Irrigation and Drainage Structures Engineering Research

Vol.26, No.101, Winter, 2025, P. 31-48

Research Article

Effect of Subsurface Drip Irrigation on the Fruit Yield, Water Productivity, and Growth Parameters of Grapevine

Seyed Hassan Mousavi Fazl✉

***Corresponding Author:** Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center Semnan province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran.
(✉ **Corresponding Author**: hmousavifazl@yahoo.com**)**

A R T I C L E. I N F O	HOW TO CITE THIS ARTICLE
Received: 27 January 2026	Mousavifazl, S.H., (2026). Effect of subsurface drip irrigation on the fruit yield water productivity and growth parameters of grapevice. V.26, No.100, P: 31-48
Revised: 14 April 2026	
Accepted: 10 May 2026	
Available Online:30 May 2026	https://doi.org/ 10.22092/idser.2026.372100.1639

Extend Abstract

Intouduction

Drip irrigation is recognized as one of the most efficient methods for irrigating orchards and vineyards in arid and semi-arid regions. This study investigated the effects of two irrigation methods, surface drip irrigation (DI) and subsurface drip irrigation (SDI), on yield, water productivity, growth parameters, and weed development in grapevines. The research was conducted in 2020 and 2021 at the Research Station of Bastam, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shahroud, Iran.

Materials and Methods

The study was designed with two factors: irrigation method (surface and subsurface) and different irrigation water amounts (50%, 75%, and 100% of the plant's water requirement). A split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was carried out. In the surface drip irrigation method, lateral pipes were placed 50 cm far from the tree trunk on the soil surface, while in the subsurface drip irrigation method, the lateral pipes were placed 50 cm far from the tree trunk and at a depth of 40 cm under the soil. Irrigation water was calculated using the Penman-Monteith method, and plants received irrigation every 3 days based on the designated water levels. The study examined the effects of experimental factors on crop yield, water productivity and growth characteristics of trees including the longitudinal growth of branches and their diameter were investigated in different treatments.

Results

The results showed that the effects of irrigation method and irrigation water amount, as well as their interaction effects, on fruit yield were significant at the 5% level. The effect of irrigation method on weed growth was also significant; however, the individual effect of irrigation water amount and its interaction with irrigation method did not significantly affect weed growth. The maximum fruit yield was obtained from the subsurface drip irrigation treatment combined with 75% and 100% of crop water requirement (51,600 and 53,080 kg ha^{-1}, respectively). The yield difference between these two treatments was not statistically significant. The yield difference between subsurface drip irrigation and surface drip irrigation methods was approximately 12%. This indicates that a portion of the water applied to the orchard is lost through surface evaporation and is also used by weeds.

Conclusion

Considering the performance of the treatments and the need to conserve water, the subsurface drip irrigation method with 75% irrigation water is recommended as the best treatment for grape orchards. This method ensures higher water use efficiency and reduced weed growth, while maintaining an adequate crop yield.

Key words: Drip irrigation, Grapevine, Irrigation management, Water productivity, Vineyard

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

All information and results are presented in the text of the article. The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Author contribution

The Author have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgement

The author wishes to express their sincere gratitude for the cooperation of the Vice Presidency for Research and other colleagues at the Semnan (Shahroud) Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, as well as the Agriculture Jehad Organization of Semnan Province.

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۶/شماره ۱۰۱/ زمستان ۱۴۰۵/صفحه ۳۱-۴۸

نوع مقاله: پژوهشی

اثر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد میوه، بهره‌وری آب و پارامترهای رشدی انگور

سید حسن موسوی‌فضل[1]✉

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۲۵ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۰۹

چکیده

به‌منظور بررسی و مقایسهٔ دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و دستیابی به موانع احتمالی این روش‌ها در باغ‌های انگور، پژوهشی از سال ۱۳۹۹ به مدت دو سال در باغ‌های مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) واقع در ایستگاه تحقیقات بسطام به‌اجرا در آمد. در این پژوهش اثر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد میوه، بهره‌وری آب، ویژگی‌های رشدی انگور و رشد علف‌های هرز بررسی شد. این پژوهش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. روش آبیاری در دو سطح (قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی) به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر تأمین آب آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی درخت) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. در روش آبیاری قطره‌ای سطحی، لوله‌های فرعی به فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متر از تنهٔ درخت روی سطح خاک و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از تنهٔ درخت و در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک قرار گرفتند. تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن- مانتیث و با در نظر گرفتن ضریب گیاهی (استخراج‌شده از نشریه ۵۶ فائو)، سطح سایه‌انداز، روش آبیاری و عمق آب آبیاری محاسبه گردید و بر اساس سطوح مختلف آب با دور آبیاری سه روز اعمال شد. در این پژوهش اثر فاکتورهای آزمایشی بر عملکرد میوه، ویژگی‌های رشدی درختان شامل رشد طولی و قطر شاخه‌ها، تعداد برگ در شاخه، بهره‌وری آب و رشد علف‌های هرز در تیمارهای مختلف بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد اثر روش و مقدار آب آبیاری و اثرهای متقابل آن‌ها بر عملکرد میوه درسطح ۵ درصد معنی‌دار است. اثر روش آبیاری بر رشد علف‌های هرز نیز معنی‌دار شد ولی اثر جداگانهٔ آب آبیاری و اثر متقابل روش و آب آبیاری بر رشد علف‌های هرز معنی‌دار نشد. حداکثر عملکرد میوه از تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و حجم آب آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی (به‌ترتیب ۵۱۶۰۰ و ۵۳۰۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. عملکرد این دو تیمار اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. اختلاف عملکرد در دو روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی حدود ۱۲ درصد شد. این امر نشان می‌دهد که بخشی از آب داده شده به باغ عملا صرف تبخیر سطحی می‌شود و به مصرف علف‌های هرز می‌رسد. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطح آب آبیاری ۷۵ درصد بدون در نظر گرفتن نفوذ احتمالی ریشه به داخل قطره چکان‌ها و تجمع املاح در خاک به‌عنوان تیمار برتر پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: سیستم آبیاری، کارایی مصرف آب، مدیریت آبیاری، محصولات باغی

مقدمه

انگور گیاهی است چند ساله که به تابستان‌های گرم و خشک طولانی و زمستان‌های سرد نیاز دارد. تاریخچهٔ کشت آن در ایران به ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد بر می‌گردد. ایران با ۳۱۶ هزار هکتار سطح زیرکشت انگور در رتبهٔ هفتم جهان قرار دارد (Tafazoli *et al*. 1996). انگور از نظر سطح زیرکشت در بین محصولات باغی در کشور رتبه اول، و از نظر اقتصادی بعد از پسته و خرما قرار دارد.

انگور در استان سمنان از نظر سطح زیرکشت (بیش از ۵ هزار هکتار) دارای رتبهٔ چهارم در بین محصولات باغی است. ارقام نسبتا زیادی از انگور در استان کشت می‌شوند. بیشترین سطح زیرکشت انگور مربوط به شهرستان شاهرود

[1] استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، شاهرود، ایران.
(✉نویسنده مسئول: **Email**: hmousavifazl@yahoo.com)

© 2026,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

https://doi.org/ 10.22092/idser.2026.372100.1639

است. رقم سرخ فخری (انگور شاهرودی) یکی از ارقام مهم این شهرستان است که بیش از ۹۰ درصد از ارقام انگور است. این رقم دیررس (پاییزه) با حبه‌های درشت و بیضی شکل، پوست ضخیم و خوشه‌هایی با تراکم متوسط، به‌دلیل سازگاری با شرایط خشک، خاک‌های کم‌عمق و ویژگی‌های مناسب حمل و نقل و انبارداری، انتخاب مناسبی است. برداشت این رقم معمولاً از شهریور ماه آغاز می‌شود و در صورت مساعد بودن هوا، تا اواخر مهرماه ادامه خواهد داشت.

درخت انگور در شرایط کم آبی با تولید ریشه‌های عمیق با شرایط محیطی سازگار می‌شود اما تنش شدید خشکی باعث کندی رشد، تاخیر در رسیدگی، کاهش کیفیت میوه، به هم خوردن تناسب تعداد برگ و میوه و در نهایت کاهش رشد شاخه می‌شود. در مناطقی که تولید انگور وابسته به آبیاری است، آب عمده‌ترین عامل کنترل کنندهٔ کمیت و کیفیت میوه به ویژه در فصل تابستان تلقی می‌شود (Matthews and Nuzzo. 2007).

در حال حاضر در باغ‌های انگور برای حذف تبخیر از سطح خاک در روش‌های آبیاری سنتی و قطره‌ای سطحی[1] (DI) و برخی مشکلات دیگر، از روش قطره‌ای زیرسطحی[2] (SDI) استفاده می‌شود. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، لوله‌های آبده و قطره‌چکان‌ها در عمق ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متری زیرسطح خاک قرار می‌گیرند. آب و عناصر غذایی توسط این لوله ها به طور مستقیم در ناحیهٔ ریشه در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط جغرافیایی سخت و نامناسب برای محصولات مختلف مناسب است. امروزه با طراحی نسل جدید قطره چکان‌های تنظیم کنندهٔ 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 قطره‌چکان‌هاست (Lamm *et al.*, 2016).

در روش آبیاری زیرسطحی، با توجه به اینکه قطره‌چکان‌ها در عمق خاک قرار می‌گیرند، پیاز رطوبتی به شکل کروی فرم می‌گیرد. در روش قطره‌ای سطحی، رطوبت در لایه‌های خاک به حالت نیم‌دایره است و فرم کلی آن پیازی شکل است. بنابراین گیاه در حالت کروی شکل رطوبت داخل خاک، ۳۰ تا ۴۰ درصد دسترسی بیشتری به آب دارد (*L*amm *et al.*, 2007).

در سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به‌دلیل توزیع آب در زیر سطح خاک، رطوبت سطحی کاهش می‌یابد و در بسیاری از موارد رشد علف‌های هرز و شیوع برخی بیماری‌های برگی محدودتر می‌شود. این ویژگی، در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی، می‌تواند منجر به کاهش برخی هزینه‌های مدیریتی گردد. در این سامانه، لوله‌ها و قطره‌چکان‌ها معمولاً از مواد پلیمری مقاوم ساخته می‌شوند و به دلیل استقرار در زیر خاک، در برابر تابش پرتو فرابنفش، نوسان‌های دمایی، آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی ناشی از عملیات زراعی محافظت می‌شوند. با این حال، مدیریت صحیح بهره‌برداری و نگهداری این سامانه، به‌ویژه در زمینهٔ کنترل گرفتگی و خسارت احتمالی جوندگان، برای حفظ عملکرد سامانه ضروری است (Lamm *et al.*, 2007).

در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌دلیل استقرار قطره‌چکان‌ها در زیر سطح خاک، نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی، تبخیر مستقیم از سطح خاک کاهش می‌یابد، هرچند به‌واسطهٔ حرکت مویینهٔ آب در خاک، به‌ویژه در خاک‌های با درصد رس بالا، امکان انتقال رطوبت به سطح خاک و تبخیر وجود دارد. در این سامانه، الگوی توزیع املاح در پروفیل خاک تغییر می‌کند و معمولا نمک‌ها در حاشیه جبههٔ خیس‌شدگی یا لایه‌های سطحی تجمع می‌یابند. بنابراین، پیش‌بینی برنامه مناسب آبشویی برای جلوگیری از تجمع املاح در ناحیهٔ ریشه ضروری است. همچنین، به‌دلیل کاربرد موضعی آب و کاهش رواناب سطحی، کارایی مصرف

[1]Drip Irrigation (DI)

[2]Subsurface Drip Irrigation (SDI)

آب و راندمان کاربرد آب در مقایسه با روش‌های سطحی افزایش می‌یابد (Lamm *et al*., 2016).

در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، لوله‌ها در زیر سطح خاک قرار می‌گیرند، بنابراین هزینه‌های لوله‌گذاری ۳۳ تا ۶۰ درصد کل هزینه‌های خرید لوازم و نصب سیستم را شامل می‌شود. فاصلهٔ لوله‌های فرعی تأثیر مستقیمی بر هزینه‌های اجرای سیستم دارد (Daller *et al*., 2013). در روش زیرسطحی، در صورت تعیین عمق مناسب نصب و فاصله مناسب لوله‌ها، می‌توان عملکرد میوه و بهره‌وری آب را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. عمق بهینهٔ لوله‌های فرعی در این سامانه بر اساس عواملی مانند ویژگی‌های فیزیکی خاک، میزان آب مصرفی و عمق توسعه ریشه تعیین می‌شود (Finger *et al*., 2015).

در پژوهشی، مدیریت سیستم‌های آبیاری با هدف بهبود بهره‌وری آب باغ‌های انگور در شرایط کویری بررسی شد. این آزمایش طی دو فصل متوالی در مصر به‌اجرا درآمد. در این آزمایش فاکتورها شامل آب آبیاری (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز) و سه روش آبیاری (قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و روش قطره‌ای آویزان[1] به‌کار گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین مقدار رطوبت خاک در روش آبیاری زیرسطحی است. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط آب و هوایی مصر (گرم و خشک) از نظر کاهش تلفات تبخیر و کارایی مصرف آب بهترین روش انتخاب شد. حداکثر عملکرد میوه از این روش به‌دست آمد. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مدیریت‌های زراعی و برنامهٔ آبیاری نسبت به روش قطره‌ای سطحی آسان‌تر بوده است. عملکرد در سطح ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت (Sheren *et al*., 2017).

دولتی بانه و نورجو (Dolati Baneh & Noorjoo 2011) در پژوهشی که در باغ‌های انگور استان آذربایجان غربی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری شامل ۱۵۰۰، ۳۵۰۰، ۵۰۰۰ و ۷۰۰۰ مترمکعب در هکتار و وضعیت بدون آبیاری (شاهد) را بر عملکرد میوه بررسی کردند و نشان دادند با افزایش مقدار آب آبیاری تا ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار عملکرد میوه به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. دگاریس و همکاران (DeGaris *et al*., 2015) در پژوهشی با بررسی اثر کم‌آبیاری بر رقم انگور شیرازی نشان دادند کاهش ۲۱ درصد آب مصرفی در فصل رشد در مقایسه با شاهد، سبب کاهش معنی‌داری در وزن خوشه‌های انگور می‌شود.

بررسی‌ها نشان می‌دهند تاکنون پژوهش‌های چندانی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای باغ‌های انگور کشور صورت نگرفته است. در استان سمنان بیش از ۵ هزار هکتار باغ انگور وجود دارد که بخش زیادی از آن‌ها با روش‌های سنتی آبیاری می‌شود. اما از روش آبیاری قطره‌ای سطحی نیز در سطح نسبتا زیادی استفاده می‌شود. شرایط خشک استان و پتانسیل ۲۲۰۰ میلی‌متر تبخیر سبب شده تا بخش قابل توجهی از آب کاربردی در باغ‌ها از طریق تبخیر تلف شود. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ‌های استان نیز به دلیل مزیت‌های نسبی در حال گسترش است. اما به دلیل وجود برخی نگرانی‌ها و مشکلات احتمالی (محدودیت‌های موجود در کیفیت آب و خاک) در محصولات باغی و مخصوصا انگور، نیازمند بررسی و رو آوردن به کارهای پژوهشی است. این پژوهش با هدف رفع این نگرانی‌ها و به‌عنوان طرح مقدماتی در باغ‌های انگور به‌اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای پژوهش باغ‌های ایستگاه تحقیقات کشاورزی بسطام متعلق به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) واقع در کیلومتر ۳ شاهرود با متوسط بارندگی سالانه ۱۴۵ میلی‌متر بود. براساس آمار دراز مدت ۵۰ ساله، دورهٔ خشک از اواسط اردیبهشت شروع و تا نیمهٔ آبان ادامه دارد. بقیهٔ ماه‌های سال

[1]Suspended dripirrigation

جزو دورهٔ مرطوب منطقه محسوب می‌گردد. اقلیم منطقه مطابق طبقه‌بندی آمبروژه خشک و سرد است (Anon. 2019).

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 و مقدار رطوبت در حد ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی با استفاده از صفحات فشاری[1] در مکش‌های ۰/۳ و ۱۵ بار تعیین شد. با استفاده از گل اشباع تهیه شده از نمونه خاک pH آن با دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی خاک با دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. فسفر خاک به روش اسپکتروفتومتر[2]، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال و پتاسیم با روش استات آمونیوم با دستگاه فلیم فتومتر[3] مدل جنوی[4] تعیین شد (جدول ۱). برای تعیین کیفیت آب آبیاری، نمونه‌ای از منبع آب تهیه و آزمایش شد. نتایج تجزیهٔ کیفی آب در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک باغ آزمایشی

Table 1. Physical and chemical properties of the soil of the experimental orchard

ویژگی Properties	عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)	
	۰ - ۳۰	۳۰-۶۰
۱- بافت خاک	لوم	لوم
الف- درصد شن	۴۵	۴۵
ب- درصد سیلیت	۳۲	۳۴
ج- درصد رس	۲۳	۲۱
۲- وزن مخصوص ظاهری (gr/cm3)	۱/۴۶	۱/۵۹
۳- رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه(درصد)	۲۰/۷	۱۹/۷
۴- رطوبت وزنی در نقطهٔ پژمردگی(درصد)	۹/۵	۹
۵- اسیدیته خاک (pH)	۷/۹	۷/۸
۶- هدایت الکتریکی عصارهٔ 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- نیتروژن کل(درصد)	۰/۰۵	۰/۰۵

جدول۲- نتایج تجزیهٔ کیفی آب مورد استفاده در پژوهش

Table 2. Results of the qualitative analysis of the water used in the research

هدایت الکتریکی(EC) (میکروموس برسانتی‌متر) Electrical conductivity (µmhos/cm)	pH	کاتیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر) Cations (meq/L)			آنیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر) Anions (meq/L)		SAR[5]
		$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	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] Pressure Plate
[2] Spectrophotometer
[3] Flam Photometer
[4] Jenway
[5] Sodium adsorption ratio

روش پژوهش

طرح در قالب کرت‌های خرد شده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل : ۱- روش آبیاری قطره‌ای در دو سطح (الف – آبیاری قطره‌ای سطحی ب- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) ۲- مقادیر آب آبیاری در سه سطح ۵۰، ۷۵، و ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز درخت. در این پژوهش روش، آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی و سطوح مختلف آب آبیاری به‌عنوان عامل فرعی در داخل هر کرت اصلی به‌طور تصادفی اعمال شدند (شکل ۱). در این پژوهش، از رقم انگور سرخ فخری (معروف به رقم شاهرود) استفاده شد. سن درختان این باغ ۲۰ سال و سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی ۱۰ سال پیش از شروع آزمایش در آن اجرا شده بود. آرایش لوله‌های فرعی با فاصله ۵۰ سانتی‌متری از تنه درختان و به‌صورت یک ردیفه و قطره‌چکان‌ها با آبدهی ۴ لیتر در ساعت به فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متر روی لوله‌ها نصب شده‌اند. 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 آنتی‌سیفون انتخاب شدند. برای جلوگیری از ورود ریشه‌ها به داخل لوله‌ها، در طول پژوهش هر ۳۰ روز یک بار، محلول اسید فسفریک یک درصد به داخل سیستم تزریق شد. محلول با استفاده از پمپ تزریق شیمیایی متصل به شبکه، وارد سیستم لوله‌ها شد تا از رشد ریشه و گرفتگی سیستم جلوگیری گردد.

شکل ۱– سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ‌های انگور (ایستگاه تحقیقات کشاورزی بسطام)

Fig 1. Subsurface drip irrigation system in vineyards (Bastam Agricultural Research Station)

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.

محاسبهٔ آب آبیاری

نیاز آبی گیاه مرجع یا تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه (ET_0) براساس آمار روزانه هواشناسی (ایستگاه هواشناسی واقع در اراضی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود))، با روش پنمن- مانتیث اصلاح شده توسط فائو (FAO-56) محاسبه شد. نیاز آبی انگور با در نظر گرفتن ضریب گیاهی با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 2006).

$$U_d = ET_o . K_c \qquad (۱)$$

در این رابطه :

U_d = آب مصرفی روزانه گیاه (میلی‌متر)،

ET_o = میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر)، و

K_c = ضریب گیاهی است.

میزان متوسط تعرق روزانه گیاه در روش آبیاری قطره‌ای از رابطهٔ ۲ محاسبه شد (Alizadeh, 2006).

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

در این رابطه:

T_d = متوسط تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر)،

U_d= متوسط آب مصرفی روزانه گیاه (میلی‌متر)، و

P_s= سطح سایه‌انداز گیاه (درصد) است.

سطح سایه‌انداز درخت در زمان‌های مختلف در فصل تعیین شد. برای این منظور در فصل و به فاصله‌های مشخص مساحت سایه اندازه چند درخت اندازه‌گیری و سپس با تقسیم مساحت سایه‌اندازه هر درخت بر حاصل ضرب فاصلهٔ درختان، درصد سطح سایه‌انداز محاسبه می‌شود. عمق ناخالص آبیاری از رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود.

$$I_g = \frac{T_d}{E} \quad (۳)$$

در رابطهٔ ۳، E راندمان آبیاری است.

راندمان آبیاری در این پژوهش ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. راندمان ۹۰ درصد در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌دلیل نصب لوله‌ها در عمق مناسب (عمق ۴۰ سانتی‌متر) است که موجب کاهش تبخیر و جلوگیری از رواناب می‌گردد، و نیز به دلیل به کارگیری قطره‌چکان‌های جبران‌کنندهٔ فشار است که توزیع یکنواخت آب را تضمین می‌کنند، و از طرفی گسترش عمقی و سطحی سیستم ریشه‌های درختان انگور به سهولت در دسترس است.

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

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

در این رابطه :

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

در این پژوهش دور آبیاری ۳ روز در نظر گرفته شد. حجم آب آبیاری با کنتورهای حجمی اندازه‌گیری شد که در تیمارهای مختلف تعبیه شده بودند. در هر تیمار چند درخت یکسان انتخاب و خصوصیات رشدی درختان شامل رشد طولی شاخه‌ها و قطر آن‌ها در فاصله‌های زمانی مشخص در فصل رشد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد نیز در هر تیمار آزمایشی ۵ درخت با شرایط یکسان (از ردیف‌های وسط و با رعایت حذف اثرهای حاشیه‌ای) انتخاب و مقدار کل محصول آن‌ها برداشت و وزن شد. تراکم علف‌های هرز در هر تیمار با روش‌های استاندارد تعیین و در تیمارهای مختلف بررسی شد. در پایان هر سال داده‌ها جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل گردید و در پایان سال دوم تجزیه مرکب داده‌ها اجرا شد.

بهره‌وری آب و تحلیل اقتصادی

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

$$WP = \frac{\mathrm{Y}}{\mathrm{I} + \mathrm{Pe}} \quad (۵)$$

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

$$WPe = \frac{\mathrm{VA}}{\mathrm{I} + \mathrm{Pe}} \quad (۶)$$

در این رابطه‌ها؛

WP بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم به‌ازای هر متر مکعب آب)، WP_e بهره‌وری اقتصادی آب (ریال به ازای هر متر مکعب آب)، Y عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)، I و P_e به‌ترتیب حجم آب آبیاری و بارندگی موثر طی فصل رشد (متر مکعب در هکتار) و VA سود خالص (ریال در هکتار) است. برای محاسبه سود خالص، باید 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 شود (Ghassab *et al*., 2020) .

نتایج و بحث

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند. نتایج تجزیهٔ مرکب داده‌ها نشان داد که اثر روش آبیاری (فاکتور A)، مقدار آب آبیاری (فاکتور B) و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد میوه انگور معنی‌دار است (جدول ۳). این نتایج با گزارش‌های شرن و همکاران (Sheren *et.al.*, 2017) در شرایط اقلیمی گرم و خشک مصر همسوست؛ این محققان عملکرد بالاتر و معنی‌دار روش قطره‌ای زیرسطحی و برهمکنش آن را با سطوح میانی و بالای آب آبیاری (۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) تأیید کرده‌اند.

در این پژوهش، برتری معنی‌دار اثر متقابل روش قطره‌ای زیرسطحی با سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی را که منجر به حداکثر عملکرد شد می‌توان به افزایش دسترسی ریشه به رطوبت در عمق بیش از ۳۵ سانتی‌متری خاک و شکل‌گیری پیاز رطوبتی کروی در روش قطره‌ای زیرسطحی نسبت داد. به گفتهٔ لام و همکاران (Lamm *et al*., 2007) این ویژگی تا ۴۰ درصد دسترسی گیاه به آب را افزایش می‌دهد.

از سوی دیگر، نبود تفاوت معنی‌دار بین عملکرد در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش زیرسطحی، نشان‌دهنده پتانسیل صرفه‌جویی ۲۵ درصد آب بدون کاهش عملکرد است. این یافته با نتایج دگاریس و همکاران (DeGaris *et al*., 2015) همخوانی دارد که کاهش ۲۱ درصدی آب را بدون افت عملکرد در انگور رقم شیرازی امکان‌پذیر دانستند.

در مقابل، اثر متقابل در روش سطحی احتمالاً به دلیل تلفات بیشتر تبخیر از سطح خاک (Lamm *et al*., 2016) و رقابت علف‌های هرز (که در پژوهش حاضر نیز اثر معنی‌دار روش آبیاری بر رشد علف‌های هرز تأیید گردید) نتوانست در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی عملکرد قابل قبولی ایجاد کند. بنابراین، برهمکنش معنی‌دار روش و مقدار آب آبیاری ضرورت انتخاب توأمان نوع سیستم و سطح آبیاری را برای دستیابی به حداکثر عملکرد در شرایط خشک نشان می‌دهد.

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس مرکب داده‌های عملکردی انگور

Table 3. Combined analysis of variance of grape yield

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean square
سال (y)	۱	۶۳۶۰۰۶۲۵ ns
تکرار × سال (R×y)	۴	۷۳۳۵۶۲۵
روش آبیاری (A)	۱	۲۰۰۹۲۸۰۶۲۵ *
روش آبیاری × سال (y × A)	۱	۶۸۰۶۲۵
مقدار آب آبیاری (B)	۲	۹۲۳۲۳۰۰۰۰ **
مقدار آب آبیاری × سال (y×B)	۲	۱۲۱۰۰۰۰
اثر متقابل روش آبیاری × مقدار آب آبیاری (A×B)	۲	۱۱۱۰۱۷۵۰۰ *
اثر متقابل روش آبیاری × مقدار 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 نبودن داده‌ها.

اثر روش آبیاری بر طول شاخه، قطر شاخه و تعداد برگ در شاخه معنی‌دار نشد (جدول ۴). اما اثر مقدار آب آبیاری بر پارامترهای رشدی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر طول و قطر شاخه معنی‌دار شد. انگور به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده، قادر به تحمل تنش خشکی تا حد زیادی است و در برخی منابع به عنوان گیاهی ذاتاً دیم معرفی شده است؛ با این حال، این گیاه به تأمین آب مورد نیاز خود واکنش نشان می‌دهد. بنابراین در شرایط رطوبت کافی، عملکرد، پارامترهای رشدی و بهره‌وری مصرف آب افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش با یافته‌های پیسیوتا (Pisciotta, 2017) و جلینی (Jolini, 2006) همسوست.

اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر طول و قطر شاخه‌ها معنی‌دار شد، اما این اثر بر تعداد برگ در شاخه معنی‌دار نگردید. از نظر فیزیولوژیکی، این الگو را می‌توان به حساسیت متفاوت فرآیندهای رشدی انگور به کمبود آب نسبت داد (Lebon *et al.*, 2006). رشد طولی و قطری شاخه‌ها به فرآیندهای تقسیم و طویل‌شدن سلولی وابسته هستند که به سرعت تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب سلول ناشی از خشکی قرار می‌گیرند (Kozlowski & Pallardy, 2002). در مقابل، تعداد برگ در شاخه عمدتاً توسط تعداد گره‌های تعیین‌شده در مراحل اولیه رشد و الگوی فیلوتاکسی کنترل می‌شود و تغییرات کوتاه‌مدت رطوبت خاک طی فصل رشد تأثیر کمتری بر آن دارد. این یافته با گزارش‌های چاوس و همکاران (Chaves *et al.*, 2010) همسو است که نشان دادند انگور در شرایط کم‌آبی رشد رویشی را به قیمت حفظ سطح برگ کاهش می‌دهد. بنابراین، طول و قطر شاخه به عنوان شاخص‌های حساس‌تر، برای ارزیابی پاسخ به تنش خشکی مناسب‌تر از تعداد برگ هستند.

جدول ٤- تجزیهٔ واریانس مرکب داده‌های رشدی انگور (میانگین مربعات)

Table 4. Combined analysis of variance of grape growth data (mean squares)

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	طول شاخه Shoot length	قطر شاخه Shoot diameter	تعداد برگ در شاخه Number of leaves per shoot
سال (y)	۱	۱۴/۰۶۳ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
تکرار × سال (R×y)	۴	۲۹۷/۱۳	۱/۴۸۷	۱/۸۷۲
روش آبیاری (A)	۱	۲۷۸/۳۳ ns	۲۱/۱۶۰ ns	۰/۰۷۱ ns
روش آبیاری × سال (y × A)	۱	۰/۷۲۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
مقدار آب آبیاری (B)	۲	۱۵۶۹/۹ *	۲۸/۰۶۸ **	۱۸/۱۲ **
مقدار آب آبیاری × سال (y×B)	۲	۱۴/۰۶۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
اثر متقابل روش آبیاری × مقدار آب آبیاری (A×B)	۲	۲۸/۶۷۹ *	۲/۵۴۳ *	۲/۹۶۸ ns
اثر متقابل روش آبیاری × مقدار آب آبیاری × سال	۲	۰/۷۲۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
خطا	۲۰	۱۹۸/۸۱	۳/۵۶	۴/۸۰۷
کل	۳۵			
ضریب تغییرات		**۱۳**	**۱۱/٤**	**۱۱/٦**

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

اثر روش آبیاری بر رشد علف‌های هرز در باغ (وزن تر و خشک) معنی‌دار شد (جدول ۵). این یافته‌ها با نتایج تحقیقات شاتکوفسکی و همکاران (Shatkovskyi *et al.*, 2022) مبنی بر کاهش ۱/۶ برابری رشد علف‌های هرز در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی همسوست. این محققان گزارش داده‌اند که آبیاری قطره‌ای

زیرسطحی با تأمین آب در عمق خاک (بیش از ۳۵ سانتی‌متر) و خشک نگه داشتن سطح خاک، آب محدودی برای جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز فراهم می‌کند. بنابراین بذر علف‌های هرز با شرایط سخت‌تری برای سبز شدن مواجه می‌شوند. در روش آبیاری قطره‌ای سطحی، پخش آب روی سطح خاک موجب افزایش رطوبت لایه‌های سطحی می‌شود و شرایط مساعدی برای جوانه‌زنی و استقرار بذر علف‌های هرز ایجاد می‌کند.

جدول ۵ – تجزیهٔ واریانس داده‌های رشد علف‌های هرز (میانگین مربعات)

Table 5. Analysis of variance of weed growth data (mean squares)

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	وزن تر (گرم) Fresh weight (g)	وزن خشک (گرم) Dry weight (g)
سال (y)	۱	۸۴/۰۲۸ ns	۰/۱۱۱ ns
تکرار × سال (R×y)	۴	۱۶۶۵/۸۳	۴۰۷/۴۳۹
روش آبیاری (A)	۱	۱۹۲۶۹۱/۷۳ **	۲۰۸۸۰/۲۵۰ **
روش آبیاری × سال (A × y)	۱	۹۳/۴۴	۰/۱۱۱
مقدار آب آبیاری (B)	۲	۱۴۷۷۷/۲۷ ns	۱۸۶۰/۵۵ ns
مقدار آب آبیاری × سال (y×B)	۲	۲۱۷/۰۲۸	۰/۱۱۱
اثر متقابل روش آبیاری × مقدار آب آبیاری (A×B)	۲	۲۸۱۴۲/۱۹۴ ns	۳۵۱۶/۲۱ ns
اثر متقابل روش آبیاری × مقدار آب آبیاری × سال (y×A×B)	۲	۲۰۷/۴۴	۰/۱۱۱
خطا	۲۰	۱۱۷۰۶/۶۹۹	۱۳۱۷/۲۵۵
کل	۳۵		
ضریب تغییرات		**۲۰/۲**	**۲۲/۸۸**

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

اثر تیمارها بر عملکرد میوه (مقایسه میانگین‌ها)

جدول (۶) مقایسهٔ میانگین‌های عملکرد میوه در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. براساس نتایج این جدول، بین عملکرد تیمارها با مقدار آب آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (سال اول، دوم و تجزیه مرکب). هرچند با افزایش مقدار آب آبیاری از ۷۵ به ۱۰۰ درصد عملکرد افزایش یافته است. عملکرد در تیمار با مقدار ۵۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری با دو تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد دارد. این کاهش عملکرد در تنش‌های زیاد، شدت بیشتری دارد. جلینی (Jolini 2006) و شرن و همکاران (Sheren *et al.*, 2017) نیز نتایج مشابهی گرفتند. این محققان می‌گویند با افزایش آب آبیاری در باغ‌های انگور عملکرد افزایش می‌یابد.

نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد که عملکرد میوه در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به روش قطره‌ای سطحی حدود ۱۲ درصد افزایش دارد. این افزایش عملکرد در روش قطره‌ای زیرسطحی احتمالا به دلیل حذف تلفات تبخیر، کاهش تراکم علف‌های هرز، فراهم‌بودن آب بیشتر و شرایط رشد بهتر برای انگور است. نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران همخوانی دارد. برخی پژوهشگران گفته‌اند استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ‌های انگور کالیفرنیا سبب افزایش بهره‌وری آب، کاهش تلفات تبخیر، کاهش رشد علف‌های هرز و افزایش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (Pisciotta, 2017).

جدول ٦- اثر تیمارها بر عملکرد میوه

Table 6. Effect of treatments on fruit yield

تیمار Treatment	سطوح تیمارها Treatment levels	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب (میانگین دو سال)
مقدار آب آبیاری	۵۰	۴۰۱۵۰ a	۳۸۲۲۵ a	۳۹۱۸۷ a
	۷۵	۵۰۸۰۰ b	۴۹۷۷۵ b	۵۰۲۸۷ b
	۱۰۰	۵۲۷۵۰ b	۵۰۷۲۵ b	۵۱۲۳۷ b
روش آبیاری	قطره‌ای سطحی	۴۲۹۰۰ a	۳۹۹۶۷ a	۴۱۴۳۳ a
	قطره‌ای زیرسطحی	۴۷۵۶۷ b	۴۶۱۸۳ b	۴۶۳۷۵ b

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

اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر عملکرد میوه

جدول (۷) مقایسهٔ میانگین اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری را بر عملکرد میوه نشان می‌دهد. نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان می‌دهد اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر عملکرد معنی‌دار است. حداکثر عملکرد میوه در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با دو حجم آب آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب ۵۱۶۰۰ و ۵۳۰۸۰ کیلوگرم در هکتار، حاصل شد. عملکرد این دو تیمار اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. روش آبیاری قطره‌ای سطحی با مقدار آب آبیاری ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز در سطح پایین‌تری قرار دارد (۴۸۴۰۰ کیلوگرم در هکتار). اختلاف عملکرد میوه در دو روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی (۱۲ درصد) قابل توجه است. این امر نشان می‌دهد که بخشی از آب داده شده به باغ عملا صرف تبخیر سطحی و علف‌های هرز می‌گردد. بنابراین، با توجه به عملکرد تیمارها و لزوم صرفه‌جویی در مصرف آب، روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطح آب آبیاری ۷۵ درصد به‌عنوان تیمار برتر پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۷- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر عملکرد میوه

Table 7. Mean comparison of the interaction effect of irrigation method and water amount on fruit yield

ردیف Row	تیمار Treatment	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب (دو سال)
۱	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۳۶۶۰۰ d	۳۳۵۵۰ d	۳۴۹۳۰ d
۲	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۴۲۹۰۰ c	۳۹۰۵۰ c	۴۰۹۸۰ c
۳	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۴۹۵۰۰ b	۴۷۳۰۰ b	۴۸۴۰۰ b
۴	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۴۴۰۰۰ bc	۴۲۹۰۰ bc	۴۳۴۵۰ bc
۵	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۵۲۷۰۰ a	۵۰۵۰۰ a	۵۱۶۰۰ a
۶	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۵۴۰۰۰ a	۵۲۱۵۰ a	۵۳۰۸۰ a

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

اثر تیمارها بر ویژگی‌های رشدی

رشد طولی شاخه‌ها

جدول (۸) مقایسهٔ میانگین اثر روش و مقدار آب آبیاری بر رشد طولی سالیانه شاخه‌ها را نشان می‌دهد. اگرچه اثر روش آبیاری بر رشد طولی شاخه‌ها معنی‌دار نیست، اما رشد طولی شاخه‌ها در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (۱۱۱/۶ سانتی‌متر) بیشتر از رشد طولی شاخه‌ها در روش آبیاری قطره‌ای سطحی (۱۰۶ سانتی‌متر) است. از سوی

دیگر، اثر مقدار آب آبیاری بر رشد طولی شاخه‌ها معنی‌دار است. با افزایش مقدار آب آبیاری، رشد طولی شاخه‌ها افزایش یافته است. در مقابل، افزایش مقادیر آب آبیاری به طور معنی‌داری رشد طولی شاخه‌ها را افزایش داده است به طوری که بیشترین رشد طولی (۱۲۰/۷ سانتی‌متر) در بالاترین سطح آبیاری مشاهده شده است. این یافته‌ها بیانگر آن است که تأمین کافی آب، عامل اصلی محرک رشد رویشی در شاخه‌هاست.

اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر رشد طولی شاخه‌ها نیز معنی‌دار است (جدول ۹). حداکثر رشد طولی سالیانه شاخه‌ها، ۱۲۲، ۱۱۹ و ۱۱۲ سانتی‌متر، به‌ترتیب در سه تیمار روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی با مقدار آب ۱۰۰ درصد و قطره‌ای زیرسطحی با مقدار آب آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی به‌دست آمده است. اندازهٔ شاخه‌ها در این سه تیمار اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی با مقدار آب آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی، کمترین رشد طولی (۹۵/۸ سانتی‌متر) را داشته است.

جدول ۸- اثر تیمارها بر رشد سالیانه شاخه‌ها (طول شاخه)

Table 8. Effect of treatments on annual shoot growth (shoot length)

تیمار Treatment	سطوح تیمارها Treatment levels	طول شاخه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب (میانگین دو سال)
مقدار آب آبیاری	۵۰	۹۸ a	۹۷ a	۹۸ a
	۷۵	۱۰۷/۸ a	۱۰۸ a	۱۰۷/۸ a
	۱۰۰	۱۲۲/۶ b	۱۱۸/۸ b	۱۲۰/۷ b
روش آبیاری	قطره‌ای سطحی	۱۰۶/۵ a	۱۰۵/۵ a	۱۰۶ a
	قطره‌ای زیرسطحی	۱۱۲/۴ a	۱۱۰/۸ a	۱۱۱/۶ a

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

جدول ۹- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر رشد طولی شاخه‌ها

Table 9. Mean comparison of the interaction effect of irrigation method and water amount on shoot length growth

ردیف Row	تیمار Treatment	طول شاخه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب
۱	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۹۷ c	۹۵/۵ c	۹۵/۸ c
۲	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۱۰۳ bc	۱۰۲/۸ bc	۱۰۳/۲ bc
۳	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۱۲۰/۵ ab	۱۱۷/۶ ab	۱۱۹ ab
۴	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۱۰۱ c	۹۸/۵ c	۱۰۰ c
۵	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۱۱۲/۳ abc	۱۱۳ abc	۱۱۲/۳ abc
۶	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۱۲۴/۷ a	۱۲۰ a	۱۲۲/۴ a

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

رشد قطر شاخه‌ها

نتایج تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر مستقلِ روش آبیاری (قطره‌ای سطحی در مقایسه با قطره‌ای زیرسطحی) بر رشد قطری سالیانه شاخه‌ها معنی‌دار نیست؛ یعنی هر دو روش احتمالاً با فراهم‌سازی شرایط رطوبتی مشابه در منطقهٔ ریشه، به یک سطح یا نزدیک به یک سطح از رشد قطری منجر شده‌اند. در مقابل، اثر معنی‌دار مقدار آب آبیاری نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آب و تأمین آب کافی برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی درخت، شرایط بهتری برای رشد رویشی انگور فراهم شده است. از طرف دیگر، معنی‌دار بودن اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری نیز بیانگر این است که پاسخ رشد قطر شاخه به افزایش مقدار آب، در دو روش

یکسان نیست و مزیت احتمالی روش زیرسطحی (کاهش تلفات تبخیر و بهبود یکنواختی توزیع رطوبت در پروفیل خاک) می‌تواند در سطوح مشخصی از آب آبیاری خود را بهتر نشان دهد (جدول‌های ۱۰ و ۱۱).

جدول ۱۰- اثر تیمارها بر رشد سالیانه قطر شاخه‌ها

Table 10. Effects of treatments on annual growth of shoot diameter

تیمار Treatment	سطوح تیمارها Treatment levels	قطر شاخه (میلی‌متر) Shoot diameter (mm)		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب (دو سال)
مقدار آب آبیاری	۵۰	۷/۴ b	۷ b	۷/۲ b
	۷۵	۸/۸ a	۹ a	۹/۲ a
	۱۰۰	۱۰/۴ a	۱۰/۱ a	۱۰/۲ a
روش آبیاری	قطره ای سطحی	۹/۴ a	۹/۸ a	۹/۶ a
	قطره ای زیرسطحی	۷/۸ a	۸/۴ a	۸/۱ a

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

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل روش و مقدار آب آبیاری بر قطر شاخه‌ها

Table 11. Mean comparison of the interaction effect of irrigation method and water amount on shoot diameter

ردیف Row	تیمار Treatment	قطر شاخه (میلی‌متر) Shoot diameter (mm)		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب
۱	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۷/۹bc	۸bc	۷/۸bc
۲	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۹/۶ ab	۹/۷ ab	۹/۶ ab
۳	روش آبیاری قطره ای سطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۱۱/۵ a	۱۱/۶ a	۱۱/۴ a
۴	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۵۰ درصد	۷ c	۶/۲ c	۶/۵ c
۵	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۷۵ درصد	۸/۷ bc	۸/۹ bc	۸/۸bc
۶	روش آبیاری قطره ای زیرسطحی و مقدار آب ۱۰۰ درصد	۸/۸ bc	۸/۶ bc	۸/۹ bc

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

تعداد برگ در شاخه

تجزیهٔ داده‌ها نشان می‌دهد اثر جداگانه روش آبیاری (قطره‌ای سطحی و زیرسطحی) بر تعداد برگ در شاخه معنی‌دار نیست. اما مقدار آب آبیاری بر تعداد برگ در شاخه موثر و معنی‌دار است. با افزایش مقدار آب آبیاری، تعداد برگ در شاخه افزایش یافته است (جدول ۱۲). این امر نشان می‌دهد که تأمین آب کافی فعالیت‌های فیزیولوژیکی درخت را افزایش می‌دهد و سبب رشد بیشتر اندام‌های هوایی می‌گردد.

جدول ۱۲- اثر تیمارها بر تعداد برگ در شاخه

Table 12. Effects of treatments on leaves per shoot

تیمار Treatment	سطوح تیمارها Treatment levels	تعداد برگ در شاخه Number of leaves per shoot		
		سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب (دو سال)
مقدار آب آبیاری	۵۰	۱۷ a	۱۸ b	۱۸ b
	۷۵	۱۹ a	۲۰ a	۲۰a
	۱۰۰	۲۱ b	۲۰ a	۲۱ a
روش آبیاری	قطره ای سطحی	۱۹/۵ a	۱۸/۲ a	۱۹ a
	قطره ای زیرسطحی	۱۸/۵ a	۱۹/۲ a	۱۸/۸ a

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

اثر تیمارها بر رشد علف‌های هرز

مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان می‌دهد اثر روش آبیاری (قطره‌ای سطحی و زیرسطحی) بر رشد علف‌های هرز معنی‌دار است. وزن تر علف‌های هرز در روش آبیاری قطره‌ای سطحی ۶۰۹/۹ و در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۴۶۳/۶ گرم در هر متر مربع است (جدول ۱۳). روش آبیاری قطره‌ای سطحی شرایط مناسب‌تری برای رشد و تراکم علف‌های هرز فراهم می‌کند که یکی از معایب این روش محسوب می‌شود. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی چون قطره‌چکان‌ها خیلی پایین‌تر از بذر علف‌های هرز قرار دارند، قدرت جوانه زنی بذر کاهش می‌یابد. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی این امر به کاهش تراکم علف‌های هرز (مخصوصا علف‌های یکساله) کمک می‌کند.

اثر مقدار آب بر رشد علف‌های هرز معنی‌دار است. با افزایش مقدار آب، وزن علف‌های هرز روند افزایشی نشان داده‌است. بین وزن علف‌های هرز در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصدنیاز آبی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با افزایش سطح آب از ۷۵ درصد به ۱۰۰ درصد، وزن علف‌های هرز افزایش یافته است. کمترین وزن تر و خشک علف‌های هرز در تیمار ۵۰ درصد مشاهده می‌شود (جدول ۱۳).

جدول ۱۳- اثر تیمارها بر رشد علف‌های هرز

Table 13. Effect of treatments on weed growth

تیمار Treatment	سطوح تیمارها Treatment levels	وزن علف‌های هرز (گرم در متر مربع) Weed weight (g/m²)	
		وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight
	۵۰	۴۹۷/۵ b	۱۴۴/۳ b
مقدار آب آبیاری	۷۵	۵۶۵ a	۱۶۶/۹ a
	۱۰۰	۵۴۷/۷ a	۱۶۴/۶ a
روش آبیاری	قطره ای سطحی	۶۰۹/۹ a	۱۸۲/۷ a
	قطره ای زیرسطحی	۴۶۳/۶ b	۱۳۴/۵ b

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

حجم آب کاربردی

در منطقه، آبیاری از اول اردیبهشت ماه آغاز می‌شود و معمولا تا اواسط مهر ماه ادامه می‌یابد. حجم کل آب داده شده به تیمارها (با لحاظ‌کردن بارندگی موثر) در سال‌های اجرای پژوهش در جدول (۱۴) ارائه شده است. حجم آب کاربردی در هر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی در تیمارهای مشابه یکسان است (آبدهی قطره‌چکان‌ها در هر دو روش برابر ۴ لیتر در ساعت). اختلاف حجم آب کاربردی در سال‌های اجرای پژوهش به دلیل اختلاف در بارندگی و پارامترهای هواشناسی است.

جدول ١٤- حجم آب کاربردی در طول سال‌های پژوهش (مترمکعب در هکتار)

Table 14. Applied water volume (m³/ha)

سطح آب آبیاری (درصد) Irrigation level (%)	سال (Year)	
	۱۳۹۹	۱۴۰۰
۵۰	۲۸۸۰	۳۰۷۵
۷۵	۴۳۲۰	۴۶۱۲
۱۰۰	۵۷۶۰	۶۱۵۰

بهره‌وری فیزیکی آب

جدول (۱۵) بهره‌وری فیزیکی آب را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. حداکثر بهره‌وری آب از تیمارهای روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطوح آب ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب برابر با ۱۱/۴ و ۱۴/۳ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب به‌دست آمد. تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کمترین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب (۸ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب) را به‌دست داده است.

جدول۱۵- بهره‌وری آب در تیمارها

Table 15. Water productivity under different treatments

ردیف Row	تیمار Treatment	حجم آب (مترمکعب در هکتار) Water volume (m^3/ha)		عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)		بهره‌وری (کیلوگرم بر مترمکعب) Productivity (kg/m^3)	
		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 حداکثر بهره‌وری آب از تیمارهای روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سطوح آب ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب برابر با ۱۱/۴ و ۱۴/۳ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب به‌دست آمد، بهره‌وری اقتصادی برای هر سه سطح نیاز آبی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اجرا (سال۱۴۰۰) و نتایج آن در جدول (۱۶) ارائه شده است. براساس نتایج جدول (۱۶)، 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 توجهی نسبت به سطح آب ۵۰ درصد دارد (قیمت هر کیلو انگور ۲۰ هزار تومان بوده و هزینه‌های تولید منظور نشده زیرا تاثیری در مقایسه تیمارها نداشت). 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.

جدول۱۶- بهره‌وری اقتصادی آب در تیمارهای پژوهشی در سال ۱۴۰۰

Table 16. Economic water productivity under the research treatments in 2021

تیمار Treatment	حجم آب (مترمکعب در هکتار) Water volume (m^3/ha)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)	بهره‌وری (کیلوگرم بر مترمکعب) Productivity (kg/m^3)	درآمد ناخالص (میلیارد تومان در هکتار) Gross revenue (billion Tomans/ha)
قطره‌ای زیرسطحی و آب ۵۰ درصد	۳۱۷۵	۴۲۹۰۰	۱۴/۳	۰/۸۵۸
قطره‌ای زیرسطحی و آب ۷۵ درصد	۴۷۶۳	۵۰۵۰۰	۱۱/۴	۱/۰۱۰
قطره‌ای زیرسطحی و آب ۱۰۰ درصد	۶۳۵۰	۵۲۱۵۰	۸/۸	۱/۰۴۳

نتیجه‌گیری

روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ‌ها یکی از روش‌های کارآمد و مناسب در مناطق گرم و خشک است. این روش به دلیل کاهش تلفات تبخیر در مناطق خشک، کارایی بسیار بالایی دارد. از طرف دیگر، تداخل‌نداشتن این روش با تردد ماشین‌ها و ادوات کشاورزی، مانع از آسیب‌دیدگی لوله‌ها می‌شود. این عامل بر توانایی و قابلیت این روش آبیاری می‌افزاید. اما از مهم‌ترین مشکلات آن، گرفتگی خروجی‌هاست که از عملکرد ضعیف سیستم فیلتراسیون ناشی می‌شود. احتمال نفوذ ریشه به داخل و اطراف لوله‌های فرعی نیز در این روش وجود دارد. براساس منابع علمی موجود، این موانع با تزریق اسید و علف‌کش به صورت دوره‌ای و منظم به داخل سامانهٔ آبیاری قابل کنترل است. اما لازم است در خصوص نوع اسید، غلظت و نحوهٔ تزریق اسید و علف‌کش‌ها به سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پژوهش‌هایی بشود. علاوه بر آن، به دلیل مقدور نبودن بررسی دراز مدت پایداری سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خصوص انگور و احتمال تجمع ریشه‌ها و خطر گرفتگی خروجی‌ها و نیز تجمع نمک‌ها در دراز مدت در منطقهٔ ریشه، توصیه می‌شود که پژوهش‌های تکمیلی صورت پذیرد.

در این پژوهش بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب از روش آبیاری زیرسطحی با مصرف آب ۵۰ درصد به‌دست آمد. در بهره‌وری اقتصادی و محاسبات سود ناشی از مصرف ۲۵ درصد آب بیشتر (سطح آب ۷۵ نسبت به ۵۰ درصد)، درآمد سطح آب ۷۵ تفاوت قابل توجهی نسبت به سطح آب ۵۰ درصد داشت. بنابراین تیمار آبیاری زیرسطحی با سطح آبی ۷۵ درصد نیاز آبی قابل توصیه است.

در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای درختانی که سیستم ریشه‌ای قوی دارند، خطر حرکت و نفوذ ریشه‌ها به داخل لوله‌های فرعی و قطره‌چکان‌ها وجود دارد. از طرف دیگر، این روش آبیاری با توجه به ماهیت خود و نحوهٔ توزیع آب می‌تواند توزیع نمک را در پروفیل خاک تحت تاثیر قرار دهد. این وضعیت مخصوصا در مناطقی که آب و خاک شور دارند، بیشتر خود را نشان می‌دهد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد پژوهش‌هایی در خصوص توزیع نمک‌ها و تجمع آن در لایه‌های مختلف خاک و نیز وضعیت ریشه‌ها و حرکت آن‌ها به سمت لوله‌های فرعی برای یک دورهٔ نسبتا طولانی‌تر (۵ ساله) صورت پذیرد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارد.

منابع مالی

نویسنده هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکرده است.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده مقاله نسخه منتشر شده آنرا خوانده و با آن موافقت کرده‌است.

تقدیر و تشکر

نویسنده مقاله از همکاری‌های معاونت پژوهشی و سایر همکاران مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) و سازمان جهاد کشاورزی استان سمنان تقدیر و تشکر می‌نماید.

مراجع

Alizadeh, A. (2006). *Pressurized Irrigation Systems Design* (Vol. 2, 368 pp.). Imam Reza University Press. (In Persian)

Anon. (2018). *Agricultural Statistics (Horticultural Products) for the 2017–2018 Agricultural Year*. Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center. (In Persian)

Anon. (2019). *Komash Analytical Report for the 2017–2018 Agricultural Year*. Semnan Province Meteorological Organization. (In Persian)

Chaves MM., Zarrouk O., Francisco R, et al. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661-676.

Daller, D., Stamm, P., & Roth, H.-R. (2013). Economic evaluation of subsurface drip irrigation systems as a function of lateral spacing. *Agricultural Water Management*, 128, pp.1–10.

DeGaris, K. A., Walker, R. R., Loveys, B. R., & Tyerman, S. D. (2015). Impact of deficit irrigation strategies in a saline environment on Shiraz yield, physiology, water use and tissue ion concentration. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21(3), pp.468–478.

Dolati Baneh, H., & Noorjoo, A. (2011). Effect of deficit irrigation on quantitative and quality traits of fruit and water productivity of three grapevine cultivars. *Seed and Plant Production Journal*, 27(3), pp.435–450.

Finger, S., Lamm, F. R., & Stone, L. R. (2015). Subsurface drip irrigation management effects on crop yield and water productivity. *Applied Engineering in Agriculture*, 31(2), pp.189–201.

Ghassab, M. R., Abdshahi, A., & Marzban, A. (2020). Determination of physical and economic agricultural water productivity (Case Study: Dezful County). *Journal of Agricultural Economics Research*, 12(3), pp.42–79. (In Persian)

Jolini, M. (2006). Investigating the effect of drip irrigation method and different water levels on yield and water use efficiency in grapes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7(28), pp.69–78. (In Persian)

Kozlowski TT., & Pallardy SG. (2002). Acclimation and Adaptive Responses of Woody Plants to Environmental Stresses. *The Botanical Review*, 68(2), 270-334.

Lamm, F. R., Ayars, J. E., & Nakayama, F. S. (2007). *Microirrigation for crop production – Design, operation, and management* (pp.618). Elsevier, Amsterdam.

Lamm, F. R. (2016). Subsurface drip irrigation and possibilities in alfalfa. In *Proceedings of the California Alfalfa and Forage Symposium* (November, Reno, Nevada).

Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F., & Lecoeur J. (2006). Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (Vitis vinifera) growing in drying soil. *Annals of Botany*, 98(1), 175-185.

Matthews, M. A., & Nuzzo, V. (2007). Berry size and yield paradigms on grapes and wines. *BioScience*, 57(1), pp.41–52.

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

Sheren A. Abed El-Hamied, A., Zaen El-Deen, E. M. A., & 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 (IOSR-JAVS)*, 10, pp.77–90.

Shatkovskyi, A., Melnychuk, F., Retman, M., Gulenko, O., & Kaliley, V. (2022). Weed development in sunflower and chickpea crops depending on micro-irrigation methods. *Land Reclamation and Water Management*, (1), 97-103.

Tafazoli, A., Hekmati, J., & Firoozeh, P. (1996). *Grape* (343 pp.). Shiraz University Press.

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.