نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و پنجم، شماره سوم، ۱۳۹۷
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2018.14084.2263

بررسی اثر کم‌آبیاری در شرایط آبیاری سطحی و زیرسطحی روی رشد سبزینه‌ای و عملکرد مرکبات

[*]اسماعیل مقبلی‌دامنه[۱]، روح‌الله فتاحی[۲]، بهزاد قربانی[۲]، غلامرضا ربیعی[۳] و صمد اسفندیاری[۴]

[۱]دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد و محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران، [۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، [۳]دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، [۴]استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۳۱

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به کمبود شدید آب در سال‌های اخیر و بنا بر سیاست‌های بخش کشاورزی، آبیاری قطره‌ای در اکثر گیاهان ایران به اجرا درآمده است. اگر چه آبیاری قطره‌ای سطحی روش آبیاری موثری است، اما گسترش آن به‌خاطر معایبی مانند تبخیر سطحی خاک و هدر رفت آب دارای محدودیت‌هایی است. اخیراً روش آبیاری زیرسطحی که قادر است از بروز مشکلات ذکر شده جلوگیری کند در جهان گسترش پیدا کرده است. با توجه به تابش شدید آفتاب و بالا بودن تبخیر سطحی در بسیاری از مناطق ایران، آبیاری زیرسطحی می‌تواند در کاهش تبخیر بسیار مفید باشد، از طرفی با اعمال کم‌آبیاری اصولی و تنظیم‌شده می‌توان ضمن افزایش کیفیت محصول استفاده بهینه‌ای از آب داشت. هدف از انجام این پژوهش بررسی کارایی روش آبیاری زیرسطحی در مقایسه با روش آبیاری قطره‌ای سطحی است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش که در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان طی سال زراعی ۹۵-۹۴ به اجرا درآمد، تأثیر روش‌های مختلف کم‌آبیاری (کم‌آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه در تمامی مراحل رشد گیاه، کم‌آبیاری بر اساس تناوب ۱۰۰-۶۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه و کم‌آبیاری بر اساس ۸۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه به‌جز در مراحل گلدهی و تشکیل میوه) در سه روش آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و زیرسطحی عمقی بر رشد سبزینه‌ای (طول شاخه اصلی، طول شاخه‌های فرعی، تعداد جوانه‌ها، قطر تنه، ارتفاع درخت و حجم تاج پوشش) و عملکرد مرکبات (پرتقال) بررسی گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد اعمال کم‌آبیاری کنترل‌شده بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه همراه با آبیاری زیرسطحی عمقی علاوه بر ۳۳/۶۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب، از لحاظ خصوصیات رویشی و عملکرد محصول نیز اختلاف معنی‌داری با آبیاری کامل تحت سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی ندارد. اما کم‌آبیاری در شرایط آبیاری قطره‌ای سطحی به‌دلیل تلفات بیش‌تر آب گیاه را با تنش مواجه کرده و سبب کاهش عملکرد محصول می‌گردد. کم‌آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی نسبت به کم‌آبیاری

[*] مسئول مکاتبه: e.moghbeli@areeo.ac.ir

یکنواخت ۸۰ درصد نیاز آبی دارای خصوصیات رویشی بهتر و عملکرد محصول ضعیف‌تری بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کم‌آبیاری و آبیاری زیرسطحی در افزایش کارایی مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف آب بسیار مؤثر هستند.

نتیجه‌گیری: آبیاری زیرسطحی عمقی با جلوگیری از تبخیر آب و توزیع مناسب رطوبت در محیط ریشه با ۲۰ درصد حجم کانوپی بیش‌تر و ۲۸ درصد عملکرد محصول بیش‌تر نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی بهترین عملکرد را از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرسطحی عمقی، جنوب کرمان، مدیریت آب، مرکبات

مقدمه

در شرایط کاهش منابع آب کنونی، رقابت بر سر منابع آب در آینده، رشد جمعیت و نیاز به مواد غذایی بیش‌تر، برنامه‌ریزی دقیق آبیاری و انجام راهبردهای مناسب آبیاری که می‌تواند منجر به افزایش کارایی مصرف آب و رشد اقتصادی شود، بسیار مهم است. چالش اساسی در این راه شامل تعیین نیاز آبی، تعیین روش مناسب آبیاری و تعیین برنامه و راهبرد مناسب آبیاری می‌باشد. در شرایط کم‌آبی استفاده از راهبرد کم‌آبیاری می‌تواند مؤثر باشد. پیشرفت‌های اخیر در علم آبیاری و اطلاع از ویژگی‌های گیاه، منجر به استفاده از روش کم‌آبیاری برنامه‌ریزی شده گردیده که می‌تواند سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۲۰ تا ۲۵ درصد شود (۲۵). این روش جهت کاهش آب مصرفی در طول دوره مشخصی از رشد گیاه بدون کاهش یا با کاهش خیلی کم مقدار محصول طراحی و اجرا می‌شود (٤). مرکبات از جمله گیاهان مهم و اقتصادی جنوب کرمان به‌شمار می‌رود که در سال‌های اخیر مشکلات کم آبی تولید آن را با مشکل مواجه کرده است (۸). آبیاری قطره‌ای در اکثر باغات منطقه جنوب استان کرمان به اجرا درآمده اما در خصوص آبیاری زیرسطحی که با توجه به تبخیر بالای منطقه می‌تواند بسیار مفید باشد، مطالعه چندانی انجام نشده است (۷).

آبیاری قطره‌ای عبارت است از روشی که طی آن آب با فشار کم از روزنه یا قطره‌چکان از شبکه خارج و به‌صورت قطره پای بوته یا درخت ریخته می‌شود. اما آبیاری قطره‌ای زیرسطحی[1] نوعی خرد آبیاری است که در آن آب در محل ریشه گیاهان در منطقه زیر سطح خاک به‌صورت نقطه‌ای با دبی کم‌تر از ۱۰ لیتر در ساعت ریخته می‌شود (۲). از جمله عوامل محدودکننده در بهره‌برداری از این روش مشکل جوانه‌زنی گیاهان یکساله، هزینه‌های بالای خرید لوازم و کارگذاری آن‌ها می‌باشد (۹). پژوهش‌های انجام‌شده روی روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان می‌دهد این روش باعث کاهش مصرف آب به‌میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد در گیاهان ردیفی و حتی بیش‌تر برای مرکبات می‌شود (۵). در صورت طراحی و اجرای مناسب آبیاری زیرسطحی رطوبت خاک در طول دوره رشد گیاه نزدیک به رطوبت ظرفیت زراعی بوده و گیاه بدون صرف انرژی زیاد آب مورد نیاز خود را دریافت می‌کند و این سبب افزایش کمیت و کیفیت محصول تولیدی می‌شود. در مناطق خشک با تبخیر بالا، از آن‌جا که آب با سطح زمین در تماس نیست به میزان زیادی از تبخیر سطحی کم و کارایی افزایش می‌یابد. عمق نصب لوله‌های آبیاری زیرسطحی بر اساس عمق توسعه ریشه از ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر گزارش شده است

1- Subsurface Drip Irrigation

(٦). تغییر روش آبیاری سطحی به قطره‌ای در درختان بارور پسته در ساوه نشان داد این تغییر روش در سال اول باعث کاهش عملکرد گردیده ولی در سال‌های بعدی باعث افزایش کمیت و کیفیت محصول شده است (١٠). نتایج کاربرد روش آبیاری زیرسطحی روی بیش از ٣٠ نوع گیاه، افزایش محصول را نسبت به سایر روش‌های آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای سطحی به همراه داشته است (٣).

آبیاری زیرسطحی عمقی[1] روشی است که در آن آب با فشار کم و صرف انرژی پایین در محیط ریشه قرار گرفته و می‌تواند به‌تدریج از مخزن خود خارج شده و خاک را مرطوب نماید. این روش که پژوهش اندکی روی آن صورت گرفته می‌تواند در مناطق خشک دارای تبخیر بالا و به‌خصوص برای درختان بسیار مفید باشد در پژوهشی در خصوص کم‌آبیاری تنظیم شده در روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در باغات مرکبات اسپانیا مشخص گردید که آبیاری زیرسطحی می‌تواند باعث افزایش کارایی، بهره‌وری مصرف آب و میزان تولید شود، همچنین کم‌آبیاری تنظیم شده همراه با کاهش ٣٠ درصدی مصرف آب از مرحله تشکیل میوه تا رسیدن محصول نیز باعث افزایش کیفیت محصول، کارایی و بهره‌وری مصرف آب بدون کاهش کمی میزان تولید می‌گردد (٢٣). کاربرد کم‌آبیاری در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی روی درختان هلو در مصر نشان داد آبیاری زیرسطحی همراه با کم‌آبیاری به‌میزان ٨٠ درصد نیاز آبی بهترین عملکرد را به همراه دارد (٢٠). استفاده از روش آبیاری زیرسطحی عمقی با کاربرد لوله‌های عمودی به‌طول ٥٠ و قطر ١١ سانتی‌متر در سه سطح آبیاری در درختان زیتون اسپانیا نشان داد آبیاری زیرسطحی عمقی همراه با آبیاری به‌میزان ٨٠ درصد نیاز آبی بهترین نتیجه را در افزایش میزان محصول و کارایی مصرف آب دارد (١٥). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد کم‌آبیاری تنظیم‌شده به‌صورت آبیاری کم فشار باعث افزایش بهره‌وری در تولید بادام می‌شود (١١). مطالعه کارآیی مصرف آب در چهار روش آبیاری سطحی، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ١٥ سانتی‌متری، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ٣٠ سانتی‌متری و آبیاری فارو روی محصول سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و بادمجان نشان داد که بهترین روش برای افزایش محصول و همچنین افزایش کارایی مصرف آب، روش آبیاری قطره‌ای در عمق ١٥ سانتی‌متری می‌باشد (١٨). مطالعه تغییر روش آبیاری سطحی به زیرسطحی در درختان پسته نشان داد روش آبیاری زیرسطحی به‌خوبی قادر است نیاز آبی گیاه را تامین کند (١٦). ارزیابی دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی (با دو عمق نصب ٣٠ و ٥٠ سانتی‌متر) همراه با آبیاری به مقدار ٤٠، ٦٠ و ٨٠ درصد نیاز آبی درختان پسته نشان داد آبیاری زیرسطحی با مقدار آبیاری ٦٠ درصد نیاز آبی با کارایی مصرف آب ٠/٢٩ کیلوگرم ماده خشک به مترمکعب آب مصرفی و ٢٥ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بهترین کارایی را دارد (٢٦). نتایج مطالعه روش‌های آبیاری قطره‌ای کم فشار در مرکبات منطقه فلوریدا نشان داد آبیاری قطره‌ای کم‌فشار علاوه بر مصرف انرژی پایین‌تر و کاهش بیماری در گیاه، از کارایی مصرف آب بالاتری نیز برخوردار است (١٧). استفاده از لوله تراوا به شکل عمودی جهت آبیاری نشان داد این لوله‌ها کارایی خوبی در توزیع مناسب رطوبت در خاک دارند (١٢). استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطوح مختلف آب و شوری در سورگوم علوفه‌ای نشان داد با آبیاری به‌میزان ٧٥ درصد نیاز آبی با شوری آب ٥ دسی‌زیمنس بر متر

1- Deep Subsurface Irrigation

عملکرد کاهش پیدا نخواهد کرد (۲۱). اگر چه هزینه روش آبیاری زیرسطحی بیش‌تر از روش سطحی است، ولی پس از تکمیل آن، هزینه آبیاری آن حدود یک پنجم هزینه آبیاری روش سطحی است (۱۳ و ۱۹). بررسی تأثیر آبیاری با لوله‌های سفالی زیرسطحی روی رشد بامیه، بادمجان و شلغم نشان داد که این روش آبیاری باعث صرفه‌جویی در آب تا ۸۰ درصد در مقایسه با روش آبیاری سطحی شد. همچنین عملکرد محصولات کشاورزی در سبزیجات آبیاری‌شده با این روش ۵ تا ۱٦ درصد بیش‌تر از روش آبیاری سطحی متعارف بود (۲۷).

تنش آبی سبب کاهش رشد و ریزش اندام‌های رویشی و زایشی در مرکبات می‌شود. تنش بلندمدت فرآیندهای تبادل گازی، جذب و تبدیل CO_2، پتانسیل آبی و هدایت روزنه‌ای را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و این موجب کاهش رشد رویشی و زایشی می‌شود. تنش آبی در مرکبات سبب انباشته شدن ABA و در نتیجه تجمع ACC (پیش ماده اتیلن) در ریشه‌ها می‌شود، ACC از ریشه‌ها به شاخه‌ها منتقل شده و در برگ‌ها به اتیلن اکسید شده و باعث ریزش برگ و میوه می‌شود. به‌منظور جلوگیری از تلفات آب، گیاه از طریق بستن روزنه‌ها، کاهش جذب تشعشع، کاهش سطح تبخیرکننده یا ترکیبی از هر سه، مقدار تعرق را کاهش می‌دهد (۱). از آنجا که رشد رویشی اصلی شاخصاره پیش از رشد میوه انجام می‌شود و از آن‌جا که رشد شاخصاره نسبت به رشد میوه از حساسیت بیش‌تری برخوردار است، انتظار می‌رود به‌کارگیری یک تنش متوسط، رشد رویشی را بدون اثر بر رشد میوه کاهش دهد، زیرا میوه فشار اسمزی را خودش تنظیم می‌کند (٤).

این پژوهش با هدف آگاهی از تأثیر کم‌آبیاری و روش‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات رویشی و عملکرد مرکبات (پرتقال) در جنوب استان کرمان اجرا شد. کم‌آبیاری به دو صورت کم‌آبیاری یکنواخت ثابت و کم‌آبیاری متناوب اعمال شد. اجرای روش آبیاری زیرسطحی عمقی با الگوی جدید و مقایسه آن با روش‌های دیگر از نوآوری‌های این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان در سال زراعی ۹۵-۹٤ انجام گرفت. این مرکز در فاصله ۱۸ کیلومتری شهرستان جیرفت، دارای طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ٦۲۷ متر، متوسط بارندگی سالیانه ۱٤۰ میلی‌متر، دمای بیشینه ٤۸ درجه سانتی‌گراد، دمای کمینه ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۵ تا ٦۵ درصد می‌باشد. جهت بررسی امکان کاربرد روش‌های مختلف کم‌آبیاری در شرایط آبیاری زیرسطحی، آزمایش در باغی به وسعت ٤۰۰۰ مترمربع روی پرتقال رقم مارس ارلی با پایه نارنج با سن ٤ سال و فواصل کشت ٦×۸ متر با استفاده از طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح فاکتور کم‌آبیاری (*A*) و سه سطح فاکتور روش آبیاری (*B*) در ۳ تکرار و در هر پلات ۳ درخت انجام گرفت. تیمارهای فاکتور *A* (کم‌آبیاری) عبارتند از: ۱- آبیاری بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی از مرحله شروع رشد میوه تا برداشت میوه (در بقیه مراحل رشد گیاه آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام خواهد شد) (*I80*). ۲- آبیاری بر اساس تناوب آبیاری ۱۰۰-٦۰ درصد نیاز آبی از مرحله شروع رشد میوه تا برداشت میوه (در بقیه مراحل رشد گیاه آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام خواهد شد) (*I60-100*). ۳- آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی در تمام مراحل رشد گیاه (*I100*). تیمارهای عامل *B*

(روش آبیاری) نیز عبارتند از: ۱- آبیاری زیرسطحی عمقی (*DSI*) ۲- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (*SDI*) ۳- آبیاری قطره‌ای سطحی (*DI*).

در ابتدا با نمونه‌برداری از خاک و آب محل اجرای آزمایش خصوصیات مهم آن‌ها اندازه‌گیری شد (جدول‌های ۱ و ۲). جهت تعیین نیاز آبیاری روزانه، با استفاده از داده‌های هواشناسی محل باغ مورد آزمایش میزان تبخیر و تعرق مرجع با روش پنمن مانتیث محاسبه و از روابط زیر نیاز آبی خالص، نیاز آبی ناخالص و نیاز آبیاری روزانه تعیین شد (۷):

$$I_n = ET_o.K_c.K_r \quad (۱)$$

$$I_g = \frac{I_n}{E_a.(1-LR)} \quad (۲)$$

$$G = I_g - P_e.K_r \quad (۳)$$

که در آن، 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 کارایی کاربرد آب (برای آبیاری قطره‌ای سطحی ۹۰ درصد و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و زیرسطحی عمقی ۱۰۰ درصد)، LR نیاز آبشویی (برابر با ۱۰ درصد)، G نیاز آبیاری روزانه (میلی‌متر) و P_e بارندگی مؤثر (میلی‌متر) می‌باشند. آب مورد نیاز آبیاری از یک چاه مجهز به ایستگاه کنترل مرکزی تأمین شد. آبگیری از لوله اصلی توسط رایزر و لوله ۷۵ میلی‌متری انجام شد، سپس سه عدد لوله ٦٣ میلی‌متری از آن منشعب شد. هر لوله ٦٣ میلی‌متری آب مورد نیاز یکی از سطوح کم‌آبیاری را تامین می‌کرد. ابتدای هر لوله ٦٣ میلی‌متری یک عدد کنتور حجمی و یک شیر فلکه جهت اندازه‌گیری حجم آب آبیاری نصب شد. دور آبیاری براساس مطالعات قبلی بین یک روز در تابستان تا سه روز در زمستان در نظر گرفته شد (۷). اولین آبیاری تا رسیدن رطوبت به ظرفیت زراعی انجام شد و در آبیاری‌های بعدی مقدار آبیاری از تجمیع مقادیر نیاز آبیاری روزانه در فاصله بین دو آبیاری تعیین شد. جهت کنترل دور آبیاری، رطوبت خاک با دستگاه رطوبت‌سنج مدل Decagon ECH_2O Check اندازه‌گیری شد، آبیاری قبل از رسیدن رطوبت به حد بحرانی (۵۰ درصد تخلیه آب خاک) انجام می‌شد (۷).

جدول ۱- ویژگی‌های نمونه خاک مزرعه تحقیقاتی.

Table 1. Characteristics of soil sample of research farm.

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	pH	شوری EC (ds/m)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن (درصد) N%	بافت Texture
0-30	8.4	0.781	232	2.8	0.03	لوم- رسی Sandy-Loam
30-60	8.2	0.895	210	2.1	0.03	لوم- رسی Sandy-Loam

جدول ۲- ویژگی‌های نمونه آب مزرعه تحقیقاتی.

Table 2. Characteristics of water sample of research farm.

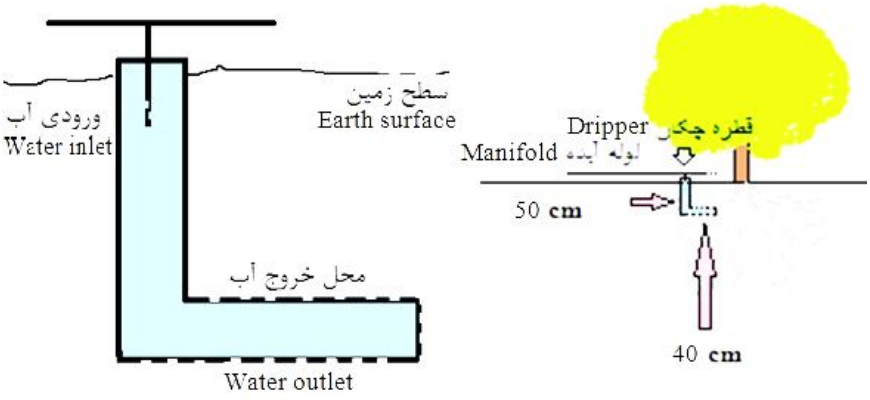
$EC_{(\mu S/cm)}$	pH	(meq/lit)		SAR	Class
		$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Na^{+}		
910	7.2	4.7	5.36	1.16	C_3S_1

جدول ۳- نیاز آبی مرکبات جنوب استان کرمان.

Table 3. Water requirement of South Kerman Citrus.

کل Total	اسفند Mar.	بهمن Feb.	دی Jan.	آذر Dec.	آبان Nov.	مهر Oct.	شهریور Sep.	مرداد Aug.	تیر Jul.	خرداد Jun.	اردیبهشت May.	فروردین Apr.	ماه Month
6442	377	307	186	232	344	514	673	819	960	866	637	527	نیاز آبی Water requirement (m^3/ha)

جهت اجرای آبیاری قطره‌ای سطحی قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار با دبی خروجی ۸ لیتر در ساعت و با تعداد ٤ عدد قطره‌چکان برای هر درخت با فاصله مساوی روی لوپی که در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از تنه قرار داده شده بود نصب گردید. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله‌های قطره‌چکان‌دار شامل تعداد ۸ عدد قطره‌چکان با دبی ٤ لیتر در ساعت با فواصل ۰/۵ متری روی لوله، در عمق ٤۰ سانتی‌متری از سطح خاک نصب شد. برای استقرار آبیاری زیرسطحی عمقی با استفاده از لوله‌های پی‌وی‌سی و با کاربرد لوله با قطر ۹۰ میلی‌متر، زانو، رابط و درپوش ۹۰ میلی‌متری مخازن L شکلی ساخته شد بدین‌صورت که طول قسمت عمودی ۵۰ سانتی‌متر و طول قسمت افقی ٤۰ سانتی‌متر (به‌صورت مشبک و همراه با فیلتر) بود. ابتدا و انتهای لوله L شکل مسدود، سپس با ایجاد یک سوراخ در روی درپوش ورودی یک لوله ١٦ میلی‌متری همراه با یک عدد قطره‌چکان وارد لوله شد. تعداد مخازن L شکل به‌کار رفته برای هر درخت ٤ عدد در چهار طرف آن و به فاصله مناسب از تنه درخت بود. در نهایت چهار ورودی بهم متصل و یک لوپ را تشکیل داد که با لوله ١٦ میلی‌متری تغذیه می‌شد (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱- شماتیک نحوه اجرای آبیاری زیرسطحی عمقی.

Figure 1. Outline of Deep Subsurface Irrigation.

شکل ۲- آبیاری زیرسطحی عمقی.

Figure 2. Deep Subsurface Irrigation.

برای تحلیل نتایج پژوهش، در ابتدای شروع و پایان آزمایش‌های صفات رویشی شامل طول شاخه اصلی، طول شاخه‌های فرعی، تعداد جوانه‌ها، قطر تنه، ارتفاع درخت، حجم تاج پوشش و از خصوصیات زایشی عملکرد کل در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری صفات رویشی، در چهار طرف هر درخت یک شاخه اصلی پلاک‌گذاری شد، سپس در شروع آزمایش (زمستان ۹٤) و پس از برداشت میوه (پاییز ۹۵)، صفات طول شاخه اصلی و طول شاخه‌های فرعی روی شاخه پلاک‌گذاری‌شده، اندازه‌گیری شد. مجموع تعداد جوانه‌های روی شاخه پلاک‌گذاری‌شده در رشد بهاره و تابستانه به‌عنوان تعداد جوانه‌ها در آن سال منظور شد. جهت اندازه‌گیری حجم سایه‌انداز از معادله هاچینسون استفاده شد:

$$V = \frac{H.W^2}{2} \qquad (٤)$$

که در آن، V حجم سایه‌انداز (مترمکعب)، H ارتفاع درخت (متر) و W قطر سایه‌انداز (متر) می‌باشند. داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAS(9.4) تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده کم‌آبیاری برای صفات طول شاخه‌های فرعی و عملکرد کل در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده و برای سایر صفات معنی‌دار نیست. اثر ساده روش آبیاری برای صفت عملکرد کل در سطح ۰/۰۱ و برای صفات طول شاخه‌های فرعی، تعداد جوانه‌ها و حجم تاج پوشش در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده و برای سایر صفات معنی‌دار نیست. همچنین اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری برای هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نیست (جدول ٤).

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده.

Table 4. Analysis of variance for measured traits.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات						
		رشد طول شاخه اصلی (سانتی‌متر) Increase the length of the main branch (cm)	رشد طول شاخه‌های فرعی (سانتی‌متر) Increase the length of the sub branches (cm)	تعداد جوانه‌ها Number of buds	رشد قطر تنه (میلی‌متر) Increase the Trunk diameter (mm)	رشد ارتفاع درخت (سانتی‌متر) Increase the Tree height (cm)	رشد حجم تاج پوشش (مترمکعب) Increase the Canopy volume (m^3)	عملکرد کل (کیلوگرم در درخت) Total yield (kg/tree)
بلوک Block	2	3.71	552.39	2.01	1.07	128.64	0.005	22.41
کم آبیاری Deficit irrigation	2	95.40	1159.16*	0.73	2.23	59.63	0.006	75.01*
روش آبیاری Irrigation method	2	52.16	1071.66*	6.12*	1.62	38.62	0.026*	156.15**
کم آبیاری * روش آبیاری Deficit irrigation * Irrigation method	4	17.91	283.89	2.72	1.12	15.52	0.008	9.18
خطای آزمایشی Experimental Error	16	27.53	206.79	1.45	0.87	37.03	0.007	15.18
ضریب تغییرات خطا (درصد) C.V (%)		10.71	10.64	11.83	16.24	9.25	13.73	9.08

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج آزمون مقایسه میانگین برای اثر ساده کم‌آبیاری آشکار نمود کم‌آبیاری‌های به‌کار برده شده باعث کاهش حدود ۹ درصد طول شاخه‌های فرعی و کاهش حدود ۱۱ درصد عملکرد کل محصول شده ولی در بقیه صفات رویشی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. از میان دو نوع کم‌آبیاری، کم‌آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی نسبت به کم‌آبیاری یکنواخت ۸۰ درصد نیاز آبی دارای خصوصیات رویشی بهتر و عملکرد محصول ضعیف‌تری بود (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده کم‌آبیاری بر صفات اندازه‌گیری‌شده.

Table 5. Means comparison of the simple effect of Deficit irrigation on measured traits.

کم‌آبیاری Deficit irrigation	رشد طول شاخه اصلی (سانتی‌متر) Increase the length of the main branch (cm)	رشد طول شاخه‌های فرعی (سانتی‌متر) Increase the length of the sub branches (cm)	تعداد جوانه‌ها Number of buds	رشد قطر تنه (میلی‌متر) Increase the Trunk diameter (mm)	رشد ارتفاع درخت (سانتی‌متر) Increase the Tree height (cm)	رشد حجم کانوپی (مترمکعب) Increase the Canopy volume (m^3)	عملکرد کل (کیلوگرم در درخت) Total yield (kg/tree)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% Water requirement	52.75 a	147.11 a	10.49 a	6.30 a	68.74 a	0.63 a	46.23 a
۱۰۰-۶۰٪ نیاز آبی 60-100% Water requirement	47.25 b	133.95 ab	10.16 a	5.63 a	64.76 a	0.59 a	41.09 b
۸۰٪ نیاز آبی 80% Water requirement	46.98 b	124.51 b	9.93 a	5.32 a	63.91 a	0.59 a	41.38 b

در هر ستون، میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letter are not significantly different.

در خصوص اثر ساده روش آبیاری آزمون مقایسه میانگین نشان داد آبیاری زیرسطحی عمقی باعث افزایش طول شاخه‌های فرعی، تعداد جوانه‌ها، حجم کانوپی و عملکرد کل به‌ترتیب برابر با ۱۳، ۱۷، ۲۰ و ۲۱ درصد بیش‌تر نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی می‌گردد. همچنین از میان دو نوع آبیاری زیرسطحی، آبیاری زیرسطحی عمقی عملکرد بهتری نسبت به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از خود نشان داد (جدول ٦).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر ساده روش آبیاری بر صفات اندازه‌گیری‌شده.

Table 6. Means comparison of the simple effect of Irrigation method on measured traits.

روش آبیاری Irrigation method	رشد طول شاخه اصلی (سانتی‌متر) Increase the length of the main branch (cm)	رشد طول شاخه‌های فرعی (سانتی‌متر) Increase the length of the sub branches (cm)	تعداد جوانه‌ها Number of buds	رشد قطر تنه (میلی‌متر) Increase the Trunk diameter (mm)	رشد ارتفاع درخت (سانتی‌متر) Increase the Tree height (cm)	رشد حجم کانوپی (مترمکعب) Increase the Canopy volume (m^3)	عملکرد کل (کیلوگرم در درخت) Total yield (kg/tree)
زیرسطحی عمقی Deep Subsurface	51.72 a	147.66 a	10.84 a	6.17 a	67.39 a	0.66 a	46.36 a
قطره‌ای زیرسطحی Subsurface Drip	48.10 a	127.36 b	10.47 ab	5.75 a	66.56 a	0.60 ab	44.06 a
قطره‌ای سطحی Drip Irrigation	47.15 a	130.56 b	9.26 b	5.33 a	63.46 a	0.55 b	38.28 b

در هر ستون، میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letter are not significantly different.

اثر متقابل سطوح کم‌آبیاری در روش آبیاری معنی‌دار نبوده و با در نظر گرفتن صرفه جویی در مصرف آب می‌توان نتیجه گرفت بهترین تیمار برای صفات طول شاخه اصلی، ارتفاع درخت، حجم تاج پوشش و عملکرد کل آبیاری زیرسطحی عمقی با کم‌آبیاری یکنواخت ۸۰ درصد نیاز آبی و برای صفات طول شاخه‌های فرعی، تعداد جوانه‌ها و قطر تنه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با کم‌آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی می‌باشد (جدول ۷ و شکل‌های ۳ تا ۹).

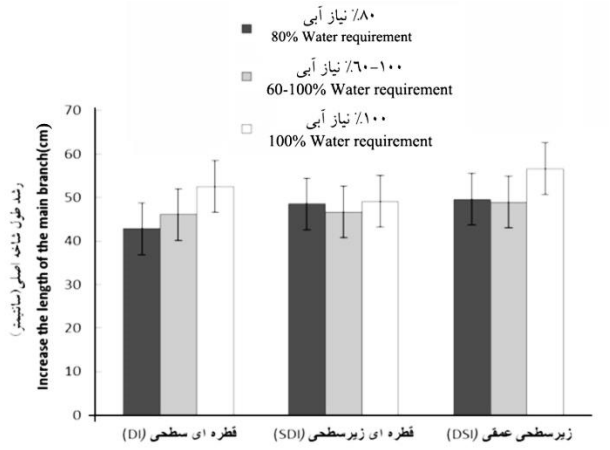
جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر صفات اندازه‌گیری‌شده.

Table 7. Means comparison of Interaction of Deficit irrigation and Irrigation method on measured traits.

کم‌آبیاری * روش آبیاری Deficit irrigation * Irrigation method	رشد طول شاخه اصلی (سانتی‌متر) Increase the length of the main branch (cm)	رشد طول شاخه‌های فرعی (سانتی‌متر) Increase the length of the sub branches (cm)	تعداد جوانه‌ها Number of buds	رشد قطر تنه (میلی‌متر) Increase the Trunk diameter (mm)	رشد ارتفاع درخت (سانتی‌متر) Increase the Tree height (cm)	رشد حجم تاج پوشش (مترمکعب) Increase the Canopy volume (m^3)	عملکرد کل (کیلوگرم در درخت) Total yield (kg/tree)
۱۰۰٪ * زیرسطحی عمقی 100% * Deep Subsurface	56.60 a	166.37 a	11.78 a	6.90 a	70.53 a	0.75 a	50.98 a
۱۰۰٪ * قطره‌ای زیرسطحی 100% * Subsurface Drip	49.13 ab	129.80 bc	9.87 ab	5.89 ab	69.18 a	0.58 b	48.16 ab
۱۰۰٪ * قطره‌ای سطحی 100% * Drip Irrigation	52.50 ab	145.16 abc	9.83 ab	6.09 ab	66.50 a	0.57 b	39.55 c
۱۰۰-۶۰٪ * زیرسطحی عمقی 60-100% * Deep Subsurface	48.97 ab	147.92 ab	11.18 a	6.41 ab	64.41 a	0.61 ab	44.00 abc
۱۰۰-۶۰٪ * قطره‌ای زیرسطحی 60-100% * Subsurface Drip	46.67 ab	133.19 bc	10.79 ab	5.24 ab	65.22 a	0.61 ab	41.03 bc
۱۰۰-۶۰٪ * قطره‌ای سطحی 60-100% * Drip Irrigation	46.11 b	120.74 bc	8.50 b	5.24 ab	64.67 a	0.56 b	38.23 c
۸۰٪ * زیرسطحی عمقی 80% * Deep Subsurface	49.57 ab	128.68 bc	9.57 ab	5.21 ab	64.75 a	0.62 ab	44.10 abc
۸۰٪ * قطره‌ای زیرسطحی 80% * Subsurface Drip	48.50 ab	119.07 c	10.75 ab	6.11 ab	67.78 a	0.61 ab	43.00 bc
۸۰٪ * قطره‌ای سطحی 80% * Drip Irrigation	42.85 b	125.79 bc	9.47 ab	4.64 b	59.22 a	0.52 b	37.05 c

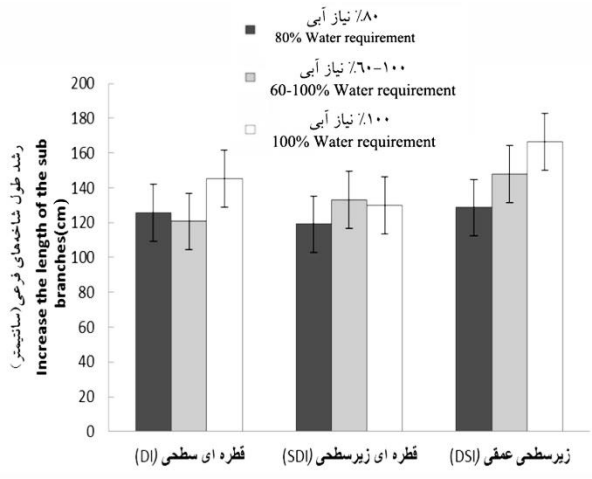
در هر ستون، میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letter are not significantly different.



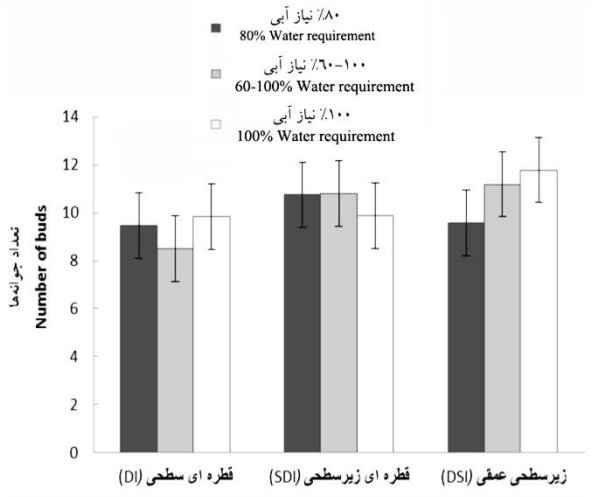
شکل ۳- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری روی طول شاخه اصلی.

Figure 3. Interaction of deficit irrigation in irrigation method on length of the main branch.



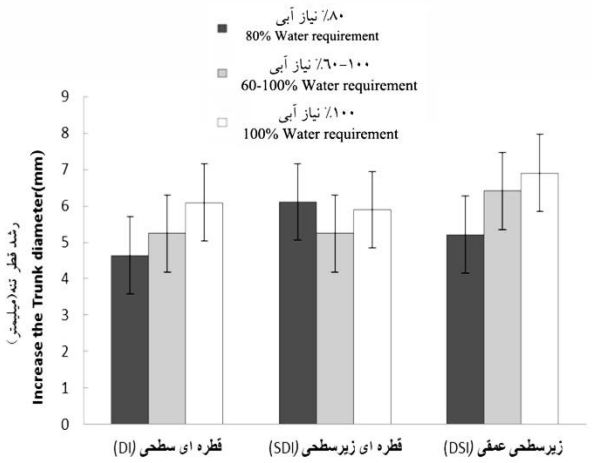
شکل ٤- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری روی طول شاخه‌های فرعی.

Figure 4. Interaction of deficit irrigation in irrigation method on length of the sub branches.



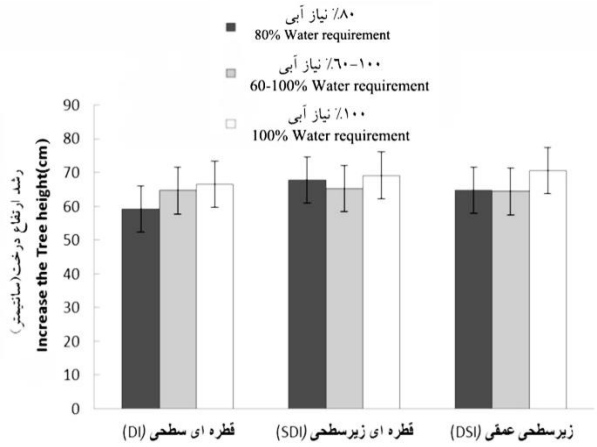
شکل ٥- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری روی تعداد جوانه‌ها.

Figure 5. Interaction of deficit irrigation in irrigation method on number of buds.



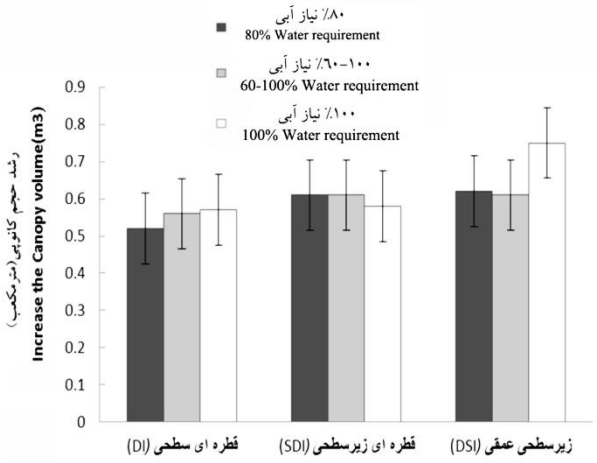
شکل ٦- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری روی قطر تنه.

Figure 6. Interaction of deficit irrigation in irrigation method on trunk diameter.



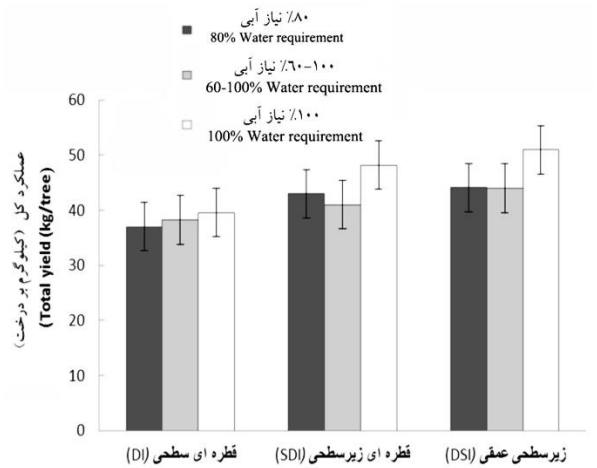
شکل ۷- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری روی ارتفاع درخت.

Figure 7. Interaction of deficit irrigation in irrigation method on height Tree.



شکل ۸- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری روی حجم کانوپی.

Figure 8. Interaction of deficit irrigation in irrigation method on canopy volume.



شکل ۹- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری روی عملکرد کل.

Figure 9. Interaction of deficit irrigation in irrigation method on total yield.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اعمال کم‌آبیاری سبب کاهش ۹ درصدی طول شاخه‌های فرعی شده ولی تأثیری بر سایر خصوصیات رویشی ندارد. همچنین کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد به‌میزان ۱۱ درصد شد. کم‌آبیاری یکنواخت ۸۰ درصد نیاز آبی نسبت به کم‌آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی عملکرد محصول بالاتری را به خود اختصاص داد در حالی‌که دارای رشد رویشی کم‌تری بود. آبیاری زیرسطحی عمقی با افزایش ۲۰ درصدی حجم تاج پوشش و ۲۱ درصدی عملکرد نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی، توانست به‌خوبی کارایی خود را ثابت کند. بر اساس نتایج حاصل اعمال کم‌آبیاری یکنواخت به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی تحت روش آبیاری زیرسطحی عمقی می‌تواند بدون کاهش رشد رویشی و عملکرد سبب ۳۳ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش ٤٦/٥ درصدی کارائی مصرف آب شود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد در شرایط کنونی بحران منابع آب استفاده از کم‌آبیاری یکنواخت به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی و روش آبیاری زیرسطحی عمقی در مرکبات (پرتقال) جنوب استان کرمان بسیار تأثیرگذار بوده و می‌تواند بدون کاهش عملکرد محصول، سبب حفظ و استفاده بهینه از منابع آبی شود. این نتایج با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده قبلی کاملاً هم‌خوانی دارد (١٤، ١٥، ٢٢ و ٢٤).

منابع

1.Advali, B. and Golain, B. 2011. Citrus. Novin Pouya, Tehran. 172p. (In Persian)

2.American Society of Agricultural Engineers (*ASAE*). 2001. Soil and water terminology. Michigan. 21p.

3.Camp, C.R. 1998. Subsurface drip irrigation. A Review. Transactions of the ASAE. 41: 5. 1353-1367.

4.Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. and Van Heek L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply. Tree density and summer pruning. J. Am. Soc. Hort. Sci. 106: 307-312.

5.Davis, S. 1967. Subsurface irrigation. Agr. Eng. 48: 654-655.

6.Edlin, F.E. 1970. Mechanical subsoil irrigation. Arizona State University. USA. 173p.

7.Esfandyari, S. 2015. Citrus irrigation instructions. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Jiroft. Pp: 8-12.

8.Farm note. 2007. Citrus irrigation. Department of Agriculture and Food, Waroona District Office. 275:0-21.

9.Fok, Y.S. and Willardson, L.S. 1971. Subsurface irrigation analysis and design. J. Irrigat. Drain. Eng. 97: 449-455.

10.Ganji Khoramdel, N. and Keykhayi, F. 2016. Comparison of growth and yield changes of pistachio seedlings in the transition from surface irrigation to drip irrigation in Saveh. J. Water Res. Agr. 30: 1. 39-49 (In Persian)

11.Garcia, I.F., Duran, V.H., Hernandez, A., Salguero, A. and Fernandez, J.L. 2011. Improving Almond productivity under deficit irrigation in semiarid zones. Open Agr. J. 5: 56-62.

12.Golabi, M. and Akhond Ali, A.M. 2007. Evaluation of increasing pressure head on water movement in dry soil by vertical installation of subsurface leaky pipe. J. Agr. Sci. Nat. Resour. 14: 5. 216-225. (In Persian)

13.Kazemi Nejad, A.A., Kargar, A., Kargar, H., Sadri, S., Dehghan, S., Ghazanfareyan, V.A. and Kebreyayi, H. 2007. Investigation of the effect of subsurface irrigation on the development of halophytes in desert areas using clay pipes. Forest Range Q. 9: 74. 88-94. (In Persian)

14.Levy, Y. and Syvertsen, J. 2004. Irrigation water quality and salinity

effects in citrus trees. Hort. Rev. 30: 37-82.
15. Martinez, J. and Reca, J. 2014. Water use efficiency of surface drip irrigation versus an alternative subsurface drip irrigation method. J. Irrig. Drain. Eng. 140: 10. 301-309.
16. Mohammadi, A. 2000. Investigating the possibility of changing the irrigation system from surface to substrate and determining the impact of the system on the early splitting of fertilized pistachio trees. Research Report of the Pistachio Research Institute. Pp: 13-18. (in Persian)
17. Morgan, K.T., Zotarelli, L. and Dukes, M.D. 2010. Use of irrigation technologies for citrus trees in Florida. Hort. Technol. 20: 74-81.
18. Najafi, P. and Tabatabaei, S.H. 2007. Effect of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increase WUE in irrigation of some crops. Irrigat. Drain. 56: 477-486.
19. Nasseri, A., Babazadeh, H. and Nakhjevani, S. 2011. Drip discharge selection based on soil moisture distribution analysis. J. Water Soil Resour. Conservat. 1: 1. 29-42. (In Persian)
20. Omima, M., Sayed, E. and Mohamed, E.E. 2014. Evaluation of ultra-low drip irrigation and relationship between moisture and salts in soil and Peach (*Prunus Persica*) yield. J. Am. Sci. 10: 8. 12-28.
21. Piri, H. and Parsa, M. 2016. Quantitative and qualitative study of forage sorghum at different levels of salinity and irrigation water in subsurface drip irrigation system. J. Water Res. Agr. 30: 4. 467-482. (In Persian)
22. Qiang, C. 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. Agron. Sustain. Dev. 36: 3. 0-21.
23. Quinones, A., Folgado, C., Bacab, U., Alcantara, B. and Martinez, F. 2010. Water productivity and fruit quality in deficit drip irrigated Citrus Orchards. P 33-58. In: Teang, S.L. (edi). Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments. Rijeka, Croatia.
24. Rangrizi, S., Bahrami, H.A., Kiani Rad M. and Shoja Addini A. 2016. Evaluating the performance of bio-composite pipes as a subsurface irrigation method in culturing Panicum (*Panicum Antidotale*). J. Water Soil Resour. Conservat. 6: 1. 33-46. (In Persian)
25. Ruiz-Sanchez, M.C., Domingo, R. and Castel, J.R. 2010. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. Span. J. Agric. Res. 8: 2. 5-20.
26. Sedaghati, N., Hosseini Fard, S.J. and Mohammadi Mohammadabadi, A. 2012. Comparing effects of surface and subsurface drip irrigation systems on growth and yield on mature Pistachio Trees. J. Water Soil. 26: 3. 575-585. (In Persian)
27. Siyal, A.A., Siyal, A.G. and Hasini, M.Y. 2011. Crop production and water use efficiency under subsurface porous clay pipe irrigation. Pak. J. Agri. Agril. Engg. Vet. Sci. 27: 1. 39-50.