نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۱۰۳۸-۱۰۲۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 1027-1038

ارزیابی خصوصیات کمی گیاه رزماری با استفاده از دو سیستم آبیاری قطره‌ای تحت تأثیر اعمال کم‌آبیاری

رسول اسدی[۱]، فرزاد حسن‌پور[۲*]، میترا مهربانی[۳]، امین باقی‌زاده[۴] و فاطمه کاراندیش[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۵

چکیده

به منظور ارزیابی ویژگی‌های کمی گیاه دارویی رزماری در شرایط کاربرد دو سیستم آبیاری قطره‌ای تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تولید نهال شهرداری کرمان در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. در این تحقیق، دو سیستم آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) به‌عنوان عامل اصلی و پنج سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (تأمین کامل کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی)، کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه هر کدام در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد آبیاری کامل به‌عنوان عامل فرعی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی علاوه بر صرفه‌جویی ۱۱/۴ درصدی در مصرف آب، باعث افزایش ۲۱ درصدی بهره‌وری آب شد. همچنین بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۴۴۰۴/۲ کیلوگرم در هکتار)، ارتفاع بوته (۶۸/۴ سانتی‌متر)، تعداد شاخه زایا (۱۲۸/۷) و شاخص سطح برگ در مزاحل مختلف رشد، در سطح تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بدست آمد. تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه در سیستم زیرسطحی باعث افزایش تمامی شاخص‌های رشد گیاه نسبت به تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده در سیستم زیرسطحی شد. این‌در حالی بود که تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه در سیستم زیرسطحی در حالی صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب و افزایش ۱۲/۸ درصدی بهره‌وری آب را در پی داشت که کاهش ۵/۳ درصدی وزن خشک اندام رویشی، ۸/۹ درصدی تعداد شاخه زایا و ۹/۸ درصدی ارتفاع بوته را نسبت به تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در سیستم زیرسطحی رقم زد. با بررسی هم‌زمان بهره‌وری آب و خصوصیات رشد گیاه دارویی رزماری، می‌توان به این نتیجه رسید که با تأمین ۷۵ درصد آبیاری کامل در شرایط آبیاری ناقص ریشه در سیستم زیرسطحی، علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب، با کم‌ترین کاهش در پارامترهای رشد گیاه مواجه شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری ناقص ریشه ،بهره‌وری آب، شاخص سطح برگ، کرمان، گیاه دارویی

مقدمه

از آن‌جا که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در دنیا است (FAO, 2015)، لذا کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی موجب گرایش به کاهش اختصاص آب به بخش کشاورزی شده است (Colak et al., 2017). 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 گزینه‌های مدیریتی افزایش بازده آبیاری، استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای است که توانایی ارتقاء بهره‌وری آب را تا نزدیک به ۱۰۰ درصد دارند (Irmak et al., 2016; Pisciotta et al., 2018).

در این خصوص یکی از موثرترین روش‌های انتقال مستقیم آب و مواد مغذی به گیاه، کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است که نه‌تنها صرفه‌جویی مصرف آب، بلکه افزایش عملکرد را در پی‌دارد (Lim et al., 2013; Santos et al., 2016). استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی علاوه بر خشک نگه‌داشتن لایه سطحی خاک، با کاهش تلفات تبخیر، کاهش نفوذ عمقی و کنترل بهتر علف‌های هرز، توانایی افزایش بهره‌وری آب را دارد (Zhang et al., 2011; Paris et al., 2018). کولاک و همکاران پس از ارزیابی دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در کشت بادمجان، به این نتیجه رسیدند که علاوه بر اینکه عملکرد و کیفیت بادمجان در

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
۳- استاد گروه فارماکوکنوزی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان
۴- دانشیار گروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان
۵- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
(* - نویسنده مسئول: Email: Hassanpourir @uoz.ac.ir)

سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بهتر بود، بهره‌وری آب نیز در این سیستم به مقدار قابل ملاحظه‌ای نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی بیشتر بود (Colak et al., 2017).

از طرف دیگر یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های مدیریتی در سال‌های اخیر، استعمال کم‌آبیاری در طول فصل رشد گیاه است که بهبود بهره‌وری آب را به‌همراه دارد (Romero et al., 2015). روش‌های نوین آبیاری با رویکرد مقابله با تنش خشکی و افزایش بهره‌وری آب شکل گرفته که از این میان می‌توان به روش آبیاری ناقص ریشه اشاره نمود (Sun et al., 2014; Shahrokhnia et al., 2017). روش آبیاری ناقص ریشه برای اولین بار در کشور استرالیا اجرا شد و هدف آن، کنترل بیماری قارچ در تنه درخت انگور بود. لذا این هدف با خشک نگه داشتن تناوبی نیمی از ریشه در طول فصل کشت محقق شد که موجبات بررسی دلایل محقق شدن این هدف را فراهم آورد (Dry and Loveys, 1998). تئوری خاص حاکم بر روش آبیاری ناقص ریشه آن را از روش کم‌آبیاری معمولی که اغلب موجب کاهش محصول می‌شود (Ghrab et al., 2013)، متمایز ساخته است. در این روش بخشی از ریشه که در خاک خشک قرار گرفته است، با عکس‌العمل نسبت به خشکی و ارسال علائمی از ریشه به برگ، میزان بازشدگی روزنه را تحت تأثیر قرار داده که باعث کاهش میزان تلفات آب می‌شود (Davies et al., 2000). در مطالعات متعددی، آبیاری ناقص ریشه به‌عنوان یک روش نوین آبیاری توسعه یافته معرفی شد و از این روش برای آبیاری گیاهان زراعی و باغی در تحقیقات مختلفی استفاده شد (Parvisi et al., 2014; Marjanovic et al., 2015; Limaa et al., 2015; Du et al., 2017; Consoli et al., 2017). نتایج مطالعه شائو و همکاران نشان داد که در شرایط اعمال آبیاری ناقص ریشه در کشت فلفل نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده، بهره‌وری آب به‌طور چشمگیری افزایش یافت (Shao et al., 2008). در مطالعه‌ای دیگر 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 (Xu et al., 2009).

از طرف دیگر 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 علاوه بر نقش مهمی که در سلامت جامعه و اشتغال‌زایی دارند، می‌توانند تأثیر به‌سزایی در امر اقتصاد غیر نفتی داشته باشند (Khazaei et al., 2008). 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 مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه مقوی معده و محرک هضم بوده و تحقیقات متعددی خواص کاهش استرس، تسکین سردرد و آسم آن را تائید کرده‌اند (Pintore et al., 2002; Rajoob et al., 2008; Terpinc et al., 2009).

لذا با توجه به کمبود و محدودیت منابع آبی کشور، جهت صرفه‌جویی بیشتر آب و افزایش عملکرد در واحد سطح، می‌توان به اصلاح الگوی مصرف در بخش کشاورزی با بهره‌گیری از روش‌های مناسب آبیاری و مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه اشاره کرد. از آن‌جا که پژوهش‌های صورت گرفته در راستای استفاده از استراتژی‌های نوین آبیاری نظیر آبیاری ناقص ریشه غالباً معطوف به محصولات باغی و زراعی بوده و تاکنون در راستای افزایش بهره‌وری آب و عملکرد گیاهان دارویی، از این روش کارآمد استفاده نشده است. لذا ارزیابی خصوصیات کمی گیاه دارویی رزماری که از با ارزش‌ترین گیاهان دارویی محسوب می‌شود، با استفاده از دو سیستم آبیاری قطره‌ای تحت تأثیر اعمال آبیاری ناقص ریشه، به عنوان هدف این مقاله مد نظر است.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه و خصوصیات خاک

این تحقیق در ایستگاه تحقیقاتی نهال و بذر شهرداری شهر کرمان با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه، در سال زراعی ۱۳۹۵ با شرایط آب و هوایی مندرج در جدول ۱، انجام شد. میانگین سی ساله هواشناسی منطقه مورد مطالعه نشان داد که اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن، بیابانی است. همچنین میانگین سی ساله بارندگی، دما و تبخیر منطقه به‌ترتیب ۱۲۹ میلی‌متر، ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۴۸ میلی‌متر است (بی‌نام، ۱۳۹۵). لازم به ذکر است که قبل از عملیات کشت نمونه‌برداری از اعماق مختلف خاک مزرعه انجام شد و تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در جداول (۲) و (۳) آمده است.

قالب طرح و روش اجرا

به‌منظور ارزیابی خصوصیات کمی گیاه دارویی رزماری تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه در شرایط استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، آزمایشی در زمینی به مساحت ۷۲۰ متر مربع به‌صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، به اجرا در آمد. در این آزمایش دو سیستم آبیاری قطره‌ای (سطحی =S_1 و زیرسطحی =S_2) به‌عنوان عامل اصلی و پنج سطح، آبیاری کامل (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، به‌عنوان عامل فرعی مورد ارزیابی قرار

گرفت. تیمارها در کرت‌هایی به عرض سه متر و طول پنج متر (شامل ۴ ردیف کشت به‌فاصلهٔ ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر (Leithy et al., 2006)) اجرا شد. همچنین، برای سهولت در اندازه‌گیری صفات، بین هر تیمار و هر تکرار، یک متر فاصله در نظر گرفته شد.

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

پارامتر	ماه						
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
حداقل دما (سانتی‌گراد)	۹/۳	۱۲/۲	۱۵/۷	۱۹/۱	۱۵/۱	۱۳/۷	۹/۷
حداکثر دما (سانتی‌گراد)	۲۵/۲	۳۰/۳	۳۴/۵	۳۵/۹	۳۳/۷	۳۲/۲	۲۹/۶
میانگی دما (سانتی‌گراد)	۱۷/۲	۲۱/۲	۲۵/۱	۲۷/۵	۲۴/۴	۲۲/۹	۱۹/۶
بارندگی موثر (میلی‌متر)	۸/۶	۱/۹	۰	۰	۰	۰	۰/۶
تبخیر (میلی‌متر)	۲۱۶/۷	۳۰۰/۸	۳۹۷/۹	۴۱۵/۱	۳۷۰/۸	۳۱۲/۸	۲۲۷/۷
میانگین رطوبت (درصد)	۴۱	۲۸	۱۶	۱۶	۱۶	۲۱	۲۲

جدول ۲- نتایج تجزیه برخی از خصوصیات فیزیکی خاک محل انجام تحقیق در اعماق مختلف

عمق خاک (cm)	درصد ذرات تشکیل دهنده			بافت خاک	درصد وزنی رطوبت		وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)
	شن	سیلت	رس		ظرفیت زراعی	پژمردگی دائم	
۰-۱۰	۱۶/۷	۳۹/۶	۴۳/۷	رسی	۲۱/۶۵	۸/۶۳	۱/۳۹
۱۰-۲۰	۱۶/۲	۴۰/۱	۴۳/۷	رس سیلتی	۲۲/۳۹	۸/۷۱	۱/۴۲
۲۰-۳۰	۱۴/۹	۴۱/۷	۴۳/۴	رس سیلتی	۲۳/۴۲	۹/۴۳	۱/۴۱
۳۰-۵۰	۱۴/۵	۴۲/۲	۴۳/۳	رس سیلتی	۲۳/۷۵	۹/۷۴	۱/۴۲
۵۰-۷۰	۱۲/۷	۴۲/۷	۴۴/۶	رس سیلتی	۲۳/۵۴	۹/۴۹	۱/۴۲
۷۰-۹۰	۱۲/۵	۴۳/۴	۴۴/۱	رس سیلتی	۲۲/۹۶	۹/۱۱	۱/۴۴

جدول ۳- نتایج تجزیه برخی از خصوصیات شیمیایی خاک محل انجام تحقیق در اعماق مختلف

عمق خاک (cm)	اسیدیته	شوری (ds/m)	نیتروژن کل (٪)	فسفات (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
۰-۱۰	۷/۹۱	۰/۴	۰/۱۴	۱/۳	۱۲۶/۷
۱۰-۲۰	۷/۹۴	۰/۴	۰/۱۲	۱/۲	۱۱۸/۹
۲۰-۳۰	۷/۹۲	۰/۴	۰/۱۲	۰/۹	۱۰۴/۲
۳۰-۵۰	۷/۹۶	۰/۳	۰/۱۱	۰/۹	۹۱/۹
۵۰-۷۰	۷/۹۶	۰/۳	۰/۰۹	۰/۶	۷۵/۲
۷۰-۹۰	۷/۹۷	۰/۳	۰/۰۶	۰/۶	۶۶/۷

در این مطالعه جهت آبیاری بوته‌ها از سیستم آبیاری قطره‌ای با قطره‌چکان از نوع نتافیم با دبی ۲ لیتر بر ساعت استفاده شد. در هر دو سیستم آبیاری، برای هر ردیف کشت، دو لوله آبرسان با فاصله حدوداً پانزده سانتی‌متری نسبت به ردیف کشت تعبیه شد که در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم شده، 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. همچنین 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 به ذکر است که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله آبرسان در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک قرار گرفت و در هر دو سیستم آبیاری 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، از اعماق ۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۰ و ۷۰ تا ۹۰ سانتی‌متری خاک، با نمونه‌برداری توسط اوگر نیم اینچ از فاصله بیست سانتی‌متری بوته و از وسط دو قطره‌چکان متوالی، رطوبت موجود در تیمار شاهد (آبیاری کامل) اندازه‌گیری و میزان عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه زیر بدست آمد (Gheysari et al., 2009):

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

که در آن: D_I: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، Θ_{FCj}: درصد حجمی رطوبت در نقطه رطوبتی ظرفیت زراعی در لایه iام، Θ_{BIj}: درصد حجمی رطوبت 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 تنظیم شده تا ۴۰ روز بعد از عملیات کاشت (پس از استقرار گیاه)، با ضرب نمودن عمق آب آبیاری (رابطه ۱) در مساحت هر کرت بدست آمد (Allen et al., 1998). همچنین، پس از استقرار گیاه و از زمان شروع اعمال تیمارها (۴۰ روز بعد از عملیات کاشت) تا انتهای فصل کشت، تیمارهای RDI_{75} و PRD_{75}، ۷۵ درصد و تیمارهای RDI_{55} و PRD_{55}، ۵۵ درصد از حجم آب آبیاری محاسبه شده در تیمار آبیاری کامل را در طول دوره اعمال تیمار دریافت کردند.

عملیات زراعی و اندازه‌گیری صفات

در این مطالعه با توجه به نتایج تجزیه خاک و آب و توصیه آزمایشگاه خاک و آب، قبل از عملیات کشت از کودهای نیتروژن از منبع اوره، سوپر فسفات تریپل و سوفات پتاسیم، به‌ترتیب به‌میزان ۷۰، ۵۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار به خاک مزرعه تزریق شد. همچنین پس از دریافت نهال یک ساله رزماری از خزانه ایستگاه تحقیقاتی تولید نهال و بذر شهرداری کرمان، عملیات کشت در اواخر فروردین ماه انجام شد.

جهت مقایسه تیمارها، شاخص‌های رشد گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا، وزن خشک اندام رویشی و شاخص سطح برگ مورد ارزیابی قرار گرفت. از آن‌جاکه بیشترین میزان اسانس گیاه رزماری در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی است (Leithy et al., 2006)، لذا برای اندازه‌گیری صفت وزن خشک اندام هوایی در اواسط مرحله گل‌دهی (۱۹۰ روز بعد از کشت)، با حذف ردیف‌های کناری در هر تکرار و نیم 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 به مدت سه هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، خشک شد و سپس وزن خشک شده اندام رویشی اندازه‌گیری گردید (Leithy et al., 2006).

جهت بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، از زمان اعمال تیمار هر بیست و پنج روز یک مرتبه، از هر تکرار از هر تیمار سه بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد. سپس با اندازه‌گیری مساحت برگ‌های هر بوته با استفاده از دستگاه مساحت سنج و میانگین‌گیری از آن‌ها، با در دست داشت سطح زمین اختصاص یافته به هر بوته (۷۵×۵۰ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ از رابطه زیر محاسبه شد (Terpinc et al., 2009):

$$LAI = A_i / A_T \quad (۲)$$

که در آن: LAI: شاخص سطح برگ، A_i: مجموع مساحت برگ‌های هر بوته (سانتی‌مترمربع) و A_T: سطح زمین اختصاص یافته به هر بوته (سانتی‌مترمربع) است. همچنین، جهت تعیین بهره‌وری آب از رابطه (۳) استفاده شد. در نهایت داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD (در سطح احتمال یک درصد خطا) انجام شد.

$$WP = Y_T / V_T \quad (۳)$$

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

نتایج و بحث

میزان آب مصرفی

بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که مدیریت آبیاری رزماری بدلیل تأثیر قابل ملاحظه‌ای که بر شاخص‌های رشد گیاه دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است (Sardas et al., 2005). در این راستا همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است حجم آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای سطحی در کل فصل رشد در تیمارهای مختلف بین ۱۴۴۹ تا ۲۱۵۰ مترمکعب در هکتار بود. این در حالی بود که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی میزان آب مصرفی در تیمارهای مختلف بین ۱۲۸۳ تا ۱۹۰۳ مترمکعب در هکتار بود. لذا در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی احتمالاً به‌دلیل کاهش تلفات تبخیر (Colak et al., 2017)، در میزان آب مصرفی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی در حدود ۱۱/۴ درصد صرفه‌جویی شد. 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 (Nicolas et al., 2008).

نتایج بدست آمده از حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد (جدول ۴) که اعمال تیمارهای RDI_{75} و PRD_{75} در هر دو سیستم آبیاری، منتج به صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار شد. این در حالی بود که اعمال تیمارهای یاد شده صرفه‌جویی ۱۷/۱ درصدی را در کل دوره رشد نسبت به تیمار کامل آبیاری در پی داشت. همچنین صرفه‌جویی در تیمارهای RDI_{55} و PRD_{55} در هر دو سیستم آبیاری، نسبت به تیمار آبیاری کامل در طول دوره اعمال تیمار ۴۵ درصد و در کل دوره رشد گیاه ۳۲/۶ درصد بود. پژوهش‌های صورت گرفته نشان داد که اگرچه میزان آب داده شده در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری نافص ریشه در سطوح مشابه، یکسان است، اما مقادیر متفاوت در جذب رطوبت خاک به‌وسیله ریشه در این دو روش، می‌تواند زمینه لازم برای افزایش دوره سبزینگی گیاه و در نهایت ایجاد اختلاف در رشد رویشی و زایشی گیاه را فراهم آورد (Wang et al., 2012; Topak et al., 2016).

جدول ٤- 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 (مترمکعب در هکتار)	میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (درصد)	حجم آب مصرفی در زمان اعمال تیمار (مترمکعب در هکتار)	میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (درصد)
سطحی	FI	۲۱۵۰	–	۱۵۰۰	–
	RDI_{75}	۱۷۸۲	۱۷/۱	۱۱۲۵	۲۵
	RDI_{55}	۱۴۴۹	۳۲/۶	۸۲۵	۴۵
	PRD_{75}	۱۷۸۲	۱۷/۱	۱۱۲۵	۲۵
	PRD_{55}	۱۴۴۹	۳۲/۶	۸۲۵	۴۵
زیرسطحی	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

تحلیل صفات مورد بررسی

در این مطالعه با ایجاد تفاوت در حجم آب آبیاری (تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک)، تفاوت در نحوه توزیع آب در منطقه ریشه (آبیاری ناقص ریشه و آبیاری معمولی) و تفاوت در سهولت استفاده از آب توسط ریشه (سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی)، شاخص سطح برگ متغیر بود. لذا همان‌طور که از مقایسه میانگین شاخص سطح برگ مشخص است (جدول ۵) بیشترین شاخص سطح برگ در مراحل مختلف در شرایط تأمین کامل کمبود رطوبت خاک (FI) اعمال شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و کم‌ترین آن در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده در سطح ۵۵ درصد (RDI_{55}) اعمال شده در آبیاری قطره‌ای سطحی بود. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که تنش کم‌آبی، باعث ایجاد سلول‌ها چروکیده 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 (Tiaz and Ziger, 1991). همچنین رشد سطح برگ به‌طور مستقیم با میزان فتوسنتز گیاه مرتبط است و هر عاملی که سبب کاهش تولید ماده فتوسنتزی شود، در افزایش سطح برگ محدودیت ایجاد می‌کند (Ram et al., 2006). در این راستا نتایج سایر مطالعات انجام شده روی محصولات مختلف نشان داد که یکی از مهم‌ترین اثرات تنش آبی، کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه است (Nicolas et al., 2008; Aziz et al., 2008; Karandish, 2016; Colak et al., 2017) که با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر هم‌خوانی دارند.

از دیگر نتایج قابل ذکر در خصوص شاخص سطح برگ می‌توان به این موضوع اشاره نمود که همان‌طور که در مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (جدول ۵) مشخص است در هر دو سیستم آبیاری روند تغییرات شاخص برگ در سطح ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه (PRD_{75}) با تیمار آبیاری کامل (FI) مشابه بود و با اختلاف کمی از آن نسبت به سایر تیمارها تغییر کرد. این در حالی بود که سیر نزولی شاخص سطح برگ در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده با سرعت بیشتری نسبت به تیمارهای آبیاری ناقص ریشه و آبیاری کامل در هر دو سیستم آبیاری، انجام شد. نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان داد که در روش آبیاری ناقص ریشه، گیاه از طریق کاهش هدایت روزنه، میزان فتوسنتز و شاخص کلروفیل برگ را در سطح بالاتری حفظ می‌کند و به‌این ترتیب دارای شاخص سطح برگ بهتری نسبت به روش کم‌آبیاری تنظیم شده، است (Romero et al., 2015; Sarker et al., 2016). همچنین نتایج هم‌سو با نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که کاهش میزان بازشدگی روزنه‌ها به‌دلیل تولید اسید آبسزیک اسید در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی و جلوگیری از هدر رفت 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 (Karandish, 2016; Consoli et al., 2017).

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری توسط آزمون LSD

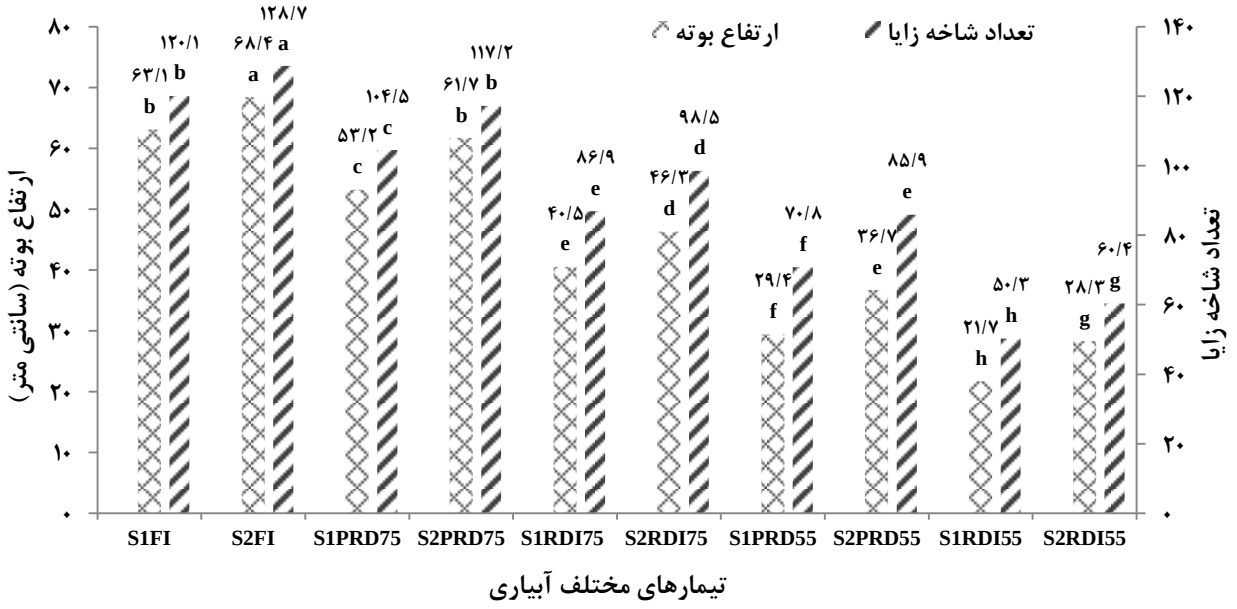
تیمار		مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	مرحله چهارم	مرحله پنجم	مرحله ششم
سطحی	FI	۰/۷۳ a	۱/۰۶ a	۱/۳۹ a	۱/۷۸ a	۱/۷۵ a	۱/۵۲ a
	RDI_{75}	۰/۷۵ a	۰/۹۷ a	۱/۱۷ b	۱/۳۹ b	۱/۲۹ b	۱/۰۷ b
	RDI_{55}	۰/۷۴ a	۰/۸۹ a	۱/۰۶ c	۱/۲۱ c	۱/۰۹ c	۱/۰۱ c
	PRD_{75}	۰/۷۵ a	۱/۰۱ a	۱/۲۹ a	۱/۶۹ a	۱/۶۳ a	۱/۴۹ a
	PRD_{55}	۰/۷۳ a	۰/۹۱ a	۰/۱۵ b	۰/۳۷ b	۱/۲۹ b	۱/۱۶ b
زیرسطحی	FI	۰/۷۴ a	۱/۰۹ a	۱/۴۲ a	۱/۸۲ a	۱/۸۱ a	۱/۶۱ a
	RDI_{75}	۰/۷۶ a	۱/۰۱ a	۱/۲۱ b	۱/۴۵ b	۱/۳۶ b	۱/۱۹ b
	RDI_{55}	۰/۷۵ a	۰/۹۱ a	۱/۱۱ c	۱/۲۸ c	۱/۱۷ c	۱/۰۹ c
	PRD_{75}	۰/۷۵ a	۱/۰۵ a	۱/۳۱ a	۱/۷۲ a	۱/۶۹ a	۱/۵۸ a
	PRD_{55}	۰/۷۴ a	۰/۹۵ a	۱/۱۷ b	۱/۴۱ b	۱/۳۵ b	۱/۲۳ b

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

مقایسه میانگین تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نشان داد (شکل ۱) که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر این دو صفت که از موثرترین شاخص‌های تعیین‌کننده عملکرد (وزن خشک اندام هوایی) گیاه رزماری می‌باشند (Leithy et al., 2006)، معنی‌دار است. به‌طوری که تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2FI) که می‌توان آن را، تیمار سهولت استفاده از آب توسط گیاه نام برد، باعث ایجاد بیشترین تعداد شاخه زایا (۱۲۸/۷) و ارتفاع بوته (۶۸/۴ سانتی‌متر) در انتهای فصل رشد شد. این در حالی است که تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط تنظیم شده در آبیاری قطره‌ای سطحی (S_1RDI_{75}) و زیرسطحی (S_2RDI_{75}) به‌ترتیب باعث کاهش ۴۰/۸ و ۳۲/۳ درصدی ارتفاع بوته و ۳۲/۵ و ۲۳/۵ درصدی تعداد شاخه زایا نسبت به تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2FI) شد. همچنین با وجود صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب سطح ۷۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک در آبیاری ناقص ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2PRD_{75}) نسبت به تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی (S_1FI)، مقایسه میانگین دو صفت ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا نشان داد که این دو صفت از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند.

سطح ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2PRD_{55}) به‌رغم ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به سطح ۷۵ درصد اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم شده در آبیاری قطره‌ای سطحی (S_1RDI_{75})، در هر دو صفت از لحاظ آماری در جایگاه یکسانی با سطح یاد شده قرار گرفت که نشان از برتری مطلق اعمال آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم است. مطالعات صورت گرفته نشان داد که شرایط محیطی از جمله تنش خشکی، به میزان زیادی ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا رزماری را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sardans et al., 2005; Terpinc et al., 2009)، به‌طوری‌که اعمال تنش رطوبتی و کاهش جذب رطوبت کافی موجب کاهش رشد رویشی گیاه از جمله ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا می‌شود این در حالی است که در سطح ۷۵ درصد تأمین کمبود رطوبت خاک در آبیاری ناقص ریشه، به‌رغم اعمال تنش رطوبتی، به‌دلیل بالاتر بودن جذب رطوبت توسط ریشه در مقایسه با سایر تیمارهای کم‌آبیاری، زمینه لازم برای رشد بهتر گیاه در این تیمار فراهم می‌شود (Nicolas et al., 2008; Yazar et al., 2009; Khosh-Khui et al., 2012; Karandish, 2016; Chai et al., 2016) که با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر هم‌خوانی دارند.

مقایسه میانگین صورت گرفته توسط آزمون LSD نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر وزن خشک اندام رویشی در سطح احتمال یک درصد خطا، معنی‌دار شد (جدول ۶). لذا با توجه به نتایج حاصل می‌توان اذعان داشت که سهولت استفاده از آب توسط گیاه در تیمار تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2FI) 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 در آبیاری قطره‌ای سطحی (S_1RDI_{55}) رخ داد و این تیمار از لحاظ آماری در بدترین جایگاه (g) 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، ازتفاع بوته، وزن برگ و ساقه گیاه رزماری نسبت داد (Sardans et al., 2005; Terpinc et al., 2009).



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری توسط آزمون LSD

حروف مشترک در هر صفت نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد خطا است

مصرف مناسب آب توسط گیاه در تیمار آبیاری کامل منجر به افزایش فعالیت برگ‌ها و به‌دنبال آن افزایش فتوسنتز می‌شود و در نتیجه وزن اندام رویشی گیاه افزایش می‌یابد. این در حالی است که بروز تنش خشکی از طریق 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 (Davies et al., 2000; Leithy et al., 2006; Sepaskhah and Ahmadi, 2010; Irmak et al., 2016; Paris et al., 2018). نتیجه مطالعه ساراداس و همکاران 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 (Sardans et al., 2005).

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، به‌طوریکه به‌ازای عمق آب آبیاری ثابت (جدول ۴)، میزان وزن خشک اندام رویشی در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه بالاتر از وزن خشک اندام رویشی بدست آمده از تیمارهای کم‌آبیاری 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 (PRD_{75} و PRD_{55}) نسبت به سطوح مشابه در کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI_{75} و RDI_{55}) به‌ترتیب در حدود ۱۲ و ۱۵ درصد، در هر دو سیستم آبیاری بیشتر بود. از آن‌جا که در بسیاری از مطالعات علت کاهش وزن اندام رویشی، کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی اعلام شده است (Sardans et al., 2005; Terpinc et al., 2009)، پژوهشگران گزارش نمودند که 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 تنظیم شده در سطوح مشابه باشد (Shahnazari et al., 2007; Ahmadi et al., 2010; Sun et al., 2014; Colak et al., 2017; Consoli et al., 2017) که با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر هم‌سو است.

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین صورت گرفته توسط آزمون LSD (جدول ۶)، می‌توان اذعان داشت که بهره‌وری آب تیمارهای اعمال شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سطح یکسان آن در آبیاری قطره‌ای سطحی دارای برتری بیش از ۲۱ درصدی بود. مطالعات صورت گرفته نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌دلیل کاهش تبخیر و نفوذ عمقی از صرفه‌جویی بالاتری در مصرف آب نسبت به سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی برخوردار است و از طرف دیگر به‌دلیل سهولت جذب آب و مواد مغذی توسط ریشه، عملکرد محصول در این سیستم بالاتر است که نهایت منجر به افزایش چشمگیر بهره‌وری آب می‌شود (Zhang et al., 2011; Lim et al., 2013; Santos et al., 2016; Colak et al., 2017; Paris

et al., 2018). همچنین نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که سطح تأمین ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2PRD_{55}) با بهره‌وری آب ۲/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب در حالی از لحاظ آماری در جایگاه b قرار گرفت که نسبت به سطح تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2FI)، علاوه بر صرفه‌جویی ۴۵ درصدی در مصرف آب، از افزایش ۴/۵ درصدی در صفت بهره‌وری آب برخوردار بود. در این خصوص بررسی‌های صورت گرفته نشان از کارآمدی این روش مدیریتی (اعمال کم‌آبیاری) در استفاده بهینه از هر واحد آب مصرفی و افزایش بهره‌وری آب گیاهان مختلف داد (Sreevalli et al., 2001; Kusaka et al., 2005; Shirzad et al., 2011) 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 در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2PRD_{75}) با بهره‌وری آب ۲/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به سطح مشابه در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده در آبیاری زیرسطحی (S_2RDI_{75}) و سطح تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2FI) دارای افزایش بیش از ۱۲ 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 (Karandish, 2016; Du et al., 2017). همچنین، در روش آبیاری ناقص ریشه، درک کم‌آبی توسط سمت خشک ریشه، سبب تولید اسید آبسزیک در گیاه و بسته شده 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 (Sepaskhah and Ahmadi, 2010; Grab et al., 2013; Parvizi et al., 2014).

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری توسط آزمون LSD

تیمار		وزن خشک اندام رویشی (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
سطحی	FI	۳۸۷۴/۴ c	۱/۸۱ e
	RDI_{75}	۳۲۴۰/۲ e	۱/۸۲ e
	RDI_{55}	۲۳۲۵/۵ g	۱/۶۱ f
	PRD_{75}	۳۶۶۹/۳ d	۲/۰۶ d
	PRD_{55}	۲۷۳۳/۴ f	۱/۸۹ e
زیرسطحی	FI	۴۴۰۴/۲ a	۲/۳۱ c
	RDI_{75}	۳۶۸۰/۸ d	۲/۳۳ c
	RDI_{55}	۲۶۲۷/۷ f	۲/۰۶ d
	PRD_{75}	۴۱۷۱/۵ b	۲/۶۵ a
	PRD_{55}	۳۱۰۵/۱ e	۲/۴۲ b

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

نتیجه‌گیری

مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه، شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد، ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا زمانی حاصل می‌شود که گیاه آب مورد نیاز خود را به‌طور کامل دریافت کند. همچنین کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی علاوه بر صرفه‌جویی ۱۱/۴ درصدی در مصرف آب و ضمن ارتقاء چشمگیر شاخص‌های رشد گیاه، باعث افزایش در حدود ۲۱ درصدی بهره‌وری آب نسبت به استفاده از آبیاری قطره‌ای سطحی شد. این در حالی بود که تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2PRD_{75})، باعث افزایش تمامی شاخص‌های رشد گیاه نسبت به سطح مشابه اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2RDI_{75})، شد. همچنین در این تیمار ضمن صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب نسبت به تیمار آبیاری کامل، با توسعه مناسب شاخص سطح برگ و ریشه گیاه، امکان استفاده بهتر از انرژی خورشید و رطوبت موجود در خاک را به‌رغم اعمال تنش رطوبتی فراهم آورد. با این وجود، مقایسه میانگین شاخص سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی به‌عنوان مهم‌ترین مولفه‌های فیزیولوژیکی گیاه در سطح تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری ناقص ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2PRD_{75})، با اختلاف ناچیزی از تأمین کامل کمبود رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2FI) نسبت به سایر تیمارها تغییر کرد. از سوی دیگر، بهره‌وری آب، این تیمار از افزایش ۱۲/۸ درصدی نسبت به تأمین کامل کمبود

رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2FI) برخوردار بود. لـذا با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می‌توان سطح تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک در شرایط آبیاری نـاقص ریشـه در آبیـاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2PRD_{75})، را بـه‌عنـوان تیمـار برتـر و راهکـار مناسب برای مقابله با بحران آب، برای حرکت به سمت یـک سـامانه کشاورزی پایدار توصیه نمود.

منابع

بی‌نام. ۱۳۹۵. آمارنامه سازمان هواشناسی استان کرمان.

Ahmadi, S.H., Andersen, M.N., Plauborg, F., Poulsen, R.T., Jensen, C.R., Sepaskhah, A.R 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.

Allen, R.G., Pereir, L.S., Raes, D and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guideLines for computing crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. p.300.

Aziz, E., Hendawi, S.T., Din, E and Omar, E.A. 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of Thymus vulgaris plant. Agricultural and Environment Science. 4. 4: 443-450.

Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H. L., Waskom, R. M., Niu, Y and Siddique, K. H. 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. Agronomy for Sustainable Development. 36. 3: 1–21.

Colak, Y.B., Yazar, A., Sesveren, S and Colak, I. 2017. Evaluation of yield and leaf water potantial (LWP) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. Scientia Horticulturae. 219: 10-21.

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. European Journal of Agronomy. 82: 190-202.

Davies, W.J., Bacon, M.A., Thompson, D.S., Sobeih, W and Rodriguez, L.G. 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. 51:1617-1626.

Dry, P.R and Loveys, B.R. 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.

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.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Crops and drops: making the best use of water for agriculture, p. 28. Rome, Italy: FAO. Information brochure.

Gheysari, M., Mirlatif, S.M., Homaee, M., Asadi, M.E 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.

Ghrab, M., Gargouri, K., Bentaher, H., Chartzoulakisc, K., Ayadia, M., Mimound, M.B., Masmoudid, M.M., Mechliad, N.B 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.

Irmak, S., Djaman, K and Rudnick, D. 2016. Effect of full and limited irrigation amount and frequency on subsurface drip-irrigated maize evapotranspiration, yield and water use efficiency and yield response factors. Irrigation Science. 34: 271-286.

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.

Khazaei, H,R., Nadjafi, F and Bannayan, M. 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass and oil production of thyme (Thymus vulgaris) and hyssop (Hyssopus officinalis). Industrial Crops and Products. 27: 315-321.

Khosh-Khui, M., Ashiri, F and Sahakhiz, M.J. 2012. Effects of irrigation regimes on antioxidant activity and total phenolic content of thyme (Thymus vulgaris L.). Medicinal & Aromatic Plants. 1: 1-7.

Kusaka, M., Lalusin, A.G and Fujimura, T. 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (Pennisetum glaucum L. Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. Plant Science. 168: 1-14.

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.

Lim, T.J., Kim, K.I., Park, J.M and Noh, J.S. 2013. Estimation of the optimum installation depth of soil moisture sensor in an automatic subsurface drip irrigation system for greenhouse cucumber. Korean Journal of Soil Sciences. 46. 2: 99–104.

Limaa, R.S.N., Assis Figueiredoa, F.A.M.M., Martinsa,

Santos, L.N.S.D., Matsura, E.E., Gonçalves, I.Z., Barbosa, E.A.A., Nazario, A.A., Tuta, N.F., Elaiuy, M.C.L., Feitosa, D.R.C and Sousa, A.C.M.D. 2016. Water storage in the soil profile under subsurface drip irrigation: evaluating two installation depths of emitters and two water qualities. Agric. Water Manage. 170, 91–98.

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.

Sarker, K.K., Akanda, M.A., Biswas, S.H., Roy, D.K., Khatun, A and Goftar, M.A. 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.

Sepaskhah, A.R and Ahmadi, S.H. 2010. A review on partial root-zone drying irrigation. International Journal of Plant Production. 4. 4: 241-258.

Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E and Jensen, C.R. 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.

Shahrokhnia, M. H and Sepaskhah, A. L. 2017. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. Industrial Crops and Products. 95: 126-139.

Shao, G.C., Zhang, Z.Y., Liu, N., Yu, S.E and Xing W.G. 2008. Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper, Scientia horticulturae. 119: 11-16.

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 Journal. 4: 35-40.

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. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science. 22: 356-358.

Sun, Y., Holm, P.E and Liu, F. 2014. Alternate partial root-zone drying irrigation improves fruit quality in tomatoes. Horticultural Science. 41. 4: 185–191.

Taiz, L and Ziger, E. 1991. Plant Physiology. Benjamin Publication. p. 346-356.

Terpinc, P., Bezjak, M and Abramovic, H. 2009. A kinetic model for evaluation of the antioxidant activity of several Rosemary extracts. Food A.O., Deusa, B.C.S., Ferraza, T.M., Assis Gomesa, M.M., Sousab, E.F., Glennc, D.M 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 Horticulturae. 183: 13–22.

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.

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. Hortscience. 43: 1580-1585.

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.

Parvizi, H., Sepaskhah, A.R and Ahmadi, S.H. 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.

Pintore, G., Usai, M., Bradesi, P., Juliano, C., Boatto, G., Tomi, F., Chessa, M., Cerri, R and Casanova, J. 2002. Chemical composition and antimicrobial activity of Rosmarinus officinalis L. oils from Sardinia and Corsica. Flavor and Fragrance Journal. 7: 15–19.

Pisciotta, A., Lorenzo, R.D., Santalucia, G and Barbagallo, M.G. 2018. Response of grapevine (Cabernet Sauvignon cv) to above ground and subsurface drip irrigation under arid conditions. Agricultural Water Management. 197: 122-131.

Rajoob, A., Massadeh, A and Omari, M.N. 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.

Ram D, Ram, M and Singh, R. 2006. Optimization of water and nitrogen application to menthol mint (Mentha arvensis L.) through sugarcane trash mulch in a sandy loam soil of semi-arid subtropical climate. Bioresource Technology. 97: 886- 893.

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.

physiology in plant production-Partial root drying improves tomato crops. Journal of Food, Agriculture and Environment. 7: 981- 988.

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.

Zhang, H.X., Chi, D.C., Wang, Q., Fang, J and Fang, X.Y. 2011. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under subsurface drip irrigation in solar greenhouse. Agriculture Science China. 10. 6: 921–930.

Chemistry. 115. 2: 740-744.

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.

Wang, Z., Liu, F., Kang, S.H and Jensen, C.R. 2012. Alternate partial root zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (Zea mays) leaves. Environmental Experimental Botany. 75: 36-40.

Xu H., Qin F., Wang F., Xu Q., Wang R., Shah S., Zhao A and Li F. 2009. Applications of xerophyte

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 1027-1038

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۱۰۳۸-۱۰۲۷

Evaluation of Quantitative Traits of Rosmarinus Officinalis L. with Use of two Drip irrigation Systems Influenced by Deficit irrigation

R. Asadi[1], F. Hassan Pour[2*], M. Mehrabani[3], A. Baghizadeh[4] and F. Karandish[2]
Recived: Nov.02, 2018 Accepted: Nov.26, 2018

Abstract:

In order to study the effects of two drip irrigation systems and deficit irrigation on the quantitative traits of Rosmarinus officinalis L., an experiment was conducted in Kerman Municipality seedling production station in 2016. The experimental treatments were laid out in split plot a randomized complete block design with three replications. The treatments consisted of five irrigation regimes (full irrigation (FI-100), regulated deficit (RDI_{75} and RDI_{55}) and partial root zone drying irrigation (PRD_{75} and PRD_{55})) in main plot and two drip irrigation systems (S_1= surface and S_2= subsurface) in sub plot. The results showed that applying of subsurface drip irrigation system compared to use of surface drip irrigation, in addition to saving 11.4 percent in water use, increased the water productivity 21 percent. Also, the highest herbage dry weight (4404.2 $kg.h^{-1}$), plant height (68.4 cm), number of shoots (128.7) and leaf area index in different stages of growth were produced by S_2FI. Using S_2PRD_{75} compared to use of S_2RDI_{75}, increased all of the Rosmarinus plant growth parameters. However, Using S_2PRD_{75} compared to use S_2FI in addition to saving 25 percent in water use, increased the water productivity 12.8 percent and dry weight, number of shoots per plant and height of plant decreased 5.3, 8.9 and 9.8 percent respectively. Simultaneous analysis of Rosmarinus's water productivity and its growth parameters showed that it could be possible to save in irrigation water use and increase the water productivity with the lowest decrease in the Rosmarinus plant growth parameters by applying S_2PRD_{75}.

Keywords: Kerman, Leaf Area Index, Medicinal Plant, Partial Root Zone Drying Irrigation, Water Productivity

1- Ph.D. Student, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Zabol University
2-Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Zabol University
3-Professor (PhD), Department of Pharmacognozy, Faculty of Pharmacy, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran
4-Associate Professor, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology
5-Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Zabol University
(* - Corresponding Author Email:Hassanpourir @uoz.ac.ir)