بررسی اثر سطوح آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه دارویی نعنا فلفلی تحت تنش شوری

صابر جمالی، حسین بانژاد*، عباس صفری‌زاده ثانی و بهناز هادی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۶)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش‌های آبی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۹۸-۱۳۹۷ با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش ۴ سطح آبیاری (۱۰۰ (I_1)، ۸۵ (I_2)، ۷۰ (I_3) و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (I_4)) و ۴ سطح شوری (۰/۹ (EC_1)، ۱/۹ (EC_2)، ۲/۵ (EC_3) و ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر (EC_4)) بود. نتایج نشان داد که کاهش آب به‌میزان ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصدی ظرفیت زراعی منجر به کاهش در صفات وزن تر اندام هوایی (به‌ترتیب ۱۵/۸، ۲۸/۴ و ۳۰/۱ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (به‌ترتیب ۷/۱، ۱۱/۵ و ۱۱/۵ درصد) و وزن خشک ریشه (به‌ترتیب ۴/۶، ۹/۲ و ۹/۲ درصد) شد. همچنین، نتایج نشان داد که استفاده از شوری EC_2، EC_3 و EC_4 به‌ترتیب منجر به کاهش ۱۲/۷، ۲۸/۵ و ۳۴/۰ درصد (وزن تر اندام هوایی)؛ ۳/۶، ۱۱/۶ و ۱۱/۶ درصد (وزن خشک اندام هوایی) و ۶/۷، ۱۲/۴ و ۱۴/۶ درصد (وزن خشک ریشه) گردید. نتایج نشان داد که اثر توأمان شوری و خشکی منجر به کاهش بهره‌وری فیزیکی آب شده است، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان این صفت در گیاه نعنا فلفلی با ۳/۵۴ و ۲/۰۶ کیلوگرم در متر مکعب در تیمارهای EC_1I_4 و EC_3I_1 مشاهده شد. بر اساس نتایج این پژوهش، جهت حصول عملکرد خشک و بهره‌وری فیزیکی حداکثری آب، استفاده از تیمار EC_1I_4 توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب شور، بهره‌وری فیزیکی آب، تابع تولید، تنش آبی، کم‌آبیاری

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: banejad@um.ac.ir

مقدمه

کمبود منابع آب شیرین و افزایش روزافزون جمعیت، افزایش تقاضای آب و مواد غذایی را به همراه دارد و همچنین در سال‌های اخیر خشکسالی‌ها نیز مزید بر علت شده تا یافتن راهکاری برای بهبود کارایی مصرف آب در کشاورزی بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گیرد. امروزه یکی از مهم‌ترین روش‌ها در بهبود کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی، شناسایی و کشت گیاهان سازگار با تنش‌های محیطی (نظیر شوری و آبی) و استفاده از روش‌هایی برای بهبود در بهره‌وری مصرف آب است، به‌طوری‌که امنیت غذایی و امنیت آبی در کشور نیز به همراه داشته باشد. آب مهم‌ترین نهاده‌ی کشاورزی است که کمبود آن مهم‌ترین عامل محدودیت در توسعه کشاورزی است. با توجه به محدودیت منابع آب و افزایش بی‌رویه برداشت آب از منابع آب زیرزمینی میزان شوری این منابع روند رو به رشدی را در پیش گرفته است. کاهش منابع آب از یک سو و افزایش شوری منابع از سوی دیگر اهمیت استفاده بهینه و مفید از منابع آب را جهت داشتن کشاورزی پایدار دوچندان کرده است. کم‌آبیاری از راهکارهای مناسب جهت بهینه‌سازی مصرف منابع آب است که هدف اصلی آن افزایش بهره‌روی است. مهم‌ترین مسئله در مناطق خشک و نیمه‌خشک شوری آب آبیاری می‌باشد (۳ و ۲۶). با توجه به وقوع خشکسالی‌های دهه‌ی اخیر در کشور و افزایش تقاضای آب و مواد غذایی و محدودیتی که در منابع آب شیرین وجود دارد، اعمال روش‌هایی برای به حداکثر رساندن بهره‌وری فیزیکی آب بیش از پیش ضروری است. از طرفی با توجه به کمبود منابع آب با کیفیت در کشور ایران، استفاده از آب‌های شور و با کیفیت پایین جهت تولید محصولات کشاورزی برای ایجاد امنیت غذایی ضروری به نظر می‌رسد.

در پژوهشی بر روی گیاه نعنا فلفلی نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری منجر به کاهش سطح برگ و وزن تر و خشک بوته شد (۲۵). خیری و همکاران (۱۵) در پژوهشی به بررسی تأثیر تنش خشکی روی صفات مورفولوژیکی گیاه نعنا فلفلی پرداخته و نتایج پژوهش ایشان نشان داد که اعمال کم‌آبیاری منجر به کاهش صفات گیاه از قبیل: ارتفاع گیاه، وزن تر، وزن خشک و محتوای نسبی آب برگ شد. در پژوهش‌های مختلفی تأثیر کم‌آبیاری و تنش شوری بر گیاه نعنا فلفلی گزارش شده است. در پژوهش بصیری و همکاران (۷) بر روی گیاه نعنا فلفلی نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری منجر به کاهش وزن تر برگ، وزن خشک برگ، وزن تر شاخه، وزن خشک شاخه، سطح برگ و ارتفاع شد؛ همچنین اعمال شوری نیز سبب کاهش صفات فوق شد. اعمال کم‌آبیاری و شوری اندام‌های زیرزمینی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داد به‌طوری که باعث کاهش وزن خشک ریشه، حجم ریشه، طول ریشه، سطح ریشه و چگالی ریشه شد. عبدی و همکاران (۱) در پژوهشی بر روی گیاه دارویی نعنا فلفلی نشان دادند که اعمال تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار و در سطح ۵ درصد صفات ارتفاع، وزن تر و خشک برگ شد.

در پژوهش عزیز و همکاران (۶) بر روی سه رقم نعنا فلفلی، نتایج نشان داد که اعمال تنش شوری منجر به کاهش ارتفاع، وزن تر و خشک گیاه در هر سه رقم شد. در پژوهشی دیگر که با هدف بررسی تأثیر تنش شوری بر روی پارامترهای رشد گیاه نعنا فلفلی انجام شد تیمارها شامل چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مول سدیم کلرید بر لیتر) بود. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک شاخه و وزن تر ریشه شد (۲۳). قربانی و همکاران (۹) در پژوهشی که به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری بر صفات مورفولوژیک گیاه نعنا فلفلی انجام دادند، تیمارها شامل چهار سطح شوری (صفر (شاهد)، ۲، ۴ و ۶ دسی زیمنس بر متر) بود. نتایج نشان داد که اعمال تنش شوری منجر به کاهش وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ گیاه شد؛ همچنین قابل ذکر است که با افزایش میزان شوری صفات مذکور با شدت بیشتری نسبت به تیمار شاهد، کاهش یافته است. در پژوهش دیگری که به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری روی گیاه نعنا فلفلی انجام شد تیمارها شامل سه سطح

شوری (صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مول بر لیتر) بود. نتایج نشان داد که اعمال تنش شوری منجر به کاهش طول ساقه، طول ریشه، وزن تازه شاخه، وزن تازه ریشه، وزن خشک شاخه و وزن خشک ریشه شد (۲۲).

از آنجایی‌که گیاه دارویی نعنا فلفلی (*Mentha piperita L.*) در مصارف داروسازی و صنایع غذایی مورد استفاده قرا می‌گیرد، با توجه به اهمیت این گیاه، این پژوهش بر روی این گیاه متمرکز شده است و هدف کلی از انجام این پژوهش امکان‌سنجی استفاده از آب‌های شور و لب‌شور در آبیاری و همچنین اعمال توأم تنش آبی بر روی این گیاه بوده است. از سایر اهداف این پژوهش می‌توان به تعیین تابع تولید آب مصرفی- شوری- عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی، تعیین روند تغییرات عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط توأم تنش شوری و آبی اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت اجرای طرح و مرحله کاشت

پژوهش حاضر در سال ۹۸-۱۳۹۷ بر پایه کشت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با متوسط دمای محیط ۲۴ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب و متوسط رطوبت نسبی ۷۵ درصد در طول فصل رشد (شکل ۱) و 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 به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های اختلاطی آب شور و چاه بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی تحت سطوح مختلف آبیاری در ۳ تکرار انجام شد. گلخانه‌ی شیشه‌ای مذکور دارای سیستم سرمایشی به صورت پوشال پنکه (به‌صورت اتوماتیک) و سیستم گرمایشی آب گرم بود. درضمن، در گلخانه مذکور سایه‌بان‌ها و پنجره‌های سقفی اتوماتیک تعبیه شده بود که در شرایط گرمایی و سرمایی غیر قابل کنترل از آن‌ها استفاده شود. در طول دوره رشدی گیاه برای تأمین نور مورد نیازاز لامپ‌های هالوژنی استفاده شده تا به‌میزان ۸۰۰۰ الی ۱۲۰۰۰ لوکس نور در اختیار گیاه قرار گردید. ریزوم‌های ۱۰ سانتی‌متری نعنا فلفلی که از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شده بود، در تاریخ ۲۰ بهمن در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر که از قبل با خاک مرکب (۱:۲:۴ نسبت خاک، ماسه و کود گاوی پوسیده) پر شده بود، کشت شد. لازم به ذکر است که ابتدا در کف گلدان‌ها به‌صورت یکسان لایه‌ای (با ضخامتی ۲ سانتی‌متری) از سنگ‌ریزه به‌عنوان فیلتر جهت بهبود زهکشی و تهویه قرار داده شد و ۵ سانتی‌متر بالایی گلدان‌ها به‌منظور اعمال آبیاری خالی در نظر گرفته شد و بقیه حجم خالی گلدان‌ها از خاک پر شدند. تراکم کاشت در هر گلدان دو ریزوم ۱۰ سانتی‌متری بود. تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها در گلدان به تمامی گلدان‌ها به میزان ظرفیت زراعی، آب داده شد.

تیمارهای مورد بررسی و مرحله داشت

آزمایش مذکور به‌صورت فاکتوریل دو عاملی با فاکتورهای کم‌آبیاری که شامل ۴ سطح (آبیاری به میزان ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب با I_1 تا I_4 نشان داده شده است) و استفاده از آب شور حاصل از انحلال نمک دریا شامل ۴ سطح (آب چاه (۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر EC_1)، و آب شور با شوری ۱/۹ (EC_2)، ۲/۵ (EC_3) و ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر (EC_4)) و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد (جدول ۱ و شکل ۲). برای تهیه آب شور از انحلال نمک دریا در آب چاه استفاده شده وبرای تهیه‌ی شوری‌های مورد بررسی به‌میزان لازم نمک دریا در آب شرب حل و میزان هدایت الکتریکی با EC متر کنترل تا آب مورد نیاز با شوری معین تهیه شود.

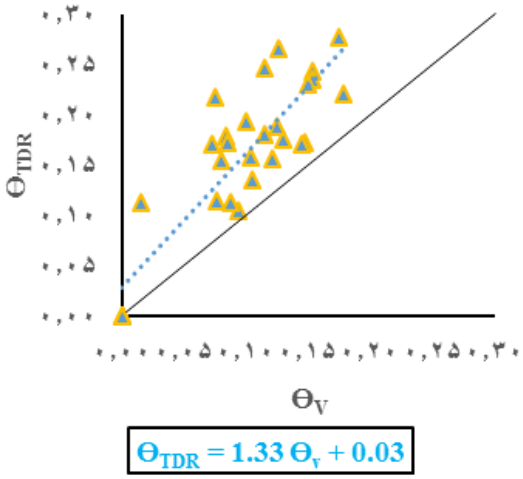
در این پژوهش زمان آبیاری و میزان آب آبیاری متغییر بود. در این پژوهش زمان آبیاری با استفاده از دستگاه TDR مدل PM-714 که ساخت شرکت Lutron تایوان و دارای یک سنسور است، تعیین شده و میزان آبیاری نیز با روش وزنی تعیین شد. دستگاه TDR مورد استفاده برای خاک مذکور کالیبره گردید (شکل ۳). زمان آبیاری بر اساس رسیدن حد رطوبتی موجود در خاک به میزان MAD بود،

شکل ۱- تغییرات دما و رطوبت نسبی محل مورد مطالعه

شکل ۲- نمونه‌ای از گیاهان تیمار شده در شرایط گلخانه‌ای

جدول ۱. علائم اختصاری تیمارهای مورد بررسی

	تیمارهای مورد بررسی	علائم اختصاری
کیفیت آب آبیاری	آب چاه با هدایت الکتریکی ۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر	EC_1
	آب شور حاصل از انحلال نمک دریایی با هدایت الکتریکی ۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر	EC_2
	آب شور حاصل از انحلال نمک دریایی با هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر	EC_3
	آب شور حاصل از انحلال نمک دریایی با هدایت الکتریکی ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر	EC_4
کمّیت آب آبیاری	آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	I_1
	آبیاری به میزان ۸۵ درصد ظرفیت زراعی	I_2
	آبیاری به میزان ۷۰ درصد ظرفیت زراعی	I_3
	آبیاری به میزان ۵۵ درصد ظرفیت زراعی	I_4



شکل ۳. منحنی واسنجی رطوبت محاسبه شده با TDR در مقابل روش حجمی در خاک لوم‌رسی

به‌طوری‌که حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی برای گیاه نعنا فلفلی در این مطالعه ۰/۵ در نظر گرفته شد (۲۰) و در این حد رطوبتی، رطوبت حجمی خاک به میزان ۳۰/۲ درصد بود. تغییرات رطوبت خاک در زمان آبیاری در شکل ۴ ارائه شده است. در جدول ۲ و ۳ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ترکیبات شیمیایی آب ارائه شده است. برای مقابله با آفت شته و مگس سفید ۳ مرحله سم‌پاشی با سموم دورسبان و کنفیدور به‌صورت دوره‌ای و با غلظت یک در هزار حجمی انجام شد. در این مرحله برای مقابله با علف‌های هرز طی یک مرحله و به‌صورت مکانیکی علف‌های هرز برداشت شد، همچنین در این پژوهش طی ۲ مرحله کوددهی با کود NPK با نسبت‌های ۲۰:۲۰:۲۰ انجام شد.

مرحله برداشت و تجزیه و تحلیل آماری

شروع گلدهی گیاهان در تاریخ ۵ خرداد ۱۳۹۸ بوده و با شروع این مرحله گیاهان برداشت شدند. پس از برداشت گیاهان صفات مورفولوژیکی مورد بررسی قرار گرفتند. از جمله صفات اندازه‌گیری شده در این مطالعه می‌توان به سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک ریشه، حجم و چگالی ریشه اشاره کرد. در این پژوهش به‌منظور بررسی محاسبه چگالی ریشه و بهره‌وری فیزیکی آب از روابط ۱ و ۲ استفاده شد.

$$\text{چگالی ریشه} = \frac{\text{وزن خشک ریشه}}{\text{حجم ریشه}} \quad (۱)$$

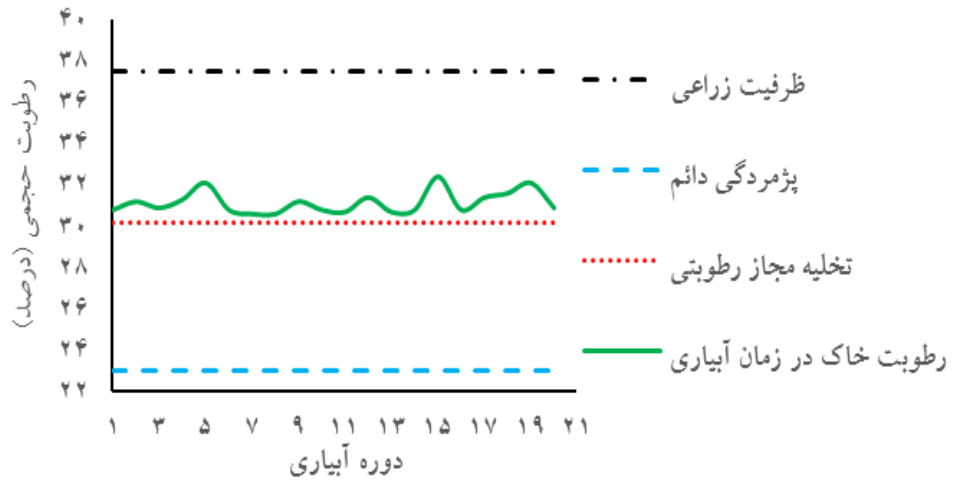
$$\text{بهره‌وری فیزیکی آب} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{آب مصرفی}} \quad (۲)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 EC \quad (۳)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 EC + a_4 EC^2 + a_5 I \times EC \quad (۴)$$

$$Y = a_0 I^{a_1} EC^{a_2} \quad (۵)$$

ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش و وزن تر و خشک با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. جهت خشک کردن بوته و ریشه نعنا فلفلی هر یک از تیمارها را در پاکت‌های شماره‌گذاری شده قرار داده و ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از تعیین عملکرد خشک اندام هوایی برای تعیین تابع تولید از توابع تولید خطی، درجه دوم و لگاریتمی (روابط ۳ تا ۵) استفاده شد، که در آن Y بیانگر عملکرد در واحد سطح (gm^{-2})، I میزان آب مصرفی (میلی‌متر) و EC شوری آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر) می‌باشد.



شکل ۴. تغییرات رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری در طول فصل رشد نعنا فلفلی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	شن	سیلت	رس	FC	PWP	O.C	O.M	N	P	K	چگالی ظاهری	EC	pH
	درصد									ppm	$g\ cm^{-3}$	dSm^{-1}	
لوم‌رسی	۲۵	۳۷	۳۸	۳۷/۵	۲۳/۰	۰/۷	۲/۵	۰/۰۶۱	۲۸/۹	۱۸۲	۱/۳۵	۱/۴	۷/۸۵

جدول ۳. ترکیبات شیمیایی آب چاه و شور مورد استفاده

کیفیت آب	ترکیبات شیمیایی										
	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO_4	HCO_3	EC	pH	SAR
	Meq L^{-1}							dSm^{-1}		
آب چاه	۳/۴	۰/۶	۳/۱	۲/۱	۱/۴	۰/۷	۷/۱	۰/۹	۸/۱	۲/۱۱
آب شور	۱۹/۴	۱/۲	۷/۴	۶/۶	۱۶/۱	۱۲/۹	۵/۶	۳/۴	۷/۸	۱۷/۰۲

برای ارزیابی توابع مذکور و تعیین تابع تولید بهینه از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (Root Mean Square Error)، ضریب تعیین R^2، خطای ماکزیمم ME (Maximum Error)، ضریب جرم باقی‌مانده CRM (Coefficient of Residual Mass) و کارایی مدل‌سازی EF (Modeling Effi) استفاده شد (روابط ۶ تا ۱۰) (۲۱)، که در آن $\widehat{Y_i}$ مقادیر عملکرد محاسبه شده، $\bar{Y}$ عملکرد متوسط، $\bar{I}$ متوسط آب مصرفی و n تعداد مشاهده‌ها است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum\left(\widehat{Y_i} - Y_i\right)}{n}} \qquad (۶)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum\left(I-\bar{I}\right)\left(Y-\bar{Y}\right)\right)^2}{\sum\left(I-\bar{I}\right)^2 \sum\left(Y-\bar{Y}\right)^2} \qquad (۷)$$

$$ME = MAX\left|Y_i - \widehat{Y_i}\right| \quad (۸)$$

$$CRM = \frac{\sum Y_i - \sum \widehat{Y_i}}{\sum Y_i} \quad (۹)$$

$$EF = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum \left(\widehat{Y_i} - Y_i\right)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (۱۰)$$

در انتها نتایج با نرم‌افزار SAS 9.4 و Minitab مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD درسطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودار و جدول‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول ۴، شوری آب آبیاری بر سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع، تعداد شاخه جانبی و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک و چگالی ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد؛ همچنین بر اساس نتایج این جدول سطوح مختلف آبیاری نیز بر تمامی صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس‌ها اثر متقابل سطوح آبیاری و شوری بر ارتفاع، تعداد شاخه جانبی و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

با توجه به نتایج جدول ۵، بیشترین میزان از صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه در تیمار آبیاری به میزان ظرفیت زراعی (I_1) و با ۲۹/۲، ۱۱/۳ و ۸/۶۸ گرم مشاهده شد، همچنین کمترین میزان این صفات نیز در تیمار آبیاری به میزان ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (I_4) با ۲۰/۴، ۱۰/۰ و ۷/۹ گرم مشاهده شد. لازم به ذکر است که در هر سه صفت بین تیمارهای آبیاری به میزان ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (I_3 و I_4)، اختلاف آماری معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال۵ درصد مشاهده نشد. نتایج گویای کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط اعمال تنش آبی است، به‌طوری‌که اعمال تنش آبی به میزان ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش در صفات وزن تر اندام هوایی(به‌ترتیب ۱۵/۸، ۲۸/۴ و ۳۰/۱ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (به‌ترتیب ۷/۱، ۱۱/۵ و ۱۱/۵ درصد) و وزن خشک ریشه (به‌ترتیب ۴/۶، ۹/۲ و ۹/۲ درصد) شد. سطح برگ نیز در تیمار I_1 و I_4 با ۳۹۲/۲ و ۲۷۴/۸ سانتی‌متر مربع دارای بیشترین و کمترین مقدار بود و در مقایسه میانگین‌ها بین تیمارهای I_3 و I_4 در این صفت در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

لازم به ذکر است که اعمال تیمارهای I_2، I_3 و I_4 در مقایسه با تیمار شاهد (I_1) از سطح فتوسنتزکننده به میزان ۱۳/۶، ۲۵/۶ و ۲۹/۹ درصد کاسته است. مطالعات متعددی در مورد تأثیر تنش خشکی بر رشد و نمو گیاهان دارویی انجام شده است. بیشتر آزمایش های انجام شده حاکی از تأثیر منفی تنش کم آبی بر رشد و نمو گیاهان دارویی است. اعتقاد برخی از پژوهشگران بر این است که در شرایط اعمال تنش آبی رشد و توسعه سلول‌های برگ کاهش یافته که دلیل آن کاهش در آماس سلولی‌ذکر شده است، از طرفی کاهش توسعه برگ، کاهش در سطح برگ را به همراه دارد. در شرایط اعمال تنش خشکی، کاهش آماس سلولی، کاهش در تقسیم میتوز، محدود شدن رشد و طویل شدن سلول‌ها و کاهش پتانسیل آب اتفاق افتاده و در ادامه آن از تعداد شاخه جانبی و انشعابات گیاه نیز کاسته می‌شود، به‌طوری که این کاهش منجر به کاهش در سطح برگ می‌شود.

برخی از پژوهشگران نیز بر این عقیده‌اند که اولین مکانیسم گیاه پس از مواجهه با شرایط تنشی، کاهش سطح برگ است تا از میزان تعرق گیاه کاسته شده و گیاه آب کمتری از دست بدهد (۱۴ و ۱۸). با کاهش رشد سلول‌ها، اندازه و توسعه اندام هوایی و ریشه محدود شده و به تبع آن کاهش جذب نور نیز اتفاق می‌افتد. در پی کاهش جذب نور، از ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه نیز کاسته می‌شود و فرآورده های فتوسنتزی کمتری در این شرایط تولید شده و

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات رشد، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه نعنا فلفلی در شرایط اعمال تنش آبی و شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		سطح برگ	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	چگالی ریشه	تعداد شاخه جانبی	بهره‌وری مصرف آب
شوری	۳	۲۳۷۱۰/۴ **	۱۹۹/۹ **	۴/۶ **	۱۱۳/۴ **	۰/۹۸ *	۶۲/۱ ns	۰/۰۳ *	۲۴/۷ **	۱/۵ **
کم‌آبیاری	۳	۳۳۳۲۳/۳ **	۲۶۹/۳ **	۴/۷ **	۱۰۷/۰ **	۴/۱ **	۲۵۱/۷ **	۰/۱۳ **	۱۲/۹ **	۱/۱ **
شوری × کم‌آبیاری	۹	۵۰۴/۶ ns	۳/۹ ns	۰/۱ ns	۱۲/۹ *	۰/۰۶ ns	۳/۴ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۹*	۰/۱۵ *
خطا	۳۲	۱۴۱۳/۲	۰/۷	۰/۲۵	۴/۸	۰/۱۳	۸/۴	۰/۰۰۶	۰/۴	۰/۱۱
ضریب تغییرات		۱۱/۶	۱۱/۴	۴/۷	۹/۴	۴/۵	۱۶/۵	۱۴/۹	۱۳/۳	۱۳/۹

*، ** و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح یک درصد، معنی‌داری در سطح ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

جدول ۵. اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و شوری بر خواص رشدی و عملکردی گیاه دارویی نعنا فلفلی

ترکیبات تیماری	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	سطح برگ	حجم ریشه	چگالی ریشه
	g/pot			cm^2	cm^3	gcm^{-3}
I_1	۲۹/۲ a	۱۱/۳ a	۸/۷ a	۳۹۲/۲ a	۲۳/۴a	۰/۱۳۳ b
I_2	۲۴/۶ b (-۱۵/۸)	۱۱/۵ b (-۷/۱)	۸/۳ b (-4.6)	۳۳۸/۸ b (-۱۳/۶)	۱۸/۸ b (-۱۹/۷)	۰/۱۴۰ a (+۵/۳)
I_3	۲۰/۹ c (-۲۸/۴)	۱۰/۰ c (-۱۱/۵)	۷/۹ c (-9.2)	۲۹۱/۷ c (-۲۵/۶)	۱۴/۶ c (-۳۷/۶)	۰/۱۴۲ a (+۶/۸)
I_4	۲۰/۴ c (-۳۰/۱)	۱۰/۰ c (-۱۱/۵)	۷/۹ c (-9.2)	۲۷۴/۸ c (-۲۹/۹)	۱۳/۵ c (-۴۲/۳)	۰/۱۴۴ a (+۸/۳
LSD (۰/۰۵)	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۳۱/۳	۲/۴	۰/۰۰۵
EC_1	۲۹/۱ a	۱۱/۲ a	۸/۹ a	۳۸۳/۸ a	۲۰/۷ a	۰/۱۳۹ a
EC_2	۲۵/۴ b (-۱۲/۷)	۱۰/۸ b (-۳/۶)	۸/۳ b (-۶/۷)	۳۳۲/۹ b (-۱۳/۳)	۱۷/۶ b (-۱۵/۰)	۰/۱۴۰ a (+۰/۷)
EC_3	۲۰/۸ c (-۲۸/۵)	۹/۹ c (-۱۱/۶)	۷/۸ c (-۱۲/۴)	۲۹۲/۰ c (-۲۳/۹)	۱۶/۲ b (-۲۱/۷)	۰/۱۴۱ a (+۱/۴)
EC_4	۱۹/۲ d (-۳۴/۰)	۹/۹ c (-۱۱/۶)	۷/۶ c (-۱۴/۶)	۲۸۸/۸ c (-۲۴/۸)	۱۵/۶ b (-۲۴/۶)	۰/۱۴۳ a (+۲/۹)
LSD (۰/۰۵)	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۳۱/۳	۲/۴	۰/۰۰۵

حروف مشترک در هر یک از ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد است.

اعداد درون پرانتز بیانگر تغییرات هر صفت نسبت به تیمار شاهد است (+، – و صفر به‌ترتیب بیانگر افزایش، کاهش و عدم تغییر است).

علائم اختصاری I_1 تا I_4 به‌ترتیب بیانگر سطوح مختلف آبیاری (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) و EC_1 تا EC_4 به‌ترتیب بیانگر سطوح مختلف شوری (شاهد، ۱/۹، ۲/۵ و ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر) است.

متعاقب آن در عملکرد گیاه نقصان ایجاد می‌کند (۴). کاهش میزان فتوسنتز به علت تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین مصرف کربوهیدرات‌های تولید برای تولید اسمولیت‌ها در شرایط تنش، از علت‌های کاهش وزن خشک اندام‌های مختلف به‌شمار می‌رود (۱۹). در صفات حجم و چگالی ریشه نیز بیشترین مقدار در تیمار I_1 و I_4 با مقادیر ۲۳/۴ سانتی‌متر مکعب و ۰/۱۴۴ گرم در سانتی‌متر مکعب و کمترین میزان نیز در تیمارهای I_4 و I_1 با ۱۳/۵ سانتی‌متر مکعب و ۰/۱۳۳ گرم در سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. اعمال تیمارهای تنش آبی منجر به کاهش حجم ریشه به میزان ۱۹/۷، ۳۷/۶ و ۴۲/۳ درصد شد که به‌ترتیب در تیمارهای I_2، I_3 و I_4 اتفاق افتاد. لازم به ذکر است که در این صفت بین تیمارهای I_3 و I_4 در مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد. در صفت چگالی ریشه نیز همانطور که از نتایج جدول ۵ مشخص است بین تیمارهای I_2، I_3 و I_4 اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد. به نظر می‌رسد تحت شرایط تنش رطوبتی، جذب آب توسط ریشه کاهش یافته و شرایط مذکور منجر به اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی اندام‌های هوایی شده است، که از پیامدهای آن می‌توان به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها اشاره کرد که به دنبال آن رشد و توسعه ریشه نیز کاهش یافته است (۱۷).

شوری آب آبیاری نیز مطابق با جدول ۵ منجر به کاهش صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار از این صفات در تیمار استفاده از آب چاه (EC_1) و به‌ترتیب با ۲۹/۱، ۱۱/۲ و ۸/۹ گرم و کمترین مقدار از صفات مذکور نیز با ۱۹/۲، ۹/۹ و ۷/۶ گرم در تیمار استفاده از آب شور با شوری ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر (EC_4) به‌دست آمد. در صفات مذکور اعمال شوری‌های EC_2، EC_3 و EC_4 به‌ترتیب منجر به کاهش ۱۲/۷، ۲۸/۵ و ۳۴/۰ درصد (وزن تر اندام هوایی)؛ ۳/۶، ۱۱/۶ و ۱۱/۶ درصد (وزن خشک اندام هوایی) و ۶/۷، ۱۲/۴ و ۱۴/۶ درصد (وزن خشک ریشه) شد. در صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه بین تیمارهای EC_3 و EC_4 تفاوت معنی‌دار آماری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد وجود نداشت. دلیل کاهش صفات وزن خشک اندام هوایی می‌تواند این باشد که شوری با اثر بر روی فعالیت روزنه‌ها (باز و بسته شدن روزنه)، در تأمین دی‌اکسید کربن مورد نیاز گیاه اخلال ایجاد کرده که خود عاملی بر کاهش رشد است (۲۸)، همچنین شوری سبب افزایش تولید اسید آبسزیک به‌عنوان یک بازدارنده رشد شده که خود عاملی برای محدود شدن رشد گیاه است. در پی کاهش رشد گیاه، کاهش وزن خشک اندام هوایی نیز اتفاق می‌افتد (۲۷). از طرفی می‌توان دلیل کاهش در وزن خشک اندام هوایی و ریشه را اینگونه بیان کرد که در اثر افزایش شوری آب آبیاری از پتانسیل آب کاسته شده و جذب آب کاهش می‌یابد، یا به عبارتی دیگر شوری باعث بروز خشکی فیزیولوژیکی در گیاه شده و توسعه رشدی اندام هوایی و ریشه را مختل می‌سازد، از این رو کاهش در وزن خشک اندام هوایی و ریشه در این شرایط امری محتمل است (۹). از طرفی گیاه مقدار زیادی از انرژی تولیدی را که از اندام‌های هوایی جهت رشد دریافت می‌کند، صرف مقابله با تنش شوری می‌نماید. این عمل باعث کاهش کارایی ریشه در جذب عناصر غذایی و آب‌بری سایر اندام‌ها شده و مجموع این عوامل ممکن است کاهش وزن ریشه را به دنبال داشته باشد (۱۳).

سطح برگ نیز در اثر اعمال تیمارهای شوری کاهش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد داشته است، به‌طوری‌که با اعمال شوری‌های EC_2، EC_3 و EC_4 این صفت کاهشی به میزان ۱۳/۳، ۲۳/۹ و ۲۴/۸ درصد را تجربه کرد. لازم به ذکر است که بیشترین و کمترین مقدار از این صفت در تیمارهای EC_1 (۳۸۳/۸ سانتی‌متر مربع) و EC_4 (۲۸۸/۸ سانتی‌متر مربع) مشاهده شد. تیمارهای مختلف شوری بر روی حجم ریشه اثر منفی و بر چگالی ریشه اثر مثبت داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان از حجم ریشه (۲۰/۷ سانتی‌متر مکعب) و چگالی ریشه (۰/۱۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) به‌ترتیب در تیمارهای EC_1 و EC_4 به‌دست آمد؛ همچنین کمترین میزان این صفات نیز در تیمارهای EC_4 (۱۵/۶ سانتی‌متر مکعب) و EC_1 (۰/۱۳۹ گرم بر

سانتی‌متر مکعب) مشاهده شد. لازم به ذکر است که در صفت چگالی ریشه بین تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد. رابطه مستقیمی بین سطح برگ و سرعت رشد گیاه وجود دارد و در شرایط اعمال تنش شوری اولین پاسخ گیاه کاهش سطح برگ است، بنابراین کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری، امری کاملاً طبیعی به نظر می‌رسد (۵). آثار ناشی از تنش شوری بر گیاهان شامل سمیت یونی، تنش اسمزی، کمبود عناصر معدنی، اختلالات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و ترکیباتی از این تنش‌ها است (۲۴). در تنش شوری، گیاهان از طریق تجمع اسیدآمینه‌های آزاد، قندهای محلول و پرولین، پتانسیل اسمزی خود را کاهش داده و با این روش فشار اسمزی را (با صرف انرژی حاصل از فعالیت فتوسنتزی) تنظیم می‌کنند، به‌طوری که کاهش اندازه اندام‌های گیاه نظیر توسعه و رشد ریشه از جمله پیامدهای آن است (۲۹). کاهش جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل استفاده در گیاه و سمیت عناصر از جمله پیامدهای تنش شوری بر روی گیاهان بوده که قدرت رشد سلولی را کاهش می‌دهد و باعث کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز می‌گردد (۱۶). بر اساس نتایج جدول ۶ ، اعمال توأم شوری و خشکی بر روی گیاه منجر به کاهش در صفت ارتفاع و تعداد شاخه جانبی گیاه نعنا فلفلی شده است، به‌طوری که بیشترین میزان از این صفات به‌ترتیب با ۳۱/۱ سانتی‌متر و ۸/۳ عدد در تیمار آبیاری آب چاه + ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (EC_1I_1) و کمترین میزان از این صفات نیز در تیمار آبیاری با آب شور ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر + ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (EC_4I_4) با ۱۴/۳ سانتی‌متر و ۲/۳ عدد مشاهده شد.

همچنین، نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی به میزان ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش ۶/۱، ۱۸/۶ و ۲۱/۵ درصدی در صفت ارتفاع بوته در شرایط استفاده از آب چاه شده است (لازم به ذکر است که تغییرات این صفت در شرایط اعمال تیمارهای مورد بررسی، به تفصیل در جدول ۶ ارائه شده است). در شرایط اعمال تنش شوری نیز نتایج نشان داد که ارتفاع بوته به میزان ۱۸/۰، ۲۸/۳ و ۳۹/۲ درصد به‌ترتیب در شرایط استفاده از آب شور با شوری ۱/۹، ۲/۵ و ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد. بیشترین اثر منفی بر روی صفت ارتفاع بوته (۵۴/۰ درصد) در شرایط اعمال همزمان شوری و خشکی بر روی گیاه دارویی نعنا فلفلی (در تیمار آبیاری با آب شوری ۳/۴ دسی‌زیمنس و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (EC_4I_4)) اتفاق افتاد. در صفت تعداد شاخه جانبی نیز در تیمار آبیاری با آب شوری ۳/۴ دسی‌زیمنس و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (EC_4I_4)، بیشترین اثر منفی بر روی این صفت با ۷۲/۳ درصد کاهش مشاهده شد. بر اساس نتایج جدول ۶، بیشترین و کمترین میزان از بهره‌وری فیزیکی آب در گیاه دارویی نعنا فلفلی در تیمارهای ۳/۵۴ کیلوگرم در متر مکعب و ۲/۰۶ کیلوگرم در متر مکعب در تیمارهای آبیاری با آب چاه + ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (EC_1I_4) و آبیاری با آب شور ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (EC_3I_1) مشاهده شد. تغییرات در این صفت بر اساس نتایج دارای روند خاصی نبوده و بیشترین اثر مثبت و منفی در بهره‌وری فیزیکی آب به‌ترتیب در تیمارهای EC_1I_4 (۲۸/۳+ درصد) و EC_3I_1 (۲۵/۴- درصد) مشاهده شد. کاهش مقدار آب آبیاری و تنش ناشی از آن موجب کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز شده که نقصان پتانسیل فشاری را تا حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها به همراه داشته و ارتفاع را کاهش داده است (۱۵). شوری با تأثیرگذاری بر اندازه سلول و جلوگیری از تقسیم سلولی باعث کاهش اندازه بافت‌های ریشه و ساقه می‌گردد (۲۹). به‌طور کلی، خصوصیات رشدی با افزایش تنش آبی، کاهش یافته که متأثر از کمبود آب در دسترس ریشه گیاه است که خود عاملی برای کاهش آماس، پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در بزرگ شدن سلول‌ها و رشد رویشی است (۱۰). از جمله پیامدهای تنش رطوبتی و کمبود آب بر روی گیاهان می‌توان به کاهش فشار آماس، کاهش رشد و توسعه سلول به ویژه در ساقه و برگ‌ها اشاره کرد، به‌طوری که کاهش سطح برگ که متأثر از کاهش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها است، عاملی برای کاهش فتوسنتز و انرژی

جدول ۶. اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و شوری بر خواص رشدی و بهره‌وری فیزیکی آب در گیاه دارویی نعنا فلفلی

ترکیبات تیماری		ارتفاع	تعداد شاخه جانبی	بهره‌وری فیزیکی آب
EC_1	I_1	۳۱/۱ a	۸/۳ a	۲/۷۶ b
	I_2	۲۹/۲ a (-۶/۱)	۶/۷ b (-۱۹/۳)	۲/۷۸ b (+۰/۷)
	I_3	۲۵/۳ b (-۱۸/۶)	۵/۷ cd (-۳۱/۳)	۲/۹۳ b (+۶/۲)
	I_4	۲۴/۴ b (-۲۱/۵)	۵/۰ d (-۳۹/۸)	۳/۵۴ a (+۲۸/۳)
EC_2	I_1	۲۵/۵ b (-۱۸/۰)	۶/۳ bc (-۲۴/۱)	۲/۳۶ c (-۱۴/۵)
	I_2	۲۰/۸ c (-۳۳/۱)	۵/۰ d (-۳۹/۸)	۲/۳۶ c (-۱۴/۵)
	I_3	۱۷/۸ cd (-۴۲/۸)	۳/۰ fgh (-۶۳/۹)	۲/۵۲ bc (-۸/۷)
	I_4	۱۷/۸ cd (-۴۲/۸)	۳/۷ ef (-۵۵/۴)	۳/۲۳ a (+۱۷/۰)
EC_3	I_1	۲۲/۳ bc (-۲۸/۳)	۵/۰ d (-۳۹/۸)	۲/۰۶ c (-۲۵/۴)
	I_2	۱۹/۷ c (-۳۶/۷)	۴/۰ e (-۵۱/۸)	۲/۱۷ c (-۲۱/۳)
	I_3	۲۰/۲ c (-۳۵/۰)	۳/۳ efg (-۶۰/۲)	۲/۲ c (-۲۰/۳)
	I_4	۱۵/۹ de (-۴۸/۹)	۳/۷ ef (-۵۵/۴)	۲/۷۶ b (۰/۰)
EC_4	I_1	۱۸/۹ cd (-۳۹/۲)	۳/۷ ef (-۵۵/۴)	۲/۱۳ c (-۲۲/۸)
	I_2	۱۷/۴ d (-۴۴/۱)	۳/۳ efg (-۶۰/۲)	۲/۱۶ c (-۲۱/۷)
	I_3	۱۶/۸ de (-۴۶/۰)	۲/۷ gh (-۶۷/۵)	۲/۲۷ c (-۱۷/۸)
	I_4	۱۴/۳ e (-۵۴/۰)	۲/۳ h (-۷۲/۳)	۲/۳۹ c (-۱۳/۴)

تولیدی برای توسعه رشدی گیاه است. با کاهش رشد و نمو سلول، اندازه اندام محدود می‌شود. به‌عبارت دیگر کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش کمبود آب سبب کاهش عملکرد سرشاخه‌های گلدار می‌گردد. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچک‌تر برگ‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد. ارتفاع بوته، وزن تر و خشک سرشاخه‌های گلدار مانند هر اندام رویشی یا زایشی دیگر شدیداً تحت تأثیر عناصر غذایی و آب قرار می‌گیرند (۱۲). نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران بر روی نعنا فلفلی، نعنا، ریحان، بابونه و همیشه بهار مطابقت داشت (۲، ۷، ۸، ۱۱ و ۱۹). نتایج تخمین توابع تولید عملکرد- آب مصرفی به‌صورت توابع خطی، درجه ۲ و لگاریتمی در جدول ۷ ارائه شده است.

پس از به‌دست آوردن توابع تولید برای ارزیابی هر یک از آن‌ها از شاخص‌های آماری RMSE، EF، ME، CRM و R^2 استفاده شد. هر یک از توابع تولید مورد استفاده به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و برای هر مشخصه آماری رتبه در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که برای RMSE، ME و CRM مقادیر کمتر رتبه یک و به‌ترتیب مقادیر بیشتر رتبه‌های بالاتر را اخذ کردند ولی در مشخصه‌های EF و R^2 توابعی که دارای بیشترین مقادیر

۷. توابع تولید آب مصرفی- شوری- عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی و شاخص‌های آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار آن

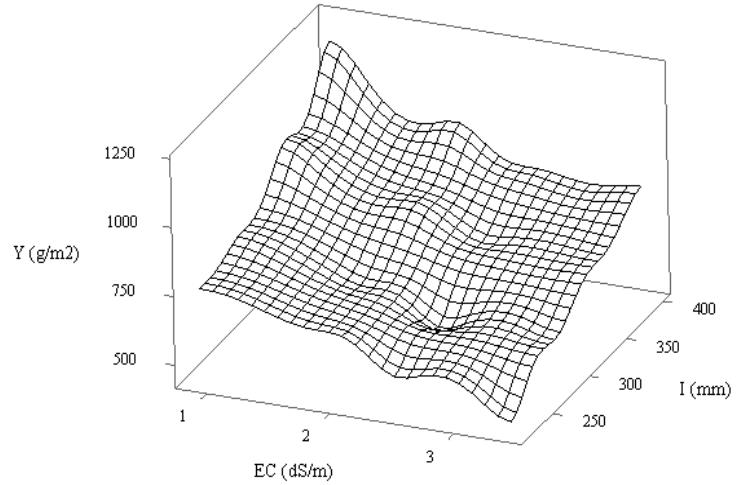
شاخص آماری	تابع لگاریتمی	تابع خطی	تابع درجه دوم
	$Y = 10.39\ EC^{-0.28}\ I^{0.78}$	$Y = 421.1 - 118.1\ EC + 1.92\ I$	$Y = 39.2\ EC^2 - 247.1\ EC + 0.006\ I^2 - 1.54\ I - 0.13\ EC \times I + 1033.3$
RMSE	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۷
رتبه	۳	۲	۱
CRM	۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳
رتبه	۱	۱	۲
EF	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۷
رتبه	۲	۱	۳
ME	۹۷/۵	۹۲/۷	۶۹/۴
رتبه	۳	۲	۱
R^2	۹۳/۹	۹۱/۸	۹۶/۲
رتبه	۲	۳	۱
مجموع رتبه‌بندی	۱۱	۹	۸

بودند رتبه یک و به‌ترتیب مقادیر کمتر رتبه‌های دیگر را به خود اختصاص دادند (نتایج به تفصیل در جدول ۷ ارائه شده است). مقایسه ضرایب و مجموع رتبه‌بندی نشان‌دهنده این است که تابع درجه دوم در مقایسه با دو تابع دیگر دارای قدرت برازش بیشتری بر روی مدل است؛ لازم به ذکر است که در این مطالعه تابع خطی برازش بهتری را نسبت به تابع لگاریتمی (کاب داگلاس) دارا است. بنابراین، تابع تولید آب مصرفی- شوری- عملکرد در گیاه دارویی نعنا فلفلی، به‌صورت تابع درجه دوم است (رابطه ۱۱). بر اساس نتایج شکل ۵، افزایش تنش شوری سبب کاهش در عملکرد خشک گیاه شده است. همچنین بر اساس نتایج شکل ۵ کاهش در میزان آب آبیاری نیز در این گیاه سبب کاهش در عملکرد خشک می‌شود، از طرفی اثر توأم تنش شوری و خشکی بر شدت کاهش عملکرد خشک نعنا فلفلی افزوده است. براساس نتایج هر چه میزان EC در تمامی سطوح آب آبیاری کمتر باشد، عملکرد خشک گیاه بیشتری را تولید می‌کند. در شکل ۶ نیز تغییرات بهره‌وری فیزیکی آب ارائه شده است و نتایج بیانگر کاهش در این صفت در شرایط اعمال تنش شوری و خشکی است.

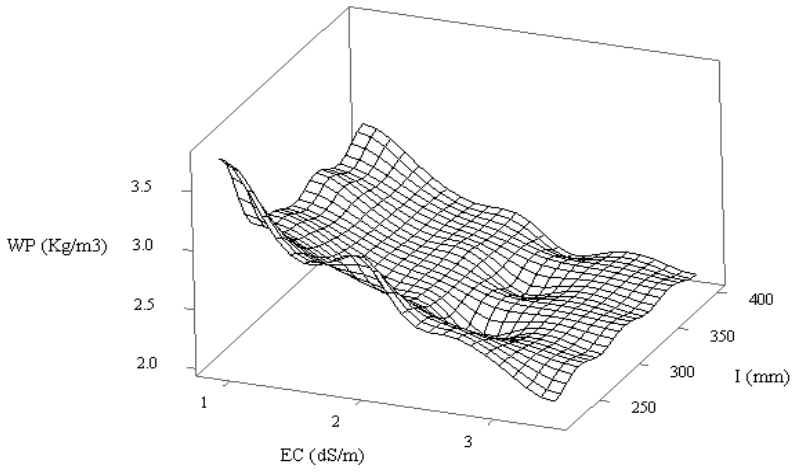
$$Y = 39.2EC^2 - 247.1EC + 0.006I^2 - 1.54I - 0.13EC \times I + 1033.3 \quad (11)$$

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر بیانگر کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در شرایط اعمال کم‌آبیاری و تنش شوری بوده، به‌طوری‌که استفاده از آب‌های شور منجر به کاهش عملکرد خشک در تیمارهای ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی شد. به‌طور کلی استفاده از آب شور در شرایط اعمال تنش آبی منجر به کاهش رشد گیاه شده و نسبت به تیمار شاهد در شرایط کم‌آبیاری عملکرد خشک و تر اندام هوایی در گیاه



شکل ۵. روند تغییرات عملکرد خشک نعنا فلفلی در شرایط اعمال تنش شوری و خشکی



شکل ۶. روند تغییرات بهره‌وری فیزیکی آب نعنا فلفلی در شرایط اعمال تنش شوری و خشکی

دارویی نعنا فلفلی کاهش یافته است. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب نعنا فلفلی با ۳/۵۴ کیلوگرم در متر مکعب و ۲/۰۶ کیلوگرم در متر مکعب در تیمارهای EC_1I_4 و EC_3I_1 مشاهده شد. براساس نتایج آنالیز حساسیت ارائه شده می‌توان گفت که بر اثر تغییرات آب آبیاری و شوری بهترین تابع تولید برای این پژوهش تابع درجه دوم بوده که نسبت به سایر توابع، برآورد بهتری از عملکرد گیاه دارد و به‌عنوان تابع بهینهٔ تولید، قابل توصیه است. بررسی مقادیر حداکثر خطا (ME) نشان داد که بیشترین خطا مربوط به توابع لگاریتمی است. منحنی‌های هم‌محصول نشان می‌دهد که اثر توأم تنش شوری و خشکی منجر به کاهش عملکرد خشک نعنا فلفلی شده است. بر اساس نتایج هر چه میزان EC در تمامی سطوح آب آبیاری کمتر باشد، عملکرد خشک گیاه بیشتری را تولید می‌کند. بر اساس منحنی‌های هم بهره‌وری آب، نتایج بیانگر کاهش در این صفت در شرایط اعمال تنش شوری و خشکی است.

منابع مورد استفاده

1. Abdi, G., M. Shokrpour, L. Karami and S. A. Salami. 2019. Prolonged water deficit stress and methyl jasmonate-mediated changes in metabolite profile, flavonoid concentrations and antioxidant activity in peppermint (Mentha× piperita L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(1): 70-80.
2. Alavi, S. A., A. M. Ghehsareh, A. Soleymani, E. Panahpour and M. Mozafari. 2020. Pepermint (Mentha piperita L.) growth and biochemical properties affected by magnetized saline water. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 201: 110775.
3. Alihouri, M., A. Naseri, S. Boroomand-Nasab and A. Kiani. 2015. Effect of deficit irrigation and water salinity on soil salinity distribution and date plants vegetative growth. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 4(3): 1-13 (In Farsi).
4. Ashraf, M. and M. R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59(2): 206-216.
5. Attarzadeh, M., A. Rahimi, B. Torabi and H. Dashti. 2014. Effect of Ca, K, and Mn foliar spray on vegetative traits of safflower (Carthamus tinctorius L.) under salt stress. *Iranian Journal Field Crops Research* 12(3): 445-453 (In Farsi).
6. Aziz, E. E., H. Al-Amier and L. E. Craker. 2008. Influence of salt stress on growth and essential oil production in peppermint, pennyroyal, and apple mint. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants* 14(1-2): 77-87.
7. Basiri, M., H. Ghamarnia and M. Ghobadi. 2020. Effect of different deficit irrigation and salinity management on leaf, shoot and root growth of (Mentha piperita L.). *Water and Irrigation Management* 10(1): 1-14 (In Farsi).
8. Elansary, H. O., E. A. Mahmoud, D.O. El-Ansary and M. A. Mattar. 2020. Effects of water stress and modern biostimulants on growth and quality characteristics of mint. *Agronomy* 10(1): 6.
9. Ghorbani, M., Z. Movahedi, A. Kheiri and M. Rostami. 2018. Effect of salinity stress on some morpho-physiological traits and quantity and quality of essential oils in Peppermint (Mentha piperita L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences* 11(2): 413-420 (In Farsi).
10. Gorgini Shabankareh, H. and S. Khorasaninezhad. 2018. Effects of different levels of vermicompost on morphophysiological and essential oil characteristics of Peppermint (Mentha piperita L.) under water deficit regimes. *Journal of Crop Production* 10(4): 59-74 (In Farsi).
11. Hajmirzaei, M., H. Ansari, H., S. Hashemnia and M. Azizi. 2020. Interaction of organic fertilizer and irrigation levels on Some morphological and physiological indicators of *Mentha piperita* L. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 13(6): 1794-1805 (In Farsi).
12. Jamali, S. 2017. Investigating the combined effect of different levels of salinity and low irrigation on yield and yield components of quinoa. Master thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran (In Farsi).
13. Jamali, S. and H. Ansari. 2019. Effects of water quality and irrigation management on growth and yield of quinoa. *Journal of Water Research in Agriculture* 33.3(3): 339-351 (In Farsi).
14. Jamali, S., M. Goldani and S. M. Zeynodin. 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 13(6): 1687-1697 (In Farsi).
15. Kheiry, A., H. Tori and N. Mortazavi. 2017. Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (Mentha piperita L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 33(2): 268-280 (In Farsi).
16. Khorsandi, O., A. Hassani, F. Sefidkon, H. Shirzad and A. Khorsandi. 2010. Effect of salinity (NaCl) on growth, yield, essential oil content and composition of Agastache foeniculum kuntz. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 26(3): 438- 451 (In Farsi).
17. Nezami, S., S. Nemati, H. Aroiee and A. Bagheri. 2016. Effect of soil moisture regimes under controlled conditions on growth and biomass in mentha species. *Journal of Plant Production Research* 23(2): 51-72 (In Farsi).
18. Nezami, S., S. Nemati, H. Aruee and A. Bagheri. 2016. Study on effect of water deficit stress on growth of three Mentha species. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 9(1): 59-74 (In Farsi).
19. Nobakht, P., A. Ebadi, G. Parmoon and R. Nickhah Bahrami. 2019. Study role H2O2 in photosynthetic pigments peppermint (Mentha piperita L) on water stress conditions. *Journal of Plant Process and Function* 7(27): 19-30 (In Farsi).
20. Okwany, R. O., T. R. Peters, K. L. Ringer and D. B. Walsh. 2012. Sustained deficit irrigation effects on peppermint yield and oil quality in the semi-Arid pacific northwest, USA. *Applied Engineering in Agriculture* 28(4): 551-558.
21. Piri, H., H. Ansari and M. Parsa. 2018. Determination of water-salinity production function by taking time performance and the assessment production indexes of forage sorghum. *Journal of Water Resources Engineering* 11(38): 15-26 (In Farsi).

22. Polanski, L. G., A. Khanifar and W. Tadeusz. 2018. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters, essential oil constituents and yield in peppermint. *African Journal of Agronomy* 6(2): 356-361.
23. Roodbari, N., S. Roodbari, A. Ganjali and M Ansarifar. 2013. The effect of salinity stress on growth parameters and essential oil percentage of peppermint (Mentha piperita L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1(9): 1009-1015.
24. Saleh, B. 2013. Water Status and Protein Pattern Changes Towards Salt Stress in Cotton. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry* 9(1): 113-123.
25. Shahriari, S., M. Azizi, H. Aroiee and H. Ansari. 2013. Effect of different irrigation levels and mulch application on growth parameters and essential oil content of peppermint (Mentha piperita L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 29(3): 568-582 (In Farsi).
26. Soltani Mohammadi, A., H. Kashkuli, A. Naderi and S. Boromandnasab. 2011. The effect of deficit and salinity of irrigation water on yield and yield components of maize (KSC-500) during different growth stages in Ahwaz climate. *Journal of Water Science and Engineering* 1(1): 33-44 (In Farsi).
27. Vatankhah E, B. Kalantari and B. Andalibi. 2016. Effect of methyl jasmonate on some physiological and biochemical responses of peppermint (Mentha piperita L.) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function* 5(17): 157-170 (In Farsi).
28. Yu, X., C. Liang, J. Chen, X. Qi, Y. Liu and W. Li. 2015. The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in Mentha canadensis L. *Scientia Horticulturae* 197: 579-583.
29. Zare, R. 2018. Investigation of the effect of sea water use on yield and performance components of portulaca oleracea under different levels of irrigation water. Master thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran (In Farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation the Effect of Irrigation Levels on Peppermint Yield and Water Productivity under Salinity Stress

S. Jamali, H. Banejad*, A. Safarizadeh Sani and B. Hadi[1]

(Received: December 12-2020; Accepted: June 16-2021)

Abstract

This research was conducted to study the effect of deficit irrigation and saline water on yield and yield components of Peppermint in the experimental research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad from 2018 to 2019. This research was performed as a factorial experiment based on the randomized complete design with three replications. In this research, irrigation levels consist of 4 levels (100 (I1), 80 (I2), 70 (I3), and 55 (I4) percent of FC) and saline water factors consist of 4 levels (0.9 (EC1), 1.9 (EC2), 2.5 (EC3), and 3.4 dSm^{-1} (EC4)). The result showed that a decrease of the water to 15, 30, and 45 percent have resulted in the reduction of shoot fresh weights (to 15.8, 28.4, and 30.1 percent), shoot dry weights (to 7.1, 11.5, and 11.5 percent), and root dry weights (to 4.6, 9.2, and 9.2 percent), respectively. Also, results showed that irrigation with EC2, EC3, and EC4 has resulted in a decrease in shoot fresh weights (to 12.7, 28.5, and 34.0 percent), shoot dry weights (to 3.6, 11.6, and 11.6 percent), and root dry weights (to 6.7, 12.4, and 14.6 percent), respectively. The result indicated that interaction effects of salinity and water stress decreased peppermint water productivity, as the highest and lowest peppermint water productivity with 3.54 and 2.06 Kgm-3 were in the EC1I4 and EC3I1 treatments, respectively. Results revoluted that maximum dry yield and peppermint water productivity were in the EC1I4, so this treatment was recommended for irrigation of peppermint.

Keywords: Saline water, Physical water productivity, Production function, Water stress, Deficit irrigation

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
*: Corresponding author, Email: Banejad@um.ac.ir