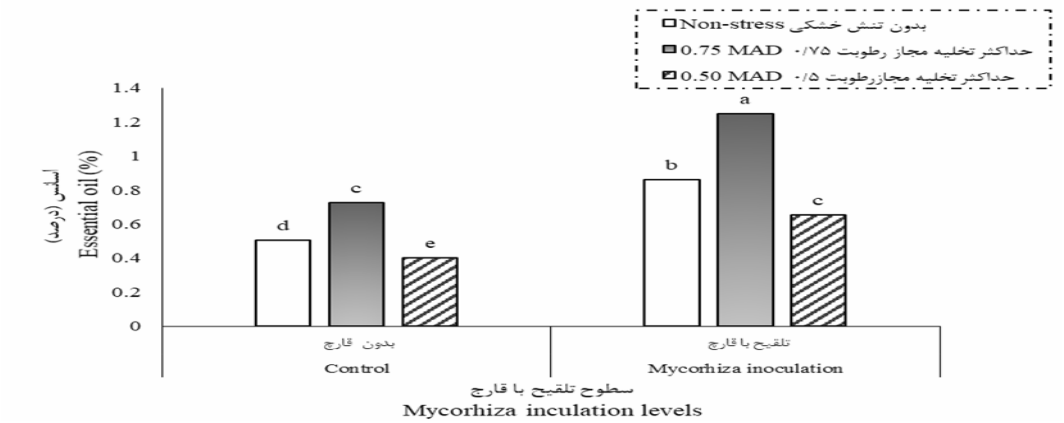
**Table 4**- Essential oil composition of (*D. moldavica*) in drought stress and mycorrhiza (*G. versiforme*) Inoculation treatment

| نام ترکیب Component No. | شاخص بازداری Retention Indices | حداکثر تخلیه مجاز رطوبت ۰/۵۰ 0.50 MAD | | حداکثر تخلیه مجاز رطوبت ۰/۷۵ 0.75 MAD | | عدم تنش خشکی Non-stress | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تلقیح با قارچ Mycorrhiza inoculation | عدم تلقیح No Mycorrhiza inoculation | تلقیح با قارچ Mycorrhiza inoculation | عدم تلقیح No Mycorrhiza inoculation | تلقیح با قارچ Mycorrhiza inoculation | عدم تلقیح No Mycorrhiza inoculation |
| (Geraniol) ژرانیول | 1225 | 22.03$^{a}$ | 20$^{ab}$ | 19.02$^{bc}$ | 16.19$^{d}$ | 17.35$^{cd}$ | 15.6$^{d}$ |
| (Geranial) ژرانیال | 1215 | 30.64$^{ab}$ | 26.43$^{b}$ | 34.01$^{a}$ | 32.08$^{a}$ | 33.29$^{a}$ | 31.1$^{ab}$ |
| (Geranyl-acetate) ژرانیل استات | 1323 | 24.05$^{bc}$ | 19.76$^{c}$ | 30.96$^{a}$ | 29.95$^{a}$ | 29.08$^{a}$ | 26.70$^{ab}$ |
| (Neral) نرال | 1168 | 13.68$^{a}$ | 12.63$^{ab}$ | 11.62$^{abc}$ | 11.98$^{ab}$ | 10.48$^{bc}$ | 8.80$^{c}$ |
| (Nerol) نرول | 1132 | 0.46$^{d}$ | 0.8$^{bc}$ | 1.13$^{a}$ | 0.92$^{ab}$ | 0.93$^{ab}$ | 0.7$^{c}$ |
| (Caryophyllene) کاریوفیلن | 1320 | 0.5$^{a}$ | 0.5$^{a}$ | 0 | 0.6$^{a}$ | 0.5$^{a}$ | 0.3$^{b}$ |
| (Linalool) لینالول | 1014 | 1.36$^{ab}$ | 1.5$^{a}$ | 1.02$^{cd}$ | 1.05$^{cd}$ | 1.13$^{bc}$ | 0.8$^{d}$ |
| (Linalool oxide) لینالول اکسید | 1221 | 0.5$^{b}$ | 0.62$^{a}$ | 0 | 0 | 0.36$^{c}$ | 0.21$^{d}$ |
| (Totarene) توتارن | 1928 | 1$^{c}$ | 1.2$^{b}$ | 1.5$^{a}$ | 1.5$^{a}$ | 1.51$^{a}$ | 1.3$^{b}$ |
| (Germacrene-D) ژرماسرن-دی | 1420 | 1.21$^{ab}$ | 1.22$^{a}$ | 1.15$^{ab}$ | 1.01$^{bc}$ | 0.90$^{cd}$ | 0.8$^{d}$ |
| (Phytol) فیتول | 1860 | 0.74$^{a}$ | 0.65$^{a}$ | 0 | 0 | 0.36$^{b}$ | 0.2$^{c}$ |
| (Vetivenol) وتیونول | 1680 | 0.6$^{b}$ | 0.7$^{a}$ | 0 | 0.4$^{c}$ | 0.35$^{c}$ | 0.25$^{d}$ |
| (Octadecanol-acetate) اکتادکانول-استات | 2210 | 1.66$^{a}$ | 1.51$^{b}$ | 1.12$^{c}$ | 1.24$^{c}$ | 1.1$^{c}$ | 0.9$^{d}$ |

RI, retention indices relative to C6-C24 n-alkenes on the DB-5 column.

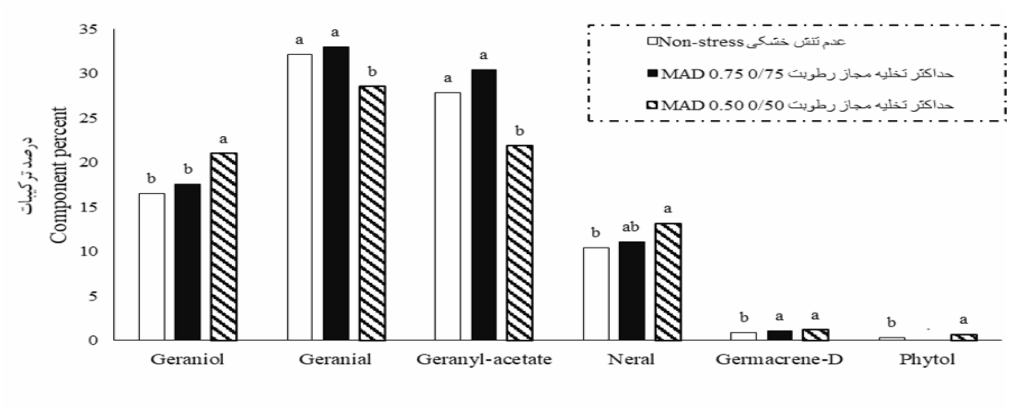
میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means that have a common letter, have not significantly different together based on Duncan test at 5%.



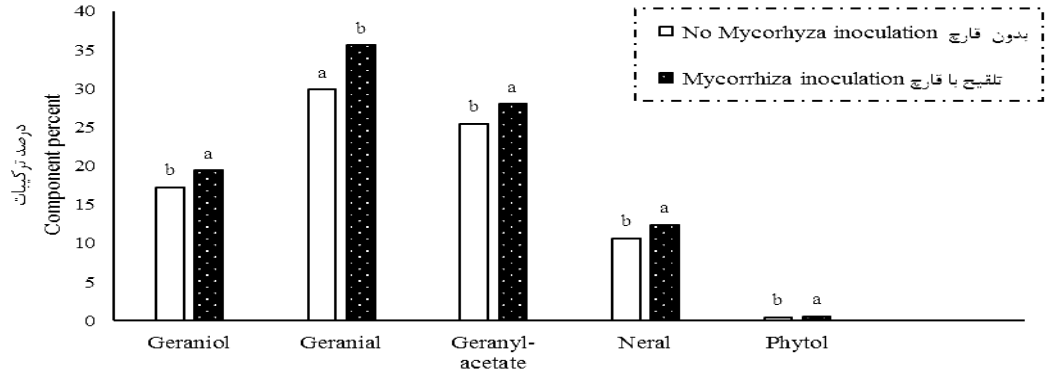

**شکل ۱**- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح با میکوریزا (*G. Versiforme*) بر درصد اسانس گیاه بادرشبو (*D. moldavica*)

**Figure 1**- Mean comparison of the interaction of drought stress and mycorrhiza inoculation on essential oil in dragonhead (*D. moldavica*)



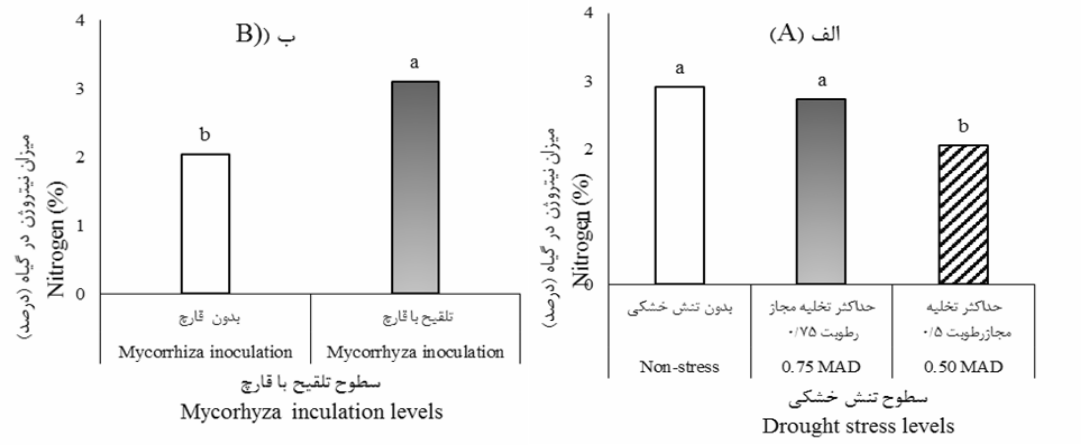

**شکل ۲**- میزان ترکیبات اسانس بادرشبو در سطوح مختلف تنش خشکی

**Figure 2**- Essential oil composition of *D. moldavica* content in different levels of drought stress



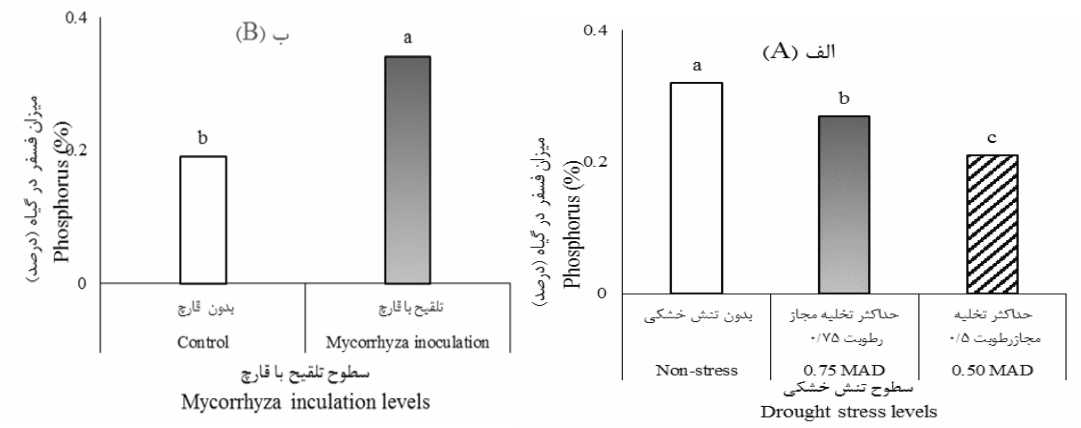

**شکل ۳**- میزان ترکیبات اسانس بادرشبو در سطوح تلقیح با میکوریزا

**Figure 3**- Essential oil composition of *D. moldavica* content in mycorrhiza inoculation levels



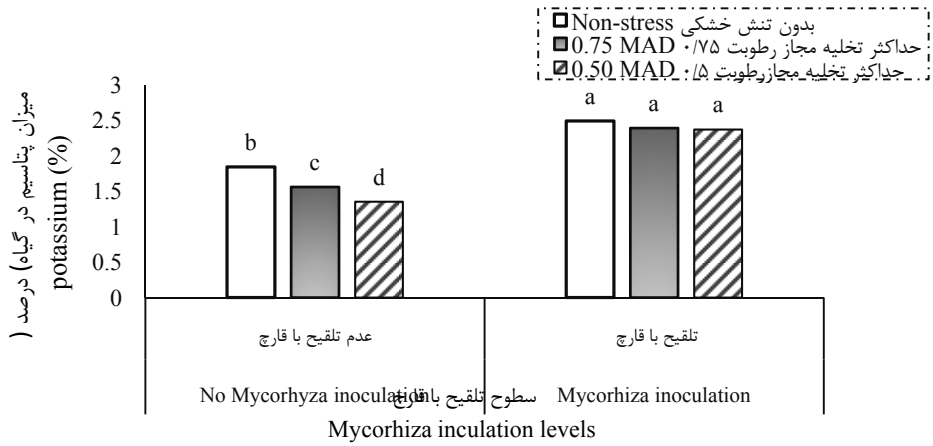

**شکل ۴**- مقایسه میانگین اثرات ساده الف) تنش خشکی ب) تلقیح با میکوریزا بر میزان عنصر نیتروژن در بادرشبو

**Figure 4-** Mean comparison of the effects of A. drought stress B. mycorrhiza inoculation inculation on content of nitrogen in *D. moldavica*




**شکل ۵**- مقایسه میانگین اثرات الف) تنش خشکی ب) تلقیح با میکوریزا بر میزان عنصر فسفر در بادرشبو

**Figure 5-** Mean comparison of the effects of A.drought stress B. mycorrhiza inculation inculation on content of phosphorus in *D. moldavica*




**شکل۶** – مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × تلقیح با میکوریزا بر میزان عنصر پتاسیم در بادرشبو

**Figure 6-** Mean comparison of the interaction of drought stress × mycorrhiza inoculation on inculation on content of potassium in *D. moldavica*

## References منابع مورد استفاده


- Abaaszadeh, P., A. Sharifi, H. Lebaschi, and F. Moghadasi. 2007. Effect of drought stress on proline, soluble sugars, chlorophyll and RWC level in (*Melissa oggicinalis*). *Iranian Journal of Medicinal Plants Research*. 23(4): 504-513.
- Adams, R.P. 2007. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry (Vol. 456). Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation.
- Alguacil, M., F. Caravaca, G. Díaz, P. Marín, and A. Roldán. 2004. Establishment of (*Retama sphaerocarpa* L.) seedlings on a degraded semiarid soil as influenced by mycorrhiza inoculation and sewage sludge amendment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 167(5): 637-644.
- Aliabadi Farahani, H., and S.A.R. Valadabadi. 2010. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Water, Soil Science*. 24 (1): 69-80. (In Persian).
- Aliasgharzad, N., M.R. Neyshabouri, and G. Salimi. 2006. Effects of arbuscular mycorrhiza fungi and (*Bradyrhizobium japonicum*) on drought stress of soybean. *Biologia*. 61(19): 324-328.
- Ali-ehyaeie, M., and A.A. Behbahanizade. 1993. Description of soil chemical decomposition methods. *Technical Journal* (*Soil and Water Research*). No. 893: 129. Institute Publications, Tehran.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper No. 56. (FAO: Rome). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.
- Amiri, R., A. Nikbakht, N. Etemadi, and M.R. Sabzalian. 2017. Nutritional status, essential oil changes and water-use efficiency of rose geranium in response to arbuscular mycorrhiza fungi and water deficiency stress. *Symbiosis*. 73(1): 15-25.
- Andalibi, B., and F. Nouri. 2014. Effect of cycocel on photosynthetic activity and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology.* 6(22): 91-104. (In Persian).
- Anonymous. 2000. AOAC, Official methods of analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA.
- Aprotosoaie, A.C., C.T. Mihai, G. Vochita, P. Rotinberg, A. Trifan, S.V. Luca, T. Petreus, E. Gille, and A. Miron. 2016. Anti-genotoxic and antioxidant activities of a polyphenolic extract from European (*Dracocephalum moldavica* L.). *Industrial Crops and Products*. 79: 248-257.
- Ardakani, M.R., B. Abbaszadeh, A.S. Ashorabadi, M.H. Lebaschi, and F. Paknejad. 2007. Evaluation effect of water deficit on quantity and quality of (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 23(2): 251-261.

- Baher, Z.F., M. Mirza, M. Ghorbanli, and M. Bagher Rezaii. 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in (*Satureja hortensis* L.). *Flavour and Fragrance Journal*. 17(4): 275-277.
- Bahreininejad, B., J. Razmjoo, and M. Mirza. 2014. Effect of water stress on productivity and essential oil content and composition of (*Thymus carmanicus*). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 17(5): 717-725.
- Barea, J.M., M.J. Pozo, R. Azcon, and C. Azcon-Aguilar. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany.* 56(417): 1761-1778.
- Bettaieb, I., N. Zakhama, W.A. Wannes, M.E. Kchouk, and B. Marzouk. 2009. Water deficit effects on *Salvia officinal* is fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*. 120(2): 271-275.
- Brundrett, M.C. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New phytologist*. 154(2): 275-304.
- Das, A., S. Kamal, N.A. Shakil, I. Sherameti, R. Oelmüller, M. Dua, N. Tuteja, A.K. Johri, and A. Varma. 2012. The root endophyte fungus (*Piriformospora indica*) leads to early flowering, higher biomass and altered secondary metabolites of the medicinal plant, *Coleus forskohlii*. *Plant Signaling and Behavior.* 7(1): 103-112.
- Dastmalchi, K., H.D. Dorman, M. Koşar, and R. Hiltunen. 2007. Chemical composition and in vitro antioxidant evaluation of a water-soluble Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extract LWT. *Food Science and Technology*. 40(2): 239-248.
- Fadaee, E., Y. Parvizi, M. Gerdakane, and M. Khan-Ahmadi. 2018. The effects of mycorrhiza (*Glomus mosseae*) and (*Glomus intraradiceae*) and phosphorus on growth and phytochemical traits of (*Dracocephalum moldavica* L.) under drought stress. *Journal of Medicinal Plants*. 2(66): 100-112.
- Franken, P. 2012. The plant strengthening root endophyte (*Piriformospora indica*). potential application and the biology behind. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 96(6): 1455-1464.
- Ghanta, R., S. Dutta, and R. Mukhopadhyay. 2013. Investigation on arbuscular mycorrhiza alliances in some threatened medicinal herbs of Burdwan district, West Bengal, India. *Journal of Medicinal Plants Research*. 7(7): 315-323.
- Ghilavizadeh, A., M.T. Darzi, and M.H.S. Hadi. 2013. Effects of bio fertilizer and plant density on essential oil content and yield traits of Ajowan (*Carum copticum*). *Middle-East Journal of Scientific Research*. 14(11): 1508-1512.
- Gogoi, P., and R.K. Singh. 2011. Differential effect of some arbuscular mycorrhizal fungi on growth of (*Piper longum* L.) (Piperaceae). *Indian Journal of Science and Technology*. 4(2): 119-125.
- Gupta, M.L., A. Prasad, M. Ram, and S. Kumar. 2002. Effect of the vesicular–arbuscular mycorrhiza (VAM) fungus (*Glomus fasciculatum*) on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bio resource Technology*. 81(1): 77-79.

- Hamada, A.M., and A.E. EL-Enany. 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*. 36: 75-81.
- Hassani, A. 2006. Effect of water deficit stress on growth, yield and essential oil content of (*Dracocephlum moldavica*). *Iranian Journal of Medicine and Aromatic*. 22(3): 256-261. (In Persian).
- Hussein, M.S., S.E. El-Sherbeny, M.Y. Khalil, N.Y. Naguib, and S.M. Aly. 2006. Growth characters and chemical constituents of (*Dracocephalum moldavica* L.) plants in relation to compost fertilizer and planting distance. *Scientia Horticulturae*. 108(3): 322-331.
- James, B., D. Rodel, U. Lorettu, E. Reynaldo, and H. Tariq. 2008. Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *Pakistan Journal of Botany.* 40(5): 2217-2224.
- Kapoor, R., B. Giri, and K.G. Mukerji. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in (*Foeniculum vulgare* mill) on mycorrhiza inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*. 93(3): 307-311.
- Khalvati, M.A., Y. Hu, A. Mozafar, and U. Schmidhalter. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhiza hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology*. 7(06): 706-712.
- Khorasaninejad, S., A. Mousavi, H. Soltanloo, K. Hemmati, and A. Khalighi. 2011. The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*. 5(22): 5360-5365.
- Lal, R. 2009. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*. 1(1): 45-57.
- Mandal, S., H. Evelin, B. Giri, V.P. Singh, and R. Kapoor. 2013. Arbuscular mycorrhiza enhances the production of stevioside and rebaudioside-A in (*Stevia rebaudiana*) via nutritional and non-nutritional mechanisms. *Applied Soil Ecology.* 72: 187-194.
- Mikovacki, N., J. Marinkovic, N. Cacic, and D. Bgelic. 2010. Microbial abundance in rhizosphere of sugar beet in dependence of fertilization and inoculation with (*Azotobacter chroococcum*). *Research Journal of Agricultural Science*. 42(3):260-264.
- Mozhafrian, V. 2003. Dictionary of the Iranian plant names. Contemporary Culture Publications. Tehran. 362 pp. (In Persian).
- Mucciarelli, M., S. Scannerini, C. Bertea, and M. Maffei. 2003. In vitro and in vivo peppermint (*Mentha piperita*) growth promotion by non-mycorrhiza fungal colonization. *New Phytologist*. 158(3): 579-591.
- Naghibi, F., M. Mosaddegh, M. Mohammadi Motamed, and A. Ghorbani. 2010. Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. 2: 63-79. (In Persian).

- Nasrabadi, B., R. Omid Baygi, and F. Sfidkon. 2007. Effect of sowing time on biological growth yield and essential oil content in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 23(3): 307- 314. (In Persian)
- Nautiyal, C.S., P.S. Chauhan, S.M. DasGupta, K. Seem, A. Varma, and W.J. Staddon. 2010. Tripartite interactions among (*Paenibacillus lentimorbus*) NRRL B-30488, (*Piriformospora indica*) DSM 11827, and (*Cicer arietinum* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 26(8): 1393-1399.
- Omidbaigi, R., F. Borna, T. Borna, and K. Inotai. 2009. Sowing dates affecting on the essential oil content of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) and its constituents. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 12(5): 580-585.
- Petropoulos, S.A., D. Daferera, M.G. Polissiou, and H.C. Passam. 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Scientia Horticulturae*. 115(4): 393-397.
- Rezapor, A.R., M. Heidari, M. Galavi, and M. Ramrodi. 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 27(3): 384-396. (In Persian).
- Safikhani, F., H. Heydarye sharifabadi, A. Saydat, A. Sharifi Ashorabadi, M. Syednedjad, and B. Abbaszadeh. 2007. The effect of drought on yield and morphologic characteristic of (*Deracocephlum moldavica* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 23(2): 183-194. (In Persian).
- Sasanelli, N., A. Anton, T. Takacs, T. D'Addabbo, I. Bíró, and X. Malov. 2009. Influence of arbuscular mycorrhiza fungi on the nematicidal properties of leaf extracts of (*Thymus vulgaris* L.). *Helminthologia*. 46(4): 230-240.
- Scharf, P.C., D.K. Shannon, and N.R. Latchern. 2015. Sensor based selenium application producer chosen rates on wheat demonstrations. *Agronomy Journal*. 107: 445-458.
- Sharma, S., A. Bansel, S. Dhillon, and S. Dhillon. 2009. Comparative effects of selenate and selenite on growth and biochemical composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil*. 329: 339-348.
- Shuge, T., Z. Xiaoying, Z. Fan, A. Dongqing, and Y. Tao. 2009. Essential oil composition of the (*Dracocephalum moldavica* L.) from Xinjiang in China. *Pharmacognosy Research*. 1(4): 172.
- Sonboli, A., M. Mojarrad, A. Gholipour, S.N. Ebrahimi, and M. Arman. 2008. Biological activity and composition of the essential oil of (*Dracocephalum moldavica* L.) grown in Iran. *Natural Product Communications*. 3(9): p.1934578X0800300930.
- Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology*. 1(3): 44-48.
- Stamatopoulos, N., B. Gatos, G. Louloudis, U. Pal, and A. Alaei. 2013. ICDAR handwriting segmentation contest. 12th International Conference on Document Analysis and Recognition (pp. 1402-1406). IEEE.

- Wang, X., M. Vignjevic, D. Jiang, S. Jacobsen, and B. Wollenweber. 2014. Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum*) var. vinjett. *Journal of Experimental Botany*. 65(22):6441-6456.
- White, J.A., J. Tallaksen, and I. Charvat. 2008. The effects of arbuscular mycorrhiza fungal inoculation at a roadside prairie restoration site. *Mycologia*. 100(1): 6-11.
- Yadav, A., K. Yadav, and A. Aggarwal. 2015. Impact of arbuscular mycorrhiza fungi with (*Trichoderma viride*) and (*Pseudomonas fluorescens*) on growth, yield and oil content in (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 18(2): 444-454.
- Zaller, J.G., F. Saccani, and T. Frank. 2011. Effects of earthworms and mycorrhiza fungi on the growth of the medicinal herb (*Calendula officinalis*) (Asteraceae). *Plant, Soil and Environment*. 57(11): 499-504.

**Research Article** DOI: 10.30495/jcep.2020.679066

# Effect of Arbuscular Mycorrhiza Inoculation on Nutrient Uptake and Essential Oil Composition of Dragonhead (*Dracocphalum moldavica* L.) under Drought Stress

**Gobad Salimi[1], Mohammad Feizian[2]*, and Naser Aliasgharzad[3]**

*Received: November 2019 , Revised: 27 May 2020, Accepted: 21 June 2020*

## Abstract

To study essential oil components of *Dracocephalum moldavica* in response to mycorrhiza fungus inoculation under drought stress condition, a factorial experiment based on completely randomized design with three replications was carried out under greenhouse condition. The factors of the experiment were three levels of drought stresses [control, 0.75 maximum allowable depletion (MAD) and 0.5 MAD] and inoculation with mycorrhiza fungi in two levels (no mycorrhiza inoculation as control and *Glomus verciforme* inoculation). Essential oil components were recognized via gas chromatography (GC) and gas chromatography-mass spectrometric (GC/MS). The result showed that about 36 components in *D. moldavica* were identified through inoculation with mycorrhiza under drought stress. Concentration of 13 compounds of these were higher than the rest. Compositions of geranial (18.3%), geraniol (30.98%), geranyl acetate (26.78%) and neral (11.94%) had high quantities in essential oil. Drought stress and mycorrhiza inoculation increased the percentage of major essential oil components. The highest essential oil percentage (1.24%) was obtained by mycorrhiza inoculation treatment and drought stress at 0.75 MAD. Drought stress reduced the uptake of nitrogen, phosphorus and potassium elements, while mycorrhiza inoculation increased their uptake. The highest uptake of potassium was in non-stress and mycorrhiza inoculation conditions. It can be concluded that mycorrhiza inoculation under drought stress increased the uptake of nutrients and essential oil composition of dragonhead.

**Key words**: Dragonhead, Gas chromatography-mass spectrometric, Geraniol, Geranyl acetate, Maximum allowable depletion.

1- Ph.D. Student of Soil Science, Lorestan University, Khorram Abad, and Staff member of Department of Plant Breeding, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad, Iran.
3- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
**Corresponding Author: m.feizian39@yahoo.com*