Evaluation of the Effect of Three Methods of Drip and Deep Subsurface Irrigation with Different Amounts of Water on Vegetative and Reproductive Characteristics of Orange Trees in Kerman

E. Moghbeli Dameneh* and S. Mohammadrezakhani

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran. **e.moghbeli@areeo.ac.ir**

Researcher, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran. **Smohammadrezakhani@yahoo.com**

Received: April 2024 and Accepted: November 2024

Abstract

To evaluate the effect of deficit irrigation and different methods of irrigation, a field factorial experiment was carried out based on randomized complete block design with three replications at the Research Station of South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. In this study, the effect of different levels of irrigation (100 % of evapotranspiration (ET) in total growing stages, 60-100 % ET, and 80 % ET, except in the flowering and fruit-filling stages) under three irrigation methods (deep subsurface irrigation, subsurface drip, and surface drip) were evaluated on orange trees vegetative and reproductive traits, yield, water use efficiency, and water saving. The results showed that application of deficit irrigation based on 80% water requirement increased water use efficiency and water saving, and reduced the vegetative growth compared to normal irrigation by 3.88%, 17%, and 13.87 %, respectively. With application of deficit irrigation, yield was reduced by 13.55% compared to normal irrigation, but this reduction was not statistically significant. Subsurface irrigation caused water saving, increased vegetative traits, yield and water use efficiency, compared to surface drip irrigation by 10%, 17.02%, 17.19%, and 29.62 %, respectively. Also, the results showed that application of deep subsurface deficit irrigation (80% ET) saved 889.58 m^3 of water/ha. Therefore, it can be concluded that deep subsurface irrigation can prevent the decrease in the quantity and quality of the product while saving water consumption.

Keywords: Deep subsurface irrigation, Regulated deficit irrigation, Water management

* - Corresponding Author's email: **e.moghbeli@areeo.ac.ir**
https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365296.1035

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۸ / شماره ۳/ ۱۴۰۳.ص۲۰۱-۲۱۵
https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365296.1035

ارزیابی تأثیر سه روش آبیاری قطره‌ای و زیرسطحی عمقی و مقادیر مختلف آب بر صفت‌های رویشی و زایشی درختان پرتقال در کرمان

اسماعیل مقبلی دامنه* و سهیلا محمدرضاخانی

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. **e.moghbeli@areeo.ac.ir**

پژوهشگر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران.
Smohammadrezakhani@yahoo.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۳ و پذیرش: آبان ۱۴۰۳

چکیده

برای ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری و روش‌های مختلف آبیاری درختان پرتقال، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان اجرا شد. در این پژوهش، تأثیر مقادیر مختلف آبیاری (آبیاری بر اساس ۱۰۰٪ تبخیر و تعرق گیاه در تمامی مراحل رشد گیاه، آبیاری بر اساس تناوب ۱۰۰-۶۰٪ تبخیر و تعرق گیاه، و آبیاری بر اساس ۸۰٪ تبخیر و تعرق گیاه به‌جز در مراحل گلدهی و تشکیل میوه) در سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی، و قطره‌ای سطحی روی عملکرد، کارایی مصرف آب، و صرفه‌جویی در مصرف آب در طول دوره رشد درختان پرتقال ارزیابی شد. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری کنترل‌شده بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار ۳/۸۸٪، صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۱۷٪ و کاهش معنی‌دار ۱۳/۸۷٪ ویژگی‌های رویشی در مقایسه با آبیاری کامل شد. با اعمال کم‌آبیاری، اگرچه مقدار عملکرد ۱۳/۵۵٪ نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت، اما این کاهش معنی‌دار نبود. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد روش آبیاری زیرسطحی عمقی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰٪ نیاز آبی سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۸۸۹ متر مکعب در هکتار (۲۵/۳۳٪) می‌شود؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کردکه سامانه آبیاری زیرسطحی عمقی می‌تواند ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب از کاهش کمیت و کیفیت محصول جلوگیری کند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرسطحی عمقی، کم‌آبیاری کنترل‌شده، مدیریت آب

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **e.moghbeli@areeo.ac.ir**

مقدمه

بحران کمبود آب یکی از چالش‌های امروزه جهان در رابطه با تأمین غذای مورد نیاز جمعیت جهانی در حال رشد است (مصطفی و همکاران، ۲۰۱۴). در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، کمبود آب یک مشکل جدی برای تولیدات کشاورزی است. علاوه بر این، توسعه منابع آبی جدید در این مناطق بسیار هزینه‌بر است (طالب نژاد و سپاسخواه، ۲۰۱۵). ایران جز کشورهایی است که در سال‌های اخیر بیشترین تغییرات اقلیمی در آن رخ داده است. این تغییرات اثرات منفی بر بخش‌های کلیدی اقتصاد ملی، نظیر آب و کشاورزی داشته است.

توسعه کشاورزی و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در دشت جیرفت در جنوب استان کرمان، پایین افتادن سطح سفره و کاهش کیفیت آن را سبب شده است (عادلی ساردوئی و همکاران، ۱۳۹۹). پیشرفت‌های اخیر در علم آبیاری و اطلاع از ویژگی‌های گیاه، منجر به استفاده از روش کم‌آبیاری کنترل‌شده (عدم اعمال کم-آبیاری در مراحل حساس گیاه به آب) شده که می‌تواند سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۲۰ تا ۲۵ درصد شود (رویز و همکاران، ۲۰۱۰). سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سیستم قطره‌ای سطحی دارای تلفات تبخیر از سطح خا ک کمتر و هم‌چنین دارای میزان تعرق گیاهی بیشتری در طول فصل رشد گیاه است که این می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه نقش مهمی را ایفا کند (دهقانی سانجی، ۲۰۱۷). استفاده از سامانه آبیاری زیرسطحی باعث افزایش راندمان مصرف آب در درختان لیموترش شد که دلیل آن صرفه‌جویی ۱۹ درصدی در آب آبیاری بدون تأثیر بر عملکرد بود (رابلز و همکاران، ۲۰۱۶). اومیمو همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را روی درختان هلو اعمال کرده و به این نتیجه رسیدند که آبیاری زیرسطحی همراه با آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی بهترین عملکرد را به همراه دارد.

صداقتی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی (با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتیمتر) را همراه با آبیاری به مقدار ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی درختان پسته مورد ارزیابی قرار داده و به این نتیجه رسیدند آبیاری زیرسطحی با مقدار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم ماده خشک به متر مکعب آب مصرفی و ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بهترین کارایی را دارد. پریز و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند با کاهش ۵۰ درصدی مقدار آب آبیاری در فازهای یک و سه رشد گریپ‌فروت بدون هیچ کاهش کمی و کیفی میوه به ترتیب ۷/۸ و ۱۱/۸ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود.

گارسیا و همکاران (۲۰۱۰) با انجام مطالعه‌ای در خصوص کم‌آبیاری به این نتیجه رسیدند که کم‌آبیاری کنترل‌شده (عدم اعمال کم‌آبیاری در دوره گلدهی) در مرکبات بالغ سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار و افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۲۴ درصد نسبت به آبیاری کامل می‌شود، درحالی‌که میزان عملکرد فقط ۱۲-۱۰ درصد کاهش می-یابد.

کوئینونز و همکاران (۲۰۱۰) با انجام تحقیقی به این نتیجه رسیدند که استفاده از کم‌آبیاری در آبیاری قطره‌ای باعث افزایش کارایی مصرف آب بدون کاهش عملکرد می‌شود. نتایج استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سورگوم علوفه‌ای نشان داد این روش آبیاری سبب افزایش عملکرد محصول و کارایی استفاده از آب می‌شود (پیری و همکاران، ۱۳۹۵).

آبیاری زیرسطحی بدلیل کاهش آلودگی کمتر آب‌های زیرسطحی، یکنواختی پخش آب، بهبود وضعیت گیاه از نظر رشد و افزایش کمی و کیفی محصولات مورد توجه قرار گرفته است (والنتاین و همکاران، ۲۰۲۰). به دلیل تفاوت‌های موجود در مناطق مختلف از لحاظ اقلیم، خاک، شرایط مدیریتی و غیره، باید نحوه اعمال کم‌آبیاری

و نیز روش آبیاری مناسب در هر منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

در سال‌های اخیر مشکلات کم‌آبی و گرمای شدید تابستان، تولید مرکبات را در جنوب کرمان با مشکل مواجه کرده است (احمدپور ۱۳۹۱). بنابر شرایط کمبود آب و ضرورت، سامانه آبیاری قطره‌ای در اکثر باغات منطقه جنوب استان کرمان به اجرا درآمده اما در خصوص کم‌آبیاری و آبیاری زیرسطحی مطالعه چندانی انجام نشده است (اسفندیاری، ۱۳۹۴). اطلاع از تأثیر و نحوه اعمال کم‌آبیاری و روش‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب مرکبات منطقه می‌تواند منجر به استفاده بهینه از منابع آب و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش کارایی مصرف آب، افزایش عملکرد و افزایش رشد اقتصادی گردد. در همین راستا این پژوهش جهت بررسی کاربرد کم‌آبیاری و سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی در پرتقال جنوب استان کرمان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری کنترل‌شده و سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی بر پرتقال رقم مارس ارلی در جنوب استان کرمان انجام شد. مراحل اصلی رشدی گیاه پرتقال شامل گل‌انگیزی، گل آغازی، گلدهی، تشکیل و رشد میوه (تقسیم سلول، تمایزیابی، بزرگ شدن سلول و رسیدن میوه) است (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۵، بریوس و همکاران، ۲۰۲۳). گل انگیزی و گل آغازی در اواسط آذر و تا ماه‌های دی و بهمن صورت گرفته و در اسفندماه جوانه گل قابل مشاهده است. تشکیل میوه در اواخر فروردین و اردیبهشت میوه انجام می‌شود. این رقم در شرایط جنوب استان کرمان زودرس‌ترین رقم بوده که از اواسط مهر تا اواخر آذر ماه قابلیت برداشت دارد و در صورت برداشت دیر هنگام میوه‌ها پوک و بی‌کیفیت می‌شوند (احمدپور، ۱۳۹۱).

آزمایش در باغی به وسعت ۴۰۰۰ متر مربع روی پرتقال، رقم مارس ارلی، با پایه نارنج، با سن ۷-۸ سال و فواصل کشت ۸×۶ متر بر اساس آرایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور کم‌آبیاری و سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی در سه تکرار و در هر پلات با سه درخت اجرا شد. باغ انتخاب شده برای اجرای طرح پژوهشی دارای تعداد ۸۱ درخت (نه ردیف و در هر ردیف نه درخت) بود.

فاکتور مقادیر مختلف آبیاری شامل سه سطح زیر بود:

۱- آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در تمام مراحل رشد گیاه (I_{100})

۲- آبیاری بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه از مرحله شروع رشد میوه تا برداشت میوه (گارسیا-تیجیرو و همکاران، ۲۰۱۰) (در مراحل گلدهی و تشکیل میوه آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام شد.)(I_{80}) .

۳- آبیاری بر اساس تناوب آبیاری ۶۰-۱۰۰ درصد نیاز آبی از مرحله شروع رشد میوه تا برداشت میوه (در مراحل گلدهی و تشکیل میوه آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام گرفت (I_{60-100}).آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی یعنی یک مرحله آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مرحله دیگر آبیاری بر اساس ۶۰ درصد نیاز آبی انجام شود بطوریکه در انتهای فصل رشد بصورت میانگین ۸۰ درصد نیاز آبی به گیاه داده شود که از نظر میزان آب مصرفی با سطح آبیاری ۸۰ درصد برابر ولی نحوه توزیع آن متفاوت است.)

روش‌های آبیاری استفاده شده:

۱- آبیاری قطره‌ای سطحی (DI)

۲- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI)

۳- آبیاری زیرسطحی عمقی (DSI)

آبیاری قطره‌ای سطحی با قطره‌چکان‌های نتافیم با دبی خروجی هشت لیتر در ساعت و با تعداد چهار عدد قطره-چکان برای هر درخت اجرا شد. قطره‌چکان‌ها با فاصله مساوی روی لوپی که در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از تنه قرار داشت، نصب شد.

برای اجرای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از لوله-های قطره‌چکان‌دار استفاده شد (شکل ۱). قطره‌چکان این لوله‌ها از نوع هیدرو پی‌سی بوده و حرکت معکوس آب پس از قطع جریان وجود ندارد. دور هر درخت در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از تنه و در عمق ۴۰ سانتی‌متری از سطح خاک یک لوپ شامل تعداد هشت عدد قطره‌چکان با دبی چهار لیتر در ساعت با فواصل ۰/۵ متری روی لوله نصب شد. برای شستشوی لوله‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انتهای لوله قطره‌چکان‌دار زیرسطحی با اتصال به یک لوله ۱۶ میلی‌متری به سطح خاک آورده و با بست انتهایی بسته شد.

شکل ۱- سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

برای پیاده کردن سامانه آبیاری زیرسطحی عمقی (شکل ۲) در ابتدا 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 به‌صورت مشبک و همراه با فیلتر بود. ابتدا و انتهای مخزن با درپوش مسدود، سپس با ایجاد یک سوراخ در روی درپوش ورودی، یک لوله ۱۶ میلی-متری از آن عبور داده شد و یک عدد قطره‌چکان روی آن نصب شد. تعداد مخازن بکار رفته برای هر درخت چهار عدد در چهار طرف آن و به فاصله مناسب از تنه درخت بود. در نهایت، چهار مخزن هر درخت با لوله ۱۶ میلی‌متری بهم متصل شد.

شکل ۲- سامانه آبیاری زیرسطحی عمقی

تعیین نیاز آبیاری

برای تعیین نیاز آبیاری روزانه از داده‌های هواشناسی بلندمدت محل اجرای آزمایش استفاده شد. بدین ترتیب که با استفاده از داده‌های هواشناسی شامل دما، رطوبت، تابش آفتاب و سرعت باد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با روش پنمن مانتیث محاسبه و سپس از روابط زیر ابتدا نیاز آبی خالص، نیاز آبی ناخالص و سپس نیاز آبیاری روزانه تعیین شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸ و دورنبوس و پرویت، ۱۹۷۷):

$$I_n = ET_o.K_c.K_r \quad (۱)$$

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

$$I_n = G = I_g - P_e.K_r \quad (۳)$$

که در آن‌ها: I_n نیاز آبی خالص (میلی‌متر)، ET_o تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر)، K_c ضریب گیاهی (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 آبشویی (برابر با ۱۰ درصد)، G نیاز آبیاری روزانه (میلی‌متر) و P_e بارندگی مؤثر (میلی‌متر)

حجم آب مورد نیاز آبیاری روزانه از رابطه زیر محاسبه شد:

$$V_r = 10 \times \frac{G}{(a.b)} \quad (۴)$$

که در آن: V_r حجم آب مورد نیاز آبیاری روزانه (متر مکعب برای هر درخت)، G نیاز آبیاری روزانه (میلی‌متر)، a فاصله بین ردیف‌ها (متر) و b فاصله بین درختان (متر)

اندازه‌گیری‌های حجم آب مصرفی و محاسبه کارایی مصرف آب

حجم کل آب استفاده شده در هر تیمار از روی کنتورهای نصب‌شده قرائت شد.

برای ارزیابی اثر تیمارها از نظر مصرف آب، شاخص کارایی مصرف آب و میزان آب صرفه‌جویی شده محاسبه شد. برای محاسبه کارائی مصرف آب از رابطه زیر استفاده شد:

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (۵)$$

که در آن: WUE کارائی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، Y عملکرد کل (کیلوگرم) و W مقدار آب مصرفی (متر مکعب)

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور کم‌آبیاری و سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی در سه تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس صفت اندازه‌گیری شده نشان داد اثر کم‌آبیاری بر صفت‌های شاخص رسیدگی در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده و در سایر صفت‌های معنی‌دار نیست. اثر روش آبیاری بر صفت کارائی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد و در سایر صفت‌های معنی‌دار نیست (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفت‌های کیفی میوه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد کل	ویتامین ث	مواد جامد محلول	اسیدیته	شاخص رسیدگی	کارائی مصرف آب
سال	1	1254.22 ns	69.53 ns	6.34 *	0.005 ns	14.75 ns	0.04 ns
خطای اول	4	163.44	120.99	0.47	0.01	4.50	0.92
کم آبیاری	2	300.99 ns	176.85 ns	11.07 ns	0.29**	36.31*	0.10 ns
روش آبیاری	2	326.31 ns	56.09 ns	3.99 ns	0.01 ns	4.52 ns	4.40**
کم آبیاری × روش آبیاری	4	27.13 ns	226.42 ns	3.05 ns	0.04 ns	6.80 ns	0.08 ns
سال × کم آبیاری	2	4.50 ns	138.19 ns	1.27 ns	0.02 ns	9.45 ns	0.03 ns
سال × روش آبیاری	2	9.84 ns	219.82 ns	1.18 ns	0.01 ns	5.22 ns	0.06 ns
سال × کم آبیاری × روش آبیاری	4	2.53 ns	70.63 ns	0.14 ns	0.04 ns	5.86 ns	0.01 ns
خطای دوم	32	101.12	178.30	3.45	0.02	7.58	0.58
ضریب تغییرات خطا (٪)	-	21.15	18.87	15.90	13.88	21.73	22.7

**، * و ns : به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح یک درصد، پنج درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر مقدار آب مصرفی نشان داد بیشترین مقدار آب مصرفی را آبیاری قطره‌ای سطحی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی به خود اختصاص داده است (۱۶/۸۶ متر مکعب بر سال در درخت معادل ۳۵۱۲/۵ متر مکعب در هکتار). کمترین مقدار آب مصرفی برابر با ۱۲/۵۹ متر مکعب بر سال در درخت در روش‌های مختلف آبیاری زیرسطحی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که با تیمار ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت و این مقدار ۲۵/۳۳ درصد کمتر از مقدار آب

مصرفی در آبیاری قطره‌ای سطحی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود؛ یعنی کاربرد روش آبیاری زیرسطحی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی سبب صرفه‌جویی به مقدار ۴/۲۷ متر مکعب بر سال در درخت معادل ۸۸۹/۵۸ متر مکعب در هکتار می‌شود که مقدار قابل توجهی است (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر مقدار آب مصرفی (m^3/year.tree)

روش آبیاری / کم‌آبیاری	قطره‌ای سطحی	قطره‌ای زیرسطحی	زیرسطحی	میانگین
100 درصد نیاز آبیاری	16.86 [a]	15.17 [b]	15.17 [b]	15.73[a]
80 درصد نیاز آبیاری	13.99 [c]	12.59 [d]	12.59 [d]	13.06[b]
100-60 درصد نیاز آبی	13.99 [c]	12.59 [d]	12.59 [d]	13.06[b]
میانگین	14.95[a]	13.45[b]	13.45[b]	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند

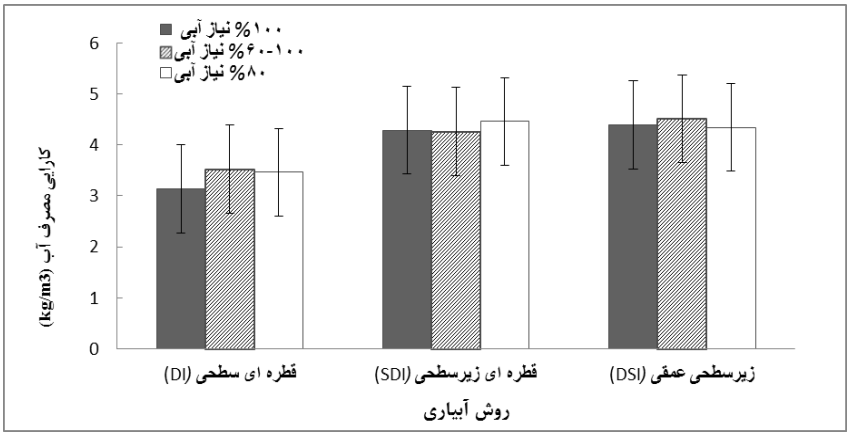
در شرایط کمبود منابع آب، اعمال کم‌آبیاری می‌تواند منجر به افزایش کارایی مصرف آب، افزایش درآمد خالص و رشد اقتصادی شود. بهترین روش اعمال کم‌آبیاری در مراحل حساس رشد گیاه آبیاری کامل انجام شده اما در بقیه مراحل رشد گیاه کم‌آبیاری متناسب با نوع گیاه و شرایط اقلیمی اعمال شود، بدین ترتیب بدون وارد آمدن تنش زیاد به گیاه در مصرف آب صرفه‌جویی شده و حتی ممکن است کیفیت میوه نیز افزایش یابد. به این نوع کم‌آبیاری، کم‌آبیاری کنترل شده اطلاق می‌شود که امروزه مطالعات زیادی در خصوص آن در حال انجام است. کم-آبیاری کنترل‌شده کاهش آب مصرفی در طول دوره مشخصی از رشد گیاه بدون کاهش یا با کاهش خیلی کم مقدار محصول طراحی و اجرا می‌شود (چالمرز و همکاران، ۱۹۸۱؛ کاظمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶).

مطالعات نشان می‌دهد استفاده از کم‌آبیاری کنترل‌شده بدون تأثیر منفی بر گیاه سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۲۰ تا ۲۵ درصد می‌شود (رویز و همکاران، ۲۰۱۰). در تحقیقی روی مرکبات اسپانیا مشخص شد کم‌آبیاری کنترل‌شده باعث کاهش ۳۰ درصدی مصرف آب بدون کاهش کمی میزان تولید می-گردد (کوئینونز و همکاران، ۲۰۱۰). اعمال کم‌آبیاری کنترل شده به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی در مرکبات اسپانیا باعث صرفه‌جویی در مصرف آب بدون کاهش عملکرد شد (آگوادو و همکاران، ۲۰۱۲).

در این تحقیق اعمال کم‌آبیاری کنترل‌شده (عدم اعمال کم‌آبیاری در مراحل گلدهی و تشکیل میوه) به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب ۱۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب شده است. آبیاری زیرسطحی ضمن ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب سبب افزایش کارائی مصرف آب به مقدار ۲۹/۶۲ درصد نسبت به آبیاری قطره-ای سطحی می‌شود.

کمترین مقدار آب مصرفی برابر با ۱۲/۵۹ متر مکعب بر سال در درخت در روش‌های مختلف آبیاری زیرسطحی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که با تیمار ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت و این مقدار ۲۵/۳۳ درصد کمتر از مقدار آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای سطحی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود؛ یعنی کاربرد روش آبیاری زیرسطحی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی سبب صرفه‌جویی به مقدار ۴/۲۷ متر مکعب بر سال در درخت معادل ۸۸۹/۵۸ متر مکعب در هکتار می‌شود که مقدار قابل توجهی است.

بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار کم-آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری زیرسطحی عمقی و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری کامل برای آبیاری قطره‌ای سطحی حاصل شد (شکل ۳).



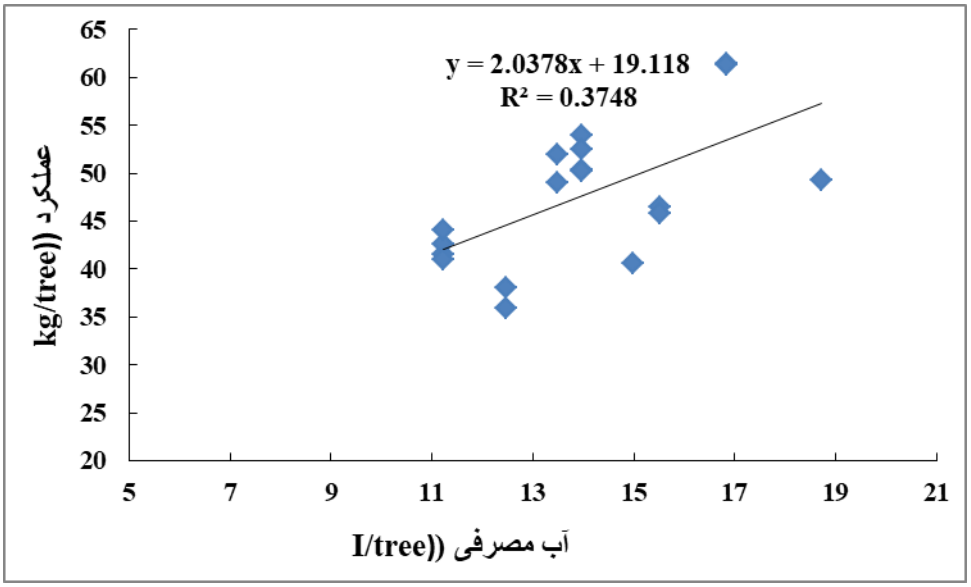
شکل ۳- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر کارایی مصرف آب

ازآنجایی‌که رابطه بین مقدار بین آب مصرفی و عملکرد محصول عمدتاً با یک رابطه درجه دوم ارائه می-شود، در این پژوهش نیز نمودارها و معادلات درجه دوم آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول به_صورت زیر محاسبه شد:

معادله کلی آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول با کاربرد کلیه داده‌ها به‌صورت زیر به دست آمد (شکل ۴):

$$Y = -0.22X^2 + 8.45X - 26.18 \qquad (۶)$$

که در آن: Y عملکرد کل (کیلوگرم در درخت) و X مقدار آب مصرفی (متر مکعب بر سال در درخت)

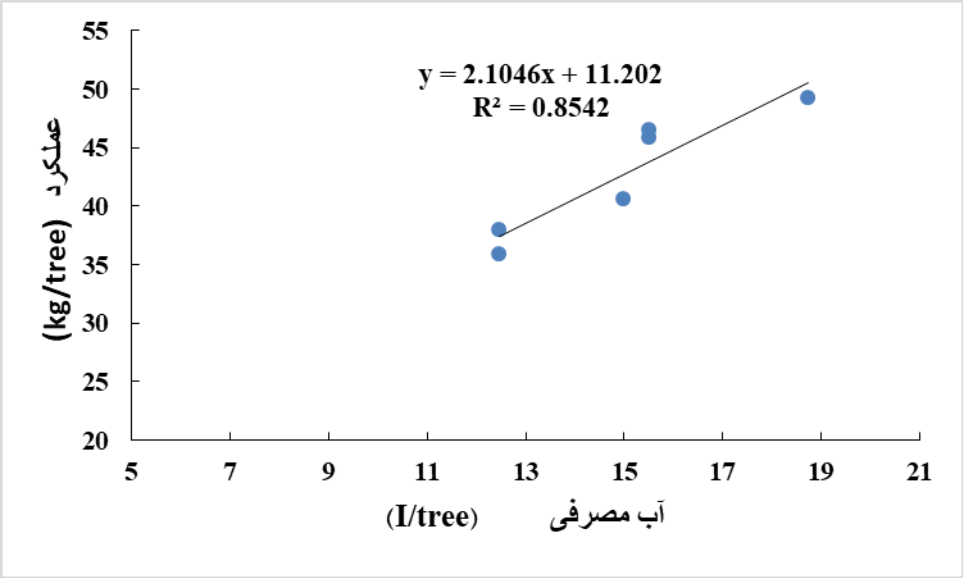


شکل ۴- عملکرد نسبت به آب مصرفی

همان‌گونه که مشاهده شد رابطه بین آب مصرفی و عملکرد محصول بدون در نظر گرفت نوع آبیاری دارای ضریب تبیین پایینی (۰/۴۰) است، پایین بودن این ضریب به علت عدم تفکیک بین روش‌های مختلف آبیاری مختلف بوده و به همین علت اقدام به آنالیز رابطه بین آب مصرفی و عملکرد محصول در هرکدام از روش‌های آبیاری به‌صورت جداگانه شد.

معادله کلی آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای سطحی (شکل ۵):

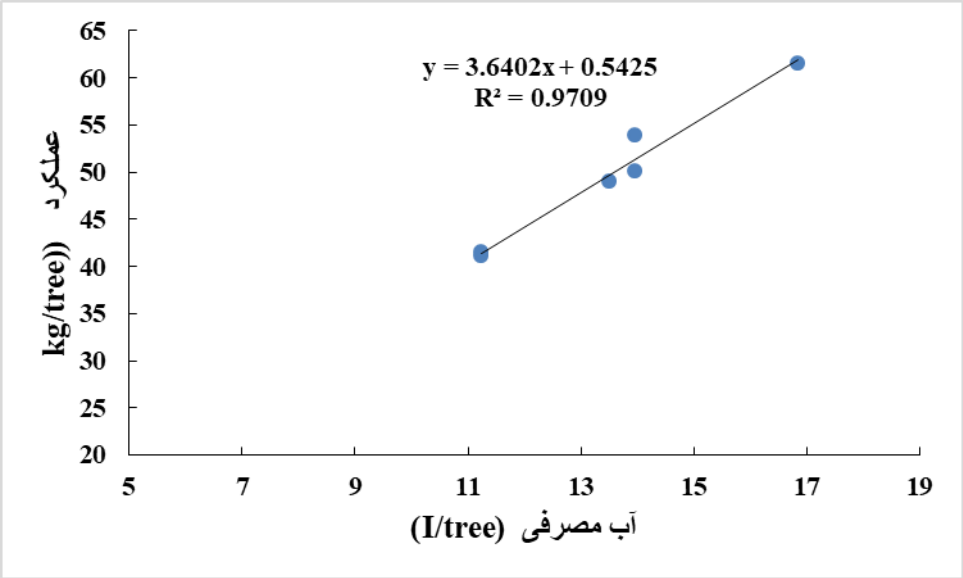
$$Y = -0.11X^2 + 5.47X - 14.40 \qquad (۷)$$



شکل ۵- رابطه آب مصرفی و عملکرد محصول در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی

معادله کلی آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (شکل ۶):

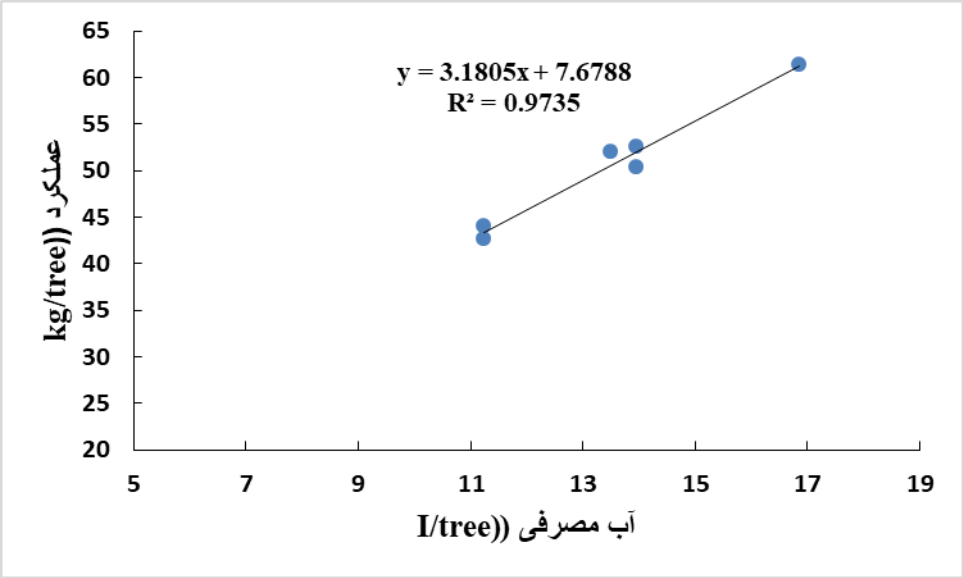
$$Y = -0.09X^2 + 6X - 13.23 \qquad (۸)$$



شکل ۶- رابطه آب مصرفی و عملکرد محصول در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

معادله کلی آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول در آبیاری زیرسطحی عمقی (شکل ۷):

$$Y = -0.07X^2 + 5.06X - 2.60 \qquad (۹)$$

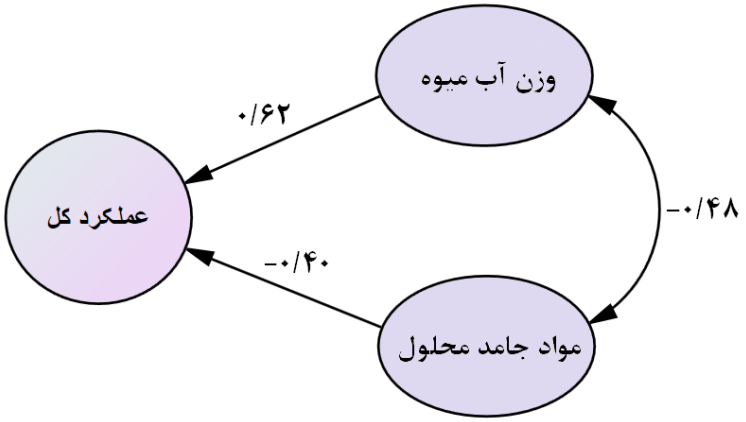


شکل ۷- رابطه آب مصرفی و عملکرد محصول در آبیاری زیرسطحی عمقی

به‌منظور تفسیر بهتر نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، تجزیه علیت برای صفت عملکرد کل انجام شد. بیشترین اثر مستقیم مثبت بر روی عملکرد کل (۰/۶۲) مربوط به صفت وزن آب میوه است (جدول ۳) که بیشترین همبستگی با عملکرد کل (۰/۸۱) نیز مربوط به این صفت بود. این موضوع نشان می‌دهد که این صفت به‌طور مستقیم بر روی عملکرد اثر می‌گذارد و تأثیر غیرمستقیم آن از طریق صفت‌های دیگر کمتر است (جدول ۳ و شکل ۸).

جدول ۳- اثرات مستقیم (قطر اصلی) و غیرمستقیم (قطر فرعی) صفت‌های مورد مطالعه بر عملکرد کل

صفت‌های	وزن آب‌میوه	مواد جامد محلول
وزن آب‌میوه	0.62	0.19
مواد جامد محلول	0.29	0.40



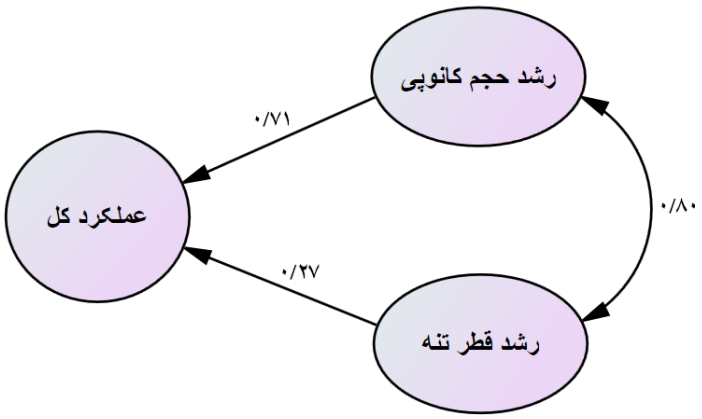
شکل ۸- تجزیه علیت عملکرد در صفت‌های زایشی و کیفی میوه

به‌منظور تفسیر بهتر نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، تجزیه علیت برای صفت عملکرد کل انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین اثر مستقیم مثبت بر روی عملکرد کل مربوط به صفت حجم سایه‌انداز هست (۰/۷۱) که بیشترین همبستگی با عملکرد کل (۰/۹۲) نیز مربوط به این صفت بود. این موضوع نشان می‌دهد که این

صفت به‌طور مستقیم بر روی عملکرد اثر می‌گذارد و تأثیر غیرمستقیم آن از طریق صفت‌های دیگر کمتر است (جدول ۴ و شکل ۹).

جدول ۴- اثرات مستقیم (قطر اصلی) و غیرمستقیم (قطر فرعی) صفت‌های مورد مطالعه بر عملکرد کل

صفت‌های	حجم سایه‌انداز	قطر تنه
حجم سایه‌انداز	0.71	0.21
قطر تنه	0.57	0.27



شکل ۹- تجزیه علیت عملکرد در صفت‌های رویشی

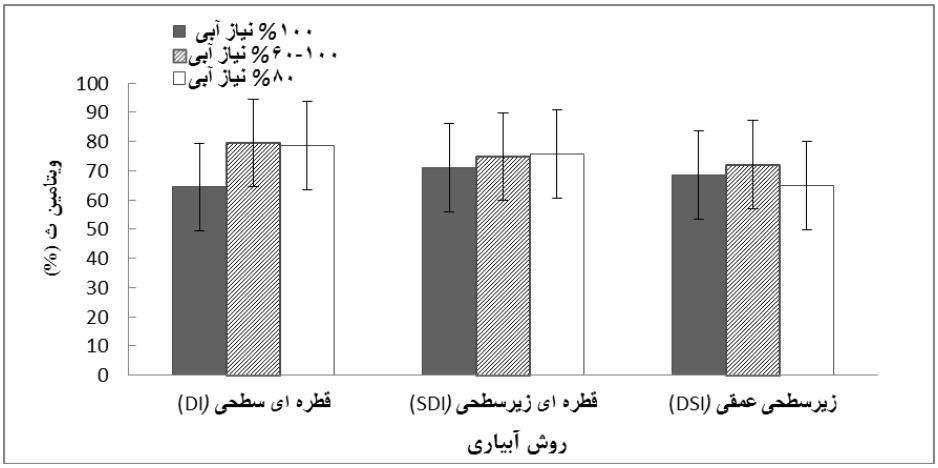
مطالعات گاسکیو و همکاران (۲۰۱۶) نشان می‌دهد اعمال کم‌آبیاری کنترل شده (کم آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی در فصل تابستان و بعد از تشکیل میوه) در پرتقال منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۲ تا ۲۷ درصد بدون صدمه زدن به گیاه می‌شود. نتایج مطالعات گنزالس و کاستل (۲۰۱۵) نشان داد اعمال کم‌آبیاری روی پرتقال به میزان ۵۰ درصد تبخیر و تعرق لایسیمتر رشد رویشی را تغییر می‌دهد، اما تاثیری در عملکرد ندارد.

صداقتی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی (با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتیمتر) را همراه با آبیاری به مقدار ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی درختان پسته مورد ارزیابی قرار داده و به این نتیجه رسیدند آبیاری زیرسطحی با مقدار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم ماده خشک به متر مکعب آب مصرفی و ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بهترین کارایی را دارد.

محمدی (۱۳۷۹) در بررسی امکان تغییر سامانه آبیاری از سطحی به زیرسطحی در درختان پسته به این نتیجه رسید که دور آبیاری ۱۴ روز با مقدار مصرف آب ۴۰ درصد تشتک تبخیر کلاس A با آبیاری تراوا ضمن مصرف آب به مقدار ۴۸۸۷ متر مکعب در هکتار نسبت به تیمار شاهد (آبیاری سطحی با دور ۳۵ روز و آب مصرفی ۹۰۰۰ مترمکعب) بهترین تیمار از نظر مصرف آب با توجه به ماده خشک تولید شده، رشد رویشی و حداقل زودخندانی هست. در بررسی اثر تغییر روش آبیاری از سنتی به زیرسطحی در درختان بارور پسته مشخص شد آبیاری زیرسطحی از کارایی لازم برخوردار است (محمدی‌محمدآبادی و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کم‌آبیاری باعث نتایج مطالعات بالستر و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد کم‌آبیاری تابستانه باعث کاهش رشد رویشی، افزایش کارائی مصرف آب و ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بدون کاهش عملکرد می‌شود. در تحقیقی دیگر بالستر و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند کم‌آبیاری کنترل شده به میزان ۵۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه در تابستان باعث ۱۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بدون تاثیر منفی در عملکرد کمی و کیفی پرتقال می‌شود. مطالعه کم‌آبیاری کنترل شده

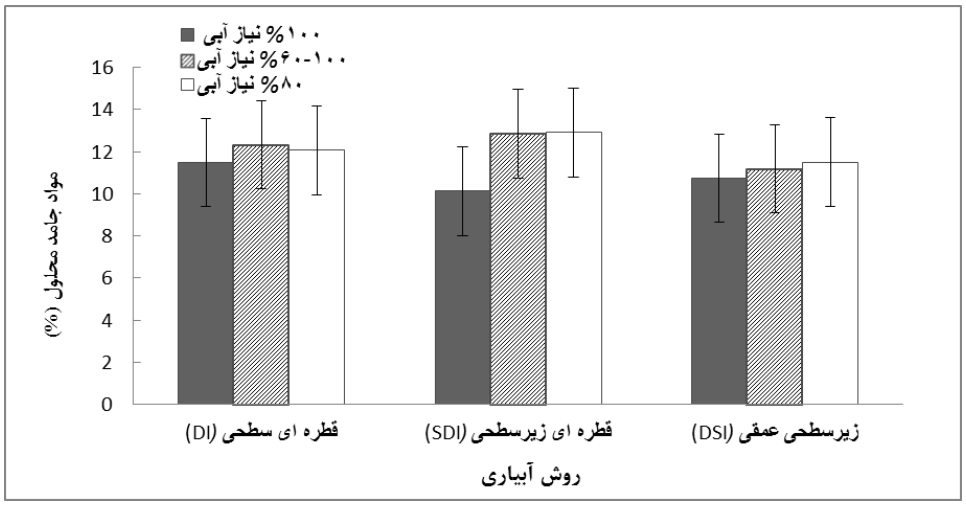
(عدم کم‌آبیاری در دوره گلدهی) در مرکبات بالغ توسط دیویس (۱۹۶۷) نشان داد کم‌آبیاری سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار و افزایش کارائی مصرف آب به میزان ۲۴ درصد نسبت به آبیاری کامل می‌شود، در حالی که میزان عملکرد فقط ۱۲-۱۰ درصد کاهش می‌یابد؛ که نتایج مشابه با این تحقیق و بررسی را گزارش کرده‌اند.

بیشترین مقدار ویتامین ث میوه در تیمار کم-آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری قطره‌ای سطحی و کمترین آن در تیمار آبیاری کامل برای آبیاری قطره‌ای سطحی حاصل شد (شکل ۱۰).



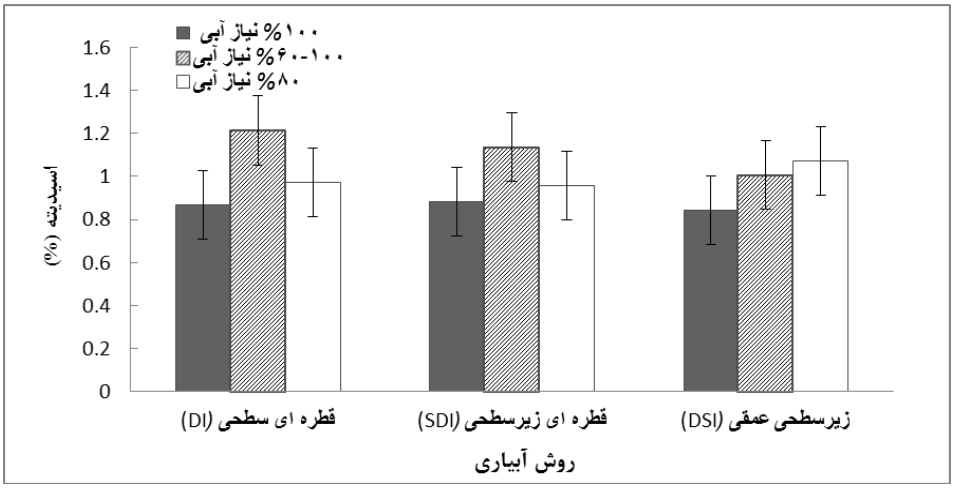
شکل ۱۰- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر ویتامین ث

بیشترین مقدار مواد جامد محلول در تیمار کم-آبیاری یکنواخت ۸۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری کامل برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی حاصل شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر مواد جامد محلول

بیشترین مقدار اسیدیته میوه مربوط به تیمار کم-آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری قطره‌ای سطحی و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار آبیاری کامل با آبیاری زیرسطحی عمقی بود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر اسیدیته

بالاترین مقدار شاخص رسیدگی در تیمار آبیاری کامل برای آبیاری زیرسطحی عمقی و کمترین آن در تیمار کم‌آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری قطره‌ای سطحی بدست آمد (شکل ۱۳).

شکل ۱۳- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر شاخص رسیدگی

احمد و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که روش آبیاری قطره‌ای زیر سطحی دارای پتانسیل بالایی در غلبه بر کمبود آب به خصوص در مناطق خشک می‌باشد. اگرچه نیاز به حفظ تعادل بین منابع آب و تولید محصولات کشاورزی با در نظر گرفتن نیاز آبی برای گیاهان و کمبود آب در هر منطقه وجود دارد. لذا این تعادل را می‌توان با اجرای فنآوری‌های آبیاری مناسب و کاهش تنش در تخلیه‌ی منابع آب زیرزمینی فعلی با اتخاذ اقدامات بهینه‌سازی مصرف آب بدون کاهش تولید محصولات کشاورزی عملی نمود. با تطبیق ریشه با سامانه آبیاری زیرسطحی، این سامانه سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۱ درصد و نیز افزایش کارائی مصرف آب به میزان ۱۶ درصد نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی می‌شود. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به لحاظ صفت‌های کمی میوه عملکرد بهتری را دارا می-باشد. همچنین روش آبیاری زیرسطحی درصد آب میوه و مواد جامد محلول بیشتری نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی دارا بودند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آبیاری زیرسطحی ضمن ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب سبب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار

۲۹/۶۲ درصد نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی شد؛ بنابراین استفاده از روش آبیاری زیر سطحی برای پرتقال در جنوب کرمان مشروط به انجام آبشویی در سال‌های کم باران توصیه می گردد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند راهنمای خوبی برای کشاورزان و محققین بخش کشاورزی در جهت استفاده بهینه از آب باشد.

تشکر و قدردانی

از رئیس مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع‌طبیعی جنوب استان کرمان و همکاران مجموعه به دلیل حمایت‌های همه جانبه‌شان کمال تشکر و قدردانی را داریم.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. احمدپور، احمد. ۱۳۹۱. نشریه ترویجی نگرشی بر مرکبات در جنوب کرمان. مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی. *سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان*. صص. ۱۱.

۲. اسفندیاری، صمد. ۱۳۹۴. نشریه ترویجی آبیاری مرکبات. *مدیریت هماهنگی ترویج سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان*. صص.۲۲.

۳. اسدی کنگرشاهی، علی، و اخلاقی امیری، نگین.۱۳۹۵. سرمازدگی درختان میوه (مبانی، اصول و راهکارهای عملی کاهش خسارت)، جلد اول. *انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی*، تهران. صص. ۱۸۰.

۴. پیری، حلیمه، انصاری، حسین، و پارسا، مهدی. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای در سطوح مختلف شوری و آب آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۰، صص. ۴۶۷-۴۸۲. **doi: 10.22092/JWRA.2017.109010۳**

۵. صداقتی، ناصر، حسینی فرد، سید جواد، و محمدی محمدآبادی، اکبر. ۱۳۸۹. مقایسه اثرات دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. *نشریه آب و خاک*. ۲۶، صص.۵۷۵-۵۸۵. **doi: JR_JSW-26-3_005**

۶. عادلی ساردویی، محسن، اسدی، علی. کلانتری، خلیل، براتی، علی اکبر، و خسروی، حسن. ۱۳۹۹. پیش بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت جیرفت و ارتباط آن با الگوی توسعه کشت محصولات باغی. نشریه *علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*. ۱۷۵، صص،٤٤-١٩٤. **doi:10.22125/IWE.2021.133758**

۷. کاظمی نژاد، احمدعلی، کارگر، علیرضا، کارگر، حسین، صدری، صدرالدین، دهقان، عباس، غضنفریان، ولی الله، و کبریایی، حسین. ۱۳۸۶. بررسی اثر آبیاری زیرسطحی در رشد و نمو درخت تاغ در مناطق بیابانی با استفاده از لوله‌های سفالی. فصلنامه جنگل و مرتع،۹، صص. ۸۸-۹۴.

۸. محمدی محمدآبادی، اکبر، حسینی فرد، سیدجواد، و صداقتی، ناصر. ۱۳۸۷. اثرات تغییر سیستم آبیاری از روش سنتی (غرقابی) به زیرسطحی بر درختان بارور پسته در کرمان. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲، ۲۹ - ٤٥. **doi: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.4.7**

۹. محمدی، اکبر. ۱۳۷۹. بررسی امکان تغییر روش آبیاری از سطحی به زیرسطحی و تعیین تاثیر سامانه بر روی میزان Early spilitting در درختان پسته بارور. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات پسته.

10. Aguado, A., Frias, J., Garcıa-Tejero, I. Romero, F. Muriel, J. L. and 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, PP. 1-9. **doi:10.5402/2012/940896**.
11. Ahmed, T. F., Hashmi, H. N. and Ghumman., A. R., 2011. Performance assessment of subsurface drip irrigation 147 system using pipes of varying flexibility. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 30(3), PP. 361-370. **doi:10.5897/AJAR11.1178.**
12. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N. 56. FAO. Roma. Italy.
13. Ballester, C., Castel, J., AbdEl-Mageed, T.A. Castel, J.R. and Intrigliolo, D.S., 2014. Longterm response of Clementina de Nules citrus trees to summer regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, PP. 78-84. **doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.003**.
14. Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D.S. and 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), PP.1027-1032. **doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.011**
15. Berríos, P. Temnani, A. Zapata, S. Forcen-Muñoz, M. Antonio Franco, J. and Pérez-Pastor, A. 2023. Sensitivity to water defcit of the second stage of fruit growth in late mandarin trees. Irrigation Science, 41:35–47
16. 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. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106, PP.307–312. **/doi.org/10.21273/JASHS.106.3.307**
17. Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1977., Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO Rome. Italy.
18. Davis, S. 1967. Subsurface Irrigation. *Agricultural engineering*. 48, PP.654-655.
19. Dehghanisanij, H., E. Kanani and S. Akhavan., 2017. Evaluation of corn evapotranspiration and its components and relationship between leaf area index and components in surface and subsurface drip irrigation systems. *Journal of Water and Soil*, 56(1), PP.1549-1560. **doi.org/10.22067/jsw.v31i6.64019**
20. Gasque, M., Marti, P., Graneroc, B. and Gonzalez-Altozanod, P., 2016. Effects of long-term summer deficit irrigation on Navelina *Citrus* trees. *Agricultural Water Management*, 169, PP. 140-147. **doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.028.**
21. Gonzalez-Altozano, P. and 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), PP.388-392.
22. Garcia-Tejero, I., Jimenez-Bocanegra, J.A., Martinez, G. Romero, R. Duran-Zuazo, V.H. and Muriel-Fernandez, J.L., 2010. Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard (*Citrus sinensis* (L.) osbeck, cv. Salustiana). *Agricultural Water Management*, 97, PP.614 622. **doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.005**
23. Mustapha, A., Driss, B., Nadia, B. and Wydad, N., 2014. Opportunities and potential integration of irrigation and aquaculture in morocco. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* , 5, 57-63.
24. Omima, M. El-Sayed, and Mohamed E. El-Hagarey., 2014. Evaluation of Ultra-low Drip Irrigation and Relationship between Moisture and Salts in Soil and Peach (pruns perssica) Yield. *Journal of American Science*, 10(8), PP.12-28.

25. Perez-Pérez, J.G., Robles, J.M. and Botía, P., 2014. Effects of deficit irrigation in different fruit growth stages on 'Star Ruby' grapefruit trees in semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 33, PP.44-54**.** **doi.org/10.1016/j.agwat.2013.11.002**
26. Quinones, A., Folgado, C., Bacab, U. Alcantara, B. and Martinez, F., 2010. Water Productivity and Fruit Quality in Deficit Drip Irrigated Citrus Orchards. *Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments*, 28, PP.33-58.
27. Ruiz-Sanchez, M.C., Domingo, R. and Castel, J.R., 2010. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. Spanish *Journal of Agricultural Research*, 8(2), PP.5-20.
28. Robles, J. M.,Botía, P, and Pérez-Pérez, J. G., 2016. Subsurface drip irrigation affects trunk diameter fluctuations in lemon trees, in comparison with surface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 165, PP.11-21. doi.org/10.3390/agriculture14030377
29. Talebnejad, R. and Sepaskhah, A., 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agricultural Water Management*,148, PP.177-188**.** **doi.org/10.21083/978-1-7770541-1-3**
30. Valentín, F., Nortes, P.A., Domínguez, A. Sánchez, J.M. Intrigliolo, D.S. Alarcón, J.J. and López-Urrea, R., 2020. Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment. *Irrigation Science*, 38(1),PP. 105-115.