

## بهبود کمیت و کیفیت اسانس گیاه آویشن دنايي (*Thymus daenensis* Celak.) با کاربرد کود زیستی مایکوروت در سطوح مختلف آبیاری

حانیه شب‌خیز<sup>۱</sup>، عبدالله جوانمرد<sup>۲\*</sup>، علی استادی<sup>۳</sup> و محمدرضا مرشدلو<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، پست الکترونیک: a.javanmard@maragheh.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی- آگولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۴- استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۰

تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۹

### چکیده

به منظور بررسی اثرهای کود زیستی مایکوروت و سطوح مختلف آبیاری بر درصد و ترکیب‌های اسانس آویشن دنايي (*Thymus daenensis* Celak.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در گلخانه گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورها شامل تنش خشکی در چهار سطح بدون تنش (آبیاری در حد ظرفیت مزرعه به عنوان شاهد)، تنش ملایم (آبیاری در ۷۵٪ ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (آبیاری در ۵۵٪ ظرفیت زراعی) و تنش شدید (آبیاری در ۳۵٪ ظرفیت زراعی) و کود زیستی در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح با مایکوروت بودند. نتایج نشان داد با افزایش سطح کم‌آبی، وزن تر و خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک کل، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، b، کل و درصد کلونیزاسیون ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافتند. ولی میزان کاروتنوئید و درصد اسانس با افزایش تنش خشکی روند افزایشی را نشان دادند. بیشترین محتوای کاروتنوئید و درصد اسانس با کاربرد مایکوروت در تنش خشکی متوسط حاصل شد. تیمول، کارواکول، پارا-سیمن، ۸۰۱-سینتول، ای-کاریوفیلین، بورنتول، گاما-تریپین و آلفا-پینین به عنوان اجزای غالب اسانس در تمامی تیمارها شناسایی شدند. بیشترین میزان تیمول در تنش خشکی ملایم و با کاربرد مایکوروت به دست آمد. همچنین بیشترین میزان کارواکول به ترتیب در تنش‌های ملایم، متوسط و شدید و با تلقیح مایکوروت حاصل شد. به طور میانگین، با کاربرد کود زیستی مایکوروت میزان ترکیب‌های تیمول، کارواکول، ۸۰۱-سینتول، ای-کاریوفیلین، بورنتول و آلفا-پینین به ترتیب ۴/۱۹، ۴۵/۲۸، ۱۵/۹۳، ۱۶/۳۳ و ۳/۷۸ درصد نسبت به عدم کاربرد این کود زیستی افزایش یافتند. به طور کلی نتایج نشان داد با افزایش سطح کم‌آبیاری، بعضی صفات موفولوژیک و فیزیولوژیک آویشن کاهش معنی‌داری پیدا کردند، ولی کاربرد کود زیستی مایکوروت توانست اثرات تنش خشکی را تعدیل و موجب بهبود رشد، درصد و کیفیت اسانس گیاه گردد. بنابراین، به نظر می‌رسد استفاده از کود زیستی مایکوروت به جای کودهای شیمیایی در راستای حصول اهداف کشاورزی پایدار در کشت آویشن قابل توصیه باشد.

واژه‌های کلیدی: تیمول، کارواکول، کود زیستی، کشاورزی پایدار، کاروتنوئید.

## مقدمه

تضمین ایمنی، کیفیت و اثربخشی گیاهان دارویی اخیراً به‌عنوان یک مسئله مهم در کشورهای صنعتی و در حال توسعه تبدیل شده است. استانداردهای ارزیابی سلامت ترکیب‌های گیاهی مشتق شده از گیاهان دارویی، می‌تواند به‌ظهور دوره جدیدی از بهداشت برای درمان بیماری‌های مختلف در آینده کمک کند (Jamshidi-kia et al., 2018). در سال‌های اخیر به‌دلیل قابلیت گیاهان دارویی در طب مدرن و سنتی، کشت‌وکار آنها اهمیت بیشتری پیدا کرده است. آویشن دنیایی با نام علمی (*Thymus daenensis* Celak.) یک گیاه مهم اقتصادی متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) می‌باشد. در ایران این جنس شامل ۱۴ گونه است که در مناطق مختلف آب و هوایی توزیع شده است. اسانس آویشن دنیایی دارای خواص دارویی مختلف از جمله ضدباکتریایی، ضدقارچی و ضدویروس و آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. این گونه دارای فنول‌ها و مونوترپن‌های معطر مانند تیمول، کارواکرول، پارا-سیمن و گاما-تریپنن می‌باشد که این اجزاء نه تنها مسئول عطر و طعم آن هستند، بلکه به اثرهای بیولوژیکی آن نیز کمک قابل توجهی می‌کنند (Emami Bistgani et al., 2018).

محدودیت عرضه آب یکی از عوامل مهم غیرزنده هسته اثرهای منفی بر محصولات کشاورزی در جهان دارد. فقط ۱۰٪ از اراضی زراعی جهان عاری از تنش بوده و به‌طور کلی عامل اصلی اختلاف بین عملکرد بالفعل و عملکرد بالقوه تنش‌های محیطی می‌باشند (Fathi & Barari Tari, 2016). خشکی بر درصد و محتوای اسانس تأثیر متفاوتی دارد. زیرا خشکی باعث افزایش درصد اسانس و کاهش زیست‌توده می‌شود (Sharafzadeh & Zare, 2011). از سویی، نظر بر این است که تولید متابولیت‌های ثانویه برای سازگاری گیاه نسبت به عوامل نامساعد و تنش‌های محیطی انجام شده و به‌منزله یک جریان دفاعی در جهت استمرار تعادل فعالیت‌های حیاتی به حساب می‌آید (Jamal omidi et al., 2018). در مطالعه Bahreininejad و همکاران (۲۰۱۳) روی گیاه آویشن دنیایی، تنش خشکی سبب کاهش رشد، کاهش تولید شاخ و برگ، کلروفیل و مقدار کاروتنوئید گردید. همچنین میزان تیمول، پارا-سیمن و گاما-تریپنن افزایش و سایر ترکیب‌های اسانس

روند کاهشی نشان دادند. همچنین Khalid (۲۰۰۶) گزارش کرد که در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*)، تنش آبی عملکرد و میزان ترکیب‌های اصلی اسانس (لینالول و متیل کارواکرول) را افزایش داد. Abreu و Mazzafera (۲۰۰۵) نیز مشاهده کردند که میزان برخی از ترکیب‌های فرار (فنولیک) در گونه‌ای از گل‌راعی (*Hypericum brasiliense*) بر اثر تنش خشکی افزایش یافت. در پژوهشی دیگر Aliabadi Farahani و همکاران (۲۰۰۹) با ارزیابی تغییر اسانس بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) در شرایط کمبود آب، گزارش کردند که کمبود آب بر عملکرد بیولوژیک، درصد اسانس، عملکرد برگ، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، قطر ساقه و عملکرد ساقه تأثیر معنی‌داری داشته است. به‌طوری که درصد و عملکرد اسانس به‌ترتیب تحت این شرایط افزایش و کاهش یافتند. نتایج پژوهش Khorasaninejad و همکاران (۲۰۱۱) بر روی گیاه نعناع‌فلغلی (*Mentha piperita*) نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش قابل توجه پارامترهای رشدی، درصد و عملکرد اسانس شد. بالاترین مقادیر این پارامترها در آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار متون و منتوفوران هم در آبیاری نرمال بدست آمد.

در سال‌های اخیر، در بین فناوری‌های مدرن، کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار به‌عنوان یکی از کودهای باارزش و سازگار با محیط‌زیست در سیستم کشاورزی ارگانیک شناخته شده است (Golubkina et al., 2020). ثابت شده که همزیستی با قارچ مایکوریزا سبب افزایش غلظت مواد مغذی، زیست‌توده گیاهی و محتوای اسانس گیاهان دارویی می‌گردد (Amiri et al., 2015). قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار سنتز اسانس را در گیاهان آویشن (*Thymus vulgaris*)، مریم‌گلی (*Salvia officinalis*)، مرزنجوش (*Origanum vulgare*) و گندواش (*Artemisia annua*) ارتقاء داد (Tarraf et al., 2015؛ Kapoor et al., 2007). همچنین عملکرد و درصد اسانس زیبا نعناع دارویی (*Coriandrum sativum* L.)، گشنیز (*Calamintha nepeta*)، شوید (*Anethum graveolens* L.) با تلقیح سویه‌های مختلف مایکوریزا تحت تأثیر قرار گرفت (Colombo et al., 2013؛ Rydlova et al., 2015). قارچ‌های مایکوریزا این

فاکتور اول شامل آبیاری در چهار سطح: آبیاری در ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به‌عنوان شاهد، آبیاری در ۷۵٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم)، آبیاری در ۵۵٪ ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و آبیاری در ۳۵٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) و فاکتور دوم شامل تلقیح و عدم تلقیح با کود زیستی مایکوروت بودند. به‌منظور اجرای آزمایش در اوایل اسفندماه ۱۳۹۷، بذرها را آویشتن دناپی در سینی‌های کاشت و بستر حاوی کوکوپیت و پرلایت به نسبت ۱:۲ کاشته شدند. پس از گذشت چهار هفته از زمان کاشت و در مرحله چهار برگی، نشاءها را به لیوان‌های یک‌بار مصرف انتقال و بعد از مرحله ۱۵ برگی به گلدان‌های پلاستیکی ۵ لیتری با قطر دهانه ۲۱ سانتی‌متر که دارای ۵۰٪ خاک مزرعه، ۲۵٪ ماسه، ۱۵٪ کود دامی پوسیده و ۱۰٪ پرلیت بود، انتقال داده شدند. ابتدا خاک مورد استفاده به‌منظور ضدعفونی به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر اتوکلاو گردید. سپس در نیمی از گلدان‌ها جهت تلقیح، مقدار ۱۰۰ گرم از کود زیستی اضافه گردید. در نیم دیگر گلدان‌ها کود زیستی استفاده نشد. کود زیستی با نام تجاری مایکوروت که ترکیبی از سه گونه *Funneliformis Rhizophagus intraradices mosseae* و *Claroideoglomus etunicatum* بود، مورد استفاده قرار گرفت. آبیاری گلدان‌ها تا دو هفته پس از انتقال نشاءها به‌صورت مرتب و براساس نیاز گیاه و در حد ظرفیت زراعی خاک (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) انجام شد. بعد از اینکه گیاهان کاملاً در گلدان استقرار پیدا کردند، تنش آبی تا زمان گلدهی کامل اعمال گردید. تنش رطوبتی به‌وسیله وزن کردن روزانه گلدان‌ها در طول ۹۰ روز دوره کشت اعمال شد. جهت تعیین ظرفیت زراعی، گلدان‌ها را پس از پر شدن با وزن یکسان خاک تا حد اشباع آبیاری شدند. سپس روی گلدان‌ها پلاستیک کشیده و بعد از ۲۴ ساعت که رطوبت خاک (آب زاید) از سوراخ‌های ته گلدان خارج شد، اقدام به توزین خاک گلدان‌ها نموده و در آن با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و بدین ترتیب ظرفیت مزرعه از رابطه زیر محاسبه گردید (Khorasaninejad et al., 2011).

قابلیت را دارند که با تعدیل راه‌های کلیدی مسیر هورمونی و رشد و نمو گیاه را بهبود بخشیده که منجر به کاهش اثرهای نامطلوب خشکی می‌شوند (Al-Arjani et al., 2020). در پژوهشی Freitas و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند که تلقیح قارچ‌های مایکوریزا منجر به افزایش ۸۹٪ اسانس و منتول گیاه نعنا وحشی (*Mentha arvensis*) شد. Zayova و همکاران (۲۰۱۷) در آویشن (*Thymus vulgaris* L.) مشاهده کردند که قارچ مایکوریزا متابولیت‌های آنتی‌اکسیدانی مانند فنول‌ها، فلاونوئیدها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه را افزایش داد. Rasouli-Sadaghiani و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثرهای قارچ مایکوریزا بر رشد، تولید اسانس و جذب مواد مغذی در ریحان (*Ocimum basilicum*)، گزارش کردند که همزیستی قارچ مایکوریزا به‌طور معنی‌داری سبب افزایش عملکرد، اسانس، پارامترهای رشدی و جذب مواد مغذی گردید. نتایج پژوهش Khaosad و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که با همزیستی قارچ مایکوریزا میزان اسانس به‌طور معنی‌داری در دو گونه مرزنجوش (*Origanum* sp) افزایش یافت. علاوه‌براین، تلقیح ریشه گیاه دارویی بشقابی (*Scutellaria integrifolia* L.) با مایکوریزا نه تنها در افزایش رشد و تکثیر گیاه به‌ویژه رشد ریشه مؤثر بود، بلکه توانایی گیاه را برای رشد در خاک‌های دارای فسفر پایین افزایش داد (Joshee et al., 2007). در نهایت با توجه به گزارش سازمان جهانی بهداشت، ۸۰٪ جمعیت کشورهای در حال توسعه در سیستم بهداشتی خود به داروهای سنتی وابسته هستند و با توجه به نقش این گیاهان در کشور، این پژوهش با هدف بررسی تغییرات میزان و ترکیب‌های اسانس آویشن دناپی با کاربرد کود زیستی مایکوروت دارای سه قارچ (*Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* و *etunicatum*) در سطوح مختلف آبیاری اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گلخانه گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید.

$$FC (\%) = \frac{(Wf - Wd)}{Wd} \times 100$$

رابطه ۱

نسبی آب برگ، کلروفیل a، b، کارتنوئید، درصد اسانس و درصد کلونیزاسیون ریشه اندازه گیری گردید. برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر استفاده شد. اسانس گیری به مدت سه ساعت از سرشاخه های گلدار آویشن دنیایی انجام شد. سپس اسانس های استخراج شده با سولفات سدیم خشک آبیگری و داخل ویال شیشه ای در دمای ۴ درجه سانتی گراد تا زمان آنالیز نگهداری گردید (Morshedloo et al., 2017)، بعد از اسانس گیری، درصد و عملکرد اسانس و عملکرد فنلی طبق روابط زیر محاسبه گردید (Safaei Poshtdar et al., 2016)؛ Safaei et al., 2017.

به منظور حذف اثر افزایشی وزن گیاه و کاهش خطا در تنظیم مقدار آب خاک به روش وزنی، از گلدان های فاقد گیاه که فقط حاوی خاک آزمایش و هم وزن با گلدان های اصلی بودند، استفاده شد تا اختلاف وزنی گلدان های فاقد گیاه و حاوی گیاه از آزمایش حذف شود و مقدار تنظیم رطوبت گلدان ها براساس روش وزنی باشد. آبیاری تیمارها بدین صورت بود که برای شاهد مطابق ظرفیت زراعی، برای خشکی ملایم ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و برای خشکی نسبتاً شدید ۵۵ درصد ظرفیت زراعی و برای خشکی شدیدتر ۳۵ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. در پایان اعمال تیمارها صفات ارتفاع بوته، وزن تر و خشک، نسبت برگ به ساقه، محتوای

$$۱۰۰ \times (\text{وزن خشک نمونه (گرم)} / \text{وزن اسانس}) = \text{درصد اسانس}$$

رابطه ۲

$$\text{درصد اسانس} \times \text{ماده خشک کل (گرم)} = \text{عملکرد اسانس}$$

رابطه ۳

$$\text{عملکرد اسانس} \times (\text{کارواکرول} + \text{تیمول}) \times \text{درصد اسانس} = \text{عملکرد خشک اندام هوایی گیاه} = \text{عملکرد فنولی}$$

رابطه ۴

آب مقطر در دمای ۴ درجه سانتی گراد قرار داده و وزن نمونه ها به عنوان وزن تورژسانس (TW) در نظر گرفته شد. در مرحله بعد نمونه ها را به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار داده و وزن خشک (DW) آنها محاسبه شد. میزان رطوبت نسبی آب طبق رابطه زیر محاسبه گردید.

اندازه گیری رطوبت نسبی آب برگ

به منظور اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، از روش Turner (۱۹۸۶) استفاده گردید. بدین منظور تعداد ۱۰ برگ از برگ های جوان توسعه یافته جدا کرده، بلافاصله با ترازوی حساس وزن تازه (FW) اندازه گیری شد. سپس برگ ها را به مدت ۲۴ ساعت درون لوله های آزمایش حاوی ۴۰ میلی لیتر

$$RWC (\%) = \left[ \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \right] * 100$$

رابطه ۵

۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئید توسط اسپکتروفتومتر مدل Jenway 6305 قرائت گردید. در نهایت با استفاده از روابط زیر، میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه شدند (Arnon, 1967).

تعیین مقادیر کلروفیل ها و کارتنوئید

ابتدا ۰/۲۵ گرم بافت تازه در ۲۰ میلی لیتر استون ۸۰٪ سائیده و محلول حاصل را صاف و حجم نهایی را به ۲۰ میلی لیتر رسانده و بعد جذب محلول ها را به صورت جداگانه در طول موج های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و

Chlorophyll a = ( 19.3 A <sub>663</sub> - 0.86 A <sub>645</sub> ) V / 100 W	رابطه ۶
Chlorophyll b = (19.3 A <sub>645</sub> - 3.6 A <sub>663</sub> ) V / 100 W	رابطه ۷
Total chlorophyll = Chlorophyll a + Chlorophyll b	رابطه ۸
Carotenoids = 100 A <sub>470</sub> - 3.27 Chlorophyll a - 104 Chlorophyll b / 227	رابطه ۹

ساخت کشور آمریکا با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) و ستون VF-5MS استفاده شد. دمای تزریق و آشکارساز به ترتیب روی ۲۳۰ و ۲۴۰ سانتی‌گراد تنظیم شده بودند. گاز هلیوم با سرعت جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه و نسبت تقسیم ۱:۲۴ بود. نمونه‌های اسانس به نسبت ۱:۱۰۰ در هگزان رقیق‌سازی و به میزان ۱ میکرولیتر تزریق شدند. کمی کردن ترکیب‌های اسانس با استفاده از نرم‌ال‌سازی سطح پیک و بدون استفاده از ضرایب اصلاح انجام شد (Morshedloo *et al.*, 2018).

#### اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون

به منظور تعیین درصد همزیستی، ریشه‌های آویشن دنایی (در تیمارهای تلقیح شده با قارچ) به آزمایشگاه منتقل شدند. ریشه‌ها به اندازه ۱ سانتی‌متر برش داده شدند، سپس در داخل محلول KOH ۱۰٪ به مدت ۵-۱۰ دقیقه روی چراغ بونزن حرارت داده شدند، آنگاه ریشه‌ها را با آب مقطر شستشو داده و در مرحله بعد ریشه‌ها داخل محلول HCL ۲٪ به مدت ۲۰-۱۵ دقیقه اسیدی گردیدند، سپس برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها در داخل تریپان بلو ۰/۰۵٪ به مدت ۱۰ دقیقه روی چراغ بونزن حرارت داده شد، بعد از رنگ‌آمیزی ریشه‌ها دوباره با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس ریشه‌ها در محلولی که حاوی اسید لاکتیک، گلیسرول و آب بود به نسبت ۱:۱:۱ (V:V:V) تا زمان سنجش نگهداری شدند (Phillips & McGonigle, 1970; Koske & Gemm, 1989; Hayman, 1970; *et al.*, 1990). نمونه‌های رنگ‌آمیزی شده توسط میکروسکوپ نوری الیمپوس مدل BH-2 مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفتند و از اندام‌ها و ریشه‌های قارچی که به رنگ آبی ظاهر شده بودند عکس برداری شد. درصد کلونیزاسیون با روش خطوط متقاطع محاسبه گردیدند، به این صورت که برای

در این روابط، A: جذب نور در طول موج‌های مورد نظر، W: وزن تر نمونه بر حسب گرم و V: حجم محلول صاف شده می‌باشد.

#### شناسایی ترکیب‌های اسانس

برای شناسایی ترکیب‌های اسانس از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل شده به طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) مدل Agilent 5977A ساخت کشور آمریکا، با ستون HP-5 MS (۵٪ فنیل متیل پلی سیلوکسان، به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ماده جاذب ۰/۲۵ میکرومتر) استفاده گردید. در برنامه‌ریزی دمایی آون، ابتدا دما در عرض ۵ دقیقه به ۶۰ درجه سانتی‌گراد رسیده، سپس به تدریج دما با سرعت ۳ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت تا به دمای ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد رسید. بعد از آن به مدت ۲۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. ولتاژ یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت، روش یونیزاسیون EI و دمای یونیزاسیون ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. محفظه تزریق در حالت تقسیم (نسبت تقسیم ۱:۳۰) تنظیم شده بود و محدوده جذب جرمی از ۴۰ تا ۴۰۰ m/z بود. به منظور محاسبه شاخص بازداری پیک‌ها، مخلوطی از هیدروکربن‌های آلیفاتیک (C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>) در شرایط تحلیلی بالا به داخل سیستم GC تزریق شد. نرم‌افزار مورد استفاده Chemstation بود. محاسبه و شناسایی ترکیب‌های اسانس به کمک شاخص‌های بازداری خطی آنها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتاب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیب‌های استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه رایانه‌ای انجام شد. برای جداسازی ترکیب‌ها از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent 7990B

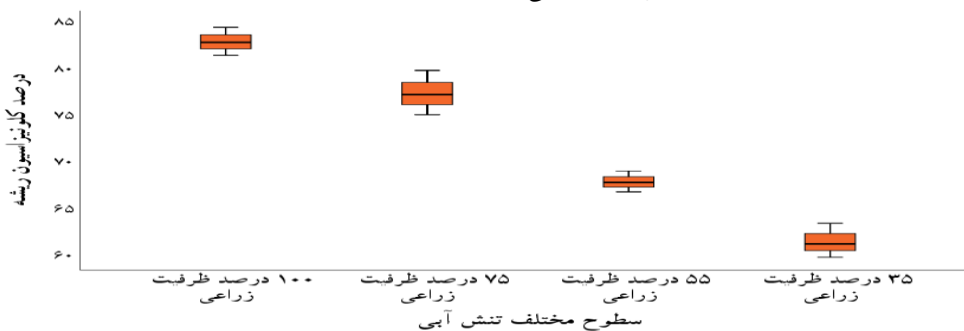
با بزرگنمایی  $40\times$  استفاده گردید. ریشه‌های آلوده و غیرآلوده که با خطوط عمودی و افقی صفحه شطرنجی تقاطعی را ایجاد کرده بودند، هر یک به صورت مجزا و جداگانه شمارش گردیدند و درصد کلونیزاسیون به وسیله رابطه زیر بدست آمد (Giovannetti & Mosse, 1980).

$$\text{رابطه ۱۰} \quad 100 \times (\text{مجموع کل ریشه‌های آلوده و غیر آلوده} / \text{مجموع ریشه‌های آلوده}) = \text{درصد کلونیزاسیون}$$

مشاهده شد. کاهش کلونیزاسیون ریشه در سطوح آبیاری ۳۵، ۵۵ و ۷۵ درصد نسبت به تیمار آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به ترتیب ۲۵/۷۴، ۱۸/۰۵ و ۶/۶۴ درصد بود (شکل ۱).

وزن تر، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک برگ، ساقه و کل آویشن دنایی تحت تأثیر معنی‌دار سطوح آبیاری و تلقیح با کود زیستی قرار گرفتند ولی اثر متقابل سطوح آبیاری و تلقیح با کود زیستی بر این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۲). با افزایش تنش آبی، میزان این صفات کاهش معنی‌داری پیدا کردند. به طوری که بیشترین میزان این صفات در تیمار آبیاری نرمال حاصل شد. علاوه بر این، با کاربرد کود زیستی، وزن خشک برگ و کل به ترتیب ۵۲٪ و ۴۰/۶۲٪ نسبت به عدم تلقیح با قارچ افزایش یافتند (جدول ۳).



شکل ۱- باکس پلات مربوط به درصد کلونیزاسیون ریشه آویشن دنایی (در تیمارهای تلقیح شده با مایکوروت) تحت تأثیر سطوح مختلف

تنش آبی

هر تیمار آزمایشی، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شدند و به صورت تصادفی داخل پلیت شیشه‌ای قرار گرفتند. سپس در یک صفحه شطرنجی که به ابعاد  $1 \times 1$  سانتی‌متر قبلاً تهیه و آماده شده بود زیر پلیت قرار گرفتند. برای مشاهده و شمارش ریشه‌های آلوده به قارچ مایکوریزا و غیرآلوده از یک استیرو میکروسکوپ (بینوکولار)

در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

## نتایج

### درصد کلونیزاسیون

با توجه به اینکه درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمارهای عدم تلقیح با مایکوروت صفر درصد بود. لذا جهت مشخص نمودن تفاوت بین تیمارها، فقط تیمارهایی که با مایکوروت تلقیح شده بودند، مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین قرار گرفتند. بر این اساس درصد کلونیزاسیون ریشه تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش سطح کم‌آبی، میزان کلونیزاسیون ریشه کاهش معنی‌داری پیدا کرد. به طوری که بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون به ترتیب در آبیاری ۱۰۰٪ و ۳۵٪ ظرفیت زراعی

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش آبی بر درصد کلونیزاسیون ریشه آویشن دناپی در تیمارهای تلقیح شده با مایکوروت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات درصد کلونیزاسیون ریشه
سطح آبیاری	۳	۲۷۳/۸*
اشتباه آزمایشی	۸	۵۲/۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۰

\* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش آبی و کاربرد قارچ مایکوروت بر وزن تر، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن توده خشک سرشاخه گلدار گیاه آویشن دناپی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن تر	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه
سطوح آبیاری	۳	۱۹۴۵/۳***	۱۳۴/۹***	۱۷/۹***
مایکوروت	۱	۱۰۷۰/۸***	۱۱۰/۳***	۰/۹ ns
مایکوروت × آبیاری	۳	۱۸/۴ ns	۲/۶ ns	۰/۰۴ ns
خطای آزمایشی	۱۶	۱۷/۴	۱/۹	۰/۳
ضریب تغییرات (%)		۱۰/۵	۱۳/۱	۱۵/۴

\*\*\*، \*\*، \* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

جدول ۳- مقایسه میانگین وزن تر، وزن خشک برگ، ساقه و وزن توده خشک سرشاخه گلدار گیاه آویشن دناپی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد قارچ مایکوروت

سطوح آبیاری	وزن تر (گرم در بوته)	وزن خشک برگ (گرم در بوته)	وزن خشک ساقه (گرم در بوته)	وزن توده خشک سرشاخه گلدار گیاه (گرم در بوته)
شاهد	۵۵/۵a	۱۳/۸a	۵/۶a	۱۹/۴a
٪۷۵	۴۹/۲b	۱۳/۲a	۳/۹b	۱۷/۲b
٪۵۵	۳۹/۱c	۱۰/۴b	۲/۷c	۱۳/۶c
٪۳۵	۱۴/۵d	۳/۵c	۱/۵d	۵/۱d
کود زیستی				
بدون مایکوروت	۳۲/۹b	۸/۲b	۳/۲a	۱۱/۵b
تلقیح با مایکوروت	۴۶/۲a	۱۲/۵a	۳/۶a	۱۶/۲a

در هر ستون، به‌طور جداگانه برای سطوح آبیاری و کود زیستی، میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

## درصد و عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری و تلقیح با کود زیستی و ترکیب تیماری آبیاری و تلقیح بر میزان درصد و عملکرد اسانس آویشن دناپی در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۴). بیشترین درصد اسانس در آبیاری ۵۵٪ ظرفیت زراعی با کاربرد کود زیستی حاصل شد. تیمارهای آبیاری در ۷۵٪ ظرفیت زراعی با و بدون تلقیح با کود زیستی و همچنین آبیاری در ۵۵٪ ظرفیت زراعی بدون تلقیح با کود در رتبه دوم قرار داشتند. کمترین درصد اسانس هم به تیمار آبیاری در ۳۵٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) بدون کاربرد کود زیستی تعلق داشت. بیشترین عملکرد اسانس هم در آبیاری ۷۵٪ ظرفیت زراعی با کاربرد کود زیستی بدون تفاوت معنی دار با تیمار آبیاری در ۵۵٪ ظرفیت زراعی تلقیح شده با کود بدست آمد. همچنین کمترین عملکرد اسانس به تیمار تنش شدید در حالت عدم تلقیح مشاهده شد (جدول ۵).

## عملکرد فنولی

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد فنولی تحت تأثیر معنی دار سطوح آبیاری، تلقیح با کود زیستی و ترکیب تیماری قرار گرفت (جدول ۴). به طوری که بیشترین عملکرد فنولی گیاه آویشن دناپی به تیمار ۷۵٪ ظرفیت زراعی با کاربرد کود زیستی تعلق داشت. کمترین عملکرد فنولی هم به تیمارهای تنش شدید (۳۵٪ ظرفیت زراعی) با و بدون کود زیستی مربوط بود (جدول ۵).

## محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر معنی دار ترکیب تیماری آبیاری و تلقیح با کود زیستی در سطح احتمال ۵٪ قرار گرفت (جدول ۴). با افزایش سطوح تنش کم آبی محتوای نسبی آب برگ گیاه کاهش یافت، به طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در آبیاری نرمال (بدون تنش) و با کاربرد کود زیستی حاصل شد که با سطح آبیاری ۷۵٪ ظرفیت زراعی و کاربرد کود زیستی تفاوت معنی داری نداشت.

همچنین کمترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار آبیاری ۳۵٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) و بدون تلقیح با کود زیستی بدست آمد (جدول ۵).

## کلروفیل a و b و کلروفیل کل

کلروفیل a و b و کلروفیل کل تحت تأثیر معنی دار سطوح آبیاری، تلقیح با کود زیستی و ترکیب تیماری سطوح آبیاری و تلقیح با کود زیستی قرار گرفتند (جدول ۴). بیشترین میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در تیمار بدون تنش (آبیاری نرمال) و با تلقیح کود زیستی حاصل شد. کمترین مقادیر این شاخص‌ها هم به سطح تنش شدید (آبیاری در ۳۵٪ ظرفیت زراعی) و بدون تلقیح کود زیستی تعلق داشت (جدول ۵).

## کاروتنوئید

نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس حکایت از آن داشت که میزان کاروتنوئید آویشن دناپی تحت تأثیر معنی دار سطوح آبیاری، تلقیح با کود زیستی و ترکیب تیماری سطوح آبیاری و تلقیح با کود زیستی قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان کاروتنوئید در آبیاری ۵۵٪ ظرفیت زراعی و با کاربرد کود زیستی بدست آمد و کمترین میزان این پارامتر در شرایط بدون تنش (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) و بدون کاربرد کود زیستی حاصل شد (جدول ۵).

## ترکیب‌های اسانس

تجزیه و تحلیل طیف‌های GC-MS منجر به شناسایی ۳۰ ترکیب در اسانس آویشن دناپی شد (جدول ۸). برخی از ترکیب‌های اصلی آن شامل تیمول، کارواکرول، بورنتول، ۸،۱-سینئول، پاراسیمین، گاما-تریپنین، ترانس-کاریوفیلین، کارواکرول متیل اتر، سیس-آلفا-بیسابولن، میرسن و کامفن می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ترکیب‌های تیمول، کارواکرول، بورنتول، ۸،۱-سینئول، پارا-سیمین، گاما-تریپنین، ترانس-کاریوفیلین، میرسن و کامفن تحت تأثیر ترکیب تیماری آبیاری و تلقیح با کود زیستی قرار گرفتند (جدول ۶). نتایج نشان داد که با افزایش تنش آبی تا سطح ۵۵٪ ظرفیت زراعی



ای کاریفیلین، ۸،۱-سینتول، بورنتول و آلفا-بیسابولن با افزایش تنش و کاربرد کود زیستی روند افزایشی داشتند. بیشترین میزان این ترکیب‌ها در تیمار تنش شدید (آبیاری در ۳۵ درصد ظرفیت زراعی) و با کاربرد کود زیستی حاصل شدند. گاما-تریپین، کامفن و میرسن هم روندی مشابه داشتند با این تفاوت که بالاترین میزان این سه ترکیب در تیمار تنش شدید و بدون کاربرد قارچ بدست آمد (جدول ۷). علاوه بر این، مقایسه میزان ترکیب‌های تریپنی اسانس تیمارهای مختلف در جدول ۹ ارائه شده است. بیشترین میزان مونوترپن‌های هیدروکربنه و مونوترپن‌های اکسیژنه به ترتیب در تیمارهای تنش شدید و بدون کاربرد قارچ و در تیمار آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد قارچ مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه و اکسیژنه به تنش شدید و با کاربرد کود زیستی تعلق داشتند.

میزان تیمول روند افزایشی داشت ولی در تنش شدید (آبیاری در ۳۵٪ ظرفیت زراعی) در هر دو حالت تلقیح و عدم تلقیح، میزان تیمول کاهش یافت. به طوری که بیشترین میزان تیمول (۶۷/۷۷٪) در آبیاری ۷۵٪ ظرفیت زراعی و با کاربرد کود زیستی بدست آمد و کمترین میزان هم به آبیاری ۳۵٪ ظرفیت زراعی بدون تلقیح با کود زیستی تعلق داشت (جدول ۷). همچنین افزایش تنش آبی با کاربرد کود زیستی توانست میزان کارواکرول را افزایش دهد. به طوری که بالاترین میزان کارواکرول به تیمار تلقیح با کود زیستی و در آبیاری‌های ۷۵، ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی تعلق داشت که تفاوت معنی‌داری با آبیاری نرمال و ۷۵٪ ظرفیت زراعی بدون تلقیح نداشتند (جدول ۷). ترکیب‌های پارا-سیمن و گاما-تریپین هم با افزایش تنش آبی روند افزایشی نشان دادند، به طوری که بالاترین میزان این ترکیب‌ها در آبیاری ۳۵٪ ظرفیت زراعی در حالت بدون تلقیح حاصل شد (جدول ۷). همچنین ترکیب‌های

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش آبی و کاربرد قارچ مایکوروت بر درصد اسانس، عملکرد اسانس، عملکرد فنولی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید آویشن دناپی

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد اسانس	عملکرد اسانس	عملکرد فنولی	محتوای نسبی آب برگ	میانگین مربعات		
						کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a
سطوح آبیاری	۳	۰/۲۹**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۷**	۵۵۰/۸**	۱۲/۴**	۱/۴**	۱۲/۶**
مایکوروت	۱	۰/۱۶**	۰/۰۱۴**	۰/۰۰۶**	۱۷۷۲/۹**	۱۵/۶**	۱/۸**	۱۱/۳**
مایکوروت × آبیاری	۳	۰/۰۱۵*	۰/۰۰۰۸*	۰/۰۰۹*	۷۵/۱*	۰/۷*	۰/۳*	۱/۲*
اشتباه آزمایشی	۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۲۱/۲	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۲۷
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۱	۱۵/۰	۱۹/۸	۷/۳	۱۱/۰	۲۰/۵	۱۵/۰

\*\*\*، \*\*، \* و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۵- مقایسه میانگین درصد اسانس، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری،

تلقیح با مایکوروت و ترکیب تیماری سطوح مختلف آبیاری و مایکوروت

سطوح آبیاری	درصد اسانس	عملکرد اسانس (گرم در بوته)	عملکرد فنولی (گرم در بوته)	درصد رطوبت نسبی آب	کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر)	کاروتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تر)
شاهد	۰/۵۶c	۰/۱۱b	۰/۰۷b	۷۳/۵۱a	۵/۳۷a	۱/۷۸a	۵/۲۷a	۰/۶۱c
٪۷۵	۰/۷۷b	۰/۱۳a	۰/۰۹a	۶۶/۱۵b	۳/۸۰۱b	۱/۳۱b	۳/۵۹b	۰/۶۹b
٪۵۵	۰/۸۸a	۰/۱۲ab	۰/۰۷ab	۶۱/۶۲b	۲/۸۱c	۰/۹۱c	۲/۴۶c	۰/۷۹a
٪۳۵	۰/۳۹d	۰/۰۲c	۰/۰۱۲c	۵۰/۶۲c	۲/۰۰۱d	۰/۶۸c	۲/۰۷c	۰/۶۷b
تلقیح								
بدون مایکوروت	۰/۵۷b	۰/۰۷b	۰/۰۴b	۵۴/۳۸b	۲/۸۱b	۰/۹۰b	۲/۵۴b	۰/۶۲b
با مایکوروت	۰/۷۳a	۰/۱۲a	۰/۰۸a	۷۱/۵۷a	۴/۱۸a	۱/۴۴a	۴/۱۶a	۰/۷۶a
ترکیب تیماری								
شاهد و عدم تلقیح	۰/۵۳c	۰/۰۸d	۰/۰۵d	۶۶/۴۰bc	۴/۴۹b	۱/۳۷cb	۴/۳۸b	۰/۵۵e
٪۷۵+ عدم تلقیح	۰/۷۲b	۰/۱۱c	۰/۰۶cd	۵۸/۶۳c	۳/۲۱c	۱/۰۰۳cd	۲/۹۲c	۰/۶۱d
٪۵۵+ عدم تلقیح	۰/۷۹b	۰/۰۹cd	۰/۰۵d	۵۰/۶۵d	۲/۳۰d	۰/۷۹ed	۱/۵۸d	۰/۷۱c
٪۳۵+ عدم تلقیح	۰/۲۴d	۰/۰۱f	۰/۰۰۴e	۴۱/۸۴e	۱/۲۵e	۰/۴۳e	۱/۳۰d	۰/۶۱d
شاهد و تلقیح	۰/۵۹c	۰/۱۳b	۰/۰۸bc	۸۰/۶۱a	۶/۲۶a	۲/۱۹a	۶/۱۷a	۰/۶۸c
٪۷۵+ تلقیح	۰/۸۲b	۰/۱۶a	۰/۱۱a	۷۳/۶۷ab	۴/۳۹b	۱/۶۱b	۴/۲۶b	۰/۷۶b
٪۵۵+ تلقیح	۰/۹۷a	۰/۱۵ab	۰/۰۹ab	۷۲/۵۹b	۳/۳۳c	۱/۰۳dc	۳/۳۵c	۰/۸۷a
٪۳۵+ تلقیح	۰/۵۴c	۰/۰۴e	۰/۰۲e	۵۹/۴۱c	۲/۷۵dc	۰/۹۲d	۲/۵۸c	۰/۷۲cb

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش آبی و کاربرد قارچ زیستی مایکوروت بر ترکیبات اصلی اسانس آویشن دناپی

میانگین مربعات													
(E)-caryophyllene	thymol	carvacrol	p-cymene	1,8-cineole	$\gamma$ -terpinene	borneol	$\alpha$ -pinene	camphene	myrcene	carvacrol, methyl ether	cis- $\alpha$ -bisabolene	درجه آزادی	منابع تغییرات
۲/۴**	۴/۵**	۰/۱ns	۰/۶**	۰/۲ns	۳/۵**	۳/۹**	۲/۳**	۱۹/۳**	۰/۹ns	۱۶۵/۹**	۳/۱**	۳	سطوح آبیاری
۲/۲**	۵/۵**	۰/۱ns	۰/۰۰۲ns	۰/۵ns	۱/۱ns	۴/۲**	۱/۹**	۱۰/۵ns	۱/۴ns	۳۲/۶ns	۱/۵ns	۱	مایکوروت
۰/۵*	۲/۹*	۰/۱۵*	۰/۴*	۰/۷*	۱/۵*	۱/۷*	۱/۲*	۱۲/۹*	۱/۷*	۳۵/۵*	۲/۰*	۳	مایکوروت × آبیاری
۰/۱	۰/۷	۰/۰۴	۰/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۵	۰/۳	۳/۵	۰/۵	۱۰/۸	۰/۴	۱۶	اشتباه آزمایشی
۲۲/۷	۵/۱	۲۰/۰	۲۲/۰	۳۱/۹	۱۹/۴	۳۳/۱	۱۶/۳	۲۳/۱	۲۸/۴	۵/۵	۱۸/۷		ضریب تغییرات (درصد)

\*\*\*, \*\*, \* و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی دار

جدول ۷- مقایسه میانگین ترکیبات اصلی اسانس آویشن دناپی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، تلقیح و ترکیب تیماری سطوح آبیاری و کود زیستی مایکوروت

تیمار	(E)-caryophyllene	thymol	carvacrol	p-cymene	1,8-cineole	$\gamma$ -terpinene	borneol	<i>o</i> -pinene	camphene	myrcene	carvacrol, methyl ether	cis- <i>o</i> -bisabolene
سطوح آبیاری												
شاهد	۴/۰۶a	۵۹/۶b	۲/۷۲a	۸/۳۷ab	۳/۰۶b	۱/۵۸b	۲/۸۶b	۱/۲۶a	۰/۹۴b	۰/۹۷a	۱/۱۳b	۱/۲۲b
%۷۵	۲/۷۳b	۶۴/۷a	۳/۱۱a	۷/۶۹ab	۲/۹۳b	۱/۸۹b	۳/۰۲b	۱/۱۶a	۰/۶۵c	۱/۰۲a	۰/۷۷b	۱/۲۷b
%۵۵	۲/۶۵b	۶۱/۰ab	۲/۳۶a	۶/۲۵b	۳/۹۲a	۲/۲۷ab	۳/۹۱a	۱/۶۰a	۱/۰۴b	۱/۰۱a	۲/۲۴a	۱/۰۷b
%۳۵	۳/۸۰a	۵۲/۲c	۲/۲۲a	۹/۹۶a	۳/۹۲a	۲/۸۰a	۴/۴۷a	۱/۳۷a	۱/۴۴a	۱/۲۰a	۲/۵۹a	۲/۴۵a
تلقیح												
بدون مایکوروت	۳/۰۶a	۵۸/۲a	۲/۱۲a	۸/۸۷a	۳/۲۰b	۲/۵۵a	۳/۳۳a	۱/۳۲a	۱/۰۲۹a	۱/۱۱a	۲/۱۶a	۱/۲۰b
با مایکوروت	۳/۵۶a	۶۰/۶a	۳/۰۸a	۷/۲۷a	۳/۷۱ a	۱/۷۲b	۳/۸۰a	۱/۳۸a	۱/۰۲۲a	۰/۹۸a	۱/۲۰b	۱/۸۱a

ادامه جدول ۷- ...

تیمار	(E)-caryophyllene	thymol	carvacrol	p-cymene	1,8-cineole	γ-terpinene	borneol	α-pinene	camphene	myrcene	carvacrol, methyl ether	cis-α-bisabolene
شاهد، عدم تلقیح	۳/۹ab	۵۷/۳bc	۲/۹۵a	۹/۵۶ab	۳/۲۴b	۱/۲۵c	۲/۷۸c	۱/۵۴bc	۰/۹cde	۰/۸۸b	۰/۷۶d	۱/۲۱de
+۰.۷۵٪ عدم تلقیح	۳/۰bc	۶۱/۶۴b	۲/۶۹ab	۹/۳abc	۲/۹۸b	۲/۳abc	۲/۷۵c	۱/۷۷b	۰/۸۰de	۱/۱۹ab	۱/۰۷cd	۰/۶۱f
+۰.۵۵٪ عدم تلقیح	۲/۷۱c	۶۱/۸۹b	۱/۳۹c	۵/۴۷d	۳/۴۱b	۳/۱۵ab	۳/۷abc	۰/۶۷d	۰/۷۹de	۱/۰۲ab	۴/۰۱a	۰/۶۹ef
+۰.۳۵٪ عدم تلقیح	۲/۶۷c	۵۱/۸۱c	۱/۴۶bc	۱۱/۱۷a	۳/۱۸b	۳/۵۱a	۴/۰۶ab	۱/۳bcd	۱/۶۲a	۱/۳۷a	۲/۸۱ab	۲/۲۷ab
شاهد، تلقیح	۴/۲۳a	۶۱/۹۱b	۲/۵abc	۷/۲bcd	۲/۸۸۱b	۱/۹۱c	۲/۹۳bc	۰/۹۸cd	۱/۰bcd	۱/۱ab	۱/۵bcd	۱/۲۴de
+۰.۷۵٪ تلقیح	۲/۴۹c	۶۷/۷۷a	۳/۵۳a	۶/۱۰cd	۲/۸۸۰b	۱/۴۷c	۳/۲۸bc	۰/۵۶d	۰/۵۱e	۰/۸۵b	۰/۴۷d	۱/۹۳bc
+۰.۵۵٪ تلقیح	۲/۶۰c	۶۰/۱۴b	۳/۳۴a	۷/۰bcd	۴/۴۳a	۱/۴۰c	۴/۱۰ab	۲/۵۲a	۱/۳۰ab	۱/۰۱ab	۰/۴۸d	۱/۴۵cd
+۰.۳۵٪ تلقیح	۴/۹۳a	۵۲/۵۴c	۲/۹۸a	۸/۸abc	۴/۶۵a	۲/۰۸bc	۴/۸۷a	۱/۴۵bc	۱/۳abc	۱/۰۳ab	۲/۳۶bc	۲/۶۳a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۸- ترکیب‌های شناسایی شده اسانس آویشن دناپی تحت تأثیر سطوح مختلف تنش آبی و کود زیستی مایکوروت

$W_4F_2$	$W_3F_2$	$W_2F_2$	$W_1F_2$	$W_4F_1$	$W_3F_1$	$W_2F_1$	$W_1F_1$	شاخص بازداری	ترکیب‌های اسانس	ردیف
۰/۶	۰/۸	۰/۵	۱/۰	۱/۰	۰/۸	۱/۰	۱/۱	۹۲۳	$\alpha$ -thujene	۱
۱/۵	۲/۵	۰/۶	۱/۰	۱/۳	۰/۷	۱/۸	۱/۵	۹۲۹	$\alpha$ -pinene	۲
۱/۳	۱/۳	۰/۵	۱/۰	۱/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۹	۹۴۲	camphene	۳
۰/۵	۰/۶	۰/۴	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۹۸۲	3-octanone	۴
۱/۰	۱/۰	۰/۹	۱/۱	۱/۴	۱/۰	۱/۲	۰/۹	۹۸۷	myrcene	۵
۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۱۰۰۱	$\alpha$ -phellandrene	۶
۰/۷	۰/۶	۰/۶	۰/۸	۱/۱	۰/۷	۰/۹	۰/۹	۱۰۱۲	$\alpha$ -terpinene	۷
۸/۸	۷/۰	۶/۱	۷/۲	۱۱/۲	۵/۵	۹/۳	۹/۶	۱۰۲۰	p-cymene	۸
۴/۷	۴/۴	۲/۹	۲/۹	۳/۲	۳/۴	۳/۰	۳/۲	۱۰۲۶	1,8-cineole	۹
۲/۱	۱/۴	۱/۵	۱/۹	۳/۵	۳/۲	۲/۳	۱/۳	۱۰۵۴	$\gamma$ -terpinene	۱۰
۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۱/۰	۰/۶	۰/۵	۰/۷	۱۰۶۱	cis-sabinene hydrate	۱۱
۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۰۹۳	trans-sabinene hydrate	۱۲
۰/۹	۰/۶	۰/۷	۰/۹	۱/۳	۰/۷	۰/۷	۰/۸	۱۰۹۶	linalool	۱۳
۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۱۴۱	camphor	۱۴
۴/۹	۴/۱	۳/۳	۲/۹	۴/۱	۳/۷	۲/۸	۲/۸	۱۱۵۹	borneol	۱۵
۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۱۱۷۲	terpinen-4-ol	۱۶
۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۱۸۷	$\alpha$ -terpineol	۱۷
۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱۱۹۴	cis-dihydro carvone	۱۸

ادامه جدول ۸ - ...

$W_4F_2$	$W_3F_2$	$W_2F_2$	$W_1F_2$	$W_4F_1$	$W_3F_1$	$W_2F_1$	$W_1F_1$	شاخص بازداری	ترکیب‌های اسانس	ردیف
۱/۱	۰/۸	۰/۲	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۱	۱۲۳۱	thymol, methyl ether	۱۹
۲/۴	۰/۵	۰/۵	۱/۵	۲/۸	۴/۰	۱/۱	۰/۸	۱۲۳۹	carvacrol, methyl ether	۲۰
۰/۷	۱/۱	۱/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۱/۴	۱۲۴۷	thymoquinone	۲۱
۵۲/۵	۶۰/۱	۶۷/۸	۶۱/۹	۵۱/۸	۶۱/۹	۶۱/۶	۵۷/۳	۱۲۹۴	thymol	۲۲
۳/۰	۳/۳	۳/۵	۲/۵	۱/۵	۱/۴	۲/۷	۳/۰	۱۲۹۹	carvacrol	۲۳
۴/۹	۲/۶	۲/۵	۴/۲	۲/۷	۲/۷	۳/۰	۳/۹	۱۴۱۲	E-caryophyllene	۲۴
۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۴	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۱۴۳۱	aromadendrene	۲۵
۰/۱	۰	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۴۴۶	$\alpha$ -humulene	۲۶
۰/۵	۰/۰	۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۱۴۸۸	viridiflorene	۲۷
۰/۹	۰/۷	۱/۰	۰/۱	۰/۹	۰/۷	۰/۸	۰/۷	۱۵۰۳	$\beta$ -bisabolene	۲۸
۲/۶	۱/۵	۱/۹	۱/۲	۲/۳	۰/۷	۰/۶	۱/۲	۱۵۳۸	cis- $\alpha$ -bisabolene	۲۹
۱/۵	۰/۸	۰/۶	۰/۹	۱/۰	۰/۹	۰/۶	۰/۹	۱۵۷۴	caryophyllene oxide	۳۰
۹۹/۲	۹۷/۸	۹۹/۵	۹۶/۷	۹۸/۴	۹۶/۶	۹۷/۶	۹۵/۴		Total (%)	

$W_1F_1$ : شاهد بدون مصرف مایکوروت،  $W_2F_1$ : تنش ملایم بدون مصرف مایکوروت،  $W_3F_1$ : تنش متوسط بدون مصرف مایکوروت،  $W_4F_1$ : تنش شدید بدون مصرف مایکوروت،  $W_1F_2$ : شاهد با مصرف مایکوروت،  $W_2F_2$ : تنش ملایم با مصرف مایکوروت،  $W_3F_2$ : تنش متوسط با مصرف مایکوروت،  $W_4F_2$ : تنش شدید با مصرف مایکوروت. شاخص بازداری خطی در ستون HP-5 MS با استفاده از نرمال آلکان‌های  $C_8-C_{40}$  محاسبه شد.

جدول ۹- گروه‌بندی ترکیب‌های شناسایی شده اسانس آویشن دناپی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مایکوروت

تیماها								گروه‌بندی ترکیب‌های اسانس
W <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	W <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	W <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	W <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	W <sub>4</sub> F <sub>1</sub>	W <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	W <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	W <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	
۱۵/۸۳	۱۴/۷۳	۱۰/۷۰	۱۴/۰۸	۲۱/۳۵	۱۲/۶۵	۱۷/۴۷	۱۶/۲۰	مونوترپن‌های هیدروکربنه
۶۸/۶۰	۷۵/۵۰	۸۱/۵۰	۷۳/۲۶	۶۵/۷۲	۷۳/۵۰	۷۲/۹۹	۷۰/۴۹	مونوترپن‌های اکسیژنه
۹/۲۵	۴/۹۲	۵/۶۱	۵/۹۹	۶/۵۰	۴/۶۴	۴/۶۰	۶/۳۰	سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه
۱/۴۶	۰/۸۰	۰/۶۲	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۶۴	۰/۹۵	سزکوئی‌ترین‌های اکسیژنه
۴/۰۳	۱/۸۰	۱/۰۳	۲/۵۱	۳/۸۹	۴/۹۰	۱/۹۴	۱/۴۲	ترکیب‌های دیگر
۹۹/۲۰	۹۷/۸۰	۹۹/۵۰	۹۶/۷۰	۹۸/۴۰	۹۶/۶۰	۹۷/۶۰	۹۵/۴۰	مجموع ترکیب‌های شناسایی شده

W<sub>1</sub>F<sub>1</sub>: شاهد بدون مصرف مایکوروت، W<sub>2</sub>F<sub>1</sub>: تنش ملایم بدون مصرف مایکوروت، W<sub>3</sub>F<sub>1</sub>: تنش متوسط بدون مصرف مایکوروت، W<sub>4</sub>F<sub>1</sub>: تنش شدید بدون مصرف مایکوروت، W<sub>1</sub>F<sub>2</sub>: شاهد با مصرف مایکوروت، W<sub>2</sub>F<sub>2</sub>: تنش ملایم با مصرف مایکوروت، W<sub>3</sub>F<sub>2</sub>: تنش متوسط با مصرف مایکوروت، W<sub>4</sub>F<sub>2</sub>: تنش شدید با مصرف مایکوروت

## بحث

باشد (Gheidarlouei et al., 2020). نتایج ما با مطالعات Abdollahi Arpanahi و همکاران (۲۰۲۰) بر روی گیاه آویشن دناپی و Azimi و همکاران (۲۰۱۸) بر روی کاکوتی کوهی (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) مطابقت داشت. رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه آویشن دناپی هم تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفتند، به طوری که میزان کلروفیل a و b و کل به موازات افزایش سطح تنش به طور معنی‌داری کاهش یافتند. علاوه بر این، با کاربرد قارچ مایکوریزا، کلروفیل a، b و کل به ترتیب ۴۸/۷۵، ۶۰ و ۶۱/۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند. کاهش میزان کلروفیل در شرایط کم‌آبی ممکن است ناشی از تخریب کلروپلاست و کاهش ساخت رنگیزه‌ها باشد. همچنین علت کاهش میزان کلروفیل در شرایط خشکی، کاهش ساخت و افزایش تخریب کلروفیل و اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول ساخت و سنتز این رنگیزه‌ها می‌باشد (Siavash Mogadam et al., 2017). همچنین کم‌آبی سبب افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشدی همانند آبسزیک اسید و اتیلن شده که اینها به عنوان عامل تحریک‌کننده آنزیم کلروفیل‌از عمل می‌نمایند و این آنزیم باعث تجزیه کلروفیل می‌گردد (Orabi et al., 2010). علاوه بر این، کاهش رنگدانه‌های

طبق نتایج با افزایش سطوح کم‌آبی، وزن تر، وزن خشک کل، وزن خشک برگ و ساقه گیاه آویشن دناپی کاهش یافت، ولی این کاهش در گیاهان تلقیح شده با قارچ کمتر بود. این موضوع بیانگر این است که قارچ‌های میکوریزا به عنوان یک کود زیستی می‌توانند اثرهای تنش خشکی را تعدیل کنند. کاهش وزن خشک گیاه در شرایط کم‌آبی به دلیل کاهش فشار آماس سلول ناشی از کاهش سطح برگ گیاه می‌باشد (Parsa et al., 2019). علاوه بر این گیاه با بستن روزنه‌ها سعی در به حداقل رساندن تعرق داشته و همین امر باعث کاهش تبادلات گازی شده و دی‌اکسیدکربن ورودی به گیاه کاهش یافته ولی اکسیژن افزایش می‌یابد که موجب کاهش فعالیت کربوکسیلاسیون آنزیم ریبولوز ۱۵-بی‌فسفات کربوکسیلاز/ اکسیژناز (روبیسکو) می‌گردد و در نهایت باعث کاهش تولید ماده خشک خواهد شد (Madhava et al., 2006). علاوه بر این، افزایش وزن خشک گیاهان تلقیح شده با قارچ می‌تواند ناشی از تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین و سیتوکینین و افزایش جذب آب، عناصر غذایی و انتقال هر چه بهتر آنها در اندام‌های گیاه و بالارفتن سرعت فتوسنتز



که سبب افزایش فتوسنتز می‌شود ( Ryan & Graham, 2002). نتایج پژوهش Rahimi و همکاران (۲۰۱۷) بر گاوزبان (*Borago officinalis*) نشان داد که میزان کلروفیل a و b و کل با افزایش سطح تنش خشکی کاهش یافتند. همچنین Minaei و همکاران (۲۰۱۹) در مرزنجوش بخارایی (*Origanum vulgare L. ssp. gracile*) و Afkari (۲۰۱۸) در ریحان (*Ocimum basilicum L.*) نتایج مشابهی را گزارش کردند.

در شرایط کم آبیاری کاهش محتوای رطوبت نسبی آب برگ از مشخص‌ترین علائم فیزیولوژیک کمبود میزان رطوبت در خاک است که از آسیب‌های ناشی از تنش خشکی می‌باشد (Piotrowska et al., 2009). کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاهان بر اثر خشکی به علت بسته شدن روزنه‌ها است که دلیل بسته شدن روزنه‌ها هم تجمع هورمون آبسزیک اسید است ( Moghadasan et al., 2016). با کاربرد قارچ مایکوریزا میزان محتوای نسبی آب برگ ۳۱/۶۱٪ نسبت به عدم کاربرد افزایش یافت. قارچ‌های مایکوریزا با افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌توانند سبب بهبود جذب بیشتر فسفر از خاک شده، در نتیجه نقش مؤثری در افزایش رشد گیاهان ایفاء نمایند (Krishna et al., 2005). در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا تحت تنش کم‌آبی، یون‌ها و مواد آلی در واکوئل سلول‌های برگ بیشتر تجمع می‌یابند که این عامل سبب کاهش قابلیت اسمزی سلول‌های برگ شده و در نهایت سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا می‌گردد (Wu et al., 2007). در تحقیق Siavash Mogadam و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثر همزیستی *Glomus intraradices* بر گیاه دارویی شنبلیله تحت تنش کم‌آبی، مشاهده شد که در همه سطوح آبیاری، بالاترین محتوای آب نسبی برگ به گیاهان تلقیح شده با قارچ تعلق داشت. همچنین Askary و همکاران (۲۰۱۷) در گیاهان *Thymus vulgaris* و *Thymus daenensis* Celak. و Mazaiaie و همکاران (۲۰۱۷) در خارمریم (*Silybum marianum (L.) Gaertn.*) به نتایج مشابهی دست یافتند.

فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، ممکن است به دلیل کاهش سنتز کمپلکس‌های رنگدانه‌ای کد شده به وسیله خانواده ژنی cab و یا تخریب کمپلکس‌های پروتئین رنگدانه به دام اندازنده نور کلروفیل a و b (CHClls) که کار آنها محافظت از وضعیت فتوسنتزی هست، باشد و یا ممکن است به دلیل تخریب اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست، رنگدانه‌ها و یا پروتئین‌ها باشد ( Terzi & Kadioglu, 2006). نتایج روند میزان کاروتنوئید بعکس کلروفیل‌ها بود. بیشترین میزان کاروتنوئید در سطح تنش متوسط و با کاربرد قارچ مایکوریزا حاصل شد و کمترین مقدار آن در سطح بدون تنش و بدون تلقیح با میکوریزا بدست آمد. میزان کاروتنوئید گیاه آویشن دناپی با کاربرد قارچ مایکوریزا ۲۲/۵۱٪ نسبت به عدم کاربرد افزایش نشان داد. افزایش میزان کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی در گیاهان به دلیل نقش محافظتی این رنگیزه‌ها می‌باشد که باعث حفاظت کلروفیل در مقابل اکسیداسیون نوری می‌شود (Chalker-Scott, 2002). کاروتنوئیدها با استفاده از چرخه گزانتوفیل و با واکنش‌های اپوکسیداسیون و دپوکسیداسیون، مصرف اکسیژن را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر مصرف الکترون‌های اضافی به وسیله چرخه گزانتوفیل از غشای تیلاکوئیدی در برابر خطر تخریب به وسیله انواع اکسیژن فعال محافظت می‌کند و در هنگام بروز تنش کم‌آبی به بقاء سیستم فتوسنتزی گیاه کمک می‌نماید. به همین علت با افزایش تنش خشکی غلظت کاروتنوئیدها بالا می‌رود (Badalzadeh et al., 2018). علاوه بر این، قارچ‌های مایکوریزا در زمان بروز تنش کم‌آبی با افزایش سرعت مصرف کربن‌دی‌اکسید، قابلیت آب برگ، افزایش میزان تعرق و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزبان، می‌توانند سبب تعدیل اثرهای کم‌آبی شوند (Ladjal et al., 2005). براساس مطالعات محققان، افزایش سرعت رشد گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا را به افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، افزایش وزن مخصوص برگ، افزایش کارایی انتقال زنجیره الکترون، جذب مؤثرتر کربن‌دی‌اکسید، فعالیت بالای آنزیم‌های نیترات ریداکتاز، گلوتامین سینتاز و نیتروژناز نسبت داده‌اند

پیش‌ماده مهم و مناسب در سنتز اسانس مطرح می‌باشند، همچنین فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی ارتباط مستقیمی با تولید اسانس دارند، بنابراین کودهای زیستی از طریق کمک به جذب فسفر و نیتروژن و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های مورد نیاز گیاه ایفاء می‌نمایند، سبب افزایش میزان بافت‌های فتوسنتزی و در نهایت افزایش درصد اسانس می‌شوند (Sangwan *et al.*, 2001). با توجه به اینکه اسانس‌ها ترکیب‌های ترینوئیدی هستند و واحدهای سازنده آنها ایزوپرنوئیدها می‌باشند که نیاز اساسی به ATP و NADPH دارند و با توجه به اینکه وجود عناصری مانند فسفر و نیتروژن برای ساخت ترکیب‌های اخیر لازم و ضروریست، به همین دلیل همزیستی با قارچ میکوریزا از طریق جذب کارآمد و بالای فسفر و تاحدودی عنصر نیتروژن توسط ریشه، باعث افزایش اسانس گیاهان دارویی می‌گردد (Kapoor *et al.*, 2002). در تحقیق Zakerian و همکاران (۲۰۲۰)، بالاترین درصد اسانس تحت تنش متوسط و مصرف قارچ میکوریزا بدست آمد. همچنین Tatrai و همکاران (۲۰۱۶) در آویشن (*Thymus citriodorus*)، Siavash Mogadam و همکاران (۲۰۱۷) در شنبلیله و Sotomayor و همکاران (۲۰۰۴) در گونه‌ای از آویشن (*Thymus zygis*) به نتایج مشابهی دست یافتند.

ترکیب‌های شیمیایی موجود در اسانس گیاهان به‌طور مستقیم تحت تأثیر عوامل محیطی به‌ویژه تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند (Amiri *et al.*, 2018). براساس نتایج ما بیشترین میزان تیمول در سطح تنش خفیف و با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد که نسبت به تیمار آبیاری نرمال و بدون تلقیح ۱۸/۳۵٪ افزایش یافت. Bahreininejad و همکاران (۲۰۱۳)، Aziz و همکاران (۲۰۰۸) و Abdollahi و Arpanahi و همکاران (۲۰۲۰) به‌ترتیب در گیاهان آویشن دنایی، آویشن و مرزه سهندی افزایش میزان تیمول را با افزایش سطح تنش مشاهده کردند. همچنین Baher و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که مقدار کارواکرول در گیاه مرزه تابستانی (*Satureja hortensis*) تحت شرایط تنش متوسط افزایش و در تنش شدید کاهش یافت. در حالی‌که

نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش سطح کم‌آبی درصد کلونیزاسیون کاهش می‌یابد که بیانگر اثر بازدارنده تنش کم‌آبی بر توسعه فعالیت قارچ میکوریزا است. کم‌آبی، باعث کاهش جوانه‌زنی و رشد اسپوره‌های قارچ میکوریزا و در نتیجه کاهش قابل توجه تشکیل ساختارهای قارچی (اسپورها، میسلیم، آرباسکول و وزیکول) می‌شود. Soleymani و Pirzad (۲۰۱۶) در زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) و همکاران (۲۰۱۱) در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و Al-Arjani و همکاران (۲۰۲۰) در گیاه ارمک رونده (*Ephedra foliata* Boiss.) نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند.

طبق نتایج، بالاترین درصد اسانس در سطح تنش متوسط با کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد و کمترین میزان آن در تنش شدید و بدون کاربرد میکوریزا بدست آمد. با کاربرد قارچ میکوریزا درصد اسانس ۲۸/۰۷٪ نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت. گزارش‌های متعدد نشان داده‌اند که گیاهان در شرایط خشکی، غلظت بیشتری از متابولیت‌های ثانویه را در روغن اسانس افزایش می‌دهند. در گیاهانی همانند مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) (Bettaieb *et al.*, 2009)، نعنا گربه‌ای (*Nepeta cataria*) (Manukyan, 2011) و مرزه تابستانی (*Satureja hortensis*) (Baher *et al.*, 2002) با اعمال تنش خشکی، افزایش متابولیت‌های ثانویه مشاهده شده است. افزایش تجمع اسانس در واحد وزن خشک برگ گیاهان تحت تنش کم‌آبی، به افزایش تراکم غدد ترشحی اسانس به‌دلیل کاهش سطح برگ نسبت داده شده است (Biswas *et al.*, 2011). علاوه‌براین، افزایش درصد اسانس در شرایط تنش سبب جلوگیری از عمل اکسیداسیون سلول می‌گردد (Anwar *et al.*, 2005). کم‌آبی به‌ترتیب منجر به افزایش ۱ و ۲/۳ درصدی اسانس گیاهان مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) و مرزه تابستانی (*Satureja hortensis*) شد. همچنین نتایج مشابهی در گیاهانی مانند جعفری (*Petroselinum crispum*) و مرزنجوش مکزیکی (*Lippia berlandieri*) در شرایط خشکی مشاهده شد (Dunford & Vazquez, 2005). از آنجایی که گلوکز و کربن‌دی‌اکسید به‌عنوان

جاسمونیک، اسید جیبرلیک و سیتوکینین می‌شود که این فیتوهورمون‌ها تشکیل غده‌های ترشح‌کننده اسانس را بیشتر کرده، در نتیجه منجر به تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Kapoor et al., 2017). قارچ میکوریزا با تحریک ژن TTG1 (Transparent Testa Glabra 1) تولید غده‌های تولیدکننده اسانس را در گیاه درمنه یک‌ساله (*Artemisia annua* L.) افزایش داد (Mandal et al., 2015). به‌طور کلی افزایش کمی ترپینوئیدها در گیاهان در نتیجه بیوسنتز بیشتر این ترکیب‌ها و افزایش بیوماس می‌باشد که در اندام‌هایی مانند ساقه، برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌ها سنتز و یا ذخیره می‌شوند (Kapoor et al., 2017). البته افزایش بیوماس برگ منجر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه تأمین مواد مورد نیاز برای بیوسنتز ترپینوئیدها خواهد شد (Hofmeyer et al., 2010).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت نتایج این پژوهش نشان داده که اگرچه با افزایش سطح کم‌آبی، درصد کلونیزاسیون ریشه، وزن خشک برگ، ساقه و کل کاهش معنی‌داری پیدا کردند، ولی عملکرد اسانس و عملکرد فنلی آویشن دناپی در تنش ملایم و با کاربرد کود زیستی مایکوروت افزایش یافت. علاوه‌براین، صفات فیزیولوژیک (کلروفیل a, b و کل) مورد بررسی هم با افزایش تنش کم‌آبی کاهش معنی‌داری پیدا کردند. البته کاهش این صفات با کاربرد کود زیستی کمتر بود. همچنین بیشترین میزان تیمول در تنش ملایم و با کاربرد کود زیستی حاصل شد. بنابراین می‌توان بیان کرد که استفاده از کود زیستی مایکوروت در شرایط کم‌آبی می‌تواند اثرهای نامطلوب تنش را تا حدودی بهبود بخشد و سبب افزایش کمی و کیفی اسانس آویشن دناپی گردد.

### منابع مورد استفاده

- Abdollahi Arpanahi, A., Feizian, M. and Mehdi-pourian, G., 2020. Influence of drought stress and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on morphological characteristics essential oil yield and composition of *Thymus daenensis* Clack. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 36(3): 417-428.

Bahreininejad و همکاران (۲۰۱۳) کاهش میزان کارواکرول را در شرایط تنش شدید و متوسط گزارش کرده‌اند. در نتایج پژوهش ما در شرایط بدون تلقیح، با افزایش سطح کم‌آبی، میزان کارواکرول روند کاهشی داشت. ولی در حالت تلقیح با افزایش سطح تنش تا ۵۵٪ ظرفیت زراعی میزان این ترکیب افزایش ولی در تنش شدید کاهش یافت. گیاهان دارویی و معطر که در شرایط کمبود آب رشد کرده‌اند، غلظت بسیار بالایی از ترکیب‌های طبیعی (متابولیت‌های ثانویه) را در مقایسه با همان گیاهان دارویی که با آب کافی رشد کرده‌اند، تولید می‌کنند. کمبود آب باعث واکنش متابولیکی (مرتبط با تنش خشکی) می‌شود. به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها، جذب دی‌اکسیدکربن به‌طور قابل توجهی کاهش یافته، در نتیجه مصرف  $H^+$  و  $NADPH^+$  برای تثبیت دی‌اکسیدکربن از طریق چرخه کالوین کاهش می‌یابد و این کاهش عرضه معادل‌ها سبب ایجاد استرس اکسیداتیو زیادی می‌شود. در نهایت فرایندهای متابولیکی به سمت تولید متابولیت‌های ثانویه می‌روند که سنتز ترکیب‌های احیاءکننده مانند ایزوپروپونوئیدها، ترکیب‌های فنلی و آلکالوئیدها افزایش می‌یابد (Selmar & Kleinwachter, 2013).

در رابطه با تغییرات مونوترپین‌ها و سزکوئی‌ترین‌ها می‌توان بیان کرد که کرک‌های غده‌ای ساختارهای ترش‌چی اپیدرمی هستند که ترپینوئیدها را در گیاهان سنتز و ذخیره می‌کنند. همبستگی مثبتی بین افزایش غلظت ترپینوئیدها و تراکم کرک‌های غده‌ای در تعدادی از گیاهان مانند نعناع‌فللی (*Mentha piperita* L.)، لویا لیما (*Phaseolus lunatus*) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) مشاهده شده است. افزایش غلظت ترپینوئیدها پس از تلقیح با مایکوریزا اغلب به افزایش تراکم غده‌ها نسبت داده شده است (Kapoor et al., 2007). همچنین قارچ میکوریزا ممکن است تجمع مونو یا دی‌ترین‌ها را از طریق فعالیت آنزیمی افزایش بدهد که از ژرانیل‌دی‌فسفات (GPP) پیش‌ماده مشترک آنها شروع می‌شود (Mandal et al., 2015). علاوه‌براین، قارچ میکوریزا باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون‌های گیاهی از قبیل اسید

- and vegetative growth characteristics of *Ziziphora clinopodioides* Lam. Journal of Rangeland Science, 8(3): 253-262.
- Aziz, E.E., Hendawy, S.F., Ezz El-Din, A.A. and Omer, E.A., 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* plant. American-Eurasian Journal Agricultural Environmental Sciences, 4: 443-450.
  - Badalzadeh, A., Danesh-Shahraki, A., Rafieiohossaini, M. and Ghobadina, M., 2018. The effects of solitary and combined application of cattle manure and chemical fertilizer on essential oil and some physiological characteristics of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under water deficit stress conditions. Water and Soil Science, 28(3): 155-168.
  - Baher, Z.F., Mirza, M., Ghorbanli, M. and Bagher Rezaei, M., 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., Razmjoo, J. and Mirza, M., 2013. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. International Journal of Plant Production, 7(1): 151-166.
  - Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W.A., Kchouk, M.E. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Science Horticulture, 120(2): 271-275.
  - Biswas, Sh., Koul, M. and Bhatnagar, K., 2011. Effect of salt, drought and metal stress on essential oil yield and quality in plants. Natural Product Communication, 10(6): 1559-1564.
  - Chalker-Scott, L., 2002. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? Advances in Botanical Research, 37: 103-106.
  - Colombo, R.P., Martinez, A.E., Fernandez di Pardo, A., Bidondo, L.F., van Baren, C., di Leo Lira, P. and Godeas, A.M., 2013. Differential effects of two strains of *Rhizophagus intraradices* on dry biomass and essential oil yield and composition in *Calamintha nepeta*. Review Argentina Microbiology, 45: 114-118.
  - Dunford, N.T. and Vazquez, R.S., 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in mexican oregano grown under controlled conditions. Journal of Applied Horticulture, 7: 20-22.
  - Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A.G., Hashemi, M., Maggi, F. and Morshedloo, M.R., 2018. Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. Industrial Crops and Products, 121: 434-440.
  - Fathi, A. and Barari Tari, D., 2016. Effect of drought stress and its mechanism in plants. International Journal of Life Sciences, 10(1): 1-6.
  - Abreu, I.N. and Mazzafera, P., 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* choisy. Plant Physiology and Biochemistry, 43: 241-248.
  - Adams, R.P., 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/ Quadrupole Mass Spectrometry. Allured publishing corporation, Carol Stream, IL, 804p.
  - Afkari, A., 2018. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer rate on some physiological characteristics, essential oil percentage, and yield of basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 33(6): 1047-1059.
  - Al-Arjani, Al.B.F., Hashem, A. and Abd-Allah, E.F., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. Saudi Journal of Biological Sciences, 27: 380-394.
  - Aliabadi Farahani, H., Valadabadi, S.A., Daneshian, J. and Khalvati, M.A., 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Medicinal Plants Research, 3(5): 329-333.
  - Amiri, R., Nikbakht, A. and Etemadi, N., 2015. Alleviation of drought stress on rose geranium (*Pelargonium graveolens* (L.) Herit.) in terms of antioxidant activity and secondary metabolites by mycorrhizal inoculation. Science Horticulturae, 197: 373-380.
  - Amiri, H., Dousty, B. and Hosseinzadeh, S.R., 2018. Water stress-induced changes of morphological, physiological and essential oil compounds in *Thymus eriocalyx* from Iran. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 21(5): 1210-1223.
  - Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A. and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of french basil. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 36: 1737-1746.
  - Arnon, A., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.
  - Askary, M., Behdani, M.A., Parsa, S., Jamialahmadi, M. and Mahmoodi, S., 2017. Effects of water stress and manure on stomatal conductance relative water content photosynthetic pigments and quantitative and qualitative yield of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 33(5): 793-811.
  - Aslani, Z., Hassani, A., Rasouli Sadaghiyani, M., Sefidkon, F. and Barin, M., 2011. Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27(3): 471-486.
  - Azimi, R., Heshmati, G.A. and Kianian, M.K., 2018. Effects of drought stress and mycorrhiza on viability

- Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, Kh. and Khalighi, A., 2011. The effect drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 22(5): 5360-5365.
- Koske, R. and Gemma, J., 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, 92(4): 486-488.
- Krishna, H., Singh, S.K. and Sharma, R.R., 2005. Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculated during ex vitro acclimatization. *Science Horticulture*, 106: 554-567.
- Ladjal, M., Huc, R. and Ducrey, M., 2005. Drought effects on hydraulic conductivity and xylem vulnerability to embolism in diverse species and provenances of mediterranean cedars. *Tree Physiology*, 25(9): 1109-1117.
- Madhava, K.V., Raghavendra, A.S. and Janardhan, K., 2006. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer Science & Business Media India, 345p.
- Mandal, S., Upadhyay, S., Wajid, S., Ram, M., Jain, D.C., Singh, V.P., Abdin, M.K. and Kapoor, R., 2015. Arbuscular mycorrhiza increase artemisinin accumulation in *Artemisia annua* by higher expression of key biosynthesis genes via enhanced jasmonic acid levels. *Mycorrhiza*, 25(5): 345-357.
- Manukyan, A., 2011. Effect of growing factors on productivity and quality of lemon catmint, lemon balm and sage under soilless greenhouse production: I. drought stress. *Medicinal and Aromatic Plant Science Biotechnology*, 5(2): 119-125.
- Mazarai, A., Sirousmehr, A.R. and Babaei, Z., 2017. Effect of mycorrhizal fungi on some morphological & physiological characteristics of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(4): 620-635.
- McGonigle, T., Miller, M., Evans, D., Fairchild, G. and Swan, J., 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 115(3): 495-501.
- Minaei, A., Hassani, A., Nazemiyeh, H. and Besharat, S., 2019. Effect of drought stress on some morphophysiological and phytochemical characteristics of oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *gracile*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 35(2): 252-265.
- Moghadasan, Sh., Safipour, A. and Saeid Nematpour, F., 2016. The role of mycorrhiza in drought tolerance of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 36(4): 521-532.
- Morshedloo, M.R., Craker, L.E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H. and Maggi, F., 2017. Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono-and sesquiterpene
- Freitas, M.S.M., Martins, M.A. and Curcino Vieira, I.J., 2004. Yield and quality of essential oils of *Mentha arvensis* in response to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 39: 887-894.
- Gheidarlouei, Sh., Khademian, R. and Mafakheri, S., 2020. Response of *Anethum graveolens* L. to mycorrhiza symbiosis at different salinity levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(2): 329-347.
- Giovannetti, M. and Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84(3): 489-500.
- Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A. and Caruso, G., 2020. Yield essential oil and quality performances of *Artemisia dracuncululus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, 375(9): 2-16.
- Hofmeyer, P.V., Seymour, R.S. and Kenefic, L.S., 2010. Production ecology of *Thuja occidentalis*. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(6): 1155-1164.
- Jamal omidi, F., Mohajjel shoja, H. and Sariri, R., 2018. Effect of water-deficit stress on secondary metabolites of *Melissa officinalis* L.: role of exogenous salicylic acid. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(2): 121-134.
- Jamshidi-kia, F., Lorigooini, Z. and Amini-Khoei, H., 2018. Medicinal plants: past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7(1): 1-7.
- Joshee, N., Mentreddy, S.R. and Yadav, K., 2007. Mycorrhizal fungi and growth and development of micropropagated *Scutellaria integrifolia* plants. *Industrial Crops and Products*, 25: 169-177.
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2002. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in dill (*Anethum graveolens* L.) and carum (*Trachyspermum ammi Sprague*). *World Journal Microbiology Biotechnology*, 18(5): 459-463.
- Kapoor, R., Chaudhary, V. and Bhatnagar, A.K., 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza*, 17: 581-587.
- Kapoor, R., Anand, G., Gupta, P. and Mandal, S., 2017. Insight into the mechanisms of enhanced production of valuable terpenoids by arbuscular mycorrhiza. *Phytochemistry Reviews*, 16(4): 677-692.
- Khalid, Kh., 2006. Influence of water stress on growth essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20: 96-289.
- Khaosaad, T., Vierheiling, H., Nell, M., Zitterl-Eglsper, K. and Novak, J., 2006. Arbuscular mycorrhiza alters the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp. Lamiaceae). *Mycorrhiza*, 16: 443-446.

- Sangwan, N.S., Farooqi, A.H.A., Shabih, F. and Sangwan, R.S., 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, 34: 3-21.
- Selmar, D. and Kleinwachter, M., 2013. Stress enhances the synthesis of secondary plant products: the impact of the stress-related overreduction on the accumulation of natural products. *Plant and Cell Physiology*, 54: 817-826.
- Sharafzadeh, Sh. and Zare, M., 2011. Effect of drought stress on qualitative characteristics of some medicinal plants from Lamiaceae family. *Advances in Environmental Biology*, 8(5): 2058-2062.
- Siavash Mogadam, S., Rahimi, A., Heydarzadeh, S., Moradzadeh, S. and Hasanlo, M., 2017. The effect of mycorrhizal symbiosis on the yield and biochemical traits of fenugreek under water deficit stress. *Journal of Medicinal Plants Biotechnology*, 3(1): 40-52.
- Soleymani, F. and Pirzad, A.R., 2016. The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb hyssop under water deficit conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(6): 1013-1023.
- Sotomayor, J.A., Martinez, R.M., Garcia, A.J. and Jordan, M.J., 2004. *Thymus zygis* subsp. *gracilis*: watering level effect on phytomass production and essential oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(17): 5418-5424.
- Tarraf, W., Ruta, C., De Cillis, F., Tagarelli, A., Tedone, L. and De Mastro, G.E., 2015. Effects of mycorrhiza on growth and essential oil production in selected aromatic plants. *Italy Journal Agronomy*, 10: 160-162.
- Tatrai, Z.A., Sanoubar, R., Pluhar, Z., Mancarella, S., Orsini, F. and Gianquinto, G., 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. *International Journal of Agronomy*, 20(16): 1-8.
- Terzi, R. and Kadioglu, A., 2006. Drought stress tolerance and antioxidant enzyme system in *Ctenanthe setosa*. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 48: 89-96.
- Turner, N.C., 1986. Crop water deficits: a decade of progress. *Adventure Agronomy*, 39: 1-51.
- Wu, Q.S., Xia, R.X., Zou, Y.N. and Wang, G.Y., 2007. Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncitrus trifoliata*) seedling to drought stress. *Acta Physiologica Plantarum*, 29: 543-549.
- Zakerian, F., Sefidkon, F., Abbaszadeh, B. and Kalatejari, S., 2020. Effects of water stress and mycorrhizal fungi on essential oil content and composition of *Satureja sahendica* bormm. *Journal Agriculture Science Technology*, 22(3): 789-799.
- Zayova, E., Stancheva, I., Geneva, M., Hristozkova, M., Dimitrova, L., Petrova, M. and Mudroncekova, S., 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance antioxidant capacity of in vitro propagated garden thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Symbiosis*, 74(3): 177-187.
- synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. *Plant Physiology and Biochemistry*, 111: 119-128.
- Morshedloo, M.R., Maggi, F., Neko, H.T. and Aghdam, M.S., 2018. Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: essential oil variability in iranian populations. *Industrial Crops and Products*, 111: 1-7.
- Orabi, S.A., Salman, S.R. and Shalaby, M.A., 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *Journal of Agricultural Science*, 6: 252-259.
- Parsa, M., Kamaei, R. and Yousefi, B., 2019. Effects of different biofertilizers on elements, essential oil and yield of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35(5): 860-875.
- Phillips, J.M. and Hayman, D., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1): 158-161.
- Piotrowska, A., Bajguz, A., GodlewskaZylkiewicz, B. and Czerpak, R., 2009. Jasmonic acid modulator of lead toxicity in aquatic plant *Wolffia arrhizal* (Lemnaceae). *Environmental and Experimental Botany*, 66: 507-513.
- Poshtdar, A., Mashhadie, A.R.A., Moradi, F., Siadat, S.A. and Bakhshandeh, A., 2016. Effect of source and rate of nitrogen fertilizer on yield and water and nitrogen use efficiency of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 18(1): 14-31.
- Rahimi, A., Jahanbin, Sh., Salehi, A. and Farajee, H., 2017. Changes in content of chlorophyll carotenoids phosphorus and relative water content of medicinal plant of borage (*Borago officinalis* L.) under the influence of mycorrhizal fungi and water stress. *Journal of Biological Sciences*, 17(1): 28-34.
- Rasouli-Sadaghiani, M.H., Hassani, A., Barin, M., Rezaee Danesh, Y. and Sefidkon, F., 2010. Effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on growth, essential oil production and nutrients uptake in basil. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(21): 2222-2228.
- Ryan, M.H. and Graham, G.H., 2002. Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? *Plant and Soil*, 244: 263-271.
- Rydlova, J., Jelinkova, M., Dusek, K., Duskova, E., Vosatka, M. and Puschel, D., 2015. Arbuscular mycorrhiza differentially affects synthesis of essential oils in coriander and dill. *Mycorrhiza*, 26: 123-131.
- Safaei, L., Sharifi Ashorabadi, E. and Afyouni, D., 2017. The effects npk, chemical and manure fertilizers investigation on the phenolic yield and essential oil components in *Thymus daenensis* L. *Eco-Phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 17(1): 1-15.

## Improving quantity and quality of *Thymus daenensis* Celak. essential oil with application of Myco-Root biofertilizer under different irrigation levels

H. Shabkhiz<sup>1</sup>, A. Javanmard<sup>2\*</sup>, A. Ostadi<sup>3</sup> and M.R. Morshedloo<sup>4</sup>

1- M.Sc. student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

2\*- Corresponding author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran  
E-mail: a.javanmard@maragheh.ac.ir

3- Ph.D. student of Agrotechnology- Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

4- Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Received: December 2020

Revised: May 2021

Accepted: May 2021

### Abstract

To determine the effects of Myco-Root biofertilizer and different irrigation levels on the content and essential oil compounds of thyme (*Thymus daenensis* Celak.), a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with eight treatments and three replications in the greenhouse of Plant Production and Genetics department, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran, in 2020. The factors included drought stress at four levels of without stress (irrigation at field capacity (FC) as a control), mild (irrigation at 75% FC), moderate (irrigation at 55% FC), and severe (irrigation at 35% FC) stresses and biofertilizer at two levels of inoculation and non-inoculation with Myco-Root. The results demonstrated that the fresh and dry weight of leaves, stem dry weight, total dry weight, leaf relative water content, chlorophylls *a* and *b* and total chlorophyll content, and root colonization percentage decreased significantly with increasing the water deficit level. However, the carotenoid content and essential oil percentage showed an increasing trend with increasing drought stress. The highest carotenoid content and essential oil percentage was obtained by using Myco-Root under moderate drought stress. Thymol, carvacrol, *p*-cymene, 1,8-cineole, (*E*)-caryophyllene, borneol,  $\gamma$ -terpinene, and  $\alpha$ -pinene were identified as the major constituents of essential oil in the all treatments. The highest content of thymol was obtained under mild drought stress with the Myco-Root application. Furthermore, the highest content of carvacrol was recorded under mild, moderate, and severe drought stresses, respectively with the Myco-Root application. On average, the application of Myco-Root biofertilizer increased the content of thymol, carvacrol, 1,8-cineole, *E*-caryophyllene, borneol, and  $\alpha$ -pinene by 4.19, 48.28, 15.93, 16.33, 14.15, and 3.78%, respectively compared to not using this biofertilizer. Overall, the results showed that some morphological and physiological traits of thyme decreased significantly with increasing the water deficit levels, but the application of Myco-Root biofertilizer could amend drought stress and improve the growth, percentage and essential oil quality of the plant. Thus, the use of Myco-Root biofertilizer instead of chemical fertilizers could be recommended to achieve the sustainable agriculture in the thyme cultivation.

**Keywords:** Thymol, carvacrol, bio-fertilizer, sustainable agriculture, carotenoid.