

تأثیر آبیاری ناقص ریشه بر ویژگی‌های کمی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)

محمد ذونعمت کرمانی و رسول اسدی^{۱*}

پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

zounemat@uk.ac.ir

پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

rakh_802@yahoo.com

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران، کم‌آبیاری یکی از راه‌کارهای استفاده بهینه از آب و افزایش کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی است. در این راستا به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر ویژگی‌های کمی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تولید نهال شهرداری کرمان در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. در این تحقیق، پنج تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل (۱۰۰ درصد جبران کمبود رطوبتی خاک)، کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه هر کدام در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبتی خاک تا حد ظرفیت زراعی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه (۱۶۷۰/۶ کیلوگرم در هکتار) و شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد، در تیمار آبیاری کامل بدست آمد که از لحاظ آماری با ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین، بیشترین تعداد شاخه زایا (۶۴/۴) و ارتفاع بوته (۳۹/۴ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری کامل بدست آمد که از لحاظ آماری با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. این در حالی است که بیشترین بهره‌وری آب (۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب)، وزن تر ریشه (۴/۵ گرم)، طول ریشه (۱۵/۸ سانتی‌متر) و حجم ریشه (۲/۸ سانتی‌متر مکعب در هر بوته)، به سطح ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه اختصاص یافت که این امر به دلیل افزایش ریشه‌های ثانویه در این تیمار نسبت به سایر تیمارها بود. به‌طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان مطرح نمود که اعمال روش آبیاری ناقص ریشه و تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، می‌تواند به‌رغم اعمال تنش رطوبتی با توسعه مناسب شاخص سطح برگ و ریشه گیاه، امکان استفاده بهتر از رطوبت خاک و انرژی خورشید در فرآیند فتوسنتز را فراهم می‌آورد و راهکار مناسبی برای مقابله با بحران آب، برای حرکت به سمت یک کشاورزی پایدار محسوب شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، شاخص سطح برگ، کارایی مصرف آب، کرمان، کم‌آبیاری

۱- آدرس نویسنده مسئول: پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

*- دریافت: آبان ۱۳۹۶ و پذیرش: دی ۱۳۹۶.

مقدمه

متکی بودن اقتصاد ایران بر درآمدهای نفتی و تأثیرپذیری درآمدها از مسائل سیاسی و اقتصادی منطقه، آسیب‌پذیری اقتصاد کشور را سبب 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 غیرنفتی داشته باشند (خزائی و همکاران، ۲۰۰۸). این در حالی است که گرایش عمومی جوامع به استفاده از داروها و درمان‌های گیاهی و به طور کلی فرآورده‌های طبیعی، رو به افزایش بوده و مهم‌ترین علل آن، اثبات اثرات مخرب داروهای شیمیایی است (پیتور و همکاران، ۲۰۰۲).

گیاه دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) یکی از گیاهان مهم دارویی دنیا بوده که به دلیل کاربرد فراوان در صنایع دارویی و غذایی جایگاه ویژه‌ای را در بین گیاهان دارویی دارد (عزیز و همکاران، ۲۰۰۸). آویشن گیاهی خشبی و چندساله از خانواده نعناع (*Lamiaceae*) است که در مناطق مختلف دنیا رشد می‌کند (آل-رمانه، ۲۰۰۹). این گیاه بومی منطقه غرب مدیترانه و جنوب ایتالیا است (گیگورد و همکاران، ۱۹۹۹). آویشن دارای برگ‌های کوچک نیزه‌ای سبز رنگ به طول شش تا ۱۲ میلی‌متر و ساقه کوتاه است (دایکوسیوس و همکاران، ۲۰۰۲). اسانس آویشن از جمله ده اسانس برتر است که دارای خواص ضد باکتریایی و قارچی، آنتی‌اکسیدان، بادشکن، ضد قارچ، ضد کرم، خلط آور و نگه‌دارنده طبیعی غذا بوده و جایگاه خاصی در تجارت جهانی دارد. از آویشن در صنایع غذایی، دارویی، بهداشتی و آرایشی استفاده متنوعی می‌شود (نیک‌آور و همکاران، ۲۰۰۵).

از سوی دیگر، در حال حاضر کشاورزی تکیه‌گاه امنیت غذایی و حیات اقتصادی جهان است و کمبود آب به‌عنوان مهم‌ترین و محدودکننده‌ترین عامل

تولید، در این بخش مطرح است (توپک و همکاران، ۲۰۱۶). این در حالی است که تأمین امنیت غذایی برای نرخ روزافزون جمعیت جهان، مستلزم اختصاص دادن بخش عظیمی از منابع آب، به بخش کشاورزی است (قدیر، ۲۰۰۳). همچنین، از آن‌جا که کشور ایران دارای نزولات جوی کم و منابع آب محدود است، لذا استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی کاملاً ضروری است و باید از حداقل آب، حداکثر بهره‌وری لازم صورت پذیرد (اسدی و همکاران، ۲۰۱۲). لذا کم‌آبیاری می‌تواند یکی از راه‌کارهای استفاده بهینه از آب و افزایش کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی باشد (احمدی و همکاران، ۲۰۱۰).

کم‌آبیاری به مصرف آگاهانه کم‌تر آب به‌منظور استفاده مناسب‌تر از هر واحد حجم آب آبیاری، برای بدست آوردن عملکرد بهینه از محصولات کشاورزی و افزایش راندمان آبیاری اطلاق می‌شود (یازار و همکاران، ۲۰۰۹). از جمله تکنیک‌های توسعه یافته در شرایط کمبود آب می‌توان به آبیاری ناقص ریشه اشاره نمود (شاهنظری و همکاران، ۲۰۰۷). روش آبیاری ناقص ریشه برای اولین بار در کشور استرالیا اجرا شد و هدف اصلی 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 و این امر موجبات بررسی دلایل محقق شدن این هدف را فراهم آورد (درای و لاوز، ۱۹۹۸).

تئوری خاص حاکم بر روش آبیاری ناقص ریشه آن را از روش کم‌آبیاری معمولی که اغلب موجب کاهش محصول می‌شود (گراب و همکاران، ۲۰۱۳)، 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 روزه‌ها، میزان بازشدگی روزه را تحت تأثیر قرار داده که خود باعث کاهش میزان تلفات آب می‌شود (دیویز و همکاران، ۲۰۰۰). از جمله نتایج اعمال آبیاری ناقص ریشه می‌توان

مطالعات انجام شده در ایران نیز، آبیاری ناقص ریشه را به عنوان یک روش نوین توسعه یافته در زمینه آبیاری نموده و از این روش برای آبیاری گیاهان زراعی و باغی در تحقیقات مختلفی استفاده شده که نتایج پژوهش‌ها نشانگر ارتقاء بهره‌وری آب بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد گیاه و همچنین در بسیاری از موارد همراه با افزایش کیفیت محصول است (خالقی و همکاران، ۱۳۹۵؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۵؛ شاهنظری و رضائیان، ۱۳۹۴؛ جوزی و زارع‌ایبانه، ۱۳۹۴؛ قدمی‌فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۴ و میری و همکاران، ۱۳۹۳).

با توجه به مطالب مطرح شده می‌توان چنین ادعان داشت که شناخت عوامل مختلف موثر بر رشد گیاهان و نحوه تأثیر آن‌ها بر خصوصیات رشد گیاه و کاهش اثرات سوء این عوامل، گامی بلند در راستای بالا بردن بهره‌وری است. در این راستا بررسی مطالعات صورت گرفته در راستای مدیریت مصرف آب نشان می‌دهد که استفاده از استراتژی‌های نوین آبیاری نظیر آبیاری ناقص ریشه معطوف به کاربرد این روش در کشت محصولات باغی و زراعی بوده و تاکنون در راستای افزایش بهره‌وری آب و عملکرد گیاهان دارویی، از این روش کارآمد استفاده نشده است. لذا بررسی اثرات آبیاری ناقص ریشه بر ویژگی‌های کمی گیاه آویشن باغی که از با ارزش‌ترین گیاهان دارویی محسوب می‌شود، به عنوان هدف این مقاله مد نظر بوده است.

مواد و روش

به منظور ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه بر ویژگی‌های کمی آویشن باغی، آزمایشی در زمینی به مساحت ۲۷۰ متر مربع در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در ایستگاه تولید نهال و بذر شهرداری شهر کرمان، به اجرا درآمد. در این آزمایش پنج تیمار، آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵ درصد (RDI_{75}) و ۵۵ درصد (RDI_{55}) جبران کمبود رطوبتی خاک تا حد

به افزایش غلظت شیره آوندی و کاهش هدایت روزنه‌ای (سپاس‌خواه و احمدی، ۲۰۱۰)، افزایش کارایی مصرف آب (رومرو و همکاران، ۲۰۱۵) و عدم کاهش در کمیت و کیفیت محصول (لیما و همکاران، ۲۰۱۵) اشاره نمود. این در حالی است که تأثیر آبیاری ناقص ریشه در بهبود کیفیت عملکرد محصول با افزایش در میزان قند، در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است (لیما و همکاران، ۲۰۱۵؛ پرویز و همکاران، ۲۰۱۴؛ گراب و همکاران، ۲۰۱۳ و سپاس‌خواه و احمدی، ۲۰۱۰).

در این راستا، در بررسی تأثیر آبیاری ناقص ریشه بر کارایی مصرف آب درختان پرتغال، دو تیمار آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد در روش آبیاری ناقص ریشه در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴، به ترتیب ۲۰ و ۱۰ درصد افزایش یافت. لذا با توجه به اثرات مثبت روش آبیاری ناقص ریشه، محققین گزارش نمودند که در شرایط محدودیت منابع آب، روش آبیاری ناقص ریشه بخوبی می‌تواند ضمن افزایش عملکرد محصول، افزایش ذخیره آب را نیز به همراه داشته باشد (کانسولی و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین به منظور مقایسه اثرات آبیاری ناقص ریشه و آبیاری کامل بر عملکرد و اجرای عملکرد گوجه‌فرنگی در محیط باز، تیمارهای آبیاری ثابت و متناوب شیارها (یک طرفه گیاه) در دو سطح ۱۰۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با آبیاری تمام شیارها (دو طرف گیاه) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج 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. محصول تولید شده در آبیاری متناوب شیارها نسبت به آبیاری تمام شیارها و آبیاری ثابت شیارها از کیفیت بالاتری برخوردار بود (سارکر و همکاران، ۲۰۱۶).

گرفته و در اواخر فروردین ماه عملیات کشت انجام شد. مزرعه در محدوده طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه و ارتفاع ۱۷۹۹ متر از سطح دریا قرار گرفته است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن بیابانی تعیین شد. میانگین بارندگی، دما و تبخیر سی ساله منطقه به ترتیب ۱۲۹ میلی‌متر، ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۴۸ میلی‌متر است (بی‌نام، ۱۳۹۵). همچنین قبل از عملیات کشت نمونه‌برداری از آب و خاک مورد استفاده انجام شد و تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در جداول (۱) تا (۳) آمده است.

ظرفیت زراعی و آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ درصد (PRD₇₅) و ۵۵ درصد (PRD₅₅) جبران کمبود رطوبتی خاک تا حد ظرفیت زراعی، مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها در کرت‌هایی به عرض دو متر و طول پنج متر (شامل چهار ردیف کشت به فاصله ۰/۵ متر و فاصله بوته ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر) اجرا شد. همچنین، برای سهولت در اندازه‌گیری صفات، بین هر تیمار و هر تکرار، یک متر فاصله در نظر گرفته شد. در این تحقیق نشاء آویشن باغی از خزانه ایستگاه تحقیقاتی نهال و بذر شهرداری شهر کرمان تحویل

جدول ۱- بافت خاک محل تحقیق

عمق خاک (سانتی‌متر)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	درصد رطوبت وزنی در نقطه ظرفیت زراعی (مکش ۰/۳ بار)	درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی (مکش ۱۵ بار)
۲۵-۰	۱۸	۳۴	۴۷	لوم	۱/۴۴	۲۱	۸
۵۰-۲۵	۱۷	۳۴	۳۳	لوم	۱/۴۳	۲۲	۱۰

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی خاک منطقه

عمق خاک (سانتی‌متر)	آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول (میلی‌گرم در لیتر)									
	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	SAR	PH	EC (ds/m)
۲۵-۰	۸/۵	۲/۴	۵/۸	۶۱	۱۷	۶۰	۲۷۴	۲۱/۴	۸/۲	۱/۲
۵۰-۲۵	۸/۱	۲/۱	۴/۹	۵۲	۱۵	۵۲	۲۶۲	۲۶/۳	۸	۱/۱

جدول ۳- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد مطالعه

اسیدیته	آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول (میلی‌گرم در لیتر)							
	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منگنز	سولفات	کلر	بی‌کربنات	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)
۷/۱	۰/۹	۴/۵	۳/۳	۶/۳	۲/۲	۲	۴/۲	۰/۷

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. با توجه به اینکه دور آبیاری برای تمامی تیمارها ثابت و هر سه روز یک مرتبه بود، لذا به‌منظور تعیین میزان عمق آب آبیاری، قبل از هر نوبت آبیاری، با نمونه‌برداری از اعماق صفر تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک، رطوبت موجود در تیمار شاهد (آبیاری کامل)

در این بررسی، برای آبیاری از نوارهای تیپ ساخته شده توسط شرکت آب حیاط کرمان که دارای ضخامت ۲۰۰ میکرون، فاصله مجاری آبده ۳۰ سانتی‌متر و دبی چهار لیتر در ساعت در هر متر از طول لوله بود، 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 تنظیم شده، در هر نوبت آبیاری، هر دو سمت گیاه، آبیاری شد؛ اما در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، در هر نوبت آبیاری، به‌صورت تناوب، فقط یک طرف ردیف کشت، آبیاری

تر، حجم و طول ریشه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس برای اندازه‌گیری این شاخص‌ها در ابتدای مرحله گل‌دهی (۱۷۰ روز بعد از کشت)، با حذف ردیف‌های کناری در هر تکرار و نیم متر از ابتدا و انتهای دو ردیف وسط، به‌منزله اثر حاشیه، نمونه‌برداری فقط از دو ردیف وسط انجام شد. بوته‌های برداشت شده به مدت سه هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، خشک شده و سپس وزن خشک شده اندام رویشی اندازه‌گیری شد (عزیز و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، برای تعیین بهره‌وری آب از رابطه (۲) استفاده شد. در نهایت داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (در سطح یک و پنج درصد) انجام شد.

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

که در آن:

WUE: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y_T : وزن خشک اندام رویشی (کیلوگرم) و V_T : مجموع تبخیر تفرق واقعی گیاه (مترمکعب) است.

نتایج و بحث

میزان آب مصرفی

همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است اعمال تیمارهای RDI_{75} و PRD_{75} منتج به ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار شد. این در حالی است که اعمال تیمارهای یاد شده صرفه‌جویی ۱۶/۵ درصدی را در کل دوره رشد نسبت به تیمار کامل آبیاری در پی داشت. همچنین صرفه‌جویی در تیمارهای RDI_{55} و PRD_{55} نسبت به تیمار آبیاری کامل در طول دوره اعمال تیمار ۴۵ درصد و در کل دوره رشد گیاه ۳۲/۳ درصد بود. پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که اگرچه میزان آب داده شده در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناصص ریشه در سطوح مشابه، یکسان است، اما مقادیر متفاوت در جذب رطوبت خاک به‌وسیله ریشه در این دو روش، می‌تواند زمینه لازم

اندازه‌گیری و میزان عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه زیر بدست آمد (قیصری و همکاران، ۲۰۰۹):

$$I_n = \sum_{j=1}^2 ((\theta_{FCj} - \theta_{BIj}) \times D_j) \quad (1)$$

که در آن:

I_n : عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، θ_{FCi} : درصد رطوبت وزنی در نقطه رطوبتی ظرفیت زراعی در لایه i ام، θ_{BC} : درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری در لایه i 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 تنظیم شده نیز تا ۴۰ روز بعد از عملیات کاشت (پس از استقرار گیاه)، با ضرب نمودن عمق آب آبیاری (رابطه ۱) در مساحت هر کرت در درصد سطح خیس شده (۰/۳۵)، بدست آمد (قیصری و همکاران، ۲۰۰۹).

این مطالعه منظور از آبیاری کامل، یعنی تأمین رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی. در این راستا با اندازه‌گیری میزان رطوبت اولیه موجود در خاک (رطوبت قبل از آبیاری) از دو عمق ۰ تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری و کم کردن آن از میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی (قبل از انجام آزمایش با نمونه‌برداری از خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (تحت فشار ۰/۳ بار) محاسبه شد)، عمق آبیاری در تیمار آبیاری کامل بدست آمد لذا عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل همان تأمین رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی است. این در حالی بود که برای بدست آوردن عمق آب آبیاری در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد، عمق آب بدست آمده از تیمار آبیاری کامل را به‌ترتیب در اعداد ۰/۷۵ و ۰/۵۵ ضرب نموده لذا دو سطح مذکور نشان دهنده تأمین ۷۵ و ۵۵ درصد حد ظرفیت زراعی یا تأمین ۷۵ و ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی می‌باشند (کولاک و همکاران، ۲۰۱۷).

در این بررسی، برای مقایسه تیمارها، شاخص‌های رشد گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا، وزن خشک اندام رویشی، شاخص سطح برگ، وزن

برای ایجاد اختلاف بین مقادیر عملکرد و اجزای رشد گیاه در این تیمارها را فراهم آورد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲ و توپک و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول ۴- حجم آب مصرفی در تیمارهای آبیاری کامل (FI)، کم آبیاری تنظیم شده (RDI) و آبیاری ناقص ریشه (PRD)

تیمار	عمق آب مصرفی (میلی‌متر)	میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (درصد)
FI کل فصل رشد	۲۸۷/۲	-
FI در دوره اعمال تیمار	۱۹۱/۶	-
PRD ₇₅ و RDI ₇₅ کل فصل رشد	۲۳۹/۸	۱۶/۵
PRD ₇₅ و RDI ₇₅ در دوره اعمال تیمار	۱۴۳/۷	۲۵
PRD ₅₅ و RDI ₅₅ کل فصل رشد	۱۹۴/۴	۳۲/۳
PRD ₅₅ و RDI ₅₅ در دوره اعمال تیمار	۱۰۵/۴	۴۵

شاخص‌های رشد گیاه

در این بررسی، پارامترهای ریشه گیاه در یک مرحله (انتهای فصل رشد) اندازه‌گیری شد. لذا با توجه به جدول ۵ که نشان‌دهنده مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده 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 (PRD₇₅) بدست آمد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با مقادیر بدست آمده از آبیاری کامل (FI) نداشت. مطالعات صورت گرفته علت این نتیجه را شیوه خاص آبیاری ناقص ریشه دانستند که باعث افزایش ریشه‌های ثانویه می‌شود (سپاس‌خواه و احمدی، ۲۰۱۰؛ لویس و همکاران، ۲۰۰۰ و لیانگ و همکاران، ۱۹۹۶). این در حالی است که اعمال تنش آبی در تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده در حد معنی‌داری باعث کاهش وزن تر، طول و حجم ریشه نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) شد. پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد 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 سلول‌ها باشد (شاه و همکاران، ۲۰۰۸). اگرچه اعمال تنش به شیوه کم آبیاری تنظیم شده منتج به کاهش معنی‌دار ویژگی‌های ریشه شد، اما نتایج نشان‌دهنده بیشتر بودن مقادیر اندازه‌گیری شده

ریشه در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه نسبت به مقادیر بدست آمده در تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده 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 (سارکر و همکاران، ۲۰۱۶؛ گراب و همکاران، ۲۰۱۳؛ سپاس‌خواه و احمدی، ۲۰۱۰ و درای و لاوز، ۱۹۹۸). در این راستا سپاس‌خواه و احمدی (۲۰۱۰) گزارش نمودند که آنچه باعث تفاوت در رشد ریشه بین روش آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری تنظیم شده، می‌شود متناوب 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.

شکل ۱ نشان دهنده مقایسه میانگین تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته تحت تأثیر تیمارهای آبیاری که با آزمون دانکن به دست آمده است.

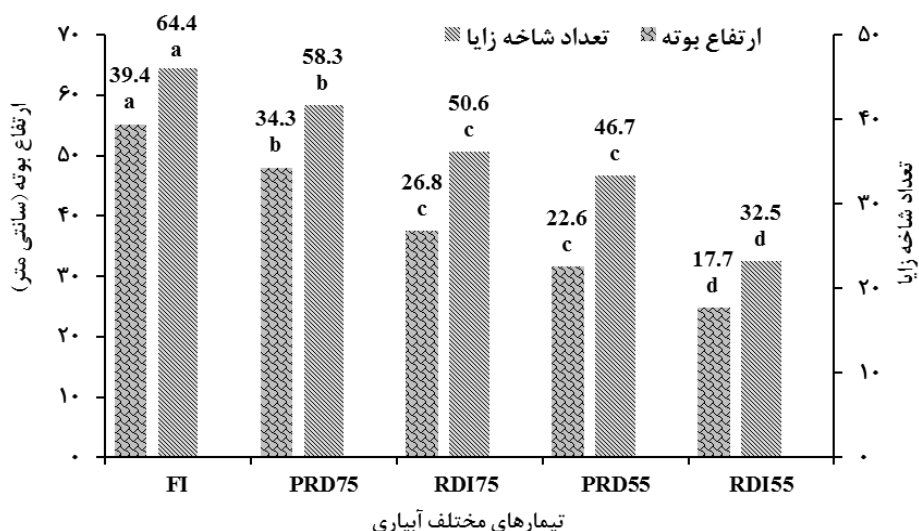
جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای ریشه گیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار	وزن تر ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)
FI	۴/۴ ^a	۱۵/۶ ^a	۲/۶ ^a
PRD ₇₅	۴/۵ ^a	۱۵/۸ ^a	۲/۸ ^a
RDI ₇₅	۳/۱ ^b	۱۲/۴ ^b	۲/۲ ^b
PRD ₅₅	۲/۴ ^c	۱۲/۷ ^b	۱/۹ ^b
RDI ₅₅	۱/۸ ^d	۹/۷ ^c	۱/۴ ^c

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

ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده است. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که شرایط محیطی از جمله تنش خشکی، به میزان زیادی ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا آویشن باغی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (خوش‌خوی و همکاران، ۲۰۱۲ و خزائی و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طوری‌که طی بروز تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستی موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود (مارجانویچ و همکاران، ۲۰۱۵ و یازار و همکاران، ۲۰۰۹). این در حالی است که هر گونه کمبود رطوبت خاک موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم و کاهش توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ می‌شود (سروالی و همکاران، ۲۰۰۱). لذا اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع بوته، کوچک بودن برگ‌ها و کاهش تعداد شاخه زایا تشخیص داد (خوش‌خوی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کوساکا و همکاران، ۲۰۰۵ و ارکوسا و همکاران، ۲۰۰۲)؛ 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 تنظیم شده افزایش می‌یابد که در نهایت باعث عملکرد بهتر تیمار آبیاری ناقص ریشه می‌شود (لیما و همکاران، ۲۰۱۵؛ پرویز و همکاران، ۲۰۱۴ و سان و همکاران، ۲۰۱۴).

با توجه به این شکل می‌توان مطرح نمود که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر دو صفت تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته که از موثرترین شاخص‌های تعیین‌کننده عملکرد (وزن خشک اندام هوایی) گیاه آویشن بوده (عزیز و همکاران، ۲۰۰۸)، معنی‌دار است. به‌طوری‌که تأمین کامل نیاز آبی گیاه باعث ایجاد بیشترین تعداد شاخه زایا (۶۴/۴) و ارتفاع بوته (۳۹/۴ سانتی‌متر) در انتهای فصل رشد شد. اعمال سطح ۷۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک در آبیاری ناقص ریشه (PRD₇₅)، باعث ایجاد اختلاف ۹/۵ و ۱۲/۹ درصدی به‌ترتیب در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) شد. این در حالی است که سطح ۷۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI₇₅) در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته به‌ترتیب اختلاف ۲۱/۴ و ۳۲ درصدی نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) داشت. همچنین، 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 ۷/۷ و ۱۵/۷ درصدی به‌ترتیب در صفات تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته نسبت به سطح ۷۵ درصد اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI₇₅)، در هر دو صفت از لحاظ آماری در جایگاه یکسانی با سطح یاد شده قرار گرفته است که نشان از برتری مطلق اعمال آبیاری ناقص



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات ارتفاع بوته و تعداد شاخه زیا تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری

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

می‌دهد و تنش رطوبتی در طول دوره رشد گیاه، منجر به کوچک شدن برگ‌ها و ریزش آن‌ها می‌شود (پاکتر و همکاران، ۲۰۰۵). با نزدیک شدن به مراحل پایانی رشد گیاه، تفاوت بین شاخص سطح برگ تیمارهای آبیاری کامل و سطح ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه (PRD75) کم‌تر شد که با نتایج بدست آمده از سایر مطالعات هم‌سو است (لیما و همکاران، ۲۰۱۵ و سان و همکاران، ۲۰۱۴).

در این بررسی، شاخص سطح برگ در شش مرحله، از زمان اعمال تیمار هر ۲۵ روز یک مرتبه، اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در جدول ۶ مشخص است، در دو مرحله اول به‌رغم وجود روند صعودی در شاخص سطح برگ، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت، این در حالی است که در چهار مرحله بعد بین تیمارها از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار بود. پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که رشد برگ جزء اولین فرآیندهایی است که به کمبود آب واکنش نشان

جدول ۶- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	مرحله چهارم	مرحله پنجم	مرحله ششم
FI	۰/۹۴ ^a	۱/۶۱ ^a	۲/۲۷ ^a	۲/۹۷ ^a	۲/۸۳ ^a	۲/۶۶ ^a
PRD75	۰/۹۵ ^a	۱/۵۲ ^a	۲/۰۴ ^a	۲/۸۱ ^a	۲/۶۹ ^a	۲/۵۵ ^a
RDI75	۰/۹۶ ^a	۱/۴۸ ^a	۱/۹۹ ^b	۲/۲۸ ^b	۲/۲۶ ^b	۲/۰۴ ^b
PRD55	۰/۹۴ ^a	۱/۴۵ ^a	۱/۹۶ ^b	۲/۵۱ ^b	۲/۵۱ ^b	۱/۷۳ ^b
RDI55	۰/۹۵ ^a	۱/۴۱ ^a	۱/۷۱ ^c	۱/۹۵ ^c	۱/۹۴ ^c	۱/۶۸ ^c

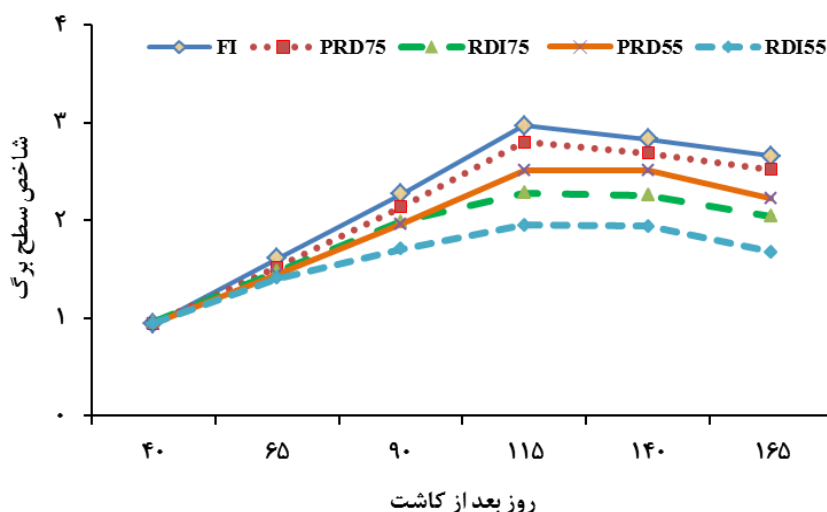
حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است

برگ‌ها به دلیل کمبودهای ناشی از کم‌آبیاری، باعث تسریع در ایجاد سیر نزولی شاخص سطح برگ تیمارهای تحت کم‌آبیاری تنظیم شده می‌شود (سارکر و همکاران، ۲۰۱۶ و رومرو همکاران، ۲۰۱۵). این شکل نشان می‌دهد که روند تغییرات شاخص سطح برگ در سطح ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه (PRD75) با تیمار آبیاری

شکل ۲ نشان می‌دهد که سیر نزولی شاخص سطح برگ در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده زودتر از تیمارهای آبیاری ناقص ریشه و آبیاری کامل شروع شد. همچنین، مقادیر شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه نسبت به سطوح مشابه در کم‌آبیاری تنظیم شده، بالاتر بود. پژوهشگران نشان دادند که پیری زود رس

آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل، یک عکس‌العمل فیزیولوژیکی مهم در شرایط تنش رطوبتی در بخش خشک ریشه است که به دلیل تولید اسید آبسزیک اسید در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی به وجود آمده است. در مقابله با اثرات منفی کاهش سطح برگ، گیاه روزنه‌های خود را به‌طور نسبی بسته و زمینه لازم برای حفظ فتوسنتز و در نتیجه کاهش معنی‌دار عملکرد را فراهم می‌آورد (دیویس و همکاران، ۲۰۰۴).

کامل (FI) مشابه بود و با اختلافی کمی از آن نسبت به سایر تیمارها تغییر کرد. نتایج بدست آمده از سایر پژوهش‌ها نشان داد که کاهش میزان بازشدگی روزنه‌ها و جلوگیری از هدر رفت آب جذب شده، می‌تواند زمینه لازم را برای شادابی و فتوسنتز و در نتیجه عدم تغییر معنی‌دار سطح برگ در تیمار آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل را فراهم آورد (کونسولی و همکاران، ۲۰۱۷ و کاراندیش، ۲۰۱۶). کاهش سطح برگ در تیمارهای

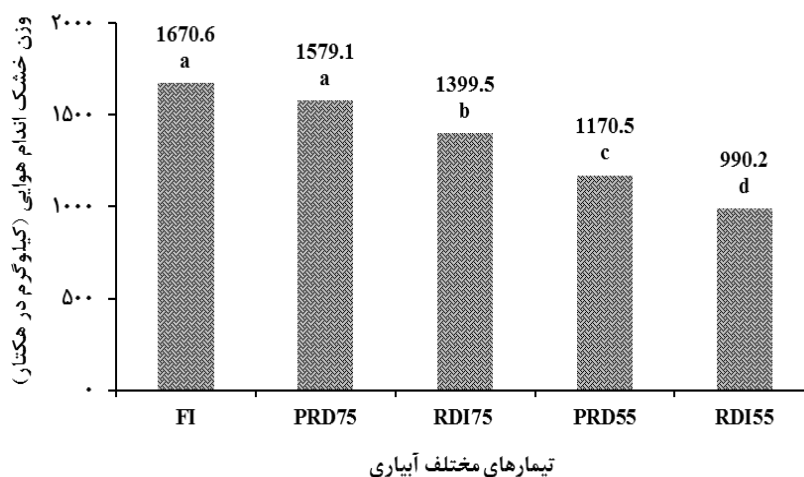


شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری

از سوی دیگر، شیوه آبیاری در کاهش و افزایش عملکرد محصول دخیل است لذا به‌ازای عمق آب آبیاری ثابت (جدول ۴)، همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، میزان عملکرد محصول در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه بالاتر از عملکرد بدست آمده در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده در سطوح آبیاری مشابه، بود. به‌طوری‌که میزان عملکرد محصول در سطوح ۷۵ و ۵۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص (PRD75 و PRD55) نسبت به سطوح مشابه در کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI75 و RDI55) به‌ترتیب ۱۱/۴ و ۱۵/۴ درصد بیشتر بود. 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 محصول در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده در سطوح مشابه باشد (لیما و همکاران، ۲۰۱۵؛ پرویز

شکل ۳ نشان دهنده مقایسه میانگین صفت وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری است. با توجه به این شکل می‌توان مطرح نمود که به رغم صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب سطح ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه (PRD75) نسبت به آبیاری کامل (FI) در دوره اعمال تیمار، اختلاف معنی‌داری بین عملکرد این دو تیمار مشاهده نشد. این در حالی است که مقدار عملکرد بدست آمده در تیمار آبیاری کامل با سایر تیمارها معنی‌دار است. به‌طوری‌که اختلاف عملکرد در سطوح ۷۵ و ۵۵ درصد اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI75 و RDI55) با آبیاری کامل به‌ترتیب ۱۶/۲ و ۴۰/۷ درصد بود. پژوهش‌های صورت گرفته نیز نشان از کاهش میزان وزن خشک اندام هوایی در نتیجه اعمال تنش رطوبتی می‌دهند (خوش‌خوی و همکاران، ۲۰۱۲ و خزائی و همکاران، ۲۰۰۸).

و همکاران، ۲۰۱۴ و سپاس‌خواه و احمدی، ۲۰۱۰) که با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر هم‌سو است.

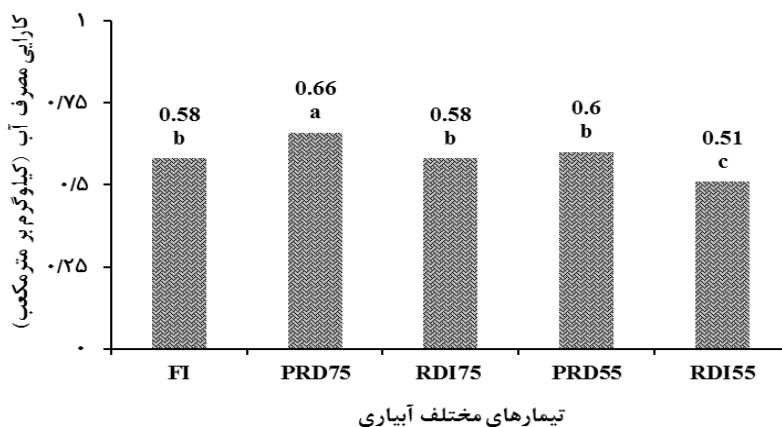


شکل ۳- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد است

آبیاری کامل و عدم کاهش معنی‌دار محصول گزارش شده است (دو و همکاران، ۲۰۱۷ و کاراندیش، ۲۰۱۶). همچنین، در روش آبیاری ناقص ریشه، درک کم‌آبی توسط سمت خشک ریشه، سبب تولید اسید آسزیک 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 (پرویز و همکاران، ۲۰۱۴؛ گراب و همکاران، ۲۰۱۳ و سپاس‌خواه و احمدی، ۲۰۱۰).

بهره‌وری آب

شکل ۴ نشان دهنده مقایسه میانگین بهره‌وری آب تحت تأثیر تیمارهای آبیاری است. با توجه به این شکل می‌توان مطرح نمود که بیشترین و کم‌ترین میزان این صفت به ترتیب متعلق به سطوح ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه (PRD75) و ۵۵ درصد اعمال شده در کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI55) است. همچنین بهره‌وری آب در سطوح ۵۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری تنظیم شده (PRD55 و RDI55) و آبیاری کامل (FI) از لحاظ آماری در جایگاه b قرار گرفته‌اند. نتیجه این امر در بسیاری از مطالعات، کاهش حجم آب مصرفی در تیمار آبیاری ناقص ریشه نسبت به



شکل ۴- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری
حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد است

نتیجه گیری

مقایسه میانگین شاخص سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی به عنوان مهم ترین مولفه های فیزیولوژیکی گیاه در تیمار ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه، نشان از عدم تفاوت معنی دار با تیمار آبیاری کامل داشت. از سوی دیگر، بهره وری آب، وزن تر ریشه، طول ریشه و حجم ریشه این تیمار دارای افزایش به ترتیب ۱۲/۱، ۲/۲، ۲/۱ و ۷/۱ درصدی نسبت به تیمار آبیاری کامل بود. لذا با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می توان سطح ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه را به عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با بحران آب، برای حرکت به سمت یک سامانه کشاورزی پایدار توصیه نمود.

مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه و شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد زمانی حاصل می شود که گیاه آب مورد نیاز خود را به طور کامل دریافت کند. این در حالی است که اعمال سطح ۷۵ درصد اعمال شده در آبیاری ناقص ریشه باعث افزایش تمامی شاخص های اندازه گیری شده نسبت به سطح مشابه اعمال شده در کم آبیاری تنظیم شده، شد. همچنین در این تیمار ضمن صرفه جویی 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 به رغم اعمال تنش رطوبتی فراهم آورد. با این وجود،

فهرست منابع

۱. بی نام. ۱۳۹۵. آمارنامه سازمان هواشناسی استان کرمان.
۲. جوزی، م. و زارع ایبانه، ح. ۱۳۹۴. شاخص های بهره وری و کارایی مصرف آب چغندر قند تحت سطوح مختلف آب و کود نیتروژن. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۵ (۵): ۱۷۷-۱۳۳.
۳. خالقی، م.، حسن پور، ف.، شاه نظری، ع. و کاراندیش، ف. ۱۳۹۵. تأثیر مدیریت آبیاری ناقص ریشه با کاربرد آب تلفیقی دریا بر بهره وری آب و عملکرد گیاه آفتابگردان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷ (۳): ۶۱۳-۶۲۳.
۴. شاه نظری، ع. و رضائیان، م. ۱۳۹۴. تأثیر کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر خصوصیات کمی و کیفی توت فرنگی. نشریه آب و خاک، ۲۹ (۴): ۸۲۰-۸۲۷.
۵. قدمی فیروز آبادی، ع.، رائینی، م.، شاه نظری، ع. و زارع ایبانه، ح. ۱۳۹۴. تأثیر کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد، فلورسانس کلروفیل و پارامترهای رشد آفتابگردان. محله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹ (۲): ۱۵۷-۱۶۷.
۶. میری، ف.، شاه نظری، ع.، ضیاءتبار احمدی، م. و زبردست رستمی، ح. ۱۳۹۳. اثر کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد کمی و کیفی میوه پرتقال. نشریه علوم باغبانی، ۲۸ (۱): ۸۰-۸۶.
۷. نادری، ن.، فضل اولی، ر.، ضیاءتبار احمدی، م.، شاه نظری، ع. و خاوری خراسانی، س. ۱۳۹۵. بررسی اثر کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر پارامترهای فیزیولوژیکی و فتوسنتز ذرت علوفه ای. نشریه آب و خاک، ۳۰ (۲): ۴۳۲-۴۴۲.
8. 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.

9. Allen, R.G., Pereir, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guide Lines for computing crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. p.300.
10. Al-Ramamneh, E.D.M. 2009. Plant growth strategies of *Thymus vulgaris* L. in response to population density. *Industrial Crops and Products*, 30: 389-394.
11. 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.
12. 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.
13. Colak, Y.B., Yazar, A., Sesveren, S. and Colak, I. 2017. Evaluation of yield and leaf water potential (LWP) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Scientia Horticulturae*. 219: 10-21.
14. 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.
15. Dapkevicius, A., Van Beek, T.A., Lelyveld, G.P., Veldhuizen, A., Groot, A., Linssen, J.P.H. and Venskutonis, R. 2002. Isolation and structure elucidation of radical scavengers from *Thymus vulgaris* leaves. *Natural Production*, 65: 892-896.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Erkossa, T., Stahr, K. and Tabor, G. 2002. Integration of organic and inorganic fertilizers: effect on vegetable productivity. *Ethiopian Agricultural Research Organization, Debre Zeit Agricultural Research Centre, Ethiopia*, 82: 247- 256.
20. Gheysari, M., Mirlatif, S.M., Homae, 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.
21. 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.
22. Gigord, L., Lavigne, C., Shykoff, J.A. and Atlan, A. 1999. Evidence for effects of restorer genes on male and female reproductive functions of hermaphrodites in the species *T. vulgaris* L. *Journal of Evolutionary Biology*, 12 (3): 596-604.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.

27. Liang, J., Zhang, J. and Wong MH. 1996. Effects of air-filled soil porosity and aeration on the initiation and growth of secondary roots of maize (*Zea mays*). *Plant and Soil Journal*, 186: 245-254.
28. Lima, R.S.N., Assis Figueiredo, F.A.M.M., Martins, A.O., Deus, B.C.S., Ferraz, T.M., Assis Gomes, M.M., Sousa, E.F., Glenn, 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.
29. Loveys, B.R., Dry, P.R., Stoll, M. and McCarthy, M.G. 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Hort*, 537, 187-199.
30. 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.
31. Nikavar, B., Mogab, F. and Dolat-Abadi, R. 2005. Analysis of the essential oils of two thymus species from Iran. *Food Chemistry*, 90: 609-611.
32. Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of (*Phragmites australis*) to water deficit. *Aquatic Botany Journal*, 81: 285-299.
33. 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.
34. 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.
35. Qadir, M. 2003. Agricultural water management in water starved countries: Challenges and opportunities. *Agricultural Water Management*, 62: 165-185.
36. 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.
37. Sarker, K.K., Akanda, M.A., Biswas, S.H., Roy, D.K., Khatun, A. and Gofar, 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.
38. 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.
39. Shah, F.R., Ahmad, N., Masood, K.R. and Zahid, D.M. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia sissoo roxb.*) seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4): 1341-1348.
40. 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.
41. Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekhara, 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.
42. 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.
43. 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.
44. 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.

45. 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.

Effect of Partial Root Zone Drying on the Quantitative Traits of (*Thymus vulgaris* L.)

M. Zounemat Kermani and R. Asadi^{1*}

Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

zounemat@uk.ac.ir

Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

rakh_802@yahoo.com

Abstract

Considering the limited water resources in arid and semi-arid climate of Iran, deficit irrigation is one of the strategies for efficient use of water and increasing water use efficiency in agricultural districts. In order to study the effects of deficit irrigation on the quantitative traits of *Thymus vulgaris* L., an experiment was conducted in Kerman Municipality seedling production station in 2016. The experimental treatments were arranged as randomized complete block design with three replications. The irrigation regimes consisted of full irrigation (FI-100), regulated deficit (RDI_{75%} and RDI_{55%}) and partial root zone drying irrigation (PRD_{75%} and PRD_{55%}). The results showed that the highest herbage dry weight (1670.6 kg/ha) and leaf area index in different stages of growth were produced by full irrigation treatment, while no significant difference between this treatment and PRD₇₅ was observed. Also, the highest number of shoots (64.4) and plant height (39.4 cm) were produced by full irrigation treatment and there was significant difference between this treatment and other treatments. However, the highest water use efficiency (0.66 kg/m³), root fresh weight (4.5 g), root depth (15.8 cm) and root volume (2.8 cm³ per plant) appeared in PRD₇₅. Therefore, 75 percent water replacement in partial root zone drying irrigation treatments, in addition to saving water consumption, provides better use of soil moisture and sunlight. Thus, this treatment can be considered as suitable approach to cope with the water crisis and achieve a sustainable agriculture.

Keywords: Deficit Irrigation, Drip Irrigation, Kerman, Leaf Area Index, Water Use Efficiency

1 - Corresponding author: Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

*- Received: November 2017 and Accepted: January 2018