

اثر تغییر سیستم آبیاری از روش سطحی (غرقابی) به زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی (PVC) بر شوری خاک، رشد و عملکرد درختان پسته

ناصر صداقتی^{۱*}، سیدجواد حسینی‌فرد^۱، محمد عبدالهی عزت‌آبادی^۱، اکبر محمدی محمدآبادی^۲،

محمد رضا نیکوئی دستجردی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۰۹

چکیده

در این پروژه، امکان تغییر سیستم آبیاری از روش غرقابی به زیرسطحی کم‌فشار (با لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخدار) روی درختان بارور پسته مورد مطالعه قرار گرفت. این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار شاهد (S)، آبیاری به روش غرقابی با دور آبیاری ۴۸ روز و حجم آب ۶۷۲۰ متر مکعب در هکتار، تیمار P_۱، آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی با مقدار آب مورد استفاده برای تیمار شاهد و دور آبیاری ۱۲ روز و تیمار P_۲، آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی با مقدار آب ۷۵ درصد مقدار آب مورد استفاده برای تیمار شاهد و دور آبیاری ۲۴ روز بودند. نتایج نشان داد که از بین صفات رویشی، سطح برگ، تعداد کل جوانه‌ها، درصد جوانه ریزش کرده و درصد جوانه رویشی بطور معنی‌داری تحت تاثیر تغییر روش آبیاری قرار گرفتند. همچنین تغییر روش آبیاری بر روی اغلب صفات کمی و کیفی محصول در سطح ۵ درصد اثر معنی‌دار داشت، به‌طوری‌که باعث افزایش ۰/۸ تا ۱/۶ کیلوگرمی وزن محصول خشک هر درخت، کاهش ۱/۷ تا ۴/۲۵ درصدی پوکی، افزایش ۳/۵ تا ۶ درصدی خندانی و کاهش ۱/۳ تا ۲ واحدی در انس پسته گردید. ضمن اینکه بهره‌وری مصرف آب نیز در روش‌های آبیاری P_۱ و P_۲، به ترتیب ۴۱/۴ درصد و ۶۱/۶ درصد افزایش یافت. تیمارهای آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی در اغلب صفات مورد بررسی، با یکدیگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد نداشتند. نتایج شوری خاک ناحیه ریشه درختان در فصل پاییز (قبل از آیشویی) نیز حاکی از افزایش شوری سطح خاک در ناحیه بالای لوله‌های زیرسطحی بود. اما شوری خاک در اسفندماه و پس از انجام آیشویی و بارندگی زمستانه به وضعیتی مناسب (کمتر از ۹ dS/m) رسید. ارزیابی اقتصادی اجرای این پروژه نیز حاکی از توجیه اقتصادی بالای آن دارد.

^۱ استادیار پژوهشی، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

* نویسنده مسئول: nsedaghati2010@gmail.com

^۲ مربی پژوهشی، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

^۳ کارشناس ارشد، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

به‌طوریکه با سرمایه‌گذاری سالیانه در حدود ۶۰ میلیون ریال در هر هکتار (به عنوان سرمایه‌گذاری اولیه) برای تغییر سیستم، بسته به انتخاب روش آبیاری P_1 یا P_2 ، به ترتیب درآمدی معادل $7/6$ و $15/2$ برابر سرمایه‌گذاری اولیه، عاید باغدار خواهد شد. بنابراین با در نظر گرفتن محدودیت‌های مناطق پسته‌کاری ایران از نظر کمیت و کیفیت منابع آب در دسترس، استفاده از روش P_2 به دلیل کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب و افزایش $61/6$ و $14/3$ درصدی بهره‌وری مصرف آب، به ترتیب نسبت به روش‌های S و P_1 ، قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخویی، آبیاری زیرسطحی کم‌فشار، بهره‌وری مصرف آب، دور آبیاری

مقدمه

در شرایط آب و هوایی ایران، یکی از عمده‌ترین موانع افزایش تولید محصولات کشاورزی، عدم استفاده بهینه از منابع آب موجود می‌باشد، زیرا قسمت عمده آب استحصالی، در بخش کشاورزی مصرف شده و بازده مصرف آن نیز در این بخش بسیار کم می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی‌های مزرعه‌ای نشان می‌دهد که میانگین راندمان کاربرد و کل آبیاری سطحی در ایران طی سال‌های ۹۴-۱۳۷۰ به ترتیب $53/6$ و $43/6$ درصد بوده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). رشد بی‌رویه سطح زیر کشت پسته در استان کرمان و به تبع آن برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی، سبب افت سالیانه $0/7$ متری متوسط سطح آب در سفره‌های دشت رفسنجان گردیده‌است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۷). از این رو استفاده بهینه از منابع آب به عنوان محور اصلی توسعه بایستی مورد توجه قرار گیرد. تحقیقات نشان داده است که درخت پسته همانند سایر درختان، نیاز قابل توجهی به آب دارد و چنانچه در طول فصل رشد کمتر از نیاز طبیعی آب دریافت نماید، به شدت از عملکرد آن کاسته می‌شود (صداقتی و همکاران، ۱۳۸۸).

سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی محاسن بسیار زیادی دارد که میتوان به بهره‌وری مصرف آب (Water Use Productivity, WUP) بالاتر، کاهش خطرات شوری به دلیل نگهداری رطوبت خاک در حد بالا و دور آبیاری کوتاهتر، یکنواختی پخش آب بالا، وضعیت بهتر رشد گیاه، افزایش کمی و کیفی محصول، کنترل بهتر بیماری‌ها، مدیریت مناسب کودها و سموم، کنترل علف‌های هرز، امکان خودکار کردن کامل سیستم، طول عمر بیشتر سیستم، کاهش خسارات ناشی از حیوانات و انعطاف پذیری زیاد سیستم اشاره کرد و در مجموع این سیستم به دلیل مزایای بسیاری که دارد به عنوان یک سیستم کارآمد به شمار می‌آید (Lamm, 2003).

کاربرد سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی بیش از ۳۰ نوع گیاه، افزایش محصول را نسبت به سایر روش‌های آبیاری، از جمله آبیاری قطره ای سطحی، به همراه داشته است. ضمن اینکه میزان آب کاربردی نیز کمتر بوده

است. عمق کارگذاری لوله‌ها بسته به نوع گیاه، بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۷ متر متغیر بوده و فاصله لوله‌های آبدۀ از ۰/۲۵ تا ۵ متر در نظر گرفته شده است. نتیجه دیگر اینکه در مورد درختان میوه نظیر سیب، عمق کارگذاری لوله‌ها بین ۰/۳ تا ۰/۷ متر و فاصله لوله‌ها ۲ تا ۵ متر پیشنهاد شده است (Camp, 1998).

در ایالت کالیفرنیا مدیریت آبیاری درختان بارور پسته با استفاده از روش آبیاری قطره‌ای توسط Phene *et al.* (۱۹۸۵) مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین عملکرد کمی و کیفی محصول درختان پسته در تیماری که ۱۱۵۰۰ مترمکعب در هکتار سال (شاهد) آب مصرف شده در مقایسه با تیماری که ۲۵ درصد کاهش مصرف آب داشته است، ملاحظه نگردید. مطالعات انجام شده در ترکیه نشان داد، استفاده از روش آبیاری قطره‌ای روی درختان بارور پسته سبب افزایش محصول تر از ۱۱/۸ به ۱۵/۲ کیلو گرم در هر درخت گردید (Arastirma, 2004).

تحقیقات انجام یافته نشان داد که تغییر سیستم آبیاری از روش سطحی به زیرسطحی با لوله‌های اسفنجی تراوا، روی درختان بارور پسته امکان پذیر بوده و می‌توان با کاربرد آب به میزان ۴۰ و ۶۰ درصد تبخیر از تشتک کلاس الف (حجم آب آبیاری حدود ۴۷۸۳ و ۷۱۷۴ مترمکعب در هکتار-سال)، به عملکرد مناسب از نظر صفات کمی و کیفی محصول پسته دست یافت (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین نتایج تحقیق محمدی (۱۳۸۶) نشان داد سیستم آبیاری کوزه‌ای بر سایر سیستم‌های آبیاری سطحی، بابلر، قطره‌ای، تراوا و تی‌تیپ برتری کامل داشت. به طوری که در کلیه صفات مورد ارزیابی نهال‌هایی که با این روش آبیاری شدند، از بهترین وضعیت رشد برخوردار بودند و روش‌های آبیاری قطره‌ای و بابلر در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

در تحقیقی که توسط صداقتی و همکاران (۱۳۹۱الف) روی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در باغ‌های پسته انجام شد مقادیر مختلف آب (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری سطحی) و ۲ عمق نصب لوله‌های آبدۀ در روش زیرسطحی (۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر و میزان آب ۶۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری سطحی، با بهره‌وری مصرف آب ۰/۲۹۰ کیلوگرم محصول خشک در هر متر مکعب آب مصرفی و ۲۵ درصد صرفه جویی در مصرف آب نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی بهترین تیمار شناخته شد.

با عنایت به تمام مزایا و برتری‌های آبیاری به روش زیرسطحی در تحقیقات مختلف انجام شده تاکنون، ابداع و کاربرد روش‌های جدیدی که بتواند آب مورد نیاز گیاهان را در زیر سطح خاک توزیع نماید، از اهمیت خاصی برخوردار است. بر این اساس استفاده از لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخدار به عنوان یک روش آبیاری زیرسطحی جهت آبیاری گیاهان

روشی جدید بوده که تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته است. در این روش جدید آبیاری، آبی که در لوله‌های توزیع آب در باغ جهت سیستم آبیاری غرقابی استفاده می‌شود، توسط حوضچه‌هایی به لوله‌های آبیاری زیرسطحی که در دو طرف ردیف درختان نصب شده است، منتقل می‌گردد. با توجه به اینکه ورودی آب به لوله و نیز انتهای خط لوله‌ها (هواکش)، کاملاً باز می‌باشد، به عنوان سیستم کم‌فشار در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق عملکرد این روش آبیاری بر روی خصوصیات رشد رویشی و اجزاء عملکرد محصول درختان بارور پسته و نیز جنبه اقتصادی این تغییر سیستم در مقایسه با روش آبیاری سطحی متداول، بررسی گردیده است.

مواد و روش‌ها

این پروژه از بهمن سال ۱۳۹۰ در قطعه باغی به مساحت تقریبی یک هکتار در منطقه امین‌شهر شهرستان اناز به مدت ۲ سال اجرا شد. نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری و خاک باغ آزمایشی در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش.

نسبت جذب	غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)						اسیدیته pH	قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری EC _w (dS/m*)
	سدیم Na ⁺	منیزیم Mg ⁺²	کلسیم Ca ⁺²	کلر Cl ⁻	بیکربنات HCO ₃ ⁻	کربنات CO ₃ ⁻²		
SAR	۵۴/۷	۳۰/۵	۳۲/۵	۱۱۲/۵	۰/۴	-	۷/۷	۱۱/۸

*دسی‌زیمنس بر متر

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک محل اجرای پروژه در شروع آزمایش.

عمق خاک (سانتی‌متر)	اسیدیته pH	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ECe(dS/m)	نسبت جذب سدیم SAR	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
۴۰-۸۰	۸/۰	۱۰/۵	۱۳/۷	۱۸/۱	۱۵/۰	۶۶/۹	لوم شنی
۸۰-۱۲۰	۸/۰	۱۳/۷	۱۷/۵	۱۸/۲	۲۲/۸	۵۹/۰	لوم رسی شنی

درختان پسته قطعه آزمایشی رقم اکبری با سن تقریبی ۲۵ سال بودند. فاصله کاشت درختان بین ردیف‌ها ۷ متر و بین درختان روی ردیف حدود ۲/۵ متر بود که تراکم کشت در قطعه آزمایشی به‌طور متوسط حدود ۵۷۱ اصله درخت در هر هکتار بود. طول ردیف‌های کاشت درختان نیز ۷۰ متر بود. آبیاری درختان قبل از اجرای طرح به روش سطحی (غرقابی) و با دور ۴۸ روز انجام می‌شد. محاسبات انجام شده نشان داد که باغدار در طول فصل رشد (از اول فروردین تا

۲۰ مهرماه)، با ۴ نوبت آبیاری، حجم آبی معادل ۶۷۲۰ متر مکعب در هر هکتار مصرف می‌کند. این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار در ۳ تکرار پیاده گردید که تیمارهای آزمایشی شامل تیمار شاهد (S)، آبیاری به روش غرقابی منطبق با روش آبیاری قبل از اجرای طرح با دور آبیاری ۴۸ روز و حجم آب ۶۷۲۰ متر مکعب در هکتار، تیمار P_۱، آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی با میزان آب مورد استفاده برای تیمار شاهد و دور آبیاری ۱۲ روز و تیمار P_۲، آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی با میزان آب ۷۵ درصد مقدار آب مورد استفاده برای تیمار شاهد و دور آبیاری ۲۴ روز بودند. برای تمامی تیمارها یک نوبت آبیاری به صورت غرقابی در زمستان در نظر گرفته شد که حجم آن در کل قطعه یک هکتاری اجرای پروژه، حدود ۱۵۰۰ متر مکعب بود. برای اجرای طرح از لوله‌های زیرسطحی پی‌وی‌سی با قطر ۱۱۰ میلی‌متر استفاده گردید. لوله‌های مذکور تقریباً در فاصله ۱/۲ متری از تنه درختان، در دو طرف ردیف و در عمق ۴۰ سانتی‌متری از سطح خاک و بر اساس عمق توسعه ریشه درختان پسته طوری کارگذاری شدند که مانع کارکرد ادوات کشاورزی نباشند. در قسمت زیرین لوله‌ها، سوراخ‌هایی به قطر ۹ میلی‌متر به صورت کمی مورب (با زاویه ای در حدود ۳۰ درجه نسبت به قسمت تحتانی لوله) و به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر (بطور ثابت در کل خط لوله) تعبیه شدند. سوراخ‌های مورب به منظور توزیع افقی بهتر آب در خاک‌های مناطق پسته کاری که اغلب بافت سبکی (لوم شنی تا شن لومی) دارند، ضروری می‌باشد. در وسط فاصله بین هر کدام از این سوراخ‌ها نیز یک سوراخ در کف لوله‌ها جهت تخلیه کامل آب از لوله‌ها، تعبیه شد. به منظور کاهش خطرات انسداد سوراخ‌ها بوسیله ذرات خاک و نیز جلوگیری از شستشوی خاک در هنگام آبیاری، یک لایه گراول (شن درشت) به ضخامت تقریبی ۵ سانتی‌متر دور تا دور لوله‌ها به صورت فیلتر تعبیه گردید. این لایه گراول ضمن جلوگیری از تماس مستقیم خاک با منافذ خروج آب، باعث کاهش سرعت جریان آب از منافذ لوله‌ها گردیده و در نهایت موجبات کاهش خطرات انسداد سوراخ‌ها بوسیله ذرات خاک و نیز جلوگیری از شستشوی خاک در هنگام آبیاری را فراهم می‌آورد.

تمامی عملیات داشت به طور یکسان روی درختان تمام تیمارها در طول مدت آزمایش انجام شد. هر ساله صفات کمی و کیفی محصول از جمله وزن محصول تر و خشک، تعداد دانه در یک انس پسته، درصد خندانی، درصد پوکی و نیز صفات رویشی از جمله سطح برگ (اواخر خردادماه)، رشد طولی و قطری شاخه سال جاری و درصد جوانه‌های رویشی، زایشی و ریزش کرده درختان بر روی شاخه‌هایی که قبل از شروع تحقیق در چهار جهت درختان اتیکت‌گذاری شده بودند، در فصل پاییز اندازه‌گیری شده و در نهایت بهره‌وری مصرف آب (WUP) نیز محاسبه گردید. بهره‌وری مصرف آب هر تیمار، با تقسیم نمودن میانگین وزن محصول خشک بر حجم آب آبیاری مصرفی در هر هکتار محاسبه شد. هر سال در مهرماه (پس از برداشت محصول) و نیز در ابتدای سال بعد (اواخر اسفندماه)، از خاک تیمارهای آبیاری زیرسطحی و

سطحی، در سه عمق (۰-۴۰، ۴۰-۸۰ و ۸۰-۱۲۰) و در سه منطقه (روی ردیف درختان، محل استقرار لوله‌های پی‌وی‌سی و بین ردیف درختان) نمونه‌گیری شده و پس از تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه، تغییرات شوری عصاره اشباع خاک پس از اعمال تیمارهای آزمایشی و نیز بعد از انجام آبتوی زمستانه، بررسی شد. تجزیه آماری داده‌های تحقیق بصورت مرکب در زمان با استفاده از نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

برای ارزیابی اقتصادی پروژه از روش بودجه بندی جزئی (Partial Budgeting) استفاده شد (Soliman *et al.*,

2010). بدین منظور در مورد هر تیمار حالت با و بدون پروژه مقایسه گردید. در هر مورد، حالت بدون پروژه، تیمار شاهد بوده و حالت با پروژه یکی از تیمارهای اصلی بودند. در مقایسه با و بدون پروژه، مجموع منافع زیاد شده یا هزینه‌های کم شده به عنوان درآمد و مجموع منافع کم شده و هزینه‌های زیاد شده به عنوان هزینه در نظر گرفته شدند. سپس خالص سود حاصل از کاربرد هر تیمار محاسبه گردید. در صورتی که سود حاصله مثبت بود، کاربرد تیمار مورد نظر اقتصادی قلمداد می‌شد. هزینه‌های محاسبه شده در هر مورد شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های کارگری مبارزه با علف‌های هرز، آبیاری و کوددهی و نیز سایر نهاده‌های کشاورزی مانند خرید کود، استفاده از ماشین‌آلات می‌باشد. منافع حاصله نیز شامل میزان افزایش محصول تولیدی و کاهش در مصرف آب می‌باشد. برالی این منظور منافع اقتصادی یک متر مکعب آب مصرفی در منطقه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس دوساله آزمایش به تفکیک صفات رویشی، کمی و کیفی محصول در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر سال روی اغلب صفات مورد مطالعه (به غیر از سطح برگ و رشد طولی شاخه سال جاری)، معنی‌دار بود. این معنی‌داری در مورد قطر انتهایی شاخه و درصد پوکی، در سطح ۵ درصد و در مورد بقیه صفات، در سطح ۱ درصد بود. از بین صفات رویشی، تاثیر تیمار روش آبیاری، تنها بر سطح برگ و تعداد کل جوانه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. حال آن که کلیه صفات کمی و کیفی محصول و بهره‌وری مصرف آب را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد. با توجه به این نتایج، مقایسه میانگین‌ها بین تیمارها انجام شد که نتایج آن در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی درختان پسته تحت تاثیر تیمارهای روش آبیاری

میانگین مربعات صفات مورد مطالعه							سطح برگ (cm ²)	درجه آزادی	منبع تغییرات
قطر انتهایی شاخه (mm)	قطر ابتدای شاخه (mm)	رشد طولی شاخه سال جاری (cm)	درصد جوانه زایشی	درصد جوانه رویشی	درصد جوانه گل ریزش کرده	تعداد کل جوانه			
۰/۹۳۴ *	۶/۱۲۵ **	۴/۳۰۲ ns	۱۵۱۶/۱۶۹ **	۱۲۶۶/۷۲۲ **	۵۵۵۸/۰۹۴ **	۲۰/۹۰۹ **	۲۲/۳۱۱ ns	۱	سال
۰/۱۰۴	۰/۱۰۱	۱/۲۰۱	۱۱/۹۲۹	۲۷/۱۳۴	۳۲/۳۰۹	۰/۱۷۱	۶۳/۸۸۴	۴	خطای a
۰/۰۰۲ ns	۰/۰۸۲ ns	۰/۲۴۰ ns	۱۳۰۷ ns	۱۵۶/۹۱۶ *	۱۷۲/۷۲۲ *	۰/۵۶۷ *	۴۸۴/۴۹۴ *	۲	روش آبیاری (T)
۰/۴۴۲ ns	۰/۱۸۷ ns	۱/۶۱۶ **	۱۱۶/۱۲۴ *	۱/۲۳۶ ns	۹۹/۲۶۴ ns	۰/۵۷۴ *	۱۰۶/۳۴۸ ns	۲	T×Y
۰/۱۴۵	۰/۱۲۶	۰/۱۸۰	۱۷/۵۴۱	۳۰/۶۸۸	۳۱/۳۰	۰/۰۹۳	۹۲/۲۲۷	۸	خطای b
۵/۹۲	۴/۸۲	۸/۱۱	۱۹/۳۷	۱۸/۷۴	۱۵/۷۳	۳/۸۱	۱۰/۱۳	-	CV%

** اختلاف معنی دار در سطح ۱٪، * اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ و ns عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی محصول درختان پسته تحت تاثیر تیمارهای روش آبیاری

میانگین مربعات صفات مورد مطالعه					درجه آزادی	منبع تغییرات
بهره‌وری مصرف آب (kg/m ³)	تعداد دانه در انس پسته n/28.35(gr)	درصد خندانی	درصد پوکی	محصول خشک (kg/tree)		
۱/۲۱۴ **	۲۱/۳۴۲ **	۳۲۹/۳۸۹ **	۱۴۶/۲۰۵ *	۱۳۲/۸۴۵ **	۱	سال (Y)
۰/۰۰۶	۰/۶۲۴	۲/۸۸۹	۷/۴۶۴	۰/۶۴۴	۴	خطای a
۰/۰۶۴ **	۵/۸۵۲ *	۵۷/۳۸۹ *	۲۷/۵۱۴ *	۳/۸۴۱ *	۲	روش آبیاری (T)
۰/۰۸۵ **	۰/۷۷۴ ns	۳۲/۰۵۶ ns	۰/۰۶۲ ns	۷/۴۳۲ **	۲	T×Y
۰/۰۰۵	۱/۰۸۶	۱۵/۸۰۶	۳/۲۳۸	۰/۵۶۸	۸	خطای b
۱۶/۰۱	۴/۱۰	۴/۴۰	۱۴/۶۰	۱۶/۰۱	-	CV%

** اختلاف معنی دار در سطح ۱٪، * اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ و ns عدم وجود اختلاف معنی دار

الف- اثر تیمارهای مختلف بر رشد و عملکرد درختان پسته

با توجه به نتایج تجزیه واریانس و میانگین‌های بدست آمده در جدول ۵، از بین صفات رویشی مورد برر سی، تنها سطح برگ، تعداد کل جوانه‌ها، درصد جوانه ریزش کرده و درصد جوانه رویشی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای روش آبیاری قرار گرفتند. به طوری که در صفت سطح برگ، تیمارهای P₁ و S به ترتیب با ۱۰۳/۴ و ۸۵/۹ سانتی‌متر مربع سطح برگ، بهترین و بدترین تیمار شناخته شدند. ضمن اینکه تیمارهای P₁ و P₂ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. در مورد تعداد کل جوانه‌ها نیز، تیمارهای P₂ و S به ترتیب با ۸/۳۵ و ۷/۹۳ جوانه، بیشترین و کمترین تعداد جوانه تشکیل‌شده را دارا بودند. در خصوص این صفت نیز، بین تیمار P₁ و S اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. تیمار S با ۵۲/۸۳ درصد جوانه ریزش کرده بدترین تیمار و تیمارهای P₁ و P₂ با حدود ۴۷ درصد ریزش جوانه، بهترین تیمارها بودند. کمترین درصد جوانه رویشی (۲۶ درصد) مربوط به تیمار S و بیشترین آن نیز مربوط به تیمارهای P₁ و P₂ با حدود ۳۱ درصد بود.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات رویشی درختان پسته.

صفات مورد مطالعه						
عامل تغییر	سطح برگ (cm ²)	تعداد کل جوانه	درصد جوانه گل ریزش کرده	درصد جوانه رویشی	درصد جوانه زایشی	رشد طولی شاخه سال جاری (cm)
سال						
۱۳۹۱	۹۵/۹۱ a*	۹/۰۹ a	۳۱/۲۴ b	۳۷/۹۴ a	۳۰/۸۰ a	۵/۷۲ a
۱۳۹۲	۹۳/۶۸ a	۶/۹۳ b	۶۶/۳۹ a	۲۱/۱۷ b	۱۲/۴۴ b	۴/۷۴ a
روش آبیاری						
S	۸۵/۸۶ b	۷/۹۳ b	۵۲/۸۳ a	۲۶/۰۰ b	۲۱/۱۵ a	۵/۰۳ a
P ₁	۱۰۳/۴ a	۷/۷۵ b	۴۶/۶۷ b	۳۱/۲۷ a	۲۲/۰۸ a	۵/۴۳ a
P ₂	۹۵/۹۵ ab	۸/۳۵ a	۴۶/۹۵ b	۳۱/۴۰ a	۲۱/۶۳ a	۵/۲۳ a

*در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشترک، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۶، اثر تغییر روش آبیاری بر همه صفات کمی و کیفی محصول و نیز بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار شد. آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی در هر دو حالت (P₁ و P₂)، باعث افزایش معنی‌دار وزن محصول خشک گردید. ضمن اینکه بین تیمارهای آبیاری زیرسطحی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در این خصوص، تیمارهای P₁ و S به ترتیب با ۵/۵ و ۳/۹ کیلوگرم محصول خشک در هر درخت، بیشترین و کمترین عملکرد را داشتند.

ضمن اینکه تیمار P_۲ با ۴/۷۲ کیلوگرم محصول خشک در هر درخت، با هیچکدام از دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت.

در خصوص صفات کیفی درصد پوکی، خندانی و تعداد دانه در انس پسته نیز تیمار P_۱ با ۱۰/۰۵ درصد پوکی، ۹۳/۳۳ درصد خندانی و ۲۴/۵۵ دانه پسته در هر انس، بهترین تیمار و تیمار S با ۱۴/۳ درصد پوکی، ۸۷/۱۷ درصد خندانی و ۲۶/۴۸ دانه پسته در هر انس، بدترین تیمار بود. ضمن اینکه تیمار P_۲ در تمام صفات کیفی محصول، در بین دو تیمار دیگر قرار گرفت. به طوری که در مورد صفات درصد خندانی و انس پسته با دو تیمار دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت و تنها در صفت درصد پوکی، ضمن قرار گرفتن در گروه آماری تیمار S، با تیمار P_۱، اختلاف معنی‌داری را نشان داد.

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات کمی و کیفی محصول درختان پسته

صفات مورد مطالعه						
عامل تغییر	محصول خشک (kg/tree)	درصد پوکی	درصد خندانی	تعداد دانه در انس پسته (n/28.35gr)	بهره‌وری مصرف آب بدون آبخویی زمستانه (kg/m ³)	بهره‌وری مصرف آب با آبخویی زمستانه (kg/m ³)
سال						
۱۳۹۱	۱/۸۹ b	۱۵/۱۸ a	۹۴/۶۷ a	۲۶/۴۹ a	۰/۱۸۵ b	۰/۱۴۸ b
۱۳۹۲	۷/۴۲ a	۹/۴۸ b	۸۶/۱۱ b	۲۴/۳۱ b	۰/۷۰۴ a	۰/۵۶۲ a
روش آبیاری						
S	۳/۹۰ b	۱۴/۳۰ a	۸۷/۱۷ b	۲۶/۴۸ a	۰/۳۳۱ b	۰/۲۷۱ b
P _۱	۵/۵۰ a	۱۰/۰۵ b	۹۳/۳۳ a	۲۴/۵۵ b	۰/۴۶۸ a	۰/۳۸۲ a
P _۲	۴/۷۲ ab	۱۲/۶۳ a	۹۰/۶۷ ab	۲۵/۱۷ ab	۰/۵۳۵ a	۰/۴۱۲ a

*در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشترک، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

ب- اثر تیمارهای مختلف بر بهره‌وری مصرف آب (WUP)

در بحث بهره‌وری مصرف آب که از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر نتایج تحقیقات آبیاری می‌باشد، بر اساس نتایج بدست آمده در جدول ۶، اختلاف بین تیمار S و تیمارهای P_۱ و P_۲ در میزان محصول تولیدی به ازای هر متر مکعب آب مصرفی کاملاً (در سطح ۱ درصد)، معنی‌دار بود. ولی بین تیمارهای P_۱ و P_۲، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین و بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب را به ترتیب تیمار S و تیمار P_۲ با ۳۳۱ و ۵۳۵ گرم محصول خشک تولیدی به ازای هر متر مکعب آب مصرفی داشتند. تیمار P_۱ نیز با ۴۶۸ گرم محصول در هر متر مکعب آب مصرفی، با تیمار P_۲ در یک گروه آماری قرار گرفت. لازم به ذکر است که این مقادیر بهره‌وری مصرف آب، بدون در نظر

گرفتن میزان آب آبخوویی زمستانه بوده و در ستون آخر جدول ۶، بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف با در نظر گرفتن ۱۵۰۰ متر مکعب آبخوویی زمستانه نیز آورده شده است.

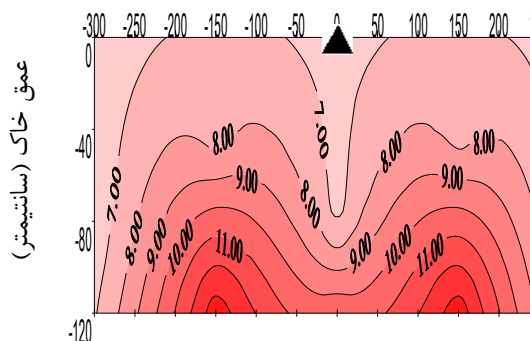
در مجموع تغییر روش آبیاری تقریباً کلیه صفات کمی و کیفی محصول را تحت تاثیر قرار داد، به طوری که باعث افزایش ۰/۸ تا ۱/۶ کیلوگرمی وزن محصول خشک هر درخت، کاهش ۱/۷ تا ۴/۲۵ درصدی پوکی، افزایش ۳/۵ تا ۶ درصدی خندانی و کاهش ۱/۳ تا ۲ واحدی در انس پسته گردید. ضمن این که بهره‌وری مصرف آب نیز بسته به انتخاب روش آبیاری P_1 یا P_2 ، به ترتیب ۴۱/۴ درصد و ۶۱/۶ درصد افزایش یافت. تیمارهای آبیاری زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی نیز در اغلب صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. ضمن این که استفاده از روش آبیاری P_2 ، علاوه بر کاهش ۲۵ درصد در مصرف آب، افزایش ۱۴/۳ درصدی در بهره‌وری مصرف آب نسبت به تیمار P_1 را نیز به همراه داشت. تحقیقات صداقتی و همکاران (۱۳۹۱ الف) نیز نشان داد که با اجرای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، ضمن کاهش ۴۰ درصدی آب نسبت به آبیاری غرقابی، بهره‌وری مصرف آب را نیز می‌توان نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی و غرقابی، به ترتیب ۲۲/۴ و ۱۲۱ درصد، افزایش داد.

ج- اثر تیمارهای مختلف بر وضعیت شوری خاک منطقه ریشه درختان پسته

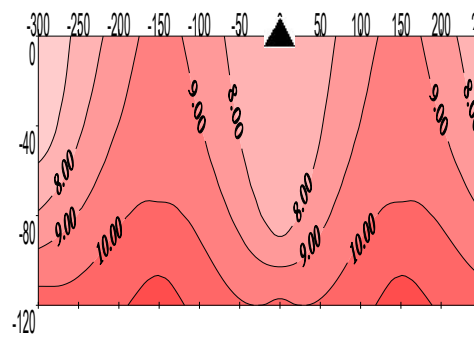
در شکل‌های ۱ تا ۳، وضعیت توزیع شوری عصاره اشباع خاک (ECe) بر حسب دسی‌زیمنس بر متر در دو زمان پس از برداشت محصول (مهرماه و زمان حداکثر تجمع نمک در خاک) و نیز اسفندماه (پس از بارندگی‌ها و آبخوویی زمستانه)، پس از نمونه برداری از خاک مطابق با آنچه در روش تحقیق اشاره شد، توسط نرم افزار Surfer، رسم گردید. در شکل‌های توزیع شوری، هر جا که رنگ قرمز پررنگ‌تر می‌شود، مقدار شوری افزایش می‌یابد. در مجموع، نتایج حاصله نشان داد که در قطعه‌ای که درختان به روش غرقابی آبیاری می‌شدند، کرت‌ها به طور مناسب تسطیح نشده بودند، به طوری که بالاتر بودن شوری عصاره اشباع خاک در وسط سایه‌انداز نسبت به کنار و وسط ردیف درختان، حاکی از بلندتر بودن سطح کرت در قسمت وسط سایه‌انداز درختان نسبت به کنار ردیف درختان و فاصله بین ردیف‌ها بود. با تغییر روش آبیاری از غرقابی (C) به لوله‌های پی‌وی‌سی در هر دو حالت (P_1 و P_2)، افزایش شوری در سطح خاک و حاشیه پیاز رطوبتی حاصل شد. به طوری که شوری سطح خاک در انتهای فصل رشد و پس از برداشت محصول از حدود ۹/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر هم رسید. البته در تیمار P_2 ، به دلیل اینکه حجم آب بیشتری در هر نوبت آبیاری داده می‌شد، پیاز رطوبتی نسبت به تیمار P_1 ، بزرگتر بوده و در نتیجه تجمع نمک در فاصله دورتری از لوله‌های آبه مشاهده شد. در کلیه تیمارهای آبیاری زیر سطحی، با انجام آبخوویی زمستانه، میزان شوری

عصاره اشباع خاک مجدداً به میزان قبل از اجرای پروژه و حتی کمتر از آن نیز رسید. علت این کاهش شوری نیز شاید به دلیل بر هم خوردن ساختمان خاک در هنگام نصب لوله‌ها، اشغال شدن بخشی از فضای زیر سطح خاک با لوله‌ها و وجود لایه شنی اطراف لوله‌ها باشد. ضمن اینکه در هر دو تیمار آبیاری زیر سطحی، حداقل شوری خاک، کمی پایین‌تر از محل استقرار لوله بود. در مجموع نتایج بررسی وضعیت شوری خاک ناحیه ریشه درختان نیز حاکی از افزایش شوری سطح خاک در ناحیه بالای لوله‌های زیر سطحی بود. ولی پس از آبیاری و بارندگی زمستانه، توزیع شوری به وضعیت مناسبی (کمتر از ۹ dS/m) رسید. در تحقیق صداقتی و همکاران (۱۳۹۱الف)، روی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی نیز نتایج مشابهی حاصل شد.

فاصله از درخت (سانتیمتر)

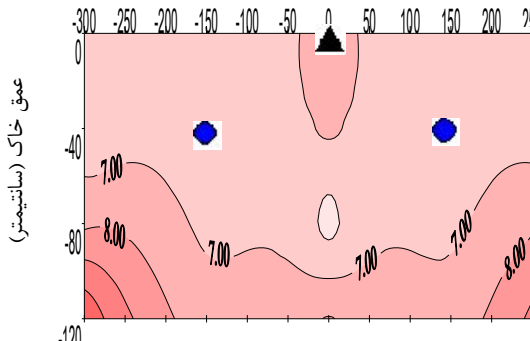


فاصله از درخت (سانتیمتر)

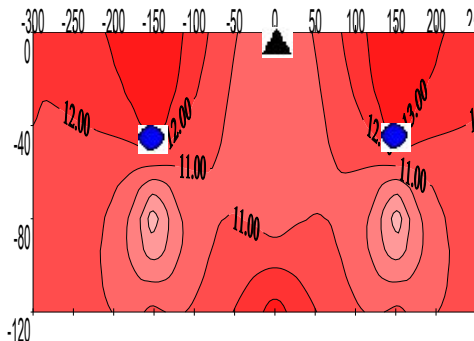


شکل ۱- توزیع شوری خاک تیمار S در مهرماه و قبل از آبیاری (راست) و در اسفندماه و بعد از آبیاری زمستانه (چپ). در شکل‌های فوق، علامت مثلث، محل درخت و علامت دایره محل نصب لوله‌های زیر سطحی پی‌وی‌سی را نشان می‌دهد.

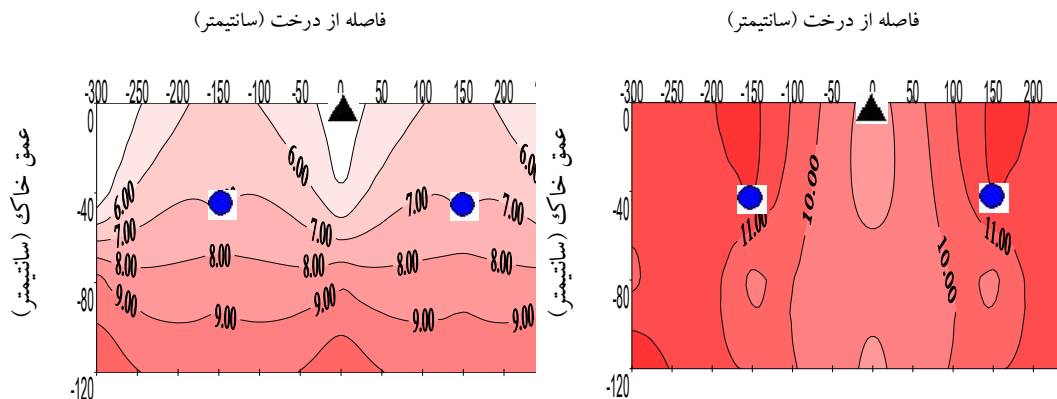
فاصله از درخت (سانتیمتر)



فاصله از درخت (سانتیمتر)



شکل ۲- توزیع شوری خاک تیمار P₁ در مهرماه و قبل از آبیاری (راست) و در اسفندماه و بعد از آبیاری زمستانه (چپ). در شکل‌های فوق، علامت مثلث، محل درخت و علامت دایره محل نصب لوله‌های زیر سطحی پی‌وی‌سی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- توزیع شوری خاک تیمار P_۲ در مهرماه و قبل از آبیاری (راست) و در اسفندماه و بعد از آبیاری زمستانه

(چپ). در شکل‌های فوق، علامت مثلث، محل درخت و علامت دایره محل نصب لوله‌های زیرسطحی پی‌وی‌سی را

نشان می‌دهد.

د- ارزیابی اقتصادی پروژه

چنانچه برر سی های فنی پروژه نشان داد، با تغییر روش آبیاری از غرقابی به زیر سطحی با استفاده از لوله های پی‌وی‌سی، افزایش تولید پسته خشک برای هر درخت از ۰/۸ تا ۱/۶ کیلوگرم بر هر درخت اتفاق افتاد. از آنجایی که در باغ مورد مطالعه تراکم درخت برابر با ۵۷۱ اصله در هکتار می‌باشد، لذا افزایش عملکرد ناشی از تغییر روش آبیاری بین ۴۵۶/۸ تا ۹۱۳/۶ کیلوگرم در هکتار پسته خشک می‌باشد. در صورتی که قیمت فروش هر کیلوگرم پسته را به طور متوسط برابر با ۱۰۰۰۰۰۰ ریال بر کیلوگرم در نظر بگیریم، میزان درآمد اضافه شده ناشی از تغییر سیستم آبیاری بین ۴۵۶۸۰۰۰۰ تا ۹۱۳۶۰۰۰۰۰ ریال بر هکتار خواهد بود. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در احداث لوله‌های زیرسطحی معادل ۲۵۰۰۰۰۰۰ ریال در هکتار در سال ۱۳۹۸ می‌باشد. با فرض عمر مفید ۱۰ سال برای سیستم و نرخ تنزیل ۲۰ درصد، معادل هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری در پروژه برابر با ۶۰ میلیون ریال بر هکتار می‌باشد. مصاحبه با کشاورز صاحب باغ نشان داد که هزینه های جاری نگهداری باغ و سیستم آبیاری در مجموع برای دو سیستم مساوی می‌باشد. لذا تغییر سیستم آبیاری از غرقابی به زیرسطحی پی‌وی‌سی تغییری در هزینه‌های جاری بوجود نمی‌آورد. بنابراین مقایسه هزینه سرمایه‌گذاری ۶۰ میلیون ریالی تغییر سیستم در هکتار در سال، درآمدی معادل حداقل ۴۵۷ میلیون ریال و حداکثر ۹۱۴ میلیون ریال در هکتار در سال را ایجاد می‌کند. این مسئله بیانگر اقتصادی بودن تغییر سیستم آبیاری از غرقابی به زیرسطحی می‌باشد، زیرا نسبت منافع به هزینه از حداقل ۷/۶۲ تا حداکثر ۱۵/۲۳ برابر سرمایه‌گذاری اولیه است. این در حالی است که منافع ناشی از افزایش کیفیت محصول، کاهش هزینه‌های کارگری ناشی از کاهش رشد علف‌های هرز و دادن برخی از کودها همراه آب آبیاری در سیستم نیز مورد محاسبه قرار نگرفته

است. اگر این کار نیز صورت می‌گرفت، میزان اقتصادی بودن پروژه افزایش می‌یافت. در مجموع ارزیابی اقتصادی اجرای این پروژه حاکی از توجیه اقتصادی بالای آن می‌باشد. این نکته نیز حائز اهمیت است که اگرچه اجرای روش P_2 درآمد کمتری را نسبت به روش P_1 ، عاید کشاورز می‌نماید، ولی کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب را نیز به همراه خواهد داشت.

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده حاکی از اختلاف معنی‌دار بین اغلب صفات مورد مطالعه (به غیر از سطح برگ و رشد طولی شاخه سال جاری)، بین دو سال اجرای این تحقیق می‌باشد. با توجه به اینکه درختان پسته معمولاً دارای سال‌آوری بوده و به اصطلاح دارای سال پرمحصول (On) و کم محصول (Off) می‌باشند، این امر تا حدودی طبیعی به نظر می‌رسد. اما اگر بخواهیم به طور دقیق‌تر این موضوع را مورد بحث قرار دهیم باید به نتایج به‌دست‌آمده در هر سال به‌طور جداگانه (جدول ۷ و ۸) دقت نماییم. در سال اول اجرای تحقیق، هیچکدام از صفات رویشی تحت تاثیر تغییر روش آبیاری قرار نگرفتند. از بین سایر صفات مورد بررسی نیز تنها وزن محصول و به تبع آن بهره‌وری مصرف آب تحت تاثیر تغییر روش آبیاری قرار گرفتند. در سال اول اجرای پروژه، تیمار شاهد (آبیاری غرقابی) نسبت به هر دو تیمار آبیاری زیر سطحی با لوله‌های پی‌وی سی، و وضعیت بهتری داشت. اما با اجرای سال دوم تحقیق، ضمن اینکه صفات بیشتری تحت تاثیر تغییر روش آبیاری قرار گرفتند، تیمارهای آبیاری زیرسطحی نیز نسبت به تیمار شاهد وضعیت بهتری پیدا نمودند. این موضوع، نشان‌دهنده اهمیت زمان در ایجاد سازگاری درختان پسته با شرایط جدید می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد با ادامه آبیاری درختان با شیوه جدید، اختلاف بین صفاتی که هنوز تحت تاثیر تغییر روش آبیاری قرار نگرفتند نیز، معنی‌دار گردد. اما تحقیقات قبلی (صداقتی و همکاران، ۱۳۹۱) و نیز تجربیات بدست‌آمده در باغ‌های پسته (باغ‌های رها شده در برخی مناطق بدون تولید محصول ممکن است تا سال‌ها رشد رویشی داشته باشند)، حاکی از آن است که صفات رویشی دیرتر تحت تاثیر تغییر مدیریت آبیاری قرار می‌گیرند. در خصوص چگونگی استفاده از این سیستم آبیاری جدید، در صورتی که باغداران از نظر میزان آب و حق‌آبه مشکلی نداشته و صرفاً شوری آب معطل اصلی آن‌ها باشد، استفاده از آبیاری زیرسطحی با دور ۱۲ روز و میزان آب یکسان با روش غرقابی (P_1)، می‌تواند باعث کاهش خطرات شوری آب و خاک شده و به دلیل حفظ رطوبت خاک در حد بهینه، در فاصله بین دو آبیاری متوالی، درختان کمتر تحت تاثیر تنش خشکی و شوری قرار گیرند. اما در شرایطی که باغداران از نظر میزان آب در دسترس و حق‌آبه محدودیت داشته و انجام آبیاری با دوره‌های خیلی کوتاه برایشان امکان‌پذیر نباشد، انتخاب روش آبیاری زیرسطحی با دور ۲۴ روز و مصرف ۷۵ درصد میزان آب مورد استفاده در روش آبیاری غرقابی (P_2) توصیه

می‌شود. با توجه به تجمع شوری در قسمت‌های فوقانی لوله‌های زیرسطحی و نزدیک سطح خاک در طول فصل، انجام آبخوبی زمستانه جهت جلوگیری از خشک شدن درختان در اثر شوری، الزامی می‌باشد. این روش آبیاری چند مزیت اصلی دارد که اهمیت آن را بیشتر می‌کند. از جمله مهم‌ترین این مزیت‌ها می‌توان به کاهش دور آبیاری، کاهش مصرف آب، افزایش بهره‌وری مصرف آب، سازگاری با شرایط خرده‌مالکی، امکان استفاده در شرایط آب و خاک شور، کاهش رشد علف‌های هرز و هزینه‌های کارگری، عدم نیاز به احداث استخر ذخیره آب، عدم نیاز به سیستم پمپاژ ثانویه و تصفیه آب اشاره نمود که در این بین، سازگاری با شرایط خرده‌مالکی و امکان استفاده از آن در شرایط آب و خاک شور از اهمیت بیشتری برخوردار است، چرا که سیستم‌های آبیاری تحت فشار از این جهت با محدودیت کاربرد مواجه هستند. قابل ذکر است که این نتایج حاصل بررسی‌های دو ساله در خصوص این سیستم بوده و برای شناخت همه جنبه‌های مختلف عملکرد این سیستم، لازم است تا تحقیقات تکمیلی در این خصوص انجام شود. از جمله این موضوعات می‌توان به بررسی مسائل و مشکلات احتمالی این سیستم در سال‌های آتی و نیز بهینه‌سازی پارامترهای طراحی سیستم نظیر قطر لوله، فاصله و محل سوراخ‌های خروج آب، و عمق کارگزاری لوله‌ها در خاک‌های با بافت‌های متفاوت اشاره نمود.

سپاسگزاری

در خاتمه لازم است، از آقای مهندس محمدرضا نیکویی و آقای احمد آزاد که در انجام کارهای باغی این تحقیق زحمات زیادی کشیدند، تشکر و قدردانی نمایم. از خانم مهندس مژده حیدری، مسئول محترم آزمایشگاه بخش، آقای مهندس رضا عسکری و آقای روح‌اله باقریان، تکنسین آزمایشگاه پژوهشکده، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. از جناب آقای ذوالفقاری، باغدار محترم که امکانات اجرای این تحقیق را در باغ خود، به نحو احسن فراهم آوردند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

منابع

- ۱- شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، امور آب رفسنجان. (۱۳۹۷). اطلاعات منتشر نشده.
- ۲- صداقتی، ن، حسینی‌فرد، س.ج، و محمدی محمدآبادی، ا. (۱۳۹۱الف). مقایسه عملکرد سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر روی درختان بارور پسته. *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۶(۳): ۵۸۵-۵۷۵.

- ۳- صداقتی، ن، حسینی فرد، س.ج، محمدی محمدآبادی، ا، و حکم آبادی، ح. (۱۳۹۱). بررسی امکان آبیاری یک در میان نوارهای آبیاری جهت کاهش دور آبیاری در باغ‌های پسته. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات پسته کشور. ۲۰ صفحه.
- ۴- صداقتی، ن، شیبانی، ز، تاج‌آبادی پور، ع، حکم‌آبادی، ح، حقدل، م، و عبدالهی عزت‌آبادی، م. (۱۳۸۸). راهنمای تولید پسته. انتشارات سروا. ۵۶۶ صفحه.
- ۵- عباسی، ف، سهراب، ف، و عباسی، ن. (۱۳۹۵). ارزیابی راندمان آب آبیاری در ایران. نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۷(۶۷): ۱۲۸-۱۱۳.
- ۶- محمدی محمدآبادی، ا، حسینی فرد، س.ج، و صداقتی، ن. (۱۳۸۷). اثر تغییر سیستم آبیاری از روش سنتی (غرقابی) به زیرسطح بر درختان بارور پسته در کرمان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۳: ۴۵-۲۹.
- ۷- محمدی محمدآبادی، ا. (۱۳۸۶). مطالعه سیستم‌های آبیاری (سطحی، تراوا، کوزه‌ای، تی‌تیپ، قطره‌ای و بابلر) از زمان کاشت بر روی پسته. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات پسته کشور. ۴۰ صفحه.
- 8- Arastirma, D. (2004). Drip irrigation and the periodicity of pistachio trees. *Turktarm*, 157: 56-59.
- 9- Camp, CR. (1998). Subsurface drip irrigation: A Review. *Transactions of the ASAE*, 41(5): 1353-1367
- 10- Lamm, FR. (2003). Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. [www. Oznet. Ksu. Edu/sdi/Reports/2000](http://www.Oznet.Ksu.Edu/sdi/Reports/2000)
- 11- Phene, R, Menezes, J, Goldhamer, D, Aitkens, G, Beede, R, & Kjelgren, R. (1985). Irrigation scheduling of drip irrigated pistachios. *Drip/trickle irrigation in action. Volume II.* 805-810