



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

صفحه‌های ۲۸۹-۳۰۱

بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر توزیع ریشه و رشد رویشی گیاه رزماری

رسول اسدی^۱، فرزاد حسن پور^{۲*}، میترا مهربانی^۳، امین باقی‌زاده^۴، فاطمه کاراندیش^۲

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران.
۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران.
۳. استاد تمام، گروه فارماکوتکونوزی، مرکز تحقیقات داروهای گیاهی و سنتی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران.
۴. دانشیار گروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۹/۲۸

چکیده

به منظور ارزیابی نحوه توزیع ریشه و رشد اندام هوایی گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. در این مطالعه پنج تیمار آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی)، کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه هر کدام در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد آبیاری کامل، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در سطوح ۷۵ و ۵۵ درصد آبیاری کامل باعث صرفه‌جویی به ترتیب ۱۷/۱ و ۳۲/۶ درصدی در مصرف آب شد. مقایسه دو تیمار آبیاری کامل و تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه باعث کاهش ۵/۳ درصدی وزن خشک اندام هوایی، ۹/۸ درصدی ارتفاع بوته و ۸/۹ 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 ۱۲/۸ درصدی بهره‌وری آب، ۷/۳ درصدی وزن تر ریشه، ۲/۷ درصدی طول ریشه و ۱۰/۷ درصدی حجم ریشه را نسبت به تیمار آبیاری کامل در پی داشت. لذا 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 به سمت یک سامانه کشاورزی پایدار توصیه نمود.

کلیدواژه‌ها: آبیاری ناقص ریشه، آبیاری زیرسطحی، تنش خشکی، توسعه ریشه، گیاه دارویی.

مقدمه

در این راستا در بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد فلفل قرمز، پنج تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه به صورت ثابت و متغیر در سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل، بررسی شد. نتایج نشان داد که عملکرد حاصل از اعمال آبیاری ناقص ریشه به صورت متغیر در حالی بعد از آبیاری کامل، از لحاظ آماری در گروه پایین‌تری قرار گرفت که به رغم صرفه‌جویی ۳۵۰ میلی‌متری آب، با کارایی مصرف آب ۱۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب در بهترین جایگاه آماری قرار گرفت (۳۰). نتایج مقایسه دو تیمار آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۰ درصد بر عملکرد پرتقال، نشان داد که در روش آبیاری ناقص ریشه در سال ۲۰۱۴، عملکرد ۱۰ درصد افزایش یافت (۵). همچنین تأثیر آبیاری ثابت و متناوب شیارها (یک طرفه 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 (۲۸).

از طرف دیگر یکی از مهم‌ترین شاخص‌های گیاه که در اثر اعمال تنش رطوبتی به گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد، ریشه گیاه است (۲۰ و ۲۵). تحقیقات صورت‌گرفته نشان داد که رشد گیاهان تحت تنش خشکی اغلب به توانایی ریشه‌ها در جذب آب و انتقال آن به ساقه گیاه محدود می‌شود (۳۳) به عبارت دیگر حجم و ساختمان سیستم ریشه، تعیین‌کننده توانایی گیاهان در جذب آب و مواد غذایی است (۳). این در حالی است که مقدار آب در حال حرکت از ریشه به ساقه و سرعت آن

کم‌آبیاری نوعی مدیریت آب در مزرعه است که در آن گیاه درجه معینی از تنش خشکی را تحمل می‌کند به طوری که با استفاده مناسب‌تر از هر واحد آب آبیاری، عملکرد بهینه از محصولات کشاورزی به دست آید (۲۴ و ۴۳). در سال‌های اخیر، روش‌های نوین مدیریت آب با رویکرد مقابله با بحران جهانی آب و در راستای افزایش بهره‌وری آب شکل گرفته که می‌توان به روش‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده^۱ و آبیاری ناقص ریشه^۲ اشاره نمود. در روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده میزان آب داده شده به گیاه کم‌تر از حد مورد نیاز آن است (۴)، به طوری که تأثیر منفی اعمال این نوع تنش در کاهش شاخص‌های مهم رشد ریشه از جمله وزن خشک ریشه و حجم ریشه در تحقیقات متعددی گزارش شده است (۲۶ و ۴۰).

در روش آبیاری ناقص ریشه، منطقه ریشه به نواحی مختلف تقسیم و در هر نوبت آبیاری، یک یا چند ناحیه مرطوب شده و نواحی دیگر خشک رها می‌شوند (۲ و ۳۹). تکرار متناوب آن می‌تواند تغییراتی در ساختار فیزیولوژیک گیاه ایجاد نماید که آن را از روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده متمایز می‌سازد (۱۵ و ۴۱). به طوری که خشک و تر نمودن متناوب ریشه، انتقال اسید آبسسیک از ریشه‌های بخش خشک خاک به اندام هوایی که منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای برگ می‌شود، در پی دارد و هم‌زمان بخش مرطوب ریشه با جذب آب، وضعیت آبی اندام هوایی را در حد مطلوب حفظ می‌کند (۱۶ و ۱۷). از جمله نتایج تغییر در ریشه گیاه در شرایط اعمال آبیاری ناقص ریشه می‌توان به افزایش غلظت شیره آوندی و کاهش هدایت روزنه‌ای (۲۹)، افزایش کارایی مصرف آب (۲۶) و عدم کاهش در کمیت و کیفیت محصول (۱۴) اشاره نمود.

1. Regulated deficit irrigation
2. Partial root zone drying irrigation

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی نحوه توزیع ریشه و رشد اندام هوایی گیاه دارویی رزماری، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵، در زمینی به مساحت ۳۶۰ متر مربع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، به اجرا در آمد. مزرعه مورد مطالعه در شهر کرمان در محدوده طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۲ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه و ارتفاع ۱۷۹۹ متر از سطح دریا واقع شده که میانگین بارندگی، دما و تبخیر سی ساله آن به ترتیب ۱۲۹ میلی‌متر، ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۴۸ میلی‌متر است (۱). در این آزمایش پنج تیمار، آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی (FI))، کم آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵ درصد (RDI₇₅) و ۵۵ درصد (RDI₅₅) آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ درصد (PRD₇₅) و ۵۵ درصد (PRD₅₅) آبیاری کامل، مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها در کرت‌هایی به عرض سه و طول پنج متر (شامل ۴ ردیف کشت به فاصله ۰/۷۵ متر و فاصله بوته ۰/۵ متر از یکدیگر) اجرا شد.

قبل از عملیات کشت نمونه برداری از خاک و آب مورد استفاده انجام شد و تجزیه ویژگی‌های آن‌ها در جدول‌های (۱) و (۲) آمده است. لذا با توجه به نتایج تجزیه خاک و آب و توصیه آزمایشگاه خاک و آب، قبل از عملیات کشت ۱۲۰، ۱۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب کود نیتروژن از منبع اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به خاک مزرعه تزریق شد. همچنین در این تحقیق پس از دریافت نهال یک ساله رزماری از خزانه ایستگاه تحقیقاتی نهال و بذر شهرداری شهر کرمان، عملیات کشت در اواخر فروردین ماه انجام شد.

تعیین‌کننده غلظت مواد انتقال یافته به ساقه است (۸). همچنین شدت رشد ریشه، تعیین‌کننده تغییرات رشد اندام هوایی گیاه است (۱۸). مطالعات صورت گرفته نشان داد که توسعه سیستم ریشه گیاهان علاوه بر این که یک خصوصیت ژنتیکی می‌باشد، به وضعیت محیطی رشد گیاه بستگی دارد (۴۰). به طوری که روند توزیع زمانی و مکانی رطوبت خاک در نتیجه اعمال آبیاری ناقص ریشه، مهم‌ترین عامل ایجاد تغییرات ریشه گیاه است (۳۲)، که می‌تواند میزان جذب آب و عناصر غذایی از خاک و در نتیجه روند توسعه اندام هوایی را تحت تأثیر قرار دهد (۱۱). نتایج مطالعات انجام شده حاکی از آن است که توزیع خاص رطوبت در خاک در روش آبیاری ناقص ریشه موجب افزایش تولید ریشه‌های ثانویه و همچنین گسترش بیشتر ریشه‌های اولیه درخت سیب (۷)، افزایش رشد ریشه بوته‌های انگور (۶) و افزایش جرم ریشه درخت پرتقال (۵) شد. در نتیجه با تولید بیشتر هورمون آبسسیک اسید، موجب افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه‌های گوجه‌فرنگی (۱۹) و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی از خاک و افزایش عملکرد گیاه شد (۴۲).

به طور کلی ریشه گیاه مشابه پلی رابط بین گیاه و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک عمل می‌کند. همچنین از آنجایی که بازشدگی روزه‌های برگ و عملکرد گیاه با جذب آب و مواد غذایی توسط سیستم ریشه گیاه کنترل می‌شود لذا شناخت و مطالعه نحوه پراکندگی و تراکم ریشه، به منظور مدیریت آبیاری به موضوع مورد علاقه پژوهشگران تبدیل شده است. در این راستا مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری تنظیم شده بر تغییرات سیستم ریشه و اندام هوایی گیاه دارویی رزماری که از با ارزش‌ترین گیاهان دارویی محسوب می‌شود، انجام شد.

رسول اسدی، فرزاد حسن پور، میترا مهربانی، امین باقی زاده، فاطمه کاراتدیش

جدول ۱. نتایج تجزیه برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام تحقیق در اعماق مختلف

عمق خاک (cm)	بافت خاک	درصد وزنی رطوبت		وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	اسیدیته	شوری (ds/m)	فسفات (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	نیترژن کل (%)
		ظرفیت زراعی	پژمردگی دائم						
۰-۱۰	رسی	۲۱/۶۵	۸/۶۳	۱/۳۹	۷/۹۱	۰/۴	۱/۳	۱۲۶/۷	۰/۱۴
۱۰-۲۰	رس سیلتی	۲۲/۳۹	۸/۷۱	۱/۴۲	۷/۹۴	۰/۴	۱/۲	۱۱۸/۹	۰/۱۲
۲۰-۳۰	رس سیلتی	۲۳/۴۲	۹/۴۳	۱/۴۱	۷/۹۲	۰/۴	۰/۹	۱۰۴/۲	۰/۱۲
۳۰-۵۰	رس سیلتی	۲۳/۷۵	۹/۷۴	۱/۴۲	۷/۹۶	۰/۳	۰/۹	۹۱/۹	۰/۱۱
۵۰-۷۰	رس سیلتی	۲۳/۵۴	۹/۴۹	۱/۴۲	۷/۹۶	۰/۳	۰/۶	۷۵/۲	۰/۰۹
۷۰-۹۰	رس سیلتی	۲۲/۹۶	۹/۱۱	۱/۴۴	۷/۹۷	۰/۳	۰/۶	۶۶/۷	۰/۰۶

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد مطالعه

اسیدیته	شوری (ds/m)	آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول (mg.L)						
		بی‌کربنات	کلر	سولفات	منگنز	کلسیم	پتاسیم	سدیم
۷/۱	۰/۷	۴/۶	۹	-	۶/۳	۴/۵	۴/۵	۲/۵

آب آبیاری، قبل از هر نوبت آبیاری، با نمونه‌برداری از اعماق ۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۰ و ۷۰ تا ۹۰ سانتی‌متری خاک، رطوبت موجود در تیمار شاهد (آبیاری کامل) اندازه‌گیری و میزان عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (۹). لازم به ذکر است که فاصله لوله آبرسان تا محل نمونه‌برداری در حدود ۱۰ سانتی‌متر بود.

$$D_I = \sum_{j=1}^6 ((\theta_{FCj} - \theta_{BIj}) \times D_j) \quad (1)$$

که در این رابطه، D_I : عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، θ_{FCj} : درصد رطوبت وزنی در نقطه رطوبتی ظرفیت زراعی در لایه j ام، θ_{BIj} : درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری در لایه j ام و D_j : ضخامت هر لایه است. حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری در تیمار آبیاری کامل در کل فصل رشد و در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری تنظیم‌شده نیز تا ۴۰ روز بعد از عملیات کاشت (پس از استقرار گیاه)، با ضرب نمودن عمق آب آبیاری (رابطه ۱) در مساحت هر کرت، به دست آمد (۹). پس از استقرار

در این مطالعه جهت آبیاری بوته‌ها از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با قطره‌چکان از نوع نتافیم با دبی ۲ لیتر بر ساعت استفاده شد. برای هر ردیف کشت، دو لوله‌های آبرسان با فاصله حدوداً ۱۵ سانتی‌متری نسبت به ردیف کشت تعبیه شد که در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم‌شده، در هر نوبت آبیاری، هر دو سمت گیاه، آبیاری شد. اما در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، در هر نوبت آبیاری، به صورت متناوب، فقط یک طرف ردیف کشت، آبیاری شد. در تیمارهای روش آبیاری ناقص ریشه، به منظور اطمینان از خشک بودن نیمی از ریشه به هنگام آبیاری نیمه دیگر، در هر سه نوبت آبیاری نسبت به تعویض جهت آبیاری از یک سمت ریشه به سمت دیگر اقدام شد. لازم به ذکر است که لوله آبرسان در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک قرار گرفت و فاصله بین دو قطره‌چکان متوالی روی هر لوله آبرسان ۵۰ سانتی‌متر بود. با توجه به این که دور آبیاری برای تمامی تیمارها ثابت و هر چهار روز یک مرتبه بود، لذا به منظور تعیین عمق

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

بررسی تأثیر کم آبیاری بر توزیع ریشه و رشد رویشی گیاه رزماری

نهایت داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (در سطح یک درصد) انجام شد.

نتایج و بحث

تحلیل میزان آب مصرفی

بررسی‌های صورت‌گرفته نشان داد که مدیریت آبیاری رزماری به دلیل تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای که بر شاخص‌های رشد گیاه دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۷). در این راستا همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است حجم آب مصرفی در کل فصل رشد در تیمارهای مختلف بین ۱۲۸۳ تا ۱۹۰۳ مترمکعب در هکتار بود. در این خصوص میزان آب مصرفی گیاه رزماری در آبیاری قطره‌ای سطحی در کل فصل رشد در مطالعه‌ای در جنوب شرقی اسپانیا، بین ۸۰ تا ۱۶۷ میلی‌متر برآورد شد (۲۱). با توجه به جدول ۳، اعمال سطوح RDI_{75} و PRD_{75} 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 یادشده صرفه‌جویی ۱۷/۱ درصدی را در کل دوره رشد نسبت به تیمار کامل آبیاری در پی داشت. همچنین صرفه‌جویی در سطوح RDI_{55} و PRD_{55} نسبت به تیمار آبیاری کامل در طول دوره اعمال تیمار، ۴۵ درصد و در کل دوره رشد گیاه ۳۲/۶ درصد بود. پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که اگرچه میزان آب داده‌شده در تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه در سطوح مشابه، یکسان است، اما مقادیر متفاوت در جذب رطوبت خاک به‌وسیله ریشه در این دو روش، می‌تواند زمینه لازم برای ایجاد اختلاف بین مقادیر عملکرد و اجزای رشد گیاه در این تیمارها را فراهم آورد (۳۹).

گیاه و از زمان شروع اعمال تیمارها تا انتهای فصل کشت، تیمارهای RDI_{75} و PRD_{75} ، ۷۵ درصد و تیمارهای RDI_{55} و PRD_{55} ، ۵۵ درصد از حجم آب محاسبه‌شده در تیمار آبیاری کامل را در طول دوره اعمال تیمار دریافت کردند. برای مقایسه تیمارها، پارامترهای رشد ریشه از جمله وزن تر، حجم و طول ریشه و شاخص‌های رشد گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌زایا و وزن خشک اندام رویشی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس با توجه به این‌که بیشترین آسانس گیاه دارویی رزماری در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی می‌باشد (۱۳)، لذا برای اندازه‌گیری شاخص‌های مذکور در اواسط مرحله گل‌دهی (۱۹۰ روز بعد از کشت)، با حذف ردیف‌های کناری در هر تکرار، به‌منزله اثر حاشیه، از دو ردیف وسط، هر کرت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد. بوته‌های برداشت‌شده به مدت سه هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، خشک شدند و سپس وزن خشک شده اندام رویشی اندازه‌گیری شد. لازم به‌ذکر است که در زمان گل‌دهی گیاه، جهت اندازه‌گیری خصوصیات ریشه هر تیمار، پس از جدا نمودن قسمت هوایی گیاه از روی سطح خاک، ریشه بوته مدنظر را به‌طور کامل از خاک خارج نموده و پس از شست‌وشوی کامل، ارتفاع ریشه‌ای که دارای بیشترین طول بود با متر اندازه‌گیری شد همچنین وزن ریشه را با ترازوی با دقت ۰/۱ گرم توزین گردید. همچنین حجم ریشه توسط استوانه مدرج (قانون ارشمیدس) برحسب سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد. همچنین برای تعیین بهره‌وری آب از رابطه (۲) استفاده شد.

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

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

تجزیه واریانس

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

تحلیل اندام هوایی

مقایسه میانگین صورت گرفته به روش آزمون دانکن نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر وزن خشک اندام رویشی در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار شد (جدول ۵). لذا با توجه به نتایج حاصل می‌توان اذعان داشت که تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) باعث ایجاد بالاترین وزن خشک اندام رویشی (۴۴۰۴/۲) کیلوگرم در هکتار) شد و کم‌ترین میزان وزن خشک اندام رویشی (۲۳۲۵/۵ کیلوگرم در هکتار) در سطح تأمین ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط تنظیم شده (RDI₅₅) 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 (۲۷ و ۳۸). مصرف مناسب آب توسط گیاه در تیمار آبیاری کامل منجر به افزایش فعالیت برگ‌ها و فتوسنتز و در نتیجه 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 شده و از آن‌جاکه تا زمانی سلول به اندازه کافی رشد نکند، فرآیند تقسیم سلول انجام نخواهد شد، لذا تأثیر کمبود آب بر رشد سلول بیشتر است که در نهایت منجر به کاهش سطح برگ می‌شود (۳۷). کاهش سطح برگ و ریزش برگ‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی و افت فعالیت آنزیم‌های موثر بر این فرآیند می‌گردد و در نتیجه وزن توده گیاهی کاهش می‌یابد (۲۲ و ۲۹). 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 در نهایت باعث کاهش وزن خشک اندام رویشی و کند شدن روند رشد گیاه شد (۲۷).

جدول ۳. حجم آب مصرفی در تیمارهای آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI) و آبیاری ناقص ریشه (PRD)

تیمار	حجم آب مصرفی در کل فصل رشد (m ³ .h)	میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (%)	حجم آب مصرفی در زمان اعمال تیمار (m ³ .h)	میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (%)
FI	۱۹۰۳	-	۱۳۲۶	-
RDI ₇₅	۱۵۷۷	۱۷/۱	۹۹۴	۲۵
RDI ₅₅	۱۲۸۳	۳۲/۶	۷۲۸	۴۵
PRD ₇₅	۱۵۷۷	۱۷/۱	۹۹۴	۲۵
PRD ₅₅	۱۲۸۳	۳۲/۶	۷۲۸	۴۵

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

بررسی تأثیر کم آبیاری بر توزیع ریشه و رشد رویشی گیاه رزماری

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک اندام رویشی	بهره‌وری آب	تعداد شاخه زایا	ارتفاع بوته	وزن تر ریشه
تکرار	۲	۲۱/۲	۰/۰۰۱	۹/۲	۲۲/۹	۰/۰۹
سطوح آبیاری	۴	۱۱۴۵/۲**	۰/۰۰۵**	۴۴/۵**	۲۵۱/۴**	۰/۸**
خطا	۸	۱۶/۳	۰/۰۰۵	۲/۱	۱۶۱/۱	۰/۰۱

** : معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

مقایسه میانگین تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نشان داد (جدول ۵) اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر این دو صفت که از مؤثرترین شاخص‌های تعیین‌کننده عملکرد گیاه رزماری می‌باشند (۱۳)، معنی دار است. به طوری که تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) باعث ایجاد بیشترین تعداد شاخه زایا (۱۲۸/۷) و ارتفاع بوته (۶۷/۴ سانتی‌متر) در انتهای فصل رشد شد. اعمال سطح ۷۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک در آبیاری ناقص ریشه (PRD₇₅)، باعث ایجاد اختلاف ۸/۹ و ۹/۸ درصدی به ترتیب 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 کم آبیاری تنظیم شده (RDI₇₅) در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته به ترتیب اختلاف ۲۳/۵ و ۳۲/۳ درصدی نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) داشت. سطح ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه (PRD₅₅) با وجود ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و به‌رغم کاهش ۱۲/۸ و ۲۰/۷ درصدی به ترتیب در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نسبت به سطح ۷۵ درصد اعمال شده در کم آبیاری تنظیم شده (RDI₇₅)، در هر دو صفت از لحاظ آماری در جایگاه یکسانی با سطح یادشده قرار گرفت که نشان از برتری نسبی اعمال آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم آبیاری تنظیم شده است. مطالعات صورت‌گرفته نشان داد که شرایط محیطی از جمله تنش خشکی، به میزان زیادی ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا رزماری را تحت تأثیر

از سوی دیگر، همان‌طور که از مقایسه میانگین وزن خشک اندام رویشی گیاه مشخص است (جدول ۵) وزن خشک اندام رویشی متأثر از شیوه آبیاری و نحوه توزیع آب در منطقه توسعه ریشه گیاه بود، به طوری که به‌ازای عمق آب آبیاری ثابت (جدول ۳)، میزان وزن خشک اندام رویشی در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه بالاتر از وزن خشک اندام رویشی به‌دست‌آمده از تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده 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 (PRD₇₅ و PRD₅₅) نسبت به سطوح مشابه در کم آبیاری تنظیم شده (RDI₇₅ و RDI₅₅) به ترتیب ۱۱/۷ و ۱۵/۴ درصد، بیشتر بود. پژوهشگران گزارش نمودند کاهش میزان بازشدگی روزنه‌ها به دلیل 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 (۵) و (۱۱)، لذا 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 کم آبیاری تنظیم شده در سطوح مشابه باشد (۲، ۳۲ و ۳۶) که با نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر هم‌سو است.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

رطوبت خاک در آبیاری ناقص ریشه (PRD₇₅) به دست آمد که از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با مقادیر به دست آمده از آبیاری کامل (FI) نداشت. مطالعات صورت گرفته علت این نتیجه را شیوه خاص آبیاری ناقص ریشه دانستند که باعث افزایش ریشه های ثانویه می شود (۲۹). این در حالی است که اعمال تنش آبی در تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده در حد معنی داری باعث کاهش وزن تر، طول و حجم ریشه نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) شد. پژوهش های صورت گرفته نشان داد که کاهش رشد ریشه در شرایط کم آبیاری تنظیم شده ممکن است به علت از دست رفتن اتساع سلولی و کاهش فعالیت میتوزی یا مهار طولی شدن سلول ها باشد (۳۱).

جدول ۶. مقایسه میانگین پارامترهای ریشه گیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری به روش آزمون دانکن

تیمار	وزن تر ریشه (g)	طول ریشه (cm)	حجم ریشه (cm ³)
FI	۳/۸ ^a	۱۷/۷ ^a	۲/۵ ^a
RDI ₇₅	۲/۸ ^b	۱۴/۵ ^b	۲/۲ ^b
RDI ₅₅	۱/۳ ^d	۱۱/۷ ^c	۱/۵ ^c
PRD ₇₅	۴/۱ ^a	۱۸/۲ ^a	۲/۸ ^a
PRD ₅₅	۱/۹ ^c	۱۴/۹ ^b	۱/۹ ^b

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد است.

همچنین مقایسه میانگین پارامترهای ریشه نشان دهنده بیشتر بودن مقادیر اندازه گیری شده ریشه در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه نسبت به مقادیر به دست آمده در تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده با سطوح مشابه تنش بود. تأثیر متفاوت اعمال تنش به روش آبیاری ناقص ریشه بر ویژگی های رشد ریشه در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (۱۰ و ۲۸). گزارش های به دست آمده نشان داد که آنچه باعث تفاوت در رشد ریشه بین روش آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری تنظیم شده، می شود متناوب

قرار می دهد (۲۱ و ۲۷). به طوری که طی بروز تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب بافت های مریستمی موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول ها می شود (۱۹ و ۴۳). این در حالی است که هرگونه کمبود رطوبت خاک موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم و کاهش توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ می شود (۳۵). لذا اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاه را می توان از روی کاهش ارتفاع بوته، کوچک بودن برگ ها و کاهش تعداد شاخه زایا تشخیص داد (۱۲ و ۲۱). اما در شرایط اعمال آبیاری ناقص ریشه، با افزایش حجم ریشه، تماس ریشه با خاک افزایش یافته، لذا توانایی ریشه در جذب مواد غذایی از خاک نسبت به کم آبیاری تنظیم شده افزایش می یابد که در نهایت باعث عملکرد بهتر تیمار آبیاری ناقص ریشه می شود (۱۴ و ۲۳).

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری به روش آزمون دانکن

تیمار	وزن خشک اندام رویشی (kg.h)	ارتفاع بوته (cm)	تعداد شاخه زایا
FI	۴۴۰۴/۲ ^a	۶۷/۴ ^a	۱۲۸/۷ ^a
RDI ₇₅	۳۳۸۰/۸ ^c	۴۶/۳ ^c	۹۸/۵ ^c
RDI ₅₅	۲۶۲۷/۷ ^e	۲۸/۳ ^d	۶۰/۴ ^d
PRD ₇₅	۴۱۷۱/۵ ^b	۶۱/۷ ^b	۱۱۷/۲ ^b
PRD ₅₅	۳۱۰۵/۱ ^d	۳۶/۷ ^c	۸۵/۹ ^c

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد است.

تحلیل پارامترهای ریشه

در این بررسی، پارامترهای ریشه گیاه در یک مرحله (انتهای فصل رشد) اندازه گیری شد. لذا با توجه به جدول ۶ که نشان دهنده مقایسه میانگین پارامترهای اندازه گیری شده ریشه گیاه است، می توان مطرح نمود که درحالی بیشترین وزن تر، طول و حجم ریشه در شرایط اعمال ۷۵ درصد جبران کمبود

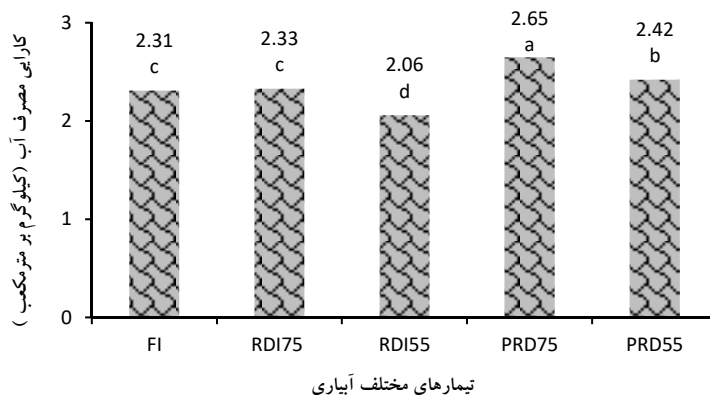
بررسی تأثیر کم آبیاری بر توزیع ریشه و رشد رویشی گیاه رزماری

صورت گرفته نشان از کارآمدی این روش مدیریتی (اعمال کم آبیاری) در استفاده بهینه از هر واحد آب مصرفی و افزایش بهره‌وری آب گیاهان مختلف دارد (۳۴ و ۳۵) که با نتایج حاصل از مطالعه حاضر هم‌خوانی دارند. از طرف دیگر مقایسه میانگین بهره‌وری آب گیاه نشان داد (شکل ۱) که بیشترین میزان بهره‌وری آب متعلق به سطح تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه (PRD₇₅) با بهره‌وری آب ۲/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به سطح مشابه در شرایط کم آبیاری تنظیم شده (RDI₇₅) و سطح تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) دارای افزایش ۱۲/۸ 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 (۵ و ۱۱). همچنین، در روش آبیاری ناقص ریشه، درک کم آبی 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 (۱۰ و ۲۳).

خشک و تر شدن ریشه در آبیاری ناقص ریشه است. آبیاری مجدد بخشی از ریشه که مدتی خشک باقی مانده است، زمینه لازم برای ایجاد برخی تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه را فراهم می‌آورد به طوری که با ایجاد تغییراتی در سامانه توزیع ریشه، میزان و شدت جذب آب از خاک را بهبود می‌بخشد. اما شیوه اعمال تنش در کم آبیاری تنظیم شده باعث تغییرات آناتومیکی مضر در سامانه ریشه مانند از بین رفتن اپیدرم، کورتکس و شادابی ریشه می‌شود که در نهایت کاهش جذب آب و مواد مغذی را به دنبال دارد (۲۹).

تحلیل بهره‌وری آب

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین صورت گرفته به روش آزمون دانکن (شکل ۱)، می‌توان اذعان داشت که سطح تأمین ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه (PRD₅₅) با بهره‌وری آب ۲/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب در حالی از لحاظ آماری در جایگاه دوم قرار گرفت که نسبت به سطح تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI)، علاوه بر صرفه‌جویی ۴۵ درصدی در مصرف آب، از افزایش ۴/۵ درصدی در صفت بهره‌وری آب برخوردار بود. در این خصوص بررسی‌های



شکل ۱. مقایسه میانگین بهره‌وری تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد است.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

4. Asadi R, Kouhi N and Yazdanpanah N (2012) Applicability of micro irrigation system on cotton yield and water use efficiency. Food, Agriculture and Environment. 10: 302-306.
5. Consoli S, Stango F, Vanella D, Boaga J, Cassiani G and Rocuzzo G (2017) Partial root-zone drying irrigation in orange orchards: Effects on water use and crop production characteristics. Agronomy. 82: 190-202.
6. Dry PR and Loveys BR (1998) Factors influencing grapevine vigor and the potential for control with partial root zone drying. Grape and Wine Research. 4: 140-148.
7. Du S, Kang S, Li F and Du T (2017) Water use efficiency is improved by alternate partial root-zone irrigation of apple in arid northwest China. Agricultural Water Management. 179: 184-192.
8. Franco JA, Banon S, Vicente MJ, Miralles J, Martinez-Sanchez JJ (2011) Root development in horticultural plants grown under abiotic stress conditions-a review. Horticulture Science Biotechnology. 86: 543-556.
9. Gheysari M, Mirlatif SM, Homae M, Asadi ME and Hoogenboom G (2009) Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. Agricultural Water Management 96 (6): 946-954.
10. Ghrab M, Gargouri K, Bentaher H, Chartzoulakisc K, Ayadia M, Mimound MB, Masmoudid MM, Mechliad NB and Psarrasc G (2013) Water relations and yield of olive tree (cv. Chemlali) in response to partial root-zone drying (PRD) irrigation technique and salinity under arid climate. Agricultural Water Management. 123: 1-11.
11. 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.
12. Khosh-Khui M, Ashiri F and Sahakhiz MJ (2012) Effects of irrigation regimes on antioxidant activity and total phenolic content of thyme (*Thymus vulgaris* L.). Medicinal & Aromatic Plants. 1: 1-7.
13. Leithy S, El-Meseir T and Abdallah E (2006) Effect of bio fertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on Rosemary herbage oil yield and quality. Applied Sciences Research. 2 (10): 773-779.
14. Limaa RSN, Assis Figueiredoa FAMM, Martinsa AO, Deusa BCS, Ferraza TM, Assis Gomesa MM, Sousab EF, Glenn DM and Campostrini E (2015) Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity and water-use efficiency of papaya. Scientia Horticulture. 183: 13-22.

نتیجه گیری

مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمارهای موردبررسی بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی دار بود. به طوری که با تأمین کامل نیاز آبی گیاه بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۴۰۴/۲ کیلوگرم)، ارتفاع بوته (۶۸/۴ سانتی متر) و تعداد شاخه زایا (۱۲۸/۷) حاصل شد. از طرف دیگر سطح تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه (PRD₇₅)، باعث افزایش تمامی شاخص های رشد گیاه نسبت به سطح مشابه اعمال شده در کم آبیاری تنظیم شده (RDI₇₅)، شد. این در حالی بود که این تیمار ضمن صرفه جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب، افزایش ۱۲/۸ درصدی بهره وری آب، ۷/۳ درصدی وزن تر ریشه، ۲/۷ درصدی طول ریشه و ۱۰/۷ درصدی حجم ریشه را نسبت به تیمار آبیاری کامل در پی داشت. از آنجایی که سطح تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه (PRD₇₅)، با توسعه مناسب ریشه، امکان استفاده بهتر از رطوبت موجود در خاک را به رغم اعمال تنش رطوبتی فراهم آورد، لذا با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می توان سطح تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه (PRD₇₅)، را به عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با بحران آب، برای حرکت به سمت یک سامانه کشاورزی پایدار توصیه نمود.

منابع

۱. بی نام. ۱۳۹۵. آمارنامه سازمان هواشناسی استان کرمان.
2. Ahmadi SH, Andersen MN, Plauborg F, Poulsen RT, Jensen CR, Sepaskhah AR and Hansen S (2010) Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. Agricultural Water Management. 97: 1486-1494.
3. Alvarez S, Navarro A, Nicolas E, Sanchez-Blanco MJ (2011) Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in Callistemon plants during drought conditions. Scientia Horticulture. 129: 306-312.

15. Liu F, Liang J, Kang Sh and Zhang J (2007) Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. *Plant and Soil*. 295: 279-291.
16. Loveys BR (1991) What use is knowledge of ABA physiology for crop improvement? In environmental plant biology. *Physiology and Biochemistry of Abscisic Acid*. Oxford: Bios Scientific Publishers. 245-259.
17. Loveys BR and Düring H (1984) Diurnal changes in water relations and abscisic acid in field-grown *Vitis vinifera* cultivars. II. Abscisic acid changes under semi-arid conditions. *New Phytologist*. 97: 37-47.
18. Ma SC, Li FM, Xu BC, Huang ZB (2010) Effect of lowering the root/shoot ratio by pruning roots on water use efficiency and grain yield of winter wheat. *Field Crops Research*. 115: 158-164.
19. Marjanović M, Jovanović Z, Stikić R and Radović B (2015) The Effect of partial root-zone drying on tomato fruit growth. *Procedia Environmental Sciences*. 29: 87-98.
20. Mehrvarz S, Chaichi MR, Hashemi M and Parsinejad M (2013) Yield and Growth Response of Maize (*Zea mays* L.S.C. 704) to Surfactant under Deficit Irrigation. *Plant and Animal Sciences*. 1(3):42-48.
21. Nicolas E, Ferrandez T, Rubio S, Alarcon J and Sanchez J (2008) Annual water status, development, and flowering patterns for *Rosmarinus officinalis* plants under different irrigation conditions. *Scientia Horticulture*. 43: 1580-1585.
22. Paris P, Matteo G.D, Tarchi M, Tosi L, Spaccino L and Lauteri M (2018) Precision subsurface drip irrigation increases yield while sustaining water use efficiency in Mediterranean poplar bioenergy plantations. *Forest Ecology and Management*. 409: 749-756.
23. Parvizi H, Sepaskhah AR and Ahmadi SH (2014) Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit yields and water productivity of a pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) orchard. *Agricultural Water Management*. 146: 45-56.
24. Qadir M (2003) Agricultural water management in water starved countries: Challenges and opportunities. *Agricultural Water Management*. 62: 165-185.
25. Rattan R, Datta S, Chhonkar P, Suribabu K and Singh P (2005) Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 109: 310-322.
26. Romero P, Gil Munoz R, Fernández-Fernández, I, Del Amor F, Martínez-Cutillas A and García-García J (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. *Agricultural Water Management*, 149: 55-73.
27. Sardans J, Roda F and Penuelas J (2005) Effects of water and a nutrient pulse supply on *Rosmarinus officinalis* growth, nutrient content and flowering in the field. *Environmental and Experimental Botany*. 53: 1-11.
28. Sarker KK, Akanda MA, Biswas SH, Roy DK, Khatun A and Gofar MA (2016) Field performance of alternate wetting and drying furrow irrigation on tomato crop growth, yield, water use efficiency, quality and profitability. *Integrative Agriculture*. 15(10): 2380-2392.
29. Sepaskhah AR and Ahmadi SH (2010) A review on partial root-zone drying irrigation. *Plant Production*. 4 (4): 241-258.
30. Sezen SM, Yazar A and Tekin S (2019) Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulture*. 245: 280-288.
31. Shah FR, Ahmad N, Masood KR and Zahid DM (2008) The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia sissoo roxb.*) seedlings. *Pakistan Botany*. 40 (4): 1341-1348.
32. Shahnazari A, Liu F, Andersen MN, Jacobsen SE and Jensen CR (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.
33. Shahrokhnia MH and Sepaskhah AL (2017) Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products*. 95: 126-139.
34. Shirzad S, Hosein A and Daliri R (2011) Influence of drought stress and interaction with salicylic acid on medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seedling growth. *Botany Research*. 4: 35-40.
35. Sreevalli Y, Baskaran K, Chandrashekara R and Kuikkarni R (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.
36. Sun Y, Holm PE and Liu F (2014) Alternate partial root-zone drying irrigation improves fruit quality in tomatoes. *Horticultural Science*. 41 (4): 185–191.
37. Taiz L and Ziger E (1991) *Plant Physiology*. Benjamin Publication. p. 346-356.
38. Terpin P, Bezjak M and Abramovic H (2009) A kinetic model for evaluation of the antioxidant activity of several rosemary extracts. *Food Chemistry*. 115 (2): 740-744.
39. Topak R, Acar B, Uyanoz R and Ceyhan E (2016) Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management*. 176: 180-190.
40. Tsakmakis ID, Kokkos NP, Gikas GD, Pisinaras V, Hatzigiannakis E, Arampatzis G and Sylaios GK (2019) Evaluation of AquaCrop model simulations of cotton growth under deficit irrigation with an emphasis on root growth and water extraction patterns. *Agricultural Water Management*. 213: 419–432.
41. Wakrim R, Wahbi S, Tah H, Aganchich B and Serraj R (2005) Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 106: 275–287.
42. Wang Z, Liu F, Kang SH and Jensen CR (2012) Alternate partial root zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays*) leaves. *Environmental Experimental Botany*. 75: 36-40.
43. Yazar A, Gökçel F and Sezen M (2009) Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant Soil Environment*. 55: 494-503.
- 44.



Water and Irrigation Management

(Scientific Journal of Agriculture)
(College of Abouraihan – University of Tehran)

Vol. 8 ■ No. 2 ■ Autumn & Winter 2019

Investigation the effect of deficit irrigation on root distribution and vegetative growth of *Rosmarinus officinalis* L.

Rasoul Asadi¹, Farzad Hassan Pour^{2*}, Mitra Mehrabani³, Amin Baghizadeh⁴, Fateme Karandish²

1. Ph.D. Candidate, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Zabol University, Iran.
2. Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Zabol University, Iran.
3. Professor (PhD), Department of Pharmacognosy, Herbal and Traditional Medicines Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.
4. Associate Professor, Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman-Iran.

Received: December 19, 2018

Accepted: February 18, 2019

Abstract

In order to investigation the root distribution and plant growth of *Rosmarinus officinalis* L., an experiment was conducted in a completely randomized design with three replications under using subsurface irrigation system in 2016. In this study treatments are full irrigation (FI), regulated deficit (RDI₇₅ and RDI₅₅) and partial root zone drying irrigation (PRD₇₅ and PRD₅₅). The results showed that deficit irrigation at 75 and 55 percent of full irrigation resulted in saving 17.1 and 32.6 percent water consumption respectively. Comparison of FI and PRD₇₅ showed that dry weight, height of plants and number of shoots per plant decreased 5.3, 9.8 and 8.9 percent respectively. However, proper development of root in PRD₇₅ increased 12.8 percent of water productivity, 7.3 percent of root fresh weight, 2.7 percent of root depth and 10.7 percent of root volume. Therefore, considering the problems of water scarcity, it is possible to provide PRD₇₅ as a superior treatment and a suitable strategy to cope with the water crisis, to move towards a sustainable agricultural system.

Keywords: Drip Irrigation Systems, Drought Stress, Medicinal plant, Partial Root- zone Drying, Root Development

* Corresponding author: farzad.h18@yahoo.com