نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۶، مهر - آبان ۱۴۰۱، ص. ۸۶۲-۸۵۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 16, Oct.-Nov. 2022, p. 852-862

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تغییرات صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری

صابر جمالی[۱]، حسین انصاری[۲*]، محمد نادریان فر[۳]، عباس صفری‌زاده ثانی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۴

چکیده

یکی از روش‌های افزایش بازده مصرف آب، اعمال مدیریت کم‌آبیاری بر اساس شناخت آثار تنش می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر خواص رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعنا فلفلی پژوهشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. تیمارهای کم‌آبیاری شامل تیمار آبیاری کامل (Full Irrigation)، کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ($Deficit\ Irrigation_{50\%}$)، آبیاری بخشی ریشه ثابت (Fixed Partial Rootzone Drying) و آبیاری بخشی ریشه متناوب (Alternate Partial Rootzone Drying) بود. نتایج تحقیق نشان داد که در صفت تعداد برگ بیشترین (۱۷۳ عدد) و کمترین (۱۴۰ عدد) مقدار به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ ($DI_{50\%}$) درصد مشاهده شد. در صفت هدایت روزنه‌ای بیشترین مقدار (۳۹/۳ میلی مول بر مترمربع در ثانیه) در تیمار کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ($DI_{50\%}$) و کمترین مقدار (۳۱/۳ میلی مول بر مترمربع در ثانیه) نیز در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. در شاخص سبزینگی، نشت الکترولیت، RWC، اسانس و پرولین بیشترین مقدار به ترتیب ۵۳/۷، ۴۸/۲۷ درصد، ۵۵/۳ درصد، ۱/۵۸ درصد و ۲/۵۰ میلی‌گرم در لیتر در تیمار آبیاری بخشی ریشه ثابت (FPRD) و کمترین مقدار برای شاخص سبزینگی (۴۱/۵)، نشت الکترولیت (۳۵/۷۲ درصد)، درصد اسانس (۱/۱۴ درصد) و پرولین (۱/۲۳ میلی‌گرم در لیتر) در تیمار آبیاری کامل (FI) به دست آمد. همچنین بیشترین عملکرد اسانس در تیمار آبیاری کامل (FI) به دست آمد و در سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طورکلی، با عنایت به بحران آبی موجود در کشور و قبول کاهش عملکرد در مواد مؤثره گیاه، تیمار APRD جهت آبیاری این گیاه در شرایط گلخانه‌ای توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بخشی ریشه، پرولین، شاخص SPAD، عملکرد اسانس، کم‌آبیاری

مقدمه

آب به‌عنوان یکی از نهاده‌های اساسی در تعیین سطح زیر کشت و تولیدات گیاهی بوده که در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران با محدودیت مواجه است، از این رو کمبود آب بر روی رشد و نمو و همچنین مواد مؤثره در گیاهان (به‌ویژه گیاهان دارویی) اثرگذار است؛ بنابراین، باوجود محدودیت در منابع آبی نیاز به اتخاذ راهکارهایی جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب و همچنین بهبود در مواد مؤثره گیاهان دارویی وجود دارد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهش‌های متعددی که بر روی گیاهان مختلف در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک انجام‌شده، اعمال روش‌های مدیریتی نظیر اعمال کم‌آبیاری در بهبود موارد ذکرشده، مؤثر است. در ذیل به‌تفصیل به پژوهش‌های انجام‌شده درزمینه‌ی کم‌آبیاری و اثرات آن بر روی گیاه دارویی نعناع فلفلی پرداخته‌شده است. نتایج تحقیقی که در قبرس بر روی گیاه دارویی نعناع فلفلی انجام شد، نشان داد که اعمال تنش آبی باعث کاهش ارتفاع، وزن تر بوته و درصد ماده خشک گیاه در برداشت اول شد، ولی اعمال این تیمارها منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزینگی و عملکرد اسانس شد (Chrysargyris et al., 2021). در پژوهشی که در شرایط گلخانه‌ای بر روی دو رقم ریحان در دانشگاه

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران
۲- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران
۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت. کرمان. ایران
٤- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Ansary@um.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.4.13.6

فردوسی انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال تنش آبی به میزان ۳۰ و ۶۰ درصد منجر به کاهش ارتفاع و وزن تر بوته شد (Goldani et al., 2021). اکبرزاده و شاه‌نظری به‌منظور بررسی اثر آبیاری بخشی ریشه بر روی گیاه دارویی نعناع فلفلی، پژوهشی را انجام داده و نشان دادند که اعمال کم‌آبیاری بخشی ریشه به‌میزان ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد منجر به کاهش در عملکرد خشک و افزایش عملکرد اسانس (در تیمار ۵۵ درصد که نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت) شد (Akbarzadeh and Shahnazari, 2021). جهانی و همکاران و کشاورز میرزامحمدی و همکاران نیز با بررسی اثر تنش آبی بر روی گیاه دارویی نعناع فلفلی نشان دادند که اعمال تنش منجر به کاهش تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک بوته و محتوای کلروفیل شد ولی تنش ملایم منجر به بهبود عملکرد و درصد اسانس شد (Jahani et al., 2021; Keshavarz Mirzamohammadi et al., 2021). پژوهشی که به‌منظور بررسی اثرات آبیاری پس از ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده توسط ریشه بر روی گیاه نعنا فلفلی انجام شد، نتایج گویای افزایش پرولین و درصد اسانس و کاهش ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک بود (ابراهیمی اسپورزی و همکاران، ۱۴۰۰). در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبی بر روی گیاه دارویی نعناع فلفلی در شرایط گلخانه‌ای و بر پایه کشت گلدانی انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش شاخص سبزینگی، وزن خشک در گلدان، سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، ارتفاع، عملکرد اسانس و هدایت روزنه‌ای شد، ولی اعمال این سطوح آبی منجر به افزایش صفات نشت یونی و درصد اسانس شد (پارسا و همکاران، ۱۳۹۹؛ پارسا و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج تحقیقی دیگر که به‌منظور اعمال دوره‌های مختلف آبیاری (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) بر روی این گیاه انجام شد، نشان داد که اعمال آبیاری پس از ۱۴ و ۲۱ روز منجر به کاهش قطر ساقه و وزن تر و خشک بوته شد (ترابی گیگلو و همکاران، ۱۳۹۹). بر اساس پژوهش جمالی و همکاران (۱۳۹۹)، فتاحی سیاه کمری و همکاران (۱۳۹۹)، کوشکی و همکاران (۱۳۹۹)، بصیری و همکاران (۱۳۹۹) و وفایی رستمی و همکاران (۱۳۹۸) اعمال تنش آبی بر روی گیاه دارویی نعناع فلفلی منجر به کاهش معنی‌دار در صفات ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، تعداد برگ، کلروفیل، درصد و عملکرد اسانس در سطح احتمال پنج درصد شد. حاج میرزایی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی نشان دادند که کاهش میزان آب آبیاری به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نعنا فلفلی منجر به کاهش در صفات وزن تر برگ و ریشه، ارتفاع بوته و قطر ساقه شد. در پژوهشی دیگر اعمال تنش ملایم و شدید بر روی گیاه دارویی نعنا فلفلی منجر به کاهش کلروفیل برگ شد (نوبخت و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج مطالعه حکم‌آبادی و همکاران (۱۳۹۶) بر روی نعنا فلفلی نشان داد که اعمال تنش آبی باعث کاهش در شاخص سبزینگی و افزایش محتوای نسبی آب برگ و نشت یونی شد. در پژوهشی دیگر بر روی نعناع فلفلی نتایج نشان داد که اعمال خشکی در دوره رشدی گیاه منجر به کاهش وزن تر و خشک بوته، تعداد برگ، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ شده ولی پرولین در این شرایط افزایش‌یافته است، لازم به ذکر است که تنش آبی بر روی تجزیه واریانس درصد اسانس معنی‌دار نشد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج تحقیقات گرگینی شبانکاره و خراسانی‌نژاد (۱۳۹۶) بر روی نعنا فلفلی نیز نشان داد که اعمال کم‌آبیاری منجر به کاهش صفات ارتفاع، وزن تر و خشک بوته و محتوای نسبی آب برگ و افزایش پرولین و درصد اسانس شد. خیری و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که اعمال تنش آبی به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد بر روی گیاه دارویی نعناع فلفلی منجر به کاهش کلروفیل، محتوای نسبی آب، ارتفاع و وزن تر و خشک بوته شد. اعمال تنش ۲۵ درصدی تنش آبی سبب افزایش در صفت درصد اسانس شد و افزایش تنش آبی بر روی این صفت اثر منفی داشت. گیاه دارویی نعناع فلفلی به دلیل مصرف زیاد، اسانس رایج و معروف در صنایع و استفاده از آن به‌عنوان طعم‌دهنده در صنایع دارویی و غذایی در سراسر دنیا به‌عنوان گیاه دارویی با ارزش کشت می‌شود. در این پژوهش نیز با توجه به موارد مطرح‌شده به کاشت این گیاه مبادرت شد. در این پژوهش که در شرایط گلخانه‌ای انجام‌شده و بر پایه کشت گلدانی بود، از کم‌آبیاری تنظیم‌شده و بخشی ریشه به‌عنوان روش‌های مدیریتی در افزایش بهره‌وری مصرف آب استفاده شد. هدف کلی از انجام این پژوهش بررسی اثر روش‌های مدیریتی کم‌آبیاری (تنظیم‌شده، بخشی ریشه ثابت و متغیر) بر خواص مورفوفیزیولوژیکی و درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی نعناع فلفلی بود.

مواد و روش‌ها

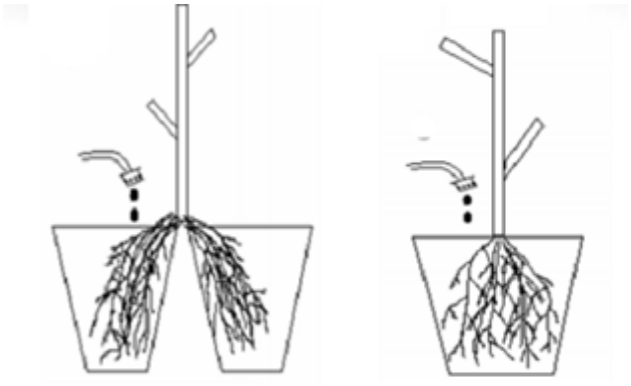
به‌منظور بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر خواص رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعنا فلفلی پژوهشی در سال ۹۸-۱۳۹۷ بر پایه‌ی کشت گلدانی و با سه تکرار در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰ سانتی‌متر (قطر) و ۲۵ سانتی‌متر (ارتفاع) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از سطح دریا و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. فاکتورهای موردبررسی در این پژوهش شامل ۴ مدیریت آبیاری (آبیاری کامل FI[1]، کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد DI[2]، آبیاری بخشی ریشه ثابت FPRD[3] و آبیاری بخشی ریشه متناوب APRD[4]) بود. متوسط دما و رطوبت نسبی محل موردمطالعه در جدول (۱) ارائه‌شده است.

1- Full Irrigation
2- Deficit Irrigation
3- Fixed Partial Rootzone Drying
4- Alternate Partial Rootzone Drying

جدول ۱- متوسط دما و رطوبت نسبی محل موردمطالعه

ماه	متوسط دما		متوسط رطوبت نسبی داخل گلخانه
	داخل	بیرون	
اسفند	۲۴	۷/۲	۷۵
فروردین	۲۳/۲	۱۴/۵	۷۹
اردیبهشت	۲۳/۰	۱۸/۷	۷۸
خرداد	۲۴/۱	۳۰/۱	۷۶

قبل از اینکه گلدان‌ها از خاک مرکب (۴۰، ۴۰، ۱۰ و ۱۰ درصد خاک، ماسه، کود دامی و پرلیت) با بافت لوم رسی پر شوند، تیغه‌های پلی‌کربناتی که برای جدا کردن محدوده توسعه ریشه‌ها نیاز بود، با توجه به ابعاد صفحه تقارن گلدان بریده و با چسب آکواریوم در محل خود نصب و آب‌بندی شد (شکل ۱) و پس از آن در انتهای گلدان‌ها به‌منظور بهبود در زهکشی به‌صورت یکسان از گراول استفاده شد. به‌منظور کشت ریزوم‌های نعنا فلفلی در تاریخ ۲۰ بهمن ۱۳۹۷ (به طول ۱۰ سانتی‌متر) در وسط صفحه و قسمت بالای آن به‌صورت مثلثی برش داده تا ریشه‌ها بتوانند، در دو سمت تیغه رشد داشته باشند و در ابتدا برای اینکه ریزوم‌ها از جای خود که در قسمت مثلثی کشت‌شده بود، جابجا نشود بر روی سطح خاک آب اسپری شد. لازم به ذکر است که خاک مورداستفاده دارای هدایت الکتریکی و pH برابر با ۱/۲۵ دسی زیمنس بر متر و ۷/۸۵ بود.



(ب) (الف)

شکل ۱- الف: آبیاری کامل، ب: آبیاری بخشی ریشه

دور آبیاری در این طرح ثابت و عمق آبیاری متغیر بوده که با استفاده از تشت تبخیر کلاس A (موجود در گلخانه) تعیین شد. تا مرحله استقرار گیاه، آبیاری تمام تیمارها به یک مقدار مشابه، با استفاده از آب شهری و بر اساس میزان تبخیر از تشتک انجام شد و پس از جوانه‌زنی ریزوم‌ها و رسیدن گیاهان به مرحله ۴ برگی اعمال تیمارها صورت پذیرفت. دور آبیاری ۴ روزه در نظر گرفته شد. مقدار تبخیر به‌صورت روزانه از تشت تبخیر یادداشت می‌شد. تعیین نیاز آبی شامل سه مرحله، تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0)، تعیین ضریب گیاهی (Kc) و تعیین اثر شرایط محل و عملیات زراعی بر نیاز آبی گیاه بود. از روابط ۱ و ۲ برای تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی استفاده شد. در روابط زیر، K_p ضریب تشت و E_{pan} میزان تبخیر اندازه‌گیری از تشت (میلی‌متر) برای هر منطقه است که تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تبخیر و تعرق واقعی گیاه بدان وابسته است. مقدار K_p به عوامل متعددی ازجمله رطوبت نسبی هوا، سرعت باد و محیط اطراف تشت بستگی دارد. K_c ضریب گیاهی، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر) و ET_c تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر) است (علیزاده، ۱۳۹۰). ضریب تشت محاسبه‌شده از روش پیشنهادی در پژوهش امیری و همکاران (۱۳۹۰) با توجه به موقعیت استقرار آن در محل (به‌طور میانگین ۰/۹۴) تعیین شد.

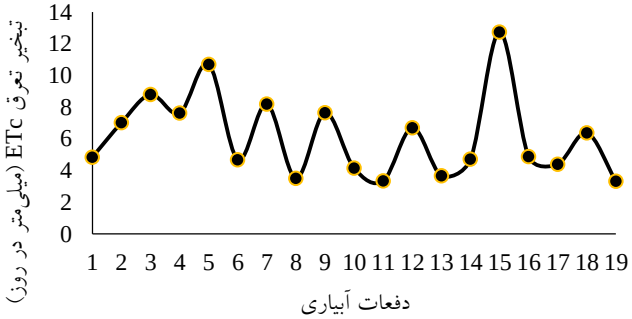
$$ET_0 = K_p \times E_{pan} \quad (۱)$$

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (۲)$$

همچنین بر اساس بررسی‌های انجام‌شده (شهریاری، ۱۳۹۰) ضریب گیاهی برای نعنا فلفلی تعیین و در محاسبه نیاز آبی مدنظر قرار گرفت (جدول ۲). نیاز آبی و میزان آب آبیاری گیاه دارویی نعنا فلفلی در طول دوره رشد، در شکل (۲) و جدول (۳) ارائه‌شده است.

جدول ۲- ضریب گیاهی نعنا فلفلی (شهریاری، ۱۳۹۰)

مرحله رشد	ابتدایی	میانی	انتهایی
K_c	۰/۳	۰/۸	۰/۵



شکل ۲- نیاز آبی گیاه دارویی نعنا فلفلی در طول فصل رشد

جدول ۳- میزان آب آبیاری در طول فصل رشد گیاه دارویی نعنا فلفلی در هر یک از تیمارهای موردبررسی

تیمار	FI	$DI_{50\%}$	FPRD	APRD
میزان آب آبیاری (میلی‌متر)	۱۱۷/۲		۵۸/۶	

شروع گلدهی گیاهان در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۸ بوده و با شروع این مرحله گیاهان برداشت شدند. پس از برداشت گیاهان و کف‌بری آن‌ها صفات مورفوفیزیولوژی گیاه (تعداد برگ، ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ماده خشک، هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزینگی، پرولین، نشت الکترولیت و محتوای نسبی آب برگ) برداشت شد. اندام‌های برداشت‌شده در هر تیمار به‌صورت جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار داده‌شده و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شده و جهت اندازه‌گیری وزن خشک برگ، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن آن‌ها تعیین شد. ماده خشک با استفاده از رابطه (۳) محاسبه‌شده و در آن پارامترهای DM، $W_{f\ Leaf}$ و $W_{d\ Leaf}$ به ترتیب بیانگر ماده خشک، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک اندام هوایی است. جهت اندازه‌گیری شاخص سبزینگی و هدایت روزنه‌ای به ترتیب از دستگاه‌های SPAD 502 و Leaf Porometer استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت پرولین از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان نسبی آب برگ (RWC[1]) از روش بارس و یترلی (۱۹۶۲) استفاده شده و با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد، لازم به ذکر است که در این رابطه وزن تر (W_f)، وزن آماس (W_t) و وزن خشک (W_d) است. جهت تعیین نشت الکترولیت (EL[2]) از روش مارکوم (۱۹۹۸) استفاده شد و مطابق با رابطه (۵) این صفت محاسبه گردید که در این رابطه E_1 و E_2 به ترتیب بیانگر هدایت الکتریکی قبل و پس از اتوکلاو می‌باشد. در پایان بعد از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (VER 9.4) و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

$$DM = \frac{W_{d\ Leaf}}{W_{f\ Leaf}} \times 100 \quad (۳)$$

$$RWC = \frac{W_f - W_d}{W_t - W_d} \times 100 \quad (۴)$$

$$EL = \frac{E_1}{E_2} \times 100 \quad (۵)$$

نتایج و بحث

اثر مدیریت‌های آبیاری بر خواص مورفولوژیکی گیاه دارویی

1 Relative water content

2 Electrolyte leakage

نعنا فلفلی

بر اساس نتایج جدول ۴، مدیریت‌های مختلف آبیاری بر صفات مورفولوژیکی گیاه مانند وزن خشک بوته و ریشه در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد برگ در بوته و ارتفاع در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵)، در صفت تعداد برگ بیشترین (۱۷۳/۳ عدد) و کمترین (۱۴۰/۰ عدد) مقدار به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد مشاهده شد. اعمال تیمارهای مدیریتی کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، آبیاری بخشی ریشه ثابت و متغیر به ترتیب منجر به کاهش ۱۹/۲، ۱۴/۶ و ۵/۸ درصدی در صفت تعداد برگ نسبت به تیمار آبیاری کامل شد. بر اساس نتایج این جدول بین تیمارهای آبیاری بخشی متغیر و آبیاری کامل و بین تیمارهای آبیاری بخشی ثابت و کم‌آبیاری به میزان پنج درصد، تفاوت معنی‌داری در صفت تعداد برگ مشاهده نشد. بر اساس نتایج این جدول در صفت ارتفاع بیشترین و کمترین مقدار با ۲۸/۱ و ۲۲/۳ سانتی‌متر به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و بخشی ریشه ثابت مشاهده شد. در این صفت بین تیمارهای کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد و آبیاری بخشی ریشه ثابت در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD در مقایسه میانگین‌ها تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. اعمال تیمارهای مدیریتی کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، آبیاری بخشی ریشه ثابت و متغیر به ترتیب منجر به کاهش ۱۸/۵، ۲۰/۶ و ۱۰/۰ درصدی در صفت ارتفاع شد. در صفات وزن خشک بوته و ریشه نیز بیشترین مقدار با ۱۱/۴ و ۳/۵۴ گرم در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد، همچنین نتایج بر اساس این جدول نشان داد که کمترین مقدار از این صفات نیز به ترتیب با ۸/۵ و ۱/۸۵ گرم در تیمارهای کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد و آبیاری بخشی ریشه ثابت مشاهده شد. در این صفات نیز اعمال تیمارهای مدیریتی کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، آبیاری بخشی ریشه ثابت و متغیر به ترتیب منجر به کاهش ۲۵/۴، ۲۳/۷ و ۱۴/۰ درصدی (وزن خشک بوته) و کاهش ۲۸/۸، ۴۷/۷ و ۱۵/۵ درصدی (وزن خشک‌ریشه) شد. در صفت وزن خشک بوته بین تیمارهای کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد و آبیاری بخشی ثابت اختلاف معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد. در صفت ماده خشک نیز بیشترین و کمترین مقدار با ۰/۳۲۵ و ۰/۳۱۰ در تیمارهای آبیاری بخشی متغیر و ثابت مشاهده شد. بر اساس شکل ۳، در تیمار آبیاری بخشی ریشه ثابت نسبت به سایر تیمارها سهم بیشتری از ماده خشک گیاه را اندام هوایی به خود اختصاص داده است.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر صفات مورفولوژیکی نعناع فلفلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد برگ در بوته	ارتفاع	وزن خشک بوته	وزن خشک‌ریشه	ماده خشک
مدیریت آبیاری	۳	*۶۷۴/۱	*۲۰/۶۸	**۵/۳	**۱/۵۴	ns۰/۰۰۰۳
خطا	۸	۴۳/۷	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۴/۲	۵/۹	۳/۴	۸/۱	۳/۸

**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۵- اثرات مدیریت‌های مختلف آبیاری بر صفات مورفولوژیکی نعناع فلفلی

ترکیبات تیماری	تعداد برگ در بوته	ارتفاع	وزن خشک بوته	وزن خشک‌ریشه	ماده خشک
	-	سانتی‌متر	گرم	گرم	-
کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ($DI_{50\%}$)	b۱۴۰	c۲۲/۹	c۸/۵	c۲/۵۲	a۰/۳۱۹
آبیاری بخشی ریشه ثابت (FPRD)	b۱۴۸	c۲۲/۳	c۸/۷	d۱/۸۵	a۰/۳۱۰
آبیاری بخشی ریشه متغیر (APRD)	a۱۶۳	b۲۵/۳	b۹/۸	b۲/۹۹	a۰/۳۲۵
آبیاری کامل (FI)	a۱۷۳	a۲۸/۱	a۱۱/۴	a۳/۵۴	a۰/۳۱۹
LSD (0.05)	۱۲	۱	۰/۶	۰/۴۱	۰/۲

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

گیاهان جهت مقابله و سازگاری با تنش‌های محیطی نظیر خشکی در اولین اقدام سطح سبزینگی خود را کاهش داده و انرژی بیشتری را در اختیار ریشه جهت جذب آب موردنیاز گیاه قرار دهند (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Chrysargyris et al., 2021)، علت

کاهش تعداد برگ در شرایط اعمال تنش آبی تنظیم‌شده و آبیاری بخشی ریشه نیز می‌تواند این مهم باشد. علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی، کاهش تقسیم سلولی و کوچک شدن سلول‌ها در اثر کاهش فشار آماس است. با افزایش تنش آب و کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ای کاهش‌یافته و متعاقب آن ارتفاع بوته، سرعت رشد و زیست‌توده گیاه کاهش می‌یابد (Goldani et al., 2021؛ ابراهیمی اسپورزی و همکاران، ۱۴۰۰). در شرایط تنش خشکی، جذب آب و مواد غذایی کاهش‌یافته و انرژی بیشتری توسط ریشه گیاه صرف جذب آب و مواد غذایی می‌کند، همچنین سطح فتوسنتز کننده گیاه کاهش‌یافته و متعاقب آن فتوسنتز کاهش‌یافته و کاهش تولید شیره پرورده را به همراه دارد و درنهایت رشد و نمو گیاه و ماده خشک گیاهی کاهش می‌یابد (ترابی گیگلو و همکاران، ۱۳۹۹؛ بصیری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Jahani et al., 2021). نتایج نشان می‌دهد که رفتار ریشه گیاه متاثر از محدودیت آب در خاک بوده و با افزایش تنش آبی به‌عنوان عامل محدودکننده، ریشه‌ها در سمتی که رطوبت بیشتری وجود دارد توسعه‌یافته‌اند و کاهش وزن خشک‌ریشه در تیمار آبیاری بخشی ریشه ثابت به دلیل خشک بودن یک سمت از گلدان و نبودن رطوبت (ریشه در سمتی که خشک است توسعه حداقلی داشته و حجم کمی دارد و پس از سازگاری گیاه با شرایط تنها از قسمت مرطوب آب و مواد غذایی خود را جذب می‌کند) نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری بخشی ریشه متغیر محتمل است از طرفی کاهش در تعداد برگ، سطح برگ، ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی نیز خود می‌تواند دلیلی بر کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی باشد. تنش آبی به دلیل محدودیت آب در دسترس ریشه گیاه و فعال نمودن فرایندهای مختلف در گیاه که با مصرف انرژی همراه است، اثرات منفی بر روی مورفولوژی گیاه گذاشته و سبب کاهش تعداد شاخه جانبی در شرایط تنش آبی شده که خود مکانیسم سازگاری برای مقابل با شرایط تنش در گیاه دارویی نعنا فلفلی در نظر گرفت، به‌طوری‌که این نتایج با نتایج پژوهش‌های ابراهیمی اسپورزی و همکاران (۱۴۰۰)، جمالی و همکاران (۱۳۹۹)، کوشکی و همکاران (۱۳۹۹)، پارسا و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت داشت، همچنین نتایج این پژوهش با نتایج گلدانی و همکاران، کشاورز میرزا محمدی و همکاران و جهانی و همکاران همسو بود (Goldani et al., 2021; Keshavarz Mirzamohammadi et al., 2021; Jahani et al., 2021). به نظر می‌رسد گیاه رشد یافته در شرایط آبیاری بخشی ریشه متغیر نسبت به سایر تیمارها با شرایط تنشی بیشتر سازگاری یافته و اثر منفی تنش خشکی نیز کاهش یافته است.

شکل ۳- اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر درصد ماده خشک گیاه دارویی نعناع فلفلی

اثر مدیریت‌های آبیاری بر خواص فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و میزان اسانس گیاه دارویی نعنا فلفلی

بر اساس نتایج جدول ۶، مدیریت‌های مختلف آبیاری بر صفات هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزینگی، پرولین، نشت الکترولیت، RWC و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر درصد اسانس در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷)، در صفت هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزینگی، نشت الکترولیت و RWC بیشترین مقدار با ۳۹/۳ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه، ۵۳/۷، ۴۸/۲۷ درصد و ۵۵/۳ درصد به ترتیب در تیمارهای کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، آبیاری بخشی ریشه ثابت، آبیاری بخشی ریشه ثابت و آبیاری بخشی ریشه ثابت مشاهده شد، همچنین کمترین مقدار از این صفات نیز در تیمار آبیاری کامل با ۳۱/۳ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه، ۴۱/۵، ۳۵/۷۲ درصد و ۴۱/۷ درصد مشاهده شد. اعمال تیمارهای مدیریتی کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، آبیاری بخشی ریشه ثابت و متغیر به ترتیب منجر به افزایش ۲۵/۶، ۱۷/۲ و ۱۳/۱ درصدی (هدایت روزنه‌ای)، ۷/۹، ۲۹/۴ و ۵/۰

درصدی (شاخص سبزینگی)، ۲۰/۸، ۳۵/۱ و ۲۰/۹ درصدی (نشت الکترولیت) و ۱۹/۲، ۳۲/۶ و ۷/۲ درصدی (RWC) نسبت به تیمار آبیاری کامل شد. بر اساس نتایج این جدول در صفات شاخص سبزینگی و نشت الکترولیت بین تیمارهای آبیاری بخشی متغیر و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد. بر اساس نتایج این جدول در صفت پرولین بیشترین و کمترین مقدار با ۲/۵ و ۱/۲۳ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب در تیمارهای آبیاری بخشی ریشه ثابت و آبیاری کامل مشاهده شد. اعمال تیمارهای مدیریتی کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، آبیاری بخشی ریشه ثابت و متغیر به ترتیب منجر به افزایش معنی‌دار به میزان ۵۴/۵، ۱۰۳/۳ و ۲۴/۴ درصدی در این صفت شد. در صفات درصد و عملکرد اسانس نیز بیشترین مقدار با ۱/۵۸ درصد و ۰/۱۷ گرم در تیمار آبیاری بخشی ریشه ثابت (لازم به ذکر است در این صفت در تیمار کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیز همین مقدار مشاهده شد) و آبیاری کامل مشاهده شد، همچنین نتایج بر اساس این جدول نشان داد که کمترین مقدار از این صفات نیز به ترتیب با ۱/۱۴ درصد و ۰/۱۳ گرم در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری بخشی ریشه متغیر مشاهده شد. در این صفات نیز اعمال تیمارهای مدیریتی کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، آبیاری بخشی ریشه ثابت و متغیر به ترتیب منجر به تغییر ۳۸/۶-، ۳۸/۶+ و ۱۸/۴ درصدی (درصد اسانس) و ۱۷/۶، ۱۷/۶- و ۲۳/۵- درصدی (عملکرد اسانس) شد، لازم به ذکر است که علائم – و + به ترتیب بیانگر افزایش و کاهش این صفات نسبت به آبیاری کامل می‌باشد. در صفت درصد اسانس بین تیمارهای کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد و آبیاری بخشی ثابت اختلاف معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد. در صفت عملکرد اسانس نیز بین تیمارهای کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، آبیاری بخشی ریشه ثابت و متغیر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در مقایسه میانگین‌ها مشاهده نشد.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و میزان اسانس گیاه دارویی نعناع فلفلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		هدایت روزنه‌ای	شاخص سبزینگی	پرولین	نشت الکترولیت	RWC	اسانس	
							درصد	عملکرد
مدیریت آبیاری	۳	**۳۲/۸	**۸۷/۷	**۰/۸۹	**۸۰	**۱۰۷/۷	*۰/۱۴	**۰/۰۰۱
خطا	۸	۰/۱۵	۰/۵	۰/۰۰۷	۰/۷	۱/۶	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۵
ضریب تغییرات		۴/۶	۱/۵	۴/۶	۲/۱	۲/۶	۶/۴	۴/۸

**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۷- اثرات مدیریت‌های مختلف آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و میزان اسانس گیاه دارویی نعناع فلفلی

ترکیبات تیماری	هدایت روزنه‌ای	شاخص سبزینگی	پرولین	نشت الکترولیت	RWC	اسانس	
						درصد	عملکرد
	$mmol\ m^{-2}s^{-1}$	-	$Mg\ l^{-1}$		%		gr
کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ($DI_{50\%}$)	**a۳۹/۳**	**b٤٤/۸**	**b۱/۹۰**	**b٤۳/۱۵**	**b٤۹/۷**	**a۱/۵۸**	**b۰/۱٤**
آبیاری بخشی ریشه ثابت (FPRD)	b۳۶/۷	a۵۳/۷	a۲/۵۰	a۴۸/۲۷	a۵۵/۳	a۱/۵۸	b۰/۱۴
آبیاری بخشی ریشه متغیر (APRD)	c۳۵/۴	b۴۳/۶	c۱/۵۳	b۴۳/۱۸	c۴۴/۷	b۱/۳۵	b۰/۱۳
آبیاری کامل (FI)	d۳۱/۳	c۴۱/۵	d۱/۲۳	c۳۵/۷۲	d۴۱/۷	c۱/۱۴	a۰/۱۷
LSD (0.05)	۰/۷۳	۱/۳	۰/۱۵	۱/۶۱	۲/۳۶	۰/۱۷	۰/۰۱

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

یکی از شاخص‌های تعیین سازگاری گیاهان و تحمل آن‌ها به تنش خشکی، پرولین است، به همین منظور در این پژوهش نیز برای بیان تحمل به شرایط تنشی گیاه این صفت اندازه‌گیری شده است. پس از قرارگیری گیاه در شرایط تنش آبی گیاه تحت تأثیر تنش، غلظت پرولین را افزایش داده تا جذب آب ادامه یابد. در بین اسمولیت های اصلی، پرولین احتمالاً فراوان ترین ماده سازگار است که در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابد (گرگینی شبانکاره و خراسانی‌نژاد، ۱۳۹۶). در شرایط تنش آبی اولین عکس‌العمل گیاه جهت سازگاری با تنش بسته شدن روزنه‌هاست و به‌تبع آن فعالیت فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد. بسته شدن روزنه‌ها دسترسی به دی‌اکسید کربن توسط گیاه را محدود ساخته و متعاقب آن در تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری که در این پژوهش انجام‌شده، هدایت روزنه‌ای

کاهش‌یافته تا آب و رطوبت کمتری توسط گیاه از دست رود و تعرق گیاه کم شود، در ابتدای دوره تنشی هدایت روزنه‌ای حداکثر بوده و با تداوم شرایط روزنه‌ها بسته‌شده تا آب بیشتری جهت زنده‌مانی گیاه ذخیره شود (ترابی گیگلو و همکاران، ۱۳۹۹). تنش خشکی، سطح برگ را کاهش می‌دهد که ناشی از کاهش اندازه سلول است؛ بنابراین، در طی بروز تنش به دلیل وجود سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ، میزان سبزینگی نیز افزایش می‌یابد (ابراهیمی اسپورزی و همکاران، ۱۴۰۰). میزان اسانس همواره متعاقب افزایش تنش، افزایش نمی‌یابد، به این دلیل که در شرایط تنشی شدید گیاه برای مقابله با پرولین بیشتر مواد فتوسنتزی و شیره پرورده تولیدی را صرف ساخت و تولید ترکیبات تنظیم‌کننده می‌کند (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۹)، در این پژوهش نتایج با شرایط ذکرشده مطابقت نداشت ولی با نتایج پارسا و همکاران (۱۳۹۸) همسو بود. در این پژوهش با افزایش تنش هرچند پرولین نیز افزایش یافت، مقدار درصد اسانس و عملکرد اسانس نیز افزایش یافت. در شرایط اعمال کم‌آبیاری تنظیم‌شده و بخشی ریشه ثابت (بیشترین میزان تنش آبی به گیاه وارد شد) با توجه به اینکه در کم‌آبیاری تنظیم‌شده پرولین کمتری تولید کرد، ولی درصد اسانسی برابر باربخشی ریشه ثابت داشت. دلیل اینکه در شرایط تنشی برخلاف نظر فتاحی و همکاران (۱۳۹۹)، درصد و عملکرد اسانس افزایش یافت می‌تواند شرایط خاص مدیریتی در اعمال تنش باشد و یا اینکه در این شرایط اندام‌های فوقانی گیاه کمتر تحت تأثیر تنش نسبت به شرایط موجود در پژوهش مذکور قرارگرفته‌اند و اندام هوایی بیشتری نیز تولید کرده‌اند. بر اساس نظر برخی محققین در شرایط تنش آبی، با بسته بودن روزنه‌ها، جذب CO_2 به‌شدت کاهش‌یافته و درنتیجه مصرف NADPH برای تثبیت کربن از طریق چرخه کالوین کاهش بافته و مازاد آن صرف فرایندهای متابولیک ثانویه و تولید بیشتر اسانس می‌شود (Jahani et al., 2021; Chrysargyris et al., 2021). تحت تنش خشکی، غشای سلولی پایداری خود را ازدست‌داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول برگ تراوش می‌کند؛ لذا پایداری غشا به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها ارزیابی می‌شود. به نظر می‌رسد که پایداری غشای سلولی در تنش‌ها با سنتز پروتئین و ویژگی‌های سیستم فتوسنتزی مرتبط باشد (پارسا و همکاران، ۱۳۹۹؛ گرگینی شبانکاره و خراسانی‌نژاد، ۱۳۹۶).

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری که شامل آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ($DI_{50\%}$)، آبیاری بخشی ریشه ثابت (FPRD) و آبیاری بخشی ریشه متناوب (APRD) روی گیاه نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) پرداخته شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار صفت تعداد برگ، ارتفاع، وزن خشک بوته و ریشه در تیمار FI و کمترین برای تعداد برگ و وزن خشک بوته در تیمار FPRD و برای وزن خشک ریشه و ارتفاع در تیمار $DI_{50\%}$ مشاهده شده است. بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای در تیمار $DI_{50\%}$ و کمترین در تیمار FI به دست آمد. همچنین بیشترین مقدار شاخص سبزینگی، پرولین، نشت الکترولیت، RWC و درصد اسانس در تیمار FPRD مشاهده شد ولی کمترین مقدار شاخص سبزینگی، نشت الکترولیت و درصد اسانس در تیمار FI و برای پرولین و RWC در تیمار APRD به دست آمد. نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که با افزایش تنش هرچند پرولین نیز افزایش یافت، مقدار درصد اسانس و عملکرد اسانس نیز افزایش یافت. ازآنجایی‌که در شرایط آبیاری بخشی ریشه ثابت (FPRD) مقدار پرولین بیشتری نسبت به تیمار کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($DI_{50\%}$) تولیدشده بود ولی درصد اسانس (۱/۵۸ درصد) در دو تیمار برابر بود. همچنین بیشترین عملکرد اسانس در تیمار آبیاری کامل (FI) به دست آمد و در سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طورکلی، با عنایت به بحران آبی موجود در کشور و قبول کاهش عملکرد در مواد مؤثره گیاه، تیمار APRD جهت آبیاری این گیاه در شرایط گلخانه‌ای توصیه می‌گردد، همچنین در راستای این پژوهش پیشنهاد می‌شود که تیمارهای مذکور در شرایط مزرعه‌ای نیز موردبررسی قرار گیرد.

منابع

ابراهیمی اسبورزی، ح.، مدرس ثانوی، س. و باغبانی آرانی، ا. ۱۴۰۰. بررسی صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کاربرد انواع کود نیتروژن. تنش های محیطی در علوم زراعی. ۱۴(۲): ۴۲۵-۴۳۷.

امیری، م. ج.، عابدی کوپایی، ج. و سید سعید اسلامیان، س. س. ۱۳۹۰. ارزیابی استفاده از تشت‌های تبخیر در محیط گلخانه. روابط خاک و گیاه. ۲(۵): ۶۳-۷۳.

بصیری، م.، قمرنیا، ه. و قبادی، م. ۱۳۹۹. اثر شدت‌های مختلف کم‌آبی و شوری بررشد برگ، ساقه و ریشه گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). مدیریت آب و آبیاری. ۱۰(۱): ۱-۱۴

پارسا، م.، کمائی، ر. و یوسفی، ب. ۱۳۹۸. تأثیر کودهای زیستی، عناصر ریزمغذی و کودهای شیمیایی بر عملکرد و عناصر موجود در گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش خشکی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۵(۵): ۸۶۰-۸۷۵.

پارسا، م.، یوسفی، ب. و کمائی، ر. ۱۳۹۹. اثر کاربرد ترکیبات کودی-زیستی و شیمیایی بر شاخص های مورفولوژیک و فیزیولوژیک

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. روابط خاک و گیاه. ۱۱(۲): ۶۱-۷۵.

ترابی گیگلو، م.، حیدرنژاد، ر.، اسماعیل پور، ب. و آذرمی، ر. ۱۳۹۹. اثر غلظت‌های مختلف محرک رشدی کیتوپلاس بر خصوصیات موفولوژیکی و اسانس در گیاه نعناع فلفلی تحت تنش کم آبیاری. دانش کشاورزی وتولید پایدار. ۳۰(۳): ۱۶۹-۱۸۴.

حاج میرزایی، م.، انصاری، ح.، هاشمی نیا، م. و عزیزی، م. ۱۳۹۸. بررسی اثرات متقابل کود آلی و سطوح آبیاری بر برخی شاخص های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۶): ۱۷۹۴-۱۸۰۵.

حکم آبادی، ک.، نوریان بیگدلی، س.، نریمانی، ر. و مقدم، م. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر تفاله چغندر بر خصوصیات بیوشیمیایی، رنگیزه های فتوسنتزی و فعالیت آنتی اکسیدانتی عصاره برگ نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه روابط خاک و گیاه. ۸ (۲۹): ۱۳۵-۱۴۴.

خیری، ع.، توری، ه. و مرتضوی، ن. ۱۳۹۶. تاثیر تنش خشکی و جاسمونیک اسید روی صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۳ (۲): ۲۶۸-۲۸۰.

جمالی، ص.، انصاری، ح. و صفری‌زاده ثانی، ع. ۱۳۹۹. تاثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴ (۳): ۴۳۳-۴۴۷.

رحیمی، ی.، طالعی، ع. و رنجبر، م. ۱۳۹۶. بررسی سطح بیان ژن های lim،mdeh و تغییرات مورفو- فیزیولوژیکی (*Mentha piperita* L.). در واکنش به تنش خشکی. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۸ (۲): ۵۰۷-۵۱۶.

شهریاری، س. ۱۳۹۰. بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و خاکپوش بر خصوصیات رویشی، میزان، عملکرد و اجزاء اسانس نعناء فلفلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.

علیزاده، ا. ۱۳۹۰. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۷۶ صفحه.

فتاحی سیاه کمری، س.، آزاد قوجه بیگلو، ح.، صالحی ساردویی، ع.، فلاح ایمانی، ا. و بابایی، خ. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات رشدی، رنگیزه های فتوسنتزی و عملکرد اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران. ۱۵ (۲): ۳۹-۵۱.

کوشکی، ا.، عالی نژادیان، ا. و ملکی، ع. ۱۳۹۹. اثر بیوچار سبوس برنج و کم‌آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی و کارایی مصرف آب گیاه نعناع فلفلی. نخستین همایش ملی کم‌آبیاری و استفاده از آب های نامتعارف در کشاورزی مناطق خشک. بهمن ماه. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران.

گرگینی شبانکاره، ح. و خراسانی نژاد، س. ۱۳۹۶. اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاهدارویی نعناع‌فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت رژیم‌های کم‌آبی. تولید گیاهان زراعی. ۱۰(۴): ۵۹-۷۴.

نوبخت، پ.، عبادی، ع.، پرمون، ق. و نیکخواه بهرامی، ر. ۱۳۹۷. تاثیر هیدروژن پراکسید بر رنگدانه های فتوسنتزی نعناع فلفلی در شرایط محدودیت آبی. فصلنامه فرآیند و کارکرد گیاهی. ۷(۵): ۱۹-۳۰.

وفایی رستمی، ص.، عباسی، ر.، پیردشتی، ه. و قاجار سپانلو، م. ۱۳۹۸. تاثیر قارچ های Piriformospora indica و Trichoderma harzianum بر صفات مورفولوژیک و عملکرد اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در سطوح مختلف فسفر و آبیاری. فصلنامه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۹ (۴): ۳۷-۵۰.

Akbarzadeh, A. and Shahnazari, A. 2021. The Effect of Deficit Irrigation Strategies on the Efficiency from Plant to Essential Oil Production in Peppermint (*Mentha piperita* L.). Frontiers in Water. 66: 1-10.

Barrs, H. D. and Weatherley, P. E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Australian journal of biological sciences, 15(3): 413-428.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil. 39(1): 205-207.

Chrysargyris, A., Koutsoumpeli, E., Xylia, P., Fytrou, A., Konstantopoulou, M. and Tzortzakis, N. (2021). Organic Cultivation and Deficit Irrigation Practices to Improve Chemical and Biological Activity of Mentha spicata Plants. Agronomy. 11(3): 1-19.

Goldani, M., Bannayan, M. and Yaghoubi, F. 2021. Crop water productivity and yield response of two greenhouse basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars to deficit irrigation. Water Supply. 21.7: 3735-3751.

Keshavarz Mirzamohammadi, H., Modarres-Sanavy, S. A. M., Sefidkon, F., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Mirjalili, M. H. 2021. Irrigation and fertilizer treatments affecting rosmarinic acid accumulation, total phenolic content, antioxidant potential and correlation between them in peppermint (*Mentha piperita* L.). Irrigation Science. 39: 671-683.

Jahani, F., Tohidi-Moghadam, H. R., Larijani, H. R., Ghooshchi, F. and Oveysi, M. 2021. Influence of zinc and salicylic acid foliar application on total chlorophyll, phenolic components, yield and essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress condition. Arabian Journal of Geosciences. 14(8): 1-12.

Marcum, K.B. 1998. Cell membrane thermostability and whole-plant heat tolerance of Kentucky bluegrass. Crop Science. 38(5): 1214-1218.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 16, Oct.-Nov. 2022, p. 852-862

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۶، مهر - آبان ۱۴۰۱، ص. ۸۶۲-۸۵۲

Evaluation of Changes in Morpho-physiological Properties and Essential Oil of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under Different Irrigation Managements

S. Jamali[1], H. Ansari[2]*, M. Naderianfar[3], A. Safarizadeh Sani[4]
Recived: May.11, 2022 Accepted: Jul.05, 2022

Abstract

The current limitations in water resources necessitate the adoption of strategies to increase water use efficiency (WUE) and improve the active ingredients of medicinal plants, which requires increasing WUE to produce more crops per unit of consumed water. A method to increase WUE is to apply deficit irrigation (DI) management based on the identification of stress consequences. The effect of different DI methods on the growth and physiological properties of peppermint was investigated in a completely randomized experimental design based on potted planting with three replications in the research greenhouse of Ferdowsi University in 2017-2018. DI treatments were Full Irrigation (FI), DI 50%, Fixed Partial Rootzone Drying (FPRD), and Alternate Partial Rootzone Drying (APRD). The results indicated that the highest (173) and the lowest (140) numbers of leaves belonged to FI and (DI 50%) treatments, respectively. DI 50% and FI treatments presented the highest (39.3 mmol/m^2/s) and the lowest (31.3 mmol/m^2/s) values of stomatal conductance. The highest values of greenness index (GI, 53.7), electrolyte leakage (48.27%), relative water content (RWC, 55.3%), essential oil (1.58%), and proline content (2.50 mg/l) were obtained in the FPRD treatment. The lowest corresponding values of GI (41.5), electrolyte leakage (35.72%), essential oil (1.14%), and proline content (1.23 mg/l) were recorded in the FI treatment. Essential oil yield was uppermost in the FI treatment and no significant difference was detected in the other treatments. Altogether, given the water crisis in Iran and the reduced yield of the active ingredients of the plant, the APRD treatment is recommended for the irrigation of this plant in greenhouse conditions.

Keywords: Deficit Irrigation, Essential Oil Yield, Proline, Root Partial Irrigation, SPAD Index

1-PhD Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran
4- PhD Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Ansary@um.ac.ir)