

## تأثیر کاربرد کودهای آلی بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی نعنا فلفلی (*Mentha piperita L.*) در شرایط تنش کم آبی

سعید عزیزی بالابیکلو<sup>۱</sup>، امیر رحیمی<sup>۲\*</sup>، سعید حیدرزاده<sup>۳</sup>، رقیه حلقومی<sup>۴</sup> و ایرج عطائی<sup>۵</sup>

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

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

پست الکترونیک: e.rahimi@urmia.ac.ir

۳- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- دانش آموخته دکتری، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۵- کارشناس، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح نهایی: آبان ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۰

### چکیده

برای بررسی واکنش برخی از ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه دارویی نعنا فلفلی (*Mentha piperita L.*) به کودهای آلی تحت تنش کم آبی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کود آلی در پنج سطح (شاهد، کود گاوی (۲۰ تن در هکتار)، کود مرغی (۷ تن در هکتار)، ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) و کمپوست (۱۵ تن در هکتار)) و رطوبت خاک در سه سطح (۵۰ (تنش شدید)، ۷۰ (تنش ملایم) و ۹۰ (شاهد: بدون تنش) درصد رطوبت ظرفیت زراعی) بودند. تنش کم آبی باعث کاهش محتوی فسفر و پتاسیم برگ، ترکیب‌های فنل و فلاونوئید برگ و محتوای رطوبت نسبی برگ و افزایش عملکرد اسانس برگ در مرحله گلدهی کامل شد. بیشترین مقدار اسانس (۱/۵۸٪) در شرایط تنش ملایم مشاهده شد. کود مرغی و ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌دار در افزایش میزان نیتروژن، پروتئین و درصد مهار رادیکال DPPH برگ در شرایط تنش کم آبی نسبت به شرایط بدون تنش داشت. حداکثر عملکرد مربوط به اسانس (۳۲/۳۴ کیلوگرم در هکتار)، وزن خشک ساقه (۸۵۲/۵۳ کیلوگرم در هکتار)، وزن خشک برگ (۱۰۱۰/۴۰ کیلوگرم در هکتار) و وزن خشک اندام هوایی (۱۸۶۳/۹۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کود مرغی تحت شرایط آبیاری مطلوب حاصل شد. بنابراین به منظور افزایش عملکرد گیاه، استفاده از کودهای آلی در شرایط تنش کم آبی در راستای نیل به کشاورزی پایدار، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عناصر غذایی، کشاورزی پایدار، ورمی‌کمپوست.

### مقدمه

مختلفی که در حوزه کشاورزی دارد، دارای مزیت نسبی بالایی در تولید این محصولات است (Rahimi et al., 2018). نعنا فلفلی یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان خانواده نعناعیان

امروزه گیاهان دارویی دارای جایگاه ویژه‌ای در تجارت محصولات کشاورزی هستند. کشور ایران با توجه به قابلیت‌های

آلی می‌توانند جایگزین خوبی برای کودهای شیمیایی باشند که در این صورت آلودگی محیط‌زیست نیز کاهش می‌یابد (Mirseyedi *et al.*, 2020a). گزارش شده است که کاربرد ورمی‌کمپوست در گیاه بادرنجبویه با تولید اسیدهای آلی، هورمون‌های رشد و ویتامین‌ها سبب افزایش سرعت رشد گیاه می‌گردد (Heidarzadeh *et al.*, 2022). در گیاه گل‌سرخ گزارش شده که اجزای عملکرد، عملکرد و اسانس این گیاه تحت شرایط کمبود آب در شرایط مصرف کودهای ورمی‌کمپوست و کود دامی به‌طور چشمگیری افزایش داشته است (Hamedi *et al.*, 2022). کودهای مرغی و دامی با بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش شدت اثرهای منفی تنش خشکی دارند (Salehi *et al.*, 2016). نتایج پژوهشگران نشان داده است که مصرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی ضمن کاهش اثرهای منفی تنش خشکی، باعث افزایش میزان ماده مؤثره و بهبود خصوصیات کیفی اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum*) گردید و جایگزین آبیاری بیشتر در مرحله بردن دانه می‌شود (Ahmadian *et al.*, 2011). گزارش شده است که اثر تیمارهای کودی مختلف آلی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه پیچ‌ساعتی معنی‌دار بود و بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای پلی‌فنلی از تیمار کود مرغی بدست آمد (Pacheco *et al.*, 2021). Chowdhury و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی گیاه دارویی آلوئه‌ورا نشان داده‌اند که مصرف کود مرغی با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک سبب بهبود وزن خشک اندام‌های هوایی و میزان اسانس شد. یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی برای حصول عملکرد کمی و کیفی مطلوب برای گیاهان دارویی، ارزیابی انواع کودهای آلی است. در این شرایط ضمن ممانعت از آلودگی محیط‌زیست، می‌توان کیفیت منابع آبی و کارایی نهاده‌های کشاورزی را افزایش و میزان فرسایش خاک را به حداقل رساند. بدین ترتیب این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کودهای آلی بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی نعنا فلفلی در شرایط تنش کم آبی طراحی و اجرا شد.

Lamiaceae) است. آثار مفید این گیاه مربوط به ترکیب‌های موجود در اسانس آن است که به‌طور گسترده برای صنایع دارویی و محصولات غذایی استفاده می‌شود (Mahendran & Rahman, 2020). این گیاه از نظر دارویی، اسپاسمولیتیک، کمک‌کننده هضم غذا و سرشار از آنتی‌اکسیدان‌های غیرآزمی مانند ترکیب‌های فنلی است که در ویژگی آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی، ضد التهابی و سیستم دفاعی گیاه نقش مهمی دارد (Wu *et al.*, 2019). تغییر در مقدار و کیفیت مواد مؤثر مانند آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، استروئیدها و اسانس، در نهایت عملکرد گیاهان دارویی را موجب می‌شود (Wu *et al.*, 2019). تنش کم‌آبی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد و تولید محصولات در گیاهان محسوب می‌شود. از عوامل بازدارنده تنش کم‌آبی می‌توان به بازدارندگی فرایندهای تقسیم و رشد سلولی، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جریان دی‌اکسیدکربن به درون سلول‌های مزوفیل برگ اشاره کرد (Amirnia *et al.*, 2019). اثر تنش کم‌آبی بر گیاهان دارویی و معطر پیش‌تر نیز بررسی شده است. نتایج پژوهش‌های انجام شده بر برخی از گیاهان دارویی نشان داد که کمبود آب در مراحل رشد رویشی (پیش از مرحله گلدهی) موجب ایجاد گیاهانی با ارتفاع کوتاه و همچنین کوچک شدن سطح پهنک برگ مثلاً در گیاه نعنا (*Mentha x piperita* L.) می‌شود (Abdi *et al.*, 2019). کاهش دسترسی به آب باعث کاهش در اندازه گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) شده است (Coban *et al.*, 2018). Rahimi و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه‌ای که بر روی گیاه نعنا فلفلی انجام دادند بیان کردند که تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر رشد، عملکرد و میزان مواد پرورده و رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت. به‌طوری که با کاهش مقدار آب خاک، شاخص‌هایی مانند ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ‌ها، وزن تر و خشک برگ‌ها، ساقه و ریشه‌ها و عملکرد اسانس کاهش یافت. در کشاورزی، بهبود و حفظ باروری خاک دارای اهمیت ویژه‌ای برای تأمین نیاز مواد غذایی جمعیت رو به رشد است. مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک سبب تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود. در پژوهش انجام شده روی گیاه بابونه آلمانی مشخص گردید که کودهای

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه تحت تأثیر فاکتورهای الف) منابع تغذیه‌ای (شاهد، کود گاوی، کود مرغی، ورمی‌کمپوست و کمپوست) و ب) سطوح مختلف رطوبتی (۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)

به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نمونه خاک مورد مطالعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کودهای آلی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی و کود آلی مصرفی

Table 1- Physicochemical properties of experimental farm soil and organic fertilizer used

	pH	Electrical conductivity (dS m <sup>-1</sup> )	Organic matter (%)	Total nitrogen (%)	Absorbable phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	Absorbable potassium (mg kg <sup>-1</sup> )	Calcium carbonate (%)	Soil texture
Soil	7.9	0.83	0.98	0.14	10.5	407	9	Clay silt
Cattle manure	7.1	6.3	18.6	1.28	0.99	1.12	-	
Poultry manure	7.5	6.05	35	1.76	2.79	2.13	-	
Vermicompost	7.2	3.71	30	1.50	2.28	1.8	-	
Compost	7.6	6.98	29	1.30	1.10	0.72	-	

(۴ تا ۶ برگی) به کرت‌هایی با ابعاد ۲ × ۲ متر و فاصله ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف و فاصله ۳۰ سانتی‌متری بین ردیف انتقال داده شدند (Abyar *et al.*, 2017). بلافاصله بعد از کاشت به‌صورت یکنواخت آبیاری شد. مبارزه با علف‌های هرز در طول فصل رشد به‌صورت دستی انجام شد.

کلیه مراقبت‌های زراعی در مورد تمامی تیمارها به‌صورت یکنواخت انجام شد. برداشت محصول در اواخر گلدهی انجام گردید و عملکرد هر یک از تیمارها اندازه‌گیری شد. مقدار آب آبیاری براساس درصد رطوبت خاک و رساندن آن به ظرفیت زراعی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه و به خاک مزرعه اضافه شد.

زمین عملیات در فصل پاییز شخم عمیق و در اوایل بهار شخم سطحی و تسطیح شد. اعمال تیمارهای کودهای آلی، براساس نیاز گیاه و نتایج تجزیه خاک انجام گردید. مصرف کود دامی (۲۰ تن در هکتار) براساس تیمارهای آزمایشی در کرت‌ها در نیمه دوم مهرماه انجام و توسط گاواهن برگردان‌دار شخم عمیق و بعد در اسفندماه برای نرم کردن خاک و کلوخه‌ها دو بار دیسک عمودی زده شد. همچنین کودهای مرغی (۷ تن در هکتار)، ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) و کمپوست (۱۵ تن در هکتار) در اوایل بهار زمان تهیه بستر کاشت اعمال گردید (Ghosh *et al.*, 2004). بذر گیاه مورد نظر از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه و در سینی‌های نشاء کشت گردید و بعد از رشد مناسب

$$VN = [(FC - WP) \times BD \times D \times (1 - ASM) \times A] / 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

پژمردگی، BD: جرم مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب)، D: عمق توسعه ریشه (متر)، ASM: رطوبت

در این رابطه، FC: درصد وزنی رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای، WP: درصد وزنی رطوبت در نقطه

آنتی‌اکسیدانی (فنل و فلاونوئید کل)، محتوای رطوبت نسبی برگ و درصد اسانس نعنا فلفلی تحت تأثیر اثرهای ساده سطوح آبیاری و منابع مختلف تغذیه‌ای قرار گرفت. همچنین درصد نیتروژن و پروتئین، درصد مهار رادیکال DPPH، عملکرد اسانس و عملکرد خشک (برگ، ساقه و بوته) نعنا فلفلی تحت تأثیر اثرهای متقابل سطوح مختلف آبیاری و سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۲).

#### فسفر

طبق نتایج آزمایشی، تنش کم‌آبی منجر به کاهش معنی‌دار درصد فسفر گیاه نعنا گردید (جدول ۳). در تیمار منابع مختلف تغذیه‌ای کمترین درصد فسفر (۰/۲۳٪) در نمونه شاهد بدست آمد، در حالی که بیشترین میزان فسفر (۰/۲۹٪) در تیمار کاربرد کود مرغی مشاهده شد (جدول ۴).

#### پتاسیم

بر اساس نتایج، با تأخیر در آبیاری درصد پتاسیم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). تحت تأثیر منابع مختلف تغذیه‌ای کاربرد کود مرغی بیشترین درصد پتاسیم (۱/۳۸٪) را نشان داد، در حالی که کمترین (۱/۱٪) میزان آنها در گیاهان بدون کاربرد کود مشاهده شد (جدول ۴).

#### محتوای ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به عامل سطوح آبیاری حکایت از آن داشت که محتوای ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی (فنل و فلاونوئید کل) در شرایط آبیاری مطلوب به‌طور معنی‌دار بیشتر از مقادیر بدست آمده از این صفت در شرایط تنش متوسط و تنش شدید بود (جدول ۳). بیشترین محتوای فنل کل (۳۲/۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و فلاونوئید (۶/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در اثر کاربرد کود مرغی بدست آمد. در حالی که کمترین محتوای فنل کل (۱۹/۵۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و فلاونوئید (۳/۷۱ میلی‌گرم بر گرم

خاک مزرعه در زمان قبل از آبیاری و A: مساحت هر کرت (مترمربع) است.

در مجموع تعداد دفعات آبیاری و مقدار آب مورد استفاده به‌ترتیب در تیمارهای ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی، ۷ بار آبیاری (۱۱۰ مترمکعب در کل دوره رشد)، ۱۰ بار آبیاری (۱۴۰ مترمکعب در کل دوره رشد) و ۱۵ بار آبیاری (۱۹۵ مترمکعب در کل دوره رشد) بود.

مقدار نیتروژن با استفاده از دستگاه کج‌دال به روش هضم تر، پتاسیم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک (Chapman & Pratt, 1961)، میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر (Chapman & Pratt, 1961) و درصد پروتئین از رابطه ۲ استفاده شد (Ehsanipour et al., Jones et al., 1991, 2013).

$$\text{رابطه ۲} \quad ۶/۲۵ \times \text{درصد نیتروژن} = \text{پروتئین (\%)}$$

محتوای فنل کل با استفاده از روش Horwitz (۱۹۸۴)، محتوای فلاونوئید به روش Jia و همکاران (۱۹۹۹)، درصد مهار رادیکال آزاد DPPH به روش Ebrahimzadeh و همکاران (۲۰۱۱)، محتوای نسبی آب برگ بر اساس روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شدند.

اسانس‌گیری با ۴۰ گرم نمونه پودر شده به همراه ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در درون بالن دستگاه کلونجر انجام شد. عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب درصد اسانس در عملکرد اندام هوایی محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌ها، پس از اطمینان از نرمال بودن آنها، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گردید، همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

#### نتایج

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای عناصر غذایی (فسفر و پتاسیم)، محتوای ترکیب‌های

مشاهده شد (جدول ۵).

#### درصد اسانس و عملکرد اسانس

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تأخیر در آبیاری بیشترین درصد اسانس (۱/۵۸٪) در شرایط تنش متوسط بدست آمد (جدول ۳). به طوری که بیشترین درصد اسانس (۱/۳۷٪) از تیمار کاربرد کود مرغی بدست آمد، در حالی که کمترین میزان آن (۱/۱۹٪) از تیمار عدم کاربرد کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تأخیر در آبیاری میزان عملکرد اسانس به طور معنی داری کاهش یافت، در حالی که کاربرد کود آلی در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود) تأثیر معنی داری در افزایش میزان عملکرد اسانس در هر یک از سطوح آبیاری (۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) داشت، به طوری که کاربرد کود مرغی بیشترین افزایش را در میزان عملکرد اسانس نشان داد (جدول ۵).

#### عملکرد خشک ساقه، برگ و بوته

نتایج حاصل نشان داد که بیشترین عملکرد خشک برگ (۱۰۱۰/۴۰ کیلوگرم در هکتار)، ساقه (۸۵۲/۵۳ کیلوگرم در هکتار) و بوته (۱۸۶۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار) نعنا فلفلی از تیمار کاربرد کود مرغی در شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد، به طوری که تیمار کاربرد کود مرغی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد)، میزان عملکرد خشک ساقه، برگ و بوته را در هر سه رژیم آبیاری افزایش داد. در حالی که کمترین عملکرد خشک برگ (۱۰۱۰/۴۰ کیلوگرم در هکتار)، ساقه (۸۵۲/۵۳ کیلوگرم در هکتار) و بوته (۱۸۶۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۵).

وزن خشک) در شرایط عدم مصرف کود آلی (شاهد) مشاهده شد (جدول ۴). همچنین، همراه با افزایش تنش خشکی درصد مهار رادیکال DPPH کاهش یافت، به طوری که بیشترین (۸۹/۴۱٪) و کمترین (۵۵/۷۴٪) درصد مهار رادیکال DPPH به ترتیب در اثر مصرف کود مرغی و تیمار شاهد (بدون مصرف کود آلی) در شرایط آبیاری ۹۰٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی بدست آمد (جدول ۵).

#### محتوای رطوبت نسبی برگ

مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تیمار آبیاری نشان داد که آبیاری مطلوب منجر به افزایش ۱۶/۳۳ درصدی محتوای رطوبت نسبی برگ در مقایسه با تیمار تنش شدید گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده از منابع مختلف تغذیه‌ای به وضوح نشان داد که استفاده از کود مرغی و ورمی‌کمپوست بیشترین تأثیر را در افزایش درصد محتوای رطوبت نسبی برگ داشتند. بیشترین و کمترین درصد محتوای رطوبت نسبی برگ به ترتیب با میزان ۷۷/۲۲٪ و ۵۰/۹۶٪ از تیماری کود مرغی و تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۴).

#### نیترژن و پروتئین

نتایج داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد نیترژن (۲/۰۹٪) و درصد پروتئین (۱۳/۰۳٪) در تیمار مصرفی کود مرغی در شرایط آبیاری ۹۰٪ ظرفیت زراعی بدست آمد. به طوری که با تأخیر در آبیاری درصد نیترژن و درصد پروتئین به طور معنی داری کاهش یافت، در حالی که کاربرد کود مرغی در مقایسه با شاهد تأثیر معنی داری در افزایش درصد نیترژن و درصد پروتئین در هر یک از سطوح آبیاری نشان داد. در حالی که کمترین درصد نیترژن (۱/۴۲٪) و درصد پروتئین (۸/۸۵٪) در تیمار عدم مصرف کود در شرایط آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات گیاه دارویی نعنا فلفلی تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک و منبع کود آلی

Table 2- ANOVA of some *Mentha piperita* traits affected by different levels of soil moisture and organic fertilizer source

S.O.V.	d.f.	Phosphorus	Potassium	Nitrogen	Protein	Total Phenols content	Total flavonoids content	DPPH radical scavenging	Relative water content	Essential oil percentage	Essential oil yield	Leaf dry weight yield	Stem dry weight yield	Plant dry weight yield
Repetition	2	0.001	0.001	0.003	0.13	0.01	0.18	17.43	3.48	0.001	4.75	1055.83	187.18	2104.91
Soil moisture (SM)	2	0.05**	0.16**	0.36**	14.01**	375.20**	65.77**	247.05**	472.67**	0.24**	133.34**	84857.76**	56154.73**	262842.49**
Organic fertilizer source (OF)	4	0.08**	0.09**	0.16**	6.38**	216.18**	7.75**	624.72**	1397.68**	0.42**	240.08**	74840.10**	48128.91**	233121.93**
SM × OF	8	0.00003 <sup>n.s.</sup>	0.001 <sup>n.s.</sup>	0.003*	0.13*	0.02 <sup>n.s.</sup>	0.16 <sup>n.s.</sup>	45.73**	1.29 <sup>n.s.</sup>	0.00001 <sup>n.s.</sup>	7.71**	5727.24**	7747.50**	20128.03**
Experimental error	28	0.001	0.0007	0.001	0.04	0.05	0.18	1.34	3.40	0.008	1.86	360.90	276.59	519.93
C.V. (%)		10.29	2.15	2.05	2.01	0.95	8.62	1.75	2.92	6.31	6.73	2.55	2.60	1.65

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

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی صفات کیفی نعنا فلفلی تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک

Table 3- Means comparison of some *Mentha piperita* qualitative traits affected by different soil moisture levels

Irrigation regime	Phosphorus (%)	Potassium (%)	Total phenols content (mg.g <sup>-1</sup> DW)	Total flavonoids content (mg.g <sup>-1</sup> DW)	Relative water content (%)	Essential oil (%)
90% of field capacity	0.28 <sup>a</sup>	1.34 <sup>a</sup>	30.41 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	68.27 <sup>a</sup>	1.45 <sup>c</sup>
70% of field capacity	0.26 <sup>b</sup>	1.26 <sup>b</sup>	25.37 <sup>b</sup>	5 <sup>b</sup>	63.83 <sup>b</sup>	1.58 <sup>a</sup>
50% of field capacity	0.24 <sup>c</sup>	1.14 <sup>c</sup>	20.40 <sup>c</sup>	2.81 <sup>c</sup>	57.12 <sup>c</sup>	1.33 <sup>b</sup>

In each column, means with common letters are not significantly different at 5% probability level (LSD test).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر منابع مختلف کود آلی بر برخی صفات کیفی نعنا فلفلی

**Table 4- Means comparison of some *Mentha piperita* qualitative traits affected by different organic fertilizer sources**

Organic fertilizer source	Phosphorus (%)	Potassium (%)	Phenol (mg/g DW)	Flavonoid (mg/g DW)	Relative water content (%)	Essential oil (%)
Control	0.23 <sup>d</sup>	1.1 <sup>e</sup>	19.51 <sup>e</sup>	3.71 <sup>d</sup>	50.96 <sup>c</sup>	1.19 <sup>e</sup>
Cattle manure	0.25 <sup>c</sup>	1.27 <sup>c</sup>	25.07 <sup>c</sup>	5.07 <sup>b</sup>	56 <sup>b</sup>	1.43 <sup>c</sup>
Poultry manure	0.29 <sup>a</sup>	1.38 <sup>a</sup>	32.99 <sup>a</sup>	6.24 <sup>a</sup>	77.22 <sup>a</sup>	1.73 <sup>a</sup>
Vermicompost	0.27 <sup>b</sup>	1.29 <sup>b</sup>	25.86 <sup>b</sup>	5.16 <sup>b</sup>	75.88 <sup>a</sup>	1.60 <sup>b</sup>
Compost	0.27 <sup>b</sup>	1.21 <sup>d</sup>	23.53 <sup>d</sup>	4.51 <sup>c</sup>	55.30 <sup>b</sup>	1.32 <sup>d</sup>

In each column, means with common letters are not significantly different at 5% probability level (LSD test).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح رطوبتی و منابع کودهای آلی بر صفات کمی و کیفی نعنا فلفلی

**Table 5- Comparison of the mean interaction effect of humidity levels and sources of organic fertilizers on quantitative and qualitative traits of peppermint**

Irrigation regime	Organic fertilizer source	Nitrogen (%)	Protein (%)	DPPH radical (%)	Essential oil yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Leaf dry weight yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Stem dry weight yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Plant dry weight yield (kg ha <sup>-1</sup> )
90% of field capacity	Control	1.69 <sup>d</sup>	10.54 <sup>d</sup>	62.36 <sup>gh</sup>	15.31 <sup>h</sup>	656.25 <sup>g</sup>	580.80 <sup>f</sup>	1237.05 <sup>gh</sup>
	Cattle manure	1.91 <sup>b</sup>	12.04 <sup>b</sup>	66.95 <sup>e</sup>	19.61 <sup>ef</sup>	805.57 <sup>c</sup>	636.03 <sup>c</sup>	1441.60 <sup>d</sup>
	Poultry manure	2.09 <sup>a</sup>	13.03 <sup>a</sup>	89.41 <sup>a</sup>	32.34 <sup>a</sup>	1010.40 <sup>a</sup>	852.53 <sup>a</sup>	1862.93 <sup>a</sup>
	Vermicompost	1.93 <sup>b</sup>	12.11 <sup>b</sup>	73.14 <sup>c</sup>	26.70 <sup>c</sup>	893.58 <sup>b</sup>	842.49 <sup>a</sup>	1666.87 <sup>b</sup>
	Compost	1.85 <sup>c</sup>	11.56 <sup>c</sup>	64.90 <sup>f</sup>	21.78 <sup>de</sup>	763.76 <sup>d</sup>	627.46 <sup>cd</sup>	1391.22 <sup>e</sup>
70% of field capacity	Control	1.52 <sup>g</sup>	9.53 <sup>g</sup>	56.54 <sup>jk</sup>	14.73 <sup>h</sup>	616.12 <sup>gh</sup>	544.69 <sup>gh</sup>	1161.58 <sup>i</sup>
	Cattle manure	1.80 <sup>c</sup>	11.26 <sup>c</sup>	64.06 <sup>fg</sup>	18.44 <sup>fg</sup>	770.20 <sup>d</sup>	622.57 <sup>cde</sup>	1392.76 <sup>e</sup>
	Poultry manure	1.96 <sup>b</sup>	12.26 <sup>b</sup>	81.39 <sup>b</sup>	29.66 <sup>b</sup>	824.38 <sup>c</sup>	698.28 <sup>b</sup>	1591.86 <sup>c</sup>
	Vermicompost	1.84 <sup>c</sup>	11.52 <sup>c</sup>	70.40 <sup>d</sup>	24.25 <sup>cd</sup>	763.23 <sup>d</sup>	640.01 <sup>c</sup>	1403.24 <sup>e</sup>
	Compost	1.70 <sup>d</sup>	10.64 <sup>d</sup>	57.86 <sup>j</sup>	20.71 <sup>ef</sup>	758.72 <sup>de</sup>	591.35 <sup>ef</sup>	1350.07 <sup>f</sup>
50% of field capacity	Control	1.42 <sup>h</sup>	8.85 <sup>h</sup>	55.74 <sup>k</sup>	11.78 <sup>i</sup>	582.46 <sup>i</sup>	525.40 <sup>h</sup>	1107.87 <sup>j</sup>
	Cattle manure	1.61 <sup>ef</sup>	10.08 <sup>ef</sup>	61.04 <sup>hi</sup>	14.41 <sup>h</sup>	657.77 <sup>g</sup>	598.08 <sup>def</sup>	1203.19 <sup>h</sup>
	Poultry manure	1.69 <sup>d</sup>	10.56 <sup>d</sup>	67.86 <sup>e</sup>	22.02 <sup>de</sup>	725.81 <sup>ef</sup>	642.77 <sup>c</sup>	1368.58 <sup>ef</sup>
	Vermicompost	1.66 <sup>de</sup>	10.83 <sup>de</sup>	66.89 <sup>e</sup>	19.87 <sup>ef</sup>	715.97 <sup>f</sup>	631.75 <sup>c</sup>	1347.72 <sup>f</sup>
	Compost	1.56 <sup>fg</sup>	9.77 <sup>fg</sup>	60.24 <sup>i</sup>	16.43 <sup>gh</sup>	361.12 <sup>gh</sup>	572.06 <sup>fg</sup>	1255.85 <sup>g</sup>

In each column, means with common letters are not significantly different at 5% probability level (LSD test).

## بحث

کاهش فسفر تحت تنش کم آبی مرتبط با کاهش آب خاک است که سبب کاهش انتقال عناصر غذایی از خاک به گیاه شده است. فسفر یکی از یون‌هایی است که در شرایط تنش کم آبی برای گیاه غیرقابل استفاده می‌باشد، به دلیل جذب شدید این یون توسط رس خاک فقط بخش کوچکی از یون فسفات به صورت محلول در خاک وجود دارد. Amirnia و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که در شرایط تنش کم آبی جذب یون فسفات توسط گیاه به دلیل قابلیت حل کم آن و کاهش قدرت جذب آن توسط ریشه گیاه تقلیل می‌یابد. به طوری که مصرف کود آلی به دلیل بهبود تهویه و اسیدیته خاک، متعادل‌سازی فراهمی عناصر غذایی، ممانعت از آبخش و فزونی حلالیت عناصر معدنی خاک موجب تسریع و بهبود جذب فسفر خاک توسط ریشه گیاه می‌گردد (Zamil *et al.*, 2004). Ahmadian و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که مصرف کود دامی باعث افزایش میزان فسفر در گیاه زیره شد. محققان معتقدند که کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق رهاسازی اسیدهای آلی در اطراف ریشه‌ها موجب افزایش میزان فسفر در گیاه نعنا شد (Abyar *et al.*, 2017). افزایش جذب مواد غذایی بر اثر مصرف کودهای آلی را می‌توان به تغییرات مورفولوژیکی در ریشه گیاهان به ویژه افزایش تعداد، طول، ضخامت ریشه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای ریشه گیاه بابونه نسبت داد (Mirseyedi *et al.*, 2020a).

کاهش پتاسیم تحت تنش کم آبی در ارتباط با کاهش آب خاک است که منجر به کاهش جریان عناصر معدنی توسط گیاه از خاک می‌شود (Amirnia *et al.*, 2019). با توجه به نقش مؤثر کودهای آلی در تشکیل و ثبات خاکدانه‌های خاک، هدایت هیدرولیکی خاک بهبود یافته و موجب توسعه و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه و بهبود جذب آب و عناصر غذایی می‌شود. گزارش شده است که استفاده از کودهای مرغی و دامی تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم در گیاه دارویی بابونه آلمانی داشته است (Salehi *et al.*, 2016). کودهای آلی علاوه بر در دسترس قرار دادن نیتروژن

و فسفر مورد نیاز گیاه بادرنجبویه، از طریق افزایش رشد رویشی گیاه و به دنبال آن توسعه ریشه باعث بهبود جذب و افزایش فراهمی پتاسیم و سایر عناصر ریزمغذی می‌شوند (Heidarzadeh *et al.*, 2022). افزایش اسیدیته خاک و عدم تثبیت پتاسیم در حضور کودهای آلی و زیستی می‌تواند از دلایل افزایش دسترسی این عنصر در خاک و به تبع آن جذب بیشتر آن توسط گیاه باشد (Rahimi *et al.*, 2019); (Mirseyedi *et al.*, 2020b).

با تأمین رطوبت و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در تیمار کودهای آلی، زمینه مناسبی برای رشد و جذب عناصر غذایی برای گیاه فراهم شده که همین موضوع سبب افزایش درصد نیتروژن شده است (Jiang & Zhang, 2002). بنابراین می‌توان دلیل بالا بودن پروتئین با کاربرد مقادیر مصرفی کود آلی را جذب سریعتر نیتروژن توسط گیاه و افزایش غلظت نیتروژن در اندام هوایی مرتبط دانست. نیتروژن نقش مؤثری در ساختمان کلروفیل دارد و مهمترین عنصر معدنی در سنتز پروتئین‌ها است و افزایش آن در شرایط مطلوب تا مرز مشخصی، سبب افزایش میزان پروتئین می‌شود (Amirnia *et al.*, 2019).

مشخص شده که بسیاری از ترکیب‌های فنلی به عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند و می‌توانند به طور مؤثری رادیکال‌های گروه هیدروکسیل و پروکسیل را حذف کنند و از اکسید شدن چربی‌ها ممانعت نمایند (Pacheco *et al.*, 2021). بررسی ترکیب‌های فنلی در تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که افزایش سطح تنش خشکی به طور معنی‌داری مقدار ترکیب‌های فنلی را کاهش داد. این کاهش می‌تواند ناشی از تخریب این ترکیب‌ها در اثر واکنش با ترکیب‌های اکسیداتیو در شرایط تنش خشکی باشد یا کاهش مقدار ترکیب‌های فنلی می‌تواند به علت کاهش فعالیت آنزیم‌های مسیر تولید آن باشد (Rahimi *et al.*, 2019). معمولاً ترکیب‌های فنلی به وسیله فاکتورهای ژنتیکی و شرایط محیطی شامل شرایط تغذیه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Rahimi *et al.*, 2019). تفاوت در محتوای فنلی می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدانتی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد، زیرا



نامناسب تنش خشکی در کاهش عملکرد اسانس توسط Hasani و همکاران (۲۰۰۲) روی گیاه ریحان نیز گزارش شده است. نکته‌ای که باید در اینجا به آن اشاره کرد این است که همیشه همراه با افزایش شدت تنش، میزان اسانس افزایش نمی‌یابد، زیرا در تنش‌های شدیدتر، گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیب‌های تنظیم کننده اسمزی از جمله پرولین، گلسین-بتائین و ترکیب‌های قندی مانند ساکارز، فروکتوز و فروکتان‌ها می‌کند تا شرایط لازم برای ادامه حیات آن فراهم شود (Munns, 1993). افزایش عملکرد اسانس در نتیجه کاربرد کودهای آلی ممکن است ناشی از اثر مفید مصرف کودهای آلی بر رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه باشد. در پژوهش دیگری روی گیاه نعنا فلفلی، اعمال کودهای آلی از جمله کود مرغی و دامی منجر به افزایش میزان اسانس و خصوصیات کمی گیاه نعنا شد (Al-Amri, 2021). نتایج پژوهشگران نشان داده است که کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق کاهش اثرهای منفی تنش خشکی، باعث افزایش میزان ماده مؤثره و موجب بهبود اسانس و عملکرد اسانس در گیاه زیره شد (Ahmadian et al., 2011). از این رو کاربرد کودهای آلی از طریق تأمین مواد غذایی مورد نیاز در طول دوره رشد گیاهان دارویی با بهبود فتوسنتز و محتوای کلروفیل گیاه، افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و رشد و توسعه شاخص سطح برگ و بهبود ساختمان فیزیکی خاک و تعادل در بخش فیزیکی و شیمیایی خاک سبب بهبود عملکرد اسانس نعنا فلفلی شده است (Al-Amri, 2021).

فراهم بودن آب و عناصر غذایی، رشد رویشی مطلوب گیاه را به دنبال داشته و شرط اساسی برای تولید عملکرد بالا و تولید ماده خشک بیشتر می‌باشد. Sirousmehr و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود بیان کردند که زیست توده ریحان در شرایط کاربرد کودهای آلی افزایش یافت. آنان دلیل این موضوع را افزایش بازدهی مصرف آب و بهبود جذب و دسترسی به عناصر غذایی برای گیاه در شرایط کاربرد کودهای آلی ذکر کردند. احتمالاً کمبود آب سبب کاهش فتوسنتز و کاهش تولید مواد پرورده و باعث کاهش

بسیاری از ترکیب‌های فنلی در گیاهان منبع خوبی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند (Al-Amri, 2021). گزارش شده است که میزان فنل در گیاه ریحان با مصرف کودهای آلی نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) افزایش یافت (Nguyen et al., 2010). همچنین، گزارش شده است که کاربرد کود آلی با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش ماده آلی خاک و همچنین قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی بیشتر، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان در گیاه ریحان شد (Nguyen et al., 2010). از این رو به نظر می‌رسد کود دامی با بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی با در اختیار قرار دادن عناصر غذایی نیتروژن و فسفر برای گیاه، توانسته است میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی نعنا فلفلی را افزایش دهد.

گیاهان تحت تنش کم‌آبی، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را به دلیل افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌های خود تقلیل می‌دهند تا آب بیشتری از خاک جذب کنند که همین موضوع سبب کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ تحت تنش کم آبی می‌شود (Salehi et al., 2016). کاهش محتوای آب نسبی برگ تحت تنش کم آبیاری با میزان رطوبت خاک دارای ارتباط مستقیم است. کاهش رشد و گسترش ریشه گیاه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از فاکتورهای اصلی کاهش محتوای نسبی آب می‌باشد (Amirnia et al., 2019). بررسی نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد کودهای آلی موجب کاهش اثرهای تنش خشکی نسبت به شاهد شده است. زیرا مصرف کودهای آلی از طریق بهبود خواص فیزیکی خاک، اصلاح و دانه‌بندی خاک به دلیل برقراری پیوند با مولکول‌های آب برای ممانعت از تبخیر آن، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه در تنش کم آبیاری می‌شود (Mirseyedi et al., 2020a).

کاهش عملکرد اسانس تحت کاهش فراهمی رطوبت خاک می‌تواند ناشی از اثر زیان‌آور تنش کم آبیاری بر رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه مرتبط باشد. البته اثرهای

- Ahmadian, A., Tavassoli, A. and Amiri, E., 2011. The interaction effect of water stress and manure on yield components, essential oil and chemical compositions of cumin (*Cuminum cyminum*). *African Journal of Agricultural Research*, 6(10): 2309-2315.
- Al-Amri, S.M., 2021. Response of growth, essential oil composition, endogenous hormones and microbial activity of *Mentha piperita* to some organic and biofertilizers agents. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(9): 1-7.
- Amirnia, R., Ghiyasi, M., Moghaddam, S.S., Rahimi, A., Damalas, C.A. and Heydarzadeh, S., 2019. Nitrogen-fixing soil bacteria plus mycorrhizal fungi improve seed yield and quality traits of lentil (*Lens culinaris* Medik). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19: 1-11.
- Chapman, H.D. and Pratt, P.F., 1961. *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. University of California, Division of Agricultural Science, 309p.
- Chowdhury, T., Chowdhury, M.A.H., Qingyue, W., Enyoh, C.E., Wang, W. and Khan, M.S.I., 2021. Nutrient uptake and pharmaceutical compounds of *Aloe vera* as influenced by integration of inorganic fertilizer and poultry manure in soil. *Heliyon*, 7(7): 07464.
- Coban, F., Ozer, H., Ors, S., Sahin, U., Yildiz, G. and Cakmakci, T., 2018. Effects of deficit irrigation on essential oil composition and yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in a high-altitude environment. *Journal of Essential Oil Research*, 30(6): 457-463.
- Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.F., Nabavi, S.F. and Dehpour, A.A., 2011. Antioxidant activity of hydroalcoholic extract of *ferula gumosa* Boiss. roots. *US National Library of Medicinal National Institutes of Health*, 15(6): 658-664.
- Ehsanipour, A., Zainali, H. and Khursheed. R., 2013. The effect of nitrogen fertilizer amounts on qualitative characteristics and grain yield in different populations of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Medicinal Plants*, 11(9): 37-47.
- Ghosh, P.K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K.K., Tripathi, A.K., Hati, K.M., Misra, A.K. and Acharya, C.L., 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. I. Crop yields and system performance. *Bioresource Technology*, 95(1): 77-83.
- Hamed, B., Ghasemi Pirbalouti, A. and Rajabzadeh, F., 2022. Manures, vermicompost, and chemical fertilizer impacts on the yield and volatile compounds of the damask rose (*Rosa damascena* Mill.) flower petals. *Industrial Crops and Products*, 187(1): 115470.
- Hasani, A., Omidbiygi, R. and Heidari Sharifabad, H., 2002. Effect of soil water levels on growth, yield and

اندام‌های رویشی و اندام‌های زایشی شده که در نهایت می‌تواند منجر به کاهش عملکرد ماده خشک گیاه در شرایط محدودیت آب گردد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد کودهای آلی در طی دوره تنش خشکی با افزایش قابلیت آب برگ، افزایش سرعت مصرف دی‌اکسیدکربن و افزایش میزان تعرق و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزبان، قادر است اثرهای تنش خشکی در گیاه را کاهش دهد (Salehi et al., 2016).

به عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کود مرغی بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد اسانس و عملکرد خشک (برگ، ساقه و بوته)، بهبود خصوصیات فیزیولوژیک گیاه نعنا فلفلی در هر یک از سطوح آبیاری داشت. از سوی دیگر، افزایش جذب عناصر غذایی (نیترژن، فسفر و پتاسیم) در نتیجه کاربرد کود مرغی بیشترین مقادیر را نشان داد. به طوری که انجام آبیاری مطلوب موجب بهبود محتوای رطوبت نسبی، ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی، عملکرد اسانس و عملکرد خشک (برگ، ساقه و بوته) در هر یک از سطوح آبیاری توسط گیاه شد. از نتایج بدست آمده چنین استنباط می‌شود که کاربرد کودهای آلی (کود مرغی و ورمی‌کمپوست) با توجه به بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و تنظیم سیستم‌های آنتی‌اکسیدان، به عنوان یک راهکار مؤثر برای اصلاح حاصلخیزی خاک و افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش‌های محیطی، باعث بهبود بسیاری از خصوصیات کمی و کیفی گیاه نعنا فلفلی می‌شود.

## References

- Abdi, G., Shokrpour, M. and Salami, S.A., 2019. Essential oil composition at different plant growth development of peppermint (*Mentha x piperita* L.) under water deficit stress. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(2): 431-440.
- Abyar, S., Fakheri, B., Mahdinajad, N. and Harati Rad, M., 2017. Effects of different levels of vermicompost on growth indices and essential oils essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 13(1): 29-42.

- Nguyen, P.M., Kwee, E.M. and Niemeyer, E.D., 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, 123(4): 1235-1241.
- Pacheco, A.C., Feba, L.G.T., Serra, E.G., Takata, W.H.S., Gorni, P.H. and Yoshida, C.H.P., 2021. The use of animal manure in the organic cultivation of *Passiflora incarnata* L. increases the content of phenolic compounds in the leaf and the antioxidant activity of the plant. *Organic Agriculture*, 10: 1-9.
- Rahimi, A., Moghaddam, S.S., Ghiyasi, M., Heydarzadeh, S., Ghazizadeh, K. and Popović-Djordjević, J., 2019. The influence of chemical, organic and biological fertilizers on agrobiological and antioxidant properties of Syrian cephalaria (*Cephalaria syriaca* L.). *Agriculture*, 9(6): 122-135.
- Rahimi, Y., Taleei, A. and Ranjbar, M., 2018. Long-term water deficit modulates antioxidant capacity of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Scientia Horticulturae*, 237: 36-43.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Holaday, A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 105-111.
- Salehi, A., Tasdighi, H. and Gholamhoseini, M., 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(10): 886-891.
- Sirousmehr, A., Arbabi, J. and Asgharipour, M.R., 2014. Effect of drought stress levels and organic manures on yield, essential oil content and some morphological characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Advances in Environmental Biology*, 8(4): 880-885.
- Wu, Z., Tan, B., Liu, Y., Dunn, J., Martorell Guerola, P., Tortajada, M., Cao, Z. and Ji, P., 2019. Chemical composition and antioxidant properties of essential oils from peppermint, native spearmint and scotch spearmint. *Molecules*, 24(15): 2825.
- Zamil, S.S., Quadir, Q.F., Chowdhury, M.A.H. and Vahid, A.A., 2004. Effects of different animal manure on yield quality and nutrient uptake by Mustard (CV. *Agrani*). *Brac University Journal*, 1(2): 59-66.
- osmolytes accumulation in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Soil and Water Science*, 17(2): 20-28.
- Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Mokhtassi-Bidgoli, A., 2022. Changes in yield and essential oil compositions of *Dracocephalum kotschyi* Boiss in response to azocompost, vermicompost, nitroxin, and urea under water deficit stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1): 896-913.
- Horwitz, W., 1984. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC., 771p.
- Jia, Z., Tang, M. and Wu, J., 1999. The determination of flavonoid content in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64: 555-559.
- Jiang, M. and Zhang, J., 2002. Water stress-induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and up-regulates the activities of antioxidant enzymes in maize leaves. *Journal of Experimental Botany*, 53: 2401-2410.
- Jones, J.B., Wolf, B. and Mills, H.A., 1991. *Plant Analysis Handbook, Micro, Macro*. Publishing Inc. Georgia, USA, 250p.
- Mahendran, G. and Rahman, L.U., 2020. Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on Peppermint (*Mentha × piperita* L.) A review. *Phytotherapy Research*, 34(9): 2088-2139.
- Mirseyedi, S.K., Nasiri, Y., Morshedloo, M.R. and Khalili, M., 2020a. Evaluation of organic, chemical, biological and amino acids application on quantitative and qualitative characteristics of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different harvesting. *Journal of Horticultural Science*, 50(4): 755-767.
- Mirseyedi, S.K., Nasiri, Y., Morshedloo, M.R. and Khalili, M., 2020b. Evaluation of organic, chemical, biological and amino acids application on quantitative and qualitative characteristics of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different harvesting. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(4): 755-767.
- Munns, R., 1993. Physiological process limiting plant growth in saline soil: some dogmass and hypotheses. *Plant Cell and Environment*, 16: 15-24.

## Effects of organic fertilizers on quantitative and qualitative traits of *Mentha piperita* L. under low water stress

S. Azizi Balabiglou<sup>1</sup>, A. Rahimi<sup>2\*</sup>, S. Heydarzadeh<sup>3</sup>, R. Holgoumi<sup>4</sup> and I. Ataei<sup>5</sup>

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

2\*- Corresponding author, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, E-mail: e.rahimi@urmia.ac.ir

3- Ph.D. graduate, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

4- Ph.D. graduate, Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

5- Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Ardabil Province (Moghan), Agricultural Education and Extension Research Organization, Ardabil, Iran

Received: January 2022

Revised: October 2022

Accepted: November 2022

### Abstract

To investigate the response of some quantitative and qualitative characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) to organic fertilizers under low water stress, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in the research farm of the Faculty of Agriculture of Urmia University in 2017-2018 crop year. Experimental treatments included organic fertilizer at five levels (control, cattle manure (20 ton ha<sup>-1</sup>), poultry manure (7 ton ha<sup>-1</sup>), vermicompost (10 ton ha<sup>-1</sup>), and compost (15 ton ha<sup>-1</sup>)) and soil moisture at three levels (50 (severe stress), 70 (moderate stress), and 90% (control: without stress) of field capacity). Low water stress decreased the content of leaf phosphorus or potassium, leaf phenols or flavonoids, and leaf relative water content and increased the leaf essential oil yield at full flowering stage. The highest amount of essential oil (1.58%) was observed under moderate stress conditions. Poultry manure and vermicompost significantly increased the amount of nitrogen, protein, and percentage of DPPH radical scavenging of leaves under low water stress compared to without stress conditions. The highest yield of essential oil (32.34 kg ha<sup>-1</sup>), stem dry weight (852.53 kg ha<sup>-1</sup>), leaf dry weight (1010.40 kg ha<sup>-1</sup>), and aerial parts dry weight (1863.93 kg ha<sup>-1</sup>) was obtained in the poultry manure treatment under optimal irrigation. Overall, organic fertilizers application under low water stress could be recommended to increase the plant yield and achieve sustainable agriculture.

**Keywords:** Nutrients, Sustainable Agriculture, Vermicompost.