ارزیابی شاخص‌های رشد گیاه رزماری تحت تأثیر کم‌آبیاری

آسا ریگی کاروانداری[۱]، احمد مهربان[۱*]، حمیدرضا گنجعلی[۱]، خالد میری[۲] و حمیدرضا مبصر[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۲)

چکیده

آب از مهم‌ترین عوامل تولید محصولات کشاورزی در سرتاسر جهان است و کمبود آن در بخش کشاورزی لزوم استفاده از کم‌آبیاری را نمایان می‌سازد. بنابراین در این پژوهش به‌منظور مشخص‌کردن اثر دو روش کم‌آبیاری بر شاخص‌های رشد گیاه دارویی رزماری، آزمایشی در ایستگاه تحقیقاتی نهال و بذر شهرداری ایرانشهر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶، اجرا شد. در این آزمایش، تیمارها شامل آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه هر کدام در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد آبیاری کامل بودند. نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در سطوح ۷۵ و ۵۵ درصد آبیاری کامل باعث صرفه‌جویی به‌ترتیب ۱۸/۶ و ۳۴/۳ درصدی در مصرف آب شد. مقایسه دو تیمار آبیاری کامل و تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه باعث کاهش ۶/۷ درصدی وزن خشک اندام هوایی، ۱۴/۳ درصدی ارتفاع بوته و ۱۲/۱ درصدی تعداد شاخه زایا شد. این در حالی بود که توسعه مناسب ریشه گیاه در سطح تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه، افزایش ۱۲/۹ درصدی بهره‌وری آب را نسبت به تیمار آبیاری کامل در پی داشت. از این‌رو با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می‌توان سطح تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه را به‌عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با بحران آب، برای حرکت به‌سمت یک سامانه کشاورزی پایدار توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری ناقص ریشه، بهره‌وری آب، کم‌آبیاری تنظیم‌شده

۱. گروه زراعت، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی بلوچستان، بلوچستان، ایران

*: مسئول مکاتبات: ahmadmehraban135@yahoo.com

مقدمه

اتکای اقتصاد ایران بر درآمدهای نفتی و تأثیرپذیری آنها از مسائل سیاسی، باعث آسیب‌پذیری اقتصاد کشور شده است. یکی از راه‌های مقابله با این چالش، توسعه تولیداتی است که ضمن بهبود وضع اقتصادی داخلی، سبب افزایش صادرات غیر نفتی شود. در این میان گیاهان دارویی علاوه‌بر نقش مهمی که در سلامت جامعه و اشتغال‌زایی دارند، می‌توانند تأثیر بسزایی در امر اقتصاد غیر نفتی داشته باشند (۱۰). همچنین با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده است که با افزایش مصرف آنها نیاز به توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح، ضروری است (۱۱). اکلیل کوهی با نام عمومی رزماری (*Rosmarinus officinalis*) از قدیمی‌ترین گیاهان شناخته شده دارویی و از خانواده نعناعیان است که از قرن‌ها پیش، برای تقویت حافظه استفاده می‌شده است. این گیاه مقوی معده و محرک هضم است و پژوهش‌های متعددی ویژگی‌های کاهش استرس، تسکین سردرد، تسکین آسم و درمان برونشیت آن را تأیید کرده‌اند. همچنین عصاره این گیاه، با محافظت از مواد تشکیل‌دهنده سلول‌های پوست از آسیب‌های پوستی مانند چین‌وچروک پیش‌گیری می‌کند به‌طوری که ماساژ دادن منظم پوست با روغن مستخرج از این گیاه، خشکی پوست را نیز از بین می‌برد (۲۶).

رشد روز افزون جمعیت، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی از یک‌سو و خشکسالی‌های متوالی در بیشتر کشورهای واقع در کمربند خشک جهان از سوی دیگر، باعث افزایش تقاضا برای مصرف آب و به‌تبع افزایش فشار به منابع آب شده‌است (۲۲). از طرف دیگر، از آنجا که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در دنیا است، از این‌رو کاهش کمّی و کیفی منابع آب زیرزمینی موجب گرایش به کاهش اختصاص آب به بخش کشاورزی شده است (۳). این در حالی است که مدیریت مصرف آب در این بخش، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش فشار به منابع آب در شرایط بحران داشته باشد. یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های مدیریتی در سال‌های اخیر، استعمال کم‌آبیاری در طول فصل رشد گیاه است که بهبود بهره‌وری آب را به‌همراه دارد (۱۶).

کم‌آبیاری نوعی مدیریت آب در مزرعه است که در آن گیاه درجه معینی از تنش خشکی را تحمل می‌کند به‌طوری که با استفاده مناسب‌تر از هر واحد آب آبیاری، عملکرد بهینه از محصولات کشاورزی به‌دست آید (۲۹). در سال‌های اخیر، روش‌های نوین مدیریت آب با رویکرد مقابله با بحران جهانی آب و در راستای افزایش بهره‌وری آب شکل گرفته است که می‌توان به روش‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه اشاره کرد. در روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده میزان آب داده شده به گیاه کمتر از حد نیاز آن است، به‌طوری که تأثیر منفی اعمال این نوع تنش در کاهش شاخص‌های مهم رشد گیاه از جمله عملکرد محصول، شاخص سطح برگ، وزن و حجم ریشه در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (۲۱).

در روش آبیاری ناقص ریشه، منطقه ریشه به نواحی مختلف تقسیم و در هر نوبت آبیاری، یک یا چند ناحیه مرطوب و نواحی دیگرریال خشک رها می‌شوند (۶). تکرار متناوب آن می‌تواند تغییراتی در ساختار فیزیولوژیک گیاه ایجاد کند که آن را از روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده متمایز می‌سازد (۴ و ۷). به‌طوری که خشک و تر کردن متناوب ریشه، انتقال اسید آبسسیک از ریشه‌های بخش خشک خاک به اندام هوایی که منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای برگ می‌شود را در پی دارد و همزمان بخش مرطوب ریشه با جذب آب، وضعیت آبی اندام هوایی را در حد مطلوب حفظ می‌کند (۵). از جمله نتایج تغییر در ریشه گیاه در شرایط اعمال آبیاری ناقص ریشه می‌توان به افزایش غلظت شیره آوندی و کاهش هدایت روزنه‌ای (۱۹)، افزایش کارایی مصرف آب (۱۶) و عدم کاهش در کمیت و کیفیت محصول (۱۲) اشاره کرد. این در حالی است که تأثیر آبیاری ناقص ریشه در بهبود کیفیت عملکرد محصول با افزایش در میزان قند، در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است (۱۷ و ۱۸).

در این راستا، نتایج مطالعه‌ای نشان داد که روش آبیاری

ناقص ریشه با تغییر پتانسیل اسمزی، میزان آماس سلول‌های برگ را در حد بالاتر از معمول حفظ کرد و میزان مقاومت گیاه در شرایط کم‌آبیاری را افزایش داد (۲۸). در پژوهشی دیگر بررسی اثرات آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری معمولی حاکی از آن بود که در روش آبیاری ناقص ریشه غلظت کلسیم و منیزیم، غلظت گلوکز، فروکتوز، پتاسیم و فسفر موجود در انبه هندی به‌طور معنی‌داری نسبت به کم‌آبیاری معمولی افزایش یافت. درنهایت به‌منظور بهبود کیفیت میوه، روش آبیاری ناقص ریشه بهتر از روش کم‌آبیاری معمولی عنوان شد (۱۲). بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد فلفل قرمز، پنج تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم‌شده در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه به‌صورت ثابت و متغیر در سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل، بررسی شد. نتایج نشان داد که عملکرد حاصل از اعمال آبیاری ناقص ریشه به‌صورت متغیر در حالی بعد از آبیاری کامل، از لحاظ آماری در گروه پایین‌تری قرار گرفت که با وجود صرفه‌جویی ۳۵۰ میلی‌متری آب، با کارایی مصرف آب ۱۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب در بهترین جایگاه آماری قرار گرفت (۲۰). تأثیر آبیاری ثابت و متناوب شیارها (یک‌طرفه گیاه) در دو سطح ۱۰۰ و ۸۰ درصد با آبیاری تمام شیارها (دو طرف گیاه) بر عملکرد گوجه‌فرنگی نشان داد که در آبیاری ثابت و متناوب شیارها بیش از ۳۸ درصد در مصرف آب نسبت به آبیاری تمام شیارها صرفه‌جویی شد. همچنین، در آبیاری متناوب شیارها نسبت به آبیاری تمام شیارها، در حالی کارایی مصرف آب ۴۰ درصد افزایش یافت، هیچ کاهش محصولی ایجاد نشد (۱۸).

با توجه به نیاز روزافزان به گیاهان دارویی و از طرفی تخریب روزافزان رویشگاه‌ها و زیستگاه‌های طبیعی آنها، به‌نظر می‌رسد تولید این گیاهان در سیستم‌های زراعی بتواند به‌عنوان یک استراتژی مهم در تأمین بازار رو به‌گسترش آنها عمل کند. از طرف دیگر مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی در حالی روند صعودی دارد که محدودیت منابع آبی از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ایران است. این در حالی است که می‌توان با اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی با بهره‌گیری از روش‌های نوین آبیاری و مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه، کمبود و محدودیت منابع آبی کشور را تا حدودی جبران کرد. همچنین بررسی مطالعات صورت گرفته در راستای مدیریت مصرف آب نشان داد که استفاده از استراتژی‌های نوین آبیاری نظیر آبیاری ناقص ریشه معطوف به کاربرد این روش در کشت محصولات باغی و زراعی بوده و تاکنون در راستای افزایش بهره‌وری آب و عملکرد گیاهان دارویی، از این روش کارامد استفاده نشده است. از این‌رو بررسی اثرات آبیاری ناقص ریشه بر شاخص‌های رشد گیاه دارویی رزماری که از با ارزش‌ترین گیاهان دارویی محسوب می‌شود، به‌عنوان هدف این مطالعه مدنظر بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی شاخص‌های رشد گیاه دارویی رزماری، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶، در زمینی به مساحت ۳۶۰ مترمربع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، به اجرا در آمد. مزرعه مورد مطالعه در شهر ایرانشهر با شرایط آب‌وهوایی مندرج در جدول (۱)، در محدوده طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۴۶ دقیقه، عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۸ دقیقه و ارتفاع ۵۷۴ متر از سطح دریا واقع بود که میانگین بارندگی، دما و تبخیر سی‌ساله آن به‌ترتیب ۱۲۶ میلی‌متر، ۲۵/۴ درجه سانتی‌گراد و ۴۱۰۰ میلی‌متر است (۲). در این آزمایش پنج تیمار، آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی، FI)، کم‌آبیاری تنظیم‌شده در دو سطح ۷۵ درصد ($RDI_{۷۵}$) و ۵۵ درصد ($RDI_{۵۵}$) آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ درصد ($PRD_{۷۵}$) و ۵۵ درصد ($PRD_{۵۵}$) آبیاری کامل، ارزیابی شد. تیمارها در کرت‌هایی به عرض سه و طول پنج متر (شامل چهار ردیف کشت به‌فاصله ۰/۷۵ متر و فاصله بوته ۰/۵ متر از یکدیگر) اجرا شد.

قبل از عملیات کشت از خاک محل آزمایش، نمونه‌برداری

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در زمان اجرای طرح

پارامتر	ماه						
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
کمینه دما (سانتی‌گراد)	۲۰/۳	۲۴/۴	۳۰/۲	۳۱/۳	۳۱/۲	۲۶/۵	۲۱/۶
بیشینه دما (سانتی‌گراد)	۳۵/۵	۳۸/۹	۴۴/۸	۴۵/۲	۴۴/۹	۴۱/۸	۳۶/۶
میانگین دما (سانتی‌گراد)	۲۷/۹	۳۱/۶	۳۷/۵	۲۸/۲	۳۸/۱	۳۴/۲	۲۹/۱
بارندگی مؤثر (میلی‌متر)	۰	۰/۷	۰	۰	۰	۰	۰
تبخیر (میلی‌متر)	۳۶۷/۳	۴۲۴/۳	۵۴۲/۶	۵۶۹/۴	۵۴۸/۳	۴۸۹/۹	۳۵۲/۲
میانگین رطوبت (درصد)	۲۰	۲۱	۱۷	۱۷	۲۰	۱۴	۱۹

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی خاک

عمق خاک	درصد ذرات تشکیل‌دهنده			بافت خاک	درصد وزنی رطوبت		وزن مخصوص ظاهری
(سانتی‌متر)	رس	شن	سیلت		نقطه پژمردگی	ظرفیت زراعی	(گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۰ تا ۲۰	۱۵/۹	۴۳/۵	۴۰/۶	لوم	۷/۴۱	۱۶/۷۳	۱/۴۲
۲۰ تا ۴۰	۱۶/۴	۴۳/۵	۴۰/۱	لوم	۷/۵۳	۱۷/۴۱	۱/۴۴
۴۰ تا ۶۰	۱۶/۱	۴۳/۸	۴۰/۱	لوم	۷/۹۶	۱۸/۱۹	۱/۴۵
۶۰ تا ۸۰	۱۶/۷	۴۳/۹	۳۹/۴	لوم	۸/۲۸	۱۸/۷۶	۱/۴۴

جدول ۳. ویژگی‌های شیمیایی خاک

عمق	اسیدیته	شوری	پتاسیم	درصد	فسفات
(سانتی‌متر)		(دسی‌زیمنس بر متر)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن کل	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰ تا ۲۰	۷/۴۶	۰/۶	۱۴۱/۷	۰/۱۹	۲۶/۸
۲۰ تا ۴۰	۷/۵۲	۰/۶	۱۳۲/۹	۰/۱۸	۲۴/۳
۴۰ تا ۶۰	۷/۵۷	۰/۶	۱۰۸/۵	۰/۱۱	۲۸/۶
۶۰ تا ۸۰	۷/۵۷	۰/۶	۱۰۳/۱	۰/۱۱	۱۷/۹

انجام شد که تجزیه ویژگی‌های آن در جداول (۲ و ۳) آمده است. با توجه به نتایج تجزیه خاک و آب و توصیه آزمایشگاه خاک و آب، قبل از عملیات کشت ۱۵۰، ۲۰۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب کود نیتروژن از منبع اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به خاک مزرعه تزریق شد. همچنین در این پژوهش پس از دریافت نهال یک‌ساله رزماری از خزانه ایستگاه تحقیقاتی نهال و بذر شهرداری ایرانشهر، عملیات کشت در اواخر فروردین ماه انجام شد.

در این آزمایش برای آبیاری بوته‌ها از نوارهای تیپ با ضخامت ۲۰۰ میکرون، فاصله مجاری آبده ۵۰ سانتی‌متر و دبی چهار لیتر در ساعت در هر متر از طول لوله، استفاده شد. این در حالی بود که برای هر ردیف کشت، دو لوله آبرسان با فاصله حدوداً ۱۵ سانتی‌متری نسبت به ردیف کشت اجرا شد و در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم‌شده، در هر نوبت آبیاری، دو طرف ردیف کشت آبیاری شد. اما در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، در هر نوبت آبیاری، به‌صورت متناوب، فقط یک طرف

ردیف کشت، آبیاری شد. همچنین به‌منظور اطمینان از خشک بودن نیمی از ریشه به‌هنگام آبیاری نیمه دیگر، در تیمارهای روش آبیاری ناقص ریشه، در هر سه نوبت آبیاری نسبت به تعویض محل آبیاری از یک سمت ریشه به‌سمت دیگر اقدام شد. همچنین با توجه به اینکه دور آبیاری برای تمامی تیمارها ثابت و هر چهار روز یک مرتبه بود، بنابراین به‌منظور تعیین عمق آب آبیاری، قبل از هر نوبت آبیاری، با نمونه‌برداری از اعماق ۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متری خاک، رطوبت موجود در تیمار شاهد (آبیاری کامل) اندازه‌گیری و میزان عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد (۸):

$$D_I = \sum_{j=1}^{4} ((\theta_{FCj} - \theta_{BIj}) \times D_j) \qquad (1)$$

در این رابطه D_I: عمق آب آبیاری در تیمار برحسب میلی‌متر، Θ_{FCj}: درصد رطوبت حجمی در نقطه رطوبتی ظرفیت زراعی، Θ_{BCj}: درصد رطوبت حجمی قبل از آبیاری، D_j: عمق نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری رطوبت و j: تعداد لایه‌های اندازه‌گیری شده است. لازم به‌ذکر است که حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری در تیمار آبیاری کامل در کل فصل رشد و در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری تنظیم‌شده تا ۴۰ روز بعد از عملیات کاشت (پس از استقرار گیاه)، با ضرب کردن عمق آب آبیاری (رابطه ۱) در مساحت هر کرت، به‌دست آمد (۹). پس از استقرار گیاه و از زمان شروع اعمال تیمارها تا انتهای فصل کشت، تیمارهای $RDI_{۷۵}$ و $PRD_{۷۵}$، ۷۵ درصد و تیمارهای $RDI_{۵۵}$ و $PRD_{۵۵}$، ۵۵ درصد از حجم آب محاسبه شده در تیمار آبیاری کامل را در طول دوره اعمال تیمار دریافت کردند.

در این بررسی، برای مقایسه تیمارها، شاخص‌های رشد گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی ارزیابی شد. بر این اساس با توجه به اینکه بیشترین اسانس گیاه دارویی رزماری در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی است (۱۱)، از این‌رو برای اندازه‌گیری شاخص‌های مذکور در اواسط مرحله گل‌دهی (۱۹۰ روز بعد از کشت)، با حذف ردیف‌های کناری در هر تکرار و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف، به‌منزله اثر حاشیه، از دو ردیف وسط، هر تکرار از هر تیمار، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد. بوته‌های برداشت‌شده به‌مدت سه هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، خشک شدند و سپس وزن خشک‌شده اندام رویشی اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری تعداد شاخه زایا، تعداد شاخه‌های ۱۰ بوته انتخاب‌شده از هر تیمار به‌طور دقیق شمارش شد.

همچنین، برای تعیین بهره‌وری آب از رابطه (۲) استفاده شد. درنهایت داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (در سطح یک درصد) انجام شد.

$$WP=Y_T/V_T \qquad (2)$$

که در آن: WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y_T: وزن خشک اندام رویشی (کیلوگرم) و V_T: مجموع تبخیر تعرق واقعی گیاه (مترمکعب) است.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۴) که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد خطا، معنی‌دار شد.

تحلیل آب مصرفی

همان‌طور که در جدول (۵) مشخص است حجم آب مصرفی در کل فصل رشد در تیمارهای مختلف بین ۱۶۱۰ تا ۲۴۱۰ مترمکعب در هکتار بود. اعمال سطوح $RDI_{۷۵}$ و $PRD_{۷۵}$ منتج به ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار نسبت به تیمار کامل آبیاری شد. این در حالی است که آبیاری بر اساس سطوح یاد شده صرفه‌جویی ۱۸/۶ درصدی را در کل دوره رشد نسبت به تیمار کامل آبیاری در پی داشت. همچنین صرفه‌جویی در سطوح $RDI_{۵۵}$ و $PRD_{۵۵}$ نسبت به تیمار

جدول ۴. خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	بهره‌وری آب	تعداد شاخه زایا	ارتفاع بوته
تکرار	۲	۲۱/۲	۵/۵۲	۱۰/۳۱	۵۷/۰۵
سطوح آبیاری	۴	۳۶۸/۴۱**	۰/۰۰۵**	۳۲/۲**	۱۷۴/۸**
خطا	۸	۳۷/۶۱	۰/۰۰۱	۴/۱۲	۲/۹۴
ضریب تغییرات	–	۴/۷۴	۴/۷۶	۱۲/۰۱	۴/۱۱

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد خطا

جدول ۵. حجم آب مصرفی در تیمارهای مورد بررسی (مترمکعب در هکتار)

تیمار	حجم آب مصرفی در کل فصل رشد	درصد کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل	حجم آب مصرفی در زمان اعمال تیمار	درصد کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل
آبیاری کامل	۲۴۵۰	–	۱۷۲۰	–
اعمال سطح ۷۵ درصد در کم‌آبیاری تنظیم‌شده	۱۹۹۵	۱۸/۶	۱۲۹۰	۲۵
اعمال سطح ۵۵ درصد در کم‌آبیاری تنظیم‌شده	۱۶۱۰	۳۴/۳	۹۴۶	۴۵
اعمال سطح ۷۵ درصد در آبیاری ناقص ریشه	۱۹۹۵	۱۸/۶	۱۲۹۰	۲۵
اعمال سطح ۵۵ درصد در آبیاری ناقص ریشه	۱۶۱۰	۳۴/۳	۹۴۶	۴۵

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سطوح آبیاری

تیمار	وزن خشک اندام هوایی (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد شاخه زایا
آبیاری کامل	۳۶۵۸^{a}	۱/۴۹^{c}	۶۰/۲^{a}	۱۱۳/۶^{a}
اعمال سطح ۷۵ درصد در کم‌آبیاری تنظیم‌شده	۲۹۹۰^{c}	۱/۴۹^{c}	۳۹/۴^{c}	۸۳/۴^{c}
اعمال سطح ۷۵ درصد در آبیاری ناقص ریشه	۳۴۱۱^{b}	۱/۷۱^{a}	۵۱/۶^{b}	۹۹/۸^{b}
اعمال سطح ۵۵ درصد در کم‌آبیاری تنظیم‌شده	۲۱۱۶^{e}	۱/۳۱^{d}	۲۲/۵^{d}	۴۷/۵^{d}
اعمال سطح ۵۵ درصد در آبیاری ناقص ریشه	۲۴۵۰^{d}	۱/۵۲^{b}	۳۲/۴^{c}	۷۱/۹^{c}

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد است

آبیاری کامل در طول دوره اعمال تیمار، ۴۵ درصد و در کل دوره رشد گیاه ۳۴/۳ درصد بود.

تحلیل وزن خشک اندام هوایی

جدول (۶) نشان‌دهنده مقایسه میانگین وزن خشک اندام رویشی است. با توجه به نتایج حاصل، تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) باعث ایجاد بالاترین وزن خشک اندام رویشی (۳۶۵۸ کیلوگرم در هکتار) شد و کمترین میزان وزن خشک اندام رویشی (۲۱۱۶ کیلوگرم در هکتار) در سطح تأمین ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط تنظیم‌شده (RDI_{55}) رخ داد و این تیمار در پایین‌ترین جایگاه آماری قرار گرفت. به‌طور کلی با کاهش میزان آب آبیاری، وزن خشک اندام رویشی به‌طور

معنی‌داری کاهش یافت که می‌تواند ناشی از تأثیر تنش رطوبتی بر اجزای وزن خشک اندام رویشی گیاه رزماری باشد. مطالعات صورت گرفته نشان داد که کاهش وزن خشک اندام رویشی در شرایط کم‌آبیاری را می‌توان به کاهش تعداد شاخه زایا، ارتفاع بوته، سطح و وزن برگ و ساقه گیاه رزماری نسبت داد (۱۷ و ۲۲). مصرف مناسب آب توسط گیاه در تیمار آبیاری کامل منجر به افزایش فعالیت برگ‌ها و فتوسنتز و درنتیجه افزایش وزن اندام رویشی گیاه می‌شود. این در حالی است که بروز تنش خشکی باعث از دست دادن آب سلول و سست شدن دیواره سلولی شد و از آنجا که تا زمانی سلول به‌اندازه کافی رشد نکند، فرایند تقسیم سلول انجام نخواهد شد، بنابراین تأثیر کمبود آب بر رشد سلول بیشتر است که درنهایت منجر به کاهش سطح برگ می‌شود (۲۵). کاهش سطح برگ و ریزش برگ‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرایند می‌شود و درنتیجه وزن توده گیاهی کاهش می‌یابد (۱۴ و ۱۹). نتیجه مطالعه‌ای نشان داد که کمبود آب در ناحیه توسعه ریشه گیاه رزماری، وزن خشک برگ‌ها و ساقه و ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا را کاهش داد که درنهایت باعث کاهش وزن خشک اندام رویشی و کند شدن روند رشد گیاه شد (۱۷).

از سوی دیگر، همان‌طور که از مقایسه میانگین وزن خشک اندام رویشی گیاه مشخص است (جدول ۶) وزن خشک اندام رویشی متأثر از شیوه آبیاری و نحوه توزیع آب در منطقه توسعه ریشه گیاه بود، به‌طوری که به‌ازای عمق آب آبیاری ثابت (جدول ۵)، میزان وزن خشک اندام رویشی در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه بالاتر از وزن خشک اندام رویشی به‌دست آمده از تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطوح آبیاری مشابه بود. در این خصوص وزن خشک اندام رویشی در سطوح تأمین ۷۵ و ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{۷۵}$ و $PRD_{۵۵}$) نسبت به سطوح مشابه در کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{۷۵}$ و $RDI_{۵۵}$) به‌ترتیب ۱۲/۳ و ۱۳/۶ درصد، بیشتر بود. پژوهشگران گزارش کردند کاهش میزان بازشدگی روزنه‌ها به‌دلیل تولید اسید آبسزیک اسید در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی و جلوگیری از هدررفت آب جذب شده، می‌تواند زمینه لازم را برای شادابی برگ، حفظ فتوسنتز و عدم تغییر معنی‌دار سطح برگ در تیمار آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل را فراهم آورد (۴ و ۹) از این‌رو بالاتر بودن شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه و رابطه مستقیم بین میزان فتوسنتز و شاخص سطح برگ می‌تواند دلیل بالاتر بودن عملکرد در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطوح مشابه باشد (۱ و ۲۱) که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر همسو است.

تحلیل تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته

مقایسه میانگین تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نشان داد (جدول ۶) که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر این دو صفت که از مؤثرترین شاخص‌های تعیین‌کننده عملکرد گیاه رزماری هستند (۱۵)، معنی‌دار است. به‌طوری که تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) باعث ایجاد بیشترین تعداد شاخه زایا (۱۱۳/۶) و ارتفاع بوته (۶۰/۲ سانتی‌متر) در انتهای فصل رشد شد. اعمال سطح ۷۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک در آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{۷۵}$)، باعث ایجاد اختلاف ۱۲/۱ و ۱۴/۳ درصدی به‌ترتیب در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) شد. این در حالی بود که سطح ۷۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{۷۵}$) در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته به‌ترتیب اختلاف ۲۶/۶ و ۳۴/۵ درصدی نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) داشت. سطح ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{۵۵}$) با وجود ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و با وجود کاهش ۱۳/۸ و ۱۷/۸ درصدی به‌ترتیب در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نسبت به سطح ۷۵ درصد اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{۷۵}$)، در هر دو صفت از لحاظ آماری در جایگاه یکسانی با سطح یاد شده قرار گرفت که نشان از

برتری نسبی اعمال آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده است.

مطالعات صورت گرفته نشان داد که شرایط محیطی از جمله تنش خشکی، به‌میزان زیادی ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا رزماری را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۳ و ۱۷). به‌طوری که طی بروز تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستی موجب نقصان پتانسیل فشاری به‌حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود (۲۷). این در حالی است که هر گونه کمبود رطوبت خاک موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم و کاهش توسعه سلولی به‌ویژه در ساقه و برگ می‌شود (۲۴). بنابراین اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع بوته، کوچک بودن برگ‌ها و کاهش تعداد شاخه زایا تشخیص داد (۱۳). اما در شرایط اعمال آبیاری ناقص ریشه، با افزایش حجم ریشه، تماس ریشه با خاک افزایش یافته، از این‌رو توانایی ریشه در جذب مواد غذایی از خاک نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده افزایش می‌یابد که درنهایت باعث عملکرد بهتر تیمار آبیاری ناقص ریشه می‌شود (۱۲).

تحلیل بهره‌وری آب

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین صورت گرفته به‌روش آزمون دانکن (جدول ۶)، می‌توان اذعان داشت که سطح تأمین ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{۵۵}$) با بهره‌وری آب ۱/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب در حالی از لحاظ آماری در جایگاه دوم قرار گرفت که نسبت به سطح تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI)، علاوه‌بر صرفه‌جویی ۴۵ درصدی در مصرف آب، از افزایش ۱/۲ درصدی در صفت بهره‌وری آب برخوردار بود. در این خصوص بررسی‌های صورت گرفته نشان از کارامدی این روش مدیریتی (اعمال کم‌آبیاری) در استفاده بهینه از هر واحد آب مصرفی و افزایش بهره‌وری آب گیاهان مختلف دارد (۲۲ و ۲۳) که با نتایج حاصل از مطالعه حاضر همخوانی دارند.

از طرف دیگر مقایسه میانگین بهره‌وری آب گیاه نشان داد (جدول ۶) که بیشترین میزان بهره‌وری آب متعلق به سطح تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{۷۵}$) با بهره‌وری آب ۱/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به سطح مشابه در شرایط کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{۷۵}$) و سطح تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) دارای افزایش ۱۲/۹ درصدی بود. نتیجه این امر در بسیاری از مطالعات، کاهش حجم آب مصرفی در تیمار آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل و عدم کاهش معنی‌دار عملکرد گزارش شد (۴ و ۹). همچنین، در روش آبیاری ناقص ریشه، درک کم‌آبی توسط سمت خشک ریشه، سبب تولید اسید آبسزیک در گیاه و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تنفس گیاه شود. از سوی دیگر جذب آب توسط سمت مرطوب ریشه سبب حفظ آب گیاه در سطح مطلوب و ادامه رشد آن می‌شود که این امر بهبود بهره‌وری آب در تیمارهای تحت اعمال آبیاری ناقص ریشه را در پی دارد (۱۸ و ۲۲).

نتیجه‌گیری

مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمارهای مورد بررسی بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. به‌طوری که با تأمین کامل نیاز آبی گیاه بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۳۶۵۸ کیلوگرم)، ارتفاع بوته (۶۰/۲ سانتی‌متر) و تعداد شاخه زایا (۱۱۳/۶) حاصل شد. از طرف دیگر سطح تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{۷۵}$)، باعث افزایش تمامی شاخص‌های رشد گیاه نسبت به سطح مشابه اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{۷۵}$)، شد. این در حالی بود که این تیمار ضمن صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب، افزایش ۱۲/۹ درصدی بهره‌وری آب را نسبت به تیمار آبیاری کامل در پی داشت. از آنجایی که سطح تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{۷۵}$)، با توسعه مناسب ریشه، امکان استفاده بهتر از رطوبت موجود در خاک را با وجود اعمال تنش رطوبتی فراهم آورد، بنابراین با درنظر گرفتن

مسائل مربوط به کمبود آب، می‌توان سطح تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{۷۵}$)، را به‌عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با بحران آب، برای حرکت به‌سمت یک سامانه کشاورزی پایدار توصیه کرد.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi, S. H., M. N. Andersen, F. Plauborg, R. T. Poulsen, C. R. Jensen, A. R. Sepaskhah and S. Hansen. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. *Journal of Agricultural Water Management* 97: 1486-1494.
2. Anomal. 2016. Statistical Calendar of Zahedan Province Meteorological Organization.
3. Colak, Y. B., A. Yazar, S. Sesveren and I. Colak. 2017. Evaluation of yield and leaf water potantial (LWP) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Journal of Scientia Horticulturae* 219: 10-21.
4. Consoli, S., F. Stango, D. Vanella, J. Boaga, G. Cassiani and G. Roccuzzo. 2017. Partial root-zone drying irrigation in orange orchards: Effects on water use and crop production characteristics. *European Journal of Agronomy* 82: 190-202.
5. Davies, W. J., M. A. Bacon, D. S Thompson, W. Sobeih and L. G. Rodriguez. 2000. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: Exploitation of the plant's chemical signaling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. *Journal of Experimental Botany* 51:1 617-1626.
6. Dry, P. R. and B. R. Loveys. 1998. Factors influencing grapevine vigor and the potential for control with partial root zone drying. Australian *Journal of Grape and Wine Research* 4: 140-148.
7. Du, S., S. Kang, F. Li and T. Du. 2017. Water use efficiency is improved by alternate partial root-zone irrigation of apple in arid northwest China. *Journal of Agricultural Water Management* 179: 184-192.
8. Gheysari, M., S. M. Mirlatif, M. Homaee, M. E. Asadi and G. Hoogenboom. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Journal of Agricultural Water Management* 96(6): 946-954.
9. Karandish, F. 2016. Improved soil-plant water dynamics and economic water use efficiency in a maize field under locally water stress. *Agronomy and Soil Science* 62(9): 1311-1323.
10. Khazaei, H. R., F. Nadjafi and M. Bannayan. 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass and oil production of thyme (*Thymus vulgaris*) and hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Journal of Industrial Crops and Products* 27: 315-321.
11. Leithy, S., T. El-Meseir and E. Abdallah. 2006. Effect of bio fertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on Rosemary herbage oil yield and quality. *Journal of Applied Sciences Research* 2(10): 773-779.
12. Limaa, R. S. N., A. A. Assis Figueiredoa, A. O. Martinsa, B. C. Deusa, T. M. Ferraza, M. Assis Gomesa, E. F. Sousab, D. M. Glennc and E. Campostrini. 2015. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity and water-use efficiency of mango. *Scientia Horticulturae* 183: 13–22.
13. Nicolas, E., T. Ferrandez, S. Rubio, J. Alarcon and J. Sanchez. 2008. Annual water status, development, and flowering patterns for Rosmarinus officinalis plants under different irrigation conditions. *Hortscience* 43: 1580-1585.
14. Paris, P., G. D. Matteo, M. Tarchi, L. Tosi, L, Spaccino and M. Lauteri. 2018. Precision subsurface drip irrigation increases yield while sustaining water use efficiency in Mediterranean poplar bioenergy plantations. *Journal of Forest Ecology and Management* 409: 749–756.
15. Rajoob, A., A. Massadeh and M. N. Omari. 2008. Evaluation of Pb, Cu, Zn, Cd, Ni and Fe levels in Rosmarinus officinalis (Rosemary) medicinal plant and soils in selected zones in Jordan. *Environment Monitor Assessment* 140: 61-68.
16. Romero, P., R. Gil-Munoza, H. Fernández-Fernández, F. Del Amorb, A. Martínez-Cutillasa and J. García-García. 2015. Improvement of yield and grape and wine composition in field-grown monastrell grapevines by partial root zone irrigation, in comparison with regulated deficit irrigation. *Journal of Agricultural Water Management* 149: 55–73.
17. Sardans, J., F. Roda and J. Penuelas. 2005. Effects of water and a nutrient pulse supply on Rosmarinus officinalis growth, nutrient content and flowering in the field. *Journal of Environmental and Experimental Botany* 53: 1-11.
18. Sarker, K. K., M. A. Akanda, S. H. Biswas, D. K. Roy, A. Khatun and M. A. Goftar. 2016. Field performance of alternate wetting and drying furrow irrigation on tomato crop growth, yield, water use efficiency, quality and profitability. *Journal of Integrative Agriculture* 15(10): 2380–2392.
19. Sepaskhah, A. R., S. H. Ahmadi. 2010. A review on partial root-zone drying irrigation. *International Journal of*

Plant Production 4 (4): 241-258.
20. Sezen, S. M., A. Yazar and S. Tekin. 2019. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. *Sciatica Horticulture* 245: 280–288.
21. Shahnazari, A., F. Liu, M. N. Andersen, S. E. Jacobsen and C. R. Jensen. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research* 100: 117-124.
22. Shahrokhnia, M. H. and A. L. Sepaskhah. 2017. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Journal of Industrial Crops and Products* 95: 126-139.
23. Shirzad, S., A. Hosein and R. Daliri. 2011. Influence of drought stress and interaction with salicylic acid on medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seedling growth. *Botany Research* 4: 35-40.
24. Sreevalli, Y., K. Baskaran, R. Chandrashekara and R. Kuikkarni. 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. *Medicinal and Aromatic Plant Science* 22: 356-358.
25. Taiz, L. and E. Ziger. 1991. Plant Physiology. Benjamin Publication. p. 346-356.
26. Terpinc, P., M. Bezjak and H. Abramovic. 2009. A kinetic model for evaluation of the antioxidant activity of several rosemary extracts. *Journal of Food Chemistry* 115(2): 740-744.
27. Topak, R., B. Acar, R. Uyanoz and E. Ceyhan. 2016. Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Journal of Agricultural Water Management* 176: 180-190.
28. Xu, H., F. Qin, F. Wang, Q. Xu, R. Wang, S. Shah, A. Zha and F. Li. 2009. Applications of xero psychophysiology in plant production-Partial root drying improves tomato crops. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 981-988.
29. Yazar, A., F. Gökçel and M. Sezen. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant, Soil and Environment* 55: 494-503.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 23, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Growth Traits of *Rosmarinus Officinalis L.* under Deficit Irrigation

A. Rigi Karvandri[1], A. Mehraban[1*], H. R. Ganjali[1], KH. Miri[2] and H. R. Mobser[1]

(Received: April 13-2019 ; Accepted: June 2-2019)

Abstract

Water scarcity is the most important factor constraining agricultural production all over the world and water shortage in agriculture must be established to use the deficit irrigation. In order to study the effects of the regulated deficit irrigation and partial root zone drying on the growth traits of *Rosmarinus Officinalis L.*, an experiment was conducted in the center of seed and plant production of IranShahr municipality in 2017. The experiment treatments were arranged as a randomized complete block design with three replications. The irrigation regimes consisted of full irrigation, regulated deficit (RDI_{75} and RDI_{55}) and partial root zone drying irrigation (PRD_{75} and PRD_{55}). The results showed that deficit irrigation at 75 and 55 percent of full irrigation resulted in saving 18.6 and 34.3 percent of water consumption, respectively. Comparison of full irrigation and PRD_{75} showed that dry weight, height of plants and number of shoots per plant were decreased by 6.7, 14.3 and 12.1 percent, respectively. However, proper development of root in PRD_{75} increased 12.9 percent of water productivity. Therefore, by considering the problems of water scarcity, it is possible to provide PRD_{75} as a superior treatment and a suitable strategy to cope with the water crisis in order to move towards a sustainable agricultural system.

Keywords: Partial root zone drying irrigation, Regulated deficit irrigation, Water productivity

1. Department of Agronomy, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.
2. Balochistan Agriculture Research Center, Balochistan, Iran.
*: Corresponding author: ahmadmehraban135@yahoo.com