

تأثیر محلول پاشی عناصر غذایی بر کمیت و کیفیت اسانس نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) در سطوح مختلف آبیاری

عبدالله جوانمرد^{۱*}، مهدی رحیمی^۲، مصطفی امانی ماچیان^۳، محسن جانمحمدی^۴ و ریحانه حبیبی ماچیان^۵

۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

پست الکترونیک: a.javanmard@maragheh.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی- آکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۴- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۵- دانشجوی کارشناسی، مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی عناصر غذایی بر عملکرد ماده خشک و کمیت و کیفیت اسانس نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.)، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورها شامل آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (آبیاری پس از ۲۰ (شاهد)، ۴۰ (تنش خفیف) و ۶۰ (تنش شدید) درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی) و منبع کود به عنوان فاکتور فرعی در چهار سطح (بدون کاربرد کود (شاهد) و محلول پاشی کودهای ماکرومیکس گلد، اکوکوئل میکرومیکس و ویتالیم فورت) بودند. نتایج نشان داد، بیشترین (۲۸۰/۵) گرم بر مترمربع) و کمترین (۱۱۳/۷) گرم بر مترمربع) وزن خشک کل به ترتیب در شرایط نرمال آبیاری (شاهد) با کاربرد کود ماکرومیکس گلد و تنش شدید بدون مصرف کود بدست آمد. وزن خشک کل در تنش‌های خشکی خفیف و شدید به ترتیب ۲۲/۷٪ و ۴۰/۳٪ نسبت به آبیاری نرمال کاهش یافت. میزان وزن خشک کل با کاربرد کودهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل میکرومیکس به ترتیب ۳۷/۷، ۲۳/۸ و ۱۷/۱ درصد نسبت به عدم مصرف کود افزایش یافت. بیشترین درصد (۲/۱) و عملکرد (۴/۵) گرم بر مترمربع) اسانس و همچنین بیشترین میزان منتول (۴۰/۹٪)، منتون (۲۸/۱٪) و ۸،۱-سینئول (۶/۲٪) در اسانس در شرایط تنش خفیف آبی با کاربرد کود ماکرومیکس گلد بدست آمد. براساس نتایج حاصل، می‌توان محلول پاشی کود ماکرومیکس گلد را به عنوان یک راهکار مؤثر جهت افزایش کمیت و کیفیت اسانس نعنا فلفلی در شرایط تنش خشکی معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: درصد اسانس، کم آبی، گیاهان دارویی و معطر، ماکرومیکس گلد، منتول.

مقدمه

از میان انواع تنش‌های محیطی، خسارت‌های وارده به محصولات کشاورزی در اثر تنش‌های خشکی، شوری و دما در سطح جهان گسترده‌تر بوده، به همین جهت بیشتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یکی از مهمترین عوامل محیطی که میزان توزیع، پراکنش، رشد و تولید موفق محصولات گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، میزان آب در دسترس گیاه است. کاهش مقدار آب در دسترس گیاه به تنش خشکی و بروز تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان منجر می‌گردد. تنش خشکی شایع‌ترین تنش محیطی و مهمترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان می‌باشد و به‌طور متوسط تولید ۲۵٪ زمین‌های کشاورزی جهان را محدود می‌کند. براساس مطالعات بعمل آمده، از بین عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده، تنش خشکی به‌تنهایی منجر به کاهش ۴۵٪ از عملکرد محصولات گیاهی می‌شود (Amani Machiani et al., 2021). عدم بارندگی کافی و توزیع غیریکنواخت آن در طول فصل رشد در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران باعث شده است که نیاز آبی گیاهان زراعی و غیرزراعی به میزان کافی تأمین نشود. بنابراین، قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی به‌ویژه در برخی از مواقع سال موضوعی اجتناب‌ناپذیر بوده و برای تولید عملکرد رضایت‌بخش باید کمبود آب از طریق آبیاری بیش از حد جبران گردد. در حال حاضر، حدود یک سوم اراضی جهان با کمبود بارندگی مواجه هستند و نیمی از این اراضی دارای بارندگی سالیانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشند که تقریباً برابر است با یک چهارم تبخیر و تعرق بالقوه در این مناطق. به‌طور کلی، مناطق خشک و نیمه‌خشک در جهان در محدوده بین عرض‌های جغرافیایی ۱۵ تا ۳۰ درجه شمالی قرار گرفته و وسعتی در حدود ۴۴/۷ میلیون کیلومترمربع دارد. کشور ایران نیز با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌لیتر در سال (کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در جهان) در زمره مناطقی با اقلیم خشک طبقه‌بندی می‌شود و به‌غیر از سواحل دریای خزر و قسمت‌های کوچکی از شمال‌غرب کشور، بقیه

مناطق آن جزو اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند (Vaghefi et al., 2019). در صورتی که نواحی تحت تنش خشکی را مناطقی با بارندگی سالیانه کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر در نظر بگیریم، به راحتی می‌توان گفت که بیش از ۹۰٪ سطح کشور تحت تنش خشکی قرار دارد (Biglari et al., 2019).

تنش آبی با توجه به مدت زمان، دوام و اندازه کمبود آن تأثیرات منفی بر مشخصات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان دارد که در نهایت منجر به کاهش عملکرد کمی و کیفی آنها تحت این شرایط می‌شود (Gao et al., 2020). کمبود آب، علاوه بر کاهش توسعه برگ، می‌تواند از طریق ریزش و مرگ برگ‌ها در طول مراحل مختلف رشد بر شاخص سطح برگ مؤثر باشد. به‌طور کلی تنش آب از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم (که به‌نحوی کارآیی فتوسنتز را کاهش می‌دهد) و کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل، سبب تقلیل فرایند فتوسنتز می‌گردد (Okunlola et al., 2017). علاوه بر این، تنش آب به‌طور مستقیم می‌تواند بر فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم ورود دی‌اکسیدکربن را به داخل روزنه‌ها که به علت شرایط کم آبی بسته‌اند کاهش دهد. از این رو، انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش آب قرار گرفته و موجب اشباع برگ‌ها از این مواد می‌گردد که ممکن است فتوسنتز را محدود نماید (Amani Machiani et al., 2021). بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و عملکرد آن دچار نقصان می‌شود.

از سویی، کارایی جذب عناصر غذایی (به‌ویژه در مناطقی که از کودهای شیمیایی فراوانی برای تولید حداکثر عملکرد استفاده می‌شود) در شرایط تنش خشکی حداقل است. کم بودن کارایی جذب کودهای شیمیایی از یک سو و تأثیرات منفی درازمدت کاربرد این کودها از قبیل آلودگی‌های زیست محیطی، کاهش کیفیت محصولات

بوده و لازم است در زمینه فرآورده‌های مختلف تولید این گیاهان به‌ویژه در ایران، تحقیقات گسترده‌ای انجام شود. به دلیل وجود شرایط جغرافیایی و آب و هوایی متنوع در ایران امکان رشد بیشتر گونه‌های گیاهان دارویی امکان‌پذیر است. بنابراین کشت گیاهان دارویی و تولید فرآورده‌های آن می‌تواند به‌عنوان یک ضرورت ملی و در چارچوب یک برنامه مشخص، خودکفایی دارویی، اشتغال و توسعه بخش کشاورزی را به دنبال داشته و به‌عنوان عامل مهمی در ارزآوری برای کشور اثرگذار باشد.

نعنا فلفلی، با نام علمی *Mentha piperita* L. یک گیاه چندساله دارویی متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است. مهمترین کشورهای تولیدکننده این گیاه بلغارستان، ایتالیا، چین و آمریکا هستند (Ostadi et al., 2020). نعنا فلفلی یک گیاه دورگ (هیبرید) است که والدین آن را *Mentha aquatica* و *Mentha spicata* ذکر کرده‌اند. طعم تند برگ‌های آن سبب معروفیت این گیاه به نام نعنا فلفلی شده است. عملکرد تر آن ۱۲ تا ۲۰ تن در هکتار است که حاصل آن، ۳۰ تا ۶۰ کیلوگرم اسانس و سه تن در هکتار محصول خشک می‌باشد. بیش از ۹۹٪ غده‌های تولیدکننده اسانس در برگ‌ها و سرشاخه‌های گلدار این گیاه بوده و شامل ۱-۲٪ اسانس، تانن، فلاونوئید، کولین و یک ماده تلخ هستند. اسانس نعنا فلفلی دارای ترکیب‌های منتول (Menthol) (۶۰-۳۵٪)، منتوفوران (Menthofuran)، منتون (Menthone)، پپیریتون (Piperitone) و سینئول (1,8-Cineole) است. نعنا فلفلی دارای خواصی مانند ضد اسپاسم، پیشگیری‌کننده از استفراغ، ضد نفخ، خنک‌کننده و آنتی‌باکتریال است (Amani Machiani et al., 2018).

با توجه به افزایش تقاضای استفاده از گیاهان دارویی، لزوم کشت و پرورش این گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک حائز اهمیت است. برای رسیدن به این هدف، می‌توان از انواع روش‌های مختلف جهت افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه در مناطق خشک و بهبود کمیّت و کیفیت اسانس گیاهان دارویی و معطر استفاده کرد. بنابراین، پژوهشی با هدف ارزیابی محلول‌پاشی منابع مختلف کودی

تولیدی، هجوم علف‌های هرز رقابت‌کننده با گیاهان زراعی و شیوع آفات و بیماری‌ها از سوی دیگر، لزوم استفاده از روش‌های پایدار جایگزین را به حداکثر می‌رساند. یکی از روش‌های مؤثر در افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی عناصر غذایی است.

افشانه کردن (یا محلول‌پاشی) به کاربرد کود در سطح برگ که توسط گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، گفته می‌شود (Yadegari, 2017). در این روش عناصر غذایی به شکل ذرات ریز به درون برگ و ساقه گیاهان وارد می‌شوند. در چنین حالتی، گیاهان می‌توانند عناصر غذایی را از راه بخش‌های هوایی شامل روزنه‌ها، عدسک‌ها و اکتودسماتا (Ectodesmata) جذب کنند. در گیاهان خاک‌زی روزنه جایگاه مبادله دی‌اکسیدکربن و اکسیژن با جو است. بعضی از عناصر معدنی مانند نیتروژن و گوگرد به شکل NH_3 و H_2S از طریق روزنه‌ها جذب می‌شوند (Lafmejani et al., 2018). در واقع، محلول‌پاشی عناصر غذایی روشی برای کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک و کاهش خطرات محیطی استفاده از این کودها از جمله کاهش آلودگی خاک و آب است. با این روش تغذیه‌ای می‌توان عناصر را در سریعترین زمان در اختیار گیاه قرار داد. در ایران به دلیل غالب بودن شرایط آهکی خاک‌ها، مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی و به‌ویژه مصرف بی‌رویه فسفر، عدم رعایت تناوب زراعی، مصرف ناچیز کودهای آلی و سرانجام عدم مصرف کودهای محتوای عناصر ریزمغذی در گذشته، امروزه کمبود این عناصر در خاک‌ها و در نتیجه مواد غذایی، بیشتر مشهود می‌باشد. بنابراین برای برطرف کردن نیاز گیاه به عناصر غذایی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل کارایی پایین مصرف خاکی، تغذیه برگی روشی مفید و مؤثر محسوب می‌شود.

در سال‌های اخیر استفاده از گیاهان دارویی به دلیل اثبات اثرهای مفید آن، ارزان بودن، نداشتن اثرهای جانبی و همچنین سازگار بودن با محیط‌زیست روز به روز در حال افزایش است. ایجاد فرصت‌های مناسب سرمایه‌گذاری برای تولید بیشتر گیاهان دارویی در بخش کشاورزی حائز اهمیت

بر عملکرد ماده خشک، کمیت و کیفیت اسانس نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با طول جغرافیایی

۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۴۸۵ متر از سطح دریا اجرا گردید. قبل از اجرای آزمایش سه نمونه خاک به صورت تصادفی از قسمت‌های مختلف محل اجرای آزمایش برداشته و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table1. Farm soil physical and chemical properties

Soil texture	Total N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	pH	Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)	Organic matter (%)
Sandy clay loam	0.1	12.7	472.0	7.5	0.9	0.9

مجاز رطوبتی به‌عنوان تنش شدید و فاکتور فرعی منابع مختلف کودی شامل کاربرد کودهای ماکرومیکس گلد (فیوچرکو اسپانیا)، اکوکوئل میکرومیکس (فیوچرکو اسپانیا) و ویتالیم فورت (فیوچرکو اسپانیا) بودند. درصد ترکیب‌های عناصر غذایی و آمینو اسید موجود در کودهای مورد استفاده در جدول ۲ بیان شده است.

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی، سطوح مختلف آبیاری در سه سطح آبیاری پس از ۲۰٪ حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی به‌عنوان آبیاری نرمال، آبیاری پس از ۴۰٪ حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی به‌عنوان تنش ملایم و آبیاری پس از ۶۰٪ حداکثر تخلیه

جدول ۲- درصد ترکیب‌های کودهای ماکرومیکس گلد، اکوکوئل میکرومیکس و ویتالیم فورت

Table 2. Compounds percentage in Macromix gold, Ecoquel micromix, and Vitalem forte fertilizers

	Macromix gold	Ecoquel micromix	Vitalem forte
N	11.0%	-	-
P	7.5%	-	-
K	10.0%	-	-
B	0.1%	0.5%	-
Fe (EDTA)	0.6%	6.0%	-
Zn (EDTA)	0.6%	1.2%	-
Mn (EDTA)	0.3%	2.5%	-
Cu (EDTA)	0.1%	0.6%	-
Mg	0.3%	-	-
Co	-	0.02%	-
Mo	-	0.4%	-
Amino acids	-	2.0%	14.3%

آبیاری (۶۵٪ در نظر گرفته شده است) و میزان نهایی آبیاری در تنش‌های مختلف است. همچنین برای محاسبه حجم آبیاری، از حاصل ضرب مقدار عمق خالص آبیاری محاسبه شده در مساحت هر کرت استفاده شد.

با توجه به اینکه نوع آبیاری مورد استفاده در این آزمایش قطره‌ای بود، برای محاسبه میزان زمان مورد نیاز برای رسیدن به حجم مطلوب هر کرت، نیاز به تعیین میزان سطح خیس‌شوندگی خاک (P_w) بود (Mumivand, 2016).

$$P_w = \frac{W}{D}$$

در این رابطه P_w ، W و D به ترتیب درصد سطح خیس شده مزرعه، عرض خیس شده توسط قطره‌چکان و فاصله بین ردیف‌های کشت است. با توجه به اینکه تعداد قطره‌چکان موجود در هر کرت و همچنین دبی آب ورودی (اندازه‌گیری شده توسط فلومتر) به سطح هر کرت مشخص می‌باشد، زمان مورد نیاز برای رسیدن به حجم آبیاری مورد نظر برای هر کرت از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$\text{حجم آب مورد نیاز} = \frac{\text{دبی آب ورودی} \times \text{تعداد قطره چکان در هر کرت}}{\text{زمان مورد نیاز}}$$

در مرحله رسیدگی پنج بوته به‌طور تصادفی از ردیف‌های میانی کرت‌های آزمایشی انتخاب و کف‌بر شدند و صفات مورفولوژیک از قبیل ارتفاع بوته، قطر کانویی، تعداد برگ، وزن تر برگ و ساقه تک بوته، وزن خشک برگ و ساقه تک بوته، وزن تر و خشک کل و شاخص کلروفیل مورد ارزیابی قرار گرفتند. در آغاز گلدهی شاخص کلروفیل توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل Spad 502 Plus ساخت کشور ژاپن، از آخرین برگ کاملاً توسعه یافته در پنج بوته اندازه‌گیری شد. برداشت از خطوط میانی با حذف اثرهای حاشیه‌ای در تاریخ ۲۹ تیرماه انجام گردید. بعد از تعیین وزن تر بوته‌های برداشت شده، آنها را در محیط سایه تا ثابت شدن وزن نگهداری و بعد وزن خشک اندازه‌گیری شد.

به‌منظور آماده‌سازی زمین برای کاشت، در اوایل پاییز ۱۳۹۹ شخم نیمه‌عمیق به‌وسیله گاواهن برگردان‌دار انجام شد و در بهار پس از انجام شخم دوباره، برای نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود بر هم استفاده شد. براساس نتایج آنالیز خاک، ۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و ۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک به خاک اضافه گردید. نشاءهای نعنا فلفلی از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه و در تاریخ ۱۵ اردیبهشت‌ماه با تراکم ده بوته در مترمربع کشت شد. هر کرت شامل پنج خط کاشت به طول سه متر با فواصل ردیفی ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام گردید. برای سازگاری بیشتر نشاءهای منتقل شده به خاک و حصول رشد بهینه، در یک ماه اول هیچ‌گونه تنشی اعمال نشد. همچنین، مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت منظم و به‌طور دستی انجام شد. محلول‌پاشی کودهای ماکرومیکس گلد، اکوکوئل میکرومیکس و ویتالیم فورت یک ماه پس از تاریخ کاشت با غلظت دو در هزار انجام گردید. برای اعمال سطوح تنش خشکی از دستگاه تی‌دی‌آر (Time-Domain Reflectometry, Model TRIME-FM, England) براساس حداکثر درصد تخلیه (Maximum allowable depletion) از آب در دسترس (Soil available water: SAW) استفاده شد. اعمال تنش‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (Amani Machiani et al., 2021).

$$SAW = (f_c - p_{wp}) \times d \times 100$$

$$I_d = SAW \times p$$

$$I_g = [I_d \times 100] / E_a$$

در این رابطه‌ها f_c ، p_{wp} ، d ، p ، I_d و E_a به ترتیب ظرفیت زراعی خاک (۲۷/۴٪)، نقطه پژمردگی دائم (۱۳/۹٪)، عمق خاک (سانتی‌متر)، درصد تنش اعمال شده (۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد)، عمق آبیاری (۲۰ سانتی‌متر)، کارایی

هیدروکربن‌های آلیفاتیک (C₈-C₄₀) در شرایط تحلیلی بالا به داخل سیستم GC تزریق شد. نرم‌افزار مورد استفاده Chemstation بود (Ostadi *et al.*, 2020). محاسبه و شناسایی ترکیب‌های اسانس به کمک شاخص‌های بازدارنده خطی آنها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتاب‌های مرجع (Adams, 2007; NIST 08 2008) 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 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 استفاده شده بود. نمونه‌های اسانس به نسبت ۱:۱۰۰ در هگزان رقیق‌سازی و به میزان یک 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). در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس به صورت اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ورژن ۹/۱ و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید. همچنین، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته نعنا فلفلی تحت تأثیر اثرهای جداگانه سطوح مختلف آبیاری، منابع کودی و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان ارتفاع بوته این گیاه (۴۱/۱۷ سانتی‌متر) در شرایط نرمال آبیاری با کاربرد کود ماکرومیکس گلد بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد

برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر (مدل فارماکوپه بریتانیا) استفاده شد. اسانس‌گیری به مدت سه ساعت از اندام‌های هوایی نعنا فلفلی انجام شد. سپس اسانس‌های استخراج شده با سولفات سدیم خشک آگیری و داخل ویال شیشه‌ای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری گردید. همچنین، پس از اسانس‌گیری، درصد و عملکرد اسانس طبق روابط زیر محاسبه شد (Amani *et al.*, 2019).

= درصد اسانس

$$100 \times (\text{وزن خشک نمونه } 40 \text{ گرم}) / (\text{وزن اسانس})$$

= عملکرد اسانس

$$\text{درصد اسانس} \times \text{ماده خشک کل (گرم در مترمربع)}$$

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 پلی‌سیلوکسان، به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ماده جاذب ۰/۲۵ میکرومتر) استفاده شد. در برنامه‌ریزی دمایی آن، 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 یک 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 بازدارنده پیک‌ها، مخلوطی از

و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد برگ نعنا فلفلی (۱۳۴ عدد) در شرایط نرمال آبیاری با کاربرد کود ماکرومیکس گلد بدست آمد که تفاوت معنی داری با کاربرد ویتالیم فورت نداشت. همچنین کمترین میزان تعداد برگ (۸۲ عدد) نیز در تنش شدید و عدم مصرف کود بدست آمد که تفاوت معنی داری با شرایط عدم مصرف کود در تنش خفیف و همچنین کاربردهای ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس در تنش شدید نداشت. همچنین، کاربردهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس منجر به افزایش ۱۷/۷، ۸/۲ و ۸/۴ درصدی تعداد برگ نسبت به عدم مصرف شد (شکل ۲).

کود ذکر شده در تنش خفیف و همچنین کاربرد اکوکوئل مکس و ویتالیم فورت در شرایط نرمال آبیاری نداشت. همچنین، کمترین میزان ارتفاع بوته (۱۹/۵۸) نیز به تنش شدید و عدم مصرف کود مربوط بود. همچنین، ارتفاع بوته نعنا فلفلی با کاربردهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس به ترتیب ۳۹/۱، ۲۶/۶ و ۱۶/۹ درصد نسبت به عدم مصرف کود افزایش یافت (شکل ۱).

تعداد برگ

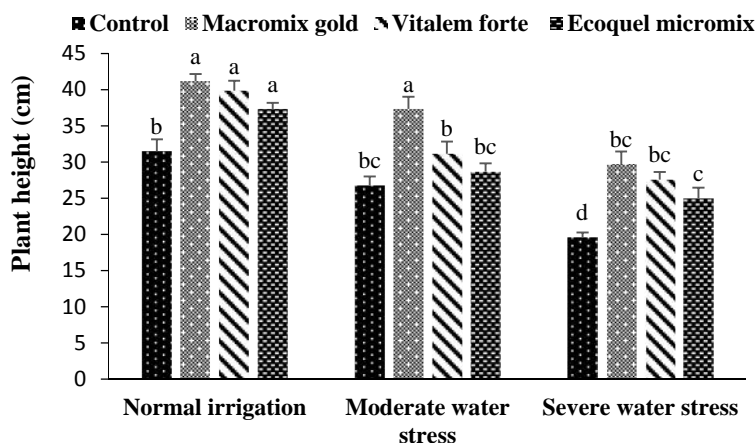
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد برگ نعنا فلفلی تحت تأثیر اثرهای جداگانه سطوح مختلف آبیاری، منابع کودی

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر برخی صفات نعنا فلفلی

Table 3. ANOVA of different irrigation levels and fertilizer sources effects on some *Mentha piperita* traits

S.O.V.	d.f.	Plant height	Number of leaves	Chlorophyll index	Total fresh yield	Total dry yield
Block	2	4.88 ^{n.s.}	0.19 ^{n.s.}	6.51 ^{n.s.}	98234.82*	12399.45*
Irrigation	2	544.09*	3190.52**	386.37*	234090.99**	29720.93**
First error	4	79.88	77.81	49.62	2598.32	1029.03
Fertilizer source	3	59.78**	250.43*	31.23 ^{n.s.}	98042.26**	9786.97**
Irrigation × Fertilizer source	6	54.08**	198.15*	34.35 ^{n.s.}	64123.6*	7484.31*
Total error	18	8.41	71.61	24.41	10567.04	815.64
C.V. (%)		9.26	7.91	13.21	14.61	10.23

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



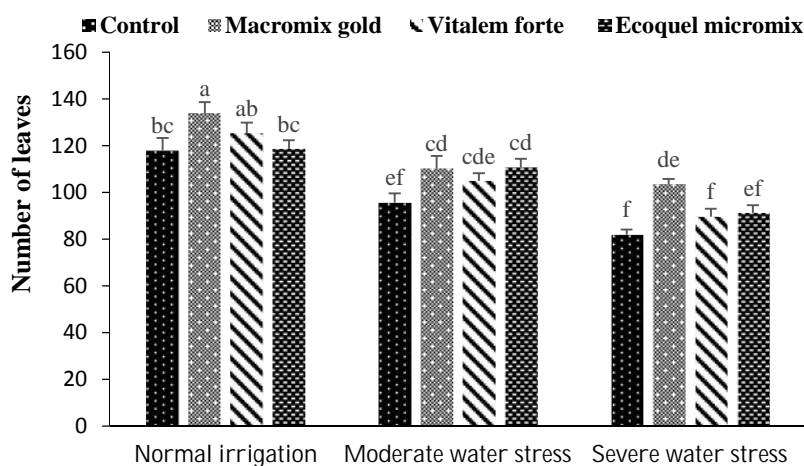
شکل ۱- ارتفاع بوته نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

Figure 1. *Mentha piperita* plant height at different irrigation levels with fertilizer sources application

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

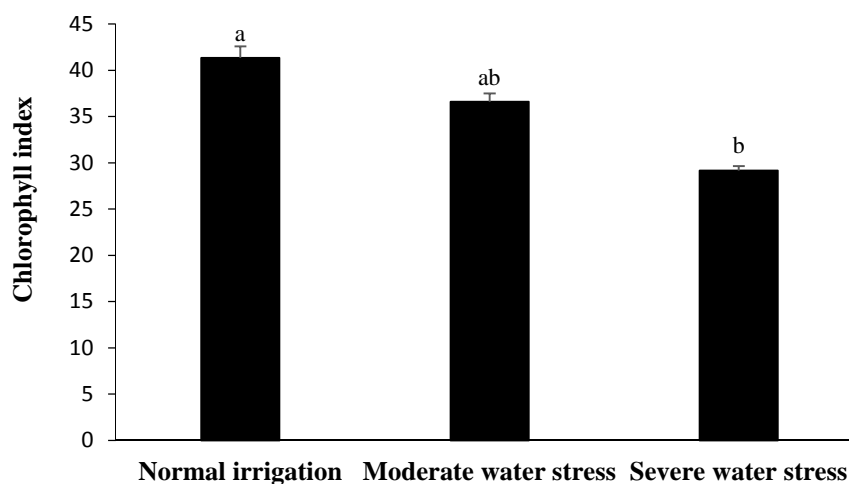
شاخص کلروفیل (اسپید)
 نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص کلروفیل گیاه نعنا فلفلی فقط تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش سطوح تنش خشکی از میزان شاخص کلروفیل این گیاه کاسته شد. به طوری که بیشترین

شاخص کلروفیل (اسپید)
 نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص کلروفیل گیاه نعنا فلفلی فقط تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش سطوح تنش خشکی از میزان شاخص کلروفیل این گیاه کاسته شد. به طوری که بیشترین



شکل ۲- تعداد برگ نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

Figure 2. *Mentha piperita* leaves number at different irrigation levels with fertilizer sources application
 The means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



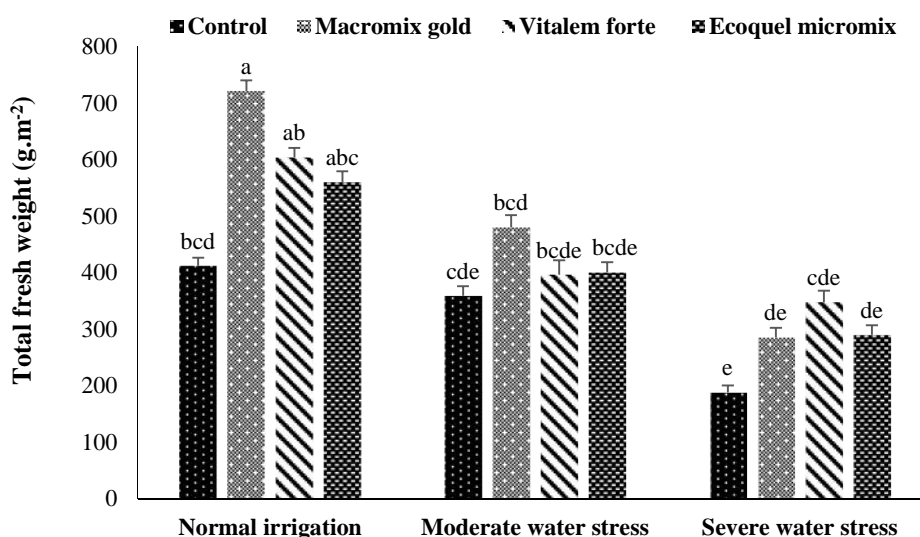
شکل ۳- شاخص کلروفیل نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری

Figure 3. *Mentha piperita* chlorophyll index at different irrigation levels
 The means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

وزن تر و خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد وزن تر نعنا فلفلی تحت تأثیر جداگانه سطوح مختلف آبیاری، منابع کودی و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان وزن تر کل (۷۲۱/۳ گرم بر مترمربع) در شرایط نرمال آبیاری (بدون تنش) با کاربرد کود ماکرومیکس گلد بدست آمد که تفاوت معنی داری با کاربرد ویتالیم فورت نداشت. همچنین، کمترین میزان صفت ذکر شده (۱۸۸/۳ گرم بر مترمربع) در تنش شدید بدون مصرف کود حاصل شد که

تفاوت معنی داری با عدم مصرف کود و کاربرد ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس در تنش خفیف و کاربرد کلیه کودها در تنش شدید نداشت. با افزایش سطوح تنش خشکی از میزان وزن تر کل کاسته شد. به طوری که میزان این صفت در تنش های خفیف و شدید به ترتیب ۲۸/۸٪ و ۵۱/۶٪ نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش یافت. همچنین، میزان صفت ذکر شده با کاربرد کودهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس به ترتیب ۵۴/۹، ۴۰/۴ و ۳۰/۲ درصد نسبت به عدم مصرف کود افزایش یافت (شکل ۴).

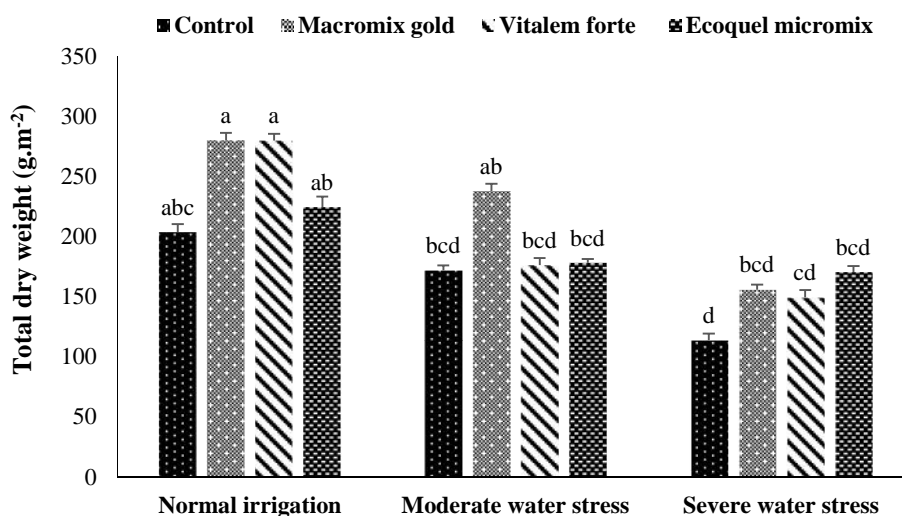


شکل ۴- وزن تر کل نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

Figure 4. *Mentha piperita* total fresh weight at different irrigation levels with fertilizer sources application. The means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

کود حاصل شد که تفاوت معنی داری با سایر کودهای مصرف شده در تنش خفیف و شدید نداشت. با افزایش سطوح تنش خشکی از میزان وزن خشک کل کاسته شد. به طوری که میزان این صفت در تنش های خفیف و شدید به ترتیب ۲۲/۷ و ۴۰/۳٪ نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش یافت. همچنین، میزان صفت ذکر شده با کاربرد کودهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس به ترتیب ۳۷/۷، ۲۳/۸ و ۱۷/۱ درصد نسبت به عدم مصرف کود افزایش یافت (شکل ۵).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد وزن خشک کل نعنا فلفلی تحت تأثیر جداگانه سطوح مختلف آبیاری، منابع کودی و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین میزان وزن خشک نعنا فلفلی (۲۸۰/۵ گرم بر مترمربع) در شرایط نرمال آبیاری (بدون تنش) با کاربرد کود ماکرومیکس گلد حاصل شد که تفاوت معنی داری با کاربرد کود ذکر شده در تنش خفیف و همچنین مصرف ویتالیم فورت در شرایط نرمال آبیاری نداشت. علاوه بر این، کمترین میزان وزن خشک کل (۱۱۳/۷ گرم بر مترمربع) در تنش شدید بدون مصرف



شکل ۵- وزن خشک کل نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

Figure 5. *Mentha piperita* total dry weight at different irrigation levels with fertilizer sources application

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

درصد اسانس

همچنین کاربرد کودهای یوتالیم فورت و اکوکوئل مکس در تنش خفیف نداشت. درصد اسانس نعنا فلفلی در تنش‌های خفیف و شدید به ترتیب ۳۴/۱٪ و ۱۷/۷٪ نسبت به شرایط نرمال آبیاری افزایش یافت. همچنین، درصد اسانس نعنا فلفلی با کاربرد کودهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس به ترتیب ۲۱/۱، ۱۰/۲ و ۱۷/۷ درصد بیشتر از عدم مصرف کود بود (شکل ۶).

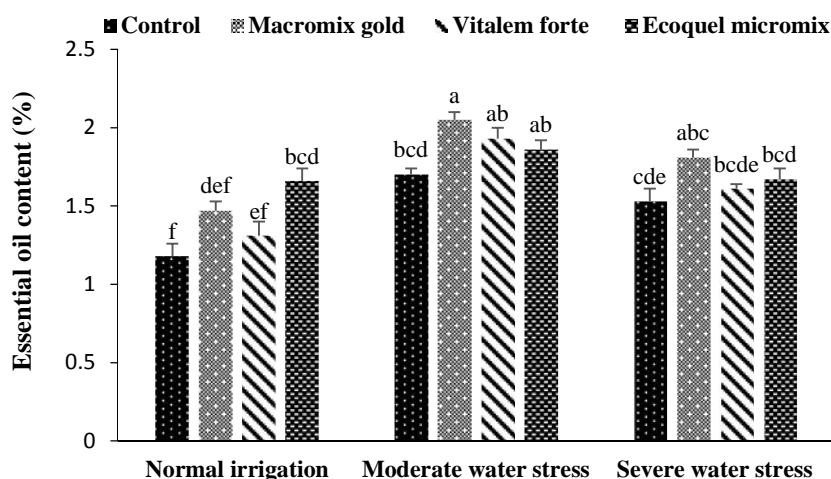
نتایج تجزیه واریانس نشان داد درصد اسانس نعنا فلفلی تحت تأثیر اثرهای جداگانه سطوح مختلف آبیاری، منابع کودی و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان درصد اسانس نعنا فلفلی (۲/۰۵٪) در تنش خفیف با کاربرد کود ماکرومیکس گلد بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد کود ذکر شده در تنش شدید و

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر درصد و عملکرد اسانس نعنا فلفلی

Table 4. ANOVA of different irrigation levels and fertilizer sources effects on *Mentha piperita* content and essential oil yield

S.O.V.	d.f.	Essential oil content	Essential oil yield
Block	2	0.02 ^{n.s.}	3.42 [*]
Irrigation	2	1.69 [*]	4.43 ^{**}
First error	4	0.14	0.16
Fertilizer source	3	0.139 [*]	2.84 [*]
Irrigation × Fertilizer source	6	0.18 ^{**}	4.49 ^{**}
Total error	18	0.02	0.28
C.V. (%)		8.85	16.51

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



شکل ۶- درصد اسانس نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

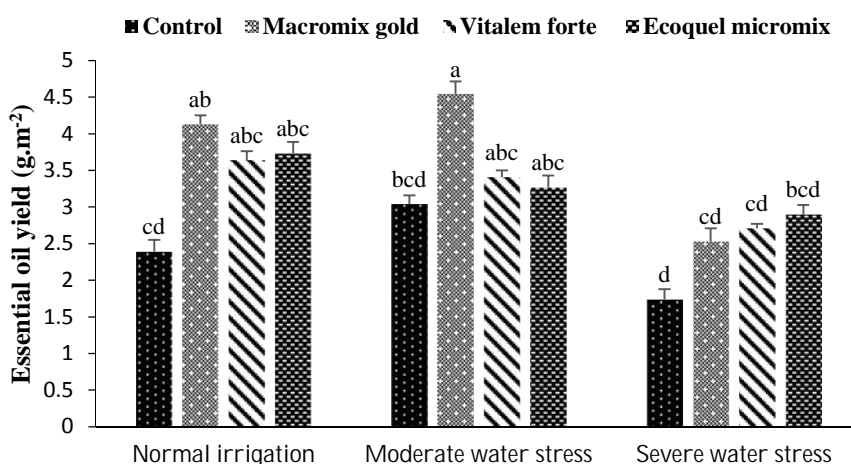
Figure 6. *Mentha piperita* essential oil content at different irrigation levels with fertilizer sources application

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

نداشت. همچنین کمترین میزان این شاخص (۱/۷۴) گرم بر مترمربع) در تنش شدید و عدم مصرف کود مشاهده شد که تفاوت معنی داری با عدم مصرف کود در شرایط نرمال آبیاری و مصرف کودهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس در تنش شدید نداشت. عملکرد اسانس نعنا فلفلی با کاربرد کودهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس به ترتیب ۵۶/۱، ۳۶ و ۳۸/۱ درصد بیشتر از عدم مصرف کود بود (شکل ۷).

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد اسانس نعنا فلفلی تحت تأثیر اثرهای جداگانه سطوح مختلف آبیاری، منابع کودی و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد اسانس (۴/۵۴) گرم بر متر مربع) در تنش خفیف با کاربرد کود ماکرومیکس گلد بدست آمد که تفاوت معنی داری با کاربرد ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس در شرایط نرمال آبیاری و تنش خفیف



شکل ۷- عملکرد اسانس نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

Figure 7. *Mentha piperita* essential oil yield at different irrigation levels with fertilizer sources application

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

جدول ۵- ترکیب‌های اساسی نعنا فلفلی در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

Table 5. *Mentha piperita* essential oil compounds at different irrigation levels with fertilizer sources application

No.	Compound	Normal irrigation				Moderate water stress				Severe water stress			
		No fertilizer	Macromix gold	Vitalemon forte	Ecoquel micromix	No fertilizer	Macromix gold	Vitalemon forte	Ecoquel micromix	No fertilizer	Macromix gold	Vitalemon forte	Ecoquel micromix
1	-pinene	0.5	0.6	0.2	0.2	0.4	0.4	0.6	0.3	0.5	0.2	0.3	0.4
2	Sabinene	0.3	0.6	0.4	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5
3	-pinene	0.6	0.9	0.6	0.9	0.4	0.3	0.9	0.9	0.7	0.4	0.6	0.7
4	Myrcene	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.4	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
5	3-octanol	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4
6	-terpinene	0.04	0.03	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-
7	Limonene	1.2	1.3	1.4	1.2	1	1.2	1.4	1.5	1.1	1.2	1.3	1.3
8	1,8-Cineole	5.4	5.4	5.2	5.7	5.8	6.2	6.1	5.8	5.1	6	5.8	5.1
9	-terpinene	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2
10	<i>cis</i> -sabinene hydrate	2.3	2.1	1.7	2.2	1.8	1.8	2.2	1.7	2.5	2.1	1.6	1.8
11	Linalol	0.2	0.3	0.5	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0.3
12	Menthone	25.5	27.6	25.4	26.1	26.2	28.1	26.7	27	25.9	26.4	26.5	25.9
13	Menthofuran	2.2	1.8	1.9	2.1	1.7	1.5	2	1.8	2.1	2.2	1.6	2
14	<i>Neo</i> -menthol	3.4	2.8	3.4	3.1	3.2	3.2	3.7	2.7	2.9	3.1	3.4	3.2
15	Menthol	34.6	36.8	38.7	36.3	36.7	40.9	38.9	40.1	35.3	37.7	38.3	36.2
16	Terpinene-4-ol	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9	0.5	0.7	0.8	0.8	0.5	0.6	0.6
17	<i>Neo</i> -iso-menthol	2.8	3.4	2.9	3.3	3.4	3.1	3.2	3.5	3.1	3.7	2.8	2.6
18	Pulegone	1.6	1.2	1.5	1.3	1.4	1.2	1.2	1.1	1.5	1.2	1.4	1.5
19	Piperitone	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	0.9	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7
20	<i>Neo</i> -menthyl acetate	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.4	0.5	0.7	0.8	0.6	0.5	0.5
21	Menth-1-en-9-ol- <i>p</i>	3.3	3	3.4	2.9	2.8	3.2	2.9	3.2	2.8	2.9	2.7	2.9
22	-bourbonene	0.8	0.8	1.1	1	1.1	0.7	0.9	0.7	1	0.9	0.8	0.8
23	(<i>E</i>)-caryophyllene	2.2	1.9	2.2	2	2.2	1.7	1.9	2.3	2.1	2.2	1.9	2
24	(<i>E</i>)-farnesene	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
25	Germacrene d	1.8	1.7	1.6	1.8	1.3	1.6	1.3	2	1.7	2.1	1.6	2
26	Viridiflorol	0.6	0.4	0.6	0.5	0.6	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4	0.7	0.6
	Total	92.7	95.8	96.4	94.6	94.1	99.1	98.7	98.6	93.7	96.5	95.2	92.8

ترکیب‌های اسانس

براساس آنالیز ترکیب‌های اسانس، ترکیب‌های غالب اسانس نعنا فلفلی شامل منتول (۴۰/۹-۳۴/۶٪)، منتون (۲۸/۱-۲۵/۵٪)، ۸،۱-سینئول (۶/۲-۵/۱٪)، نتوایزومنتول (۳/۸-۲/۶٪) و نتومنتول (۸/۷-۲/۳٪) بودند. بیشترین میزان منتول، منتون و ۸،۱-سینئول در تنش خفیف با کاربرد کود ماکرومیکس گلد بدست آمد. در حالی که کمترین میزان ترکیب‌های ذکر شده در شرایط نرمال آبیاری و عدم مصرف کود حاصل شد. میزان منتول، منتون و ۸،۱-سینئول در تنش خفیف ۶/۹، ۳/۱ و ۱۰ درصد بیشتر از شرایط نرمال آبیاری بود. همچنین، کاربرد کودهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس منجر به افزایش ۸/۲، ۷/۸ و ۵/۶ درصدی میزان منتول گردید. علاوه بر این، بیشترین میزان نتومنتول و نتوایزومنتول به ترتیب در تنش خفیف با کاربرد ویتالیم فورت و تنش شدید با کاربرد ماکرومیکس گلد بدست آمد (جدول ۵).

بحث

ارتفاع بوته

با افزایش سطوح تنش خشکی از ارتفاع بوته گیاه کاسته شد. به طوری که میزان ارتفاع بوته در تنش‌های خفیف و شدید به ترتیب ۱۷/۳٪ و ۳۲٪ نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد تنش خشکی با کاهش میزان جذب عناصر غذایی از یک سو و با تحت تأثیر قرار دادن سازوکارهای مختلف از قبیل کاهش غلظت کلروفیل، کارایی و سرعت فتوسنتز از سوی دیگر منجر به کاهش صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته گیاه می‌شود (Govahi et al., 2015). در تطابق با نتایج این پژوهش، Bahreinejad و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که ارتفاع بوته آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) در تنش‌های خشکی متوسط و شدید کاهش یافت. همچنین، Morshedloo و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند که افزایش سطوح تنش خشکی منجر به کاهش صفات رشدی در گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) گردید.

از سویی، ارتفاع بوته نعنا فلفلی با محلول‌پاشی عناصر غذایی به ویژه کود ماکرومیکس گلد افزایش یافت. دلیل افزایش ارتفاع بوته به افزایش جذب عناصر غذایی و تأثیر مستقیم آن در تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها نسبت داده می‌شود که در نهایت منجر به افزایش رشد رویشی و ارتفاع بوته گیاه خواهد شد. به طور مشابه، Faridvand و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که محلول‌پاشی کود اوره منجر به افزایش ارتفاع بوته و سایر صفات رشدی گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گردید. Khalid (۲۰۱۲) گزارش کرد که محلول‌پاشی عناصر غذایی در اقلیم‌های خشک منجر به افزایش ارتفاع بوته در گیاهان دارویی از قبیل انیسون (*Pimpinella anisum* L.)، گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و رازیانه شد. Hendawy و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که کاربرد محلول‌پاشی کودهای ارگانیک از طریق افزایش جذب عناصر غذایی منجر به بهبود صفات رشدی گیاه نعنا فلفلی گردید.

تعداد برگ

با افزایش سطوح تنش خشکی از تعداد برگ این گیاه کاسته شد. به طوری که میزان این صفت در تنش‌های خفیف و شدید به ترتیب ۱۵٪ و ۲۶/۱٪ نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش یافت. تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبیگری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب کاهش فرایند فتوسنتز می‌گردد (Okunlola et al., 2017). همچنین، تنش خشکی به طور مستقیم می‌تواند بر فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به طور غیرمستقیم ورود دی‌اکسیدکربن را به داخل روزنه‌ها که به علت شرایط کم آبی بسته شده‌اند کاهش دهد (Gao et al., 2020). بدیهی است با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه، صفات رشدی و عملکرد آن دچار نقصان می‌شود. علاوه بر این، در شرایط تنش شدید

دنایی (*Thymus daenensis* L.) در شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری نرمال کاهش معنی‌داری پیدا کرد.

وزن تر و خشک

به‌طور کلی نتایج نشان داد با افزایش تنش خشکی از میزان وزن تر و خشک نعنا فلفلی کاسته شد. کاهش عملکرد ماده خشک با افزایش تنش خشکی را می‌توان به کاهش صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ نسبت داد. افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد برای استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک خواهد شد (Gao *et al.*, 2020). Manavalan و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تنش خشکی با ایجاد تأثیرات منفی بر روی تقسیم و تمایز سلول‌های گیاهی منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود. همچنین، این محققان بیان کردند که میزان افزایش طول سلول‌ها در شرایط تنش خشکی با پایین آمدن فشار تورژسانس سلول کاهش می‌یابد. در مجموع می‌توان بیان کرد که تنش خشکی باعث افزایش تعرق و کاهش آب جذب شده از طریق کاهش مقدار فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای منجر به کاهش عملکرد در گیاه خواهد شد. در تطابق با نتایج این پژوهش، Amani Machiani و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که میزان عملکرد ماده خشک آویشن باغی در تنش‌های خفیف و شدید به‌تریب ۳۵٪ و ۴۴٪ نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش یافت. از سویی، محلول‌پاشی عناصر غذایی به‌ویژه کود ماکرومیکس گلد منجر به افزایش وزن تر و خشک نعنا فلفلی گردید. از آنجایی که عملکرد تولید شده در گیاهان برآیندی از صفات رشدی مختلف و اجزای عملکرد آنها است؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که افزایش دسترسی عناصر غذایی از طریق محلول‌پاشی با بهبود صفات رشدی گیاه و افزایش فتوسنتز منجر به افزایش عملکرد شده است. به‌طور مشابه، Yadegari (۲۰۱۷) نتیجه گرفت که محلول‌پاشی عناصر غذایی منجر به افزایش عملکرد تر و خشک بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) گردید.

میزان تنفس، جذب گاز کربنیک، انتقال مواد فتوسنتزی و انتقال مواد خام در آوندهای چوبی کاهش یافته، در نتیجه منجر به کاهش صفات رشدی و عملکرد در گیاهان خواهد شد.

همچنین، تعداد برگ نعنا فلفلی با محلول‌پاشی عناصر غذایی افزایش یافت. به نظر می‌رسد بهبود جذب عناصر غذایی از طریق محلول‌پاشی منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی، تولید آسمیلات، پروتئین و آدنوزین تری‌فسفات بیشتری شده و از این طریق منجر به بهبود صفات رشدی گیاه شده است (Alhasan, El-Azab, 2016). همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد محلول‌پاشی عناصر غذایی ماکرو منجر به بهبود صفات رشدی و عملکرد گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گردید. Lizarazo و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده کردند که محلول‌پاشی عناصر غذایی منجر به بهبود صفات رشدی و افزایش کمی و کیفی عملکرد دانه گیاه زیره (*Carum carvi* L.) شد. Majeed و Ali Sabah (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که محلول‌پاشی عناصر غذایی NPK منجر به افزایش صفات رشدی گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) گردید.

شاخص کلروفیل (اسپد)

نتایج نشان داد شاخص کلروفیل (اسپد) با افزایش سطوح تنش خشکی کاهش یافت. دلیل کاهش میزان کلروفیل با افزایش تنش خشکی را به کاهش میزان کلروپلاست بر اثر افزایش میزان رادیکال‌های فعال اکسیژن نسبت دادند (Mohammadi *et al.*, 2019). Abd-Elbar و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که قرار گرفتن گیاه در تنش خشکی منجر به افزایش میزان رادیکال‌های فعال اکسیژن شده که این موضوع نیز باعث پراکسیداسیون لیپیدی غشاءها و در نهایت تجزیه کلروفیل موجود در برگ گیاهان خواهد شد. همچنین یکی دیگر از دلایل کاهش میزان کلروفیل در این شرایط را می‌توان به کاهش جذب عناصر غذایی برای رشد و ساخت بیومولکول‌های حیاتی گیاه نسبت داد که این موضوع در نهایت منجر به کاهش تولید کلروفیل خواهد شد (Emami Bistgani *et al.*, 2017). در تطابق با نتایج این پژوهش، Bahreininejad و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که میزان کلروفیل آویشن

درصد اسانس

نتایج نشان داد درصد اسانس در تنش‌های خفیف و شدید نسبت به شرایط نرمال آبیاری افزایش یافت. محصولات دارویی بر خلاف همه محصولات کشاورزی که در اوضاع تنشی از نظر مقدار تولید صدمه می‌بینند، ممکن است در این اوضاع تولید ترکیب‌های اسانسی بیشتر و در نتیجه بازدهی اقتصادی بالاتری پیدا کنند. تولید متابولیت‌های ثانویه برای سازگاری گیاه نسبت به عوامل نامساعد و تنش‌های محیط زندگی انجام شده و به‌منزله بکار افتادن یک نوع جریان دفاعی برای استمرار تعادل فعالیت‌های حیاتی به حساب می‌آید (Ghaemi *et al.*, 2019). در شرایط تنش، میزان فتوسنتز گیاه به دلیل بسته شده روزنه‌ها و جذب کمتر CO_2 کاهش می‌یابد. کاهش میزان فتوسنتز منجر به افزایش غلظت $\text{NADPH} + \text{H}^+$ و عدم تبدیل آن به NADP^+ می‌شود و در نتیجه آن نسبت $\text{NADP}^+ / \text{NADPH} + \text{H}^+$ کاهش می‌یابد. در این حالت، بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه از قبیل ترکیب‌های اسانس، فنلی، آلکالوئیدی و ... با مصرف $\text{NADPH} + \text{H}^+$ تجمع یافته منجر به متعادل شدن نسبت $\text{NADP}^+ / \text{NADPH} + \text{H}^+$ می‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تولید متابولیت‌های ثانویه به عنوان یک روش دفاعی مؤثر در گیاهان دارویی و معطر برای کاهش اثرهای منفی ناشی از تنش شناخته می‌شود (Amani *et al.*, 2021). با وجود اینکه میزان اسانس نعنا فلفلی در دو تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری نرمال افزایش یافته است ولی میزان اسانس تولید شده در تنش شدید نسبت به متوسط کاهش پیدا کرده است. زیرا در تنش‌های شدیدتر گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی تولید شده را صرف تولید ترکیب‌های تنظیم‌کننده اسمزی از جمله پرولین، گلیسین بتائین و ترکیب‌های قندی مانند ساکارز، فروکتور و فروکتان‌ها می‌کند تا از این طریق شرایط لازم برای بقای حیات گیاه در تنش‌های شدیدتر فراهم شود (Khorasaninejad *et al.*, 2015). در تطابق با نتایج این پژوهش، Govahi و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که میزان اسانس تولیدی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) در تنش ملایم و شدید به ترتیب ۱۰۸٪ و ۸۴٪ نسبت به آبیاری نرمال افزایش پیدا کرد.

علاوه بر این، نتایج نشان داد که درصد اسانس از طریق محلول‌پاشی عناصر غذایی افزایش یافت. از آنجایی که تریپونوئیدها اجزاء اصلی اسانس را تشکیل می‌دهند، بیوسنتز واحدهای سازنده آنها (ایزوپرنوئیدها) به استیل کوآنزیم آ، ATP، NADPH و غلظت فسفر معدنی در گیاه بستگی دارد. همچنین، نیتروژن به‌طور غیرمستقیم از طریق افزایش سرعت انتقال الکترون و فتوسنتز برگ، ATP و سوپسترای مورد نیاز را برای سنتز ایزوپرنوئیدها تأمین می‌کند (Ormeño & Fernandez, 2012). بنابراین به نظر می‌رسد محلول‌پاشی از طریق فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن موجب افزایش درصد اسانس نعنا فلفلی شده است. زیرا نیتروژن یکی از عناصر مؤثر بر فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نتیجه میزان اسانس گیاهان است. بنابراین هر عاملی که باعث افزایش نیتروژن قابل دسترس گیاه شود، در نهایت منجر به افزایش اسانس خواهد شد. Lafmejani و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر غذایی منجر به افزایش درصد اسانس نعنا فلفلی گردید.

عملکرد اسانس

کاربرد کود ماکرومیکس گلد در تنش خفیف بیشترین میزان عملکرد اسانس نعنا فلفلی را تولید کرد. از آنجایی که عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب عملکرد ماده خشک در میزان اسانس تولید شده توسط گیاه بدست می‌آید و با دو شاخص ذکر شده رابطه مستقیمی دارد. از این رو، هر عاملی که منجر به افزایش دو شاخص ذکر شده گردد منجر به افزایش عملکرد اسانس نیز خواهد شد (Amani Machiani *et al.*, 2019). بنابراین، دلیل افزایش عملکرد اسانس در تنش خفیف با کاربرد کود ماکرومیکس گلد به افزایش درصد اسانس در تیمار ذکر شده نسبت داده می‌شود.

ترکیب‌های اسانس

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که ترکیب‌های غالب اسانس نعنا فلفلی (منتول، منتون و سینتول) در تنش‌های خفیف و شدید نسبت به شرایط نرمال آبیاری افزایش یافت.

References

- Abd-Elbar, O.H., Farag, R.E. and Shehata, S.A., 2019. Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2): 129-137.
- Adams, R.P., 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Allured, 804p.
- Alhasan, A.S., Abbas, M.K., Al-Ameri, M. and Al-Ameri, D.T., 2020. Growth and yield response of basil (*Ocimum basilicum* L.) to different rates of urea fertilizer under field conditions. *Earth and Environmental Science*, 553: 12044.
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R. and Maggi, F., 2018. Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, 171: 529-537.
- Amani Machiani, M., Rezaei-Chiyaneh, E., Javanmard, A., Maggi, F. and Morshedloo, M.R., 2019. Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed yield and quali-quantitative production of the essential oils from fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping system under humic acid application. *Journal of Cleaner Production*, 235: 112-122.
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., Aghaee, A. and Maggi, F., 2021. *Funneliformis mosseae* inoculation under water deficit stress improves the yield and phytochemical characteristics of thyme in intercropping with soybean. *Scientific Repots*, 11: 15279.
- 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.
- Biglari, T., Maleksaeidi, H., Eskandari, F. and Jalali, M., 2019. Livestock insurance as a mechanism for household resilience of livestock herders to climate change: Evidence from Iran. *Land use policy*, 87: 1-9.
- Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and Hashemi, M., 2017. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *Crop Journal*, 5(5): 407-415.
- El-Azab, M., 2016. Effects of foliar NPK spraying with micronutrients on yield and quality of cowpea plants. *Asian Journal of Applied Science*, 4(2): 526-533.
- Farahani, H.A., Valadabadi, S.A., Daneshian, J. and Khalvati, M.A., 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under

دلیل افزایش ترکیب‌های اسانس نعنا فلفلی در تنش‌های ملایم و شدید، تخصیص بیشتر کربن‌های تثبیت شده طی فرایند فتوسنتز به تولید متابولیت‌های ثانویه می‌باشد که طی این فرایند میزان مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی از طریق کاهش خسارت‌های رادیکال‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد (Bahreininejad, Farahani et al., 2009). گزارش کردند که میزان تیمول در اسانس آویشن باغی (۲۰۱۳) در تنش‌های ملایم و شدید نسبت به آبیاری نرمال افزایش پیدا کرد. از سویی محلول‌پاشی کودهای ماکرومیکس گلد، ویتالیم فورت و اکوکوئل مکس نیز منجر به افزایش میزان ترکیب‌های غالب اسانس نعنا فلفلی گردید. اسانس‌ها ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آنها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات و دی‌متیل آلایل پیروفسفات، نیاز به ترکیب‌هایی از قبیل استیل کوآ، ATP و NADPH دارند (Amani Machiani et al., 2021). با توجه به این موضوع که حضور عناصری مانند نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری است؛ از این رو محلول‌پاشی عناصر غذایی از طریق جذب کارآمد فسفر و نیتروژن و سایر عناصر ریزمغذی، موجب افزایش ترکیب‌های اسانس و به طبع آن درصد اسانس تولیدی خواهد شد (Amani, Weisany et al., 2016). Machiani و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کیفیت اسانس نعنا فلفلی با افزایش درصد منتول افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت اسانس این گیاه در تنش خفیف با محلول‌پاشی ماکرومیکس گلد بهبود یافته است. به‌طور کلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که عملکرد ماده خشک نعنا فلفلی با افزایش سطوح تنش خشکی کاهش یافت. از سویی، محلول‌پاشی عناصر غذایی به‌ویژه کود ماکرومیکس گلد منجر به افزایش عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس این گیاه گردید. با توجه به اینکه بیشترین میزان درصد، عملکرد و ترکیب‌های غالب اسانس در تنش خفیف با کاربرد کود ماکرومیکس گلد بدست آمد. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد کود ماکرومیکس گلد به‌عنوان روشی مؤثر در افزایش کمیت و کیفیت اسانس نعنا فلفلی به‌ویژه در شرایط خشکی محسوب می‌شود.

- approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant and Cell Physiology*, 50(7): 1260-1276.
- Mohammadi, H., Amirikia, F., Ghorbanpour, M., Fatehi, F. and Hashempour, H., 2019. Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well-watered and water stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 129: 561-574.
 - 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 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*, 11: 1-7.
 - Mumivand, H., 2016. Effect of drought stress on growth, effective substances and some enzyme activities in selected tarragon (*Artemisia dracuculus* L.) accessions. Ph.D. thesis, Departement of Horticulture Science and Landscape, University of Tehran, Tehran.
 - Okunlola, G.O., Olatunji, O.A., Akinwale, R.O., Tariq, A. and Adelusi, A.A., 2017. Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Scientia Horticulturae*, 224: 198-205.
 - Ormeño, E. and Fernandez, C., 2012. Effect of soil nutrient on production and diversity of volatile terpenoids from plants. *Current Bioactive Compounds*, 8(1): 71-79.
 - Ostadi, A., Javanmard, A., Machiani, M.A., Morshedloo, M.R., Nouraein, M., Rasouli, F. and Maggi, F., 2020. Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L. *Industrial Crops and Products*, 148: 112290.
 - Vaghefi, S.A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H. and Abbaspour, K.C., 2019. The future of extreme climate in Iran. *Scientific Reports*, 9: 1464.
 - Weisany, W., Raei, Y., Salmasi, S.Z., Sohrabi, Y. and Ghassemi-Golezani, K., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi induced changes in rhizosphere, essential oil and mineral nutrients uptake in dill/common bean intercropping system. *Annals of Applied Biology*, 169(3): 384-397.
 - Yadegari, M., 2017. Effects of Zn, Fe, Mn and Cu foliar application on essential oils and morpho-physiological traits of lemon balm (*Melissa Officinalis* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20: 485-495.
 - water deficit stress conditions. *Journal of Medicinal Plant Research*, 3(5): 329-333.
 - Faridvand, S., Amirnia, R. and Tajbakhsh Shishvan, M., 2019. Effect of nano nitrogen, magnetic water, urea and chicken manure foliar application on yield, yield components and essential oil of different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) landraces. *Journal of agricultural science and sustainable production*, 29(4): 103-115.
 - Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W. and He, X., 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two *Adonis* species in Northeast China. *Scientia Horticulturae*, 259: 108795.
 - Ghaemi, M., Zare, Z. and Nasiri, Y., 2019. Effect of drought stress on some morphological characteristics and essential oil production levels of *Ocimum basilicum* in different stages of growth and development. *Developmental Biology*, 11(1): 15-26.
 - Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F. and Sorooshzadeh, A., 2015. Comparing different soil fertility systems in Sage (*Salvia officinalis*) under water deficiency. *Industrial Crops and Products*, 74: 20-27.
 - Hendawy, S.F., Hussein, M.S., El-Gohary, A.E. and Ibrahim, M.E., 2015. Effect of foliar organic fertilization on the growth, yield and oil content of *Mentha piperita* var. citrata. *Asian Journal of Agricultural Research*, 9: 237-248.
 - Khalid, A., 2012. Effect of NP and foliar spray on growth and chemical compositions of some medicinal Apiaceae plants grow in arid regions in Egypt. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(3): 581-596.
 - Khorasaninejad, S., Soltanloo, H., Ramezani, S., Hadian, J. and Atashi, S., 2015. The effect of drought stress on the growth, essential oil yield and chemical composition of Lavender. *Journal of Crops Improvement*, 17(4): 979-988.
 - Lafmejani, Z.N., Jafari, A.A., Moradi, P. and Moghadam, A.L., 2018. Impact of foliar application of iron-chelate and iron nano particles on some morpho-physiological traits and essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(5): 1374-1384.
 - Lizarazo, C.I., Lampi, A.M. and Mäkelä, P.S.A., 2021. Can foliar-applied nutrients improve caraway (*Carum carvi* L.) seed oil composition? *Industrial Crops and Products*, 170: 113793.
 - Majeed, K. and Ali Sabah, A., 2014. Effect of foliar application of NPK on some growth characters of two cultivars of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *American Journal of Plant Physiology*, 6: 220-227.
 - Manavalan, L.P., Guttikonda, S.K., Phan Tran, L.S. and Nguyen, H.T., 2009. Physiological and molecular

Effects of nutrients foliar application on quantity and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil under different irrigation levels

A. Javanmard^{1*}, M. Rahimi², M. Amani Machiani³, M. Janmohammadi³
and R. Habibi Machiani⁴

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

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

3- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

4- Bachelor student of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Received: May 2022

Revised: July 2022

Accepted: October 2022

Abstract

To evaluate the effects of different irrigation levels and foliar application of nutrients, on dry matter yield and essential oil content and composition of peppermint (*Mentha piperita* L.), a field experiment was conducted as a split plot based on a randomized complete block design, with 12 treatments and three replications, at the faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran in 2021. The factors included irrigation as the main factor at three levels (irrigation after 20 (control), 40 (moderate stress), and 60% (severe stress) of the maximum allowable moisture depletion) and fertilizer source as the sub-factor at four levels (non-application of fertilizer (control), and foliar application of Macromix gold, Ecoquel micromix, and Vitalem forte). The results demonstrated that the highest (280.5 g.m⁻²) and lowest (113.7 g.m⁻²) total dry weight were obtained under normal irrigation conditions (control) with the application of Macromix gold and severe stress without fertilizer application, respectively. Total dry weight decreased by 22.7 and 40.3% under moderate and severe drought stress conditions, respectively compared to normal irrigation. Macromix gold, Vitalem forte, and Ecoquel micromix application enhanced the amount of total dry weight by 37.7, 23.8, and 17.1% compared to no fertilizer application, respectively. The highest content (2.1%) and essential oil yield (4.5 g.m⁻²) and also the highest amount of menthol (40.9%), menthone (28.1%), and cineole (6.2%) in the essential oil were observed under moderate water stress conditions fertilized with Macromix gold. Based on the obtained results, the foliar application of Macromix gold could be recommended as an effective solution to enhance the quantity and quality of the peppermint essential oil under drought stress conditions.

Keywords: Essential oil content, water deficit, medicinal plants, Macromix gold, menthol.