نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۱۳-۴۰۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 402-413

تأثیر کمیت و کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات کمی گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)

آسا ریگی کاروندری[۱]، احمد مهربان[۲*]، حمید رضا گنجعلی[۳]، خالد میری[۴] و حمیدرضا مبصر[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۸

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر توأم کمیت و کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات کمی گیاه داوریی رزماری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تولید نهال و بذر شهرداری ایران‌شهر در سال زراعی ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل چهار سطح آبیاری (I_1=۱۰۰، I_2=۸۵، I_3=۷۰ و I_4=۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه کیفیت آب (آب چاه =Q_1، فاضلاب تصفیه شده =Q_2 و آبیاری تلفیقی (۵۰ درصد آب چاه و ۵۰ درصد فاضلاب تصفیه شده)=Q_3) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. نتایج نشان داد که شاخص‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا، وزن خشک اندام رویشی و بهره‌وری آب حاصله در آبیاری با فاضلاب تصفیه شده نسبت به آبیاری با آب چاه افزایش به‌ترتیب ۱۸/۶، ۱۹/۳، ۱۳/۲ و ۱۳/۳ درصدی و نسبت به آبیاری تلفیقی افزایش به‌ترتیب ۵/۴، ۵/۹، ۴/۱ و ۳/۸ درصدی داشت. همچنین صرفه‌جویی ۳۴۸ متر مکعبی آب سطح تأمین ۸۵ درصد نسبت به ۱۰۰ جبران کمبود رطوبت خاک در حالی تنها باعث کاهش ۷/۱، ۶/۹ و ۴/۶ درصدی به‌ترتیب در شاخص‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی شد، که افزایش ۱۱/۳ درصدی بهره‌وری آب را به‌دنبال داشت. لذا با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می‌توان سطح تأمین ۸۵ درصد کمبود رطوبت خاک با فاضلاب تصفیه شده، را به‌عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با بحران آب و افزایش بهره‌وری آب، جهت حرکت به سمت یک سامانه کشاورزی پایدار توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، آبیاری تلفیقی، بهره‌وری آب، پساب، کم‌آبیاری

مقدمه

تغییر اقلیم سبب افزایش گرمایش جهانی، تغییر در چرخه هیدرولوژی، تشدید کاهش منابع آب و مشکلات فراوان در بسیاری از نقاط جهان، از جمله اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک شده است (Malash et al., 2005). از طرف دیگر با توجه به محدود بودن منابع آب با کیفیت مطلوب و افزایش نیاز آبی جمعیت رو به رشد، تقاضا برای استفاده از آب‌های غیرمتعارف برای آبیاری محصولات کشاورزی افزایش یافته است (Cao et al., 2016).

از آن‌جاکه کشور ایران به‌شدت از لحاظ کمبود منابع آب رنج می‌برد که در بلند مدت بحران منابع آب می‌تواند در این کشور به یک مسئله جدی تبدیل شود (Rezapour et al., 2012)، لذا استفاده از منابع آبی نامتعارف که منجر به کاهش فشار بر منابع آب شیرین شود، روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود (Al-khamisi et al., 2013). این در حالی است که بدلیل توسعه شهرنشینی، همه ساله بخش عظیمی از منابع آب به‌علت تغییر کیفیت از چرخه مصرف خارج شده که نمونه بارز آن، فاضلاب شهری است (Soroush et al., 2008). استفاده از فاضلاب تصفیه شده به‌عنوان یکی از منابع پایدار به‌قدری حائز اهمیت است که در اغلب کشورهایی که با کمبود آب مواجه‌اند، در دسترس‌ترین منبع آب جهت آبیاری محصولات کشاورزی است (Rezapour et al., 2017). به‌طوری‌که با استفاده صحیح از پساب ضمن گسترش پوشش گیاهی، به‌دلیل غنی بودن از نظر مواد غذایی باعث کاهش هزینه مصرف کودهای شیمیایی شده و به‌عنوان منبع آبی-کودی ارزان قیمت از توجه بالایی برخوردار است (Hirich et al., 2013).

نتایج مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر فاضلاب تصفیه شده بر رشد گیاه دارویی بادرنجبویه، نشان داد که بیشترین ارتفاع و قطر ساقه در تیمار آبیاری با پساب بدست آمد. همچنین درصد اسانس تحت تأثیر میزان استفاده از پساب در آب آبیاری قرار گرفت و بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۰۰ درصد استفاده از پساب حاصل شد (علی‌نژادجهرمی و همکاران، ۱۳۹۱). بررسی تأثیر استفاده از پساب بر عملکرد کلم نشان داد که آبیاری با پساب، ضمن افزایش عناصر غذایی خاک، مواد آلی

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
۲و۵- استادیار گروه زراعت، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
۴- استادیار عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی بلوچستان
(*- نویسنده مسئول: Email: ahmadmehraban135@yahoo.com)

www.SID.ir

Archive of SID

موجود در پساب توسط میکروارگانیزم‌ها تجزیه شده و افزایش هوموس خاک و در نهایت بهمبود خواص شیمیایی و حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد گیاه را در پی داشت (رجبی‌سرخنی و قائمی، ۱۳۹۱). نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان از افزایش ۲۰ درصدی عملکرد گوجه‌فرنگی و بادمجان، آبیاری شده با پساب تصفیه شده در مقایسه با آب معمولی داد (Cirelli et al., 2012).

از طرف دیگر رشد روز افزان جمعیت، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و خشکسالی‌های متوالی در اکثر کشورهای واقع در کمربند خشک جهان، موجب شده است که فشار زیادی به منابع آب وارد گردد (Rattan et al., 2005). لذا، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین (FAO, 2002)، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش فشار بر منابع آب داشته باشد. در این راستا کشاورزان نگاه خود را به گزینه‌های بهبود بهره‌وری آب دقیق‌تر نموده‌اند که یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های مدیریتی، استعمال کم‌آبیاری بر گیاه است که بهبود بهره‌وری آب را به‌همراه دارد (Romano et al., 2009). تنش خشکی یکی از رایج‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که باعث افزایش بهره‌وری آب و بازده استفاده از اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Sarker et al., 2016). کم‌آبیاری به‌عنوان تکنیکی فنی و اقتصادی، برای سامان بخشیدن به روابط آب مصرفی و عملکرد گیاه مطرح می‌باشد (Asadi et al., 2012). در این تکنیک به‌زراعی، عامدانه و عالمانه به گیاه اجازه داده می‌شود که با دریافت آب کم‌تر از نیاز به‌منظور افزایش بهره‌وری آب، محصول را تا اندازه‌ای کاهش دهد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد (SouDakoure et al., 2013).

در این راستا اسدی و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی تأثیر سه سطح (۲۵، ۴۰ و ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشت) بر شاخص‌های رشد رزماری پرداختند. نتایج نشان داد در حالی وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا در سطح ۴۰ میلی‌متر، به‌ترتیب ۱۲/۹، ۱۲/۶ و ۱۳/۶ درصد در مقایسه با سطح ۲۵ میلی‌متر کاهش یافت که صرفه‌جویی ۴۴/۱ میلی‌متر آب (۲۱/۱ درصد) و افزایش ۳/۶ درصدی بهره‌وری آب نسبت به آن سطح، حاصل شد. نتایج بررسی تأثیر تنش رطوبتی بر گیاه دارویی شنبلیله نشان داد که در حالی عملکرد دانه تحت تأثیر تنش رطوبتی کاهش یافت که حجم اسانس افزایش معنی‌داری یافت (Bazazi et al., 2013). بررسی اثرات سطوح مختلف تبخیر از تشت (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) بر رشد و عملکرد گیاه دارویی و صنعتی آلوئه‌ورا نشان داد که سطح تبخیر ۱۰ درصد با بهره‌وری آب ۲۴/۵ گرم بر لیتر دارای بهترین جایگاه است (Silva et al., 2010). در مطالعه‌ای دیگر ارزیابی سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت بر گیاه سیاه‌دانه نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و درصد اسانس این گیاه دارد، بطوری‌که عملکرد دانه در سطح آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر در مقایسه با سطح ۵۰ میلی‌متر، ۲۲/۸ درصد کاهش یافت (حیدری و رضاپور، ۱۳۹۰).

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). همچنین با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده است که با افزایش مصرف آن‌ها نیاز به توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح، ضروری می‌باشد (Leithy et al., 2006). 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 می‌باشد و تحقیقات متعددی خواص کاهش استرس، تسکین سردرد، تسکین آسم و درمان برونشیت آن را تائید کرده‌اند. همچنین عصاره این گیاه، با محافظت از مواد تشکیل دهنده سلول‌های پوست از آسیب‌های پوستی مانند چین و چروک پیش‌گیری می‌کند به‌طوری‌که ماساژ دادن منظم پوست با روغن مستخرج از این گیاه، خشکی پوست را نیز از بین می‌برد (Terpinc et al., 2009).

با توجه به نیاز روزافزان به گیاهان دارویی و تخریب روزافزان زیستگاه‌های طبیعی آن‌ها، به‌نظر می‌رسد تولید این گیاهان در سیستم‌های زراعی بتواند به‌عنوان یک استراتژی مهم در تأمین بازار رو به‌گسترش آن‌ها عمل کند. از طرف دیگر مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی در حالی روند صعودی دارد که محدودیت منابع آبی از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ایران است. این در حالی است که می‌توان با اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی و با بهره‌گیری از آب‌های غیرمتعارف و مدیریت صحیح آب در مزرعه، کمبود و محدودیت منابع آبی کشور را تا حدودی جبران کرد. لذا بررسی اثرات کمیت و کیفیت آب آبیاری بر شاخص‌های رشد گیاه رزماری که از با ارزش‌ترین گیاهان دارویی محسوب می‌شود، به عنوان هدف این مطالعه مد نظر بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در ایستگاه تحقیقاتی تولید نهال و بذر شهرداری ایران‌شهر با مختصات جغرافیایی، ۲۷ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۵۸۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. اطلاعات هواشناسی ایستگاه در زمان اجرای طرح در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ ارائه شده است. از نظر شرایط آب و هوایی شهرستان ایران‌شهر دارای آب و هوای گرم و بر اساس طبقه بندی کوپن این منطقه جزء اقلیم بیابانی و گرم و خشک است. آمار بلند مدت سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۶-۱۳۶۵) نشان داد که میانگین بارندگی، دما و تبخیر سی ساله آن به‌ترتیب ۱۲۶ میلی‌متر، ۲۵/۴ درجه سانتی‌گراد و ۴۱۰۰ میلی‌متر است (بی‌نام، ۱۳۹۶).

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای طرح در زمان اجرا

پارامتر	ماه						
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
حداقل دما (سانتی‌گراد)	۲۰/۳	۲۴/۴	۳۰/۲	۳۱/۳	۳۱/۲	۲۶/۵	۲۱/۶
حداکثر دما (سانتی‌گراد)	۳۵/۵	۳۸/۹	۴۴/۸	۴۵/۲	۴۴/۹	۴۱/۸	۳۶/۶
میانگی دما (سانتی‌گراد)	۲۷/۹	۳۱/۶	۳۷/۵	۲۸/۲	۳۸/۱	۳۴/۲	۲۹/۱
بارندگی موثر (میلی‌متر)	۰	۰/۷	۰	۰	۰	۰	۰
تبخیر (میلی‌متر)	۳۶۷/۳	۴۲۴/۳	۵۴۲/۶	۵۶۹/۴	۵۴۸/۳	۴۸۹/۹	۳۵۲/۲

این آزمایشی در زمینی به مساحت ۸۶۴ متر مربع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به‌صورت کرت‌های نواری یک‌بار خردشده در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ به اجرا درآمد. تیمارها در چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک) و سه کیفیت آب آبیاری (آب چاه، فاضلاب تصفیه شده و آبیاری تلفیقی (۵۰ درصد آب چاه و ۵۰ درصد فاضلاب تصفیه شده)) به‌ترتیب به‌عنوان فاکتور اصلی و فرعی، مورد ارزیابی قرار گرفتند. تیمارها در کرت‌هایی به عرض سه متر و طول پنج متر (شامل چهار ردیف کشت به‌فاصلهٔ ۰/۷۵ متر و فاصله بوته ۰/۵ متر از یکدیگر) واقع شدند.

در این مطالعه جهت فرآهم آوردن آب مورد نیاز در تیمارهایی آبیاری شده با آب چاه، از چاه موجود در محل تحقیق استفاده شد و در تیمارهای آبیاری شده با پساب، فاضلاب تصفیه شده شهری، از تصفیه‌خانه شهر ایران‌شهر به محل انجام آزمایش حمل و در یک مخزن در مزرعه ذخیره شد و بر حسب نیاز هر تیمار مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که آبیاری با نوارهای تیپ با ضخامت ۲۰۰ میکرون، فاصلهٔ مجاری آبده ۵۰ سانتی‌متر و دبی ۴ لیتر در ساعت در هر متر از طول لوله، انجام شد. همچنین قبل از عملیات کشت نمونه‌برداری از آب چاه، پساب و خاک مورد استفاده، انجام شد و تجزیه خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب (همراه با استاندارد) و برخی خصوصیات شیمیایی خاک در جداول ۲ و ۳ آمده است.

تجزیه خصوصیات فیزیکی خاک نشان داد که درصد رس، سیلت و شن موجود در خاک مزرعه در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۳۵، ۳۹ و ۲۶ و در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۳۳، ۴۰ و ۲۷ بود. درصد وزنی رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی در اعماق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۲۲ و ۸، ۲۳ و ۸ بود.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب چاه و فاضلاب مورد استفاده و مرز استاندارد آلوده‌کننده فاضلاب برای مصارف کشاورزی

پارامتر	واحد	آب چاه	پساب	مرز استاندارد آلوده کننده
اسیدیته	-	۶/۷	۶/۱	۶-۸/۵
شوری	دسی‌زیمنس بر متر	۰/۸۵	۱/۶۳	-
سدیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۳/۶	۲۹/۳	-
کلسیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۲/۴	۱۱/۲	-
منیزیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۲/۱	۱۳/۷	۱۰۰
فسفر	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	-	۱۵/۶	-
نیتروژن	درصد	-	۰/۱۵۴	-
کربن آلی کل	درصد	-	۰/۸۵	-
آهن	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	-	۰/۲۹	۳
روی	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	-	۰/۰۰۲	۲

در این تحقیق عملیات کشت پس از اخذ نهال‌های یک ساله رزماری از ایستگاه تحقیقاتی تولید نهال و بذر ایران‌شهر، در اواسط فروردین ماه انجام گرفت و در طول زمان اجرای طرح، تمامی عملیات داشت، انجام گرفت. همچنین 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 ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متری خاک، رطوبت موجود در تیمار شاهد (آبیاری کامل) اندازه‌گیری و میزان عمق آب

www.SID.ir

Archive of SID

آبیاری با استفاده از رابطه زیر بدست آمد (Gheysari et al., 2009):

$$D_I = \sum_{j=1}^{4} \left((\theta_{FCj} - \theta_{BIj}) \times D_j \right) \quad (۱)$$

در این رابطه D_I: عمق آب آبیاری بر حسب میلی‌متر، Θ_{FCj}: درصد رطوبت حجمی در نقطه رطوبتی ظرفیت زراعی، Θ_{BCj}: درصد رطوبت حجمی قبل از آبیاری، D_j: عمق نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری رطوبت و j: تعداد لایه‌های اندازه‌گیری شده. لازم به ذکر است که حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری با ضرب نمودن عمق آب آبیاری (رابطه ۱) در مساحت هر کرت، بدست آمد (Karandish, 2016).

جدول ۳- خصوصیات خاک مزرعه

پارامتر	واحد	عمق (سانتی‌متر)	مقدار	پارامتر	واحد	عمق (سانتی‌متر)	مقدار
شوری	دسی‌زیمنس بر متر	۰ – ۳۰	۰/۹۷	نیتروژن	درصد	۰ – ۳۰	۰/۰۴۶
		۳۰ – ۶۰	۰/۹۴			۳۰ – ۶۰	۰/۰۲۱
اسیدیته	–	۰ – ۳۰	۷/۱	منیزیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۳/۵۱
		۳۰ – ۶۰	۷/۱			۳۰ – ۶۰	۳/۲۲
سدیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۳/۱۴	کلسیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۵/۶۵
		۳۰ – ۶۰	۲/۷۱			۳۰ – ۶۰	۴/۹۴
آهن	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۰/۰۰۳	فسفر	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۰/۰۱۵۸
		۳۰ – ۶۰	۰/۰۰۳			۳۰ – ۶۰	۰/۰۱۴۱
روی	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۰/۰۰۰۱	کربن آلی کل	درصد	۰ – ۳۰	۰/۳۲
		۳۰ – ۶۰	۰/۰۰۰۱			۳۰ – ۶۰	۰/۲۴

در این بررسی، برای مقایسه تیمارها، شاخص‌های رشد گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی مورد ارزیابی قرار گرفت. لذا با توجه به‌اینکه بیشترین اسانس گیاه رزماری در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی است (Leithy et al., 2006)، جهت اندازه‌گیری شاخص‌های مذکور 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 نمونه‌برداری انجام شد. بوته‌های برداشت شده به مدت سه هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، خشک شدند و سپس وزن خشک شده اندام رویشی اندازه‌گیری شد. همچنین جهت اندازه‌گیری تعداد شاخه زایا، تعداد شاخه‌های ۱۰ بوته انتخاب شده از هر تیمار به‌طور دقیق شمارش گردید. 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 LSD (در سطح احتمال یک درصد خطا) انجام شد. لازم به ذکر است که در انتهای فصل رشد از دو عمق ۰–۳۰ و ۳۰–۶۰ سانتی‌متری خاک سطح ۱۰۰ درصد تأمین کمبود رطوبت خاک اعمال شده در هر سه کیفیت آب آبیاری، نمونه‌برداری انجام گرفت و خصوصیات شیمیایی آن مورد تحلیل قرار گرفت.

$$WP = Y_T / V_T \quad (۲)$$

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

نتایج و بحث

تحلیل خصوصیات خاک

در این تحقیق در انتهای فصل رشد با نمونه‌برداری از خاک آبیاری شده با سه کیفیت آب آبیاری، برخی از خصوصیات شیمیایی آن، مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد (جدول ۴) که تیمارهای آبیاری تلفیقی و آبیاری با پساب به‌ترتیب افزایش ۲۹/۱ و ۳۷/۱ درصدی هدایت الکتریکی، ۵۹/۱ و ۷۴/۲ درصدی سدیم، ۳۵/۳ و ۴۴/۹ درصدی کلسیم و ۶۰/۵ و ۶۹/۶ درصدی منیزیم خاک را نسبت به تیمار آبیاری با آب چاه را در پی داشتند. محققین دلیل افزایش هدایت الکتریکی خاک در شرایط آبیاری با پساب را به بالا بودن غلظت کاتیون‌هایی مثل سدیم در پساب ارتباط دادند (Khai et al., 2008, Mojiri, 2011) و که مطالعات متعددی نشان از افزایش عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم موجود در خاک در شرایط آبیاری با پساب دادند (Munir et al., 2007, Rezapour et al., 2012, SouDakoure et al., 2013). همچنین با افزایش عمق، میزان هدایت الکتریکی خاک کاهش یافت. محققین دلیل این مهم را این‌گونه شرح دادند که در شرایط اعمال پساب به خاک، تجمع مواد آلی در سطح خاک افزایش یافته و به‌دلیل عدم فرصت کافی برای تجزیه مواد آلی، نفوذ پساب به اعماق خاک کاهش می‌یابد که به موجب آن شرایط لازم برای تجمع نمک در سطح خاک فراهم می‌گردد، لذا شوری خاک در لایه‌های سطحی خاک افزایش می‌یابد (Magesan et al., 2000, Meli et al., 2002). تجزیه خصوصیات خاک قبل از آزمایش (جدول ۳) نشان داد، که خاک مورد بررسی در

www.SID.ir

Archive of SID

اعماق ۰-۳۰ و ۳۰- ۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب حاوی ۰/۰۴۶ و ۰/۰۲۱ درصد نیتروژن است. همچنین تجزیه خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب مورد استفاده (جدول ۴) نشان داد که آب چاه فاقد نیتروژن است اما فاضلاب تصفیه شده حاوی ۰/۱۵۴ درصد نیتروژن است. این در حالی است که آبیاری با آب تلفیقی و پساب باعث افزایش به‌ترتیب ۴۰/۹ و ۵۲/۴ درصدی نیتروژن خاک نسبت به آبیاری با آب چاه شد.

میزان اسیدیته خاک در شرایط آبیاری تلفیقی و آبیاری با پساب نسبت به آبیاری با آب چاه به‌ترتیب کاهش ۲/۹ و ۴/۳ درصدی داشت. محققین دلیل کاهش اسیدیته خاک در شرایط افزایش استفاده از پساب را افزایش مواد آلی، تشکیل مواد حدواسط اسیدی و گازهایی مانند هیدروژن سولفوره اعلام نمودند (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). این در حالی بود که با توجه به اینکه در سطح خاک شرایط برای ورود هوا به داخل خاک مساعدتر است لدا موجب افزایش سرعت تجزیه مواد آلی می‌شود که کاهش اسیدیته خاک در لایه سطحی را به دنبال دارد (Blum et al, 2012) همچنین به‌دلیل وجود ۱۵/۶ میلی‌اکی‌والانت، فسفر در پساب، آبیاری تلفیقی و آبیاری با پساب به‌ترتیب افزایش ۸۸/۲ و ۹۲/۱ درصدی فسفر را در انتهای فصل رشد را به‌همراه داشتند. این در حالی بود که با توجه به تحرک بسیار کم فسفر در خاک (Mojiri, 2011)، تجمع فسفر در لایه‌های سطحی خاک قابل ملاحظه بود. همچنین وجود ۰/۸۵ درصدی کربن آلی در فاضلاب تصفیه شده شهری ایران‌شهر، باعث افزایش ۵۴/۱ و ۶۴/۱ درصدی این عنصر به‌ترتیب در خاک آبیاری شده با آبیاری تلفیقی و آبیاری با فاضلاب تصفیه شده، شد که با افزایش ۳۰ سانتی‌متری عمق نمونه‌برداری، میزان کربن‌آلی خاک در حدود ۲۵ درصد کاهش یافت. تجمع عناصر سنگین در خاک طی آبیاری با پساب به عوامل مختلفی از جمله غلظت این عناصر در پساب، مدت آبیاری با پساب، بافت خاک، اسیدیته و درصد مواد آلی خاک بستگی دارد (SouDakoure et al., 201)، در این آزمایش نیز هر چه به نسبت پساب به آب چاه بیشتر شد، تجمع فلزات سنگین در خاک افزایش یافت و از طرفی با افزایش فاصله از سطح خاک، میزان آهن و روی کاهش یافت. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج سایر مطالعات (Elbana et al., 2013, Rezapour et al., 2012, Mojiri, 2011) هم‌سو است.

جدول ٤- نتایج تجزیه برخی خصوصیت‌های شیمیایی خاک بعد از انجام آزمایش

پارامتر	واحد	عمق (سانتی‌متر)	آبیاری با آب چاه	آبیاری با پساب	آبیاری تلفیقی
شوری	دسی‌زیمنس بر متر	۰ – ۳۰	۰/۹۵	۱/۵۱	۱/۳۴
		۳۰ – ۶۰	۰/۸۹	۱/۲۴	۱/۱۵
اسیدیته	–	۰ – ۳۰	۷/۹	۶/۶	۶/۷
		۳۰ – ۶۰	۷/۱	۶/۷	۶/۹
سدیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۵/۸	۲۲/۵	۱۴/۲
		۳۰ – ۶۰	۵/۳	۲۰/۶	۱۳/۱
آهن	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
		۳۰ – ۶۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴
روی	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۵
		۳۰ – ۶۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴
نیتروژن	درصد	۰ – ۳۰	۰/۰۳۹	۰/۰۸۲	۰/۰۶۶
		۳۰ – ۶۰	۰/۰۳۵	۰/۰۷۵	۰/۰۵۹
منیزیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۳/۷۸	۱۲/۴۵	۹/۵۸
		۳۰ – ۶۰	۳/۴۲	۲۴/۱۱	۸/۶۵
کلسیم	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۵/۹۷	۱۰/۸۵	۹/۲۳
		۳۰ – ۶۰	۵/۲۱	۹/۴۶	۸/۰۵
فسفر	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر	۰ – ۳۰	۰/۰۱۵۱	۰/۱۹	۰/۱۲۸
		۳۰ – ۶۰	۰/۰۱۳۴	۰/۱۷	۰/۱۱۲
کربن آلی کل	درصد	۰ – ۳۰	۰/۲۸	۰/۷۸	۰/۶۱
		۳۰ – ۶۰	۰/۲۱	۰/۵۹	۰/۴۶

تحلیل میزان آب مصرفی

با توجه به‌این‌که این آزمایش با هدف تأثیر توأم کمیت (تیمار اصلی) و کیفیت (تیمار فرعی) آب آبیاری بر خصوصیات کمی گیاه رزماری انجام گردید، لذا میزان آب مصرفی تیمارهای فرعی

www.SID.ir

Archive of SID

اعمال‌شده در هر تیمار اصلی یکسان در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که میزان آب مصرفی در سطوح ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد در هر سه کیفیت آب، به‌ترتیب ۲۳۲۰، ۱۹۷۲، ۱۶۲۴ و ۱۲۷۶ مترمکعب در هکتار بود. در این خصوص نتایج مطالعه اسدی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که عمق آب در سطوح ۲۵، ۴۰ و ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشت گیاه رزماری در شهر کرمان، به‌ترتیب ۲۱۴/۵، ۱۶۹/۳ و ۱۰۶/۱ میلی‌متر بود. همچنین میزان آب مصرفی گیاه رزماری در سیستم آبیاری قطره‌ای در کشور اسپانیا بین ۸۰ تا ۱۷۷ میلی‌متر برآورد شد (Nicolas et al., 2008).

تجزیه واریانس تیمارها

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای اعمال شده بر صفات مورد بررسی در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که اثر سطوح مختلف کمیت و کیفیت آب آبیاری بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح اعتماد ۹۹ درصد (احتمال یک درصد خطا) معنی‌دار بود. این در حالی بود که اثر متقابل سطوح کمیت و کیفیت بر تمامی صفات در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار است.

جدول ۵- خلاصه نتایج تجزیه واریانس طرح

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام رویشی	تعداد شاخه زایا	ارتفاع بوته	بهره‌وری آب
تکرار	۲	۳/۴۱	۲۱/۱۱	۱۲/۸	۸۳/۹۷
سطوح کمیت آب	۳	۲۹/۷۵**	۲۳۵/۲۴**	۲۹۷/۲۲**	۱۴۲/۲۳**
خطا ۱	۶	۰/۹۲	۱/۶۵	۷/۴۲	۶/۰۲
سطوح کیفیت آب	۲	۷۸/۲۳**	۱۴۵/۱۶**	۲۳۵/۱۱**	۳۸/۲۹**
اثر متقابل دو عامل	۶	۱۵/۱۷^{ns}	۲۱/۹۸^{ns}	۱۵۵/۱۹^{ns}	۱۳۸/۳۴^{ns}
خطا ۲	۲۴	۰/۹۴	۲/۲۱	۰/۰۱۲	۳/۳۲

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد خطا و ^{ns}: غیر معنی‌دار

تحلیل شاخص‌های رشد گیاه

مقایسه میانگین تعداد شاخه زایا و ارتفاع بوته که از موثرترین شاخص‌های تعیین‌کننده عملکرد (وزن خشک اندام هوایی) گیاه رزماری می‌باشند (Leithy et al., 2006)، نشان داد (جدول ۶) که وضعیت رطوبتی خاک تأثیر زیادی بر اجزای عملکرد گیاه داشت به‌طوری که با تغییر سطح آبیاری گیاه از ۱۰۰ درصد جبران کمبود رطوبت خاک به ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک، ارتفاع بوته به‌ترتیب ۷/۱، ۲۲/۸ و ۳۹/۷ درصد و تعداد شاخه زایا به‌ترتیب ۶/۹، ۲۱/۸ و ۳۸/۴ درصد کاهش یافت. 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 (Nicolas et al., 2008, Sardans et al., 2005). 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 (Shahrokhnia and Sepaskhah, 2017). 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 (Sreevalli et al., 2001). لذا اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع بوته، کوچک بودن برگ‌ها و کاهش تعداد شاخه زایا تشخیص داد (Nicolas et al., 2008, Khosh-Khui et al., 2012).

نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین وزن خشک اندام رویشی نشان داد (جدول ۶) که به‌رغم اختلاف ۴/۶ درصدی در سطوح ۱۰۰ و ۸۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک، از لحاظ آماری در یک گروه (a) قرار گرفته‌اند. عملکرد خوب سطح ۸۵ درصد جبران کمبود رطوبت را می‌توان احتمالاً در راستای اثرات مثبت تنش جزئی در طول فصل رشد بر اجزاء عملکرد و همچنین اثرپذیری سایر اندام‌های گیاهی مرتبط با اجزاء عملکرد دانست که باعث عملکرد خوب تیمارهای اعمال‌شده تحت تنش خفیف شده است (Rajoob et al., 2008). در این خصوص اسدی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی تأثیر سطوح ۲۵، ۴۰ و ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشت بر وزن خشک اندام رویشی گیاه رزماری، اظهار داشتند که با هفت مرتبه آبیاری بیشتر سطح ۴۰ نسبت به ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشت، وزن خشک اندام رویشی رزماری و میزان آب مصرفی به‌ترتیب ۳۵/۲ و ۳۰/۳ درصد افزایش یافت. از دیگر نکات مقایسه میانگین وزن خشک اندام رویشی (جدول ۶) می‌توان به این نکته اشاره نمود که وزن خشک اندام رویشی سطوح ۷۰ و ۵۵ درصد جبران کمبود رطوبت خاک نسبت به سطح ۱۰۰ درصد جبران کمبود رطوبت خاک، به‌ترتیب ۱۹/۷ و ۳۲/۷ درصد کاهش یافت این در حالی بود که میزان آب مصرفی این دو سطح به‌ترتیب ۶۹۶ و ۱۰۴۴ مترمکعب، کمتر از سطح یاد شده بود. دلیل این امر را می‌توان به اعمال تنش طولانی مدت به گیاه نسبت داد که بروز تنش خشکی باعث ایجاد سلول‌ها چروکیده و سست شدن دیواره سلولی شده و از آن‌جاکه تا زمانی سلول به اندازه کافی رشد نکند،

www.SID.ir

Archive of SID

فرآیند تقسیم سلول انجام نخواهد شد لذا تأثیر کمبود آب بر رشد سلول بیشتر است که در نهایت منجر به کاهش سطح برگ می‌شود (Taiz L., and Ziger, 1991). 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 (Paris et al., 2018). نتیجه مطالعه‌ای نشان داد که کمبود آب در ناحیه توسعه ریشه گیاه رزماری، وزن خشک برگ‌ها و ساقه و ارتفاع بوته و تعداد شاخه زایا را کاهش داد که در نهایت باعث کاهش وزن خشک اندام رویشی و کند شدن روند رشد گیاه شد (Sardans et al., 2015) که با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر هم‌سو است.

مقایسه میانگین شاخص‌های رشد گیاه دارویی رزماری تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری نشان داد (جدول ۶) که هر چه میزان پساب در آب آبیاری اضافه شد، سیر صعودی شاخص‌های رشد گیاه افزایش یافت. به‌طوری‌که با حجم و زمان آبیاری یکسان در سه کیفیت آب آبیاری، صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی حاصله در آبیاری با فاضلاب تصفیه شده نسبت به دو کیفیت دیگر از میزان بالاتری برخوردار بودند. در این خصوص مطالعات صورت گرفته روی محصولات مختلف نشان داد که مقادیر بالای مواد آلی و عناصر مغذی در فاضلاب تصفیه شده، با میکروارگانیزم‌های خاک تجزیه شده و ضمن افزایش هوموس خاک و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، مواد غذایی و عناصر مغذی حاصل از تجزیه مواد آلی موجود در آن، در اختیار گیاه قرار گرفته و باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (Ghanbari et al., 2006, Panahpoor et al., 2008, Cirelli et al., 2012, Hirich et al., 2013). از دیگر نتایج مطالعه حاضر می‌توان به این موضوع اشاره نمود که با وجود کاهش ۵/۴، ۵/۹ و ۱/۴ درصدی به‌ترتیب در شاخص‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی در آبیاری تلفیقی نسبت به آبیاری با پساب، از لحاظ آماری در جایگاه یکسان (a) قرار گرفتند. این در حالی بود آبیاری با کیفیت آب چاه باعث ایجاد بوته‌هایی با ارتفاع ۶۴/۸ سانتی‌متر، تعداد شاخه زایا ۱۱۹/۵ و وزن خشک اندام رویشی ۳۶۵۹ کیلوگرم در هکتار شد که کاهش ۱۸/۶، ۱۹/۳ و ۱۳/۲ درصدی به‌ترتیب در شاخص‌های مذکور نسبت به تیمار آبیاری با پساب، را در پی داشت. اسدی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای سه سطح ۲۵، ۴۰ و ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشت را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که بهترین میزان شاخص‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی در سطح ۲۵ میلی‌متر تبخیر از تشت به‌ترتیب با میزان ۶۴/۴ سانتی‌متر، ۱۲۲ و ۱۳۵ گرم در بوته حاصل شد که با نتایج مطالعه حاضر هم‌سو است.

مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح کمیت و کیفیت آب آبیاری بر شاخص‌های رشد رزماری که توسط آزمون LSD انجام شد (جدول ۶)، نشان داد که تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک با فاضلاب تصفیه شده در حالی در صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی در بهترین جایگاه آماری قرار گرفت که به‌ترتیب تنها دارای اختلاف ۳/۹، ۲/۹ و ۱/۹ درصدی نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک با آبیاری تلفیقی داشت. همچنین با کاهش ۱۵ درصدی آب مصرفی (از سطح تأمین ۱۰۰ به ۸۵ درصد) در آبیاری با پساب صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی به‌ترتیب کاهش ۳/۶، ۳/۵ و ۲/۳ درصدی نسبت به بهترین تیمار (تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک با فاضلاب تصفیه شده) را به‌همراه داشتند و این صفات در این تیمار از لحاظ آماری در گروه (b) قرار گرفتند. این در حالی بود که کاهش شاخص‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی در سطح ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک با فاضلاب تصفیه شده نسبت به بهترین تیمار به‌ترتیب ۹/۶، ۱۱/۳ و ۱۰/۳ درصد بود و این صفات در این تیمار از لحاظ آماری در به‌ترتیب گروه‌های (c)، (e) و (f) قرار گرفتند. همچنین اعمال سطح ۸۵ درصد کمبود رطوبت خاک در آبیاری تلفیقی نسبت به بهترین تیمار باعث کاهش ۳/۶، ۶/۴ و ۴/۴ درصدی شاخص‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی شد که این صفات در این تیمار از لحاظ آماری در گروه (c) قرار گرفتند. لذا می‌توان جنین نتیجه گرفت در صورت صرفه‌جویی ۳۴۸ مترمکعبی آب در هکتار (۱۵ درصد) به‌عبارتی اعمال سطح ۸۵ درصد کمبود رطوبت خاک در آبیاری تلفیقی نسبت به شرایط بهینه (تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک با فاضلاب تصفیه شده)، کاهش شاخص‌های رشد گیاه چشمگیر نمی‌باشد و می‌تواند گزینه مناسبی برای استفاده در شرایط کمبود آب باشد.

تحلیل بهره‌وری آب

مقایسه میانگین بهره‌وری آب گیاه دارویی رزماری نشان داد (جدول ۶ و شکل ۱) که اعمال کم‌آبیاری تأثیر مناسبی در افزایش این صفت داشت. به‌طوری‌که سطح تأمین ۵۵ درصد کمبود رطوبت خاک با بهره‌وری آب ۲/۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب و با اختلاف ۱۸/۶، ۱۰/۱ و ۶/۲ درصدی به ترتیب نسبت به سطوح تأمین ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک دارای بهترین جایگاه آماری 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 (Colak et al., 2017). لذا در شرایط کمبود آب می‌توان با حذف آبیاری‌های کم‌بازده و با کاهش میزان حجم آبیاری در هر نوبت آبیاری که آگاهانه به گیاه اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از نیاز، رشد خود را تا اندازه‌ای کاهش دهد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و از این طریق بهره‌وری آب را افزایش داد (Douh et al., 2013). این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات اسدی و همکاران (۱۳۹۷)، نیکولاس و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۰۸) و ساردانس و همکاران (۲۰۰۵) هم‌سو است.

نتایج تجزیه واریانس طرح نشان داد که کیفیت آب آبیاری بر بهره‌وری آب رزماری، تأثر معنی‌داری گذاشت (جدول ۵). به‌طوری‌که مقایسه میانگین بهره‌وری آب گیاه دارویی رزماری تحت تأثیر سطوح مختلف کیفیت آب آبیاری نشان داد (جدول ۶) که بیشترین بهره‌وری آب (۲/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده، ایجاد شد. این در حالی بود که دو تیمار آبیاری تلفیقی و آبیاری با آب چاه به‌ترتیب با اختلاف ۴/۸ و ۱۲/۳ درصد نسبت به تیمار آبیاری شده با پساب از لحاظ آماری به‌ترتیب در جایگاه (a) و (b) قرار گرفتند. در این راستا مطالعات انجام گرفته نشان داد که به‌دلیل غنی بودن پساب از مواد مغذی و در اختیار دادن عناصری چون نیتروژن، فسفر و پتاسیم به گیاه در تیمار آبیاری با پساب، قابلیت رشد و توسعه بهتر را در مقایسه با آبیاری با آب چاه برای گیاه فراهم می‌گردد که در نهایت افزایش بهره‌وری آب را به‌همراه دارد (Ghanbari et al., 2006, Heidarpour et al., 2007, Cirelli et al., 2012, Hirich et al., 2013).

نتیجه‌گیری

در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا، یکی از مهم‌ترین مشکلات در بخش کشاورزی به‌عنوان اصلی‌ترین مصرف‌کننده منابع آب، یافتن منبع قابل اتکاء همانند منابع آب نامتعارف است. این در حالی است که حجم فاضلاب تصفیه شده، علی‌رغم کاهش حجم آب منابع دیگر، در حال افزایش است. از طرف دیگر یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری آب، اعمال کم‌آبیاری است. لذا مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت پساب خروجی از نظر تمامی پارامترها منطبق با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست است و این پساب قابلیت استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی را دارا می‌باشد. همچنین نتایج آبیاری با فاضلاب تصفیه شده نشان داد که هر چه میزان پساب در آب آبیاری اضافه شد، به‌علت دارا بودن مواد غذایی و عناصر مغذی حاصل از تجزیه مواد آلی، سیر صعودی شاخص‌های رشد گیاه افزایش داد.

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سطوح کمیت آب

تیمار	تعداد شاخه زایا	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن خشک اندام رویشی (گرم)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
I_1	۱۵۸/۳ a	۸۵/۱ a	۴۵۸۰ a	۱/۹۷ c
I_2	۱۴۷/۴ b	۷۹/۱ b	۴۳۶۹ b	۲/۲۲ b
I_3	۱۲۳/۷ c	۶۵/۷ c	۳۶۷۸ c	۲/۲۷ b
I_4	۹۷/۵ d	۵۱/۳ d	۳۰۸۲ d	۲/۴۲ a

مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سطوح کیفیت آب

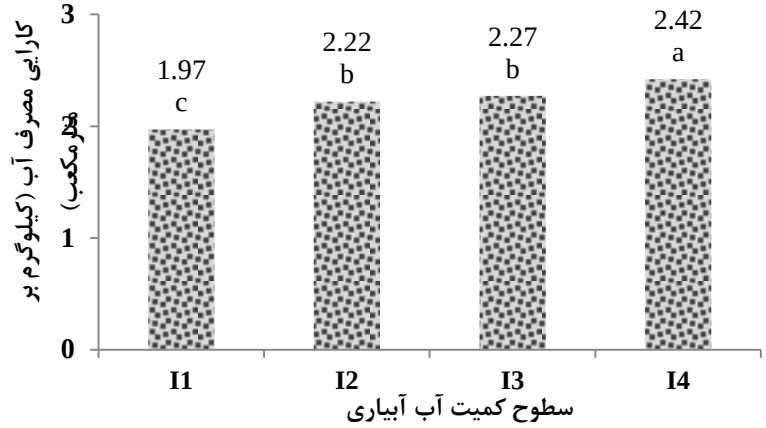
تیمار	تعداد شاخه زایا	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن خشک اندام رویشی (گرم)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
Q_1	۱۱۹/۵ b	۶۴/۸ b	۳۶۵۹ b	۲/۰۳ b
Q_2	۱۳۹/۴ a	۷۵/۳ a	۴۰۴۱ a	۲/۲۵ a
Q_3	۱۴۸/۱ a	۷۹/۶ a	۴۲۱۵ a	۲/۳۴ a

مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر اثر متقابل سطوح کمیت و کیفیت آب

تیمار		تعداد شاخه زایا	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن خشک اندام رویشی (گرم)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
Q_1		۱۳۸/۹ d	۷۴/۹ d	۴۱۲۰ d	۲/۰۱ g
Q_2	I_1	۱۴۸/۸ b	۷۹/۲ b	۴۳۱۱ b	۲/۱۱ f
Q_3		۱۵۳/۲ a	۸۲/۴ a	۴۴۳۹ a	۲/۱۶ e
Q_1		۱۳۳/۵ e	۷۱/۹ d	۴۰۱۴ d	۲/۱۳ f
Q_2	I_2	۱۴۳/۴ c	۷۷/۲ c	۴۲۰۵ c	۲/۲۳ d
Q_3		۱۴۷/۸ b	۷۹/۴ b	۴۲۹۵ b	۲/۲۸ c
Q_1		۱۲۱/۶ g	۶۵/۳ f	۳۶۶۹ h	۲/۱۵ e
Q_2	I_3	۱۳۱/۶ f	۷۰/۵ e	۳۸۶۰ g	۲/۲۶ c
Q_3		۱۳۵/۹ e	۷۲/۷ c	۳۹۴۷ f	۲/۳۱ b
Q_1		۱۰۸/۵ i	۵۸/۱ h	۳۳۷۱۹ i	۲/۲۳ d
Q_2	I_4	۱۱۸/۵ h	۶۳/۳ g	۳۵۶۳ h	۲/۳۳ b
Q_3		۱۲۲/۸ g	۶۵/۵ f	۳۶۴۹ g	۲/۳۸ a

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب تحت تأثیر سطوح کمیت آب

به‌طوری‌که شاخص‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی حاصله در آبیاری با فاضلاب تصفیه شده نسبت به آبیاری با آب چاه افزایش به‌ترتیب ۱۸/۶، ۱۹/۳ و ۱۳/۲ درصدی و نسبت به آبیاری تلفیقی افزایش به‌ترتیب ۵/۴، ۵/۹ و ۴/۱ درصدی داشت. این در حالی بود که بهره‌وری آب با فاضلاب تصفیه شده نسبت به آبیاری با آب چاه و آبیاری تلفیقی به‌ترتیب افزایش ۱۳/۳ و ۳/۸ درصدی را نشان داد. همچنین صرفه‌جویی ۳۴۸ متر مکعبی آب در هکتار در سطح تأمین ۸۵ درصد نسبت به سطح تأمین ۱۰۰ درصد در حالی تنها باعث کاهش ۷/۱، ۶/۹ و ۴/۶ درصدی به‌ترتیب در شاخص‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا و وزن خشک اندام رویشی شد، که افزایش ۱۱/۳ درصدی بهره‌وری آب را به‌دنبال داشت. اثر متقابل دو عامل نشان داد که تأمین ۱۰۰ درصد با فاضلاب تصفیه شده با ۱۵۳/۲ شاخه زایا، ۴۳۹۸ کیلوگرم در هکتار وزن خشک اندام رویشی و ۸۲/۴ سانتی‌متر ارتفاع بوته در بهترین جایگاه قرار گرفت این در حالی بود که تأمین ۸۵ درصد با فاضلاب تصفیه شده با ۱۴۷/۸ شاخه زایا، ۴۲۹۵ کیلوگرم در هکتار وزن خشک اندام رویشی و ۷۹/۴ سانتی‌متر ارتفاع بوته در حالی از لحاظ آماری در جایگاه (b) قرار گرفت که نسبت به تیماری که دارای بهترین جایگاه بود علاوه بر صرفه‌جویی ۱۵ درصدی در مصرف آب، افزایش ۵/۳ درصدی بهره‌وری آب را نیز در پی داشت. لذا با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می‌توان سطح تأمین ۸۵ درصد با فاضلاب تصفیه شده، را به‌عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با بحران آب و افزایش بهره‌وری آب، جهت حرکت به سمت یک سامانه کشاورزی پایدار توصیه نمود.

منابع

اسدی، ر.، حسن‌پور، ف.، مهربانی، م.، باقی‌زاده. ا. و کاراندیش، ف. ۱۳۹۷. تأثیر دور و دو روش آبیاری بر شاخص‌های رشد و بهره‌وری آب رزماری. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲ (۴): ۵۷۹-۵۶۷.

بی‌نام. ۱۳۹۶. سال‌نامه آماری سازمان هواشناسی کشور، انتشارات سازمان هواشناسی.

حسین‌پور، ا.، حق‌نیا، غ.، علیزاده، ا. و فتوت، ا. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب شهری در اثر عبور از ستون‌های خاک. مجله آب و خاک. ۲۳: ۴۵-۵۶.

حیدری، م. رضاپور، ع. ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و گوگرد بر عملکرد دانه، کلروفیل و غلظت عناصر معدنی در گیاه داوریی سیاه‌دانه. مجله تولید و فرآوری محصولات باغی و زراعی. ۱ (۱): ۸۱-۹۰.

رجبی‌سرخنی، م. و قائمی، ع. ۱۳۹۱. بررسی اثرات کاربرد پساب تصفیه شده و کودهای شیمیایی بر عملکرد کلم بروکلی. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۲(۲): ۱۳-۲۴.

علی‌نژاد جهرمی، ه.، محمدخانی، ع. و صالحی، م. ح. ۱۳۹۱. تأثیر استفاده از پساب فاضلاب شهری شهرکرد بر رشد، عملکرد و تجمع سرب و کادمیم در گیاه دارویی بادرنجبویه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۶ (۶۰): ۱۷۳-۱۸۵.

Al-khamisi S., Prathapar S.A., and Ahmed M. 2013. Conjunctive use of reclaimed water and groundwater in crop rotations. Agricultural Water Management. 116: 228-234.

Asadi R., Kouhi N., and Yazdanpanah N. 2012. Applicability of micro irrigation system on cotton yield and water use efficiency. Journal of Food, Agriculture and environment. 10: 302-306.

Bazazi N., Khodambashi M., and Mohammadi S.H. 2013. The effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of medicinal

www.SID.ir

Archive of SID

SALTMED model. Irrigation Sconce. 32: 205-219.

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.

Khai N., Tuan P., Vinh C., and Oborn I. 2008. Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in peri periurban agricultural systems. Journal of Science, Earth Sciences. 24: 87-95.

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 and Aromatic Plants. 1: 1-7.

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. Journal of Applied Sciences Research. 2 (10): 773-779.

Magesan G.N., Williamson J.C., Yeates G.W., and Lloyd-Jones A.R. 2000. Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. Bio Resource Technology. 71:21-27.

Malash N., Flowers T.J., and Ragab R. 2005. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. Agricultural Water Management. 78(1-2): 25-38

Meli S., Porto M., Belligno A., Bufo S.A., Mazzatura A., and Scopa A. 2002. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. Science of the Total Environment. 285(1-3): 69-77.

Mojiri A. 2011. Effects of municipal wastewater on physical and chemical properties of saline soil. Journal of Biology, Environ Science. 14: 71-76.

Munir J., Rusan M., Hinnawi S., and Rusan L. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination. 215: 143-152.

Najafi P., and Nasr S. 2009. Comparison effects of wastewater on soil chemical properties in three irrigation methods. Research on Crops; 10:277-280.

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. plant fenugreek. Journal of Crop Production and Processing. 3(8): 11-22.

Blum J, Herpin U., Melfi A.J., and Montes C.R. 2012. Soil properties in a sugarcane plantation after the application of treated sewage effluent and phosphogypsum in Brazil. Agricultural Water Management. 115:203-216.

Cao Y., Tian Y., Gao L., and Chen Q. 2016. Attenuating the negative effects of irrigation with saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) by application of straw biological-reactor. Agricultural Water Management. 163: 169-179

Cirelli G.L., Consoli S., Licciardello F., Aiello R., Giuffrida F., and Leonardi C. 2012. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. Agricultural Water Management. 104: 163-170.

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.

Douh B., Mguidiche A., Bhouri-Khila S., Mansour M., Harrabi R., and Boujlben A. 2013.Yield and water use efficiency of cucumber (*Cucumis sativus* L.) conducted under subsurface drip irrigation system in a Mediterranean climate. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2 (4): 46–51.

Elbana T.A., Ramadan M.A., Gaber H.M., Bahnassy M.H., Kishk F.M., and Selim H.M. 2013. Heavy metals accumulation and spatial distribution in long term wastewater irrigated soils. Environmental Chemical Engineering. 1: 925–933.

FAO. 2002. Crops and drops: making the best use of water for agriculture, p. 28. Rome, Italy: FAO. Information brochure.

Ghanbari A., AbediKoupai S., and Talaeei J. 2006. Effect of irrigation with wastewater on yield of wheat and some soil properties in the Sistan. Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 4: 45-51.

Gheysari M., Mirlatifi 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.

Heidarpour M., Mostafazadeh-Fard B., AbediKoupai J., and Malekian R. 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agricultural Water Management. 90: 87-94.

Hirich A.; Ragab R., Choukr R., and Rami A. 2013. The of deficit irrigation with treated wastewater on sweet corn: experimental and modeling study using

www.SID.ir

Archive of SID

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.

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.

Silva H., Sagardia S., Seguel O., Torres C., Franck N., Tapia C., and Cardemil L. 2010. Effect of water availability on growth and water use efficiency for biomass and gel production in Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Miller). Indian Crop Production. 31: 20–27.

Soroush F., Mousavi F., Razmjoo K.H., and Mostafazadeh-Fard B. 2008. Effect of treated wastewater on uptake of some elements by Turf grass in different soil textures. Journal of Water and Soil, 22, 285-294.

SouDakoure M.Y., Mermoud A., Yacouba H., and Boivin P. 2013. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. Geoderma. 200–201:31-39.

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.

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 Chemistry. 115(2): 740-744

Hortscience. 43: 1580-1585.

Panahpoor E., Afyuni M., Homaee M., and Hoodaji M. 2008. Cd, Cr, and Co motion in soil treated with sewage sludge and salts of the metals and their uptake by vegetable crops case study in east Isfahan. Journal of Water and Wastewater. 67: 9-17.

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.

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.

Rattan R., Datta S., Chhonkar P., Suribabu K., and Singh A. 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater. Agriculture, Ecosystems and Environment. 109: 310-322.

Rezapour S., Kouhinezhad P., and Samadi A. 2017. The potential ecological risk of soil trace metals following over five decades of agronomical practices in a semi-arid environment. Chemistry and Ecology, 68-78.

Rezapour S., Samadi A., and Khodaverdiloo H. 2012. Impact of long-term wastewater irrigation on variability of soil attributes along a landscape, semi-arid region of Iran. Environmental Earth Sciences. 67: 1713–1723.

Romano C.S., Abadi K., Reppeto V., Vojnov A., and Moreno S. 2009. Synergistic antioxidant and antibacterial activity of rosemary plus butyrate derivatives. Food Chemistry. 115 (2): 456-461.

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

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 402-413

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۱۳-۴۰۲

Effect of Quantity and Quality of Irrigation on Quantitative Traits of *Rosmarinus officinalis* L.

A. Rigi Karvandri[1], A. Mehraban*[2], H.R. Ganjali[3], Kh. Miri[4] and H.R. Mobser[5]

Recived: Dec.13, 2020 Accepted: Jan.28, 2020

Abstract

In order to investigate the quantity and quality of irrigation on quantitative traits of *Rosmarinus officinalis* L., an experiment was conducted in center of seed and plant production of IranShahr municipality in 2017. The treatments were laid out in single-split strip plots based on randomized complete blocks design with four replications. The treatments were comprised of irrigation regimes consisted of four irrigation levels (100, 85, 70 and 55 percent water replacement) in main plot and sub plot consisted of three water quality (groundwater, wastewater and integrated irrigation (50 percent with groundwater and 50 percent with wastewater)). Results showed that dry weight, number of shoots, plant height and water productivity in irrigation with wastewater increased 13.2, 19.3, 18.6 and 13.3 percent respectively and irrigation with integrated irrigation increased 4.1, 5.9, 5.4 and 3.8 percent respectively compared with irrigation with well water. Also in comparison to 100 and 85 percent water replacement, parsimony of water usage equal 348 m^3 (15 percent) achieved. Moreover dry weight, number of shoots and plant height decreased 4.6, 6.9 and 7.1 percent respectively but water use efficiency increased 11.3 percent. According to the results, 85 percent water replacement with wastewater, 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, Integrated Irrigation, Wastewater, Water Productivity

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran
2,3 and 5- Assistant Professor, Department of Agronomy, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran
4- Assistant Professor, Member of Balochistan Agriculture Research Center
(*- Corresponding Author Email: ahmadmehraban135@yahoo.com)

www.SID.ir