Investigating the Effect of Design Parameters of a Subsurface Irrigation System with Perforated PVC Pipes on Soil Moisture Changes and Irrigation Frequency of Pistachio Trees

I. Esfandiarpoor, N. Sedaghati, S. J. Hosseinifard, S. Sadr*, and S. Kalantari

Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan University, Iran. **esfandiarpoor@vru.ac.ir**

Assistant prof. of Irrigation and Drainage, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran. **n-sedaghati@pri.ir**

Associate prof. of Soil Science, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran. **hosseinifard@pri.ir**

Assistant prof. of Soil Science, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran. **sadr@pri.ir**

MSc Graduate, Department of Soil Science, College of Agriculture. Vali-e-Asr University of Rafsanjan. Iran. **s.kalantari9232 @gmail.com**

Received: November 2024 and Accepted: May 2025

Abstract

In the present study, the effect of design parameters of a subsurface irrigation system with perforated PVC pipes on the irrigation frequency of pistachio trees was studied for two years in Kerman Province. A split-split plot experiment was conducted with four factors: canal depth (40 and 60 cm), pipe diameter (110 and 160 mm), pipe hole diameter (9 and 12 mm), and pipe hole spacing (15 and 25 cm) in a randomized complete block design with three replications. All treatments were irrigated with an amount of 75% of water requirement and an irrigation frequency of 24 days. To measure the volumetric soil moisture content, a TDR device was used. Statistical analysis of the data was performed using MSTAT-C software, and means were compared with an LSD test at a 0.05 probability level. The results indicated that the volumetric soil moisture of pistachio trees increased by 12% and 6.2%, respectively, between two consecutive irrigations (2 and 23 days after irrigation). The optimal irrigation frequency for pistachio trees in this system was determined to be 20 and 24 days, respectively. Therefore, by optimizing the design parameters of the subsurface irrigation system using perforated PVC pipes, water savings of approximately 50% can be achieved without exposing the plants to severe or harmful moisture stress. According to the results obtained, among the design factors, channel depth of 40 cm, pipe diameter of 110 mm, hole diameter of 12 mm and hole spacing of 15 cm had a better situation in terms of crop yield and water consumption efficiency. This optimal treatment produced a yield of 11.1 (kg/tree) and water use efficiency of 1325 gr/m^3 after leaching and 828 gr/m^3 before leaching, and was recommended as the best treatment.

Keywords: Water use efficiency, Management allowed depletion, Readily available water, Kerman

* - Corresponding Author's email: **sadr@pri.ir**

https://doi.org/10.22092/jwra.2025.367819.1063

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۹ / شماره ۱/ ۱۴۰۴.ص۴۳-۶۳
https://doi.org/10.22092/jwra.2025.367819.1063

بررسی اثر پارامترهای طراحی سامانه آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار بر تغییرات رطوبت خاک و دور آبیاری درختان پسته

عیسی اسفندیارپور، ناصر صداقتی، سید جواد حسینی‌فرد، سمیه صدر* و سعید کلانتری

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، ایران. **esfandiarpoor@vru.ac.ir**

استادیار پژوهش، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات و علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران. **n-sedaghati@pri.ir**

دانشیار پژوهش، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات و علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران. **hosseinifard@pri.ir**

استادیار پژوهش، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات و علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران. **sadr@pri.ir**

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان. **s. kalantari9232 @gmail.com**

دریافت: آذر ۱۴۰۳ و پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۴

چکیده

در پژوهش حاضر، تأثیر پارامترهای طراحی سامانه آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار بر دور آبیاری درختان بارور پسته، به‌مدت دو سال (۱۳۹۸-۱۴۰۰) در باغی به مساحت دو هکتار در شهرستان انار استان کرمان بررسی شد. آزمون با روش کرت‌های خردشده با چهار فاکتور عمق کانال (در سطوح ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر)، قطر لوله (در سطوح ۱۱۰ و ۱۶۰ میلی‌متر)، قطر سوراخ‌های روی لوله (در سطوح ۹ و ۱۲ میلی‌متر) و فاصله سوراخ‌های روی لوله (در سطوح ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. تمام تیمارهای آزمایشی با مقدار آب برابر با ۷۵ درصد نیاز آبی و دور آبیاری ۲۴ روز آبیاری شدند. به این منظور، مقدار رطوبت حجمی خاک تیمارهای مختلف در فاصله بین دو آبیاری متوالی در اعماق مختلف، با دستگاه TDR اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ صورت گرفت. همچنین، رطوبت حجمی خاک ناحیه حداکثر تراکم ریشه درختان پسته در فاصله بین دو آبیاری متوالی (۲ و ۲۳ روز پس از آبیاری)، به‌ترتیب ۱۲٪ و۶/۲ ٪ افزایش نشان داد. در مجموع، دور آبیاری مناسب درختان پسته در سامانه آبیاری و با توجه به مشخصات خاک باغ مورد نظر و با مدنظر قرار دادن تخلیه مجاز رطوبتی تا آب سهل‌الوصول یا نقطه پژمردگی دائم، به‌ترتیب، ۲۰ و ۲۴ روز تعیین گردید. بنابراین، با استفاده بهینه از پارامترهای طراحی سامانه آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار می‌توان بدون اینکه گیاه شرایط رطوبتی سخت و زیان‌آور را تجربه کند در مصرف آب نسبت به آبیاری غرقابی حدود ۵۰ درصد صرفه‌جویی کرد و بهره‌وری آب را بالاتر برد. با توجه به نتایج بدست‌آمده، از بین فاکتورهای طراحی، عمق کانال ۴۰cm، قطر لوله ۱۱۰ mm، قطر سوراخ mm ۱۲ و فاصله سوراخ ۱۵ cm در عملکرد محصول و نیز بهره‌وری آب، وضعیت بهتری داشتند. همچنین تیمار با عملکرد (kg/tree) ۱۱/۱ و بهره‌وری آب بعد از آبشویی(gr/m^3) ۱۳۲۵ یا (gr/m^3) ۸۲۸ بدون آبشویی بهترین تیمار معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: کارآیی مصرف آب، تخلیه مجاز رطوبتی، رطوبت سهل‌الوصول، کرمان

* – آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **Ssadr@pri.ir**

CC BY

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) گیاهی مقاوم به خشکی است و ریشه‌های آن می‌توانند تا عمق زیادی در لایه‌های مرطوب نفوذ کنند اما مقاومت به خشکی به این معنا نیست که درخت پسته به آب کمتری برای عملکرد بهینه نیاز دارد. در شرایط تنش رطوبتی یعنی زمانی که رطوبت خاک کمتر از نقطه پژمردگی دائم باشد، فعالیت ریشه ممکن است به‌طور کامل برای چهار تا پنج هفته متوقف شود؛ بنابراین، برای تولید اقتصادی، آبیاری کافی درختان پسته ضرورت دارد (گلدهمر، ۲۰۰۵). بیش از ۹۰ درصد باغ‌های پسته استان کرمان، تحت پوشش روش آبیاری سطحی (غرقابی) قرار دارند (اسماعیل‌پور و همکاران، ۱۳۹۶) این در حالی است که در سال‌های اخیر، به‌دلیل خشک‌سالی‌های پی‌درپی، حجم مخازن آب‌های زیرزمینی که منبع عمده تأمین‌کننده آب مصرفی درختان پسته است، به‌دلیل برداشت‌های بی‌رویه، به‌شدت کاهش یافته است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۷).

محدودیت منابع آب از نظر کمی و کیفی ایجاب می‌کند که برنامه‌ریزی مناسبی برای استفاده بهینه از واحد آب مصرفی انجام پذیرد. محققان روش‌های آبیاری مختلفی را برای به حداقل رساندن مصرف آب در کشاورزی و در عین حال، حفظ عملکرد و افزایش راندمان مصرف آب آبیاری پیشنهاد نموده‌اند (کولاک و همکاران، ۲۰۱۸). روش‌های خرد آبیاری، مانند آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، روش ارزشمندی برای صرفه‌جویی در آب، افزایش راندمان آبیاری، کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و افزایش عملکرد محصول است (تامر و همکاران، ۲۰۲۱؛ کریشناپرابو، ۲۰۲۰؛ یان و همکاران، ۲۰۱۹: دستورانی و همکاران، ۲۰۱۰: تامسون و همکاران، ۲۰۰۹).

در گزارشی لام (۲۰۰۳) از دانشگاه کانزاس، محاسن و معایب روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور مفصل ارائه شده است. از جمله محاسن گزارش‌شده می‌توان به راندمان مصرف آب (WUE) بالاتر، آلودگی کمتر آب‌های زیرسطحی به‌دلیل آبشویی کمتر نیترات‌ها، کاهش خطرات شوری به‌دلیل نگهداری رطوبت خاک در حد بالا و دور آبیاری کوتاه‌تر، یکنواختی پخش بالای آب، وضعیت بهتر گیاه از نظر رشد، افزایش کمی و کیفی محصول، کنترل بهتر بیماری ها، مدیریت مناسب کودها و سموم، کنترل علف‌های هرز، امکان خودکار کردن کامل، طول عمر بیشتر، کاهش خسارت های ناشی از حیوانات و انعطاف‌پذیری زیاد این روش اشاره کرد. در این گزارش به تعدادی از محدودیت‌های این روش از قبیل محدودشدن عمق توسعه ریشه‌ها، عدم امکان تغییر الگوی کشت به‌دلیل ثابت بودن محل نصب لوله‌ها، نیاز به تجهیزات دقیق تصفیه آب و مدیریت مناسب نگهداری تأسیسات و ورود ذرات خاک به داخل قطره‌چکان‌ها در هنگام خاموش کردن سیستم (در صورت عدم تخلیه هوای داخل لوله‌ها از طریق شیرهای مخصوص) نیز اشاره شده است. در مجموع، این روش به‌دلیل مزایای بسیاری که دارد به‌عنوان یک روش کارآمد معرفی شده است. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده توسط محمدی محمدآبادی (۱۳۸۴) در شرایط آب و هوایی شهرستان کرمان در یک خاک لوم شنی با قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، نشان داد که تغییر روش آبیاری از سطحی به زیرسطحی برای درختان بارور پسته امکان‌پذیر بوده و می‌توان با کاربرد آب به میزان ۴۰ و ۶۰ درصد تبخیر از تشت کلاس الف (به‌ترتیب، حجم آبیاری حدود ۴۷۸۳ و ۷۱۷۴ مترمکعب در هکتار در سال) به عملکرد مناسب از نظر صفات کمی و کیفی محصول پسته دست یافت. وی بهترین تیمار در شرایط انجام این آزمایش را روش آبیاری زیرسطحی با مصرف ۶۰ درصد تبخیر از تشت کلاس الف با دور آبیاری ۱۴ روز گزارش نمود

در پژوهشی که توسط صداقتی و همکاران (۱۳۸۸) روی روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در باغ های پسته انجام شد، مشخص شد که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر و میزان آب ۶۰ درصد

نیاز آبی در روش آبیاری سطحی، با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم محصول خشک در هر مترمکعب آب مصرفی و ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی، بهتر شناخته شد.

طی سال‌های اخیر با مشخص شدن تأثیر مثبت آبیاری‌های تحت‌فشار نسبت به آبیاری‌های غرقابی، روش‌های مختلفی در آبیاری درختان پسته (مانند آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، بابلر، لوله‌های اسفنجی تراوا و آبیاری کوزه‌ای) توصیه شد که اغلب مورد استقبال کشاورزان قرار نگرفت. مشکلاتی نظیر آب‌های با کیفیت نامناسب، هزینه‌های بالای اجرا و نگهداری و ناهماهنگی این هزینه‌ها با کشاورزی خرده مالکی رایج در منطقه، از جمله موانع پیش رو در بحث گسترش روش آبیاری تحت‌فشار محسوب می‌شوند (صداقتی و همکاران، ۱۳۹۳). با این وجود، استفاده از روش آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار، طی سال‌های اخیر در برخی از باغ‌های پسته شهرستان‌های رفسنجان و انار توصیه شده است. صداقتی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که تغییر روش آبیاری از غرقابی به آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار در باغ‌های پسته، تقریباً تمام صفات کمی و کیفی محصول را تحت تأثیر قرار داد به‌گونه‌ای که باعث افزایش ۰/۸ تا ۱/۶ کیلوگرمی وزن محصول خشک هر درخت (افزایش ۴۵۷ تا ۹۱۴ کیلوگرمی محصول در هکتار)، کاهش ۱/۷ تا ۴/۲۵ درصدی پوکی، افزایش ۳/۵ تا ۶ درصدی خندانی، کاهش ۱/۳ تا ۲ واحدی در انس (معیار عددی برای بیان میزان درشتی یا ریزی پسته) و افزایش ۴۱/۴ تا ۶۱/۶ درصدی بهره‌وری آب شد. ضمن اینکه میزان مصرف آب نسبت به آبیاری غرقابی تا ۲۵ درصد کاهش یافت.

هرچند روش آبیاری با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار، با توجه به ظرفیت مناسب آبگیری لوله‌ها (صداقتی و همکاران، ۱۳۹۳)، توسط خرده‌مالکین نیز می‌تواند به‌آسانی و با کمترین هزینه مورد استفاده قرار گیرد اما قبل از ترویج این روش، لازم است تا برخی از ناشناخته‌های آن نظیر دور آبیاری بهینه مشخص شود.

عطایی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی دور آبیاری درخت پسته در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نتیجه گرفتند که کوتاه کردن دور آبیاری برای جلوگیری از تنش رطوبتی ضروری است. به‌علاوه، در پژوهشی که محمدی محمدآبادی (۱۳۸۴) تحت عنوان امکان تغییر روش آبیاری از غرقابی به قطره‌ای زیرزمینی برای درختان پسته شهرستان رفسنجان انجام داد، گزارش نمود که دور آبیاری ۱۴ روزه و مصرف ۴۸۸۷ مترمکعب آب در هکتار برای آبیاری قطره‌ای زیرزمینی، وضعیتی مطلوب را از نظر مصرف آب با توجه به عملکرد محصول، زودخندانی و رشد رویشی پسته نسبت به آبیاری غرقابی با دور آبیاری ۳۵ روزه و آب مصرفی ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار دارا است. استفاده از این روش، ضمن کاهش دور آبیاری، حجم آب مصرفی را حداقل به مقدار ۲۵ درصد نسبت به آبیاری غرقابی رایج در باغ‌های پسته کاهش می‌دهد.

تحقیقات انجام‌شده توسط پژوهشکده پسته نشان داد که بهترین دورهای آبیاری برای یک درخت بارور پسته در روش‌های خردآبیاری، بسته به نوع بافت خاک بین ۱۰ تا ۱۵ روز است. انتخاب دورهای آبیاری کوتاه در این روش‌ها باعث می‌شود که تنها سطح خاک خیس شده و این مقدار آب کم‌عمق، قبل از اینکه جذب گیاه شود، در اثر تبخیر از دسترس خارج شود؛ بنابراین لازم است که با افزایش ساعات آبیاری، شرایط نفوذ آب به اعماق پایین‌تر فراهم شود (اسماعیل‌پور و همکاران، ۱۳۹۶).

تافته و همکاران (۱۴۰۳) گزارش دادند که نظر به اینکه دور آبیاری معمول در باغات پسته منطقه دامغان در محدوده ۱۰ تا ۱۵ روز و ساعات آبیاری نیز حدود ۱۲ ساعت است لذا، افزایش دور آبیاری به ۲۰ روز و کاهش مدت آبیاری به مدت هشت ساعت بدون تغییر در عملکرد (متوسط تبخیر و تعرق ۶۰۵ میلی‌متر) و با کاهش مصرف آب حدود ۳۰

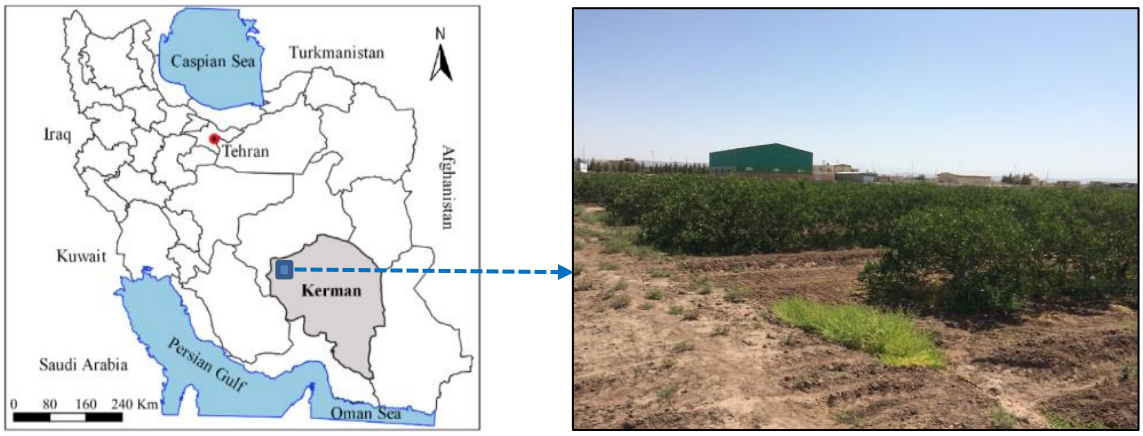
درصد نسبت به شرایط معمول، قابل توصیه و پیشنهاد خواهد بود.

ازآنجاکه هنوز اطلاعات دقیقی از تأثیر پارامترهای دخیل در طراحی روش آبیاری با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار بر دور آبیاری وجود ندارد، بنابراین در پژوهش حاضر تلاش شده است تا با استفاده از روش آبیاری با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار و بررسی برخی از پارامترهای دخیل در طراحی آن، دور آبیاری مناسب در بخشی از باغ‌های پسته شهرستان انار، واقع در استان کرمان، تعیین شود.

روش بررسی

منطقه مطالعاتی

این پژوهش در باغی به مساحت تقریبی دو هکتار (رقم اکبری با میانگین سنی ۳۰ سال) در شهرستان انار اجرا شد. انار، یکی از شهرستان‌های استان کرمان واقع در جنوب شرقی ایران است که در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارش و دمای سالانه این منطقه، به‌ترتیب ۹۵ میلی‌متر و ۱۶/۶ درجه سلسیوس است. میانگین ارتفاع منطقه از سطح دریا، حدود ۱۱۵۰ متر است. عمق آب زیرزمینی در شهرستان انار در محدوده ۱۵۰ تا ۴۰۰ متر متغیر است بر اساس آمار هواشناسی میزان تبخیر و تعرق در این شهرستان نیز در محدوده ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. در انتخاب باغ سعی شد تا شرایط غالب باغ‌های منطقه از نظر شوری آب، خاک، رقم پسته، وضعیت رشد درختان و نحوه مدیریت باغ در نظر گرفته شود. مدیریت علف‌های هرز در باغ توسط علف‌کش‌های پیش‌رویشی انجام گرفت و با تکرار استفاده از علف‌کش پس از چند ماه، کاهش شدید جمعیت علف هرز در منطقه مطالعاتی مشاهده شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و استان کرمان

روش انجام پژوهش

این پژوهش در تیرماه سال ۱۳۹۷ اجرا شد. قبل از اجرای پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب‌وخاک منطقه، مورد آزمایش قرار گرفت. برداشت نمونه‌های خاک از سه عمق صفر تا ۴۰، ۴۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر انجام شد.

پژوهش حاضر به‌صورت کرت‌های خردشده با چهار فاکتور عمق کانال در دو سطح (۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر)، قطر لوله در دو سطح (۱۱۰ و ۱۶۰ میلی‌متر)، قطر سوراخ‌های روی لوله در دو سطح (۹ و ۱۲ میلی‌متر) و فاصله سوراخ‌های روی لوله در دو سطح (۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر) با سه تکرار به مدت دو سال اجرا شد. در مجموع، ۱۶ تیمار آزمایشی در این

پژوهش، مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۱) مشخصات تیمارهای ۱۶ گانه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات تیمارهای آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار بر اساس پارامترهای چهارگانه در نظر گرفته‌شده

تیمار آبیاری	سطح هر فاکتور				کد معرف*
	عمق کانال	قطر لوله	قطر سوراخ	فاصله سوراخ‌ها	
	سانتی‌متر		میلی‌متر		
	فاکتور A	فاکتور B	فاکتور C	فاکتور D	
T1	40(1)	160(2)	12(2)	15(1)	1221
T2	40(1)	160(2)	12(2)	25(2)	1222
T3	40(1)	160(2)	9(1)	15(1)	1211
T4	40(1)	160(2)	9(1)	25(2)	1212
T5	40(1)	110(1)	12(2)	15(1)	1121
T6	40(1)	110(1)	12(2)	25(2)	1122
T7	40(1)	110(1)	9(1)	15(1)	1111
T8	40(1)	110(1)	9(1)	25(2)	1112

تیمار آبیاری	سطح هر فاکتور				کد معرف*
	عمق کانال	قطر لوله	قطر سوراخ	فاصله سوراخ‌ها	
	سانتی‌متر		میلی‌متر		
	فاکتور A	فاکتور B	فاکتور C	فاکتور D	
T9	60(2)	160(2)	12(2)	15(1)	2221
T10	60(2)	160(2)	12(2)	25(2)	2222
T11	60(2)	160(2)	9(1)	15(1)	2211
T12	60(2)	160(2)	9(1)	25(2)	2212
T13	60(2)	110(1)	12(2)	15(1)	2121
T14	60(2)	110(1)	12(2)	25(2)	2122
T15	60(2)	110(1)	9(1)	15(1)	2111
T16	60(2)	110(1)	9(1)	25(2)	2112

* اعداد ارائه‌شده در این ستون، به‌ترتیب، نشانگر سطوح مربوط به فاکتورهای A، B، C و D است. برای مثال، کد (۱۲۲۱) در تیمار T۱ بیانگر تیماری است که در آن عمق کانال در سطح یک (۴۰ سانتی‌متر)، قطر لوله در سطح دو (۱۶۰ میلی‌متر)، قطر سوراخ روی لوله در سطح دو (۱۲ میلی‌متر) و فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر در سطح یک (۱۵ سانتی‌متر) است. شماره سطح مورد مطالعه در پرانتز ارائه شده است

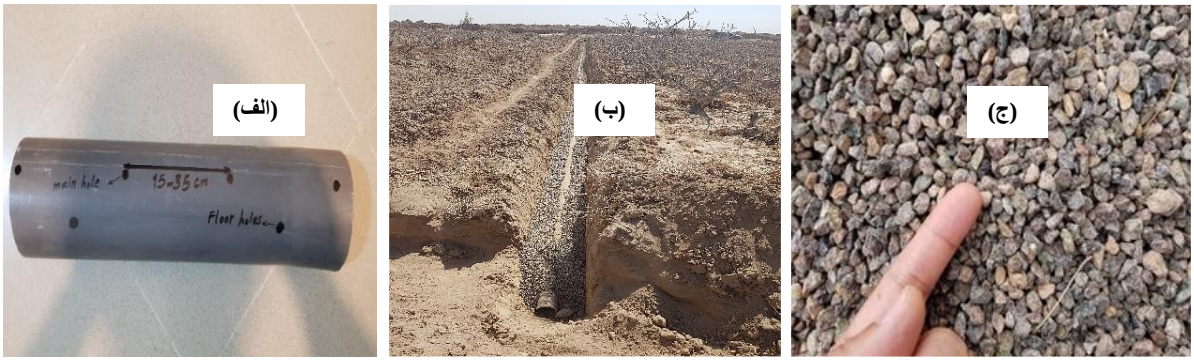
اجرای روش آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار

در روش آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار، آب از منبع تأمین آب آبیاری (چاه یا استخر ذخیره آب)، با استفاده از پمپاژ، در لوله‌های تحت‌فشار تا ابتدای قطعات باغ منتقل شده و سپس با استفاده از شیرفلکه‌ها یا دربندهای مخصوص به داخل حوضچه تقسیم آب می‌ریزد. بنابراین در این قسمت از روش آبیاری، آب از حالت تحت‌فشار خارج می‌گردد و با نیروی ثقل و بر اساس شیب زمین، در داخل لوله‌های آبده به حرکت در می‌آید. در داخل هر حوضچه، لوله‌های آبده که تعداد آن‌ها بستگی به ابعاد حوضچه، قطر لوله‌های آبده و دبی آب دارد، وظیفه انتقال آب به زیر خاک و محدوده ریشه درختان را بر عهده دارند. انتهای لوله‌های آبده نیز باز بوده و توسط یک زانویی به یک لوله عمودی (هواکش) متصل می‌گردند. این هواکش، علاوه بر تخلیه هوای داخل لوله و سهولت جریان آب داخل آن، باعث می‌گردد که جریان در لوله از حالت تحت‌فشار خارج شده و تنها در هنگامی‌که لوله‌ها پر از آب شوند، کمی تحت‌فشار قرار می‌گیرند. به همین دلیل، گاهی اوقات به این سیستم آبیاری، واژه کم‌فشار اطلاق می‌گردد. شکل ۲ نمای کلی یک سیستم آبیاری زیرسطحی کم‌فشار با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار را نشان می‌دهد که در آن سه ردیف درخت با شش خط لوله و از طریق یک حوضچه آبیاری می‌شوند.

لوله‌های پی‌وی‌سی تقریباً در مرکز سایه‌انداز درختان پسته (فاصله ۱۲۰ سانتی‌متری از تنه درختان) در دو طرف و در عمق‌های مورد نظر کارگذاری شد. روی لوله‌های پی‌وی‌سی، سوراخ‌هایی به قطرهای مورد نظر (۹ و ۱۲ میلی‌متر) در قسمت تحتانی لوله با زاویه اندک نسبت به خط عمود بر زمین و به فواصل تیمارهای آزمایشی (۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر) تعبیه شد.

شکل ۲- نمای کلی از آرایش سه ردیفه آبیاری زیرسطحی کم‌فشار با لوله‌های پی‌وی‌سی و تصاویر مراحل اجرای این روش در باغ

در تمام تیمارها، به فاصله هر ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر (بسته به فاصله سوراخ‌های مورب اصلی)، یک سوراخ در کف لوله‌ها برای تخلیه کامل آب از لوله‌ها تعبیه شد. برای کاهش خطر انسداد سوراخ‌ها به‌وسیله ذرات خاک و نیز جلوگیری از شست‌وشوی خاک در هنگام آبیاری، یک لایه سنگریزه (با قطر ذرات ۶ تا ۱۲ میلی‌متر) به ضخامت تقریبی ۱۰ سانتی‌متر، دور تا دور لوله‌ها (به غیر از بالای لوله‌ها) به‌صورت فیلتر تعبیه شد (شکل ۳). با توجه به ضخامت تقریبی ۱۰ سانتی‌متری استفاده‌شده برای فیلتر، در عمل، عمق کارگذاری لوله‌ها ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر بوده است. عرض کانال های حفرشده برای همه تیمارها مساوی با ۳۵ سانتی‌متر بود. طول ردیف‌ها ۵۰ متر و شیب زمین ۰/۱ درصد بود.



شکل ۳- (الف) موقعیت سوراخ‌های اصلی و کف لوله؛ (ب) نحوه قرارگیری لوله و فیلتر اطراف لوله‌ها؛ (ج) نوع فیلتر دور لوله‌ها

به‌منظور تعیین دور آبیاری مناسب، نمونه‌برداری خاک از عمق حداکثر تراکم ریشه‌های ریز (عمق ۶۰ سانتی‌متری) (حکم‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۰) به فواصل زمانی ۲، ۵، ۸، ۱۲، ۱۴، ۱۷، ۲۰ و ۲۳ روز پس از آبیاری در هر تکرار انجام شد و درصد رطوبت حجمی نمونه‌ها تعیین گردید (در ادامه به‌جای رطوبت حجمی از واژه رطوبت استفاده خواهد شد). سپس، بر اساس میزان رطوبت خاک در دو نقطه ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (PWP) و حد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (MAD) برای درختان پسته، دور آبیاری مناسب درختان تعیین شد. با توجه به مقاومت بالای گیاه پسته به شرایط خشکی، برای محاسبه RAW، مقدار حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (MAD)، معادل ۷۵ درصد در نظر گرفته شد.

نیاز خالص آبیاری درختان پسته در روش آبیاری غرقابی در شهرستان انار، بر اساس سامانه نیاز آبی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، ۵۱۱۲ مترمکعب در هکتار در طول هشت ماه فصل رشد است. با توجه به متوسط راندمان آبیاری ۵۰ درصد در روش آبیاری غرقابی در باغ‌های پسته کشور (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶)، نیاز ناخالص آبیاری ۱۰۲۲۴ مترمکعب خواهد شد. بر این اساس ۵۰ درصد این

نیاز آبی حدود ۵۰۰۰ مترمکعب خواهد بود. برای انجام آبیاری بر اساس این حجم آب، ابتدا با توجه به تعداد نوبت آبیاری در طول فصل رشد (۱۰ نوبت)، حجم آب آبیاری در هر نوبت در هکتار (۵۰۰ مترمکعب) تعیین شد. سپس با توجه به سطح آبیاری مربوط به هر حوضچه، حجم آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری برای یک حوضچه مشخص شد. در نهایت نیز با توجه به حجم آب مورد نیاز و دبی آب ورودی به هر حوضچه، مدت‌زمان آبیاری هر حوضچه در هر نوبت آبیاری، مشخص شد و بر این اساس تخصیص آب به کرت‌ها انجام گرفت. همچنین عملیات داشت روی درختان در همه تیمارها به‌طور یکسان در طول مدت پژوهش انجام شد و آبشویی زمستانه در دو نوبت آبیاری و با حجم تقریبی هر آبیاری ۱۵۰۰ مترمکعب در هکتار (در مجموع، ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار) انجام شد.

در پایان سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰، عملکرد پسته (وزن خشک) برای ارزیابی تأثیر تیمارهای مختلف بر درختان، بهره‌وری آب با (WUP1) و بدون (WUP2) محاسبه نیاز آبشویی و راندمان مصرف آب برای هر تیمار (با تقسیم متوسط عملکرد خشک بر حجم آب آبیاری اعمال‌شده در هکتار) محاسبه شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. به‌علاوه، نمودار تغییرات رطوبت خاک برای تیمارهای مختلف ترسیم و مورد ارزیابی قرار گرفت.

اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

پس از هوا خشک کردن نمونه‌های خاک و عبور آن‌ها از الک دو میلی‌متری، تجزیه‌های آزمایشگاهی لازم روی آن‌ها انجام شد. برای این منظور، واکنش خاک در خمیر اشباع با دستگاه پ‌هاش‌متر و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (رودز، ۱۹۹۶)، بافت خاک به روش هیدرومتری (بایکاس، ۱۹۵۱)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک (آلیسوم و مودی، ۱۹۶۵)، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم توسط دستگاه صفحه فشاری، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (اولسن، ۱۹۵۴)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم، سدیم محلول با روش شعله‌سنجی و کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع به روش کمپلکسومتری با EDTA (لانیون و هیلد، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم محلول، مقدار عددی نسبت جذب سطحی سدیم (SAR) توسط معادله مربوطه محاسبه شد. علاوه بر این، از یک‌سری نمونه دست‌نخورده برای تعیین چگالی ظاهری به روش سیلندر (بلیک، ۱۹۶۵) استفاده شد. رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR (Time-Domain Reflectometry)، واکنش آب با دستگاه پ‌هاش‌متر و قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (ریچارد، ۱۹۵۴)، کلر به روش تیتراسیون با نیترات نقره (Piper, 2010)، کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون با اسیدسولفوریک (زانگن، ۱۹۶۲)، سولفات به روش کلرید باریم و قرائت با اسپکترومتر (استفان، ۲۰۱۳)، سدیم، کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری و تیتراسیون با EDTA (لانیون و هیلد، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم، مقدار عددی نسبت جذب سطحی سدیم (SAR) محاسبه شد.

نتایج

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب‌وخاک

جدول ۲ برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات این جدول، خاک باغ مورد مطالعه در گروه خاک های شور (ECe>4 dS/m) قرار دارد. نظر به اینکه درختان پسته تا شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر را می‌توانند تحمل کنند (سپاسخواه و مفتون، ۱۹۸۸) و با توجه به اینکه تراکم

عمده ریشه درختان پسته در عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متری است (صداقتی و همکاران، ۱۴۰۳) بنابراین شوری خاک مورد مطالعه، هیچ‌گونه محدودیتی برای درختان پسته این باغ ایجاد نمی‌کند (صداقتی و همکاران، ۱۳۸۸ ب). همچنین در این باغ، مشکل سدیمی بودن خاک (SAR>13) وجود ندارد. با توجه به روند مشابه موجود در تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی از سطح به عمق با مقدار کلسیم، منیزیم و سدیم محلول خاک می‌توان نتیجه گرفت که شوری در منطقه مورد مطالعه، متأثر از این عناصر است. همچنین، خاک این منطقه به‌طورکلی در گروه خاک‌های متوسط تا درشت‌بافت قرار گرفته است.

میانگین پتاسیم قابل جذب از سطح به عمق افزایش یافته است. با توجه به حد بحرانی پتاسیم (۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) (حسینی فرد و همکاران، ۱۳۹۶) مشخص می‌شود که در خاک منطقه مورد مطالعه، کمبود پتاسیم وجود ندارد. روند کلی تغییرات فسفر قابل جذب با عمق نیز نسبتاً افزایشی است. با توجه به حد بحرانی فسفر در خاک برای رشد پسته (۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در خاک) (حسینی فرد و همکاران، ۱۳۹۶) می‌توان نتیجه گرفت که خاک منطقه، فاقد کمبود فسفر است.

مقدار رطوبت خاک در عمق‌های سه‌گانه مطالعاتی، تقریباً برابر است هرچند که در عمق سوم (۱۲۰-۸۰ سانتی متر) اندکی افزایش یافته است.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ مورد مطالعه

ویژگی خاک	علامت اختصاری (واحد اندازه‌گیری)	عمق خاک (سانتی‌متر)		
		0-40	40-80	80-120
قابلیت هدایت الکتریکی	ECe (dS/m)	5.12	4.55	8.72
نسبت جذب سطحی سدیم	SAR $(meq/L)^{0.5}$	8.3	8.11	8.05
اسیدیته	pH	12	9	31.5
کلسیم محلول	Ca^{2+} (meq/L)	12.5	11	25
منیزیم محلول	Mg^{2+} (meq/L)	26.5	25	30.5
سدیم محلول	Na^{+} (meq/L)	7.57	7.91	5.74
پتاسیم قابل جذب	K^{+} (mg/kg)	260	264	320
فسفر قابل جذب	P (mg/kg)	28.98	27.97	30.04
سیلت	Silt (%)	12	10	20
رس	Clay (%)	11	9	21
شن	Sand (%)	77	81	59
بافت خاک	---	لوم شنی	شن لومی	لوم رسی شنی
جرم مخصوص ظاهری	ρ_b (gr/cm^3)	1.3	1.35	1.27
رطوبت خاک در ظرفیت زراعی	FC (%)	33	31	35
رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم	PWP (%)	10	9	11
کل رطوبت قابل استفاده خاک	TAW (%)	23	22	24
کل رطوبت سهل‌الوصول خاک*	RAW (%)	17.25	16.5	18

*این پارامتر با در نظر گرفتن ۷۵ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (MAD) از کل آب قابل استفاده به‌دست آمده است

جدول ۳ نشان‌دهنده نتایج تجزیه آب آبیاری مورد استفاده در باغ مورد نظر است. در بین شاخص‌های کیفی آب آبیاری، شوری یا قابلیت هدایت الکتریکی آب و سمیت برخی از عناصر نظیر کلر و سدیم، از جمله مهم‌ترین موارد قابل بررسی بود. آب آبیاری مورد استفاده در باغ مورد نظر در کلاس آب‌های شور طبقه‌بندی می‌شود و از درجه محدودیت

متوسط تا زیاد برای کشت پسته برخوردار است. با این وجود، از آب‌هایی تا شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نیز می‌توان با قبول حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش عملکرد و با اعمال مدیریت مناسب، به‌ویژه در روش آبیاری غرقابی و تأمین آب لازم برای آبشویی استفاده نمود (نی‌ریزی، ۱۳۷۷). علاوه بر این، کیفیت آب آبیاری مورد استفاده در این باغ از نظر سمیت عناصر سدیم، کلر و منیزیم، به‌ترتیب، دارای درجه محدودیت متوسط، شدید و شدید است. از نظر نسبت جذب سدیم (SAR) نیز محدودیتی وجود ندارد.

جدول ۳- نتایج تجزیه آب آبیاری مورد استفاده در باغ مورد مطالعه

غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)						pH	EC_w ($dS\ m^{-1}$)	SAR $(meq\ L^{-1})^{0.5}$
Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{-2}			
45.1	40.0	30.0	107.5	3.2	4.3	7.4	11.5	7.6

تعیین دور آبیاری مناسب درختان پسته

نتایج تجزیه واریانس رطوبت خاک عمق حداکثر تراکم ریشه درختان پسته (۶۰ سانتی‌متر) محدوده کنار لوله آبده، کنار پشته و کنار ردیف درختان (جدول ۴)، حاکی از اثر کاملاً معنی‌دار فاکتورهای طراحی و اثرات متقابل آن‌ها بر رطوبت لایه حداکثر تراکم ریشه درختان بود و تنها اثر قطر لوله بر رطوبت خاک کنار درختان از روز هشتم پس از آبیاری تا آبیاری بعدی، معنی‌دار نبود. همچنین مقایسه میانگین تغییرات رطوبت خاک عمق ۶۰ سانتی‌متر در فاصله بین دو آبیاری متوالی و با فاصله سه روز انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. بر اساس نتایج این جدول، در هر سه محل نمونه‌برداری (کنار لوله، کنار پشته و کنار درخت)، تیمارهای T۳، T۵، T۶ و T۹ بهترین وضعیت رطوبتی را در ناحیه ریشه درختان داشتند؛ البته رطوبت خاک کنار لوله و کنار پشته در تیمار T۹ از روز هشتم به بعد با تیمارهای برتر (T۳، T۵ و T۶) در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار پیدا نمود.

جدول ۴- مقایسه میانگین رطوبت خاک عمق حداکثر تراکم ریشه درختان پسته (۶۰ سانتی‌متر) در فاصله بین دو آبیاری متوالی تحت تأثیر پارامترهای مختلف طراحی روش آبیاری زیرسطحی با لوله های پی‌وی‌سی

فاکتور	(تیمار)	کنار لوله آبده					کنار پشته					کنار ردیف درختان				
		2 روز	8 روز	14 روز	20 روز	23 روز	2 روز	8 روز	14 روز	20 روز	23 روز	2 روز	8 روز	14 روز	20 روز	23 روز
عمق کانال (A)	40 سانتی‌متر	34.359 a	25.115a	18.145 a	13.111 a	11.144 a	30.023 b	22.358 a	16.153 a	11.671 a	9.921 a	28.383 b	21.118 a	15.257 a	11.025 a	9.370 a
	60 سانتی‌متر	33.165b	22.579b	16.314 b	11.788 b	10.018 b	31.773 a	21.130 b	15.266 b	11.030 b	9.375 b	29.950 a	19.373 b	13.995 b	10.112 b	8.596 b
قطر لوله (B)	110 میلی‌متر	34.779a	24.416a	17.640 a	12.747 a	10.833 a	32.508 a	22.313 a	16.120 a	11.648 a	9.900 a	30.756 a	20.535 a	14.835 a	10.719 a	9.112 a
	160 میلی‌متر	32.744b	23.278b	16.818 b	12.152 b	10.328 b	29.288 b	21.175 b	15.299 b	11.053 b	9.396 b	27.577 b	19.956 a	14.418 a	10.418 a	8.854 a
قطر سوراخ (C)	9 میلی‌متر	32.261b	22.389b	16.176 b	11.688 b	9.935 b	29.829 b	20.296 b	14.664 b	10.595 b	9.006 b	28.042 b	18.895 b	13.652 b	9.864 b	8.384 b
	12 میلی‌متر	35.262a	25.305a	18.282 a	13.211 a	11.227 a	31.967 a	23.193 a	16.755 a	12.107 a	10.290 a	30.292 a	21.595 a	15.601 a	11.273 a	9.582 a
فاصله سوراخ (D)	15 سانتی‌متر	32.258b	25.29a	18.273 a	13.204 a	11.223 a	32.331 a	23.137 a	16.716 a	12.077 a	10.266 a	30.431 a	21.042 a	15.202 a	10.985 a	9.336 a
	25 سانتی‌متر	32.37 cd	22.402b	16.185 b	11.695 b	9.939 b	29.465 b	20.352 b	14.703 b	10.624 b	9.030 b	27.902 b	19.449 b	14.051 b	10.153 b	8.630 b
اثر متقابل فاکتورها *(A×B×C×D)	T_1 (1221)	30.33f	23.43c	16.93 c	12.23 c	10.40 c	28.23 f	22.83 c	16.50 c	11.92 c	10.13 c	25.95 fg	21.07 b-d	15.22 b-d	11.00 b-d	9.350 b-d
	T_2 (1222)	39.12a	20.87e-g	15.08 e-g	10.90 e-g	9.257 e-g	25.90 g	21.01 de	15.18 de	10.96 de	9.320 de	24.63 g	19.89 de	14.37 de	10.38 de	8.823 de
	T_3 (1211)	27.95g	30.30a	21.89 a	15.82 a	13.45 a	34.33 a	26.36 a	19.05 a	13.76 a	11.70 a	31.43 c	23.60 ab	17.05 ab	12.32 ab	10.47 ab
	T_4 (1212)	39.73 a	20.20g	14.60 g	10.55 g	8.967 g	23.18 h	16.23 j	11.73 j	8.473 j	7.203 j	21.83 h	18.10 ce	13.08 de	9.450 de	8.033 de
	T_5 (1121)	39.27a	31.10a	22.47 a	16.24 a	13.80 a	34.72 a	26.61 a	19.22 a	13.89 a	11.81 a	33.22 ab	24.60 a	17.78 a	12.84 a	10.92 a
	T_6 (1122)	33.48bc	30.42a	21.98 a	15.88 a	13.50 a	34.05 a	26.12 a	18.87 a	13.63 a	11.59 a	33.80 a	25.07 a	11.18 a	13.08 a	11.12 a
	T_7 (1111)	32.62cd	22.73cd	16.42 cd	11.87 cd	10.09 cd	30.80 c	20.44 ef	14.76 ef	10.67 ef	9.067 ef	33.18 d	18.46 de	13.33 de	9.637 de	8.190 de
	T_8 (1112)	39.72a	21.86de	15.79 de	11.41 de	9.700 de	28.97 ef	19.27 hi	13.92 hi	10.06 hi	8.550 hi	27.02 ef	18.16 de	13.12 de	9.483 de	8.057 de
	T_9 (2221)	31.82de	29.01b	20.96 b	15.14 b	12.87 b	34.50 a	24.82 b	17.93 b	12.95 b	11.01 b	33.53 a	23.27 a-c	16.81 a-c	12.15 a-c	10.32 a-c
	T_{10} (2222)	30.63ef	21.39ef	15.45 ef	11.16 ef	9.490 ef	30.03 cd	19.88 f-h	14.36 f-h	10.38 f-h	8.817 f-h	28.13 de	18.84 de	13.61 de	9.833 de	8.360 de
	T_{11} (2211)	30.02f	20.68fg	14.94 fg	10.79 fg	9.173 fg	29.45 de	19.60 gh	14.16 gh	10.23 gh	8.697 gh	27.55 d-f	17.41 e	12.58 e	9.087 e	7.723 e
	T_{12} (2212)	34.68 b	20.35g	14.70 g	10.62 g	9.027 g	28.67 ef	18.68 i	13.50 i	9.750 i	8.290 i	27.55 d-f	17.47 e	12.62 e	9.120 e	7.750 e
	T_{13} (2121)	34.18b	23.25c	16.80 c	12.14 c	10.32 c	34.08 a	22.78 c	16.46 c	11.89 c	10.11 c	31.67 bc	20.25 c-e	14.63 c-e	10.57 c-e	8.987 c-e
	T_{14} (2122)	32.38cd	22.97c	16.60 c	11.99 c	10.19 c	34.22 a	21.50 d	15.53 a	11.22 d	9.540 d	31.40 c	19.78 de	14.28 de	10.32 de	8.777 de
	T_{15} (2111)	31.88de	21.84de	15.78 de	11.40 de	9.690 de	32.53 b	21.66 d	15.65 d	11.31 d	9.610 d	30.92 c	19.67 d-e	14.21 de	10.27 de	8.730 de
	T_{16} (2112)	32.258b	21.15e-g	15.29 e-g	11.04 e-g	9.387 eg	30.70 c	20.13 fg	14.55 fg	10.51 fg	8.933 fg	28.85 d	18.29 de	13.21 de	9.547 de	8.117 de

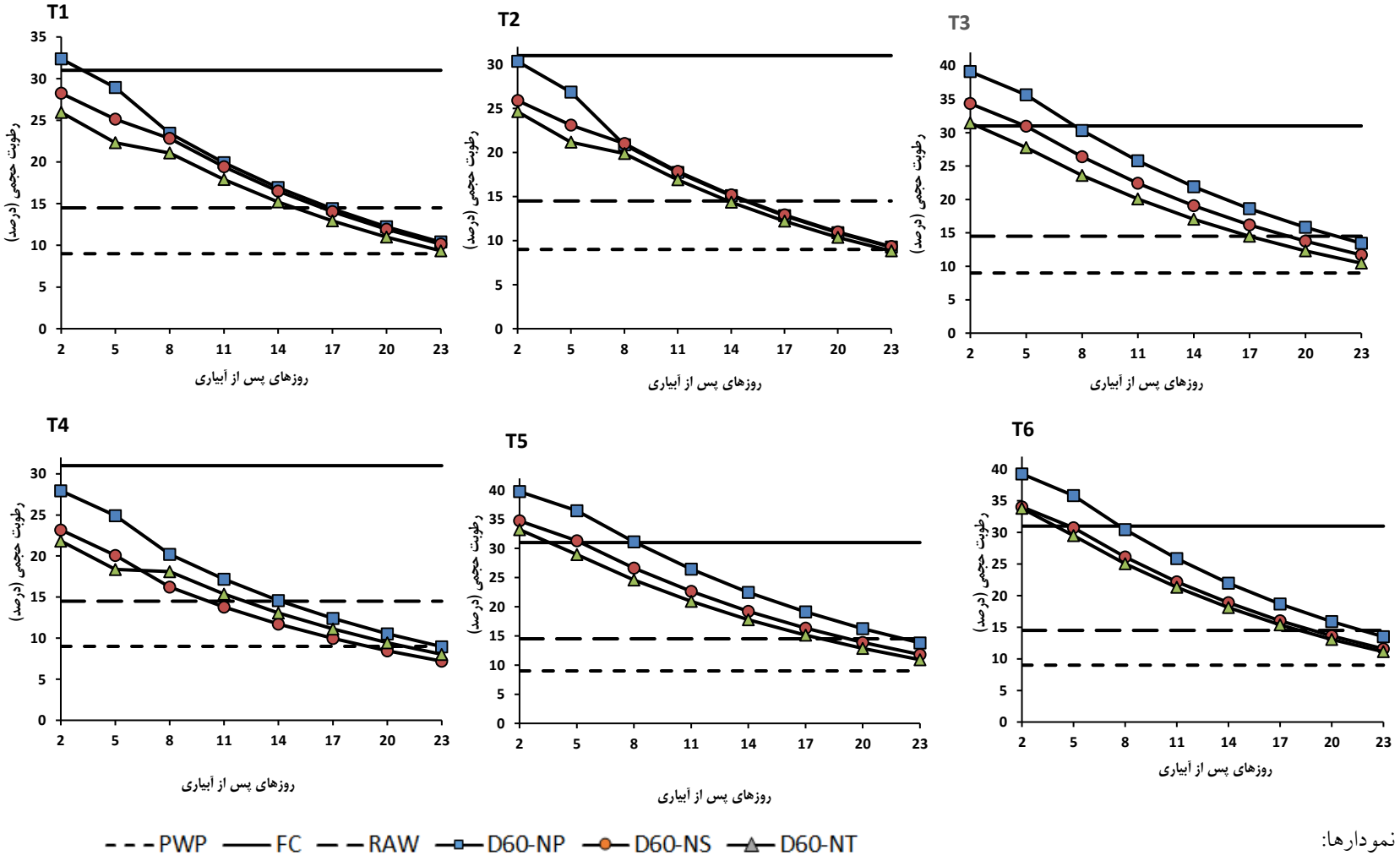
* اعداد داخل پرانتز به‌ترتیب از چپ به راست نشانگر سطوح مربوط به فاکتورهای A، B، C و D می‌باشند. به‌طور مثال، (T_{1221}) یعنی تیماری که در آن عمق کانال ۴۰ سانتی‌متر، قطر لوله ۱۶۰ میلی‌متر، قطر سوراخ روی لوله ۱۲ میلی‌متر و فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر، ۱۵ سانتی‌متر است

در هر عامل تغییر (فاکتور)، میانگین‌های دارای حروف مشترک در یک ستون، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند

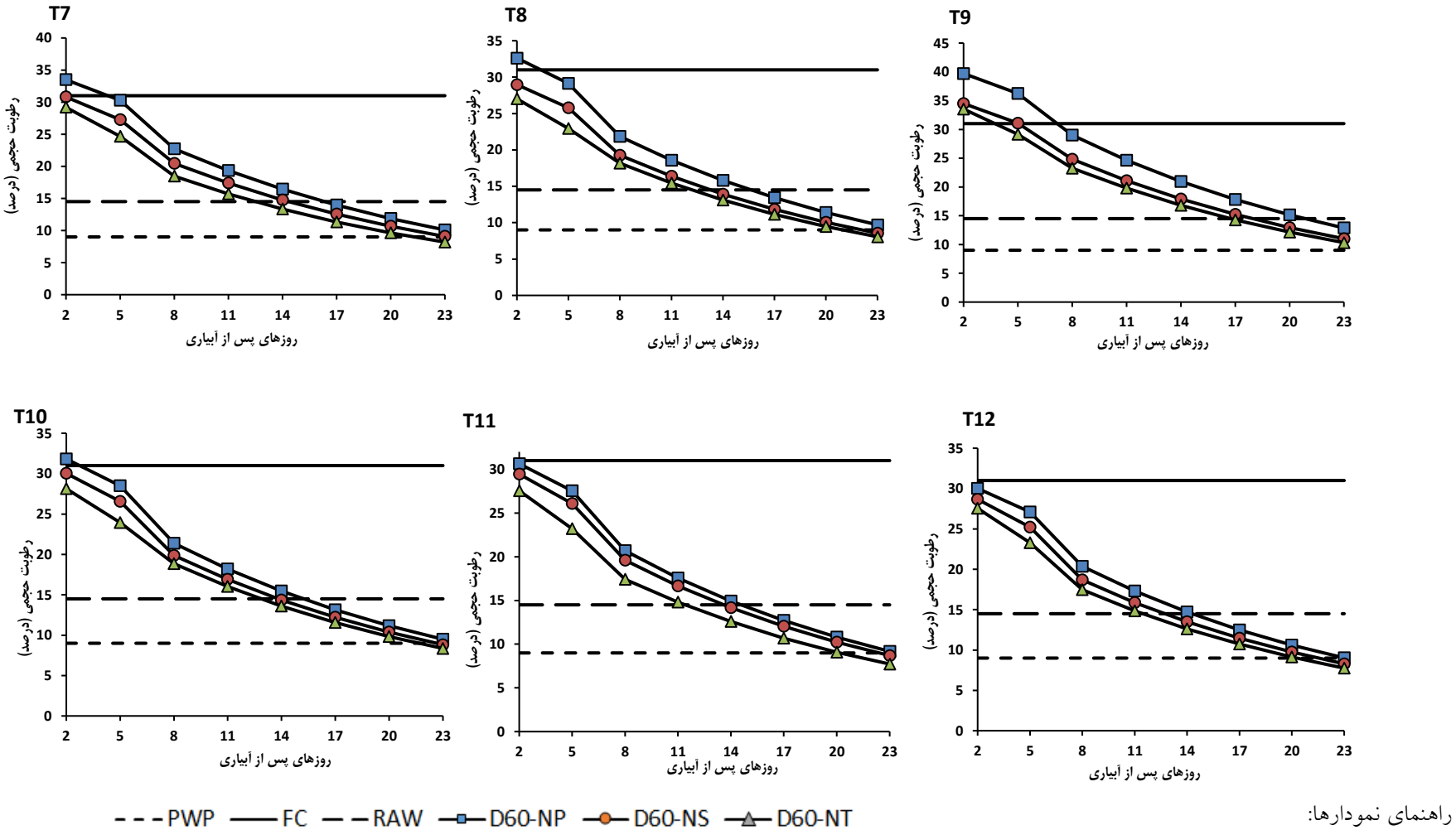
با توجه به بالا رفتن حجم جداول، تنها نتایج مربوط به روزهای ۲، ۸، ۱۴، ۲۰ و ۲۳ ارائه شده است.

!

برای تعیین دور آبیاری بهینه، در نمودارهای ارایه شده در شکل ۴، میانگین رطوبت خاک در عمق حداکثر تراکم ریشه (۶۰ سانتی‌متر)، نسبت به روزهای پس از آبیاری تا رسیدن به آبیاری بعدی برای همه تیمارها ترسیم شده است. علاوه بر آن، در این نمودارها خطوط مربوط به میزان رطوبت خاک در سه حد رطوبتی ظرفیت زراعی (FC)، رطوبت سهل‌الوصول (RAW) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از اطلاعات جدول ۲ ترسیم شده تا بدین‌وسیله زمان رسیدن رطوبت خاک به دو نقطه رطوبتی مهم RAW و PWP در فاصله بین دو آبیاری، حاصل شود. در واقع، با استفاده از این اطلاعات می‌توان پس از شناسایی بهترین تیمار آبیاری، دور آبیاری مناسب را در این سیستم به‌دست آورد اما پیش از آن، توجه به چند نکته مهم در نمودارهای مزبور حائز اهمیت است. نخست اینکه در تمام تیمارها رطوبت خاک در کنار لوله (NP) بیشتر از سایر نقاط است. همچنین، رطوبت خاک در کنار پشته (NB) از کنار درخت (NT) بیشتر است که با توجه به وضعیت سوراخ‌های روی لوله‌ها، این موضوع طبیعی به‌نظر می‌رسد چراکه سوراخ‌های جانبی روی لوله‌ها به سمت پشته و محل حفر چال‌کود است. با این وجود در اغلب موارد، بین این دو نقطه، تفاوت چندانی وجود ندارد. نکته دوم اینکه در اغلب تیمارها رطوبت حجمی خاک در عمق حداکثر توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متر) پس از ۲۳ روز به کمتر از حد PWP نرسیده و فقط رطوبت خاک در تیمارهای T_{11} و T_{12} از روز بیستم به بعد به حد پایین‌تر از PWP رسیده است. نکته سوم اینکه فقط در تیمارهای T_3، T_5، T_6 و تا حدودی T_9، رطوبت کنار لوله پس از ۲۳ روز به پایین‌تر از حد رطوبت سهل‌الوصول نرسیده است. به غیر از تیمارهای اخیر، در مابقی تیمارها با گذشت حدود ۱۴ یا ۱۵ روز پس از آبیاری، درصد رطوبت خاک به مقدار RAW رسیده است. به‌عبارت‌دیگر، درختان پسته موجود در باغ مورد مطالعه تا ۱۴ یا ۱۵ روز پس از آبیاری، بدون صرف انرژی از آب سهل‌الوصول استفاده کرده‌اند؛ از روز ۱۶ تا ۲۳، گیاه با صرف انرژی آب مورد نیاز خود را تأمین کرده است و در روز ۲۳ مقدار رطوبت خاک در تیمارهای گفته‌شده به نقطه پژمردگی دائم رسیده و گیاه را با تنش خشکی (به‌ویژه در موقعیت کنار درخت) مواجه نموده است. نکته چهارم اینکه در تمام نمودارهای ترسیم‌شده مشاهده می‌شود که هر چه به انتهای دوره زمانی حدفاصل دو آبیاری متوالی نزدیک می‌شویم، مقدار رطوبت خاک در کنار لوله آبده، کنار پشته و کنار ردیف درختان، به هم نزدیک‌تر می‌شوند. به دیگر سخن، دامنه نوسانات رطوبتی موجود در فاصله بین سه نقطه نمونه‌برداری انجام‌شده (کنار لوله آبده، کنار پشته و کنار درخت) کاهش می‌یابد.

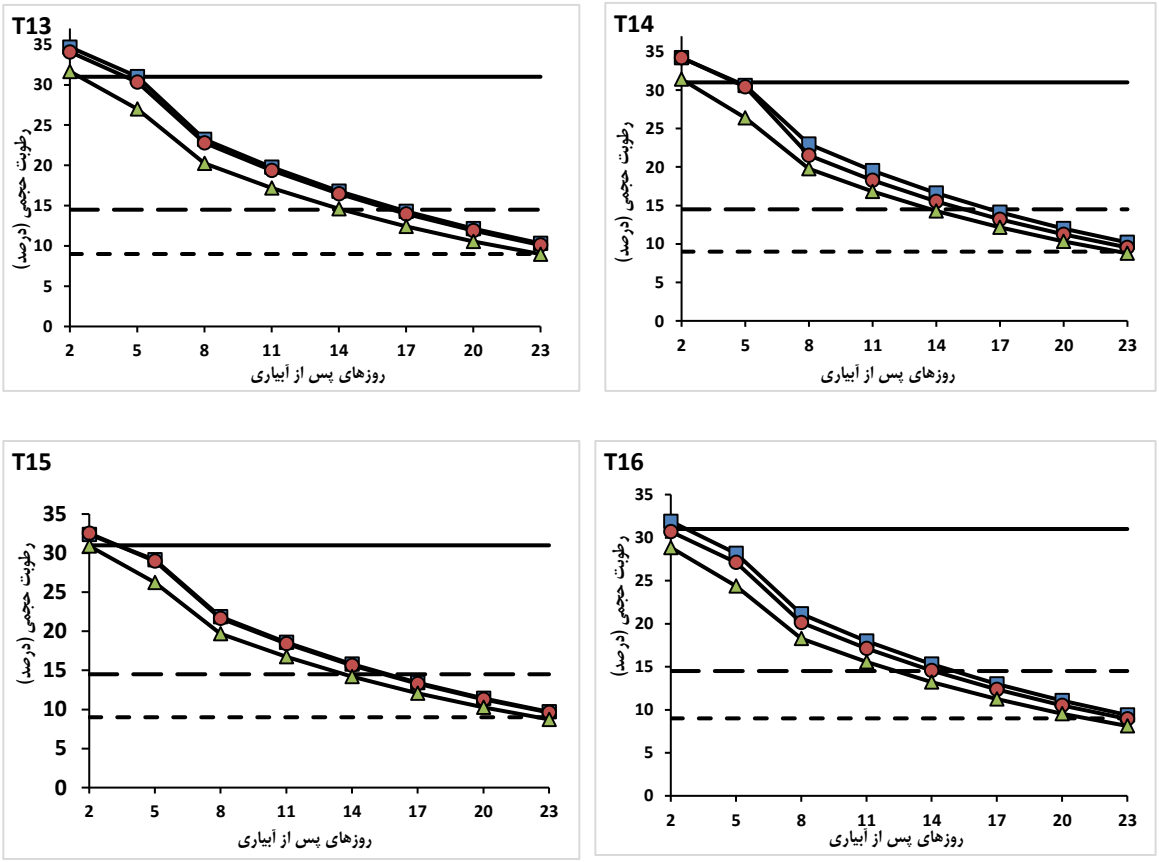


شکل ۴- تغییرات درصد رطوبت در فاصله بین دو آبیاری متوالی برای تیمارهای مختلف



راهنمای نمودارها:

شکل ۴- (ادامه)



شکل ۴- (ادامه)

خلاصه اطلاعات موجود در شکل ۴ در جدول ۵ ارائه شده است. در این جدول، تعداد روزهای لازم برای رسیدن رطوبت خاک عمق ۶۰ سانتی‌متری در سه نقطه کنار لوله (NP)، کنار پشته (NB) و کنار درخت (NT) به حد رطوبت سهل‌الوصول (RAW) مشخص شده است. بر اساس نتایج جدول ۵، تیمارهای T_3، T_5، T_6 و T_9 بهترین وضعیت رطوبتی را داشتند و در این تیمارها رطوبت خاک کنار لوله در عمق ۶۰ سانتی‌متر، به‌ترتیب بعد از۲۲/۵، ۲۳، ۲۲/۵ و ۲۲ روز پس از آبیاری به حد رطوبت RAW رسید. نتایج همچنین نشان داد که میانگین تعداد روز لازم برای رسیدن رطوبت خاک عمق ۶۰ سانتی‌متری همه تیمارها در سه محل کنار لوله، کنار پشته و کنار درخت، به‌ترتیب ۱۷/۱، ۱۵/۸ و ۱۴/۳ روز بود؛ ضمن اینکه این میانگین برای کل ناحیه ریشه درختان در همه تیمارها، ۱۵/۷ روز به‌دست آمد.

جدول ۵- زمان رسیدن رطوبت خاک عمق ۶۰ سانتی‌متری به حد رطوبت سهل‌الوصول در تیمارهای مختلف

تیمار آبیاری	کد تیمار	زمان رسیدن رطوبت خاک به حد رطوبت سهل‌الوصول (روز)			میانگین هر تیمار (روز)
		کنار لوله (NP)	کنار پشته (NB)	کنار درخت (NT)	کل ناحیه ریشه درختان در عمق 60 سانتی‌متر
T_1	1221	17	17	16	16.7
T_2	1222	14	14	14	14
T_3	1211	22.5	20	17	19.8
T_4	1212	14	12	11	12.3
T_5	1121	23	20	19	20.7
T_6	1122	22.5	18.5	18.5	19.8
T_7	1111	17	14	12.5	14.5
T_8	1112	15.5	14	12.5	14
T_9	2221	22	18	17	19
T_{10}	2222	14	14	13	13.7
T_{11}	2211	14	14	12	13.3
T_{12}	2212	14	13	12	13
T_{13}	2121	17	17	14.5	16.2
T_{14}	2122	17	15.5	14	15.5
T_{15}	2111	16	16	14	15.3
T_{16}	2112	15	15	12.5	14.2
میانگین		17.1	15.8	14.3	15.7

* اعداد داخل پرانتز به‌ترتیب از چپ به راست نشانگر سطوح مربوط به فاکتورهای A، B، C و D می‌باشند. به‌طور مثال، (T_1 (۱۲۲۱ یعنی تیماری که در آن عمق کانال ۴۰ سانتی‌متر، قطر لوله ۱۶۰ میلی‌متر، قطر سوراخ روی لوله ۱۲ میلی‌متر و فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر، ۱۵ سانتی‌متر است

برای تعیین دور آبیاری مناسب، باید تنها تیمارهایی در نظر گرفته شوند که از نظر ترکیب فاکتورهای طراحی، بهترین شرایط را داشته باشند. بنابراین، در جدول ۶ فقط چهار تیمار برتر انتخاب‌شده و میانگین‌های مورد نظر آن‌ها محاسبه شده است. با توجه به اطلاعات این جدول و درصورتی‌که رطوبت کل ناحیه حداکثر تراکم ریشه، ملاک کار قرار گیرد، دور آبیاری مناسب در این روش حدود ۲۰ روز خواهد بود؛ اما در حالتی که فقط رطوبت عمق حداکثر تراکم ریشه در وسط سایه‌انداز (کنار لوله) ملاک قرار گیرد، دور آبیاری بهینه ۲۲/۵ روز خواهد بود که با دور آبیاری انتخاب‌شده در این پژوهش (۲۴ روز) تطابق خوبی دارد و در بین تیمارهای برتر نیز تیمار T_5 بهترین وضعیت را دارا است.

درصورتی‌که هدف این باشد که کل آب قابل استفاده خاک استفاده شود، رطوبت خاک بین دو آبیاری متوالی می‌تواند تا حد PWP نیز برسد. در این صورت، تعداد روزهای لازم برای رسیدن رطوبت خاک به حد PWP مطابق جدول ۷ خواهد بود. بر اساس اطلاعات جدول اخیر، همان‌طور که پیش از این نیز ذکر شد، تنها رطوبت خاک کنار درخت در تیمارهای T_{11} و T_{12} از روز بیستم به بعد به حد پایین‌تر از PWP رسیده است و در بقیه تیمارها، در صورت استفاده از کل آب قابل استفاده، دور آبیاری ۲۴ روز مناسب است.

در جدول ۸ نتایج مقایسه میانگین را برای عملکرد خشک و راندمان مصرف آب درختان پسته، با (WUP1) و بدون (WUP2) احتساب نیاز آبشویی نشان داده شده است.

جدول ۶- زمان رسیدن رطوبت خاک عمق ۶۰ سانتی‌متری به حد رطوبت سهل‌الوصول در تیمارهای برتر

تیمار آبیاری	زمان رسیدن رطوبت خاک به حد رطوبت سهل‌الوصول (روز)			میانگین هر تیمار (روز)
	کنار لوله (NP)	کنار پشته (NB)	کنار درخت (NT)	کل ناحیه ریشه درختان در عمق ۶۰ سانتی‌متر
T_3 (1211)*	22.5	20	17	19.8
T_5 (1121)	23	20	19	20.7
T_6 (1122)	22.5	18.5	18.5	19.8
T_9 (2221)	22	18	17	19
میانگین	22.5	19.1	17.9	19.8

* اعداد داخل پرانتز به‌ترتیب از چپ به راست نشانگر سطوح مربوط به فاکتورهای A، B، C و D است. به‌طور مثال، (۱۲۲۱) T_1 یعنی تیماری که در آن عمق کانال ۴۰ سانتی‌متر، قطر لوله ۱۶۰ میلی‌متر، قطر سوراخ روی لوله ۱۲ میلی‌متر و فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر، ۱۵ سانتی‌متر است

جدول ۷- زمان رسیدن رطوبت خاک عمق ۶۰ سانتی‌متر به حد رطوبت نقطه پژمردگی دائم در تیمارهای مختلف

تیمار آبیاری	کد تیمار	زمان رسیدن رطوبت خاک به حد رطوبت نقطه پژمردگی دائم (روز)			میانگین هر تیمار (روز)
		کنار لوله (NP)	کنار پشته (NB)	کنار درخت (NT)	کل ناحیه ریشه درختان در عمق ۶۰ سانتی‌متر
T_1	1221	> 23	> 23	23	> 23
T_2	1222	23	23	23	23
T_3	1211	> 23	> 23	> 23	> 23
T_4	1212	23	> 23	23	23
T_5	1121	> 23	> 23	> 23	> 23
T_6	1122	> 23	> 23	> 23	> 23
T_7	1111	> 23	23	23	> 23
T_8	1112	> 23	23	23	> 23
T_9	2221	> 23	> 23	> 23	> 23
T_{10}	2222	23	23	23	23
T_{11}	2211	23	23	20	23
T_{12}	2212	23	22	20	23
T_{13}	2121	> 23	23	23	> 23
T_{14}	2122	> 23	23	23	> 23
T_{15}	2111	23	23	23	23
T_{16}	2112	23	23	23	23
میانگین		> 23	> 23	حدود 23	> 23

* اعداد داخل پرانتز به‌ترتیب از چپ به راست نشانگر سطوح مربوط به فاکتورهای A، B، C و D است. به‌طور مثال، (۱۲۲۱) T_1 یعنی تیماری که در آن عمق کانال ۴۰ سانتی‌متر، قطر لوله ۱۶۰ میلی‌متر، قطر سوراخ روی لوله ۱۲ میلی‌متر و فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر، ۱۵ سانتی‌متر است

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین عملکرد خشک پسته و راندمان مصرف آب در درختان پسته، با (WUP1) و بدون (WUP2) احتساب نیاز آبشویی

عامل تغییر (فاکتور)	سطح عامل (تیمار)	محصول خشک (kg.tree)	بهره‌وری آب $WUP_1(gr.m^3)$	بهره‌وری آب $WUP_2(gr.m^3)$
سال (Y)	1398	9.7 b	937.3 b	585.8 b
	1400	10.1 a	1196.1 a	747.6 a
عمق کانال (A)	40 cm	9.8 a	1167.1 a	729.4 a
	60 cm	8.1 b	966.3 b	603.9 b
قطر لوله (B)	110 mm	8.7 b	1041.2 b	650.7 b
	160 mm	9.2 a	1092.2 a	682.6 a
قطر سوراخ (C)	9 mm	8.5 b	1010.9 b	631.8 b
	12 mm	9.4 a	1122.5 a	701.6 a
فاصله سوراخ (D)	15 cm	9.2 a	1098.6 a	686.6 a
	25 cm	8.7 b	1034.8 b	646.7 b
اثر متقابل فاکتورها (A×B×C×D)	T_1	10.3 bc	1222.7 bc	764.2 bc
	T_2	9.9 c	1172.2 c	732.6 c
	T_3	10.5 ab	1253.4 ab	783.4 ab
	T_4	9.2 d	1097.8 d	686.1 d
	T_5	11.1 a	1325.5 a	828.4 a
	T_6	10.8 ab	1280.3 ab	800.2 ab
	T_7	8.4 e	1002.1 ef	626.3 ef
	T_8	8.3 e	982.9 ef	614.3 ef
	T_9	8.4 e	994.6 ef	621.6 ef
	T_{10}	8.7 e	1033.6 e	646.0 e
	T_{11}	9.1 d	1086.7 d	679.2 d
	T_{12}	7.4 gf	876.6 h	547.9 h
	T_{13}	8.6 e	1019.1 e	636.9 e
	T_{14}	7.8 f	932.2 f	582.6 f
	T_{15}	7.4 g	884.6 g	552.9 g
	T_{16}	7.6 g	902.7 g	564.2 g
LSD	-	0.511	60.71	37.94

(میزان آب مصرفی برای تمام تیمارها ۵۰۰۰ مترمکعب در طول فصل رشد بوده است)

تجزیه‌وتحلیل نشان می‌دهد که میانگین وزن خشک هر درخت در طول زمان به دنبال اجرای روش آبیاری به‌طور قابل توجهی افزایش‌یافته است. به‌طور مشخص، در سال دوم، محصول خشک به ازای هر درخت به‌طور متوسط ۲/۲ کیلوگرم نسبت به سال اول افزایش‌یافته است. بر این اساس عمق کانال ۴۰ سانتی‌متر با میانگین محصول خشک ۹/۸ کیلوگرم بر درخت وضعیت بهتری نسبت به عمق کانال ۶۰ سانتی‌متر با میانگین محصول خشک ۸/۱ کیلوگرم بر درخت داشت. قطر لوله ۱۶۰ میلی‌متر نیز با میانگین محصول خشک ۹/۲ کیلوگرم بر درخت، وضعیت بهتری نسبت به قطر ۱۱۰ میلی‌متر با محصول خشک ۸/۷ کیلوگرم بر درخت داشت. همچنین، قطر سوراخ ۱۲ میلی‌متر با میانگین محصول خشک ۹/۴ کیلوگرم بر درخت وضعیت بهتری نسبت به قطر سوراخ نه میلی‌متر با محصول خشک ۸/۵ کیلوگرم بر درخت داشت.

در ضمن فاصله سوراخ ۱۵ سانتی‌متر با میانگین محصول خشک ۹/۲ کیلوگرم بر درخت وضعیت بهتری نسبت به فاصله سوراخ ۲۵ سانتی‌متر با محصول خشک ۸/۷ کیلوگرم بر درخت داشت. در بین تیمارهای اثر متقابل نیز تیمارهای T۵ و T۱۵ به ترتیب با میانگین محصول خشک ۱۱/۱ و ۷/۴ کیلوگرم بر درخت، بهترین و بدترین تیمارها بودند.

یافته‌ها همچنین نشان می‌دهند که هر کدام از فاکتورهای طراحی این روش آبیاری به‌تنهایی و نیز اثرات متقابل آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی بر راندمان مصرف آب در سطح یک درصد تأثیر گذاشت. به‌طور خاص، عمق قرارگیری لوله ۴۰ سانتی‌متر، قطر لوله ۱۶۰ میلی‌متر، قطر سوراخ ۱۲ میلی‌متر و فاصله سوراخ‌ها ۱۵ سانتی‌متر منجر به افزایش مثبت و قابل‌توجهی در راندمان مصرف آب در مقایسه با سایر تیمارها شد. در میان تیمارهای متقابل، T5 با میانگین ۱۳۲۵/۵ گرم در مترمکعب و ۸۲۸/۴ گرم در مترمکعب به ترتیب برای WUP1 و WUP2، بالاترین راندمان مصرف آب را نشان داد. در مقابل، T12 با میانگین ۸۷۶/۶ گرم در مترمکعب برای WUP1 و ۵۴۷/۹ گرم در مترمکعب برای WUP2، کمترین راندمان را دارد.

بحث

پسته مقاوم به خشکی بوده و قادر است با مقادیر کم آب نیز محصول متوسطی داشته باشد. انتخاب دور آبیاری درختان پسته به عواملی نظیر بافت خاک، میزان تبخیر و تعرق، شوری آب‌وخاک، روش آبیاری، سن درخت و میزان آب در دسترس بستگی دارد. آبیاری در زمان گلدهی (عموماً فروردین و اردیبهشت) و زمان پر شدن مغز (تیر و مرداد) از مهم‌ترین مراحل حساس پسته به آب بوده و کمبود آب در این مراحل از تشکیل مغز و رسیدن میوه جلوگیری می‌کند . عمق آب آبیاری کمتر از حد موردنیاز باعث ایجاد تنش خشکی در درختان پسته شده و تنش خشکی موجب خشکیدگی سرشاخه، ریزش و خشکیدگی برگ‌ها و نهایتاً خشک شدن درخت می‌شود (استجوتو و همکاران، ۲۰۱۲)

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هر یک از پارامترهای طراحی روش آبیاری زیرسطحی کم‌فشار با لوله های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار به‌تنهایی و نیز اثرات متقابل آن‌ها بر چگونگی توزیع رطوبت در ناحیه ریشه درختان پسته، معنی‌دار بود. در بحث اثر هر یک از فاکتورها به‌تنهایی، در اغلب موارد عمق کانال برابر با ۴۰ سانتی‌متر، قطر لوله برابر با ۱۱۰ میلی‌متر، قطر سوراخ روی لوله برابر با ۱۲ میلی‌متر و فاصله سوراخ روی لوله برابر با ۱۵ سانتی‌متر، به‌عنوان فاکتورهای برتر شناخته شدند. در خصوص قطر لوله، اگرچه در برخی از موارد برتری نسبی با قطر ۱۶۰ میلی‌متر بود؛ ولی این اختلاف در بسیاری از موارد، به‌ویژه در هنگام ترکیب فاکتورها با یکدیگر، معنی‌دار نبود. بنابراین با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی اجرای این روش آبیاری و قیمت پایین‌تر لوله های با اندازه کوچک‌تر، قطر لوله ۱۱۰ میلی‌متر نیز می‌تواند جایگزین قطر لوله ۱۶۰ میلی‌متر گردد. در رابطه با اثرات متقابل فاکتورهای طراحی، به‌ترتیب چهار تیمار $T_۵$، $T_۶$، $T_۳$ و $T_۹$ بهترین وضعیت را در عملکرد محصول و نیز بهره‌وری آب داشتند.

در بررسی حاضر، در ناحیه حداکثر تراکم ریشه درختان پسته (۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متر) در فاصله بین دو آبیاری متوالی (دو و ۲۳ روز پس از آبیاری)، به‌ترتیب ۱۲ و ۶/۲ درصد افزایش رطوبت خاک ناشی از انتخاب مناسب فاکتورهای طراحی مشاهده شد. در ضمن، با انتخاب مناسب فاکتورهای طراحی این روش آبیاری، بسته به اینکه بخواهیم رطوبت خاک در پایان دور آبیاری به مقادیر RAW یا PWP برسد، می‌توان دور آبیاری را به‌ترتیب دو تا هشت روز افزایش داد. به دیگر سخن، دور آبیاری مناسب درختان پسته در این روش آبیاری و با توجه به ویژگی‌های خاک باغ مورد استفاده در پژوهش حاضر، برحسب در نظر گرفتن تخلیه

مجاز رطوبتی تا RAW یا PWP، به‌ترتیب، ۲۰ و ۲۴ روز تعیین گردید.

درهرحال، باید توجه داشـــت که اعداد و ارقام به‌دســـت‌آمده در این پژوهش برای فاکتورهای طراحی روش آبیاری مزبور، اعداد مطلق و ثابتی نبوده و لازم اســـت با در نظر گرفتن نتایج این پژوهش، برای هر باغ با توجه به بافت خاک، طول و فا صله ردیف درختان، دبی آب آبیاری، شیب زمین و غیره، این پارامترها بهینه‌سازی شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشانگر آن هستند که روش آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار می‌تواند به‌عنوان یک روش آبیاری مناسب برای درختان پسته محسوب شود؛ چرا که با انتخاب مناسب فاکتورهای طراحی روش آبیاری، می‌توان دور آبیاری را دو تا هشت روز افزایش داد بدون اینکه این افزایش دور آبیاری به کیفیت دسترسی درخت به آب تأثیر منفی ایجاد کند لذا، علاوه بر کاهش مصرف آب، به‌دلیل تطابق خوب آن با شرایط خرده‌مالکی و امکان استفاده از آن در شرایط آب‌وخاک شور، می‌تواند بخش زیادی از مشکلات پسته‌کاران را در زمینه مقابله با خشک‌سالی و استفاده از آب‌های شور، مرتفع کند. با افزایش دور آبیاری در این روش میزان مصرف آب تغییری نمی‌کند و نتایج این مطالعه نشان داد که باعث بهبود بهره‌وری آب و عملکرد خشک محصول نیز می‌شود. این سیستم توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مورد تائید قرار گرفته است و به همین واسطه مانند سایر روش‌های آبیاری نوین مشمول وام‌های حمایتی قرار می گیرد. در مجموع، دور آبیاری مناسب درختان پسته در این سیستم آبیاری و با توجه به مشخصات خاک باغ مورد نظر و با مدنظر قرار دادن تخلیه مجاز رطوبتی تا آب سهل‌الوصول یا نقطه پژمردگی دائم، به‌ترتیب، ۲۰ و ۲۴ روز تعیین گردید.

تعارض منافع

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

فهرست منابع

۱. اسماعیل‌پور، علی، امامی، سید یحیی، بصیرت، مهدی، تاج‌آبادی‌پور، علی، جوانشاه، امانالله، حکم‌آبادی، حسین، حسینی‌فرد، سید جواد، حق‌دل، معصومه، شاکر اردکانی، احمد، صداقت، رضا، صداقتی، ناصر، محمدی، امیرحسین، مهرنژاد، محمدرضا و هاشمی‌راد، حمید،۱۳۹۶. پسته از تولید تا مصرف. انتشارات تحقیقات آموزش کشاورزی، ۱۳۰ صفحه.

۲. تافته، آرش و امداد، محمدرضا، ۱۴۰۳. استفاده از مدل Hydrus 2D در ارائه برنامه مناسب آبیاری باغات و شبیه سازی شوری خاک (مطالعه موردی باغات پسته سمنان). *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۵(۱)، صص. ۳۷-۵۵

۳. صداقتی، ناصر، تاج‌آبادی‌پور، علی، و حیدری‌نژاد، علی، ۱۳۸۸. مقایسه عملکرد سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر روی درختان پسته. گزارش نهایی طرح پژوهشی، مؤسسه تحقیقات پسته کشور. ۵۱ صفحه.

۴. صداقتی، ناصر، حسینی‌فرد، سید جواد و عبدالهی عزت‌آبادی، محمد، ۱۳۹۳. بررسی امکان تغییر سیستم آبیاری سطحی غرقابی و زیرسطحی با لوله‌های PVC در باغ‌های پسته. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی پژوهشکده پسته رفسنجان، ۲۶ صفحه.

۵. عباسی، فریبرز، عباسی، نادر، توکلی، علیرضا، ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم اندازها. *فصلنامه آب و توسعه پایدار*، ۴(۱)، صص. ۱۴۱-۱۴۴. **doi: 10.22067.jwsd.v4i1.67121**

۶. عطایی، علی، اکبری، مهدی، نیشابوری، محمدرضا، غفاری، زهرا و زارع حقی، داوود، ۱۳۹۸. اثر آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با آب شور و غیرشور بر تغییرات جریان شیره آوندی، هدایت روزنه‌ای و دمای برگ درختان پسته. *پژوهش آب در کشاورزی*, ۳۳(۴)، صص. ۵۸۳-۵۹۹ .**doi: 10.22092.jwra.2020.121240**

۷. محمدی محمدآبادی، اکبر، ۱۳۸۴. بررسی امکان تغییر سیستم آبیاری از روش سطحی به زیرزمینی و تعیین تأثیر تغییر سیستم بر روی میزان زودخندانی در درختان بارور پسته. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات پسته کشور، ۳۱ صفحه.

۸. محمدی محمدآبادی، اکبر، ۱۳۸۶. مطالعه سیستم‌های آبیاری (سطحی، تراوا، کوزه‌ای، تی تیپ، قطره‌ای و بابلر) از زمان کاشت بر روی پسته. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات پسته کشور، ۴۰ صفحه.

۹. حسینی فرد، سید جواد.، بصیرت، مهدی، صداقتی، ناصر و اخیانی احمد، ۱۳۹۶. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه درختان پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده پسته.

۱۰. حکم آبادی، حسین، اسماعیل پور، علی، امامی، سید یحیی و همکاران، ۱۴۰۰. پسته ایران. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.

۱۱. نی‌ریزی، سعید، ۱۳۷۷. نگرشی بر استفاده از آب‌های شور و لب‌شور در کشت آبی. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

12. Alison, L.E. and Modie, C.D., 1965. Carbonate. pp. 1379-1396. In: C.A. Black et al. (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part II, ASA and SSSA, Madison, WI. **Doi: 10.2134.agronmonogr9.2.c40**
13. Blake, G.R., 1965. Bulk density. In: C.A. Black et al. (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part I, ASA and SSSA, Madison, WI.
14. Bouyoucos, G.J.,1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
15. Estefan, G., Sommer, R. and Ryan, J.,2013. Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A manual for the West Asia and North Africa Region. ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) Box 114.5055, Beirut, Lebanon, 244 p. **https:..hdl.handle.net.20.500.11766.7512**
16. Goldhamer, D.A., 2005. Tree water requirements and regulated deficit irrigation. In: Ferguson, L. (Ed.), Pistachio Production Manual. 4thEdition, University of California, Oakland, California, pp. 147-157.
17. Lamm, F.R., 2003. Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. www.Oznet.Ksu.Edu.sdi.Reports.2000.
18. Lanyon, L.E. and Heald, W.R.,1982. Magnesium, calcium, strontium and barium. In: Page et al. (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part II, Agron. Monogar., ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 247-260.
19. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanaable, F.S. and Dean, L.A.,1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Cir. 939, U.S. Govern. Prin. Office, Washington, D. C., USA.
20. Richards, L.A.,1954. Diagnosis and improvement of saline-alkali soils. USDA Hand book, No. 60, Washington, DC, USA.

21. Rhoades, J.D.,1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved soils. In: D.L. Sparks (ed.), Methods of Soils Analysis, Part 3: Chemical methods. SSSA Book series Number 5, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 417-435.
22. Sepaskhah, A.R. and Maftoun, M.,1988. Relative salt tolerance of pistachio cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 63,pp 157-162. doi:10.1080.14620316.1988.11515841.
23. Krishnaprabu, S.,2020. Comparative study of subsurface drip irrigation and flood irrigation systems for quality and yield of sugarcane. Plant Archives, 20 (1), pp 2169-2176.
24. Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J. and Drechsel, P.,2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4), pp 282-295. **doi:10.1111.1477-8947.12054**
25. Thompson, T.L., PANG, H.C. and LI, Y.Y.,2009. The potential contribution of subsurface drip irrigation to water-saving agriculture in the western USA. *Agricultural Sciences in China*, 8(7), pp 850-854. **doi:10.1016.S1671-2927(08)60287-4**
26. Dastorani, M.T., Heshmati, M. and Sadeghzadeh, M.A., 2010. Evaluation of the efficiency of surface and subsurface irrigation in dryland environments. Irrigation and Drainage: *The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 59(2), pp 129-137. **doi:10.1002.ird.462**
27. Thamer, T.Y., Nassif, N. and Almaeini, A.H.,2021. The productivity of maize (Zea mays L.) water using efficacy and consumptive use under different irrigation systems. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(1), pp 90-103.
28. Çolak, Y.B., Yazar, A., Gönen, E. and Eroğlu, E.Ç.,2018. Yield and quality response of surface and subsurface drip - irrigated eggplant and comparison of net returns. Agricultural. *Water Management*, 206, pp 165 - 175. doi:10.1016.j.agwat.2018.05.010
29. Yan, Z., Dyck, M., Huan -Jie, C., Li -Bing, S. and Hui, C.,2019. The effects of aerated irrigation on soil respiration, oxygen, and porosity. *Journal of Integrative Agriculture*, 18, pp 2–16. **doi:10.1016.S2095-3119(19)62618-3**
30. Sayed, T., Derbala, A., Elmetwalli, A., Hassan, S., Elglaly, A. and Fayed, M.,2023. Effect of using trailing perforated pipe on irrigation efficiency for maize production. *Al-Azhar Journal of Agricultural Engineering*, 35(5), pp 1-7. **Doi: 10.21608.azeng.2023.308721**
31. Piper, C.S. 2010. Soil and plant analysis: A laboratory manual of methods for the examination of soils and determination of the inorganic constituents of plants. Scientific Publishers, India.
32. Zangen, M. 1962. Titration of carbonate- bicarbonate leach solutions. *Journal of Applied Chemistry*, 12(2), pp 92-96.