نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۴۰۴-۳۹۱

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 391-404

تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر توزیع رطوبت خاک در باغات پسته در یک خاک لوم شنی (مطالعه موردی: سمنان)

حسین دهقانی سانیج[1*]- حمیدرضا حاجی‌آقا بزرگی[2]- علی‌اصغر قائمی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

چکیده

شناخت تغییرات جبهه رطوبتی خاک یک شاخص مهم در مدیریت و طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات جبهه‌ی رطوبتی خاک برای رژیم‌های مختلف آبیاری در یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ پسته، در یک خاک لوم شنی در منطقه‌ی صفائیه، از توابع شهرستان سرخه در استان سمنان انجام شد. تیمارهای پژوهش شامل سه رژیم آبیاری منطبق بر مدیریت زارع (I_1)، نیاز آبی (I_2) و نیاز آبی و آبشویی (I_3) بود و تغییرات جبهه‌ی رطوبتی در عمق‌های مختلف خاک در زمان قبل و بعد از آبیاری و در مراحل مختلف رشد بررسی شد. در سامانه آبیاری مورد مطالعه افزایش سطوح رژیم آبیاری منجر به افزایش میزان رطوبت در محیط ریشه شد و بیشترین مقدار برابر با ۱۶/۶ درصد در رژیم آبیاری I_3 و در زمان بعد از آبیاری مشاهده شد. در رژیم آبیاری I_1 میزان آب آبیاری به اندازه‌ای بود که حرکت رطوبت به سمت بالای قطره‌چکان‌ها در قبل و بعد از آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که رطوبت در عمق ۷۵ سانتی‌متری خاک نسبت به عمق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر دارای افزایش معنی‌داری بود که به تجمع بیشتر ریشه‌های مصرف‌کننده آب در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری نسبت داده شد. رژیم آبیاری I_3 و عمق ۷۵ سانتی‌متری با مقدار ۱۹/۳ درصد بیشترین مقدار رطوبت را دارا بود که موجبات نفوذ عمقی را نیز فراهم می‌کند. بالاترین مقدار رطوبت (۲۲/۵ درصد) در رژیم آبیاری I_3 و در عمق ۷۵ سانتی‌متر و بعد از آبیاری و کم‌ترین مقدار رطوبت (۱۰/۵ درصد) در رژیم آبیاری I_1 در عمق ۲۵ سانتی‌متر و قبل از آبیاری نشان داده شد.

واژه‌های کلیدی: جبهه رطوبتی، زمان آبیاری، عمق خاک، قطره‌ای زیرسطحی، نیاز آبشویی

مقدمه

ایجاد رطوبت یکنواخت و کافی در منطقه توسعه ریشه گیاه به منظور تولید محصول خوب یکی از چالش برانگیزترین مسائل مربوط به آبیاری است که در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، با توجه به قرارگیری قطره‌چکان‌ها در زیر سطح خاک، بیشتر مورد توجه می‌باشد. ایجاد رطوبت یکنواخت در خاک در برنامه‌ریزی و مدیریت یک سامانه آبیاری نیز در تحویل مقدار کافی آب به گیاه نقش مهمی دارد. باتوجه به اینکه استفاده از سامانه‌های آبیاری با راندمان پخش آب بالا مثل آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به عنوان یک راهکار برای کاهش تلفات آب توصیه می‌شود، طراحی این نوع سامانه آبیاری باید به‌گونه‌ای انجام گیرد که آب در محیط ریشه به طور یکنواخت و به اندازه کافی توزیع گردد. برای دستیابی به این امر باید از نحوه توزیع آب در خاک در شرایط مزرعه به خوبی اطلاع داشت، چرا که به استفاده از آب در مقادیر مناسب و توزیع آن در زمان و مکان مناسب کمک می‌کند (۱۰). توزیع رطوبتی خاک به عوامل زیادی از جمله بافت خاک، رطوبت اولیه خاک، دبی قطره‌چکان‌ها، فاصله قطره‌چکان‌ها، هدایت هیدرولیکی خاک و حجم آب کاربردی بستگی دارد (۴، ۱۹ و ۲۸). مطالعات زیادی در خصوص بررسی توزیع رطوبتی خاک در محیط آزمایشگاه انجام شده است. در تحقیقی که به منظور اندازه‌گیری توزیع رطوبت و بررسی الگوهای توزیع رطوبت خاک تحت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی در یک خاک شنی گزارش شد که در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، توزیع رطوبت در خاک و یکنواختی آن تا حد زیادی تحت تأثیر فاصله بین قطره‌چکان‌ها و لترال‌ها قرار داشت و توزیع رطوبت خاک تحت استفاده از فاصله قطره‌چکان ۳۰ سانتی متر بهتر از ۵۰ سانتی‌متر

۱- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: h.dehghansanij@areeo.ac.ir
۲ و ۳- کارشناس ارشد آبیاری زهکشی و دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v0i0.78773

نتیجه داد، اما در سیستم قطره‌ای زیرسطحی، نصب قطره‌چکان‌ها برای بسیاری از محصولات و سبزیجات، در عمق ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک و با فاصله قطره‌چکان‌های ۳۰ سانتی‌متر، محل فعالیت منطقه ریشه می‌باشد که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب بویژه در خاک های شنی می‌شود (۴). در تحقیق دیگری نیز که به منظور بررسی دینامیک و مدل‌سازی توزیع رطوبت خاک تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انجام شد مشابه با تحقیق پیشین مشاهده شد که در اعماق نصب قطره‌چکان ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک بیش‌ترین مقدار رطوبت قابل استفاده برای گیاه تجمع یافته بود (۲۲). در پژوهش‌های دیگری که براساس بررسی الگوی مناسب توزیع رطوبت خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شده بود نیز، عمق کارگزاری ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر برای قطره‌چکان‌ها را برای خاک‌های شنی و دیگر خاک‌ها پیشنهاد کردند (۵ و ۲۹). مطالعاتی که در زمینه بررسی توزیع رطوبت خاک در شرایط میدانی انجام شده است دامنه موضوعات مورد بررسی را فراتر برده است و علاوه بر فاکتورهای هیدرولیکی و بافت خاک، تأثیر پارامترهای زیادی را از جمله رژیم‌های مختلف آبیاری، سطوح مختلف آبیاری و کودی بر میزان توزیع رطوبت خاک مورد بررسی قرار داده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق دهقانی‌سانیج و همکاران (۹) اشاره کرد که حداکثر توزیع رطوبت حجمی در یک خاک شنی تحت سه رژیم آبیاری (ET_c، ET_c ۱/۲ و ET_c ۱/۴) در فاصله شعاعی ۱۰ سانتی‌متری از قطره‌چکان‌ها و در عمق ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک در رژیم آبیاری ET_c ۱/۴ مشاهده شد و همچنین شروع آبیاری در قبل از ظهر بسته به رشد گیاه به منظور هماهنگ شدن حداکثر میزان رطوبت با حداکثر تبخیر و تعرق پیشنهاد شد. تحقیقات دیگری نیز گزارش کردند که الگوی توزیع رطوبت خاک تحت تاثیر بافت خاک قرار دارد و در شرایطی که قطره‌چکانها در عمق ۴۰ سانتی‌متر از سطح خاک نصب شده باشند، در خاک لومی و رسی بعد از مدت زمان ۸ ساعت و ۴۵ دقیقه توزیع رطوبت در سطح خاک ظاهر می‌گردد ولی در این مدت زمان در خاک‌های لوم‌شنی و شنی رطوبت در سطح خاک مشاهده نشد و به زمان بیشتری نیاز دارد (۶). در راستای همین تحقیقات نیز مشاهده شد اگرچه توزیع بهتر و بیشتر جبهه رطوبتی خاک تحت سامانه قطره‌ای زیرسطحی، اغلب وابسته به برخی از درصدهای ترکیب بافت خاک (از جمله: درصد شن و ماسه، سیلت و رس) است اما مرطوب شدن خاک‌های لایه‌ای می‌تواند بسیار متفاوت با خاک های با بافت یکنواخت باشد (۸ و ۲۹). توزیع جبهه رطوبتی خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط مزرعه و برای زراعت‌های مختلف ردیفی نیز بطور محدودتری بررسی شده است (۱۸). تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، پروفیل رطوبتی بزرگتری در یک خاک لوم‌شنی در عمق ۳۵ سانتی‌متری نسبت به عمق‌های ۵ و ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک مشاهده شد و در نتیجه آن، تولید بیشتر محصول ذرت گزارش شد (۱۱). همچنین در تحقیق دیگری نیز که به بررسی توزیع رطوبت خاک تحت تاثیر مدیریت آبیاری پرداخته شد بیانگر کاهش میزان رطوبت خاک در لایه¬های سطحی خاک تحت سامانه قطره‌ای زیرسطحی در ماه¬های تابستان در باغ مرکبات در منطقه راجستان هند بود (۷). میزان آبدهی قطره‌چکان‌ها نیز بر الگوی توزیع رطوبت خاک تاثیرگزار بود و تحقیقات نشان داد که با افزایش آبدهی قطره چکان¬ها در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، توزیع رطوبت خاک به صورت افقی نسبت به عمودی بیشتر است (۲۰ ، ۲۱ و ۲۳). محققان همچنین الگوی توزیع رطوبتی را با فواصل مختلف قطره‌چکان‌ها مورد بررسی قرار دادند و یافته‌های آن‌ها نشان داد که مقدار تجمع رطوبت خاک در فاصله‌های کمتر قطره‌چکان‌ها بیشتر است و این نتایج در جهت افزایش جبهه رطوبتی خاک در منطقه ریشه و بهبود رطوبت خاک و بهره‌وری میزان آب کاربردی پیشنهاد شده است (۲۷). زمان در توزیع الگوی رطوبتی خاک نیز نقش مهمی دارد و در تحقیقی که به منظور بررسی توزیع رطوبت خاک تحت سامانه قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته انجام شد این عامل اثر خود را نشان داد و بیش‌ترین مقدار رطوبت در زمان بعد از آبیاری در اطراف لوله‌های قطره‌چکان‌دار و در محل نصب قطره‌چکان‌ها مشاهده شد و همچنین میزان رطوبت در زیر قطره‌چکان‌ها بیش‌تر از میزان رطوبت در بالای قطره‌چکان‌ها بود (۲۵). تحقیقات دیگری نیز مبنی بر متاثر بودن دور آبیاری و پوشش مالچ بر توزیع املاح و رطوبت در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ‌های پسته گزارش شد. تاثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نشان داد که دور آبیاری کوتاه‌تر در مقایسه با دور آبیاری طولانی‌تر باعث ذخیره رطوبتی بیشتر و تجمع کمتر نمک در منطقه توسعه ریشه می‌شود (۲۴). در تحقیق دیگری مشابه با تحقیق قبلی گزارش شد استفاده از مالچ پلاستیکی در سامانه های آبیاری قطره‌ای درختان پسته علاوه بر افزایش قابل توجه تولید پسته و دو برابر شدن بهره‌وری آب، رطوبت خاک در محدوده ریشه درختان به طور معنی‌داری افزایش و تنش شوری و خشکی نیز کاهش می‌یابد (۲۶). نتایج حاصل از تحقیقات بیانگر آن است که اگرچه سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند آب را در محیط ریشه در اختیار گیاهان قرار دهد، لیکن شاخص‌های طراحی و تصمیم‌ها و توانمند-های مدیریتی نقش مهمی در توزیع رطوبت در خاک و تامین نیاز رطوبتی موردنیاز دارند. سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کشور بیشتر در باغات پسته مورد تایید و توسعه یافته است. لیکن بازدیدها و بررسی‌ها حاکی از آن است که مسایل مدیریت آبیاری در باغات پسته چندان توسعه نیافته و بیشتر متکی بر تجربه بهره‌برداران و شرایط مزرعه از نظر منبع آب و شوری آب و خاک می‌باشد. لذا مطالعات مزرعه‌ای و در شرایط بهره‌برداری برای ارتقاء شاخص‌های طراحی و مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته ضرورت دارد. در

این پژوهش برای ارتقای شاخص‌های مدیریت آبیاری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته، تغییرات جبهه‌ی رطوبتی در عمق‌های مختلف خاک و در بین دو لترال یک سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و در طول فصل کشت مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۲ -۱۳۹۱ در باغ پسته در منطقه‌ی صفائیه، از توابع شهرستان سرخه در استان سمنان انجام شد. این باغ حدود ۱۰۰ هکتار وسعت داشت که قسمتی از آن با درختان مسن و مابقی با نهال‌های جوان پوشیده شده بود و مجهز به سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ایستگاه هواشناسی بود. تحقیق حاضر در مساحتی حدود ۲ هکتار از این باغ که دارای درختان پسته با سن تقریبی ۱۰ سال بود انجام گرفت. این قطعه به سه قسمت تقسیم شد و سه تیمار مدیریت آبیاری در آن‌ها اعمال شد. فاصله درختان بر روی ردیف ۳ متر و بین ردیف ۷ متر بود. سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به مدت ۳ سال در باغ اجرا شده بود و مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، با توجه به عمق نصب لوله‌های قطره‌چکان‌دار و محدوده توسعه ریشه در باغات پسته (۱۵)، نمونه‌گیری از اعماق ۲۵-۰، ۵۰-۲۵ و ۷۵-۵۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. برخی مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Physicochemical properties of the studied soil

عمق خاک	بافت خاک	رس	شن	سیلت	جرم مخصوص ظاهری خاک	رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم
Soil depth (cm)	Soil texture	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	Bd (gr /cm^3)	FC (%)	PW (%)
0-25	لوم شنی Sandy loam	6	81	13	1.62	11.85	4.39
25-50	لوم شنی Sandy loam	4	77	19	1.56	11.97	5.12
50-75	لوم شنی Sandy loam	4	81	15	1.55	12.88	5.52

آب آبیاری باغ از طریق دو حلقه چاه تأمین می‌شد که آبدهی هر یک حدود ۶-۵ لیتر بر ثانیه بود. آب این چاه‌ها در استخر با گنجایش ذخیره حدود ۱۶۰۰-۱۵۰۰ مترمکعب جمع‌آوری و توسط پمپ در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مستقر در باغ پمپاژ می‌شد. سیستم پمپاژ مجهز به سیستم فیلتراسیون از نوع اسکن فیلتر بود. نمونه‌برداری‌هایی از دو حلقه چاه نیز جهت تعیین خصوصیات شیمیایی آن به لحاظ بررسی کل املاح محلول در آب TDS، EC، PH، کلسیم، سدیم، منیزیم انجام گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی و کیفی آب آبیاری

Table 2- Chemical and qualitative properties of the irrigation water

چاه	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کربنات	کلر	کربنات هیدروژن	سولفات	نسبت جذب سدیم	اسیدیته	هدایت الکتریکی	مواد جامد محلول در آب	شاخص اشباع لانژیلر
Well	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	CO_3^{-2}	Cl^{-}	Hco_3	SO_4^{-2}	SAR	pH	EC	TDS	LSI
					Meq / l						ds / m	Mg / l	
1	27.2	17.9	42.2	0.62	-	49	2.25	35.8	8.88	7.16	7.95	5070	0.36
2	26.3	16.8	24.1	0.51	-	27.5	2.65	37.05	5.2	7.17	6.10	3890	0.43

بر طبق نمونه‌برداری‌های برداشت شده برای هرکدام از چاه‌های ۱ و ۲ مقدار pH به ترتیب برابر ۷/۱۶ و ۷/۱۷ و مقدار EC برابر ۷/۹۵ و ۶/۱۰ دسی‌زیمنس‌بر متر به‌دست آمد. سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغ تجهیز شده به قطره‌چکان‌های ساخت شرکت یورودریپ (PC2) داخل خط (inline) به فاصله ۸۰ سانتی‌متر و با آبدهی ۲/۲۶ لیتر در ساعت بود که در عمق ۴۰ سانتی‌متری نصب

گردیده بود.

آبیاری باغ مورد مطالعه، از ابتدای فروردین سال ۹۲ به روش متداول در مزرعه انجام شد ولی از ۹۲/۲/۲۵ لغایت ۹۲/۷/۳۰ در جهت رسیدن به اهداف تحقیق سه رژیم آبیاری در قطعه آزمایشی اعمال گردید که به شرح زیر می‌باشند:

رژیم آبیاری I_1 – دراین رژیم، آبیاری طبق مدیریت زارع صورت گرفت و حجم آب داده شده، زمان آبیاری و دور آبیاری آن ثبت گردید.

رژیم آبیاریI_2 – در این رژیم، از داده‌های بهنگام هواشناسی مزرعه (داده های روزانه) برای محاسبه تبخیروتعرق (روش پنمن – مانتیث اصلاح شده و پیشنهادی فائو (PMF-56)) استفاده شد و نیاز آبیاری محاسبه شد. دور آبیاری قطعه آزمایش همان دور آبیاری تیمار I_1 بود و تنها ساعت آبیاری با توجه به تغییر میزان آب آبیاری تغییر کرد.

رژیم آبیاری I_3 – برابر با مجموع نیاز آبیاری (I_2) و آب آبشویی بود ($LR+I_2$).

برای محاسبه حجم آب مصرفی در رژیم دوم آبیاری، تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_o) با استفاده از اطلاعات روزانه هواشناسی و با روش پنمن- مانتیث اصلاح شده و پیشنهادی فائو (PM) تعیین گردید (۱)، سپس با استفاده از ضریب گیاهی (K_c) برای پسته در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه سمنان، تبخیروتعرق گیاه مطابق رابطه (۱) بدست آمد:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (۱)$$

در این رابطه ET_c: تبخیر و تعرق روزانه گیاه (mm/day)، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/ day)، K_c: ضریب گیاهی روزانه برای پسته در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه سمنان، که در این مطالعه از مقادیر K_c پیشنهادی پسته برای سمنان توسط فرشی و همکاران (۱۲) استفاده گردید که این مقادیر برای مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب به صورت ۰/۴، ۰/۶–۰/۴، ۰/۶و ۰/۶–۰/۴۵ می‌باشد.

عمق خالص آب آبیاری (d_n) براساس ET_c و با احتساب سطح سایه‌انداز درختان (براساس شرایط مزرعه ۴۳ درصد تعیین گردید) و دور آبیاری (یک روز درمیان) محاسبه شد (۱۷). عمق ناخالص آبیاری (dg) بر حسب (mm) از رابطه‌ی (۲) به دست آمد:

$$dg = \frac{dn}{Ea} \quad (۲)$$

در این رابطه Ea: راندمان آبیاری مورد انتظار در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی۹۰ درصد فرض و در محاسبه عمق ناخالص آبیاری اعمال شد. به منظور اطمینان از یکنواختی پخش آب در مزرعه از شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) و یکنواختی پخش آب در مزرعه (DU) استفاده شد (معادله ۳ و ۴). اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه CU و DU در تاریخ ۱۰ خرداد در مزرعه اندازه‌گیری و با استفاده از معادلات ۳ و ۴ مقدار آنها به ترتیب ۹۶/۷ و ۹۵/۱ درصد بدست آمد که عالی درجه‌بندی می‌شود (۱۳):

$$CU = 100 \times (1 - \frac{\Sigma|Q_i - Q_{ave}|}{\Sigma Q_i}) \quad (۳)$$

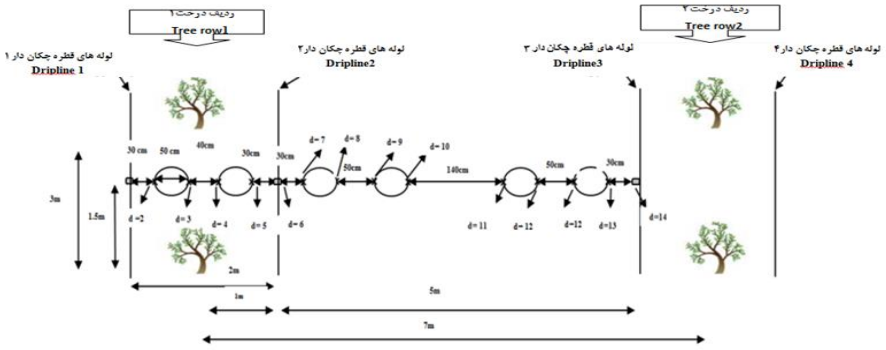
$$DU = (1.6\ CU - 60) \quad (۴)$$

برای کلیه تیمارها کنتور حجمی نصب شده بود. برای تیمار ۲ و۳ میزان آب آبیاری محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی اعمال گردید. برای کلیه تیمارها کنتور حجمی نصب شده بود. برای تیمار ۲ و۳ میزان آب آبیاری محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی اعمال گردید. حجم کل مقدار آب آبیاری در تیمارهای رژیم آبیاری I_1، I_2 و I_3 به ترتیب برابر ۶۲۵۴/۲۹، ۹۲۹۰/۷۹ و۱۰۶۸۲/۲۴ متر مکعب در هکتار بوده است که مقدار ۲۲۵ و ۱۳۹۳ مترمکعب در هکتار آن آب آبشویی در تیمار I_1 و I_3 بوده است.

بر اساس استاندارد فائو ۲۹ (۳) سطح تحمل درختان پسته به شوری آب آبیاری و شوری خاک به ترتیب برابر با ۱/۱ و ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. لذا با توجه به کیفیت آب آبیاری، اعمال آبشویی بر اساس سطح تحمل شوری درختان پسته ممکن نبود. بر همین اساس و با توجه به شرایط منبع آب در مزرعه، ۱۵ درصد به عنوان آبشویی اعمال گردید

اندازه‌گیری رطوبت

هدف از آبیاری و بخصوص آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، توزیع مناسب‌تر رطوبت در خاک و محیط ریشه در طول فصل آبیاری است. به منظور پایش تغییرات جبهه رطوبتی در خاک، میزان رطوبت خاک در قبل و بعد از آبیاری در دوره‌های رشدگیاه به ترتیب شامل دوره اولیه رشد (Initial)، توسعه و پیشرفت (Development)، فصل میانی (Mid season)، فصل نهایی: (Late season) با نمونه‌گیری وزنی قبل و بعد از آبیاری به ترتیب بین دو لوله قطره‌چکان‌دار مربوط به ردیف درختان (با حفر دو چاله به قطر ۵۰ سانتی‌متر در ردیف درختان (ردیف درخت ۱) بین دو لوله قطره‌چکان‌دار ۱ و ۲ در وسط دو درخت به فاصله ۱/۵ متری از تنه درخت) و به فاصله ۳۰ سانتی‌متری از هر لوله قطره‌چکان‌دار)، روی لوله‌های قطره‌چکان‌دار (در روی لوله‌های قطره‌چکان‌دار شماره ۱ و ۲ و ۳، در فاصله ۱/۵ متری از تنه درخت (به سمت درخت بعدی روی همان ردیف درخت) در اعماق ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری و خارج از لوله‌های قطره‌چکان‌دار (با حفر دو چاله به قطر ۵۰ سانتی‌متر، به فاصله ۳۰ سانتی‌متری خارج از لوله‌های قطره‌چکان‌دار ۲ و ۳ (به سمت ردیف کناری درختان) و در راستای وسط دو تنه درخت برداشت شد (شکل ۱).



شکل ۱- الگوی محل نمونه‌گیری‌ها

Figure 1- Pattern of sampling locations

○: چاله نمونه‌گیری حفر شده توسط مته تراکتور به قطر ۵۰ سانتی‌متر

×= محل نمونه‌گیری‌های دستی در اعماق ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر از سطح خاک

نتایج و بحث

عمق ناخالص آب آبیاری (d_g)، تعرق گیاه (T_d) و حجم آب مصرفی (G_i)

میزان عمق ناخالص آب آبیاری (dg) با دور آبیاری یک روز در میان (F) و همچنین میزان نیاز آبی گیاه پسته (T_d) برای هر سه رژیم آبیاری در شکل ۲ ارایه شده است. بر اساس تبخیر و تعرق برآورد شده برای درختان پسته، درخت‌های تحت رژیم آبیاری I_1 شاهد کم‌آبیاری در تمامی دوره‌های رشد گیاه بودند. به عبارتی کل درختان باغ به‌طوریکسان شاهد مدیریت کم آبیاری ناآگاهانه توسط کشاورز بودند. در رژیم آبیاری I_1 در تاریخ‌های ۹ تیر، ۴ مرداد و ۵ شهریور ماه به ترتیب برابر با ۱۰۱، ۱۲۷ و ۱۵۹ روز بعد از اولین آبیاری، آبشویی‌های با عمق‌های ۷/۲، ۷/۲ و ۸/۱ میلی‌متر اعمال شد. آبشویی‌ها بدین‌صورت اعمال گردید که از یک نوبت آبیاری قبل از موعد این آبشویی‌ها صرف‌نظر شده و در موعد آبشویی حجم آب وارد شده به خاک در حدود ۲ برابر افزایش یافته است. در رژیم آبیاری I_2 در تمامی رویدادهای آبیاری عمق آب آبیاری از مجموع میزان تعرق گیاه در دو روز قبل از موعد آبیاری کمی بیشتر دیده می‌شود که این اختلاف کم به خاطر اعمال کردن مقدار یکنواختی توزیع آب (Eu) می‌باشد. در رژیم آبیاری I_3 به علت اعمال ضریب آبشویی ۱۵ درصد، در تمامی موارد میزان عمق ناخالص آب آبیاری (d_g) مربوط به هر موعد آبیاری، از میزان عمق ناخالص آب آبیاری اعمال شده در رژیم آبیاری I_2، ۱۵ درصد بیشتر است.

بررسی روند تغییرات پروفیل رطوبتی

پیشروی جبهه‌ی رطوبتی قبل و بعد از آبیاری

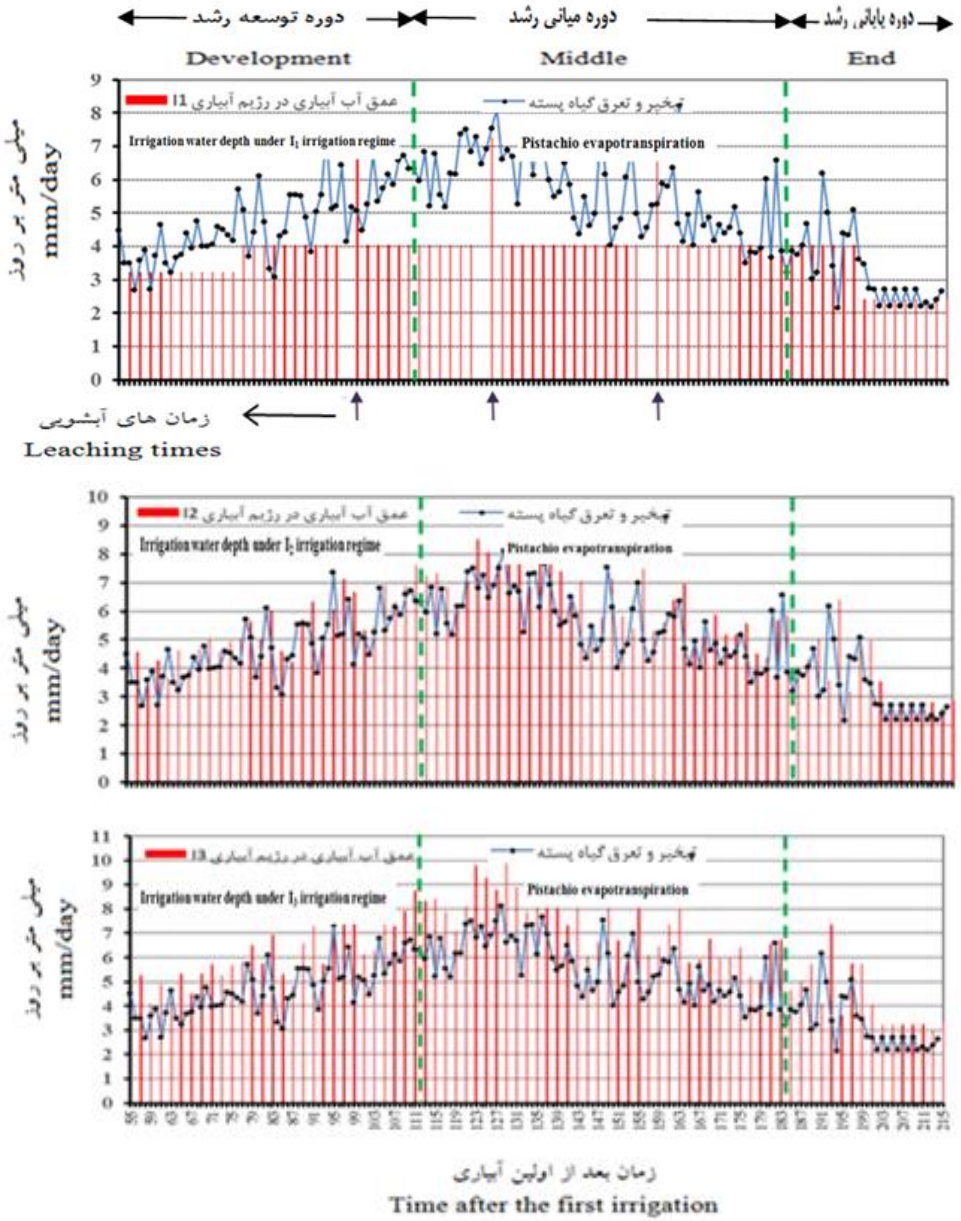
به‌منظور نشان دادن تغییرات رطوبتی قبل و بعد از آبیاری در سه رژیم آبیاری مورد آزمایش در دوره‌های توسعه، میانی و مرحله پایانی دوره رشد پسته، تغییرات رطوبتی درحد فاصل بین لوله قطره‌چکان‌دار ۱و ۲ برای هر یک از روزهای این دوره‌ها رسم گردیده است. محور افقی نماینده فاصله از تنه درخت سمت چپ (با توجه به شکل ۱) (درواقع نقطه صفر تنه درخت می‌باشد) و محور عمودی بیانگر عمق خاک می‌باشد و دایره‌های تعبیه شده در عمق ۴۰ سانتی‌متری بیانگر محل قرارگیری قطره‌چکان‌ها است. به عنوان نمونه برای بررسی پیشروی رطوبت و چگونگی توزیع آب قبل و بعد از آبیاری در دوره توسعه رشد، روز ۵ و ۶ تیر (۹۷ و ۹۸ روز پس از اولین آبیاری) ارائه شده است. همانطور که در اشکال ۳ و ۴ مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار رطوبت، بعد از آبیاری اطراف لوله‌های قطره‌چکان‌دار در محل نصب قطره‌چکان‌ها می‌باشد و میزان رطوبت در زیر قطره‌چکان‌ها بیش‌تر از میزان رطوبت در بالای قطره‌چکان‌ها است که با نتایج سیاری و همکاران (۲۵) و خلیلی و همکاران (۱۶) منطبق می‌باشد.

در شکل ۳ مشاهده می‌شود که از بین سه رژیم مورد آزمایش، بیش‌ترین میزان رطوبت موجود در خاک متعلق به رژیم I_2 و I_3 بوده است که تقریباً مشابه هم هستند و از طرفی با توجه به اینکه میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی در خاک مورد مطالعه مطابق جدول ۱ حدوداً ۱۲ درصد حجمی می‌باشد لذا در رژیم I_1 شاهد کم‌آبیاری هستیم چراکه حتی ۲۴ ساعت بعد از آبیاری میزان رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی نرسیده است (شکل ۴).

مقدار رطوبت در اطرف محل کارگذاری لوله‌های قطره‌چکان‌دار بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. همچنین میزان رطوبت در زیر عمق کارگذاری لوله‌های قطره‌چکان‌دار نسبت به بالای این عمق دارای مقدار بیشتر رطوبت بود، که سایر پژوهش‌ها نیز این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کنند (۲ و ۲۵).

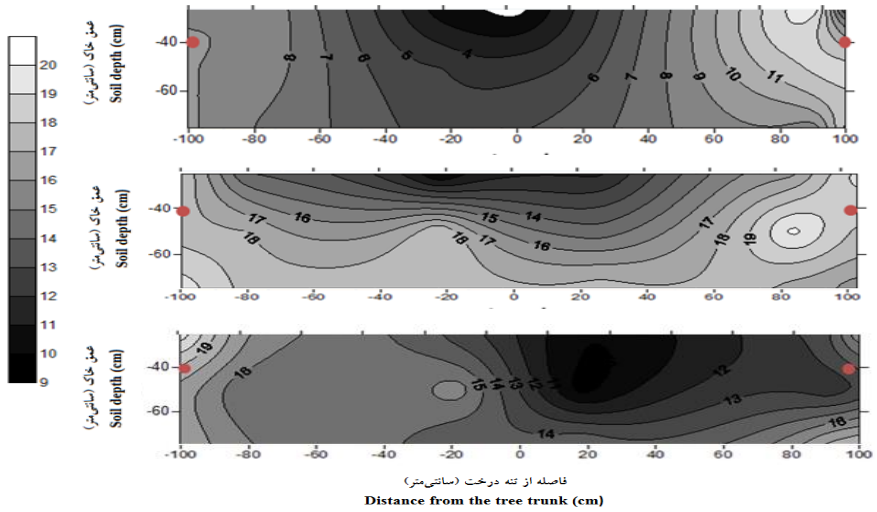
فاصله لوله‌های قطره‌چکان‌دار

باتوجه به نتایج پروفیل رطوبتی حد فاصل لوله‌های قطره‌چکان‌دار نصب شده در مزرعه محل آزمایش به دلیل تشکیل پروفیل رطوبتی پیوسته در بین لوله‌های قطره‌چکان‌دار مجاور هم (لوله‌های قطره‌چکان‌دار ۱ و ۲ که فاصله آن‌ها از یکدیگر ۲ متر می‌باشد) در شرایط تأمین نیاز ناخالص، فاصله لوله‌های قطره‌چکان‌دار برای این مزرعه مناسب تشخیص داده شد. بررسی نتایج ارائه شده در شکل‌های ۳ و ۴ نشان‌دهنده آن است که برای رژیم آبیاری اول پروفیل رطوبتی پیوسته‌ی مناسبی تشکیل نشده است. دلیل آن نامناسب بودن فاصله لوله‌های قطره‌چکان‌دار مجاور هم از یکدیگر نبوده و نشان از کم بودن حجم آب وارد شده به مزرعه در دوره توسعه رشد تشخیص داده شد.



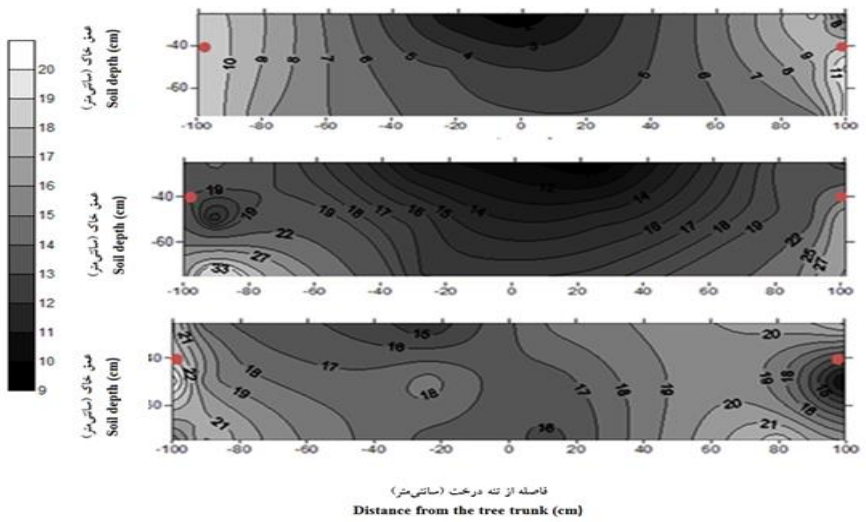
شکل ۲- میزان عمق ناخالص آب آبیاری برای دور آبیاری یک روز در میان و میزان تبخیر و تعرق روزانه گیاه پسته در سه رژیم آبیاری I_1 و I_2 و I_3

Figure 2- Gross depth of irrigation water for one day in between irrigation interval and daily evapotranspiration rate of pistachio in three irrigation regimes I_1, I_2 and I_3



شکل ۳- توزیع درصد رطوبت قبل از آبیاری ۵ تیر ماه (۹۷ روز پس از اولین آبیاری) در سه رژیم آبیاری I_1 و I_2 و I_3

Figure 3- Distribution of moisture content after irrigation, July 5th (97 days after first irrigation), in three irrigation regimes I_1, I_2 and I_3



شکل ٤- توزیع درصد رطوبت بعد از آبیاری، ٦ تیر ماه (۹۸ روز پس از اولین آبیاری) در سه رژیم آبیاری I_1 و I_2 و I_3

Figure 4- Distribution of moisture content after irrigation, July 6th (98 days after first irrigation), in three irrigation regimes I_1, I_2 and I_3

بررسی اثر مستقل و متقابل رژیم‌های آبیاری، عمق خاک و زمان (قبل و بعد از آبیاری) بر میزان رطوبت

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای طرح بر میزان رطوبت نشان داد که اختلافات بین عمق خاک ، رژیم آبیاری قبل و بعد آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان رطوبت در سطح ۱ درصد گذاشت (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل دوطرفه رژیم آبیاری در قبل و بعد آبیاری بر میزان رطوبت در سطح ۱درصد معنی‌دار بوده است، اثر متقابل دوطرفه عمق خاک در قبل و بعد از آبیاری نیز در سطح ۱ درصد بر میزان رطوبت اختلاف معنی‌دار گذاشت. همچنین اثر متقابل سه‌طرفه عمق خاک ، رژیم آبیاری و قبل و بعد از آبیاری بر میزان رطوبت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس میزان رطوبت خاک بر پایه اطلاعات سه زمان نمونه‌گیری (۹۷-۹۸ روز بعد از اولین آبیاری، ۱۵۱-۱۵۲ روز بعد از اولین آبیاری و ۲۰۷-۲۰۸ روز بعد از اولین آبیاری)

Table 3- Variance analysis of soil moisture ratio based on three time of sampling (97-98 days after the first irrigation (Developement), 151-152 days after the first irrigation (middle) and 207-208 days after the first irrigation (Later)

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی df	رطوبت Moisture (%)
تکرار Rep	2	1.020**
زمان (قبل-بعد از آبیاری) Time (before and after irrigation)	1	160.797**
خطا Error	2	0.174
رژیم آبیاری Regime irrigation	2	76.248**
عمق خاک Soil depth	2	53.268**
عمق خاک* رژیم آبیاری Regime irrigation* Soil depth	2	4.376**
رژیم آبیاری*زمان (قبل-بعد از آبیاری) Regime irrigation* Time (before and after irrigation)	2	22.472**
عمق خاک * زمان (قبل-بعد از آبیاری) Soil depth* Time (before and after irrigation)	4	4.460**
عمق خاک *رژیم آبیاری* زمان (قبل-بعد از آبیاری) Soil depth * Regime irrigation* Time (before and after irrigation(	8	2.065**
خطا Error	28	0.279
ضریب تغییرات CV%		9.5

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، *معنی‌داری در سطح ۵٪ و ns غیر معنی‌دار

**Significant level 1%,* Significant level 5%, ns: Non-significant

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان رطوبت بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری دارای افزایش معنی‌داری بوده است و تیمار زمان بعد از آبیاری با اختصاص مقدار ۱۶/۳ درصد در رده‌بندی دانکن در گروه آماری a قرار گرفت (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار رطوبت در زمان بعد از آبیاری و در اطراف لوله‌های قطره‌چکان‌دار و در محل نصب قطره‌چکان‌ها نیز توسط دیگر محققات نیز گزارش شده است (۲۵). همچنین با افزایش سطوح رژیم آبیاری میزان رطوبت به طور معنی‌داری افزایش یافته است و رژیم آبیاری I_3 با داشتن بیشترین مقدار برابر با ۱۶/۶ درصد بالاترین رتبه را به خود اختصاص داد. با توجه به مقایسه میانگین‌های اثر مستقل عمق خاک بر میزان رطوبت نیز مشاهده شد که بین عمق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر از نظر میزان رطوبت تفاوت معنی‌داری به وجود نیامده است، اما عمق ۷۵ سانتی‌متر نسبت به این اعماق دارای افزایش معنی‌داری بوده است که می‌تواند به علت آن الگوی توزیع ریشه درختان پسته و مصرف آب در زیر سطح خاک باشد. میزان آب آبیاری در هر نوبت به زیر ۵۰ سانتی‌متری حرکت کرده و در آنجا نیز بطور کامل جذب نشده است (جدول ۳). این یافته اهمیت مدیریت آبیاری برای توجه به توزیع آب در محیط ریشه را مورد تاکید قرار می‌دهد. کاهش میزان رطوبت خاک در لایه¬های سطحی خاک تحت سامانه قطره‌ای زیرسطحی در باغ مرکبات در منطقه راجستان هند نیز گزارش شده است (۷).

به‌طور کلی نتایج مقایسه میانگین اثر مستقل تیمارها بر میزان رطوبت نشان داد که در طول دوره نمونه‌گیری میزان رطوبت بعد از آبیاری بیش‌تر از میزان رطوبت قبل از آبیاری بوده است و از بین رژیم‌های آبیاری بیش‌ترین میزان رطوبت به رژیم آبیاریI_3 و کم‌ترین میزان رطوبت متعلق به رژیم I_1 و در عمق ۷۵ سانتی‌متری از سطح خاک می‌باشد. بررسی اثرات متقابل دوطرفه رژیم‌های آبیاری و عمق خاک بر میزان رطوبت نیز نشان داد که در سطح رژیم آبیاری I_1 بین عمق‌های خاک ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر و همچنین ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر از لحاظ میزان رطوبت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر نسبت به عمق خاک ۲۵ سانتی‌متر افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵).

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های اثر مستقل زمان(قبل وبعد از آبیاری)، رژیم آبیاری و عمق خاک بر میزان رطوبت

Table 4- Averages comparison of independent effects of time (before and after irrigation), irrigation regime and soil depth on moisture

صفت مورد بررسی Characteristic examined	تیمارها Treatments							
	زمان Time		رژیم آبیاری Irrigation regime			عمق خاک Soil depth		
	قبل آبیاری Before irrigation	بعد آبیاری After irrigation	I_1	I_2	I_3	25	50	75
رطوبت Moisture (%)	12.9^a	16.3^b	12.5^c	14.7^b	16.6^a	13.3^b	13.9^b	16.6^a

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1% level.

در رژیم آبیاری I_2 و I_3 بین اعماق خاک ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر از لحاظ میزان رطوبت اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است، اما عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر نسبت به اعماق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر میزان رطوبت را به طور معنی‌داری افزایش داده است. بر طبق نتایج مقایسه میانگین می‌توان گفت که رژیم آبیاری I_3 و عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر با مقدار ۱۹/۳ درصد در رده‌بندی دانکن بالاترین رتبه را به خود اختصاص داد که نسبت به سایر ترکیبات رژیمی دارای افزایش معنی‌داری بوده است. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در زمان آبیاری نیز نشان داد که در رژیم آبیاری I_1 تفاوت معنی‌داری بین قبل و بعد از آبیاری از لحاظ میزان رطوبت وجود ندارد، اما در سطوح رژیم آبیاری I_2 و I_3 میزان رطوبت بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری به صورت معنی‌داری افزایش یافته است و همچنین بالاترین میزان رطوبت در رژیم آبیاری I_3 با مقدار ۱۹/۵ درصد و بعد از آبیاری مشاهده شده است. اثرات متقابل عمق خاک و زمان آبیاری نیز نشان داد که میزان رطوبت بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری در تمامی سطوح اعماق خاک مورد بررسی افزایش معنی‌داری داشته است، که بالاترین میزان رطوبت به عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر با مقدار ۱۸/۸ درصد و بعد از آبیاری اختصاص داشته است که نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌دار بوده است (جدول ۵).

در جدول ۶ اثر متقابل سه‌طرفه رژیم آبیاری، عمق خاک و زمان (قبل و بعد از آبیاری) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در هر سه رژیم آبیاری میزان رطوبت بعد از آبیاری در تمامی عمق‌های خاک بیش‌تر از مقدار رطوبت قبل از آبیاری است، به جز عمق ۲۵ سانتی‌متر در رژیم I_1 که در آن اختلاف معنی‌داری بین قبل و بعد آبیاری مشاهده نشده است. این نتیجه حاکی از آن است که در رژیم آبیاری I_1 میزان آب آبیاری به اندازه‌ای است که حرکت رطوبت به سمت بالای محل قرارگیری قطره‌چکان‌ها زیاد نمی‌باشد تا اختلاف معنی‌داری در قبل و بعد از آبیاری ایجاد کند. بیش‌ترین مقدار رطوبت متعلق به رژیم I_3 در عمق ۷۵ سانتی‌متر و بعد از آبیاری و کم‌ترین مربوط به رژیم I_1 در عمق ۲۵ سانتی‌متر و قبل از آبیاری می‌باشد. با توجه به ظرفیت زراعی خاک محل آزمایش نیز مشاهده می‌شود که رطوبت تحت رژیم I_1 در عمق ۲۵ سانتی‌متر و قبل از آبیاری کمتر از رطوبت در حد ظرفیت زراعی می‌باشد و حاکی از تشکیل پروفیل پیوسته رطوبتی با رطوبت پایین در رژیم آبیاری I_1 در نتیجه کم‌آبیاری در این دوره می‌باشد و رطوبت بیشتر از حد ظرفیت زراعی تحت رژیم I_3 در عمق ۷۵ سانتی‌متر و بعد از آبیاری نشان داد که میزان رطوبت در محیط ریشه بطور متوسط در حد مناسبی بود. همچنین نتایج نشان داد که میزان رطوبت قبل و بعد از آبیاری در رژیم I_3 نسبت به دو رژیم دیگر بیش‌تر دست‌خوش تغییر شده است. نتایج حاکی از آن است که رژیم آبیاری I_3 بیش از نیاز ناخالص آب به خاک وارد می‌کند که با نفوذ به عمق ۷۵ سانتی‌متری موجبات نفوذ عمقی را فراهم می‌کند.

توانایی رژیم‌های آبیاری در تأمین رطوبت کافی در مراحل رشد پسته

با توجه به اینکه حساس‌ترین دوره رشد پسته دوره توسعه می‌باشد و آب کافی در این دوره بر کیفیت و کمیت محصول، تأثیر بسزایی دارد (۱۴). لذا بررسی شرایط رطوبتی در دوره‌های مختلف خصوصاً دوره توسعه حائز اهمیت است. شکل‌های ۳ و ۴ مبین این مطلب است که رژیم آبیاری I_1 در دوره توسعه (قبل و بعد از آبیاری) با کم‌آبی مواجه بوده است ولی رژیم‌های I_2 و I_3 با کم‌آبی مواجه نبودند. بنابراین تشکیل پروفیل پیوسته رطوبتی با رطوبت پایین در رژیم آبیاری I_1 نتیجه کم‌آبیاری در این دوره بوده و نمی‌توان آن را به نامناسب بودن فاصله لوله‌های قطره‌چکان‌دار نسبت داد.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دو طرفه رژیم آبیاری و عمق خاک، رژیم¬های آبیاری و زمان، عمق خاک و زمان بر میزان رطوبت

Table 5- Comparison of bilateral interactions effects of irrigation regimes and soil depth, irrigation regime and time, soil depth and time on the ratio of moisture

اثرات متقابل Interactions effects		تیمارها Treatments	رطوبت Moisture (%)
رژیم آبیاری و عمق خاک Regime irrigation and soil depth	I_1	25	10.9^{e}
		50	12.7^{de}
		7	13.8^{cd}
	I_2	25	14.1^{cd}
		50	13.5^{cd}
		75	16.6^{b}
	I_3	25	15^{bc}
		50	15.3^{bc}
		75	19.3^{a}
رژیم آبیاری در زمان (قبل- بعد از آبیاری) Regime irrigation and time (before and after irrigation)	I_1	قبل از آبیاری Before irrigation	11.7^{d}
		بعد از آبیاری After irrigation	13.2^{cd}
	I_2	قبل از آبیاری Before irrigation	13.2^{cd}
		بعد از آبیاری After irrigation	16.2^{b}
	I_3	قبل از آبیاری Before irrigation	13.6^{c}
		بعد از آبیاری After irrigation	19.5^{a}
عمق خاک در زمان (قبل- بعد از آبیاری) Soil depth and time (before and after irrigation)	25	قبل از آبیاری Before irrigation	12.1^{c}
		بعد از آبیاری After irrigation	14.6^{b}
	50	قبل از آبیاری Before irrigation	12.2^{c}
		بعد از آبیاری After irrigation	15.5^{b}
	75	قبل از آبیاری Before irrigation	14.3^{b}
		بعد از آبیاری After irrigation	18.8^{a}

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1%

تجمع رطوبت در عمق ۷۵-۵۰ سانتیمتری از سطح خاک حتی در شرایط کم آبیاری تیمار I_1 حاکی از آن است که مدت زمان آبیاری در رژیم‌های آبیاری مورد مطالعه مناسب نمی‌باشد. برای ارتقای مدیریت آبیاری لازم است دور آبیاری کاهش یابد تا ساعت آبیاری در هر نوبت کاهش یابد یابد یا آبیاری بصورت پالسی انجام شود و توزیع مناسب-تری از رطوبت را در پروفیل خاک داشته باشیم.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای ارتقاء شاخص‌های طراحی و مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته، ، تغییرات جبهه‌ی رطوبتی در عمق‌های مختلف خاک و در بین دو لترال یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در باغ‌های پسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد میزان رطوبت در زیر قطره‌چکان‌ها بیش‌تر از میزان رطوبت در بالای قطره‌چکان‌ها بود که باید در عمق نصب لوله‌های قطره چکان‌دار مورد توجه قرار گیرد. در رژیم آبیاری I_1 میزان آب آبیاری به اندازه‌ای است که حرکت رطوبت به سمت بالای محل قرارگیری قطره‌چکان‌ها زیاد نمی‌باشد تا اختلاف معنی‌داری در قبل و بعد از آبیاری ایجاد کند.

تغییرات رطوبت در مراحل رشد پسته نشان داد که گیاه پسته تحت رژیم آبیاری I_1 در دوره توسعه رشد با کم‌آبی مواجه بود. با توجه به ظرفیت زراعی خاک محل آزمایش، در دو رژیم آبیاری I_2 و I_3 میزان رطوبت در محیط ریشه بطور متوسط در حد مناسبی بود. میزان رطوبت در دو زمان قبل و بعد از آبیاری در رژیم آبیاری I_3 نسبت به دو رژیم دیگر بیش‌تر دست‌خوش تغییر شده بود، که ناشی از افزایش عمق آب آبیاری به واسطه آب آبشویی بود.

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سه‌طرفه رژیم‌های آبیاری، عمق خاک و زمان (قبل و بعد از آبیاری) بر میزان رطوبت

Table 6- Comparison of three-way interactions effects of irrigation regimes, soil depth and time (before and after irrigation) on the ratio of moisture

رژیم آبیاری Irrigation regime	عمق خاک Soil depth	زمان (قبل و بعد از آبیاری) (Time (before and after irrigation	رطوبت Moisture (%)
I_1	25	قبل از آبیاری Before irrigation	10.5^{j}
		بعد از آبیاری After irrigation	11.4^{ij}
	50	قبل از آبیاری Before irrigation	12^{hi}
		بعد از آبیاری After irrigation	13.3^{fg}
	75	قبل از آبیاری Before irrigation	12.7^{gh}
		بعد از آبیاری After irrigation	14.9^{de}
I_2	25	قبل از آبیاری Before irrigation	12.8^{gh}
		بعد از آبیاری After irrigation	15.4^{de}
	50	قبل از آبیاری Before irrigation	12.7^{gh}
		بعد از آبیاری After irrigation	14.4^{ef}
	75	قبل از آبیاری Before irrigation	14.2^{ef}
		بعد از آبیاری After irrigation	19.0^{b}
I_3	25	قبل از آبیاری Before irrigation	13.0^{fg}
		بعد از آبیاری After irrigation	17.1^{c}
	50	قبل از آبیاری Before irrigation	11.8^{hi}
		بعد از آبیاری After irrigation	18.9^{b}
	75	قبل از آبیاری Before irrigation	16.1^{cd}
		بعد از آبیاری After irrigation	22.5^{a}

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1%

نتایج نشان‌دهنده نفوذ عمقی به پایین ۷۵ سانتی‌متری عمق خاک نیز بود. عمق ۷۵ سانتی‌متر نسبت به اعماق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متری دارای افزایش معنی‌داری در میزان رطوبت بود که می‌تواند به علت تجمع بیشتر ریشه‌های مصرف‌کننده آب در عمق ۰-۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک و الگوی مصرف آب در این ناحیه باشد باشد. تجمع رطوبت در عمق ۷۵-۵۰ سانتیمتری از سطح خاک حتی در شرایط کم آبیاری تیمار I_1 حاکی از آن است که مدیریت آبیاری در رژیم‌های آبیاری مورد مطالعه مناسب نمی‌باشد و لازم است مدت آبیاری و زمان آبیاری با توجه به مراحل رشد و الگوی توزیع ریشه پیشنهاد شود. افزایش عمق آب آبیاری به واسطه آبشویی باید تمرکز بر عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری داشته باشد.

تشکر و قدردانی

اطلاعات ارائه شده در این مقاله نتایج پروژه پژوهشی با عنوان "شاخص‌های طراحی، اجرا و مدیریت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ارزیابی آن در باغات سمنان" می‌باشد که با حمایت مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به اجرا رسیده است. همچنین از شرکت بنیز تجهیز که بستر این پژوهش را در مزرعه الگویی آن شرکت فراهم کرده است و همکاری صمیمانه و دلسوزانه مدیر مزرعه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. No, 56. FAO, Rome.
2- Amali S., Rolston D.E., Foltun A.E., Hanson B.R., Phen C.J., and Oster I.D. 1999. Soil water variabilityunder subsurface drp irrigation and furrow irrigation. Journal of Irrigation Science 17(4): 151-155.
3- Ayers R.S., and Westcot D.W. 1985. Water quality for agriculture (Vol. 29). Rome: Food and Agric Organization of the United Nations.
4- Badr A.E., and Aburab M.E. 2013. Soil moisture distribution patterns under surface and subsurface drip irrigation systems in sandy soil using neutron scattering technique. Journal of Irrigation Science 31: 317-332.
5- Battam M.A., Sutton B.G., and Boughton D.G. 2003. Soil pits as a simple design aid for subsurface drip irrigation systems. Journal of Irrigation Science 22: 135-141.
6- Ben-Gal A., Lazorovitch N., and Shani U. 2004. Subsurface drip irrigation in gravelfilled cavities. Vadose Zone Journal 3: 1407-1413.
7- Beniwal R.K., Soni M.L., Yadava N.D., Prakash C., and Talwar H.S. 2006. Effect of irrigation scheduling on moisture and salt distribution and growth of Kagji lime under drip irrigation in arid Rajasthan. Annals of Arid Zone 45(2): 169.
8- Cote C.M., Bristow K.L., Charlesworth P.B., Cook F.J., and Thorburn P.J. 2003 Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. Journal of Irrigation Science 22: 143–156.
9- Dehghanisanij H., Agassi M., Anyoji H., Yamamoto T., Inoue M., and Eneji A.E. 2006. Improvement of saline water use under drip irrigation system. Journal of Agricultural Water Management 85: 233–242.
10- Dos Santos L.N., Matsura E.E., Gonçalves I.Z., Barbosa E.A., Nazário A.A., Tuta N.F., Elaiuy M.C., Feitosa D.R., and de Sousa A.C. 2016. Water storage in the soil profile under subsurface drip irrigation: Evaluating two installation depths of emitters and two water qualities. Journal of Agricultural Water Management 170: 91-98.
11- Douh B., Boujelben A., Khila S., and Mguidiche A.B.H. 2013. Effect of subsurface drip irrigation system depth on soil water content distribution at different depths and different times after irrigation. Larhyss Journal 13: 7-16.
12- Farshi A.A., Shariati M.H., Jarollahi R., Ghaemi M.H., Shabifar M., and Tolaei M.M. 1997. Estimated water requirement major plants agricultural and horticultural of country. Soil and Water Research Institute, Publication of Agriculture Education in Karaj, 394p. (In Persian)
13- Ghassemzadeh Mojaveri F. 1990. Evaluation of irrigation systems of farms. Mashhad: Astan Quds Razavi. Bhnshr company, 329p. (In Persian)
14- Goldhamer D.A., and Beede R. 1993. Result of four years of regulated deficit irrigation on deep rooted pistachio trees. CalifirniaPistachio Industry Annual Report Crop.
15- Hosseini Fard S.J., Insight M.N., Sedaghati V., and Akhiani A. 1396. Integrated management of soil fertility and plant nutrition pistachio tree. National Pistachio Research Institute. 101 p.
16- Khalili M., Haha Jaribi A., Akbar M., and Zacharyna M. 1391. Determine the moisture profile in underwater drip irrigation. Master's Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
17- Kosari H. 2009. Evaluation of soil surface energy balance to estimation of evapotranspiration and its components in surface and sub-surface drip irrigation systems. Irrigation and Drainage Master's thesis, University of Tehran. (In Persian with English abstract)

18- Lamm F.R. 2016. Cotton, tomato, corn, and onion production with subsurface drip irrigation: A review. Transactions of the ASABE 59(1): 263-278.
19- Lamm F.R., and Camp C.R. 2007. Managing the Challenges of Subsurface Drip Irrigation. Elsevier Publications 473-551.
20- Li J., Zhang J., and Rao M. 2004. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. Journal of Agricultural Water Management 67: 89–104.
21- Mondal P., Biswas R.K., Tewari V.K., Kundu K., and Manisha B. 2007. Investigation on soil wetting patterns of low cost drip irrigation system developed in India. Trends in Applied Sciences Research 2(1): 45-51.
22- Patel N., and Rajput T.B.S. 2008. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. Journal of Agricultural Water Management 95: 1335-1349.
23- Ragheb H.M.A., Gameh M.A., Ismail S.M., and Abou Al-Rejal N. A. 2011. Water distribution patterns of drip irrigation in sandy calcareous soil as affected by discharge rate and amount of irrigation water. J. King Abdulaziz University Meteorolical Envirnment 22(3): 141.
24- Saifi A., Mirlatifi S.M., Dehghanisanij H., and Torabi M. 1393. Effect of irrigation interval on distribution of moisture and salinity in pistachio gardens under underlying drip irrigation conditions (Case study: Sirjan city, Kerman province). Irrigation and Drainage Journal of Iran 8(4): 786-799.
25- Sayyari N., Ghahraman B., and Davari K. 2007. Investigation of soil moisture distribution under subsurface drip irrigation system in pistachio gardens (case study: Rafsanjan with saline water). Water, Soil and Plant Research in Agriculture 6: 65-77.
26- Sedaghati N., Alizadeh A., Ansari H., and Hosseinifard S.J. 2016. Study of Changes in Soil Moisture and Salinity under Plastic Mulch and Drip Irrigation in Pistachio Trees. Journal of Nuts 7 (1): 21-33.
27- Shan Y., Wang W., and Wang C. 2011. Simulated and measured soil wetting patterns for Overlap zone under double points sources of drip irrigation. African Journal of Biotechnology 10(63): 13744-13755.
28- Singh D.K., Rajput T.B.S., Sikarwar H.S., Sahoo R.N., and Ahmad T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. Journal of Agricultural Water Management 83(1): 130-134.
29- Thorburn P.J., Cook F.J., and Bristow K.L. 2003. Soil-dependent wetting from trickle emitters: implications for system design and management. Journal of Irrigation Science 22(3): 121-127.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 3, Jul-Aug. 2019, p. 391-404

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۸، ص. ۳۹۱-۴۰۴

The Effect of Different Irrigation Regimes under Subsurface Drip Irrigation System on Soil Moisture Distribution in Pistachio Orchard

H. Dehghanisanij[1*]- H. Haji Agha Bozorgi[2]- A.A. Ghaemi[3]

Received: 28-01-2019
Accepted: 10-06-2019

Introduction: Creating a uniform and adequate moisture in the root zone is one of the most challenging issues in irrigated lands. Use of irrigation systems with high water efficiency, such as sub-surface drip irrigation is recommended as a solution to reduce water losses. Information on soil moisture variation is an important factor for managing and designing a subsurface drip irrigation system. This study was conducted to evaluate the soil moisture variation for different irrigation regimes in a pistachio orchards equipped by a subsurface drip irrigation system (SDI).

Materials and Methods: This study was carried out in a two-hectare of 10 years old pistachio orchard located in Semnan province, Iran (located at 35°28´ N, 53°12´E and elevation of 1160 m above sea level) during the 2012-2013 growing season. The climate of the studied area is hot desert having an average annual precipitation of approximately 110 mm. Daily meteorological data such as the temperature, relative humidity, wind speed, rainfall, and solar radiation were collected from a meteorology station in farm. The soil was sandy loam textured with average field capacity and permanent wilting point of 12.23 and 5.01%, respectively. Subsurface drip irrigation system was equipped by EuroDrip Company emitters (PC2), inline, to a distance of 80 cm and with a discharge of 26.2 Lit/ hr installed at a depth of 40 cm. In this study, a factorial experiment in split plot design was used with three replications. Three irrigation treatments i.e. control (I1), Irrigation based on irrigation requirement (I2) and I2 plus leaching requirement (I3), and changes in the moisture front were investigated by weight sampling between two drip lines, between the trees rows, on the drip line and out of the drip line of each row, before and after irrigation and in development, middle and late season.

Results and Discussion: For the evaluated irrigation systems, increased levels of irrigation regime resulted in increased moisture content in the root zone. The higher average soil moisture (16.6 %) was measured after irrigation under I3. The I1 irrigation regime did not significantly change the soil moisture content in upper part of emitters before and after irrigation event. Average soil moisture content at different depths showed that the soil moisture content in 75 soil depth was significantly higher than that in 25 and 50 cm soil depth, which can be attributed to higher root water uptake by root in 0-50 cm soil depth. Bilateral impact of irrigation regimes and soil depth showed higher soil moisture content (19.3%) under I3 and 75 cm soil depth which may lead to deep percolation. Bilateral impact of irrigation regimes, soil depth, and time before and after irrigation event also resulted in higher soil moisture content (22.5 %) in 75 cm soil depth after irrigation under I3. The lowest soil water content (10.5 %) was measured in 25 soil depth before irrigation under I1.

Conclusion: The results of this study showed that I2 and I3 irrigation regimes did not show water shortage during growth season (before and after irrigation), but the I1 irrigation regime caused water scarcity. Therefore, the formation of continuous moisture profiles with low moisture in I1 irrigation regime was caused as a result of low irrigation during this period. Accumulation of moisture at depth of 50-75 cm from the soil surface, even under low irrigation conditions I1 irrigation regime, implies that irrigation time is not suitable for irrigation regimes. In general, in order to improve the irrigation management, it is necessary to reduce the irrigation intervals and have a more appropriate distribution of moisture in the soil profile.

Keywords: Irrigation time, Leaching requirement, Moisture front, Soil depth, Subsurface drip irrigation

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran. P.O.Box 31585-845.
(*- Corresponding Author Email: h.dehghansanij@areeo.ac.ir)
2- and 3- Master of Science (M.Sc) and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shiraz University