نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۲۰، مهر - آبان ۱۴۰۵، ص. ۶۹۹-۶۸۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 20, Oct.-Nov. 2026, p. 685-699

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه سامانه‌های‌آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و اثر آن بر کمیت و کیفیت انگور رقم سرخ‌فخری (شاهرودی)

سیدحسن موسوی فضل[1*]، سیدحمیدرضا ضیاءالحق[2]، محمد عابدینی اسفهلانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

چکیده

به‌منظور مقایسه دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و بررسی اثر آن‌ها بر کمیت و کیفیت انگور رقم سرخ فخری (شاهرودی)، پژوهشی دوساله در باغات مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل روش آبیاری در دو سطح (آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی) و مقادیر آب آبیاری در سه سطح تأمین ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بودند. تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش پنمن– مانتیث محاسبه شد و عمق آب آبیاری بر اساس ضریب گیاهی، درصد سایه‌انداز و روش آبیاری تعیین گردید. آبیاری تیمارها با دور آبیاری سه‌روزه اعمال شد. در این پژوهش اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد محصول، بهره‌وری فیزیکی آب و شاخص‌های کیفی میوه شامل بریکس، اسیدیته و pH بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر روش آبیاری، مقدار آب آبیاری و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد محصول معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد محصول در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب با مقادیر ۵۱۶۰۰ و ۵۳۰۸۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و اختلاف معنی‌داری بین این دو تیمار مشاهده نگردید. عملکرد محصول در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور متوسط ۱۲ درصد بیشتر از روش آبیاری قطره‌ای سطحی بود. اثر روش آبیاری بر صفات کیفی میوه شامل بریکس، اسیدیته، pH، وزن خوشه، وزن ۳۰ حبه، طول و قطر حبه معنی‌دار نشد، اما اثر مقدار آب آبیاری بر بریکس میوه در سطح یک درصد معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار بریکس (۲۱/۶۸درصد) در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. همچنین اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر اسیدیته و pH میوه معنی‌دار شد. بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب نیز در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب برابر با ۱۱/۴ و ۱۴/۳ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب مصرفی حاصل شد. با توجه به عملکرد مطلوب، بهبود شاخص‌های کیفی میوه، افزایش بهره‌وری آب و ضرورت صرفه‌جویی در منابع آب، تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی به‌عنوان تیمار برتر پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، بهره‌وری، محصولات باغی، مدیریت آبیاری

۱- عضو هیات علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران
۲- عضو هیات علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران
۳- عضو هیات علمی بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران
(*- نویسنده مسئول: Hmousavifazl@yahoo.com)

DOI: 10.22034/idj.2026.573353.2666

مقدمه

انگور در استان سمنان از نظر سطح زیرکشت دارای رتبه چهارم در بین محصولات باغی است. سطح زیرکشت این محصول در کشور ۳۱۶ هزار و در استان سمنان بیش از ۵ هزار هکتار است (بی نام، ۱۳۹۸).

انگور یک گیاه چند ساله است که برای رشد به تابستان‌های گرم و خشک طولانی و زمستان‌های سرد نیاز دارد. انگور در شرایط کم‌آبی با تولید ریشه‌های عمیق با شرایط محیط پیرامون خود سازگار می‌شود اما تنش شدید خشکی باعث کندی رشد، تاخیر در رسیدگی میوه، کاهش کیفیت میوه، به هم خوردن تناسب تعداد برگ و میوه و در نهایت کاهش رشد شاخه می‌شود. به طور کلی در مناطقی که تولید انگور وابسته به سامانه‌های آبیاری است آب عمده‌ترین عامل کنترل کننده کمیت و کیفیت میوه به ویژه در فصل تابستان تلقی می‌شود (Matthews and Nuzzo, 2007).

تولید کمی و کیفی انگور تحت‌تاثیر رقم، اقلیم و عوامل مدیریتی از جمله حجم آب مصرفی و دیگر عملیات باغی قراردارد. برنامه منظم آبیاری و مقدار آب مصرفی از عوامل تأثیر گذار مهم مدیریتی در کمیت و کیفیت محصول انگور است. حجم آب مورد نیاز باغات انگور در مناطق سردسیر که تابستان گرم دارند ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر (۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب بر هکتار) در سال توصیه شده است (جلینی، ۱۳۸۵).

برای حذف تبخیر از سطح مرطوب خاک در روش آبیاری قطره‌ای سطحی[1] (DI) و برخی مشکلات دیگر موجود در این روش، امروزه از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی[2] (SDI) استفاده می‌شود. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله‌های آبده و قطره‌چکان‌ها در زیرسطح خاک قرار می‌گیرند، آب و عناصر غذایی را به طور مستقیم در ناحیه ریشه در اختیار گیاه قرار می‌دهند. در این روش رشد علف هرز و بیماری‌های گیاهی کمتر است و نیاز به نگهداری و تعمیرات کمتری دارد، در نتیجه نیروی کارگری کمتری نیاز است و هزینه‌های تولید کاهش می‌یابد. در روش زیرسطحی، قطره-چکان‌ها از پلیمرهای با دوام و مقاوم ساخته می‌شوند. از طرف دیگر چون این لوله‌ها در زیر زمین نصب می‌شوند از تاثیرات تغییرات درجه حرارت محیط و اشعه ماوراءبنفش خورشید، صدمات مکانیکی، آسیب توسط جوندگان و نیز رفت و آمد ماشین آلات محفوظ می مانند (Lamm et al. 2016).

این روش برای محصولات باغی (پسته، انگور، زیتون، خرما، مرکبات و درختان سیاه ریشه) و محصولات زراعی (سیب زمینی، ذرت، پنبه و یونجه) کاربرد دارد. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط جغرافیایی سخت و نامناسب برای آبیاری محصولات مختلف مناسب است. این سیستم قابلیت کار با فشارهای مختلف را داراست. امروزه با طراحی نسل جدید قطره چکان های تنظیم کننده فشار و استانداردهای تصفیه و برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، نگرانی در ارتباط با مسدود شدن قطره چکان‌ها وجود ندارد و فقط نگرانی در مورد ورود ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها است (Pisciotta, 2017).

سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی دارای کارایی مصرف آب بیشتری است و استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی همواره منجر به بهبود عملکرد و کیفیت محصول، کاهش آب مصرفی و کاهش هزینه‌ها برای محصولات کشاورزی یک ساله (مانند گوجه فرنگی، پنبه، ذرت شیرین، نخود سیاه، سیر، کلم بروکلی، فلفل، و کاهو) خواهد شد. همچنین در مورد محصولات باغی لازم است که تحقیقات گسترده‌تر و طولانی مدت-تری صورت پذیرد (Ayars et al., 2015).

در پژوهشی دو ساله بر روی درختان ۷ ساله انگور در مصر، سه روش آبیاری (سطحی، زیرسطحی و آویزان[3]) و سه سطح آب آبیاری (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) مقایسه شد. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل کاهش تلفات تبخیر و بهره‌وری بیشتر آب، حداکثر عملکرد و بیشترین رطوبت خاک را داشت. این سامانه به عنوان روش برتر معرفی شد. سطوح آبی ۸۰ و ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند. عملکرد در سطح آب ۶۰ درصد نیز کاهش یافت. در روش قطره‌ای زیرسطحی، مدیریت‌های زراعی (تردد ادوات کشاورزی) با سهولت بیشتری انجام می‌شود. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط آب و هوایی گرم و خشک مصر به عنوان بهترین روش انتخاب شد (Sheren et al., 2017).

پارانیچیاناکیس و همکاران کمیت و کیفیت انگور را در مقادیر آب آبیاری و پایه‌های مختلف بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار آب آبیاری تاثیر زیادی بر پارامترهای رشدی درخت انگور دارد و بر افزایش کمیت و کیفیت محصول اثر چندانی ندارد. نوع پایه می‌تواند بر حساسیت گیاه به کم آبی تاثیرگذار باشد. اما اگر آب آبیاری به ۵۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه برسد، نوع پایه نیز تاثیر زیادی نخواهد داشت (Paranychianakis et al., 2004).

دولتی بانه (۱۳۹۰) در پژوهشی اثر مقادیر آب آبیاری (۱۵۰۰، ۳۵۰۰، ۵۰۰۰ و ۷۰۰۰ متر مکعب در هکتار) و بدون آبیاری بر روی انگور را مطالعه کرد. نتایج نشان داد با افزایش آب آبیاری تا ۵۰۰۰ متر مکعب، عملکرد افزایش می‌یابد. آبیاری در تیمارهای بیش از ۱۵۰۰

1 - Drip Irrigation (DI)
2 - Subsurface Drip Irrigation (SDI)
3 - Suspended dripirrigation

مترمکعب، موجب کاهش مقدار قند و افزایش اسیدیته شد.

انگور گیاهی نسبتاً مقاوم به کم‌آبی است و در بسیاری از مناطق به‌صورت دیم نیز کشت می‌شود، اما آبیاری تکمیلی به‌منظور افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه انجام می‌گیرد. آبیاری می‌تواند میوه را ۱/۵ تا ۴ برابر افزایش دهد. زیاده روی در آب آبیاری ممکن است باعث کاهش کیفیت میوه به‌ویژه قند، رنگ و میزان اسیدها گردد (Tehrani et al., 2016).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که پژوهش‌های کمی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای انگور در کشور صورت گرفته است. از طرفی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند تبخیر را حذف و یا به حداقل برساند. اما به‌دلیل وجود برخی نگرانی‌ها و مشکلات احتمالی در محصولات باغی مانند انگور، نیازمند بررسی و انجام کارهای پژوهشی بیشتری است. این پژوهش با هدف مقایسه دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و بررسی اثر آن‌ها بر کمیت و کیفیت انگور رقم سرخ فخری (شاهرودی) انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای پژوهش، باغات مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) واقع در کیلومتر ۳ شاهرود به بسطام با متوسط بارندگی سالانه ۱۴۵ میلی‌متر بود. براساس آمار دراز مدت، دوره خشک از اواسط اردیبهشت شروع و تا نیمه‌ی آبان ادامه دارد. بقیه‌ی ماه‌های سال جزء دوره‌ی مرطوب منطقه محسوب می‌گردد. اقلیم منطقه مطابق طبقه‌بندی آمبروژه خشک و سرد است.

برای تعیین کیفیت آب آبیاری، نمونه‌ای از منبع آب تهیه و آزمایش شد. نتایج تجزیهٔ کیفی آب مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده‌است.

جدول ۱- نتایج تجزیهٔ کیفی آب

هدایت الکتریکی (EC) (میکروموس برسانتی‌متر)	pH	کاتیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)				آنیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)		SAR[1]
		$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	$SO4^{2-}$	$HCO_3^{-} + CO_3^{2-}$	
۱۱۵۱	۸/۱	۵/۶	۳/۵	–	۵/۲	۰/۹۲	۲/۹۸	۲/۱

[1]به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌هایی از خاک باغ تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. بعد از خشک کردن نمونه‌ها و خرد کردن آن‌ها با عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری، بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری و وزن مخصوص ظاهری خاک با روش پارافین (نمونه‌های دست نخورده) و مقدار رطوبت در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از صفحات فشاری[2] در مکش‌های ۰/۳ و ۱۵ بار تعیین شد. با استفاده از گل اشباع تهیه شده از نمونه خاک pH آن توسط دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی خاک بوسیله دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. فسفر خاک به روش اسپکتروفتومتر[3]، ازت کل خاک به روش کجلدال و پتاسیم با روش استات آمونیوم با دستگاه فلیم فتومتر[4] مدل جنوی[5] تعیین شد (جدول ۲).

در این پژوهش، رقم انگور سرخ فخری (شاهرود) استفاده شد. رقم سرخ فخری، انگوری دانه‌دار و دیررس (پاییزه) با حبه‌های درشت و بیضی شکل است. پوست حبه‌ها ضخیم و تراکم حبه‌ها در خوشه متوسط است. این رقم دارای خاصیت حمل و نقل و انبارداری بسیار خوبی است که به راحتی پس از برداشت تا ۶ ماه امکان نگهداری آن در سردخانه امکان‌پذیر است. این رقم با بازارپسندی خوب به صورت تازه‌خوری از پاییز تا فروردین ماه در بازار وجود دارد. سطح زیرکشت رقم شاهرود در استان بیش از ۷۰ درصد و در شهرستان شاهرود ۹۰ درصد ارقام انگور را شامل می‌شود. خصوصیات ویژه این رقم مانند دیر رسی، پرباری، ماندگاری خوب، امکان صادرات به سایر نقاط کشور و حتی به خارج از کشور را میسر کرده است. این رقم بسته به شرایط هوا و سرماهای پاییزه، در مهرماه برداشت و در شرایطی که هوا اجازه دهد زمان برداشت آن طولانی‌تر می شود.

روش پژوهش

طرح در قالب کرت‌های خرد شده با دو فاکتور و در چهار تکرار انجام شد. فاکتورها شامل روش آبیاری قطره‌ای در دو سطح (آبیاری قطره‌ای سطحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) و مقادیر آب آبیاری در سه سطح تأمین ۵۰، ۷۵، و ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز بود.

1 - Sodium adsorption ratio
2 - Pressure Plate
3 - Spectrophotometer
4 - Flam Photometer
5 - Jenway

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک

پارامتر های اندازه‌گیری شده	عمق خاک (سانتی‌متر)	
	۰ - ۳۰	۳۰-۶۰
بافت خاک	لوم	لوم
الف- درصد شن	۴۵	۴۵
ب- درصد سیلیت	۳۲	۳۴
ج- درصد رس	۲۳	۲۱
۲- وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۱/۴۶	۱/۵۹
۳- رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه (درصد)	۲۰/۷	۱۹/۷
۴- رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی (درصد)	۹/۵	۹
۵- اسیدیته خاک (pH)	۷/۹	۷/۸
۶- هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر)	۱/۴	۱/۳
۷- عناصر غذایی		
الف- پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	۱۵۰	۱۵۰
ب- فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	۱۶	۱۲
ج- ازت کل (درصد)	۰/۰۵	۰/۰۵

در این پژوهش سن درختان باغ ۲۰ سال و سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی ۱۰ سال قبل در آن اجرا شده بود. آرایش لوله‌های فرعی در باغ یک ردیفه و قطره‌چکان‌ها به فواصل ۵۰ سانتی‌متر روی لوله‌ها نصب شده بوداند. در این طرح از آرایش یک ردیفه برای لوله‌های فرعی استفاده شد. قطره‌چکان‌ها در روی لوله‌ها به فاصله ۵۰ سانتی-متر از یکدیگر و با آبدهی ۴ لیتر در ساعت قرار داشتند. در روش آبیاری قطره‌ای سطحی، لوله‌های فرعی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از تنه درخت در روی سطح خاک قرار داشتند. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله‌های آبده در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از تنه درخت و در عمق ۴۰ سانتی‌متری زیر خاک مدفون شدند. برای جلوگیری از ورود ذرات خاک و گرفتگی خروجی‌ها، قطره‌چکان‌ها در روش آبیاری زیرسطحی از نوع آنتی سیفون انتخاب شدند. برای جلوگیری از ورود ریشه‌ها به داخل لوله‌ها، در طول انجام پژوهش (با شروع آبیاری هر سه ماه) به فواصل مشخص اسید فسفریک به داخل سیستم تزریق شد.

فاصلهٔ ردیف‌ها و فاصلهٔ درختان روی ردیف‌ها به‌ترتیب ۳ و ۲ متر (عرف محل) و طول هر خط ۲۰ متر انتخاب شد. برای هر تیمار یک ردیف درخت به طول ۲۰ متر (۱۰ درخت روی هر ردیف) در نظر گرفته شد. نیاز آبی گیاه مرجع از روش پنمن- مانتیث براساس آمار روزانه هواشناسی (ایستگاه هواشناسی مستقر در اراضی مرکز)، محاسبه و با در نظر گرفتن ضریب گیاهی، نیاز آبی انگور با استفاده از رابطه ۱ محاسبه و با دور آبیاری ۳ روز در اختیار گیاه قرار گرفت (علیزاده، ۱۳۸۵).

$$U_d = ET_o . K_c \qquad (۱)$$

در این رابطه :

Ud = آب مصرفی روزانه گیاه (میلی‌متر)

ETo = میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع

Kc = ضریب گیاهی

میزان متوسط تعرق روزانه گیاه در روش آبیاری قطره‌ای از رابطه ۲ محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۵).

$$T_d = U_d \cdot \left[\frac{P_s}{100} + .15\left(1 - \frac{P_s}{100}\right) \right] \qquad (۲)$$

در این رابطه:

T_d = متوسط تعرق روزانه گیاه

U_d= متوسط آب مصرفی روزانه گیاه

P_s= سطح سایه‌انداز گیاه

سطح سایه‌انداز درخت در زمان‌های مختلف در طول فصل تعیین شد. برای این منظور در طول فصل و به فواصل مشخص مساحت سایه اندازه چند درخت اندازه‌گیری و سپس با تقسیم مساحت سایه-اندازه هر درخت بر حاصل ضرب فواصل درختان، درصد سطح سایه-انداز محاسبه می‌شود (Williams et al., 2022). عمق ناخالص آبیاری از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. در این رابطه E راندمان آبیاری است که مقدار آن ۹۰ درصد در نظر گرفته شد.

$$I_g = \frac{T_d}{E} = \frac{T_d}{0.90} \qquad (۳)$$

مقدار آب مورد نیاز هر درخت از رابطهٔ ۴ محاسبه شد :

$$G = I_g \times S_p \times S_r \qquad (۴)$$

در این رابطه :

S_P و S_r به‌ترتیب فاصله درختان روی ردیف و فاصله ردیف‌ها (متر) و G حجم ناخالص آب آبیاری (لیتر) و I_g عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر) است.

برای اندازه‌گیری عملکرد محصول، در هر تیمار آزمایشی ۵ درخت با شرایط یکسان انتخاب (از ردیف‌های وسط و با رعایت حذف اثرات حاشیه‌ای) و مقدار کل محصول آن‌ها برداشت و توزین شد. برای اندازه‌گیری برخی خصوصیات کیفی میوه مانند pH، بریکس، وزن خوشه، طول و قطر حبه‌ها در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. برای این کار در زمان رسیدن میوه‌ها در هر تیمار از بوته‌ای که نماینده آن تیمار باشد تعیین و از آن بوته، یک خوشه انتخاب و از آن خوشه ۳۰ حبه به‌طور تصادفی جدا شد. سپس وزن، طول و قطر حبه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول، ابتدا سه حبه به-عنوان نمونه ترکیبی از چند خوشه یک بوته به‌طور تصادفی انتخاب و

آب‌گیری و صاف شد، سپس مواد جامد محلول با رفراکتومتر دستی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری طول خوشه، طول و قطر حبه‌ها از کولیس استفاده شد.

در پایان هر سال داده‌ها جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS تجزیه و تحلیل آماری شدند. در پایان سال دوم تجزیه مرکب داده‌ها با نرم‌افزارهای مذکور انجام شد.

بهره‌وری آب و تحلیل اقتصادی

بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب با استفاده از روابط ۵ و ۶ محاسبه شد. بهره‌وری فیزیکی آب نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار آب داده شده است.

$$WPp = \frac{Y}{I+P} \qquad (۵)$$

در عمل ممکن است شاخص بهره‌وری فیزیکی برای یک محصول بزرگ‌تر باشد، اما این امر دلیلی بر سود اقتصادی بیشتر آن محصول نیست. بنابراین شاخص بهره‌وری اقتصادی، شاخصی دقیق‌تر و توانمندتری است (Van Halsema & Vincent, 2012).

$$WPe = \frac{VA}{I+P} \qquad (۶)$$

در این رابطه‌ها؛

WP_p = بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر متر مکعب)

WP_e = بهره‌وری اقتصادی آب (ریال به ازای هر متر مکعب)

Y= عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)

I = حجم آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)

P = بارندگی موثر (متر مکعب در هکتار)

VA= سود خالص (ریال در هکتار)

برای محاسبه سود خالص، هزینه‌های پرداخت شده برای نهاده‌های کشاورزی مانند کود، سم، ماشین‌ها و ادوات، نیروی کار و مقدار آب مصرفی از درآمد ناشی از تولید محصول، کسر می‌شود (ملارضا قصاب و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر روش آبیاری بر عملکرد محصول در سطح ۵ درصد و اثر مقدار آب آبیاری در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). همچنین اثر روش آبیاری (قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی) بر پارامترهای کیفی محصول شامل بریکس(BRX)، اسیدیته، pH، وزن خوشه، وزن ۳۰ حبه در خوشه، طول و قطر حبه معنی‌دار نبود (جدول ۴). اما اثر مقدار آب آبیاری بر بریکس میوه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر اسیدیته و pH میوه معنی‌دار گردید (جدول ۴).

نتایج نشان داد که هر دو عامل اصلی (روش آبیاری و مقدار آب آبیاری) و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد محصول تأثیر معنی‌داری دارند. به عبارت دیگر، پاسخ عملکرد به مقدار آب آبیاری و به روش آبیاری (سطحی در برابر زیرسطحی) وابسته است. معنی‌دار شدن اثر متقابل در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد که صرفاً بررسی اثرات اصلی برای تفسیر عملکرد کافی نیست و باید ترکیب تیمارهای بهینه با استفاده از آزمون مقایسه میانگین تعیین گردد. در مقابل، روش آبیاری تأثیر معنی‌داری بر هیچ‌یک از پارامترهای کیفی میوه (بریکس، اسیدیته، pH، وزن خوشه، وزن ۳۰ حبه، طول و قطر حبه) نداشت. این یافته نشان می‌دهد که در شرایط این پژوهش، نوع سامانه آبیاری (سطحی یا زیرسطحی) به تنهایی قادر به تغییر کیفیت میوه نیست و احتمالاً عواملی مانند ژنتیک، رقم یا شرایط اقلیمی نقش پررنگ‌تری در تعیین این صفات ایفا می‌کنند.

مقدار آب آبیاری اثر بسیار معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر بریکس میوه داشت. بریکس که نمایانگر غلظت مواد جامد محلول (عمدتاً قند) است، معمولاً در شرایط کم‌آبیاری افزایش می‌یابد. معنی‌دار شدن این اثر در سطح ۱ درصد نشان‌دهنده حساسیت بالای این شاخص کیفی به میزان آب دریافتی گیاه است.

علاوه بر این، اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر اسیدیته و pH میوه معنی‌دار شد. این نتیجه نشان می‌دهد که واکنش اسیدیته و pH به سطوح مختلف آبیاری در دو روش آبیاری یکسان نبوده است. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، احتمالاً تغییرات اسیدیته در پاسخ به کاهش آب آبیاری، متفاوت از آبیاری سطحی خواهد بود. این یافته از نظر فیزیولوژیکی قابل توجیه است، زیرا توزیع رطوبت در نیمرخ خاک در دو روش آبیاری متفاوت است و این امر بر جذب عناصر و در نتیجه اسیدیته آب سلولی تأثیر می‌گذارد.

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که بهره‌وری آب در روش قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سطحی افزایش یافته و عملکرد محصول به ویژه در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد نداشته است. این یافته‌ها با گزارش‌های آیارز و همکاران همسو است، که بیان کردند سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در محصولات ردیفی و باغی منجر به بهبود عملکرد و کاهش آب مصرفی می‌شود (Ayars et al., 2015). شارما نیز نشان دادند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در انگور با ۷۵ درصد آب مورد نیاز، عملکردی معادل آبیاری سطحی با ۱۰۰ درصد آب تولید می‌کند (Sharma, 2011). از سوی‌دیگر، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که روش آبیاری بر شاخص‌های کیفی مانند بریکس و اسیدیته تأثیر مستقیمی نداشت، اما مقدار آب آبیاری به طور معنی‌داری بر بریکس مؤثر بود. این موضوع با یافته‌های ما و همکاران (Ma et al., 2020) که گزارش کردند محتوی میوه عمدتاً تحت تأثیر میزان آب آبیاری است تا روش آبیاری، همخوانی دارد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب داده های عملکردی انگور

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (y)	۱	۶۳۶۰۰۶۲۵ ns
تکرار × سال (R×y)	۴	۷۳۳۵۶۲۵
روش آبیاری (A)	۱	۲۰۰۹۲۸۰۶۲۵ *
روش آبیاری × سال (y × A)	۱	۶۸۰۶۲۵
آب آبیاری (B)	۲	۹۲۳۲۳۰۰۰۰ **
آب آبیاری × سال (y×B)	۲	۱۲۱۰۰۰۰
اثر متقابل روش × آب آبیاری (A×B)	۲	۱۱۱۰۱۷۵۰۰ *
اثر متقابل روش × آب آبیاری × سال (y×A×B)	۲	۲۷۲۲۵۰۰
خطا	۲۰	۱۸۱۳۴۸۷۵
کل	۳۵	
ضریب تغییرات	۸/۷۱	

*، ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن در سطح یک و پنج درصد و ns و معنی‌دار نبود ن داده‌هاست.

جدول ٤- تجزیه واریانس مرکب داده های کیفی انگور (میانگین مربعات)

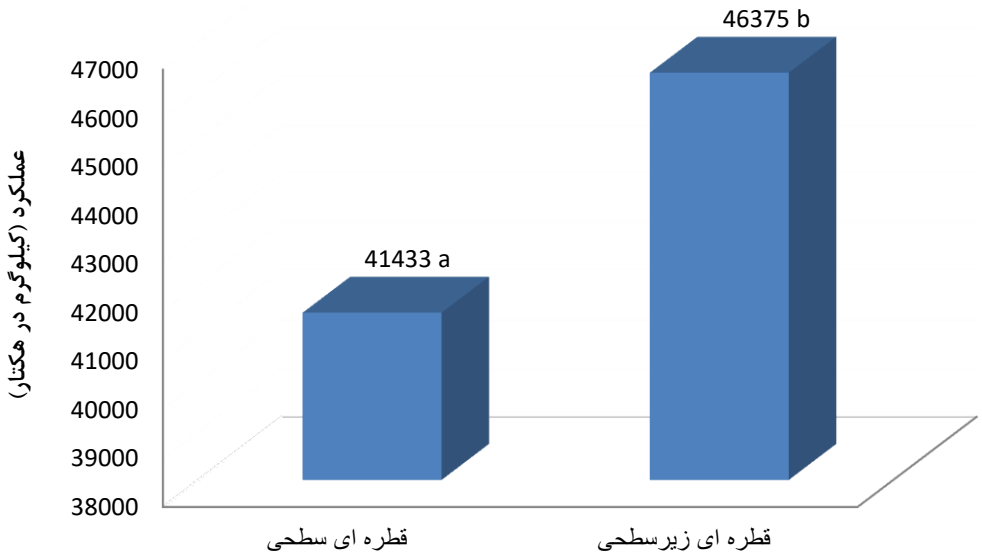
منابع تغییر	درجه آزادی	بریکس	pH	اسیدیته	وزن خوشه	وزن ۳۰ حبه	طول حبه	قطر حبه
سال (y)	۱	۰/۰۲۸ ns	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۵۲۹۲/۵ ns	۳۴۶/۶ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰ ns
تکرار × سال (R×y)	۴	۳/۱	۰/۰۵۸	۰/۴۳۸	۱۱۴۳	۱۳۱/۶	۱/۰۰۳	۰/۶۶۳
روش آبیاری (A)	۱	۰/۲۵۰ ns	۰/۰۴۰	۱/۴ ns	۸۹۵۸/۶ ns	۸۴۹/۷ ns	۱/۱۰۲ ns	۶/۶۷۴ ns
روش آبیاری × سال (y × A)	۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۱۱۴۱/۸۴	۸/۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
مقدار آب آبیاری (B)	۲	۱۲/۲ **	۰/۱۱۷	۰/۶۸۱	۴۰۸۳/۱۴	۲۶۰/۹ ns	۲/۲۰۷	۰/۲۸۷
مقدار آب آبیاری × سال (y×B)	۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۵۴۴/۴	۲۶۷/۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
اثر متقابل روش آبیاری × مقدار آب آبیاری (A×B)	۲	۴/۰۸ ns	۰/۲۰۳ *	۳/۷۰ **	۴۹۶۱/۸ ns	۸۸/۳ ns	۲/۱۱۸ ns	۰/۴۸۰ ns
اثر متقابل روش آبیاری × مقدار آب آبیاری × سال (y×A×B)	۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۲۰۶۷/۶	۶۳/۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
خطا	۲۰	۱/۴۸	۰/۰۶۲	۰/۲۸۲	۹۰۲۰/۲۴	۳۲۹/۶	۲/۰۳۳	۱/۸۱۹
کل	۳۵							
ضریب تغییرات		۶	۶/۲۵	۸/۸۴	۲۷/۶	۱۳	۵/۶	۷/۸۱

*، ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن در سطح یک و پنج درصد و ns و معنی‌دار نبودن داده‌هاست

اثر روش آبیاری بر عملکرد انگور

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر روش آبیاری بر عملکرد محصول معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها در سال اول، سال دوم و تجزیه مرکب نیز اختلاف معنی‌داری را بین تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد (شکل ۱). بیشترین عملکرد محصول در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مشاهده شد. برتری این روش را می‌توان به کاهش تلفات تبخیر از سطح خاک، محدود شدن رشد علف‌های هرز و در نتیجه افزایش دسترسی ریشه به آب نسبت داد. در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، آب مستقیماً در ناحیه توسعه ریشه توزیع می‌شود و همین امر موجب بهبود بهره‌وری آب و افزایش عملکرد محصول می‌گردد. نتایج این پژوهش با یافته‌های آل عمود همخوانی دارد. او در پژوهشی با مقایسه دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در باغ‌های خرمای عربستان گزارش کرد که بین تیمار آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و تیمار

تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری قطره‌ای سطحی از نظر عملکرد محصول، وزن میوه، طول و قطر میوه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (Al- Amoud, 2010). این نتایج نشان می‌دهد که در آبیاری قطره‌ای سطحی، بخشی از آب مصرفی (حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد) به‌دلیل تبخیر سطحی و مصرف توسط علف‌های هرز هدر می‌رود.



شکل ۱- اثر روش آبیاری بر عملکرد

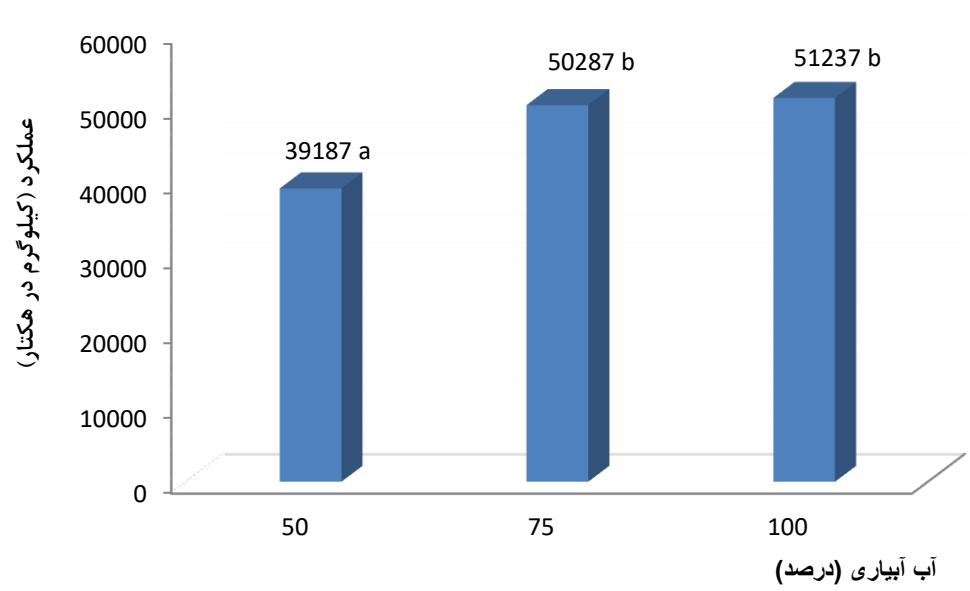
اثر آب آبیاری بر عملکرد انگور

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر جداگانه مقدار آب آبیاری بر عملکرد محصول در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بین عملکرد تیمارها با مقدار آب آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). هرچند با افزایش مقدار آب آبیاری از ۷۵ به ۱۰۰، عملکرد افزایش یافت. عملکرد محصول در تیمار با مقدار ۵۰ درصد نیاز آبی، اختلاف معنی‌داری با دو تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد داشت. با کاهش مقدار آب آبیاری عملکرد محصول کاهش یافت. این کاهش عملکرد در تنش‌های زیاد، شدت بیشتری داشت. جلینی (۱۳۸۵) و شرن و همکاران (۲۰۱۷) نیز نتایج مشابهی گرفتند. آنها بیان نمودند که با افزایش آب آبیاری در باغات انگور، مقدار عملکرد افزایش می یابد.

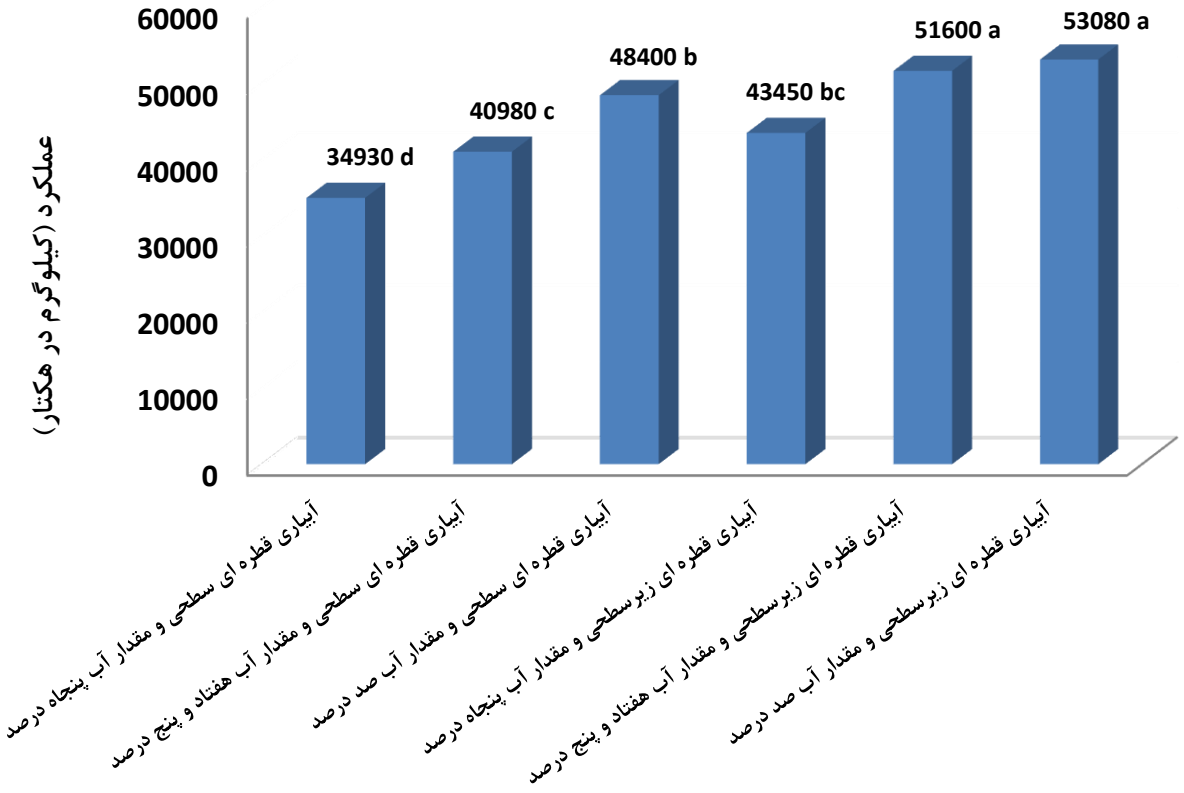
اثر متقابل (برهم‌کنش) روش آبیاری و مقدار آب بر عملکرد

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر عملکرد محصول معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد محصول در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و در دو سطح آب آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب با مقادیر ۵۱۶۰۰ و ۵۳۰۸۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با این حال، اختلاف عملکرد بین این دو تیمار از نظر آماری معنی‌دار نبود. در مقابل، تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، عملکرد کمتری معادل ۴۸۴۰۰ کیلوگرم در هکتار تولید کرد. مقایسه دو روش آبیاری نشان داد که عملکرد محصول در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور متوسط حدود ۱۲ درصد بیشتر از روش آبیاری قطره‌ای سطحی بود. این افزایش عملکرد را می‌توان ناشی از کاهش تلفات آب از طریق تبخیر سطحی، کاهش رشد علف‌های هرز و توزیع مؤثرتر آب در ناحیه توسعه ریشه دانست. در سامانه آبیاری زیرسطحی، رطوبت در عمق مؤثر ریشه متمرکز شده و شرایط مناسب‌تری برای جذب آب و عناصر غذایی فراهم می‌شود که در نهایت به بهبود رشد و عملکرد گیاه منجر می‌گردد. نتایج این پژوهش با گزارش‌های آیارز و همکاران همخوانی دارد (Ayars et al., 2015).

با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین عملکرد تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، و همچنین با در نظر گرفتن ضرورت صرفه‌جویی در مصرف آب در شرایط اقلیم خشک منطقه، تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی به‌عنوان تیمار برتر پیشنهاد شد.



شکل ۲- اثر مقدار آب آبیاری بر عملکرد



شکل ۳- اثر متقابل روش آبیاری و مقدار آب آبیاری بر عملکرد محصول

اثر روش و مقدار آب آبیاری بر بریکس میوه (BRX)

نتایج نشان داد که اثر روش آبیاری بر میزان بریکس میوه انگور معنی‌دار نبود، در حالی‌که اثر مقدار آب آبیاری بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۵). بیشترین مقدار بریکس میوه (۲۱/۶۸ درصد) در تیمار تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی مشاهده گردید. این نتایج بیانگر آن است که تنش آبی ملایم می‌تواند شرایط مناسبی برای تجمع مواد محلول و افزایش کیفیت میوه فراهم کند. در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی، به دلیل محدودیت شدید رطوبت خاک، فعالیت فتوسنتزی گیاه، انتقال مواد فتوسنتزی و در نهایت تجمع قندها در میوه کاهش یافته است. تنش شدید آبی معمولاً موجب بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جذب دی‌اکسیدکربن و محدود شدن تولید کربوهیدرات‌ها می‌شود و در نتیجه میزان مواد جامد محلول میوه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، اگرچه محدودیت رطوبتی وجود نداشت، اما افزایش جذب آب توسط بوته سبب افزایش محتوای آب میوه و رقیق شدن قندها و سایر مواد محلول شده که این امر کاهش بریکس را به دنبال داشت. بنابراین، به نظر می‌رسد اعمال تنش آبی کنترل‌شده در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی، تعادل مناسبی بین رشد رویشی، تولید مواد فتوسنتزی و تجمع قند در میوه ایجاد کرده است.

نتایج این پژوهش با گزارش‌های متعدد در زمینه اثر تنش آبی ملایم بر کیفیت انگور همخوانی دارد. پژوهشگران نشان داده‌اند که کاهش کنترل‌شده آب آبیاری می‌تواند موجب افزایش غلظت مواد جامد محلول، قندها و ترکیبات کیفی میوه شود، در حالی‌که تنش شدید آبی اثر معکوس بر فرآیندهای متابولیکی و کیفیت انگور دارد. کلر و همکاران گزارش کردند که مدیریت کم‌آبیاری در انگور، از طریق کاهش رشد رویشی اضافی و هدایت بیشتر مواد فتوسنتزی به سمت میوه، سبب افزایش غلظت قند و بهبود کیفیت محصول می‌شود (Keller et al., 2015). همچنین نتایج پژوهش چاوز و همکاران نشان داد که تنش آبی ملایم، بهره‌وری آب و کیفیت انگور را بهبود می‌بخشد، اما تشدید تنش آبی باعث افت فتوسنتز و کاهش تجمع مواد قندی در میوه می‌شود (Chaves et al., 2007). بطور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت مناسب آب آبیاری، به‌ویژه اعمال کم‌آبیاری تنظیم‌شده، می‌تواند بدون کاهش شدید عملکرد، موجب بهبود شاخص‌های کیفی انگور از جمله بریکس شود و نقش مؤثری در افزایش بهره‌وری آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک داشته باشد.

جدول ۵- اثر روش و مقدار آب آبیاری بر بریکس میوه (BRX)

تیمار	سطوح تیمارها	بریکس میوه		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب (دو سال)
مقدار آب آبیاری	۵۰	۱۹/۸۳ [a]	۱۹/۶۷ [a]	۱۹/۷۵ [a]
	۷۵	۲۱/۶۶ [b]	۲۱/۶۸ [b]	۲۱/۶۸ [b]
	۱۰۰	۲۰/۱۷ [a]	۲۰/۱۷ [a]	۲۰/۱۷ [a]
روش آبیاری	قطره ای سطحی	۲۰/۴۴ [a]	۲۰/۶۷ [a]	۲۰/۴۴ [a]
	قطره ای زیرسطحی	۲۰/۴۴ [a]	۲۰/۵۶ [a]	۲۰/۶۱ [a]

در هر ستون اعداد دارای حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن میانگین‌هاست

اثر روش و مقدار آب آبیاری بر pH میوه

نتایج تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر مستقل روش و مقدار آب آبیاری بر pH میوه انگور از نظر آماری معنی‌دار نبود، اما اثر متقابل این دو فاکتور بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۶). این نتایج بیانگر آن است که پاسخ pH میوه به مقدار آب آبیاری، به نوع سامانه آبیاری وابسته بوده و تغییرات pH را نمی‌توان تنها به اثر جداگانه هر یک از عوامل نسبت داد. به عبارت دیگر، تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر تعادل اسیدی میوه، تحت تأثیر نحوه توزیع و دسترسی ریشه به آب در دو سامانه آبیاری سطحی و زیرسطحی قرار گرفته است. از دیدگاه فیزیولوژیکی، pH میوه به میزان تجمع اسیدهای آلی، به‌ویژه اسید تارتاریک و مالیک، و نیز به وضعیت آب گیاه در دوره رسیدگی وابسته است (ضیاء الحق، ۲۰۲۱). تغییر در رژیم آبیاری می‌تواند از طریق تأثیر بر فرآیندهای متابولیکی، غلظت مواد محلول و رقیق‌سازی شیره میوه، سبب تغییر در تعادل اسیدی میوه شود. با این حال، معنی‌دار نشدن اثرات مستقل روش و مقدار آب آبیاری نشان می‌دهد که دامنه تغییرات pH در تیمارهای مختلف محدود بوده و انگور رقم سرخ فخری از پایداری نسبی در این شاخص کیفی برخوردار است.

معنی‌دار شدن اثر متقابل روش و مقدار آب نیز نشان می‌دهد که در برخی سطوح رطوبتی، نوع سامانه آبیاری توانسته است شرایط متفاوتی را از نظر توزیع رطوبت در ناحیه ریشه و جذب آب ایجاد کند که این موضوع بر تعادل اسیدی میوه اثر گذاشته است. نتایج مشابهی در مطالعات مربوط به انگور گزارش شده است؛ به‌طوری‌که برخی

پژوهشگران بیان کرده‌اند pH میوه نسبت به تنش‌های ملایم آبی حساسیت کمتری نسبت به شاخص‌هایی مانند بریکس و اسیدیته دارد، اما اثر همزمان شدت تنش و روش مدیریت آبیاری می‌تواند موجب تغییرات معنی‌دار در آن شود (Baiano et al., 2011).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری و مقدار آب آبیاری بر pH میوه

ردیف	تیمار	pH میوه		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب (دو سال)
۱	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۴/۲۳ a	۴/۲۱ a	۴/۲۲ a
۲	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۴ ab	۴/۱ ab	۴ ab
۳	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۳/۸۳ b	۳/۸۰ b	۳/۸۲ b
۴	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۳/۸۵ b	۳/۸۷ b	۳/۸۷ b
۵	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۴/۱ ab	۴/۰۷ ab	۴/۰۸ ab
۶	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۳/۹۳ ab	۳/۹ ab	۳/۹ ab

در هر ستون اعداد دارای حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن میانگین‌هاست

اثر روش و مقدار آب آبیاری بر اسیدیته میوه

نتایج نشان داد که اثرات اصلی روش و مقدار آب آبیاری به‌طور جداگانه بر اسیدیته میوه معنی‌دار نبود (جدول ۷). اما اثر متقابل این دو عامل بر اسیدیته معنی‌دار شد (جدول ۸). این یافته نشان می‌دهد که واکنش اسیدیته میوه به سطوح مختلف آب آبیاری در دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی یکسان نبوده است.

معنی‌دار شدن اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر اسیدیته میوه در شرایطی که هیچ‌یک از اثرات اصلی معنی‌دار نبوده‌اند، از نظر آماری نشان‌دهنده وجود یک واکنش متقابل ناهمسو است. به عبارت دیگر، تأثیر کاهش یا افزایش مقدار آب آبیاری بر اسیدیته میوه در روش آبیاری زیرسطحی با روش سطحی متفاوت می‌باشد. از نظر فیزیولوژیکی، این پدیده می‌تواند به تفاوت در الگوی توزیع رطوبت در نیمرخ خاک بین دو روش آبیاری مرتبط باشد. در آبیاری زیرسطحی، آب مستقیماً در عمق توسعه ریشه توزیع می‌شود و تبخیر سطحی کاهش می‌یابد، در حالی که در آبیاری قطره‌ای سطحی، نوسانات رطوبتی در لایه‌های سطحی خاک به‌دلیل تلفات تبخیر و وجود علف-های هرز بیشتر است. این تفاوت در رژیم رطوبتی می‌تواند بر جذب عناصر غذایی به ویژه پتاسیم و کلسیم که نقش کلیدی در تنظیم اسیدیته سلولی دارند، تأثیر بگذارد.

نتایج این پژوهش با گزارش‌های میراس همخوانی دارد (Miras- Avalos, 2017). این پژوهشگران نشان دادند که در ارقام قرمز انگور، پتانسیل آب ساقه در مرحله قبل از رنگ‌گیری میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با اسیدیته قابل تیتراسیون دارد. به عبارت دیگر، با کاهش شدت تنش خشکی (افزایش پتانسیل آب)، اسیدیته میوه افزایش می‌یابد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که انتخاب روش آبیاری (سطحی یا زیرسطحی) می‌تواند واکنش اسیدیته میوه به کم‌آبیاری را تعدیل کند که این موضوع در مدیریت آبیاری تاکستان‌های مناطق خشک حائز اهمیت است.

جدول ۷- اثر روش و مقدار آب آبیاری بر اسیدیته میوه

تیمار	سطوح تیمارها	اسیدیته میوه		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب (دو سال)
مقدار آب آبیاری	۵۰	۵/۷ a	۵/۷۵ a	۵/۷۴ a
	۷۵	۶/۰۸ a	۶/۰۸ a	۶/۰۸ a
	۱۰۰	۶/۲ a	۶/۲ a	۶/۲ a
روش آبیاری	قطره ای سطحی	۶/۱ a	۶/۲ a	۶/۲ a
	قطره ای زیرسطحی	۵/۸ a	۵/۹ a	۵/۸ a

در هر ستون اعداد دارای حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن میانگین‌هاست

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر اسیدیته میوه

ردیف	تیمار	اسیدیته		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب
۱	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۵/۵۳ bc	۵/۵۷ bc	۵/۵۵ bc
۲	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۶/۰۳ bc	۶/۰۳ bc	۶/۰۳ bc
۳	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۷/۰۳ a	۷/۰۳ a	۷/۰۳ a
۴	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۵/۹۳ bc	۵/۹۳ bc	۵/۹۳ bc
۵	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۶/۱۳ b	۶/۱۳ b	۶/۱۳ b
۶	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۵/۳۷ c	۵/۳۷ c	۵/۳۷ c

بهره‌وری فیزیکی آب

در محل اجرای پژوهش، آبیاری از ابتدای اردیبهشت‌ماه آغاز شده و معمولاً تا اواسط مهرماه ادامه داشت. حجم کل آب مصرفی در تیمارهای مختلف، با در نظر گرفتن بارندگی مؤثر، طی سال‌های اجرای آزمایش محاسبه و در جدول ۹ ارائه شده است. همچنین بهره‌وری فیزیکی آب برای تمامی تیمارها محاسبه شد تا بهره‌وری آب در شرایط مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتایج نشان داد که بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطوح آب آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی اختصاص داشت که به‌ترتیب برابر با ۱۱/۴ و ۱۴/۳ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب مصرفی بود. در مقابل، کمترین بهره‌وری فیزیکی آب (۸ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. افزایش بهره‌وری آب در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را می‌توان ناشی از کاهش تلفات تبخیر از سطح خاک، کاهش رشد و مصرف آب توسط علف‌های هرز، و توزیع مؤثرتر رطوبت در ناحیه توسعه ریشه دانست. در این سامانه، آب مستقیماً در محدوده فعال ریشه قرار می‌گیرد و در نتیجه بخش بیشتری از آب مصرفی در فرآیند تعرق و تولید ماده خشک مشارکت می‌کند. از سوی دیگر، در تیمارهای دارای آب آبیاری بیشتر، بخشی از آب مصرفی بدون افزایش متناسب عملکرد، صرف تلفات غیرمفید شده و در نتیجه بهره‌وری آب کاهش یافته است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اعمال کم‌آبیاری کنترل‌شده، به‌ویژه در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، می‌تواند ضمن حفظ عملکرد قابل قبول، موجب افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب شود. این موضوع در شرایط اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران (مخصوصا استان سمنان)، که محدودیت منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های بخش کشاورزی است، اهمیت ویژه‌ای دارد. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات آیارز، ما و همکاران در زمینه برتری آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در افزایش بهره‌وری آب و کاهش تلفات تبخیری مطابقت دارد و بیانگر ظرفیت بالای این سامانه در مدیریت بهینه آب در باغ‌های انگور است.

جدول۹- بهره‌وری آب در تیمارهای پژوهشی

ردیف	تیمار	حجم آب (مترمکعب در هکتار)		عملکرد (کیلوگرم در هکتار)		بهره‌وری (کیلوگرم بر مترمکعب)	
		۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱
۱	آبیاری قطره‌ای سطحی و آب ۵۰ درصد	۳۰۷۵	۳۱۷۵	۳۶۶۰۰	۳۳۵۵۰	۱۱/۹	۱۰/۶
۲	آبیاری قطره‌ای سطحی و آب ۷۵ درصد	۴۶۱۲	۴۷۶۳	۴۲۹۰۰	۳۹۰۵۰	۹/۳	۸/۲
۳	آبیاری قطره‌ای سطحی و آب ۱۰۰ درصد	۶۱۵۰	۶۳۵۰	۴۹۵۰۰	۴۷۳۰۰	۸	۷/۵
۴	آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آب ۵۰ درصد	۳۰۷۵	۳۱۷۵	۴۴۰۰۰	۴۲۹۰۰	۱۴/۳	۱۳/۵
۵	آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آب ۷۵ درصد	۴۶۱۲	۴۷۶۳	۵۲۷۰۰	۵۰۵۰۰	۱۱/۴	۱۰/۶
۶	آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آب ۱۰۰ درصد	۶۱۵۰	۶۳۵۰	۵۴۰۰۰	۵۲۱۵۰	۸/۸	۸/۲

بهره‌وری اقتصادی آب

با توجه به اینکه بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطوح تأمین ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب برابر با ۱۱/۴ و ۱۴/۳ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب مصرفی به‌دست آمد، ارزیابی بهره‌وری اقتصادی نیز برای هر سه سطح آب آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سال ۱۴۰۰ انجام شد. نتایج این ارزیابی در جدول ۱۰ ارائه شده است. به‌منظور بررسی جامع‌تر بهره‌وری سامانه‌های آبیاری علاوه بر

شاخص‌های فیزیکی، شاخص‌های اقتصادی اهمیت بیشتری دارند. زیرا در شرایط محدودیت منابع آب، انتخاب تیمار برتر تنها بر اساس عملکرد محصول کافی نبوده و میزان بازده اقتصادی حاصل از هر واحد آب مصرفی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد.

جدول۱۰- بهره‌وری اقتصادی آب در تیمارهای پژوهشی در سال ۱۴۰۰

ردیف	تیمار	حجم آب (مترمکعب در هکتار)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری (کیلوگرم بر مترمکعب)	درآمد خالص (میلیون تومان)
۱	قطره‌ای زیرسطحی و آب ۵۰ درصد	۳۱۷۵	۴۲۹۰۰	۱۴/۳	۷۵۰
۲	قطره‌ای زیرسطحی و آب ۷۵ درصد	۴۷۶۳	۵۰۵۰۰	۱۱/۴	۹۰۲
۳	قطره‌ای زیرسطحی و آب ۱۰۰ درصد	۶۳۵۰	۵۲۱۵۰	۸/۸	۹۳۵

براساس نتایج جدول ۱۰ اگرچه بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به تیمار آبیاری زیرسطحی با سطح مصرف آب ۵۰ درصد نیاز آبی است اما در بهره‌وری اقتصادی و محاسبات سود حاصل از مصرف ۲۵ درصد آب بیشتر (سطح آب ۷۵ درصد نسبت به ۵۰ درصد)، درآمد سطح آب ۷۵ درصد تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به سطح آب ۵۰ درصد دارد (قیمت هر کیلو انگور ۲۰ هزار تومان و هزینه‌های سالیانه تولید و سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمر مفید ۱۵ سال بر مبنای سال‌های اجرای پژوهش منظور شده است). به عبارت دیگر اختلاف سود عملکرد سطح آب ۷۵ درصد نسبت به آب ۵۰ درصد ۱۵۲ میلیون تومان بیشتر و از سطح آب ۱۰۰ درصد، ۳۳ میلیون تومان کمتر است. با توجه به ارزش آب و ملاحظات اقتصادی، سطح آب ۷۵ درصد نیاز آبی (با پذیرش ۳۳ میلیون تومان سود کمتر و صرفه جویی ۲۵ درصدی آب مصرفی) اقتصادی‌تر از دو سطح دیگر است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که روش آبیاری و مقدار آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد، بهره‌وری آب و برخی ویژگی‌های کیفی انگور رقم سرخ فخری (شاهرودی) داشتند. مقایسه دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نشان داد که سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، عملکرد مطلوب‌تری نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی ایجاد کرد. بیشترین عملکرد محصول در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب برابر با ۵۱۶۰۰ و ۵۳۰۸۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و اختلاف معنی‌داری بین این دو تیمار مشاهده نشد. همچنین عملکرد محصول در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور متوسط حدود ۱۲ درصد بیشتر از روش آبیاری قطره‌ای سطحی بود. این موضوع نشان می‌دهد که توزیع مناسب‌تر رطوبت در ناحیه توسعه ریشه و کاهش تلفات تبخیر سطحی در سامانه آبیاری زیرسطحی، نقش مؤثری در افزایش عملکرد محصول داشته است.

نتایج مربوط به شاخص‌های کیفی میوه نیز نشان داد که اثر روش آبیاری بر صفاتی نظیر بریکس، اسیدیته و pH معنی‌دار نبود، اما مقدار آب آبیاری بر بریکس میوه اثر معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار بریکس در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی مشاهده شد که بیانگر تأثیر مثبت تنش آبی ملایم بر تجمع مواد جامد محلول در میوه است. به نظر می‌رسد کاهش کنترل‌شده آب آبیاری، بدون ایجاد تنش شدید، توانسته است تعادل مناسبی بین رشد رویشی و تجمع قند در میوه ایجاد کند. همچنین معنی‌دار شدن اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر اسیدیته و pH میوه نشان داد که پاسخ ویژگی‌های کیفی انگور به مدیریت آبیاری، تحت تأثیر همزمان نوع سامانه آبیاری و سطح تأمین آب قرار دارد.

از نظر بهره‌وری فیزیکی آب، بیشترین مقادیر در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب برابر با ۱۱/۴ و ۱۴/۳ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب مصرفی حاصل شد. این نتایج بیانگر آن است که سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی علاوه بر افزایش عملکرد، موجب بهبود بهره‌وری آب نیز شده است. بررسی اقتصادی تیمارها نیز نشان داد که اگرچه سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین عملکرد را تولید کرد، اما تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی به دلیل صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف آب و کاهش اندک سود اقتصادی، از نظر مدیریتی و اقتصادی گزینه مناسب‌تری محسوب می‌شود. اختلاف سود حاصل از تیمار ۷۵ درصد نسبت به سطح ۵۰ درصد قابل توجه بود، در حالی‌که اختلاف آن با تیمار ۱۰۰ درصد نسبتاً محدود ارزیابی شد.

بطور کلی با توجه به عملکرد مطلوب، بهبود بهره‌وری مصرف آب، حفظ کیفیت میوه و ضرورت مدیریت بهینه منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی همراه با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار برای تولید انگور رقم سرخ فخری در شرایط منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. با این حال، بررسی پایداری بلندمدت سامانه آبیاری

زیرسطحی، احتمال گرفتگی خروجی‌ها و تغییرات شوری و توزیع نمک در ناحیه ریشه، نیازمند انجام پژوهش‌های تکمیلی در شرایط اقلیمی مشابه است.

پیشنهادات

با توجه به نتایج این پژوهش و برتری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در افزایش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب، استفاده از این سامانه در باغ‌های انگور مناطق خشک و نیمه‌خشک قابل توصیه است. با این حال، به‌دلیل ماهیت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و استقرار لوله‌ها در زیر خاک، بررسی برخی جنبه‌های مدیریتی و فنی در بلندمدت ضروری به نظر می‌رسد. در باغات و درختانی با سیستم ریشه‌ای قوی، احتمال نفوذ و توسعه ریشه‌ها در اطراف یا داخل قطره‌چکان‌ها و لوله‌های فرعی وجود دارد که می‌تواند بر یکنواختی توزیع آب و عملکرد سامانه تأثیر بگذارد. همچنین نحوه توزیع رطوبت در آبیاری زیرسطحی ممکن است الگوی تجمع و جابه‌جایی نمک را در پروفیل خاک تغییر دهد؛ موضوعی که در شرایط استفاده از آب و خاک شور اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های تکمیلی در زمینه ارزیابی بلندمدت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، شامل بررسی توزیع و تجمع نمک در لایه‌های مختلف خاک، تغییرات شوری در ناحیه توسعه ریشه، وضعیت رشد و نفوذ ریشه‌ها به سمت لوله‌های فرعی و قطره‌چکان‌ها، و نیز پایداری عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در دوره‌های زمانی طولانی‌تر (حداقل ۵ ساله) انجام شود. همچنین بررسی روش‌های مدیریتی مناسب برای کاهش خطر گرفتگی قطره‌چکان‌ها و کنترل نفوذ ریشه در شرایط مختلف کیفیت آب آبیاری می‌تواند در توسعه کاربرد این سامانه مؤثر باشد.

فهرست منابع

بی‌نام. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی (محصولات باغی) سال زراعی ۱۳۹۷. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

جلینی، م. ۱۳۸۵. بررسی تاثیر روش آبیاری قطره‌ای و سطوح مختلف آب بر عملکرد و کارایی مصرف آب در انگور. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۷ شماره ۲۸. ص ۷۸-۶۹.

دولتی بانه، ح.، و نورجو، ا. ۱۳۹۰. اثر کم آبیاری بر کمیت، کیفیت میوه و بهره‌وری مصرف آب سه رقم انگور. مجله به‌زراعی نهال و بذر. جلد ۲-۲۷. شماره ۴. ص ۴۵۰-۴۳۵.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار. انتشارات دانشگاه امام رضا. جلد دوم. ۳۶۸ ص.

ملارضا قصاب، ف.، عبدشاهی، ع.، و مرزبان، ا. ۱۳۹۹. تعیین بهره-وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی (مطالعه موردی شهرستان دزفول). مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۱۲، شماره ۳. ص ۷۹-۴۲.

Ayars J. E. Fulton, A. & Taylor B. 2015. Subsurface drip irrigation in California: Here to stay? *Agricultural Water Management*, 157, 39-47. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.001

Al-Amoud A.I. 2010, March. Subsurface drip irrigation for date palm trees to conserve water. In IV International Date Palm Conference 882 (pp. 103-114).

Baiano A. La Notte E. Coletta A. Terracone C. & Antonacci D. 2011. Effects of irrigation volume and nitrogen fertilization on Redglobe and Michele Palieri table-grape cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(1), 57-65.

Chaves M. M. Santos T. P. Souza C. R. Ortuño M. F. Rodrigues M. L. Lopes C. M. Maroco J. P. & Pereira J. S. 2007. *Deficit irrigation in grapevine improves water use efficiency while controlling vigour and production quality*. Annals of Applied Biology, 150(2), 237–252. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x

Kadbhane S. J. Manekar V.L. 2016. An experimental study of the surface and subsurface irrigation methods with respect to soil moisture on grape yard. Journal of Water and Land Development. No. 31 p. 73–85.

Keller M. 2015. *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology* (2nd ed.). The Science of Grapevines Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2013-0-16411-7

Lamm F.R. 2016. Subsurface drip irrigation and possibilities in alfalfa. Proceedings, California Alfalfa and Forage Symposium, November, Reno, Nevada.

Matthews M.A. and Nuzzo V. 2007. Berry size and yield paradigms on grapes and wines quality. Acta Horticulturae, 754: 423–435.

Ma X. Sanguinet K. A. & Jacoby P. W. 2020. *Direct root-zone irrigation outperforms surface drip irrigation for grape yield and crop water use efficiency while restricting root growth*. *Agricultural Water Management*, *231*, 105993. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105993

Miras-Avalos J. M. & Intrigliolo D. S. 2017. Grape composition under abiotic constrains: Water stress and salinity. *Frontiers in Plant Science*, 8, 851.

Pisciotta A. 2017. Subsurface drip irrigation in vineyards: effects on yield, grape quality and water productivity. *Scientia Horticulturae*, 225, pp.85–92.

Paranychianakis N.V. Aggelides S. and Angelakis A.N. 2004. Influence of rootstock, irrigation level and recycled water on growth and yield of Soultania grapevines. Agricultural Water Management, 69, 13-27.

Sheren A. Abed EL-Hamied Zaen El-Deen E. M. A. and El-Hagarey M. E. 2017. Management of Irrigation Systems to Improve Productivity and Quality of Grapevine under Desert Conditions. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. Vol 10. PP 77-90.

Sharma S. P. & Upadhyay A. K. 2011. Effect of drip irrigation on growth, yield and quality of grape cv. Perlette. *Indian Journal of Horticulture*, 68(2), 201-205.

Tehrani M.M. Kamgar-Haghighi A.A. Razzaghi F. Sepaskhah A.R. Zand-Parsa S. and Eshghi S. 2016. Physiological and yield responses of rainfed grapevine under different supplemental irrigation regimes in Fars province, Iran. Scientia Horticulturae, 202, pp.133-141. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.036

Van Halsema G. E. & Vincent L. 2012. Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agricultural Water Management*, 108, pp.9–15.

Williams L. E. Levin A. D. & Fidelibus M. W. 2022. Crop coefficients (Kc) developed from canopy shaded area in California vineyards. *Agricultural Water Management*, 271, 107771.

Ziaolhagh S. 2021. Effects of some salts on the shelf life of Shahrood Sorkh-e-Fakhri table grapes stored in cold storage. food science and technology research ،16(6) ،101-110.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 20, Oct.-Nov. 2026, p. 685-699

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۲۰، مهر - آبان ۱۴۰۵، ص. ۶۹۹-۶۸۵

Comparison of Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems and Their Effects on the Yield and Quality of Sorkh Fakhri (Shahroudi) Grapevines

S. H Mousavi Fazl[1*], S. H Ziaolhagh[2], M. Abedini Esfahlani[3]
Recived: Feb.01, 2026 Accepted: Jun.30, 2026

Abstract

A two-year field experiment was conducted in the vineyards of the Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (Shahroud) to compare surface (DI) and subsurface drip irrigation (SDI) systems and evaluate their effects on the yield and fruit quality of Sorkh Fakhri (Shahroudi) grapevine cultivar. The experiment was arranged as a factorial based on a randomized complete block design. Experimental factors included irrigation method at two levels (surface drip irrigation and subsurface drip irrigation) and irrigation water amount at three levels (50, 75, and 100% of crop water requirement). Reference evapotranspiration was calculated using the Penman–Monteith method, and irrigation water depth was determined based on crop coefficient, canopy cover percentage, and irrigation method. Irrigation treatments were applied at three-day intervals. The effects of experimental treatments on yield, water productivity, and fruit quality parameters including total soluble solids (Brix), acidity, and pH were evaluated. The results showed that irrigation method, irrigation water level, and their interaction had significant effects on grape yield. The highest yields were obtained under subsurface drip irrigation at 75 and 100% of crop water requirement, with values of 51,600 and 53,080 kg ha^{-1}, respectively, with no significant difference between these two treatments. Yield under subsurface drip irrigation was on average 12% higher than that under surface drip irrigation. The irrigation method had no significant effect on fruit quality traits including °Brix, acidity, pH, cluster weight, 30-berry weight, berry length, and berry diameter. However, irrigation water level significantly affected fruit °Brix at the 1% probability level, with the highest value (21.68%) observed in the 75% irrigation treatment. In addition, the interaction effect of irrigation method and irrigation water level on fruit acidity and pH was significant. The highest water productivity values were obtained under subsurface drip irrigation with 50 and 75% of crop water requirement, reaching 11.4 and 14.3 kg m^{-3}, respectively. Considering the favorable yield, improved fruit quality parameters, higher water productivity, and the necessity of water conservation, subsurface drip irrigation with 75% of crop water requirement was identified as the superior treatment.

Keywords: irrigation management, productivity, drip irrigation, garden products

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center Semnan province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran
2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center Semnan province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran
3- Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan Province (Shahrood), AREEO, Shahrood,Iran
(*- Corresponding Author Email: Hmousavifazl@yahoo.com)