



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۷

صفحه‌های ۷۱۸-۷۰۷

تأثیر کم‌آبیاری بر رشد رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب پرتقال مارس‌ارلی در جنوب کرمان

اسماعیل مقبلی‌دامنه^{۱*}، روح‌الله فتاحی^۲، بهزاد قربانی^۲، غلامرضا ربیعی^۳، صمد اسفندیاری^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهردر، شهرکرد، ایران.
۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهردر، شهرکرد، ایران.
۳. استادیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهردر، شهرکرد، ایران.
۴. استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جیرفت، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۸

چکیده

با توجه به این‌که کم‌آبیاری کنترل‌شده و آبیاری زیرسطحی منجر به افزایش کارایی مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شوند، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان طی سال‌های ۹۴ تا ۹۶ اجرا شد. در این پژوهش دو فاکتور کم‌آبیاری (۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه در تمامی مراحل رشد گیاه، ۱۰۰-۶۰ درصد و ۸۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه به جز در مراحل گلدهی و تشکیل میوه) و روش آبیاری (آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب در طول دوره رشد پرتقال رقم مارس‌ارلی بر پایه نارنج اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد کم‌آبیاری کنترل‌شده سبب ۱۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش معنی‌دار رشد رویشی نسبت به آبیاری کامل می‌شود، درحالی‌که هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری در عملکرد محصول مشاهده نشد. آبیاری زیرسطحی سبب ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش رشد رویشی و کارایی مصرف آب نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی شد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد کم‌آبیاری کنترل‌شده و آبیاری زیرسطحی در افزایش کارایی مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف آب بسیار مؤثر هستند.

کلیدواژه‌ها: آبیاری زیرسطحی عمقی، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، کم‌آبیاری کنترل‌شده، مدیریت آب، مرکبات.

۱. مقدمه

در شرایط کاهش منابع آب، اعمال کم‌آبیاری و استفاده از روش‌های نوین آبیاری می‌تواند منجر به افزایش کارایی مصرف آب^۱، افزایش درآمد خالص و رشد اقتصادی شود. کم‌آبیاری کنترل‌شده^۲ جهت کاهش آب مصرفی در طول دوره مشخصی از رشد گیاه بدون کاهش یا با کاهش خیلی کم مقدار محصول طراحی و اجرا می‌شود (Golabi & Akhondali, 2007). مطالعات اخیر نشان می‌دهد استفاده از کم‌آبیاری کنترل‌شده بدون تأثیر منفی بر گیاه سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۲۰ تا ۲۵ درصد در درختان میوه و انگور می‌شود (Ruiz-Sanchez et al., 2010). در پژوهشی روی نارنگی نولز بر پایه سیترنج در اسپانیا مشخص شد کم‌آبیاری کنترل‌شده باعث کاهش ۳۰ درصدی مصرف آب بدون کاهش کمی میزان تولید می‌شود (Quinones et al., 2010). اعمال کم‌آبیاری کنترل‌شده به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی در پرتقال رقم ناولینا روی پایه سیترنج در اسپانیا باعث صرفه‌جویی در مصرف آب بدون کاهش عملکرد محصول شد (Aguado et al., 2012).

استفاده از روش‌های نوین آبیاری از جمله آبیاری زیرسطحی می‌تواند در کاهش مصرف آب بسیار تأثیرگذار باشد (Ebadi et al., 2009). بررسی دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در نارنگی کلمانتین در اسپانیا نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی^۳ باعث صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۴-۱۱/۵ درصد نسبت به سیستم آبیاری قطره‌ای می‌شود (Martinez-Gimeno et al., 2017). عمق نصب لوله‌های آبیاری زیرسطحی بر اساس عمق توسعه ریشه از ۳۰ تا

۵۰ سانتی‌متر گزارش شده است (Najafi & Tabatabaei, 2007). مطالعه سیستم آبیاری زیرسطحی عمقی^۴ در مرکبات (پرتقال، گریپ‌فروت و نارنگی) منطقه فلوریدا نشان داد که این سیستم علاوه بر مصرف انرژی پایین‌تر از کارایی مصرف آب بالاتری نیز برخوردار است (Morgan et al., 2010). استفاده از این سیستم به صورت لوله تراوا به شکل عمودی جهت آبیاری نشان داد که این لوله‌ها کارایی خوبی در توزیع مناسب رطوبت در خاک دارند (Golabi & Akhondali, 2007). اگرچه هزینه سیستم آبیاری زیرسطحی بیشتر از سیستم سطحی است، ولی پس از تکمیل سیستم، هزینه آبیاری آن حدود یک‌پنجم هزینه آبیاری به روش سطحی خواهد بود (Kazeminejad et al., 2007 and Nasseri et al., 2011).

مرکبات با سطح زیر کشت ۳۲۹۸۷ هکتار، میزان تولید ۴۹۷۳۳۲ تن و عملکرد ۱۵/۰۷ تن در هکتار اولین و مهم‌ترین محصول باغی جنوب استان کرمان به‌شمار می‌رود و در میان ارقام مختلف مرکبات این منطقه، پرتقال با داشتن سطح زیر کشت ۲۳۱۴۹ هکتار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Ahmadi et al., 2016).

حساسیت مرکبات به کم‌آبیاری بستگی به رقم، پایه، نوع خاک، روش آبیاری، زمان کم‌آبیاری، طول مدت کم‌آبیاری و مرحله کم‌آبیاری دارد (Advali & Golain, 2011).

در سال‌های اخیر به دلیل کمبود آب تولید مرکبات در جنوب استان کرمان با مشکل مواجه شده است. اگرچه آبیاری قطره‌ای در اکثر باغات این منطقه به اجرا درآمده، ولی در خصوص کم‌آبیاری و آبیاری زیرسطحی که با توجه به تبخیر بالای منطقه و کمبود آب می‌تواند بسیار مفید واقع شوند، مطالعه چندانی انجام نشده است (Esfandyari, 2015). آگاهی از چگونگی پاسخ گیاه به

1. Water Use Efficiency
2. Regulated Deficit Irrigation
3. Subsurface Drip Irrigation

4. Deep Subsurface Irrigation

تأثیر کم‌آبایی بر رشد رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب پرتقال مارس‌ارلی در جنوب کرمان

مدیریت‌های مختلف آبیاری می‌تواند در تصمیم‌گیری مدیران و کشاورزان بسیار مؤثر باشد. این پژوهش با هدف آگاهی از تأثیر کم‌آبایی و روش‌های مختلف آبیاری بر ویژگی‌های رویشی و عملکرد پرتقال مارس‌ارلی بر پایه نارنج طی دو سال زراعی ۹۴ تا ۹۶ اجرا شد. کم‌آبایی به دو صورت کم‌آبایی یکنواخت ثابت و کم‌آبایی متناوب اعمال شد. اجرای سیستم آبیاری زیرسطحی عمقی با الگوی جدید و مقایسه آن با سیستم‌های دیگر از نوآوری‌های این پژوهش بود. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند مورد استفاده جامعه کشاورزی جهت استفاده بهینه از منابع آب و افزایش تولید در باغ‌های پرتقال منطقه قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

جهت بررسی تأثیر کاربرد کم‌آبایی کنترل‌شده و روش‌های مختلف آبیاری، آزمایشی مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان طی دو سال زراعی ۹۵-۹۴ و ۹۶-۹۵ اجرا شد. این مرکز در فاصله ۱۸ کیلومتری شهرستان جیرفت قرار داشته و دارای طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۶۲۷ متر، متوسط بارندگی سالیانه ۱۴۰ میلی‌متر، حداکثر دما ۴۸ درجه

سانتی‌گراد، حداقل دما ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۵ تا ۶۵ درصد می‌باشد. میانگین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه در دو سال آزمایش به ترتیب ۱۳۶/۲ و ۱۵۵۵ میلی‌متر به‌دست آمد (جدول ۱).

آزمایش در باغی به وسعت ۴۰۰۰ مترمربع روی درختان پرتقال رقم مارس‌ارلی پیوندشده بر پایه نارنج، با سن چهار سال و فواصل کشت ۸×۶ متر اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کم‌آبایی و روش آبیاری، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در هر پلات با سه درخت پیاده شد. قبل از اجرای پژوهش آبیاری به‌صورت قطره‌ای با قطره‌چکان‌های غیراستاندارد انجام می‌شد. کم‌آبایی شامل سطوح زیر بود: الف) آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه در تمام مراحل رشد گیاه، ب) آبیاری بر اساس تناوب آبیاری ۱۰۰-۶۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه (به‌جز در مراحل گل‌دهی و تشکیل میوه) و ج) آبیاری بر اساس ۸۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه (به‌جز در مراحل گل‌دهی و تشکیل میوه). سطوح مختلف روش آبیاری نیز شامل موارد زیر بود: الف) آبیاری زیرسطحی عمقی (DSI)، ب) آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) و ج) آبیاری قطره‌ای سطحی (DI). در شروع آزمایش (زمستان ۹۴) با نمونه‌برداری از خاک و آب محل اجرای آزمایش، برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی مهم آن‌ها اندازه‌گیری شد (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۱. وضعیت بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در محل اجرای آزمایش (mm)

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع
سال اول	۲۲	۰/۴	۰	۸/۲	۰	۰/۸	۰	۰	۵	۳۳/۴	۰	۱/۶	۷۱/۴
سال دوم	۴۰	۱۴/۶	۰	۰	۲/۸	۰	۰	۱۸	۴/۸	۰	۹۷/۶	۲۳/۲	۲۰۱
تبخیر و تعرق سال اول	۱۳۳/۸	۱۸۳/۵	۲۱۹/۷	۲۲۳/۷	۲۰۳/۹	۱۷۱/۵	۱۲۴/۷	۷۲/۳	۴۴/۹	۴۰/۳	۶۳/۵	۹۲/۱	۱۵۷۳/۹
پتانسیل سال دوم	۱۱۶/۳	۱۷۵/۴	۲۰۹/۸	۲۲۰	۲۱۸/۱	۱۸۲	۱۲۲/۶	۷۶/۳	۴۶	۴۴/۹	۴۶/۲	۷۸/۵	۱۵۳۶/۱

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	بافت خاک	ظرفیت زراعی وزنی (%)	پژمردگی دائم وزنی (%)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	نیترژن (%)
۰-۳۰	لوم شنی	۲۱/۱۴	۷/۲۳	۱/۲۷	۸/۴	۰/۷۸۱	۲۳۲	۲/۸	۰/۰۳
۳۰-۶۰	لوم شنی	۲۱/۸۷	۷/۰۷	۱/۳۲	۸/۲	۰/۸۹۵	۲۱۰	۲/۱	۰/۰۳

جدول ۳. برخی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی آب محل اجرای آزمایش

هدایت الکتریکی (ds/m)	اسیدیته	کلسیم + منیزیم (meq/lit)	سدیم (meq/lit)	نسبت جذب سدیم	کلاس آب
۰/۶۱۰	۷/۲	۴/۷	۵/۳۶	۱/۱۶	C ₂ S ₁

†: نشان‌دهنده هدایت الکتریکی متوسط و S_i نشان‌دهنده نسبت جذب سدیم کم می‌باشد.

(میلی‌متر)، a فاصله بین ردیف‌ها (متر) و b فاصله بین درختان (متر) می‌باشند.

آب مورد نیاز آبیاری از یک چاه مجهز به ایستگاه کنترل مرکزی تأمین شد. آبیگری از لوله اصلی توسط رایزر و لوله ۷۵ میلی‌متری انجام شد، سپس سه عدد لوله ۶۳ میلی‌متری از آن منشعب شد. هر لوله ۶۳ میلی‌متری آب مورد نیاز یکی از سطوح کم‌آبیاری را تأمین می‌کرد. ابتدای هر لوله ۶۳ میلی‌متری یک عدد کنتور حجمی و یک شیر فلکه جهت اندازه‌گیری حجم آب آبیاری نصب شد. جهت تعیین عمق و دور آبیاری ابتدا مقدار آب در دسترس با استفاده از ویژگی‌های خاک و گیاه و شرایط مدیریتی به‌صورت زیر محاسبه شد (Ebadi et al., 2009):

$$RAW = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \cdot D_r \cdot MAD \quad (5)$$

در این رابطه RAW مقدار آب در دسترس (میلی‌متر)، θ_{fc} رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی (میلی‌متر بر متر)، θ_{pwp} رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم (میلی‌متر بر متر)، D_r عمق توسعه ریشه درخت (برابر با ۰/۶ متر) و MAD ضریب تخلیه مجاز رطوبتی (برابر با ۰/۵) هستند.

سپس عمق خالص آبیاری در هر نوبت از رابطه زیر محاسبه شد (Alizadeh, 1997):

$$d_x = RAW \times P_w \quad (6)$$

جهت تعیین نیاز آبیاری روزانه، با استفاده از داده‌های هواشناسی محل باغ مورد آزمایش میزان تبخیر و تعرق مرجع با روش پنمن مانیتث محاسبه و از روابط زیر نیاز آبی خالص، نیاز آبی ناخالص و نیاز آبیاری روزانه تعیین شد (Allen et al., 1998; Doorenbos & Pruitt, 1977):

$$I_n = ET_o \cdot K_c \cdot K_r \quad (1)$$

$$I_g = \frac{I_n}{E_a \cdot (1-LR)} \quad (2)$$

$$G = I_g - P_e \cdot K_r \quad (3)$$

که در این روابط: I_n نیاز آبی خالص (میلی‌متر)، ET_o تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر)، K_c ضریب گیاهی (برابر با ۰/۸۵)، K_r ضریب سطح سایه‌انداز، I_g نیاز آبی ناخالص (میلی‌متر)، E_a راندمان کاربرد آب (برای آبیاری قطره‌ای سطحی ۹۰ درصد و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و زیرسطحی عمقی ۱۰۰ درصد)، LR نیاز آبتشویی (برابر با ۱۰ درصد)، G نیاز آبیاری روزانه (میلی‌متر) و P_e بارندگی مؤثر (میلی‌متر) می‌باشند.

حجم آب آبیاری مورد نیاز روزانه هر درخت از رابطه زیر محاسبه شد (Alizadeh, 1997):

$$V_r = 10 \times \frac{G}{(a.b)} \quad (4)$$

در این رابطه V_r حجم آب آبیاری مورد نیاز روزانه (مترمکعب برای هر درخت)، G نیاز آبیاری روزانه

تأثیر کم آبیاری بر رشد رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب پرتقال مارس ارلی در جنوب کرمان

جهت اجرای آبیاری قطره‌ای سطحی چهار عدد قطره‌چکان نتافیم از نوع تنظیم‌کننده فشار با دبی هشت لیتر در ساعت با فاصله مساوی روی لویی در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از تنه درخت نصب شد. برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، لوله‌های قطره‌چکان‌دار حاوی هشت عدد قطره‌چکان با دبی چهار لیتر در ساعت در عمق ۴۰ سانتی‌متری از سطح خاک نصب شد. در آبیاری زیرسطحی عمقی با استفاده از لوله‌های پی‌وی‌سی به قطر ۹۰ میلی‌متر، زانو، رابط و درپوش، مخازن L شکلی ساخته شد. طول قسمت عمودی مخزن ۵۰ سانتی‌متر بود که پنج سانتی‌متر آن بالای خاک قرار داشت. طول قسمت افقی نیز ۴۰ سانتی‌متر به صورت مشبک و همراه با فیلتر بود. ابتدا و انتهای مخزن توسط درپوش مسدود، سپس با ایجاد یک سوراخ روی درپوش ورودی، یک لوله ۱۶ میلی‌متری از آن عبور داده شد و یک عدد قطره‌چکان روی آن نصب شد. تعداد مخازن به کار رفته برای هر درخت چهار عدد در چهار طرف آن و به فاصله مناسب از تنه درخت بود. در نهایت چهار مخزن هر درخت توسط لوله ۱۶ میلی‌متری به یکدیگر متصل شدند (شکل ۱).

در این رابطه d_x عمق خالص آبیاری در هر نوبت (میلی‌متر)، RAW مقدار آب در دسترس (میلی‌متر) و P_w مساحت خیس شده (درصد) هستند.

دور آبیاری نیز از رابطه زیر محاسبه شد (Alizadeh, 1997):

$$f = \frac{d_x}{I_n} \quad (V)$$

که در آن f دور آبیاری (روز) و I_n نیاز آبی خالص (میلی‌متر) می‌باشند.

دور آبیاری براساس مطالعات قبلی بین یک روز در تابستان تا سه روز در زمستان در نظر گرفته شد (Esfandyari, 2015). اولین آبیاری تا رسیدن رطوبت به ظرفیت زراعی انجام شد و در آبیاری‌های بعدی مقدار آبیاری از جمع‌مقادیر نیاز آبیاری روزانه در فاصله بین دو آبیاری تعیین شد. جهت کنترل دور آبیاری، رطوبت خاک با دستگاه رطوبت‌سنج مدل Decagon ECH₂O Check اندازه‌گیری شد، آبیاری قبل از رسیدن رطوبت به حد بحرانی (۵۰ درصد تخلیه آب خاک) انجام می‌شد (Doorenbos & Pruitt, 1977). نیاز آبی ناخالص محاسبه شده در جدول زیر آورده شده است (جدول ۴).

جدول ۴. نیاز آبی ناخالص (l/tree)

جمع	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	سال اول	سال دوم
۱۳۴۹۵	۶۷۸	۴۵۷	۲۸۶	۴۲۴	۶۷۹	۱۱۵۷	۱۵۳۷	۱۸۱۶	۱۹۸۰	۱۹۱۰	۱۵۳۷	۱۰۳۵		
۱۶۸۵۱	۷۷۰	۴۴۶	۴۲۹	۵۴۰	۸۹۵	۱۴۳۲	۲۰۷۷	۲۴۴۳	۲۴۴۱	۲۳۱۶	۱۸۹۰	۱۱۷۲		



شکل ۱. سیستم آبیاری زیرسطحی عمقی

عملیات داشت شامل کنترل علف‌های هرز، کوددهی و سم‌پاشی بر اساس عرف منطقه به صورت یکسان برای همه تیمارها انجام شد. برای تحلیل نتایج پژوهش، صفات رویشی، عملکرد کل، کارایی مصرف آب و حجم آب صرفه‌جویی شده در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری صفات رویشی، در چهار طرف هر درخت یک شاخه اصلی پلاک‌گذاری شد، سپس در شروع آزمایش (زمستان ۹۴)، و پس از برداشت میوه (پاییز) در هر سال، صفات طول شاخه اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی و مجموع طول شاخه‌های فرعی روی شاخه پلاک‌گذاری شده، اندازه‌گیری شد. مجموع تعداد جوانه‌های روی شاخه پلاک‌گذاری شده در رشد بهاره و تابستانه هر سال به عنوان تعداد جوانه‌ها در آن سال منظور شد. سایر صفات رویشی شامل قطر تنه، ارتفاع درخت و حجم سایه‌انداز نیز اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری حجم سایه‌انداز از معادله زیر استفاده شد (Ebadi et al., 2009; Hutchinson, 1977):

سازگاری گیاه به شرایط جدید آبیاری در سال دوم است. اثر ساده کم‌آبیاری بر افزایش طول شاخه اصلی، افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، افزایش طول شاخه‌های فرعی، تعداد جوانه‌ها، افزایش ارتفاع درخت و افزایش حجم سایه‌انداز در سطح احتمال یک درصد و بر افزایش قطر تنه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی کم‌آبیاری تأثیری بر عملکرد کل و کارایی مصرف آب نداشت. نتایج نشان داد اثر ساده روش آبیاری بر صفات افزایش طول شاخه‌های فرعی، تعداد جوانه‌ها، افزایش ارتفاع درخت، افزایش حجم سایه‌انداز و کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر صفات افزایش طول شاخه اصلی، افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و افزایش قطر تنه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است ولی بر عملکرد کل معنی‌دار نیست. هیچکدام از اثرات متقابل معنی‌دار نشد (جدول ۵).

$$V = \frac{H.W^2}{2} \quad (8)$$

در این رابطه V حجم سایه‌انداز (مترمکعب)، H ارتفاع درخت (متر) و W قطر سایه‌انداز (متر) می‌باشند.

مقایسه میانگین اثر سال بر افزایش ارتفاع درخت و افزایش حجم سایه‌انداز در دو سال آزمایش نشان داد ارتفاع درخت و حجم سایه‌انداز در سال دوم به ترتیب ۱۵/۵۴ و ۳۷/۸۰ درصد نسبت به سال اول رشد بیشتری داشته‌اند. دلیل این افزایش رشد می‌تواند سازگاری ریشه‌ها به شرایط جدید آبیاری و جذب بیشتر آب و املاح در سال دوم نسبت به سال اول باشد (جدول ۶).

جهت آنالیز صفات رویشی از اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده صفات در شروع پژوهش و پس از برداشت در هر سال، استفاده شد. داده‌های جمع‌آوری شده در جداولی در نرم‌افزار اکسل مرتب و سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 آنالیزهای آماری انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون دانکن انجام شد.

مقایسه میانگین اثر ساده کم‌آبیاری نشان داد در تمامی صفات رویشی اندازه‌گیری شده به جز قطر تنه، آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه اختلاف معنی‌داری با کم‌آبیاری دارد. این نتیجه به خوبی تأثیر کم‌آبیاری را در کاهش رشد رویشی نشان می‌دهد. در مورد افزایش قطر تنه اختلاف معنی‌داری بین آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه و کم‌آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مشاهده نشد، یعنی افزایش قطر تنه کمتر تحت تأثیر مقدار آبیاری قرار گرفته است. کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کل و کارایی مصرف آب نداشت، ولی باعث

۳. نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب صفات براساس داده‌های دو ساله نشان داد اثر سال روی افزایش حجم سایه‌انداز در سطح احتمال یک درصد و روی افزایش ارتفاع درخت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. این امر نشان‌دهنده

تأثیر کم آبیاری بر رشد رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب پرتقال مارس ارلی در جنوب کرمان

صرفه جویی در مصرف آب به مقدار ۱۶/۷۸ درصد (۴۹۰ مترمکعب در هکتار) در سال دوم نسبت به آبیاری کامل شد
مترمکعب در هکتار) در سال اول و ۱۷/۱۶ درصد (۶۲۵ (جدول ۷).

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

میانگین مربعات										
منابع تغییرات	درجه آزادی	افزایش طول شاخه اصلی	افزایش تعداد شاخه‌های فرعی	افزایش طول شاخه‌های فرعی	تعداد جوانه‌ها	افزایش قطر تنه	افزایش ارتفاع درخت	افزایش حجم سایه‌انداز	عملکرد کل	کارایی مصرف آب
سال	۱	۸/۱۵ ^{ns}	۰/۷۴ ^{ns}	۴۴۵/۳۲ ^{ns}	۷/۶۶ ^{ns}	۶/۰۰ ^{ns}	۱۴۱۴/۱۱ [*]	۷۳/۶۷ ^{**}	۱۲۵۴/۲۲ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}
خطای سال	۴	۳/۱۲	۰/۷۴	۴۵۴/۹۳	۱/۱۱	۰/۸۱	۱۱۷/۹۴	۰/۳۰	۱۶۳/۴۲	۰/۹۲
کم آبیاری	۲	۱۶۸/۸۱ ^{**}	۲۳/۹۳ ^{**}	۲۳۵۳/۸۵ ^{**}	۱۰/۸۴ ^{**}	۳/۷۴ [*]	۳۴۷/۷۷ ^{**}	۷/۷۴ ^{**}	۳۰۰/۹۹ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}
روش آبیاری	۲	۱۱۰/۸۲ [*]	۱۲/۹۷ [*]	۱۹۸۸/۳۶ ^{**}	۱۶/۰۷ ^{**}	۳/۳۶ [*]	۳۴۲/۰۱ ^{**}	۷/۹۵ ^{**}	۳۲۶/۳۱ ^{ns}	۴/۴۰ ^{**}
کم آبیاری × روش آبیاری	۴	۴۳/۵۳ ^{ns}	۱/۶۸ ^{ns}	۵۷۹/۲۱ ^{ns}	۴/۸۳ ^{ns}	۱/۲۴ ^{ns}	۸۷/۹۴ ^{ns}	۱/۲۱ ^{ns}	۲۷/۱۳ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}
سال × کم آبیاری	۲	۰/۷۵ ^{ns}	۲/۴۷ ^{ns}	۲۳/۰۸ ^{ns}	۴/۶۱ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۷۵/۳۰ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}	۴/۵۰ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}
سال × روش آبیاری	۲	۲۶/۸۵ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۱۳۲/۷۹ ^{ns}	۱/۳۱ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۱۰۲/۸۶ ^{ns}	۱/۱۸ ^{ns}	۹/۸۴ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}
سال × کم آبیاری × روش آبیاری	۴	۱/۹۸ ^{ns}	۲/۰۶ ^{ns}	۲/۷۱ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۲۹/۱۳ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۲/۵۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
خطای آزمایش	۳۲	۳۰/۷۳	۲/۹۷	۲۳۱/۳۱	۲/۰۳	۰/۷۶	۵۱/۸۰	۰/۸۱	۱۰۱/۱۲	۰/۵۸
ضریب تغییرات خطا (%)	-	۱۱/۲	۱۵/۶	۱۱/۰	۱۳/۵	۱۴/۳	۱۰/۲	۱۲/۲	۲۱/۲	۲۲/۱

ns و *، ** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر سال بر افزایش ارتفاع درخت و حجم سایه‌انداز

سال	افزایش ارتفاع درخت (cm)	افزایش حجم سایه‌انداز (m ³)
دوم	۷۶/۰۴ a	۸/۵۳ a
اول	۶۵/۸۱ b	۶/۱۹ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ ندارند.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر ساده کم آبیاری بر صفات مورد مطالعه

کم آبیاری	افزایش طول شاخه اصلی (cm)	افزایش تعداد شاخه‌های فرعی	افزایش طول شاخه‌های فرعی (cm)	تعداد جوانه‌ها	افزایش قطر تنه (mm)	افزایش ارتفاع درخت (cm)	افزایش حجم سایه‌انداز (m ³)
۱۰۰٪ نیاز آبی	۵۲/۹۱ a	۱۲/۲۲ a	۱۵۰/۵۶ a	۱۱/۴۵ a	۶/۵۷ a	۷۵/۹۷ a	۸/۱۱ a
۶۰-۱۰۰٪ نیاز آبی	۴۷/۶۷ b	۱۰/۹۷ b	۱۳۵/۵۲ b	۱۰/۲۶ b	۶/۰۱ ab	۶۷/۹۱ b	۷/۰۵ b
۸۰٪ نیاز آبی	۴۷/۵۵ b	۹/۹۱ b	۱۲۸/۱۲ b	۱۰/۰۰ b	۵/۶۷ b	۶۸/۸۹ b	۶/۹۲ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ ندارند.

سایه‌انداز و کارایی مصرف آب، آبیاری زیرسطحی اختلاف معنی‌داری نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی دارد، ولی بین دو روش آبیاری زیرسطحی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در مورد صفات افزایش طول شاخه اصلی، افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، افزایش طول شاخه‌های فرعی و افزایش قطر تنه، بین روش آبیاری زیرسطحی عمقی با روش آبیاری قطره‌ای سطحی تفاوت معنی‌دار بود اما آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی با هم تفاوتی نداشتند. این نشان می‌دهد که آبیاری زیرسطحی ضمن ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب، سبب افزایش رشد رویشی و کارایی مصرف آب نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی می‌شود. از میان دو روش آبیاری زیرسطحی، آبیاری زیرسطحی عمقی برتری نسبی به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی داشت که این امر می‌تواند ناشی از عدم گرفتگی منافذ و عدم نیاز به فشار بالای آب در آبیاری زیرسطحی عمقی باشد (جدول ۸).

نتایج کاربرد سیستم آبیاری زیرسطحی روی بیش از ۳۰ نوع گیاه، افزایش محصول را نسبت به سایر روش‌های آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای سطحی به همراه داشته است (Camp, 1998). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعات قبلی که بیان می‌دارد آبیاری زیرسطحی سبب افزایش کارایی مصرف آب و کم‌آبیاری کنترل‌شده سبب صرفه‌جویی در مصرف آب تا ۳۰ درصد بدون کاهش عملکرد می‌شود، همخوانی دارد (Martinez & Reza, 2014; Qiang, 2016; Quinones et al., 2010).

مطالعات قبلی نشان می‌دهد کم‌آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی در فصل تابستان و بعد از تشکیل میوه در پرتقال ناولینا با پایه نارنگی کلئوپاترا ماندارین منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۲ تا ۲۷ درصد بدون صدمه زدن به گیاه می‌شود (Gasque et al., 2016). در پژوهشی اعمال کم‌آبیاری روی نارنگی نولز با پایه سیترنج به میزان ۵۰ درصد تبخیر و تعرق مرجع، سبب کاهش رشد رویشی شد، ولی تأثیری بر میزان عملکرد محصول نداشت (Gonzalez-Altozano & Castel, 2015). در پژوهشی دیگر روی نارنگی نولز کم‌آبیاری تابستانه باعث کاهش رشد رویشی، افزایش کارایی مصرف آب و ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بدون کاهش عملکرد شد (Ballester et al., 2011). نتایج مطالعات قبلی بیانگر آن است که کم‌آبیاری کنترل‌شده به میزان ۵۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه در تابستان باعث ۱۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بدون تأثیر منفی بر عملکرد نارنگی نولز می‌شود (Ballester et al., 2014). همچنین کم‌آبیاری کنترل‌شده در پرتقال ناول روی پایه سیترنج سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار و افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۲۴ درصد نسبت به آبیاری کامل شد، درحالی‌که میزان عملکرد محصول فقط ۱۰-۱۲ درصد کاهش یافت (Garcia-Tejero et al., 2010).

مقایسه میانگین اثر ساده روش آبیاری نشان داد در صفات تعداد جوانه‌ها، افزایش ارتفاع درخت، افزایش حجم

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر ساده روش آبیاری بر صفات مورد مطالعه

روش آبیاری	افزایش طول شاخه اصلی (cm)	افزایش تعداد شاخه‌های فرعی	افزایش طول شاخه‌های فرعی (cm)	تعداد جوانه‌ها	افزایش قطر تنه (mm)	افزایش ارتفاع درخت (cm)	افزایش حجم سایه‌انداز (m ²)	کارایی مصرف آب (kg/m ³)
آبیاری زیرسطحی عمقی	۵۱/۵۷ a	۱۱/۹۹ a	۱۵۰/۱۳ a	۱۱/۰۷ a	۶/۴۷ a	۷۳/۵۷ a	۷/۸۶ a	۳/۷۶ a
آبیاری قطره‌ای زیرسطحی	۴۹/۸۹ ab	۱۰/۷۲ b	۱۳۳/۱۲ b	۱۱/۱۶ a	۶/۱۶ ab	۷۳/۳۱ a	۷/۶۱ a	۳/۶۸ a
آبیاری قطره‌ای سطحی	۴۶/۶۸ b	۱۰/۳۸ b	۱۳۰/۹۴ b	۹/۴۸ b	۵/۶۲ b	۶۵/۸۹ b	۶/۶۱ b	۲/۸۷ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ ندارند.

تأثیر کم‌آبایی بر رشد رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب پرتقال مارس‌ارلی در جنوب کرمان

در مجموع مدل دو متغیره حاصل، ۸۸ درصد تغییرات عملکرد کل را توجیه کرد (جدول ۱۰).

نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعات قبلی که بیان می‌کند حجم سایه‌انداز بیشترین تأثیر را روی عملکرد نارنگی نولز با پایه سیترنج دارد همخوانی دارد (Ballester *et al.*, 2011; Gonzalez-Altozano & Castel, 2015).

نتیجه نهایی رگرسیون گام به گام معادله خطی زیر بود:

$$Y = 5.82 + 3.42X_1 + 2.72X_2 \quad (9)$$

در این رابطه Y عملکرد کل (کیلوگرم در درخت)، X_1 افزایش حجم سایه‌انداز (مترمکعب) و X_2 افزایش قطر تنه (میلی‌متر) می‌باشند.

جهت تعیین ارتباط بین صفات مورد مطالعه، ضرایب همبستگی این صفات محاسبه شد. بر اساس این ضرایب بالاترین همبستگی بین صفات رویشی و عملکرد کل را صفات افزایش حجم سایه‌انداز، افزایش ارتفاع درخت و افزایش قطر تنه با مقادیر ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۸۹ و ۰/۸۴ دارا بودند (جدول ۹).

برای تعیین صفات مؤثر و درک بهتر از روابط بین صفات رویشی و عملکرد کل، با استفاده از تجزیه رگرسیونی گام به گام، متغیرهای مستقل مؤثر در عملکرد کل مشخص شدند. افزایش حجم سایه‌انداز اولین صفتی بود که در مدل وارد شد و ۸۵ درصد تغییرات را توجیه کرد و بعد از آن صفت افزایش قطر تنه وارد مدل گردید.

جدول ۹. ضرایب‌های همبستگی صفات مورد مطالعه

صفت	افزایش طول شاخه اصلی	افزایش تعداد شاخه‌های فرعی	افزایش طول شاخه‌های فرعی	تعداد جوانه‌ها	افزایش قطر تنه	افزایش ارتفاع درخت	افزایش حجم سایه‌انداز	عملکرد کل
افزایش طول شاخه اصلی	۱							
افزایش تعداد شاخه‌های فرعی	۰/۶۷**	۱						
افزایش طول شاخه‌های فرعی	۰/۷۱**	۰/۶۳**	۱					
تعداد جوانه‌ها	۰/۷۴**	۰/۴۶ ^{ns}	۰/۷۶**	۱				
افزایش قطر تنه	۰/۷۸**	۰/۵۸*	۰/۷۴**	۰/۷۷**	۱			
افزایش ارتفاع درخت	۰/۶۷**	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۵۹**	۰/۷۵**	۰/۷۹**	۱		
افزایش حجم سایه‌انداز	۰/۶۱**	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۶۰**	۰/۷۰**	۰/۸۰**	۰/۹۲**	۱	
عملکرد کل	۰/۶۱**	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۶۲**	۰/۷۱**	۰/۸۴**	۰/۸۹**	۰/۹۲**	۱

**، * و ^{ns} نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.

جدول ۱۰. رگرسیون گام به گام برای عملکرد کل

مرحله	متغیرهای وارد شده به مدل
۲	۱
۵/۸۲	۱۴/۶۷
۳/۴۲	۴/۴۷
۲/۷۲	-
۰/۸۸	۰/۸۵

2. Aguado, A., Frias, J., Garcia-Tejero, I., Romero, F., Muriel, J. L. & Capote, N. (2012). Towards the improvement of fruit-quality parameters in Citrus under deficit irrigation strategies. *International Scholarly Research Network. International Scholarly Research Notices Agronomy*. (96): 1-9.
3. Ahmadi, K., GHolizadeh, H., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Hoseinpour, R., Abdshah, H., Rezaei, M. M. & Fazli, M. (2016). *Agricultural Statistics*. Horticultural products. (in Persian)
4. Alizadeh, A. (1997). *Principles and practices of trickle irrigation*. Emam Reza University Press. Mashhad. Iran. (in Persian)
5. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper N. 56*. FAO. Roma. Italy.
6. Ballester, C., Castel, J., AbdEl-Mageed, T. A., Castel, J. R. & Intrigliolo, D. S. (2014). Long-term response of Clementina de Nules citrus trees to summer regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 138: 78-84.
7. Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D. S. & Castel, J. R. (2011). Response of Clementina de Nules citrus trees to summer deficit irrigation. Yield components and fruit composition. *Agricultural Water Management*. 98(6): 1027-1032.
8. Camp, C. R. (1998). Subsurface drip irrigation. A Review. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 41(5): 1353-1367.
9. Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1977). Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24*. FAO Rome. Italy.
10. Ebadi, H., Moradi, B., Biazar, SH. & Fattahi Moghaddam, J. (2009). Effect of different irrigation methods on fruit quantity and quality and vegetative growth of Thomson navel orange. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 15(6): 56-64. (in Persian)
11. Esfandyari, S. (2015). Citrus irrigation instructions. *Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Jiroft*. PP: 8-12. (in Persian)
12. Garcia-Tejero, I., Romero-Vicente, R., Jimenez-Bocanegra, J. A., Martinez-Garcia, G., Duran-Zuazo, V. H. & Muriel-Fernandez, J. L. (2010). Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agricultural Water Management*. 97(5): 689-699.

۴. نتیجه‌گیری

اعمال کم‌آبیاری به میزان ۸۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه از مرحله تشکیل میوه تا برداشت محصول، باعث ۱۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش رشد رویشی پرتقال مارس‌ارلی بر پایه نارنج شد، اما تأثیری در مقدار عملکرد کل محصول نداشت. بین کم‌آبیاری یکنواخت ۸۰ درصد و کم‌آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه تفاوتی وجود نداشت. آبیاری زیرسطحی یکی از عواملی است که باعث افزایش ویژگی‌های مهم رویشی از جمله تعداد جوانه‌ها، ارتفاع درخت و حجم سایه‌انداز نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی شد. همچنین آبیاری زیرسطحی سبب افزایش کارایی مصرف آب و ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی شد. آبیاری زیرسطحی عمقی باعث افزایش تعداد و طول شاخه‌های فرعی نسبت به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شد که این دو صفت می‌توانند در میزان عملکرد سال بعدی تأثیر مثبتی داشته باشند. از بین صفات رویشی، افزایش حجم سایه‌انداز بیشترین تأثیر مثبت را روی عملکرد داشت، بنابراین می‌تواند در افزایش عملکرد مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از کم‌آبیاری کنترل‌شده به میزان ۸۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه از مرحله تشکیل میوه تا برداشت محصول و روش آبیاری زیرسطحی در پرتقال مارس‌ارلی بر پایه نارنج در جنوب استان کرمان، بدون کاهش عملکرد میوه سبب صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب می‌شود. در مطالعات آینده می‌توان تأثیر کم‌آبیاری و آبیاری زیرسطحی بر ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال مارس‌ارلی بر پایه نارنج را نیز مورد بررسی قرار داد.

منابع

1. Advali, B. & Golain, B. (2011). *Citrus*. Novin Pouya. Tehran. Iran. P. 172. (in Persian)

13. Gasque, M., Marti, P., Graneroc, B. & Gonzalez-Altozanod, P. (2016). Effects of long-term summer deficit irrigation on Navelina citrus trees. *Agricultural Water Management*. 169: 140-147.
14. Golabi, M. & Akhondali, A. M. (2007). Evaluation of increasing pressure head on water movement in dry soil by vertical installation of subsurface leaky pipe. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(5): 216-225. (in Persian)
15. Gonzalez-Altozano, P. & Castel, J. R. (2015). Regulated deficit irrigation in Clementina de Nules citrus trees. II: Vegetative growth. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 75(4): 388-392.
16. Hutchinson, D. J. (1977). Influence of rootstock on the performance of Valencia sweet orange. *International Society of Citriculture*. Orlando. USA. pp. 523-525.
17. Kazemi Nejad, A. A., Kargar, A., Kargar, H., Sadri, S., Dehghan, S., GHazanfareyan, V. A. & Kebreyayi, h. (2007). Investigation of the effect of subsurface irrigation on the development of halophytes in desert areas using clay pipes. *Forest and Range Quarterly*. 9(74): 88-94. (in Persian)
18. Martinez-Gimeno, M. A., Provenzano, G., Bonet, L., Intrigliolo, D. S., Badal, E. & Ballestrer, C. (2017). Assessing the performance of surface and subsurface drip systems on irrigation water use efficiency of citrus orchards in Spain. *Geophysical Research Abstracts*. 19(415).
19. Martinez, J. & Reca, J. (2014). Water use efficiency of surface drip irrigation versus an alternative subsurface drip irrigation method. *Irrigation and Drainage Engineering*. 140(10): 301-309.
20. Morgan, K. T., Zotarelli, L. & Dukes, M. D. (2010). Use of irrigation technologies for citrus trees in Florida. *Horticultural Technology*. 20: 74-81.
21. Najafi, P. & Tabatabaei, S. H. (2007). Effect of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increase WUE in irrigation of some crops. *Irrigation and Drainage*. 56: 477- 486.
22. Nasserri, A., Babazadeh, H. & Nakhjevani, S. (2011). Drip discharge selection based on soil moisture distribution analysis. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*. 1(1): 29-42. (in Persian)
23. Qiang, C. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*. 36(3): 0-21.
24. Quinones, A., Folgado, C., Bacab, U., Alcantara, B. & Martinez, F. (2010). Water productivity and fruit quality in deficit drip irrigated citrus orchards. *Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments*. 28: 33-58.
25. Ruiz-Sanchez, M. C., Domingo, R. & Castel, J. R. (2010). Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 8(2): 5-20.



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 3 ■ Autumn 2018

Impacts of Deficit Irrigation on Vegetative Growth, Yield, and Water Use Efficiency of Sweet Orange (*Citrus sinensis* var. Mars Early) in the South of Kerman

Esmail MoghbeliDameneh^{1*}, Rouhollah Fatahi², Behzad Ghorbani², GholamReza Rabiei³, Samad Esfandyari⁴

1. Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Horticultural, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
4. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran.

Received: January 14, 2018

Accepted: February 27, 2018

Abstract

Regulated deficit irrigation and subsurface irrigation lead to increased high water use efficiency and water saving. As such, the present study conducts a field factorial experiment, based on randomized complete block design with three replications in Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, southern Kerman, during 2014-2016. It evaluates two factors, namely deficit irrigation (100% ET_c in total growing stages, 60-100% and 80% ET_c, with the exception of flowering and fruit-filling stages) and irrigation method (deep subsurface, subsurface drip, and surface drip irrigation). Vegetative traits, yield, and water use efficiency have been measured during the growing period of sweet orange (*Citrus sinensis* var. Mars Early) grafted on *Citrus aurantium* with the results showing that the regulated deficit irrigation practices save water by about 17%, compared to complete irrigation. It also reduces vegetative growth, even though there has been no statistically significant difference in the yield. Furthermore, subsurface irrigation saves water by about 10%, compared to surface drip irrigation, improving at the same time vegetative growth and water use efficiency. Therefore, it can be concluded that regulated deficit irrigation and subsurface irrigation are very effective for improving the water use efficiency and water saving.

Keywords: Citrus, Deep subsurface irrigation, Regulated deficit irrigation, Subsurface drip irrigation, Water management.