نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۳۵-۴۲۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 426-435

تأثیر آبیاری بخشی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کم‌آبیاری

سیما صالحی تیزآبی[۱]، مرتضی گلدانی[۲*]، جعفر نباتی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۶

چکیده

یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی کمبود آب است. بدین علت آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی گوجه‌فرنگی رقم فلات در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارها شامل؛ آبیاری متداول، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر (کرت اصلی) و کم‌آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ درصد نیاز آبی (کرت فرعی) بودند. اثر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری بر تعداد، وزن، قطر، سفتی، ویتامین ث و pH میوه معنی‌دار شد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی $g.plant^{-1}$ ۱۵۳/۹۶، تعداد میوه در بوته (۵۸)، تعداد میوه در متر مربع (۱۶۳)، وزن تک میوه g ۴۶/۰۳، قطر میوه mm ۹۸، ویتامین ث $mg.gfw^{-1}$ ۹، عملکرد میوه $kg.m^{-2}$ ۴/۴۶ در روش آبیاری متداول مشاهده شد. بیشترین میزان لیکوپن $mg.gfw^{-1}$ ۸۵، سفتی میوه $Kg.cm^{-2}$ ۴/۵۸ pH،۳/۹۳، کارایی مصرف آب $kg.m^{-3}$ ۴/۴۶، در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت مشاهده شد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد در بین روش‌های آبیاری، به ترتیب در روش آبیاری متداول، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر و بیشترین کارایی مصرف آب در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت و سطح ۷۵ درصد نیاز آبی مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: تعداد میوه، ریشه، کارایی مصرف آب، گوجه‌فرنگی، ویتامین ث

مقدمه

محدودیت مصرف آب در تمامی دنیا وجود دارد؛ بنابراین شناخت و اتخاذ استراتژی مدیریت آبیاری کارآمد ضروری است. براساس آمار منتشر شده، ۳۳ کشور جهان با تنش آبی در سال ۲۰۴۰ میلادی روبرو خواهند شد که ایران در رتبه ۱۳ این کشورها قرار دارد (۲۰۱۷، سازمان جهانی منابع (WRI). با توجه به میزان متوسط بارش در ایران و نیز با در نظر گرفتن میزان منابع آب و سرانه مصرف در کشور، ایران را می‌توان از جمله کشورهایی که با خطر کمبود منابع فیزیکی آب روبرو است در نظر گرفت. بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی منابع آب شیرین جهان است. با شروع قرن ۲۰ تا اکنون، مصرف آب شیرین بخش کشاورزی در دنیا به علت افزایش جمعیت جهان، تقریباً هفت برابر شده است. لذا مدیریت مصرف آب بسیار مهم بوده، چون سهم بخش کشاورزی برای استفاده از منابع آب داخل کشور ۹۲ درصد از کل منابع آب است (بازرگان و احمدی علی بیگلویی، ۱۳۹۳). برآورد دقیق نیاز آبی و انطباق برنامهٔ آبیاری بر اساس نیاز انواع گیاهان و شرایط رشد آن‌ها (آبیاری به‌موقع و به‌اندازه) سبب افزایش بیشتر راندمان مصرف آب می‌شود (انتصاری، ۱۳۸۶). افزایش کارایی مصرف آب از طریق تنظیم دقیق روزنه‌های برگ صورت می‌گیرد، زیرا گیاهان روزنه‌های خود را برای جذب دی‌اکسیدکربن باز می‌کنند و در همان زمان آب از دست می‌دهند در نتیجه، تولید زیست توده ممکن است کاهش یابد زیرا تبادل گاز به دلیل بسته شدن روزنه باعث صرفه‌جویی در آب می‌شود (Patane et al., 2012). آبیاری بخشی ریشه (PRD) یک روش آبیاری است که نصف ریشه در معرض خشکی قرار می‌گیرد در حالی‌که نیمه باقی‌مانده به‌طور کامل آبیاری می‌شود. بخشی از سیستم ریشه که در معرض خشک شدن قرار می‌گیرد با ارسال پیام‌هایی به اندام‌های هوایی باعث می‌شود که برای جلوگیری از کاهش آب روزنه‌ها بسته

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استادیار گروه پژوهشی بقولات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: goldani@um.ac.ir

شود و به خشک شدن پاسخ دهد. کم‌آبیاری (DI[1]) و آبیاری بخشی ریشه در تعدادی از محصولات مثل گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، گلابی (*Pyrus communis*)، انگور (*Vitis vinifera*) و فلفل قرمز (*Capsicum annum*) انجام شد که به‌وسیله آبیاری بخشی ریشه میزان مصرف آب نسبت به تیمارهای آبیاری کامل کاهش‌یافت و راندمان مصرف آب آبیاری افزایش یافت (Sadras, 2009; Dodd., 2009). DI و PRD، در اساس با هم متفاوت‌اند. در کم‌آبیاری آب مصرفی بر اساس مقیاس زمانی مدیریت می‌شود در حالی که در آبیاری بخشی ریشه آب بر اساس مقیاس مکانی مدیریت می‌شود در کم‌آبیاری کمبود آب در یک یا چند دوره خاص رشد اعمال می‌شود، در حالی‌که در آبیاری بخشی ریشه کمبود آب در مناطق مختلف ریشه اعمال می‌شود (Dodd et al., 2009). نتایج اعمال آبیاری بخشی ریشه در گوجه‌فرنگی نشان داد که در مقدار آب مصرفی صرفه‌جویی می‌شود و به تولیدکنندگان این امکان را می‌دهد که ۲۵ تا ۵۰ درصد آب کمتری استفاده کنند، بدون اینکه کاهش قابل توجهی در عملکرد داشته باشند (Wang et al., 2009). PRD ابتدا در استرالیا برای انگور استفاده شد سپس برای بسیاری از محصولات زراعی و باغی مورد استفاده قرار گرفت. روش آبیاری بخشی ریشه PRD باعث افزایش عملکرد در محصولات پنبه (*Gossypium herbaceum*)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، نیشکر (*Saccharum officinarum*)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) شد. (Slateni et al., 2011 ؛ Thind et al., 2010) (شینی دشتگل و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه گوجه‌فرنگی یکی از گیاهان با مصرف بالای آب است و همچنین از نظر تغذیه‌ای سرشار از مواد معدنی، ویتامین‌ها و ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی بوده و از مهم‌ترین محصولات زراعی جهان در ارتباط با سلامت و تغذیه انسان به شمار می‌آید از طرف دیگر کاهش منابع آب خطر بسیار جدی است (فالیان و همکاران، ۱۳۹۱). هدف از پژوهش حاضر بررسی راندمان مصرف آب دو روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت و متغیر با روش متداول آبیاری کامل جویچه‌ها و بررسی برهم‌کنش روش آبیاری بخشی ریشه و کم‌آبیاری در طول دوره رشد گیاه و تغییرات کمی و کیفی میوه و تأثیر برهم‌کنش روش آبیاری بخشی ریشه و کم‌آبیاری بر ذخیره آب مصرفی در محصول گوجه‌فرنگی برای کاهش مصرف آب با حداقل کاهش محصول بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۹ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا در سال ۱۳۹۷ اجرا شد به‌صورت کرت‌هایی با ابعاد ۳×۵ متر که فاصله بین ردیف‌ها ۱۲۰ و فاصله بین دو بوته ۴۰ سانتی‌متر بود. کرت اصلی شامل سه روش آبیاری (آبیاری متداول، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر) و کرت فرعی شامل سه سطح کم‌آبیاری (۱۰۰، ۷۵، ۵۰) درصد نیاز آبی بود. ابتدا بذور گوجه‌فرنگی در سینی‌های کشت برای تولید نشاء با بستر کوکوپیت و پرلیت در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد کشت شدند. نشاهای گوجه‌فرنگی در مرحله ۳-۴ برگی با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر به زمین اصلی منتقل گردیدند. قبل از کاشت جهت تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌برداری از خاک و آب انجام شد با توجه به نتایج کودهای مورد نیاز به‌صورت کود پاشی و در طول دوره رشد به صورت سرک به خاک اضافه شد . مقدار ۳۳۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه مرحله به خاک اضافه شد، با توجه به مقدار فسفر و پتاسیم موجود در خاک نیازی به اضافه کردن این عناصر نبود (جداول ۱ و ۲). حدود ۱۰ روز بعد از انتقال به زمین اصلی واقع در مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد و پس از استقرار کامل نشاءها تیمارهای آبیاری اعمال شد. آب توسط لوله‌های پلی‌اتیلن منتقل و حجم آن در هر تیمار آب به‌طور جداگانه توسط کنتور و شیرهای تعبیه شده کنترل شد. نیاز آبی گیاه با توجه به داده‌های هواشناسی موجود در ایستگاه هواشناسی محل آزمایش و نتایج آزمایش خاک به کمک نرم‌افزار CROPWAT/8 انجام شد. برای تعیین ضریب گیاهی از روش پیشنهادی FAO استفاده شد (زمردی و همکاران، ۱۳۸۵).

در این روش دوره رشدی گیاه به چند مرحله تقسیم شد و با توجه به منحنی به‌دست آمده ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی در مرحله رشدی اولیه ۰/۶۰ در مرحله میانی ۱/۱۵ و در مرحله پایانی ۰/۸۰ به دست آمد.

سپس تبخیر و تعرق در هر مرحله رشد محاسبه شد و در نهایت حجم آبیاری از حاصل‌ضرب مساحت زمین در تبخیر و تعرق گیاه به دست آمد. برای تعیین زمان آبیاری رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (FC) و تخلیه مجاز رطوبتی (MAD) گوجه‌فرنگی محاسبه شد که به ترتیب (۳۶٪ و ۰/۳) بود. در ادامه با دستگاه رطوبت‌سنج (TDR[2]) میزان رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت و هنگامی که به حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (۵۰ درصد از کل رطوبت قابل دسترس گیاه در ناحیه ریشه) رسید آبیاری انجام شد. (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۴). مجموع تبخیر روزانه از آبیاری قبل محاسبه و از معادله (۱) نیاز آبی محاسبه شد (Blanco and Folegatit., 2003).

1- Partial root-zone drying
2- Deficit irrigation

4-Time-Domain Reflectometry

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت	ماده آلی (٪)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	N (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)
Silty clay loam	۱/۴۳	۸/۲۲	۰/۶۹۴	۰/۰۶۹۰	۱۳/۴	۳۷۲

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

منبع	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Na	Ca	Mg	Cl	SO^{-2}_4	CO3	HCO3
			(میلی‌اکی‌والان در لیتر)						
آب چاه	۰/۹۳۳	۷/۹۴	۴/۴	۱/۹	۳/۰	۲/۶	۳/۰۸	۰/۰	۳/۷

معادله (۱) $ET_C=K_P\times K_C\times E_P$ در این معادله K_C، ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی، K_P، ضریب تشتک تبخیر و E_P، تبخیر از سطح تشتک بود. Kp با استفاده از داده‌های هواشناسی محل آزمایش به دست آمد (یک روش آسان و عملی در تبدیل تبخیر از تشت کلاس A به تبخیر و تعرق روزانه می‌باشد اما این مقدار باید برای هر منطقه تحت شرایط آب و هوایی مختلف کالیبره شود (گلکار و همکاران، ۱۳۸۷). در تمام مراحل مختلف رشد مراقبت‌های زراعی در تمام تیمارها به‌طور یکنواخت اعمال شد. در انتهای فصل رشد وزن‌تر و خشک اندام هوایی گیاه (برگ و ساقه) پس از ۴۸ ساعت قرارگیری در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. تعداد میوه در بوته، تعداد میوه در متر مربع، وزن تک میوه در سه بوته در هر کرت اندازه‌گیری شد. عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در چهار چین پس از حذف اثر حاشیه در هر کرت برداشت گردید. وزن خشک میوه پس از برش میوه و قرارگیری به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. قطر میوه، توسط دستگاه کولیس اندازه‌گیری شد. سفتی میوه با دستگاه پنترومتر یا سختی‌سنج مدل (FT-327) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری لیکوپن میوه توسط روش (Barba et al., 2006) در طول‌موج ۵۰۳ نانومتر انجام شد. اندازه‌گیری ویتامین ث از میوه گوجه‌فرنگی تازه با استفاده از روش (Kapur et al., 2012). در طول‌موج ۵۲۱ نانومتر و منحنی استاندارد اسید آسکوربیک انجام شد. pH نمونه‌های همگن شده توسط دستگاه pH متر مدل (inolab pH7110) اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف آب آبیاری با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد (Payero et al., 2009). معادله (۲) $IWUE=Y/I$ در این معادله IWUE، کارایی مصرف آب آبیاری برحسب کیلوگرم محصول در متر مکعب آب مصرفی، Y، عملکرد محصول برحسب کیلوگرم و I، حجم آب آبیاری در طول فصل رشد برحسب مترمکعب بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار Minitab 17 انجام شد. مقایسه میانگین با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصله نشان داد که وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). در تمام روش‌های آبیاری با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد میزان وزن خشک اندام هوایی روند نزولی داشت (جدول ۴). بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی به ترتیب در روش آبیاری متداول، آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت، آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر مشاهده شد، کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر و سطح کم‌آبیاری ۷۵ درصد مشاهده شد (جدول ۴). در روش آبیاری متداول وزن خشک اندام هوایی سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی دو برابر سطح ۵۰ درصد نیاز آبی بود. در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت تفاضل دو میانگین سطح ۱۰۰ و۵۰ درصد نیاز آبی ۷۸/۲۶ گرم در بوته بود و در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی دو برابر سطح ۷۵ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۴). تنش آبی ابتدا از قسمت‌های هوایی گیاه شروع می‌شود و اندام هوایی بیش از ریشه‌ها در معرض تنش قرار می‌گیرد که موجب کاهش سطح برگ و دریافت نور و در نهایت کاهش میزان فتوسنتز می‌شود علل اصلی کاهش وزن‌تر و خشک اندام هوایی گیاه در طول تنش، به تولید گونه‌های فعال اکسیژن یا ROS[1]، مربوط می‌باشد اکسیژن فعال یا ROS افزایش یافته که موجب اختلال در سیستم انتقال الکترون شده و باعث ایجاد فعالیت‌های اکسیدانی در کلروپلاست، میتوکندری و میکروبادی‌ها می‌گردند (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۴). خشکی با ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی که در گیاه به وجود می‌آورد با متوقف نمودن گسترش سلول‌ها و کاهش فشار آماس می‌تواند روی وزن تر و خشک گیاه تأثیر گذاشته و آن‌ها را کاهش دهد خشکی باعث کاهش انتقال مواد غذایی از خاک به گیاه می‌شود و باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک نسبت به

1- Reactive oxygen species

گیاهان شاهد می‌شود (Keshavars et al., 2012). بر اساس نتایج به‌دست آمده تعداد میوه در بوته و تعداد میوه در مترمربع تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). در روش‌های آبیاری مختلف با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۷۵ و۵۰ درصد تعداد میوه در بوته و تعداد میوه در مترمربع کاهش یافت (جدول ۴). میزان کاهش تعداد میوه در بوته از نیاز آبی ۱۰۰ به ۵۰ درصد در روش آبیاری متداول ۳۸ درصد، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت ۴۶ درصد و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر ۴۵ درصد مشاهده شد (جدول ۴) در بین دو روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر، تعداد میوه در بوته و تعداد میوه در مترمربع در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت بیش‌تر از روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر بود (جدول ۴). دلیل کاهش میوه در تیمار PRD، افزایش سقط گل همراه با کاهش پتانسیل آب برگ در مرحله رشد زایشی گیاه است. به نظر می‌رسد که کم‌آبیاری به‌ویژه در مراحل رشد زایشی به دلیل ریزش گل‌ها، تأثیر سوء بر دانه‌های گرده گل‌ها و در پی آن عدم تلقیح مادگی موجب کاهش شدید تعداد میوه در هر بوته می‌شود (Ozbahce and Tari.,2010). بررسی نتایج حاصله نشان داد که وزن تک میوه تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین وزن تک میوه در روش آبیاری متداول مشاهده شد پس از آن به ترتیب در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر بود (جدول ۴). تفاضل میانگین وزن تک میوه بین روش آبیاری متداول و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت ۹۲/ ۳ گرم بود و تفاضل میانگین بین روش آبیاری متداول و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر ۸/۹۴ گرم بود (جدول ۴).

در تمام روش‌های آبیاری با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد میزان وزن تک میوه روند نزولی داشت (جدول ۴). میزان وزن تک میوه در روش آبیاری متداول با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به۵۰ درصد نیاز آبی ۹۵ درصد کاهش یافت، که این روند کاهشی در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت ۶۹ درصد و در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر ۳۸ درصد وزن تک میوه کاهش یافت (جدول ۴). قطر میوه تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین میزان قطر میوه به ترتیب در روش آبیاری متداول و سپس در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت و کمترین قطر میوه در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر مشاهده شد (جدول ۴). با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ قطر میوه روند نزولی داشت (جدول ۴). تفاضل میانگین قطر میوه بین روش آبیاری متداول و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت ۱/۰۶ میلی‌متر و تفاضل میانگین قطر میوه بین روش آبیاری متداول و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر ۵/۳۷ میلی‌متر بود (جدول ۴). در بین سطوح مختلف کم‌آبیاری بیش‌ترین قطر میوه در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقدار آن در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی احتمالاً کاهش رشد ریشه و اندام هوایی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی در زمان شکل‌گیری میوه سبب کاهش قطر میوه شده است (مولوی و همکاران، ۱۳۹۰). سفتی میوه تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت که متأثر از روش‌های مختلف آبیاری بود (جدول ۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده بیشترین میزان سفتی میوه در بین روش‌های آبیاری مختلف به ترتیب در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر و کمترین میزان سفتی میوه در روش آبیاری متداول مشاهده شد (جدول ۶). در بین سطوح مختلف کم‌آبیاری نیز بیشترین میزان سفتی میوه در سطح ۵۰٪ نیاز آبی مشاهده شد، بررسی روند تغییرات سفتی میوه نشان می‌دهد که با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد سفتی میوه روند افزایشی داشته است، که در آبیاری متداول سفتی میوه ۳۲ درصد و در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت، سفتی میوه ۱۸ درصد افزایش یافته است، اما در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر روند کاهشی مشاهده شد و سفتی میوه ۱۲ درصد کاهش یافت (جدول ۶).

جدول ۳- منابع تغییر، درجه آزادی و سطح احتمال اثر روش‌های مختلف آبیاری بخشی ریشه و سطوح کم‌آبیاری بر اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	تعداد میوه در بوته	تعداد میوه در متر مربع	وزن تک میوه	قطر میوه
بلوک (R)	۲	۰/۷۳ ns	۰/۰۴*	۰/۰۴*	۰/۰۱**	۰/۰۱**
روش‌های آبیاری (M)	۲	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**
خطای فرعی	۴	–	–	–	–	–
کم آبیاری (DI)	۲	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**
(M*DI)	۴	۰/۲۷ns	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**
خطای کل (E)	۱۲	–	–	–	–	–
CV ضریب تغییرات (%)		۲۰/۹۴	۱۰/۵۷	۱۰/۵۷	۸/۷۷	۱/۳۵

*. ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

جدول ٤- اثر روش‌های مختلف آبیاری بخشی ریشه و سطوح کم‌آبیاری بر ویژگی‌های کمی گیاه گوجه‌فرنگی

صفات	ظرفیت زراعی (٪)	روش‌های آبیاری			میانگین
		آبیاری متداول	آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت	آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر	
وزن خشک اندام هوایی ($g.plant^{-1}$)	۱۰۰	۱۵۳/۹۶^{a}	۱۳۷/۷۶^{a}	۱۰۹/۹۴^{ab}	۱۳۳/۸۹^{A}
	۷۵	۹۴/۳۳^{ab}	۶۸/۶۶^{b}	۵۴/۷۱^{b}	۷۲/۵۶^{A}
	۵۰	۶۱/۴۲^{b}	۵۹/۵^{b}	۶۰/۵۱^{b}	۶۰/۴۸^{A}
	میانگین	۱۰۳/۲۴$^{(A)}$	۸۸/۶۴$^{(A)}$	۷۵/۰۵$^{(A)}$	
تعداد میوه در بوته	۱۰۰	۴۴$^{a-c}$	۴۷^{ab}	۳۵$^{b-d}$	۴۲^{A}
	۷۵	۵۸^{a}	۴۴^{bc}	۳۱^{cd}	۴۴^{A}
	۵۰	۴۲^{bc}	۳۲^{cd}	۲۴^{d}	۳۳^{B}
	میانگین	۴۸$^{(A)}$	۴۱$^{(B)}$	۳۰$^{(C)}$	
تعداد میوه در متر مربع	۱۰۰	۱۲۵$^{a-c}$	۱۳۴^{ab}	۹۸$^{b-d}$	۱۱۹^{A}
	۷۵	۱۶۳^{a}	۱۲۳^{bc}	۸۷^{cd}	۱۲۵^{A}
	۵۰	۱۲۰^{bc}	۹۱^{cd}	۶۹^{d}	۹۳^{B}
	میانگین	۱۳۶$^{(A)}$	۱۱۶$^{(B)}$	۸۵$^{(C)}$	
وزن تک میوه (g)	۱۰۰	۴۶/۰۳^{a}	۳۸/۵۰^{ab}	۳۰/۴۷$^{b-d}$	۳۸/۳۳^{A}
	۷۵	۳۵/۵۲^{b}	۳۲/۰۴^{bc}	۲۵/۶۵^{cd}	۳۱/۰۷^{B}
	۵۰	۲۳/۴۹^{cd}	۲۲/۷۳^{d}	۲۲/۰۹^{d}	۲۲/۷۷^{C}
	میانگین	۳۵/۰۱$^{(A)}$	۳۱/۰۹$^{(B)}$	۲۶/۰۷$^{(C)}$	
قطر میوه (mm)	۱۰۰	۹۸/۴۸^{a}	۴۸/۶۶^{a}	۴۴/۱۰^{b}	۴۷/۴۱^{A}
	۷۵	۴۴/۹۱^{b}	۴۳/۱۶^{b}	۳۷/۶۰^{c}	۴۱/۸۹^{B}
	۵۰	۳۷/۵۰^{c}	۳۶/۸۷^{c}	۳۴/۰۸^{d}	۳۶/۱۵^{C}
	میانگین	۴۳/۹۶$^{(A)}$	۴۲/۹۰$^{(B)}$	۳۸/۵۹$^{(C)}$	

* در هر صفت میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

سفتی میوه یکی از ویژگی‌های کیفی مهم گوجه‌فرنگی است، این‌گونه تصور می‌شود که نرمی نتیجه تغییراتی است که در دیواره سلولی در طی رسیدگی اتفاق می‌افتد. این تغییرات نتیجه فعالیت آنزیم‌های مختلفی است که بر دیواره سلولی اثر می‌گذارند (Rugkong et al.,2010). لیکوپن تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف آبیاری بیشترین میزان لیکوپن به ترتیب در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت، روش آبیاری متداول مشاهده شد (جدول ۶). مقایسه تفاضل میانگین روش آبیاری متداول و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت ۵/۲۴ میلی‌گرم در گرم بافت میوه و تفاضل میانگین روش آبیاری متداول و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر عدد ۴/۷۴ میلی‌گرم در گرم بافت میوه را نشان داد (جدول ۶). بررسی روند تغییرات نشان می‌دهد که با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی میزان لیکوپن در تمام روش‌های آبیاری روند افزایشی داشت (جدول ۶). مقایسه میانگین بین سطوح مختلف کم‌آبیاری نشان داد که در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی بیشترین میزان لیکوپن وجود داشت (جدول ۶). در شرایط تنش آبی رشد رویشی کاهش یافته و عوامل کیفی میوه از جمله لیکوپن بهبود می‌یابد و گیاه سعی می‌کند با کنترل تنش و متمرکز شدن بر عملکرد و عوامل کیفی دوره رویشی را کامل کند. این نتایج با مشاهدات دیگر محققان که عنوان کردند با افزایش آب قابل‌دسترس میزان لیکوپن کاهش می‌یابد همخوانی داشت (Metin et al., 2010). غلظت ویتامین ث تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). در بین روش‌های آبیاری مختلف به ترتیب در روش آبیاری متداول، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر بیشترین میزان ویتامین ث مشاهده شد، در تمام روش‌های آبیاری با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد میزان ویتامین ث روند کاهشی داشت (جدول ۶). کمترین میزان ویتامین ث در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر وجود داشت به‌طوری که میانگین آن با روش آبیاری متداول ۲/۵۱ میلی‌گرم در گرم بافت میوه تفاوت داشت. همچنین بررسی تفاضل میانگین سطح ۱۰۰ و۵۰ درصد نیاز آبی نشان داد که سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۲/۷۶ میلی‌گرم در گرم بافت میوه بیشتر از سطح ۵۰ درصد نیاز آبی ویتامین ث وجود

داشت (جدول ۶). از جمله تغییراتی که در گیاهان به عنوان پیام‌آور حضور تنش و مقابله با آن انجام می‌شود افزایش سطوح آنتی‌اکسیدان‌های مختلف است (Zonouri et al.,2014) (جدول ۶). اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند، در شرایط تنش خشکی برای کاهش آثار مخرب میزان آن افزایش می‌یابد. علت کاهش مقدار آسکوربات می‌تواند به دلیل تخریب مستقیم آسکوربات به‌وسیله اکسیژن فعال با سایر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و همچنین مصرف آسکوربات برای سنتز زئازانتین و تولید مجدد آلفاتوکوفرول باشد (دولت آبادیان و همکاران، ۱۳۸۸). اسیدیته میوه تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). در بین روش‌های مختلف آبیاری بیشترین میزان pH میوه در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر و در بین سطوح مختلف کم‌آبیاری بیشترین میزان آن در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۶). میزان تغییرات pH میوه با کاهش نیاز آبی از۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ در روش آبیاری متداول ۴/۷۳ درصد، در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت ۹/۳۰ درصد، در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر۳/۷۱ درصد بود (جدول ۶). بررسی روند تغییرات نشان داد که در تمام روش‌های آبیاری با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۷۵ و۵۰ درصد میزان pH میوه روند افزایشی داشته است (جدول ۶). کم‌آبیاری موجب افزایش اسیدیته شده است. افزایش اسیدیته در بهبود طعم میوه مؤثر است و بر این اساس تنش آبی موجب خوش طعم شدن میوه می‌گردد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴). عملکرد میوه تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). بیش‌ترین میزان عملکرد میوه در بین تیمارها روش آبیاری متداول مشاهده شد و کمترین میزان عملکرد میوه در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر مشاهده شد که در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی بود (جدول ۶) نتایج نشان داد که عملکرد میوه در روش آبیاری متداول ۶۸/ ۰کیلوگرم در متر مربع بیشتر از روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت بود همچنین روش آبیاری متداول ۱/۹۹ کیلوگرم در مترمربع عملکرد بیشتری نسبت به روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر نشان داد (جدول ۶). میزان تغییرات عملکرد میوه در سطوح مختلف کم‌آبیاری از سطح ۱۰۰به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری متداول ۶۴/۸۳ درصد، در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت ۹۹/۵ درصد و در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر ۵۵/۹۴ درصد بود (جدول ۶). تنش کم‌آبی با کاهش تورژسانس گیاه سبب کم شدن میزان رشد و توسعه سلول‌ها، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جریان دی‌اکسیدکربن و کربوهیدرات‌ها از میان غشای سلولی شده و بر ذخیره قند و رابطه منبع- مخزن اثر می‌گذارد، کم شدن میزان رشد سبب کاهش سطح برگ موجود برای فتوسنتز شده و در نهایت مقدار عملکرد را کاهش می‌دهد (Jureková et al., 2011). کارایی مصرف آب تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). با توجه به نتایج حاصله در بین روش‌های آبیاری مختلف بیشترین میزان کارایی مصرف آب در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت مشاهده شد و در سطوح مختلف کم‌آبیاری بیشترین کارایی مصرف آب در نیازآبی ۷۵ درصد مشاهده شد (جدول ۶). در روش آبیاری متداول با کاهش نیاز آبی از۱۰۰ به ۷۵ درصد میزان کارایی مصرف آب ۵/۶ درصد افزایش یافت (جدول ۶). نتایج نشان داد که در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد کارایی مصرف آب به ترتیب ۱۳/۷۷ و ۹/۵۸ درصد افزایش یافت (جدول ۶). اعمال تنش کم‌آبیاری از ۱۰۰ به ۷۵ درصد نیاز آبی، کارایی مصرف آب را بهبود بخشید و تنش آبی شدید کارایی مصرف آب را کاهش داد. علت این که در تنش کم‌آبی شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) کارایی مصرف آب کاهش یافت را می‌توان به کاهش میزان عملکرد مرتبط دانست (Zotarelli et al., 2009). با کاهش رشد رویشی تبخیر و تعرق و مصرف آب و کود در گیاه کاهش می‌یابد که در چنین شرایطی گیاه بخش بیشتری از مواد غذایی جذب شده را در فرآیند تولید به کار می‌گیرد و در نتیجه باعث افزایش کارایی مصرف آب و کود در گیاه می‌شود؛ بنابراین چون در روش آبیاری متداول و کامل تنشی اعمال نشده است و تمام ردیف‌ها آبیاری شده است. عملکرد بالایی دارد در مقایسه روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر حداکثر عملکرد در تیمار روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت مشاهده شد (جدول ۶). با کاهش مقدار آب قابل‌دسترس از ۱۰۰ به ۷۵ درصد نیاز آبی مقدار عملکرد میوه به مقدار پنج درصد کاهش یافت و با کاهش نیاز آبی از ۷۵ به ۵۰ درصد مقدار عملکرد میوه به مقدار ۵۸ درصد کاهش یافت (جدول ۶). در تیمار روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر احتمالاً تنش بیشتری نسبت به روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت اعمال شده است زیرا کمبود آب باعث ریزش گل در دوره گلدهی و کاهش عملکرد شد (Patane and Cosentino., 2010). با اعمال تنش کم‌آبیاری در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی نشان دادند که کم‌آبیاری در تمامی مراحل رشدی گوجه‌فرنگی به‌ویژه در دوره رشد زایشی به دلیل تأثیر سوء بر تلقیح و باروری گل‌ها موجب کاهش شدید عملکرد میوه می‌گردد. در نهایت مقدار عملکرد را کاهش می‌دهد. نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های (Galindo et al., 2018; Kang et al., 2017; Chai et al.,2016). مطابقت نشان داد. در تیمار روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت همواره تنش و شرایط مطلوب رطوبتی از یک سمت ریشه وجود داشته و گیاه در این شرایط ثابت و یکنواخت توانسته به‌صورت بهتری سیستم ریشه‌ای خودش را سازگار کند، همچنین در تیمار روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت چون سطح آبیاری کمتر بود میزان تبخیر از سطح خاک نیز کاهش یافت که این

امر باعث افزایش جذب آب در طول دوره رشد شده است. انجام مداوم آبیاری در روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت موجب می‌شود تا به دلیل رطوبت باقی‌مانده از آبیاری قبل پیاز رطوبتی با شعاع بیشتری به‌صورت افقی و عمودی خاک ایجاد شود و در نتیجه در زمان آبیاری بعد آب ورودی به خاک در این تیمار کمتر تحت تأثیر پتانسیل ماتریک خاک خشک اطراف ریشه قرار گرفته و این امر مانعی در برابر خارج شدن آب از دسترس گیاه از این راه بوده است.

جدول ۵- منابع تغییر، درجه آزادی و سطح احتمال اثر روش‌های مختلف آبیاری بخشی ریشه و سطوح کم‌آبیاری بر صفات کیفی میوه، عملکرد میوه و کارایی مصرف آب در گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	سفتی میوه	لیکوپن	ویتامین ث	pH	عملکرد میوه	کارایی مصرف آب
بلوک (R)	۲	۰/۰۵*	۰/۴۱^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۰۴*	۰/۰۱**	۰/۶۵^{ns}
روش‌های آبیاری (M)	۲	۰/۰۳*	۰/۶۶^{ns}	۰/۰۱**	۰/۰۲*	۰/۰۱**	۰/۰۱**
خطای فرعی	۴	–	–	–	–	–	–
کم آبیاری (DI)	۲	۰/۲۲^{ns}	۰/۰۲*	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۸^{ns}
(M*DI)	۴	۰/۰۳*	۰/۳۸^{ns}	۰/۰۱**	۰/۰۴*	۰/۰۸^{ns}	۰/۵۳^{ns}
خطای کل (E)	۱۲	–	–	–	–	–	–
(٪) ضریب تغییرات CV		۹/۹۸	۳۹/۰۸	۳۱/۱۴	۱/۴۲	۱۳/۲۳	

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

جدول ٦- اثر روش‌های مختلف آبیاری بخشی ریشه و سطوح کم‌آبیاری بر ویژگی‌های کیفی، عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی

صفات	ظرفیت زراعی (٪)	روش‌های آبیاری			میانگین
		آبیاری متداول	آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت	آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر	
سفتی میوه (Kg/cm^2)	۱۰۰	۳/۳۳^{ab}	۳/۳۳^{ab}	۳/۶۳^{ab}	۳/۴۳^{A}
	۷۵	۲/۷۶^{b}	۳/۹۰^{ab}	۳/۲۶^{ab}	۳/۳۱^{A}
	۵۰	۳/۶۶^{ab}	۳/۹۳^{a}	۳/۲۳^{ab}	۳/۶۱^{A}
	میانگین	۳/۲۵$^{(B)}$	۳/۷۲$^{(A)}$	۳/۳۷$^{(AB)}$	
لیکوپن ($mg.gfw^{-1}$)	۱۰۰	۳۴/۸۳^{a}	۴۴/۷۲^{a}	۶۲/۳۰^{a}	۴۷/۲۸^{A}
	۷۵	۴۱/۱۴^{a}	۴۵/۶۵^{a}	۶۳/۵۰^{a}	۵۰/۱۰^{B}
	۵۰	۸۴/۵۴^{a}	۸۵/۸۴^{a}	۶۴/۶۴^{a}	۷۸/۳۴^{A}
	میانگین	۵۳/۵۰$^{(A)}$	۵۸/۷۴$^{(A)}$	۶۳/۴۸$^{(A)}$	
ویتامین ث ($mg.gfw^{-1}$)	۱۰۰	۹/۴۷^{a}	۶/۴۸^{ab}	۱/۲۷^{c}	۵/۷۴^{A}
	۷۵	۱/۰۲^{c}	۱/۸۶^{c}	۱/۴۷^{c}	۱/۴۵^{C}
	۵۰	۲/۸۹^{c}	۲/۹۶^{bc}	۳/۱۰^{bc}	۲/۹۸^{B}
	میانگین	۴/۴۶$^{(A)}$	۳/۷۷$^{(A)}$	۱/۹۵$^{(B)}$	
pH	۱۰۰	۴/۲۲^{cd}	۴/۳۰^{b_d}	۴/۳۵^{b_d}	۴/۲۹^{B}
	۷۵	۴/۲۳^{cd}	۴/۱۹^{d}	۴/۳۱^{b_d}	۴/۲۴^{B}
	۵۰	۴/۴۳$^{a-c}$	۴/۵۸^{a}	۴/۴۷^{ab}	۴/۴۹^{A}
	میانگین	۴/۲۹$^{(B)}$	۴/۳۵$^{(AB)}$	۴/۳۸$^{(A)}$	
عملکرد میوه ($kg.m^{-2}$)	۱۰۰	۴/۵۰^{a}	۳/۹۹^{ab}	۲/۲۳^{cd}	۳/۵۷^{A}
	۷۵	۴/۳۲^{a}	۳/۵۲$^{a-c}$	۱/۹۱^{d}	۳/۲۵^{A}
	۵۰	۲/۷۳^{b_d}	۲/۰۰^{d}	۱/۴۳^{d}	۲/۰۵^{B}
	میانگین	۳/۸۵$^{(A)}$	۳/۱۷$^{(B)}$	۱/۸۶$^{(C)}$	
کارایی مصرف آب (kg/m^3)	۱۰۰	۲/۸۱^{a}	۳/۹۲^{a}	۲/۳۷^{a}	۳/۰۳^{A}
	۷۵	۲/۹۷^{a}	۴/۴۶^{a}	۳/۸۱^{a}	۳/۷۵^{A}
	۵۰	۲/۴۸^{a}	۴/۰۷^{a}	۲/۱۴^{a}	۲/۹۰^{A}
	میانگین	۲/۷۶$^{(B)}$	۴/۱۵$^{(A)}$	۲/۷۷$^{(B)}$	

* در هر صفت میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

در هر نوبت آبیاری در تیمار روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت نسبت به تیمار روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر رطوبت بیشتری در اطراف و در منطقه توسعه ریشه موجود بوده است. این امر باعث کاهش مقاومت مکانیکی خاک در مقابل توسعه ریشه شده و در نتیجه باعث افزایش طول و تراکم ریشه در تیمار آبیاری یک‌درمیان ثابت به سمت جویچه‌ای که همیشه آبیاری در آن انجام شده می‌شود (مولوی و همکاران، ۱۳۹۰).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از مقایسه بین روش‌های آبیاری مختلف و سطوح مختلف کم‌آبیاری نشان داد که در بین روش‌های آبیاری پس از روش آبیاری متداول، روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت و روش آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر بالاترین عملکرد مشاهده شد. اگرچه تنش کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد شد اما موجب بهبود صفات کیفی میوه گردید و تنش باعث زودرسی محصول و عرضه زودتر به بازار می‌شود، همچنین در این آزمایش کم‌آبیاری باعث افزایش کارایی مصرف آب گردید. در بین روش‌های آبیاری مختلف با کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ درصد به ۷۵ درصد نیاز آبی باعث افزایش کارایی مصرف آب گردید بدون آن که تأثیر قابل توجهی در عملکرد داشته باشد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است اما این افزایش کارایی مصرف آب نتوانسته کاهش عملکرد را جبران کند و تا حدودی عملکرد کاهش یافته است.کاهش نیاز آبی از۱۰۰ درصد به ۷۵ درصد نیاز آبی منجر به کاهش جزئی عملکرد در بین تمام روش‌های آبیاری شد و کارایی مصرف آب افزایش یافت. اما کاهش نیاز آبی از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۵۰ درصد نیاز آبی منجر به کاهش شدید عملکرد و تأثیر جزئی در کارایی مصرف آب شد که اصلاً توجیه پذیر نیست و مناسب این گیاه نبود.

منابع

انتصاری، م. ۱۳۸۶. بازده مصرف آب درکشت گلخانه‌ای. انتشارات کمیته ملی ایران آبیاری و زهکشی. ۱۸۰-۱۸۱.

بازرگان، م.، و احمدی علی بیگلویی، م. ۱۳۹۳ .تولید آب شیرین با استفاده از سرمایش زیرزمینی هوای مرطوب و انرژی خورشید. فصلنامه علمی-تخصصی انرژی‌های تجدید پذیر و نو. ۱(۱): ۱۵-۴.

دولت آبادیان، آ.، مدرس ثانوی، س.، و شریفی، م. ۱۳۸۸. اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی تغییرات بیوشیمیایی در برگ ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) مجله زیست‌شناسی ایران. ۳ (۲۲): ۴۰۷-۴۲۲.

رضایی چینه، آ .، تاجبخش، م.، جمالی، م.، و قاسیاسی م. ۱۳۹۴. ارزیابی مزیت‌های عملکرد و شاخص‌ها در الگوهای مختلف مخلوط شوید (*Anethun graveolens* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenumgraecum* L.). فناوری تولید گیاهان. ۱۶ (۱): ۱۵-۲۷.

زمردی، س.، نورجو، ا. و عالمی، ا. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر کمیت و کیفیت و حفظ پتانسیل گوجه‌فرنگی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷ (۲۷): ۱۹-۲۸.

شعبانی، ع.، کامگار، ع.، سپاس خواه، ع.، امامی، ی. و هنرت. ۱۳۸۸. اثر تنش آبی بر ویژگیهای فیزیولوژیک گیاه کلزا (*Brassica napus*). نشریه علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳ (۴۹): ۴۲- ۳۱.

شینی دشتگل، ع.، کشکولی، آ.، برومند، س. و نسب، س. ۱۳۸۸، تأثیرات آبیاری خزر بر بهره‌وری از آب و کیفیت و کمیت در جنوب مزارع نیشکر اهواز، مجله علوم خاک و آب، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۴۹ (۱):۴۵-۵۷.

علیزاده، ا. ۱۳۸۴. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا.

کریمی، ب.، وفایی، یاور، عبدی، چ. و گلزاری، ا. ۱۳۹۴. تأثیر رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری با استفاده از سیستم سطحی و زیرسطحی بر عملکرد ارقام شقایق و شهرزاد در شرایط گلخانه‌ای. مجله فرآیند و عملکرد گیاه. ۵ (۱۶): ۱۳۳-۱۴۳.

گلکار، ف.، فرهمند، ع. ر. و فرداد، ح. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر میزان آب آبیاری بر عملکرد و بازده مصرف آب در گوجه‌فرنگی. مجله مهندسی آب. ۱:۱۳-۲۰.

فالیان، ا.، انصاری، ح. و کافی، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر شوری متفاوت آب آبیاری بر کمیت و کیفیت گوجه‌فرنگی تحت شرایط کشت هیدروپونیک. مجله خاک و آب. ۲۶ (۲): ۴۵۱-۴۵۹.

مولوی، ح.، محمدی، م. و لیاقت، ع. ۱۳۹۰. اثر آبیاری کامل و یک‌درمیان جویچه‌ای بر عملکرد، اجزاء عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی (*Super strain* B) نشریه دانش آب و خاک. ۲۱(۳): ۱۱۵-۱۲۶.

Blanco, F., and Folegatti, M.V. 2003. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. Revista Brasileria de Engenharia Agricola Ambiental. 7(2): 285-291.

Barba, A.O., Hurtado, M.C., Mata, M.S., Ruiz, V.F. and

Patanè, C., La Rosa, S., Pellegrino, A., Sortino, O. and Saita, A. 2012. Water productivity and yield response factor in two cultivars of processing tomato as affected by deficit irrigation under semi-arid climate conditions. In VII International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. 1038. 449-454.

Patanè, C., Cosentino, S.L. 2010. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. Agricultural Water Management. 97(1): 131-138.

Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D. and Petersen, J.L. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. Agricultural Water Management. 96(10): 1387-1397.

Rugkong, A., Rose, J.K., Lee, S.J., Giovannoni, J.J., O'Neill, M. A., and Watkins, C. B. 2010. Cell wall metabolism in cold-stored tomato fruit. Postharvest Biology and Technology. 57(2): 106-113.

Sadras, V.O. 2009. Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta-analysis. Irrigation Science. 27. 183–190.

Slatni, A., Zayani K., Zairi A., Yacoubi S., Salvador R., Playan E. 2011. Assessing alternate furrow strategies for potato at the Cherfech irrigation district of Tunisia. Biosystem Engineering. 108(2):154-163.

Thind, H.S., Buttar, G.S., & Aujla, M.S. 2010. Yield and water use efficiency of wheat and cotton under alternate furrow and check-basin irrigation with canal and tube well water in Punjab, India. Irrigation science. 28(6): 489-496.

Wang, H., Liu, F., Andersen, M. N., and Jensen, C. R. 2009. Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Irrigation Science. 27(6): 443-448.

Zotarelli, L., Scholberg, J.M., Dukes, M.D., Muñoz-Carpena, R. and Icerman, J. 2009. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. Agricultural Water Management. 96(1): 23-34.

Zonouri, M., Javadi, T and Ghaderi, N. 2014. Effect of Foliar Spraying of Ascorbic Acid on Cell Membrane Stability, Lipid Peroxidation, Total Soluble Protein, Ascorbate Peroxidase and Leaf Ascorbic Acid Under Drought Stress in Grapes. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2: 349-354

De Tejada, M.L.S. 2006. Application of a UV–vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and β-carotene in vegetables. Food Chemistry, 95(2): 328–336.

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. A review. Agronomy for Sustainable Development, 36(1): 3.

DODD, I.C. 2009. Rhizosphere manipulations to maximize 'crop per drop' during deficit irrigation. Journal of Experimental Botany. 60. 2454–2459.

Galindo, A., Collado-González, J., Griñán, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M.J., Girón, I.F., Rodríguez, P., Cruz, Z.N., Memmi, H. and Carbonell-Barrachina, A.A. 2018. Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. Agricultural water management. 202. 311-324.

Jureková, Z., Németh-Molnár, K., and Paganová, V. 2011. Physiological responses of six tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to water stress. Journal of Horticulture and Forestry. 3(10): 294-300.

Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., Su, X., Lu, H., Li, X., Huo, Z., Li, S. and Ding, R. 2017. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. Agricultural Water Management. 179. 5-17.

Kapur, A., Hasković, A., Čopra-Janićijević, A., Klepo, L., Topčagić, A., Tahirović, I., and Sofić, E. 2012. Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables. Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina. 38(4): 39-42.

Keshavars L., Farahbakhsh H., and Golkar P. 2012. The Effects of Drought Stress and Super Absorbent Polymer on Morphphysiological Traits of Pear millet (*Pennisetum glaucum*), International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3(1): 148-154.

Metin Sezen, S.M., Yazar, A., Tekin, S., and Kapur, B. 2010. Effect of irrigation management on yield and quality of tomatoes grown in different soilless media in a glasshouse. Scientific Research and Essays. 5(1): 041-048.

Ozbahce, A., and Tari, A.F. 2010. Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate conditions. Agricultural Water Management. 97(9): 1405-1410.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 426-435

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۳۵-۴۲۶

Effect of Partial Root-Zone Drying on Yield, Yield Components and Water use Efficiency of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under Conditions Deficit Irrigation

S. Salehi Tizabi[1], M. Goldani[2]*, J. Nabati[3]

Recived: Dec.12, 2019 Accepted: Jan.26, 2020

Abstract

Deficit irrigation is one of the limiting factors of crop production. An experiment in a split plot randomized complete block design with three replications on tomato in Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during the 2018 cropping season. Treatments included; usual irrigation, fixed partial root-zone drying and alternative partial root-zone drying (main plot) and deficit irrigation100, 75, 50% irrigation requirement (sub plot). Effect irrigation methods and different levels of deficit irrigation had significant on number, weight, diameter, firmness, vitamin C and pH fruit. Maximum shoot dry weight of 153.96 g.plant^{-1}, number of fruits per plant (58), number of fruits per square meter (163), single fruit weight 46.03 g, fruit diameter 98 mm, vitamin C 9 mg.gfw^{-1}, fruit yield 4.46 kg.m^{-2} was observed in usual irrigation method. The highest amount of lycopene was 84 mg.gfw^{-1}, fruit firmness 3.93 Kg.cm^{-2}, pH 4.58, water use efficiency of 4.46 kg.m^{-3}, ^{2} was observed in fixed partial root-zone drying irrigation. The results showed that the highest yield among irrigation methods, respectively in conventional irrigation method,; usual irrigation, fixed partial root-zone drying and alternative partial root-zone drying and maximum water use efficiency in fixed partial root-zone drying irrigation method and 75% water requirement observed.

Keywords: Number fruit, Root, Tomato, Vitamin C, Water use efficiency, Yield

1- M.Sc. Student, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad
2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad
3- Member of Staff Ferdowsi University of Mashhad, Research Center for Plant Sciences
(*- Corresponding Author Email: goldani@um.ac.ir)