مدیریت آب و آبیاری
دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷
صفحه‌های ۳۰۱-۲۸۹

# 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 کاراتدیش[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 فارماکوگنوزی، مرکز تحقیقات داروهای گیاهی و سنتی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران.
۴. دانشیارگروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹

**چکیده**

به‌منظور 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 به‌ترتیب ۱۷/۱ و ۳۲/٦ درصدی در مصرف آب شد. مقایسه دو تیمار آبیاری کامل و تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل اعمال‌شده 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 اعمال‌شده 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 قطره‌ای زیرسطحی، تنش خشکی، توسعه ریشه، گیاه دارویی.

* نویسنده مسئول
Email: farzad.h18@yahoo.com

**مقدمه**

کم‌آبیاری نوعی مدیریت آب در مزرعه است که در آن گیاه درجه معینی از تنش خشکی را تحمل می‌کند به‌طوری‌که با استفاده مناسب‌تر از هر واحد آب آبیاری، عملکرد بهینه از محصولات کشاورزی به‌دست آید (۲٤ و ٤۳). 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[1] و آبیاری ناقص ریشه[2] اشاره نمود. در روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده میزان آب داده شده به گیاه کم‌تر از حد مورد نیاز آن است (٤)، به‌طوری‌که 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 (۲٦ و ٤۰).

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 ٤۱). به‌طوری‌که 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 (۱٦ 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 (۲٦) و عدم کاهش در کمیت و کیفیت محصول (۱٤) اشاره نمود.

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 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 به‌رغم 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 ۲۰۱٤، 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 ٤۰ 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) به‌عبارت 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

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

تعیین‌کننده غلظت مواد انتقال‌یافته به ساقه است (۸). همچنین شدت رشد ریشه، تعیین‌کننده تغییرات رشد اندام هوایی گیاه است (۱۸). مطالعات صورت‌گرفته نشان داد که توسعه سیستم ریشه گیاهان علاوه بر این‌که یک خصوصیت ژنتیکی می‌باشد، به وضعیت محیطی رشد گیاه بستگی دارد (٤٠). به‌طوری‌که 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 انجام‌شده 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 (٦) 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 (٤٢).

به‌طورکلی ریشه گیاه مشابه پلی رابط بین گیاه و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک عمل می‌کند. همچنین ازآن‌جایی‌که بازشدگی روزنه‌های 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، به‌منظور مدیریت آبیاری به موضوع مورد علاقه پژوهشگران تبدیل شده است. در این راستا مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری تنظیم‌شده بر تغییرات سیستم ریشه و اندام هوایی گیاه دارویی رزماری که از با ارزش‌ترین گیاهان دارویی محسوب می‌شود، انجام شد.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی نحوه توزیع ریشه و رشد اندام هوایی گیاه دارویی رزماری، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵، در زمینی به مساحت ۳٦۰ متر مربع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، به‌اجرا در آمد. مزرعه مورد مطالعه در شهر کرمان در محدوده طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۲ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ١٤ دقیقه و ارتفاع ۱۷۹۹ متر از سطح دریا واقع شده که میانگین بارندگی، دما و تبخیر سی ساله آن به‌ترتیب ۱۲۹ میلی‌متر، ١٦/١ درجه سانتی‌گراد و ٢٤٤٨ میلی‌متر است (۱). در این آزمایش پنج تیمار، آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی (FI))، کم‌آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵ درصد ($RDI_{75}$) و ۵۵ درصد ($RDI_{55}$) آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ درصد ($PRD_{75}$) و ۵۵ درصد ($PRD_{55}$) آبیاری کامل، مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها در کرت‌هایی به عرض سه و طول پنج متر (شامل ٤ ردیف کشت به‌فاصلهٔ ۰/۷۵ متر و فاصله بوته ۰/۵ متر از یکدیگر) اجرا شد.

قبل از عملیات کشت نمونه‌برداری 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 به‌ترتیب 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.

**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) | نیتروژن کل (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ظرفیت زراعی | پژمردگی دائم | | | | | | |
| ۰-۱۰ | رسی | ۲۱/٦٥ | ۸/٦۳ | ۱/۳۹ | ۷/۹۱ | ۰/٤ | ۱/۳ | ۱۲٦/۷ | ۰/۱٤ |
| ۱۰-۲۰ | رس سیلتی | ۲۲/۳۹ | ۸/۷۱ | ۱/٤۲ | ۷/۹٤ | ۰/٤ | ۱/۲ | ۱۱۸/۹ | ۰/۱۲ |
| ۲۰-۳۰ | رس سیلتی | ۲۳/٤۲ | ۹/٤۳ | ۱/٤۱ | ۷/۹۲ | ۰/٤ | ۰/۹ | ۱۰٤/۲ | ۰/۱۲ |
| ۳۰-۵۰ | رس سیلتی | ۲۳/۷٥ | ۹/۷٤ | ۱/٤۲ | ۷/۹٦ | ۰/۳ | ۰/۹ | ۹۱/۹ | ۰/۱۱ |
| ۵۰-۷۰ | رس سیلتی | ۲۳/٥٤ | ۹/٤۹ | ۱/٤۲ | ۷/۹٦ | ۰/۳ | ۰/٦ | ۷٥/۲ | ۰/۰۹ |
| ۷۰-۹۰ | رس سیلتی | ۲۲/۹٦ | ۹/۱۱ | ۱/٤٤ | ۷/۹۷ | ۰/۳ | ۰/٦ | ٦٦/۷ | ۰/۰٦ |

**جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد مطالعه**

| آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول (mg.L) | | | | | | شوری (ds/m) | اسیدیته |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سدیم | پتاسیم | کلسیم | منگنز | سولفات | کلر | بی‌کربنات | | |
| ۲/٥ | ٤/٥ | ٤/٥ | ٦/۳ | – | ۹ | ٤/٦ | ۰/۷ | ۷/۱ |

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، به‌صورت متناوب، فقط یک طرف ردیف کشت، آبیاری شد. در تیمارهای روش آبیاری ناقص ریشه، به‌منظور اطمینان از خشک بودن نیمی از ریشه به‌هنگام آبیاری نیمه دیگر، در هر سه نوبت آبیاری نسبت به تعویض جهت آبیاری از یک سمت ریشه به سمت دیگر اقدام شد. لازم به‌ذکر 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 این‌که دور آبیاری برای تمامی تیمارها ثابت و هر چهار روز یک مرتبه بود، لذا به‌منظور تعیین عمق 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 به‌دست آمد (۹). لازم به ذکر است که فاصله لوله‌آبرسان تا محل نمونه‌برداری در حدود ۱۰ سانتی‌متر بود.

$$D_I = \sum_{j=1}^{6} \left( \left( \theta_{FCj} - \theta_{BIj} \right) \times D_j \right) \qquad (۱)$$

که در این رابطه، $D_I$: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، $\Theta_{FCi}$: درصد رطوبت وزنی در نقطه رطوبتی ظرفیت زراعی در لایه iام، $\Theta_{BIj}$: درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری در لایه iام 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 ٤۰ روز بعد از عملیات کاشت (پس از استقرار گیاه)، با ضرب نمودن 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 $RDI_{75}$ 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 شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس با توجه به این‌که بیشترین اسانس 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 به‌مدت 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.

$$WP=Y_T/V_T \qquad (۲)$$

که در این رابطه، WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، $Y_T$: وزن خشک اندم رویشی (کیلوگرم) و $V_T$: مجموع تبخیر تعرق واقعی گیاه (مترمکعب) است. در نهایت داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه‌وتحلیل 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 به‌دلیل تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای که بر شاخص‌های رشد گیاه دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۷). در این راستا همان‌طورکه 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 کم‌آبیاری تنظیم‌شده 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).

**تجزیه واریانس**

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ٤) که اثر تیمارهای مختلف بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد خطا، معنی‌دار شد.

**تحلیل اندام هوایی**

مقایسه میانگین صورت‌گرفته به‌روش آزمون دانکن نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر وزن خشک اندام رویشی در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار شد (جدول۵). لذا با توجه به نتایج حاصل می‌توان اذعان داشت که تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) باعث ایجاد بالاترین وزن خشک اندام رویشی (٤٤٠٤/٢ کیلوگرم در هکتار) شد و کم‌ترین میزان وزن خشک اندام رویشی (٢٣٢٥/٥ کیلوگرم در هکتار) در سطح تأمین ٥٥ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط تنظیم‌شده ($RDI_{55}$) رخ داد و این تیمار در پایین‌ترین جایگاه آماری قرار گرفت. به‌طورکلی 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 صورت‌گرفته نشان داد که کاهش وزن خشک اندام رویشی در شرایط کم‌آبیاری را می‌توان به کاهش تعداد شاخه زایا، ازتفاع بوته، سطح و وزن برگ و ساقه گیاه رزماری نسبت داد (٢٧ و ٣٨). 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 دست‌دادن آب سلول و سست‌شدن 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 (٣٧). 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 (٢٢ و ٢٩). 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 (٢٧).

**جدول ۳. حجم آب مصرفی در تیمارهای آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری تنظیم‌شده (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 | ١٩٠٣ | – | ١٣٢٦ | – |
| $RDI_{75}$ | ١٥٧٧ | ١٧/١ | ٩٩٤ | ٢٥ |
| $RDI_{55}$ | ١٢٨٣ | ٣٢/٦ | ٧٢٨ | ٤٥ |
| $PRD_{75}$ | ١٥٧٧ | ١٧/١ | ٩٩٤ | ٢٥ |
| $PRD_{55}$ | ١٢٨٣ | ٣٢/٦ | ٧٢٨ | ٤٥ |

**جدول ٤. 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 | طول ریشه | حجم ریشه |
| تکرار | ۲ | ۲۱/۲ | ۰/۰۰۱ | ۹/۲ | ۲۲/۹ | ۰/۰۹ | ۱۴/۵ | ۳/۱ |
| سطوح آبیاری | ٤ | ۱۱۴۵/۲** | ۰/۰۰۵** | ۴۴/۵** | ۲۵۱/۴** | ۰/۸** | ۶۸/۵** | ۱۶/۶** |
| خطا | ۸ | ۱۶/۳ | ۰/۰۰۵ | ۲/۱ | ۱۶۱/۱ | ۰/۰۱ | ۲/۷ | ۱/۱ |

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

از سوی دیگر، همان‌طورکه 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، به‌طوری‌که 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 کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطوح آبیاری مشابه، بود. در این خصوص وزن خشک اندام رویشی در سطوح تأمین ۷۵ و ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک اعمال‌شده در آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{75}$ و $PRD_{55}$) نسبت به سطوح مشابه در کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{75}$ و $RDI_{55}$) به‌ترتیب ۱۱/۷ و ۱۵/٤ درصد، بیشتر بود. پژوهشگران گزارش نمودند کاهش میزان بازشدگی روزنه‌ها به‌دلیل تولید اسید آبسزیک اسید در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی و جلوگیری از هدررفت آب جذب‌شده، 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 کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطوح مشابه باشد (۲، ۳۲ و ۳٦) که با نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر هم‌سو است.

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)، معنی‌دار است. به‌طوری‌که تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) باعث ایجاد بیشترین تعداد شاخه زایا (۱۲۸/۷) و ارتفاع بوته (٦۸/٤ سانتی‌متر) در انتهای فصل رشد شد. اعمال سطح ۷۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک در آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{75}$)، باعث ایجاد اختلاف ۸/۹ و ۹/۸ 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 اعمال‌شده در کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{75}$) در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته به‌ترتیب اختلاف ۲۳/۵ و ۳۲/۳ درصدی نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) داشت. سطح ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک اعمال‌شده در آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{55}$) با وجود ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و به‌رغم کاهش ۱۲/۸ و ۲۰/۷ درصدی به‌ترتیب در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نسبت به سطح ۷۵ درصد اعمال‌شده در کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{75}$)، 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 کم‌آبیاری تنظیم‌شده 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

قرار می‌دهد (۲۱ و ۲۷). به‌طوری‌که طی بروز تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی موجب نقصان پتانسیل فشاری به‌حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود (۱۹ و ٤۳). این در حالی است که هرگونه کمبود رطوبت خاک موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم و کاهش توسعه سلولی به‌خصوص در ساقه و برگ می‌شود (۳۵). لذا اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع بوته، کوچک بودن برگ‌ها 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 کم‌آبیاری تنظیم‌شده افزایش می‌یابد که در نهایت باعث عملکرد بهتر تیمار آبیاری ناقص ریشه می‌شود (١٤ و ۲۳).

**جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری به‌روش آزمون دانکن**

| تیمار | وزن خشک اندام رویشی (kg.h) | ارتفاع بوته (cm) | تعداد شاخه زایا |
|---|---|---|---|
| FI | ٤٤٠٤/٢ [a] | ٦٨/٤ [a] | ١٢٨/٧ [a] |
| $RDI_{75}$ | ٣٦٨٠/٨ [c] | ٤٦/٣ [c] | ٩٨/٥ [c] |
| $RDI_{55}$ | ٢٦٢٧/٧ [e] | ٢٨/٣ [d] | ٦٠/٤ [d] |
| $PRD_{75}$ | ٤١٧١/٥ [b] | ٦١/٧ [b] | ١١٧/٢ [b] |
| $PRD_{55}$ | ٣١٠٥/١ [d] | ٣٦/٧ [c] | ٨٥/٩ [c] |

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد است.

## تحلیل پارامترهای ریشه

در این بررسی، پارامترهای ریشه گیاه در یک مرحله (انتهای فصل رشد) اندازه‌گیری شد. لذا با توجه به جدول ٦ که نشان‌دهنده مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری‌شده ریشه گیاه است، می‌توان مطرح نمود که درحالی بیشترین وزن تر، طول و حجم ریشه در شرایط اعمال ۷۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک در آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{75}$) به‌دست آمد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با مقادیر به‌دست‌آمده از آبیاری کامل (FI) نداشت. مطالعات صورت‌گرفته علت این نتیجه را شیوه خاص آبیاری ناقص ریشه دانستند که باعث افزایش ریشه‌های ثانویه می‌شود (۲۹). این در حالی است که اعمال تنش آبی در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده در حد معنی‌داری باعث کاهش وزن تر، طول و حجم ریشه نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) شد. پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان داد که کاهش رشد ریشه در شرایط کم‌آبیاری تنظیم‌شده ممکن است به‌علت از دست‌رفتن اتساع سلولی و کاهش فعالیت میتوزی یا مهار طویل شدن سلول‌ها باشد (۳۱).

**جدول ٦. مقایسه میانگین پارامترهای ریشه گیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری به‌روش 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] | ١٤/٥ [b] | ۲/۲ [b] |
| $RDI_{55}$ | ۱/۳ [d] | ۱۱/۷ [c] | ۱/۵ [c] |
| $PRD_{75}$ | ٤/١ [a] | ۱۸/۲ [a] | ۲/۸ [a] |
| $PRD_{55}$ | ۱/۹ [c] | ١٤/٩ [b] | ۱/۹ [b] |

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد است.

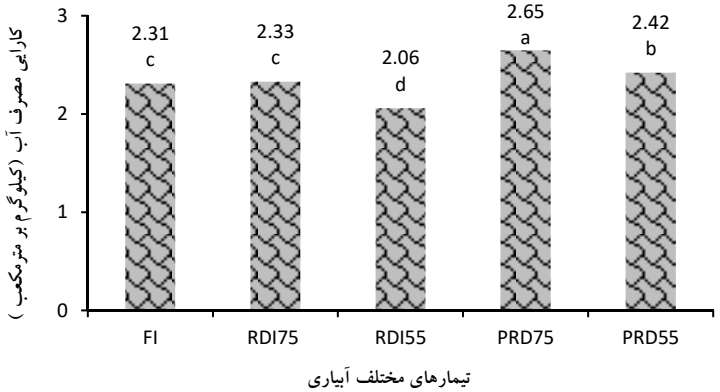
همچنین مقایسه میانگین پارامترهای ریشه نشان‌دهنده بیشتر بودن مقادیر اندازه‌گیری‌شده ریشه در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه نسبت به مقادیر به‌دست‌آمده در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده با سطوح مشابه تنش بود. تأثیر متفاوت اعمال تنش به روش آبیاری ناقص ریشه بر ویژگی‌های رشد ریشه در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (۱۰ و ۲۸). گزارش‌های به‌دست‌آمده نشان داد که آن‌چه باعث تفاوت در رشد ریشه بین روش آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری تنظیم‌شده، می‌شود متناوب

خشک و تر شدن ریشه در آبیاری ناقص ریشه است. آبیاری مجدد بخشی از ریشه که مدتی خشک باقی‌مانده است، زمینه لازم برای ایجاد برخی تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه را فرآهم می‌آورد به‌طوری‌که با ایجاد تغییراتی در سامانه توزیع ریشه، میزان و شدت جذب آب از خاک را بهبود می‌بخشد. اما شیوه اعمال تنش در کم‌آبیاری تنظیم‌شده باعث تغییرات آناتومیکی مضری 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 صورت‌گرفته به‌روش آزمون دانکن (شکل ۱)، می‌توان اذعان داشت که سطح تأمین ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{55}$) 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 ٤٥ درصدی در مصرف آب، از افزایش ٤/٥ درصدی در صفت بهره‌وری آب برخوردار بود. در این خصوص بررسی‌های صورت‌گرفته نشان از کارآمدی این روش مدیریتی (اعمال کم‌آبیاری) در استفاده بهینه از هر واحد آب مصرفی و افزایش بهره‌وری آب گیاهان مختلف دارد (۳٤ 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 ($PRD_{75}$) با بهره‌وری آب ۲/٦۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به سطح مشابه در شرایط کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{75}$) 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 کم‌آبی توسط سمت خشک ریشه، سبب تولید اسید آبسزیک در گیاه و بسته‌شدن 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).




**شکل ۱. مقایسه میانگین بهره‌وری تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری**

**حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد است.**

## نتیجه‌گیری

مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمارهای موردبررسی بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. به‌طوری‌که با تأمین کامل نیاز آبی گیاه بیشترین وزن خشک اندام هوایی (٤٤٠٤/٢ کیلوگرم)، ارتفاع بوته (٦٨/٤ سانتی‌متر) و تعداد شاخه زایا (١٢٨/٧) حاصل شد. از طرف دیگر سطح تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{75}$)، باعث افزایش تمامی شاخص‌های رشد گیاه نسبت به سطح مشابه اعمال‌شده در کم‌آبیاری تنظیم‌شده ($RDI_{75}$)، شد. این در حالی بود که این تیمار ضمن صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب، 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. از آن‌جایی‌که سطح تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{75}$)، با توسعه مناسب ریشه، امکان استفاده بهتر از رطوبت موجود در خاک را به‌رغم اعمال تنش رطوبتی فراهم آورد، لذا با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می‌توان سطح تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه ($PRD_{75}$)، را به‌عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با بحران آب، برای حرکت به سمت یک سامانه کشاورزی پایدار توصیه نمود.

## منابع


۱. بی‌نام. 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.
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 Roccuzzo 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, Martınez-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, Homaee 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, Glennc 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.

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 Physiologist. 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 Munoza R, Fernández-Fernández, I, Del Amorb F, Martínez-Cutillasa 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 Goftar 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. Terpinc 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, Tahi 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 Asadi[1], Farzad Hassan Pour[2*], Mitra Mehrabani[3], Amin Baghizadeh[4], Fateme Karandish[2]

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 ($RDI_{75}$ 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 17.1 and 32.6 percent water consumption respectively. Comparison of FI and $PRD_{75}$ 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 $PRD_{75}$ 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 $PRD_{75}$ 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