نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد۸، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۷۹۹-۷۸۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 8, Winter. 2015, p. 786-799

تأثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: شهرستان سیرجان استان کرمان)

اکرم سیفی[۱]، سید مجید میرلطیفی[۲*]، حسین دهقانی سانیج[۳]، منوچهر ترابی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۷

چکیده

پسته محصولی استراتژیک با ارزش اقتصادی بالا در ایران است که در مناطق خشک با محدودیت منابع آبی و کیفیت پایین آب کشت می‌شود. در سال‌های اخیر، روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) مورد توجه ویژه کشاورزان پسته قرار گرفته است. اما با توجه به کیفیت پایین آب در اکثر مناطق تحت کشت پسته، استفاده ازاین شیوه آبیاری باعث تجمع نمک در نزدیکی سطح خاک می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش عملکرد محصول شود. از طرف دیگر، چون دور آبیاری مناسب در روش SDI برای کنترل شوری و رطوبت خاک در زراعت پسته مشخص نیست، در این تحقیق، تأثیر دورهای مختلف آبیاری بر توزیع رطوبت، شوری و عملکرد درختان پسته ۱۵ ساله با خاک سیلت لوم و روش آبیاری SDI با آب شور (EC=4.2 dS/m) در شرایط اقلیم بیابانی بررسی شد. دو تیمار دور آبیاری ۳ و ۱۴ روز (I_3 و I_{14}) با سه تکرار در قطعه آزمایشی یک هکتاری مزرعه‌ای واقع در شهرستان سیرجان مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تیمارهای آبیاری اثرات معناداری روی مقدار رطوبت خاک در عمق ۱۰۰-۰ سانتیمتری لایه خاک داشتند و میانگین ذخیره رطوبتی تیمار I_3 بیشتر بود. کاربرد بیشتر آب مصرفی در تیمار I_3 باعث تجمع کمتر نمک در منطقه توسعه ریشه نسبت به تیمار I_{14} شد که از لحاظ آماری معنادار بود. عملکرد محصول در تیمارهای I_3 و I_{14} به ترتیب ۳/۳ و ۳/۷ کیلوگرم در هر درخت بود که اختلاف معناداری نداشتند، اما تیمار I_3 موجب بهبود صفات کیفی محصول از جمله کاهش درصد پوکی و افزایش درصد خندانی شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، پسته، دور آبیاری، رطوبت، شوری،کرمان

مقدمه

در نواحی خشک و نیمه‌خشک، تولید میوه بطور کامل به آبیاری بستگی دارد (Naor, 2006). سرمایه‌گذاری‌های قابل توجه در ایجاد باغ میوه زمانی موجه است که در طول عمر باغ، تولید آن زیاد و پایدار باشد. بنابراین، توسعه باغ‌ها در مناطقی انجام می‌شود که تأمین آب آبیاری حتی در خشکسالی‌ها، به اندازه کافی مقدور باشد (Iniesta et al., 2008). بطور کلی هدف از آبیاری، تامین مقدار مناسب آب برای گیاه در زمان مناسب است. تصمیمات مناسب برای آبیاری نیاز به دانستن نیاز آبی درخت و اجرای مناسب سامانه آبیاری با توجه به میزان دقیق آب تحویلی و توزیع مناسب آن دارد (Goldhamer, 2005).

پسته ایران از جمله محصولات مهم باغی کشور و یکی از مهمترین اقلام صادراتی غیرنفتی و منبع تأمین ارز برای کشور به شمار می‌رود. درختان پسته از نظر مقاومت به خشکی معروف هستند و قادرند با مقدار خیلی کم آب زنده بمانند و محصول نیز تولید کنند. اما مقاومت بدان معنا نیست که برای تولید محصول بهینه نیاز به آب کمی دارند و می‌توانند رشد سریع با محصول زیاد داشته باشند (Goldhamer, 2005). بطور کلی ۴۰٪ از کل آب قابل دسترس خاک[۵] (TAW) می‌تواند قبل از وقوع تنش رطوبتی (کاهش در ET) از ناحیه ریشه تخلیه شود (Allen et al., 1998). اما درختان پسته آب را سریع‌تر از دیگر درختان میوه و خشکبار مصرف می‌کنند و اگر در دوره‌های حساس، با مقدار کمتر از نیاز آبی، آبیاری شوند اثرات منفی بر فرآیندهای درونی درخت می‌گذارد (Goldhamer, 2005).

در ایران به عنوان مهد پسته دنیا، متوسط محصول باغ‌های ۱۸ تا ۲۰ ساله، که به خوبی مدیریت شده باشند، به یک تن در هکتار می‌رسد. همچنین، تولید ایران بر حسب آمارهای رسمی با ۴۵۰ هزار هکتار سطح زیرکشت حدود ۱۸۰ هزار تن است. این درحالی است که

۱- دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس
۳- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج
۴- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: (Email: Mirlat_m@modares.ac.ir

5- Total Available Water

در آمریکا در سال ششم کشت، به محصول یک تن در هکتار و در سال دوازدهم به ۳/۵ تن در هکتار رسیده‌اند که با سطح زیر کشت کمتر از یک پنجم ایران، به محصول ۱/۵ برابری نسبت به ایران دست یافته‌اند (نظری، ۱۳۹۲). بر اساس آمار موجود، استان کرمان بزرگترین منطقه تولید پسته در کشور می‌باشد. موضوع نگران کننده این است که تبخیر بالا، بارندگی کم، کمبود آب و شوری خاک، پایداری کشاورزی را در این منطقه تهدید می‌کند (امیرتیموری، ۱۳۸۹).

کاهش مصرف آب در آبیاری باغ‌ها را می‌توان با افزایش بازده کاربرد آب از طریق کاهش تلفات بدست آورد. در ۲۰ سال گذشته، روند رو به رشدی به سمت استفاده از سامانه‌های میکرو وجود داشته است و هم اکنون بطور گسترده‌ای در باغ‌های میوه، اجرا می‌شوند (Iniesta et al., 2008). سامانه‌های پیشرفته آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای سطحی[1] (DI) و زیرسطحی[2] (SDI) اغلب به منظور غلبه بر مشکلات بیان شده در نواحی خشک پیشنهاد شده‌اند (Kandelous and Simunek, 2010). امروزه آبیاری قطره‌ای به عنوان یکی از موثرترین روش‌های آبیاری شناخته می‌شود. با این روش می‌توان آب را بطور یکنواخت توزیع کرد، مقدار آب مصرفی را به دقت کنترل نمود، عملکرد گیاه را افزایش و تبخیر-تعرق، نفوذ عمقی و خطرات پراکندگی و شورشدگی خاک را کاهش داد (Batchelor et al., 1996; Ayars et al., 1999; Karlberg and Frits, 2004). در روش آبیاری قطره‌ای، متغیرهایی مانند عمق آبیاری (Hanson et al., 2006) و دور آبیاری (Wang et al., 2006; El-Hendawy et al., 2008) می‌توانند آب خاک، شوری خاک و بازده استفاده از آب را تحت تأثیر قرار دهند. برت تحقیقات چندساله‌ای را در خصوص مقایسه آبیاری سطحی (جوی-پشته‌ای) با دو روش آبیاری قطره‌ای DI و SDI برای درختان پسته در کالیفرنیا انجام داد. در این تحقیقات، تأثیر روش‌های آبیاری یاد شده بر میزان تولید، صرفه‌جویی در مصرف آب، میزان انرژی مصرفی، سرعت رشد درختان (قطر تنه)، میزان رشد علف‌های هرز، مقدارکودهای مورد نیاز و نیز تحلیل هزینه‌ها بررسی شدند. در همه موارد، برتری روش‌های قطره‌ای، خصوصاً روش SDI نسبت به آبیاری سطحی به اثبات رسید (Burt, 1996). مطالعه‌ای روی اثرات طولانی مدت تجمع شوری در آبیاری-های قطره‌ای در چندین باغ پسته کالیفرنیا انجام گرفت. سامانه آبیاری قطره‌ای درختان پسته شامل سه قطره‌چکان برای هر درخت، متوسط هدایت الکتریکی آب آبیاری ۰/۴۶dS/m و بافت خاک لوم بود. نتایج نشان داد که مقادیر معناداری تجمع نمک در گوشه‌های پیاز رطوبتی در طول ردیف‌های درخت وجود دارد (Burt and Isbell, 2003).

صداقتی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی چهارساله، دو سامانه آبیاری قطره‌ای DI و SDI (با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتیمتر) با سه تیمار آبیاری به میزان ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی درختان پسته در روش آبیاری سطحی را بررسی کردند. رقم درختان مورد تحقیق، اوحدی و سن آنها ۳۰ سال بود. هدایت الکتریکی آب آبیاری ۴/۷ دسی‌سیمنز بر متر بود. سامانه SDI با عمق نصب ۳۰ سانتیمتر و میزان ۶۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری سطحی با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم محصول خشک در هر مترمکعب آب مصرفی بهترین تیمار شناخته شد. همچنین عمق نصب ۳۰ سانتیمتر، بهترین الگوی توزیع شوری از لحاظ میزان شوری کمتر در منطقه توزیع نمک را داشت.

دور آبیاری یکی از مهم‌ترین عوامل در برنامه‌ریزی آبیاری است. چندین محقق اظهار کرده‌اند که دور آبیاری طولانی برای بهبود عملکرد گیاه و بازده استفاده از آب مطلوب می‌باشد (Wang et al., 2006; El-Hendawy et al., 2008) در حالیکه تعدادی دیگر از محققین بیان داشتند که عملکرد گیاه با دور آبیاری کوتاه اختلاف معناداری با عملکرد آن در دورهای آبیاری طولانی ندارد (Lamm et al., 1995; Howell et al., 1997; Ucan et al., 2007). تفاوت در این نتایج احتمالاً به دلیل اختلاف در شرایط اقلیمی و یا بافت خاک می‌باشد (El-Hendawy et al., 2008). یی و همکاران نشان داده‌اند که در خاک‌های شور، دور زیاد آبیاری برای آبشویی نمک‌های موجود در منطقه ریشه مفید می‌باشد (Yi et al., 2011). در باغ‌های پسته ترکیه، دو دور آبیاری غرقابی ۲۰ و ۳۰ روز در مقایسه با شرایط دیم به مدت ۵ سال بررسی شد. عملکرد میوه خشک در دور آبیاری ۲۰ روز در مقایسه با شرایط بدون آبیاری دو برابر بود. متوسط سه ساله دور آبیاری ۲۰ روز، در سال‌های بارآوری، ۵۱۷۰kg/ha بود در حالیکه تیمار کنترل در طول همان دوره، ۳۴۵۰kg/ha محصول داشت. متوسط دو ساله شرایط دیم در سال نابارآوری، ۱۷۳۰kg/ha بود در حالیکه در همین دوره، دور آبیاری ۲۰ روز، عملکرد بالاتری (۴۰۳۰kg/ha) داشت (Kanber et al., 1993).

به علاوه، اثبات شده است که آبیاری قطره‌ای، قابلیت استفاده از آب‌های شور را افزایش می‌دهد (Bresler, 1975; Mantell et al., 1985; Rajak et al., 2006). بطور کلی، مهم‌ترین محاسن آبیاری قطره‌ای در ارتباط با استفاده از آب‌های شور عبارتند از ۱- استفاده از آب کمتر (بازده کاربرد بالاتر) منجر به تجمع کمتر نمک در مزرعه می‌شود ۲- اجتناب از برگ‌سوختگی ۳- دور کوتاه آبیاری قطره‌ای مانع از خشک شدن خاک بین دو آبیاری می‌شود، در اینصورت از افزایش غلظت نمک و پتانسیل اسمزی جلوگیری می‌کند و ۴- نمک-ها بطور پیوسته به خارج از محیط خیس شده آبشویی می‌شوند و در اطراف جبهه خیس‌شدگی به دور از منطقه فعالیت ریشه تجمع می-کنند (Dasberg and Or, 1999). با این حال، به دلیل حجم نسبتاً کم آبیاری در روش قطره‌ای، نمک‌های خاک فقط به اطراف جبهه

1- Surface Drip Irrigation
2- Subsurface Drip Irrigation

خیس‌شدگی آبشویی می‌شوند (Pasternak and De Malach, 1995; Blanco and Folegatti, 2002; Badr and Taalab, 2007).

هو و همکاران متذکر شدند که میانگین مقدار نمک در محدوده ۱۰۰-۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک بعد از ۳ سال آبیاری با آب حاوی EC برابر با ۰/۳۳، ۳/۶۲و ۶/۷۱ دسی‌سیمنز بر متر به ترتیب تا ۶۰، ۱۲۹ و ۹۲ درصد افزایش می‌یابد (Hou et al., 2008). همچنین چن و همکاران بیان کردند که مقدار متوسط نمک در عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متری بعد از سه فصل رشد پنبه، در حالت استفاده از آبی با شوری متوسط ۳/۶۲ و شوری بالای ۶/۷۱ دسی‌سیمنز بر متر به ترتیب حدود ۳۳۶ و ۵۴۷٪ پروفیل خاک اولیه می‌باشد (Chen et al., 2010). آزمایشی دو ساله برای بررسی اثرات دورها و کیفیت‌های مختلف آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای روی توزیع و پویایی رطوبت و شوری خاک، و عملکرد گیاه پنبه در شمال چین انجام شد. تیمارهای این تحقیق شامل دور آبیاری ۷ روز با شوری های آب ۰/۲۴، ۴/۶۸، و۷/۴۲dS/m، دور آبیاری ۱۰ روز با شوری آب ۰/۲۴dS/m، و دور آبیاری ۳ روز با شوری آب ۰/۲۴dS/m بود. نتایج نشان دادند که دور و کیفیت آب آبیاری، اثرات معناداری روی توزیع مکانی و تغییرات مقادیر آب خاک، نمک خاک و سرعت مصرف آب گیاه دارد اما تأثیر آنها روی مصرف آب تجمعی محدود بود. همچنین عملکرد پنبه با افزایش دور آبیاری و افزایش کیفیت آب، کاهش یافت (Liu et al., 2013).

با توجه به مشکلات شوری و نیز نامشخص بودن دور مطلوب آبیاری قطره‌ای باغ‌های پسته، این تحقیق با هدف اندازه‌گیری و بررسی نیمرخ شوری و رطوبتی خاک در یک سامانه SDI با دورهای مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در سال ۱۳۹۲ در باغ پسته خصوصی واقع در شهرستان سیرجان، استان کرمان به مساحت تقریبی یک هکتار انجام شد. این باغ در طول جغرافیایی ´۸۲ °۵۵ و عرض جغرافیایی ´۳۰ °۲۹ و ارتفاع ۱۷۱۴ متر بالاتر از سطح دریا واقع است (شکل ۱). خاک مزرعه در اعماق مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج دانه‌بندی و چگالی ظاهری آن در جدول (۱) آورده شده است. بر اساس نتایج دانه‌بندی، خاک مزرعه مورد تحقیق دارای بافت سیلت لوم بود. هدایت الکتریکی آب آبیاری، ۴/۲ دسی‌سیمنز بر متر بود.

دو تیمار شامل فواصل ۳ و ۱۴ روز آبیاری (I_3 و I_{14}) با سه تکرار ارزیابی شدند. آب آبیاری توسط سامانه SDI برای تیمارهای مورد نظر تامین می‌شد و قطره‌چکان‌ها از نوع تنظیم کننده فشار بودند. قطر لوله‌های آبده ۱۶ میلی‌متر بود و در دو طرف درختان قرار داشتند. بده قطره‌چکان‌ها ۲ لیتر در ساعت و فواصل آنها روی لوله‌های آبده، ۸۰ سانتی‌متر بود. لوله‌های آبده در عمق ۴۰ سانتیمتری و در فاصله ۱۱۰ سانتیمتری از درخت قرار گرفته بودند. در طول مدت آبیاری فشار هیدولیکی در ابتدای لوله آبده تا kPa ۲ تنظیم شد. در هر کرت، از یک کنتور برای تنظیم مقدار آب آبیاری استفاده شد. رقم درختان پسته، احمد آقایی با فاصله کاشت ۶m ×۱m و سن آنها، ۱۵ سال بود. آبیاری بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک و بمنظور رساندن رطوبت تا حد ظرفیت زراعی انجام می‌شد (رابطه ۱). برای ارزیابی تغییر مقدار رطوبت خاک در عمق موثر ریشه، رطوبت حجمی با استفاده از دستگاه TDR-TRIME اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

$$I_n = \sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{m} (w_{Fci} - w_{Bli}) \times D_i \right)_j \quad (۱)$$

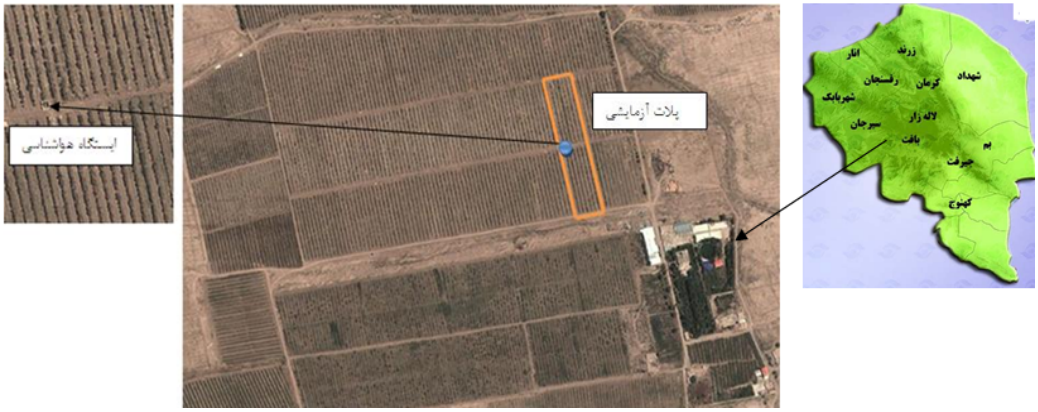
که در آن I_n عمق خالص آبیاری بر حسب میلی‌متر، w_{FC}رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی بر حسب درصد، D_i عمق ناحیه ریشه (mm)، m تعداد لایه‌های خاک در عمق توسعه ریشه، i شمارشگر تعداد لایه، j شمارشگر نقاط اندازه‌گیری اطراف درخت، n تعداد نقاط اندازه‌گیری اطراف درخت و w_{BI} رطوبت حجمی خاک پیش از آبیاری بر حسب درصد می‌باشد. ظرفیت زراعی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین گردید.

به دلیل آنکه شوری خاک بر اساس هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e)، اندازه‌گیری و بیان می‌شود (Cote et al., 2003)، نمونه‌های خاک بمنظور اندازه‌گیری شوری از اعماق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتیمتری تهیه شدند و برای تهیه عصاره اشباع به آزمایشگاه منتقل گردیدند (شکل ۲).

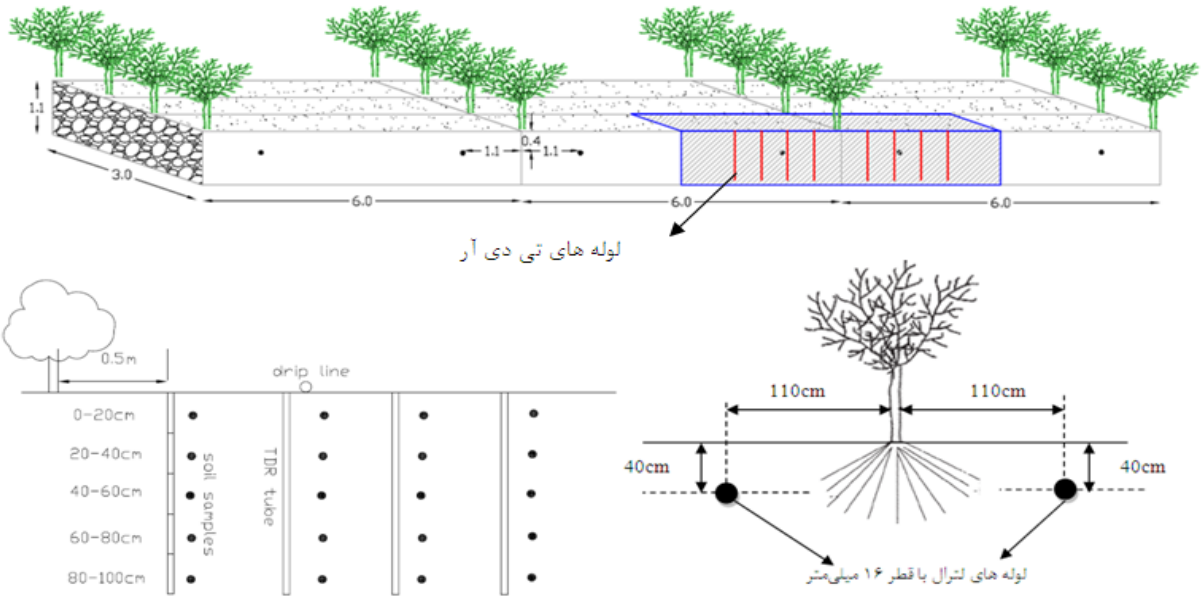
در انتهای فصل، صفات کمی مانند میزان محصول خشک و صفات کیفی مانند پوکی، خندانی و انس (تعداد پسته در یک انس معادل ۲۸/۳۵ گرم) و همچنین کارایی مصرف آب (WUE)، برای دورهای آبیاری اندازه‌گیری و یا محاسبه و سپس با یکدیگر مقایسه شدند. تحلیل داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و معناداری اختلاف داده‌ها با استفاده از آزمون‌های دانکن و t بررسی شدند. سطح α =۰/۰۵ برای بررسی معناداری در نظر گرفته شد ($p< 0.05$).

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی خاک

عمق (cm)	درصد ذرات تشکیل دهنده			وزن مخصوص (gr/cm^3)
	سیلت	رس	شن	
۰-۲۰	۵۰	۶	۴۵	۱/۲۴
۲۰-۴۰	۵۲	۶	۴۲	۱/۲۴
۴۰-۶۰	۶۲	۶	۳۲	۱/۲۴
۶۰-۸۰	۵۱	۶	۴۳	۱/۴۲
۸۰-۱۰۰	۵۱	۶	۴۳	۱/۵۴



شکل ۱- شمایی از مزرعه مورد مطالعه



شکل ۲-موقعیت نمونه‌برداری خاک و الگوی استقرار درخت‌ها و سامانه SDI

نتایج و بحث

شرایط اقلیمی

بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، آب و هوای استان کرمان در بیشتر مناطق فراخشک و بیابانی می‌باشد. مقدار ضریب خشکی دومارتن شهرستان سیرجان ۵/۲ بوده که حاکی از اقلیم بیابانی این شهرستان است (اداره کل هواشناسی کرمان، ۱۳۹۲). متوسط دمای سالانه، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارندگی کل به ترتیب ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد، ۳۴/۴ درصد، ۱/۵۷ متر بر ثانیه و ۱۴۸ میلی‌متر بود. در طول دوره مورد مطالعه، فقط شش میلیمتر بارندگی در مرحله پر شدن دانه اتفاق افتاد. دمای هوا تا دهه اول مرداد (مرحله پر شدن دانه‌ها) روند افزایشی و سپس روند کاهشی داشته است. مجموع ET_o در دوره مطالعاتی، ۶۴۶/۸ میلیمتر بود.

اثر تیمارهای آبیاری بر توزیع رطوبت خاک

اطلاعات مربوط به هر آبیاری در جدول ۲ آورده شده است. مقدار آب آبیاری کاربردی از ابتدای خرداد تا انتهای شهریور ماه برای دورهای آبیاری سه و چهارده روز به ترتیب ۱۳۲۹ و ۶۹۲ میلیمتر محاسبه شد. مقادیر مختلف آب آبیاری کاربردی در مطالعات مختلف و در شرایط منطقه‌ای و خاک‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مقدار آب کاربردی درختان پسته (رقم کرمانی) ایالات متحده آمریکا از اوایل خرداد تا اواخر شهریور برابر با ۷۷۰ میلیمتر با استفاده از دستگاه میکروآبپاش با دفعات آبیاری دو بار در هفته محاسبه شد (Iniesta et al., 2008). از سیستم آبیاری قطره‌ای با دو دور آبیاری هفت و چهارده روز بمنظور آبیاری درختان پسته در ترکیه استفاده شد. مقدار آب آبیاری کاربردی از اول خرداد تا نیمه شهریور به ترتیب ۹۰۷ و ۴۶۷ میلیمتر محاسبه شد (Kanber et al., 2005).

جدول ۲- مقادیر آب آبیاری محاسبه شده در تیمارهای مورد بررسی

مرحله رشد	دوره وقوع	دور آبیاری			
		هر ۳ روز یکبار		هر ۱٤ روز یکبار	
		مقدار آبیاری (mm)	تعداد دفعات آبیاری	مقدار آبیاری (mm)	تعداد دفعات آبیاری
استخوانی شدن پوست	22 May-5 Jun	۱۴۷	۴	۶۳/۵	۱
استخوانی شدن پوست	6 Jun- 21 Jun	۲۰۰/۳	۵	۷۶	۱
استخوانی شدن پوست	22 Jun- 6 Jul	۱۸۱/۹	۴	۸۵/۳	۱
پر شدن دانه	7 Jul- 22 Jul	۱۸۰/۴	۴	۹۰/۴	۱
پر شدن دانه	23 Jul- 6 Aug	۱۵۴/۸	۴	۹۰/۴	۱
پر شدن/خندان شدن دانه	7 Aug- 22 Aug	۱۸۱/۹	۵	۹۰/۷	۲
خندان شدن	23 Aug- 6 Sep	۱۴۹/۳	۴	۱۰۹/۹	۱
ترکیدن پوست نازک بیرونی	7 Sep- 22 Sep	۱۳۳/۳	۴	۸۵/۵	۱

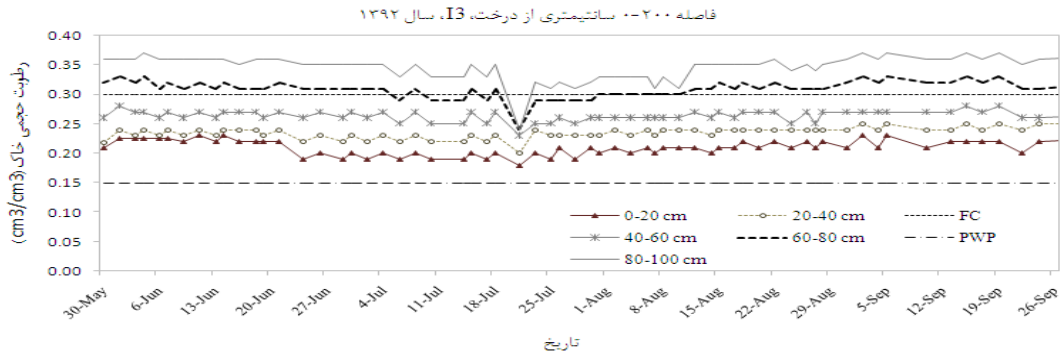
با استفاده از روش SDI با دور آبیاری ده روز در روستای اکبرآباد رفسنجان، حجم آب مورد نیاز آبیاری درختان پسته از خرداد تا اواخر شهریور برابر با ۴۴۰/۳ لیتر محاسبه شد (اسلامی و نقوی، ۱۳۸۹). مقادیر آب آبیاری محاسباتی در تحقیق حاضر اندکی با تحقیقات بیان شده متفاوت است که این امر می‌تواند به دلیل روش آبیاری، اقلیم و شرایط آب و هوایی متفاوت و همچنین تفاوت در رقم پسته مورد تحقیق باشد. یادآوری می‌شود اکثر تحقیقات پیشین روی رقم کرمانی انجام شده است درحالیکه پسته احمدآقایی تاکنون در هیچ تحقیقی مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین در تحقیق حاضر، مقدار آب آبیاری بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک و کمبود آن نسبت به ظرفیت مزرعه در اعماق مختلف محاسبه شد.

در اشکال ۳ و ۴ روند تغییرات میانگین رطوبت خاک فواصل مختلف از درخت در طول دوره مطالعاتی و در اعماق مختلف آورده شده است. مقادیر رطوبت اعماق مختلف خاک در دامنه ای از ۱۷ (تقریبا ۴۳ درصد زیر ظرفیت زراعی) تا ۳۵ درصد حجمی (ظرفیت زراعی) تغییر کرد. این دامنه معمولاً دامنه رطوبت بهینه برای رشد و نمو گیاه در نظر گرفته می‌شود (Stegman et al., 1983). برنامه-ریزی آبیاری بنحوی بوده است که مقدار رطوبت خاک در لایه نصب قطره‌چکان و لایه‌های زیر آن بتواند در حد ظرفیت زراعی باشد. بعد از آبیاری، در اعماق زیر قطره‌چکان (لایه خاک ۶۰ تا ۱۱۰ سانتی‌متری) رطوبت به حد ظرفیت زراعی و حتی بیشتر از آن رسیده است. دلیل این امر گذر آب تحت تاثیر نیروی ثقل از لایه‌های اطراف قطره‌چکان به لایه‌های زیرین است. در لایه خاک زیر قطره‌چکان، مقادیر بالاتر رطوبت خاک در تیمار با مقدار رطوبت خاک در لایه بالایی به فواصل آبیاری بستگی دارد و بمقدار زیادی تحت تاثیر تبخیر به دلیل وجود اثر متقابل بین خاک و هوا قرار می‌گیرد درحالیکه مقدار رطوبت در لایه-های عمیقتر به مقدار آب آبیاری بستگی دارد. آبیاری با دور کوتاهتر، مقدار آب آبیاری بیشتری را در لایه بالایی نگه می‌دارد در حالیکه با دور بیشتر آبیاری، آب بیشتری می‌تواند به لایه‌های عمیقتر نفوذ کند و فاصله طولانی آبیاری منجر به ایجاد مقدار رطوبت کم در لایه بالایی خاک قبل از آبیاری می‌شود (Liu et al., 2013). ملاحظه می‌شود که در تمامی تیمارها، مقدار رطوبت در لایه ۲۰-۰ سانتی-متری خاک کمتر از حد ظرفیت زراعی بوده است و مقدار رطوبت موجود در اثر فرآیند کاپیلاری از محل قطره‌چکان به این لایه نفوذ کرده است. این حالت، امکان گذر آب به لایه‌های پایینی از این لایه را کاهش داده و تلفات آب توسط تبخیر را از این لایه فراهم می‌آورد. آبیاری با دور کوتاه، مقدار رطوبت بیشتری را در لایه‌های بالایی خاک باقی می‌گذارد و در نتیجه مقدار تبخیر آب در این تیمارها بیشتر است (Liu et al., 2013). نتایج تحقیق ونگ و همکاران (۲۰۰۶) در زمینه آبیاری قطره‌ای با دورهای مختلف آبیاری نشان داد که الگوی خیس-شدگی خاک تحت تیمار دور آبیاری یک روز دامنه وسیعتری دارد. آنها بیان کردند که آب خاک در اعماق ۷۰ و ۹۰ سانتی‌متری زیر قطره-چکان تغییرات کمتری نسبت به دورهای ۴ و ۸ روز نشان می‌دهد. آبیاری با تناوب کمتر باعث ایجاد ناحیه خشکتر قبل از آبیاری می‌شود که این امر ممکن است تنش آبی را ایجاد کند (Wang et al., 2006).

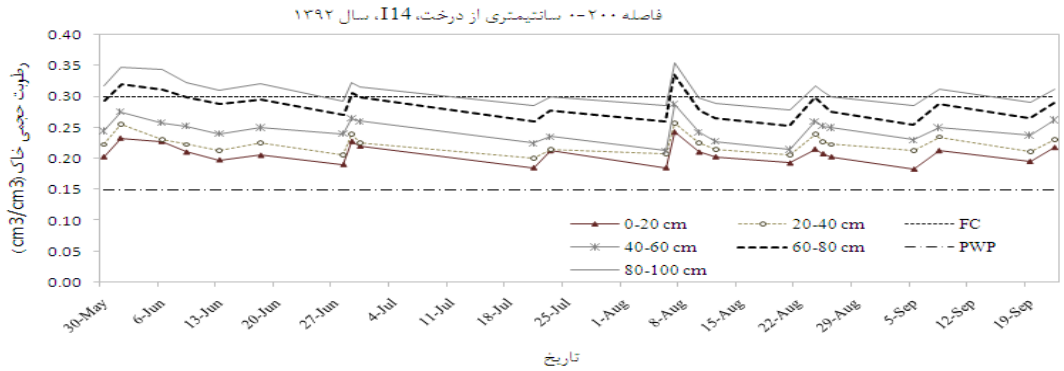
در اشکال ۵ و ۶ روند توزیع رطوبت خاک در عمق ۱۰۰-۰ سانتیمتری و در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سانتیمتری از ردیف کشت درخت تیمارهای مختلف آورده شده است. ملاحظه می‌شود در تیمار I_3 توزیع عرضی رطوبت خاک بصورت یکنواخت و تقریباً مشابه بوده است و فقط فاصله ۲۰۰ سانتی‌متری از ردیف کشت مقدار رطوبت کمتری را دریافت کرده است که این مقدار نیز قابل اغماض می‌باشد. در این حالت مقدار رطوبت فواصل مختلف در حد ۲۵ تا ۳۰ درصد حجمی قرار دارد که نزدیک به حد ظرفیت مزرعه است. در تیمار I_{14} فواصل ۵۰ و ۲۰۰ سانتی‌متری از درخت خشکتر از فواصل نزدیک به قطره‌چکان (۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری از ردیف کشت

درخت) است. مشاهده می‌شود که آبیاری باعث افزایش رطوبت در فواصل ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری تا حد ظرفیت مزرعه می‌شود و این مقدار تا قبل از آبیاری در حد ۵ درصد کاهش یافته است. علت خشک بودن دو فاصله ۵۰ و ۲۰۰ سانتی‌متری از ردیف کشت، تناوب کمتر آبیاری نسبت به I_3 است بطوریکه تا آبیاری بعد مقدار رطوبت در این فواصل به دلیل تبخیر و گذر به اعماق پایینتر بسیار کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، توزیع عمودی رطوبت در قسمت‌های بالا و پایین لوله‌ها بیشتر از توزیع افقی رطوبت بود. باتام و همکاران (۲۰۰۳) رطوبت اعماق مختلف بعد از آبیاری در سیستم SDI را اندازه‌گیری کردند (لوله‌ها در عمق ۳۰ سانتی‌متری و فواصل یک متری کارگذاشته شدند). آنها بیان کردند که در فاصله نیم متری از خطوط لوله هیچ تغییری در ظرفیت رطوبتی خاک در طول دوره آبیاری صورت نمی‌گیرد. این یافته نشان می‌داد که جبهه رطوبتی بعد از ۷/۵ ساعت آبیاری کمتر از ۰/۷ متر عرض دارد. در همین مدت جبهه رطوبتی در جهت عمودی به عمق ۸۰ سانتی‌متری رسیده بود. این مطالب با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (Battam et al., 2003). لم و تروئین نشان دادند که با سیستم SDI، در مقایسه با سایر سیستم‌های آبیاری، حجم کوچکتری از خاک مرطوب می‌شود. اگرچه تحت این شرایط ریشه‌دهی ریشه محدود می‌شود اما محصول از دفعات آبیاری در این روش سود می‌برد (Lamm and Trooein, 2003).

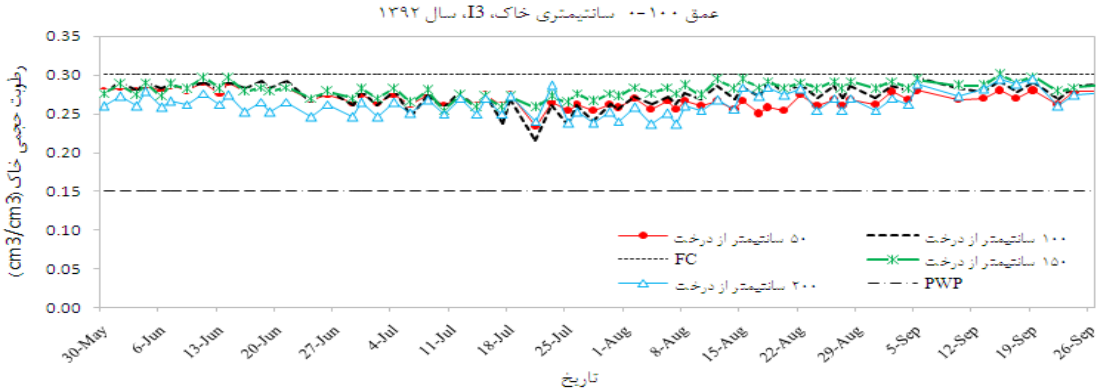
نمودار مقادیر میانگین رطوبت خاک ۲۴ ساعت پس از آبیاری در ماه‌های مختلف برای تیمارهای I_3 و I_{14} به ترتیب در اشکال ۷ و ۸ آورده شده است. بر اساس نتایج، حداکثر مقدار رطوبت در سطح خاک تیمارهای I_3 و I_{14} به ترتیب ۲۴ و ۲۵/۴ درصد حجمی بود و به ازای افزایش عمق، رطوبت روندی افزایشی داشت. در هر دو تیمار، کمترین مقدار رطوبت در لایه‌های سطحی خاک و بیشترین آن در لایه‌های عمیقتر خاک مشاهده می‌شود که نشان دهنده نفوذ آب به لایه‌های پایینتر از محل نصب قطره‌چکان‌ها تحت تأثیر نیروی ثقل است. در تیمار I_3 مقادیر رطوبت در فواصل و اعماق مختلف روند مشابه و نزدیکی دارند درحالیکه این وضعیت در مورد تیمار I_{14} صادق نمی‌باشد. مقادیر رطوبت دو تیمار با افزایش طول دوره رشد افزایش یافته است. همچنین رطوبت تمامی اعماق و فواصل تیرماه به دلیل دمای بالاتر و گرم شدن هوا کاهش یافته است. گرم شدن هوا منجر به افزایش تبخیر از لایه های سطحی و همچنین افزایش نیاز آبی شده که کاهش رطوبت را بدنبال داشته است. علت افزایش رطوبت در اعماق تیمار I_3 را می‌توان به تکرار عملیات آبیاری نسبت داد. این افزایش در تیمار I_{14} به دلیل افزایش ساعات آبیاری است زیرا با افزایش دور آبیاری، میزان آب آبیاری افزایش یافته و به دنبال آن شرایط برای تبخیر بیشتر و نفوذ عمقی فراهم می‌شود. همچنین توزیع عمودی و افقی بیشتر ریشه‌ها در اعماق پایینتر سبب نگهداشت بیشتر رطوبت در خاک این اعماق شده است. آبیاری با دور ۱۴ روز سبب افزایش رطوبت خاک اطراف قطره‌چکان (فواصل ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتیمتری از ردیف درخت) شده است درحالیکه مقدار رطوبت در فواصل فواصل ۵۰ و ۲۰۰ سانتیمتری از ردیف درخت در حد ثابت باقی مانده است. این امر نشان دهنده عدم توزیع یکنواخت رطوبت در تیمار I_{14} نسبت به تیمار I_3 است. بطوریکه تیمار I_3 توانسته است رطوبت منطقه توزیع ریشه‌های درخت پسته از محل کاشت درخت تا فاصله دو متری آن را بطور مناسب تامین کند. علت این امر پایین بودن دور آبیاری، تکرار آبیاری و ثابت ماندن ظرفیت آب خاک تیمار I_3 است. مقادیر SWC اعماق ۱۰۰-۴۰ سانتیمتری خاک که زیر عمق نصب قطره‌چکان قرار گرفته‌اند، بیشتر از ۲۵ درصد حجمی و بسیار نزدیک به ظرفیت مزرعه بودند اما در اعماق بالاتر از محل نصب قطره‌چکان، میانگین SWC در حدود ۲۰ درصد حجمی و کمتر از آن بود. روند افزایش رطوبت از سطح خاک و محل نصب قطره-چکان‌ها تا اعماق پایینتر بصورت تدریجی است و با شیب زیاد صورت نگرفته است که این امر نشان دهنده توزیع مناسب رطوبت از طریق قطره‌چکان، فاصله مناسب آنها و طراحی صحیح سیستم است.



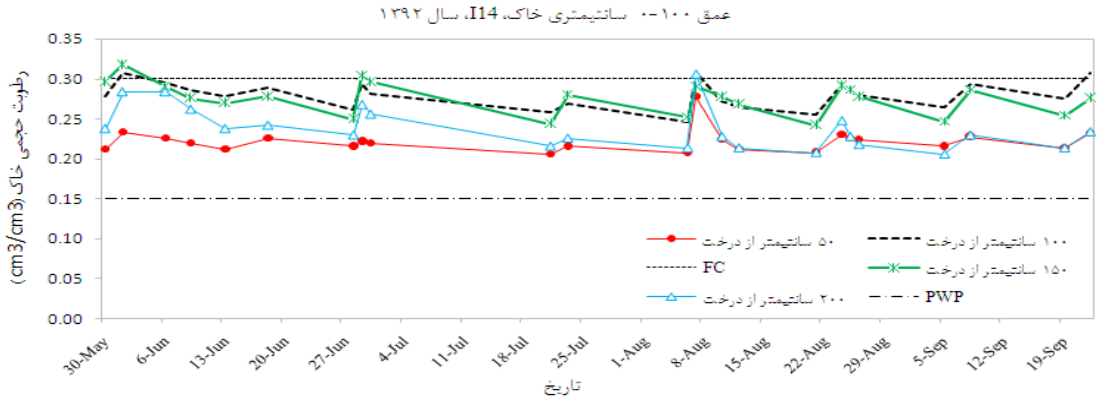
شکل ۳- روند تغییرات میانگین رطوبت در فاصله ۲۰۰-۰ سانتی‌متری از ردیف کشت درخت و در اعماق مختلف تیمار I_3



شکل ٤- روند تغییرات میانگین رطوبت در فاصله ۲۰۰-۰ سانتی‌متری از ردیف کشت درخت و در اعماق مختلف تیمار I_{14}



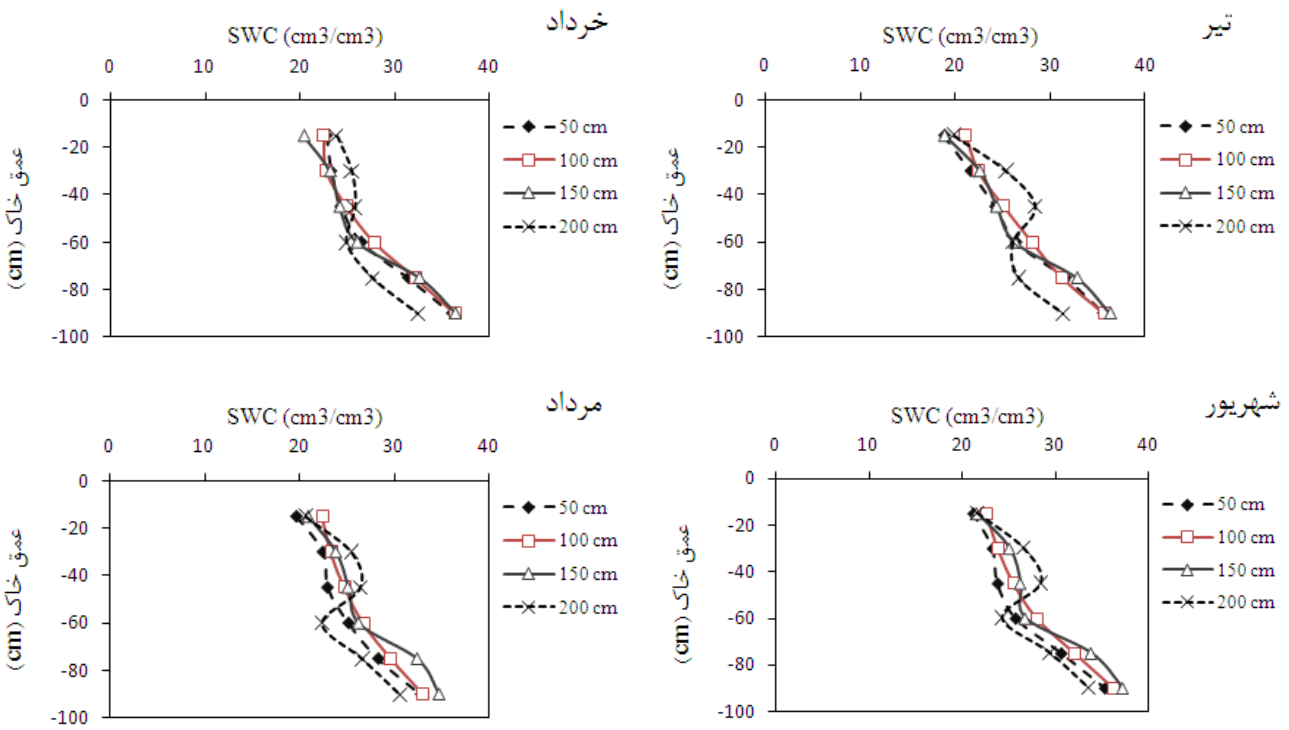
شکل ٥- روند تغییرات میانگین رطوبت در عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متری از خاک و در فواصل مختلف از ردیف کشت درخت تیمار I_3



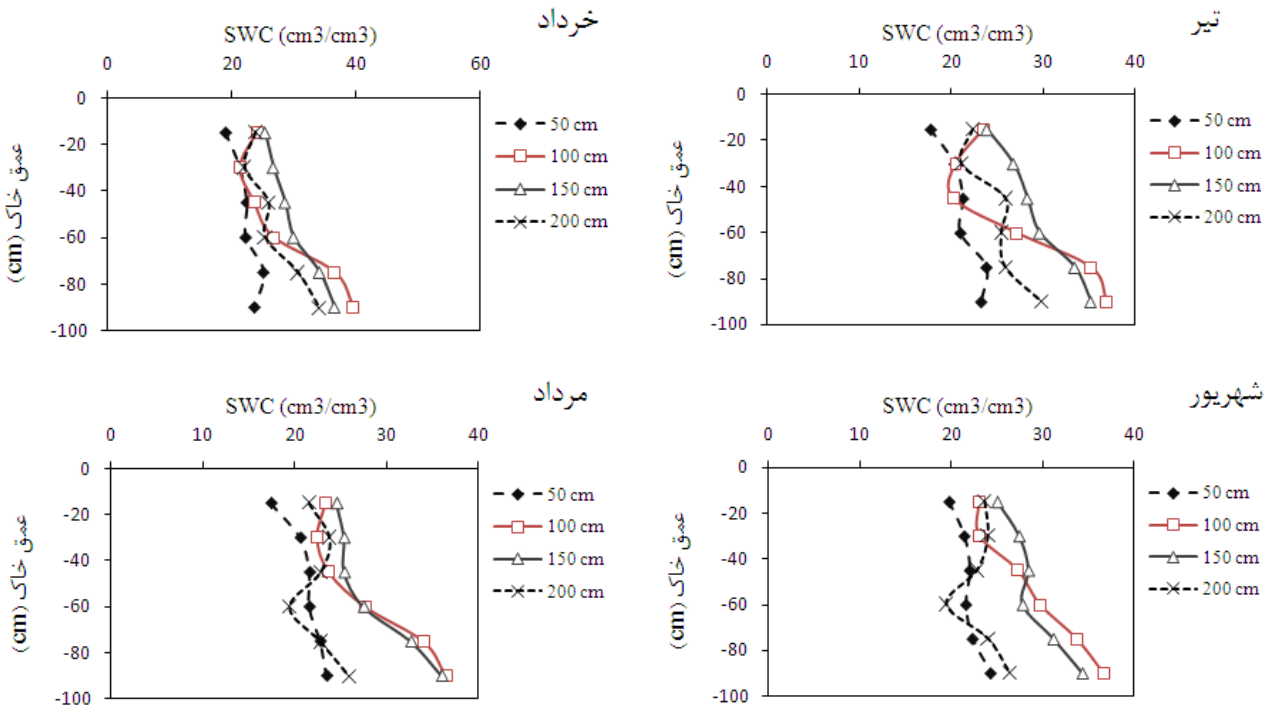
شکل ٦- روند تغییرات میانگین رطوبت در عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متری از خاک و در فواصل مختلف از ردیف کشت درخت تیمار I_{14}

اثر تیمارهای آبیاری بر توزیع شوری خاک

در شکل ۹ روند تغییرات EC_e در اعماق مختلف خاک و از خرداد تا شهریور در تیمارهای I_3 و I_{14} ارائه شده است. الگوی توزیع شوری در لایه‌های مختلف خاک در تیمارهای آبیاری، متفاوت بود. در هر دو تیمار آبیاری، کاهش شوری خاک از سطح تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری مشاهده شد و بزرگترین مقادیر شوری در لایه‌های سطحی خاک وجود داشت که بیانگر تجمع شوری در سطح خاک می‌باشد. این امر نشان می‌دهد نمک‌ها بطور پیوسته به خارج از محیط خیس شده آبشویی می‌شوند و در اطراف جبهه خیس‌شدگی به دور از منطقه فعالیت ریشه تجمع می‌کند (Dasberg and Or, 1999). همچنین ملاحظه می‌شود که از خرداد تا شهریور ماه، مقادیر شوری کاهش بارزی بویژه در فواصل ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر از درخت داشته‌اند.

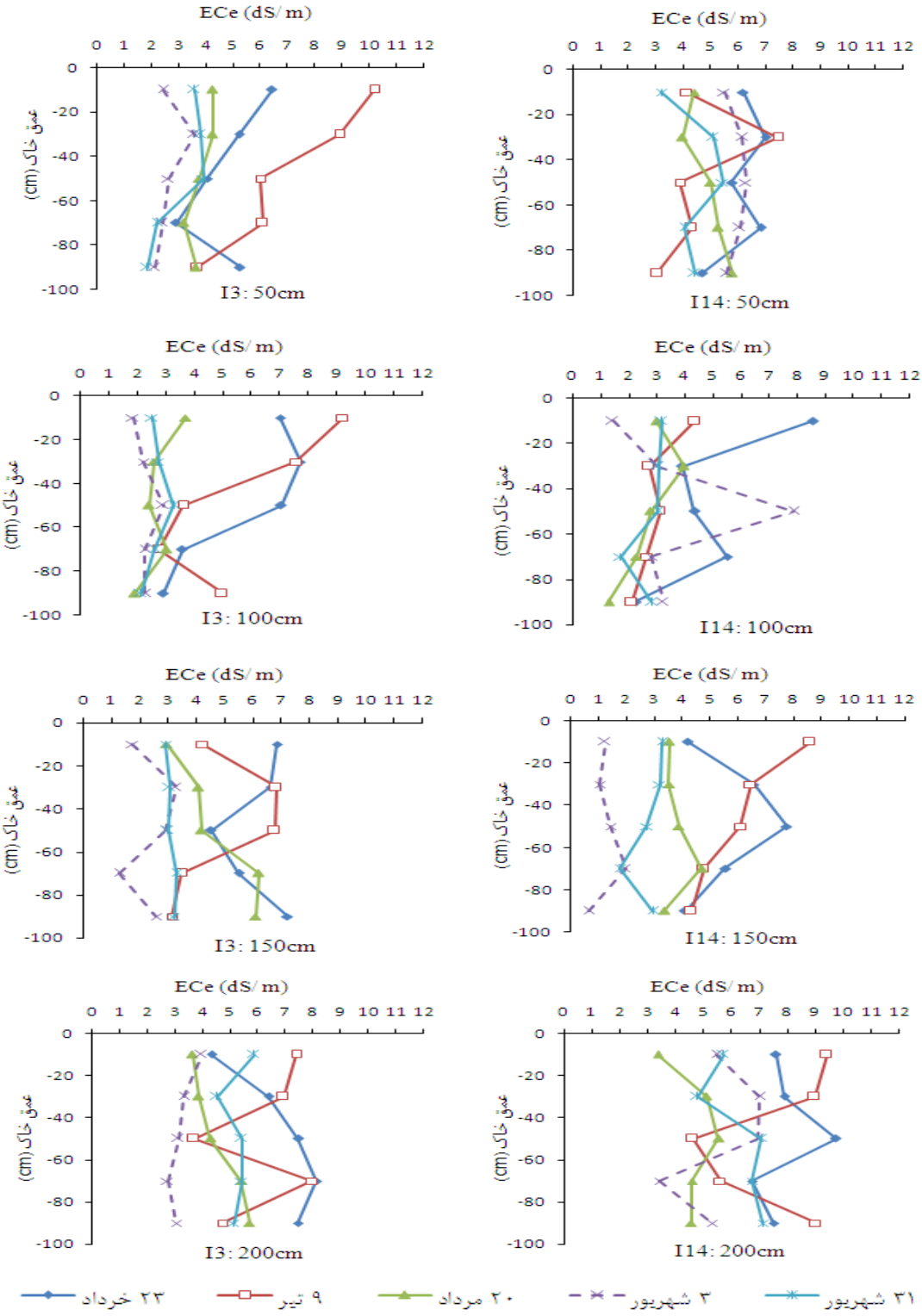


شکل ۷- نمودار مقادیر میانگین رطوبت خاک در اعماق مختلف تیمار I_3



شکل ۸- نمودار مقادیر میانگین رطوبت خاک در اعماق مختلف تیمار I_{14}

در جدول ۳ تغییرات مقادیر میانگین شوری از ۲۳ خرداد تا ۳۱ شهریور در فواصل مختلف از درخت آورده شده است. ملاحظه می‌شود که در تیمار I_3 بین شوری اولین و آخرین نمونه خاک در فواصل ۵۰ و ۲۰۰ سانتیمتری از ردیف درخت اختلاف معناداری وجود ندارد.



شکل ۹- نمودار تغییرات شوری خاک در اعماق و فواصل مختلف در طول دوره مورد مطالعه

جدول ۳- تغییرات مقادیر میانگین شوری از ابتدا تا انتهای دوره مطالعاتی در فواصل مختلف از درخت

تیمار	فاصله از ردیف درخت	۲۳ خرداد	۹ تیر	۲۰ مرداد	۳ شهریور	۳۱ شهریور
I_3	۵۰	۴/۷۶^{a}	۶/۹۶^{c}	۳/۸^{ab}	۲/۶۲^{a}	۳/۰۵^{ab}
	۱۰۰	۵/۶۴^{b}	۵/۶۲^{b}	۲/۷^{a}	۲/۲۹^{a}	۲/۶۴^{a}
	۱۵۰	۶/۱۳^{b}	۴/۸۸^{b}	۴/۶۹^{b}	۲/۳۵^{a}	۳/۰۹^{a}
	۲۰۰	۶/۷۴^{c}	۶/۱۳^{bc}	۴/۵۶^{ab}	۳/۲۳^{a}	۵/۲۶^{bc}
I_{14}	۵۰	۶/۰۸^{c}	۴/۵۶^{ab}	۴/۸۸^{abc}	۵/۹۲^{bc}	۴/۴۴^{a}
	۱۰۰	۴/۹۱^{a}	۲/۹۹^{a}	۲/۶۶^{a}	۳/۶۷^{a}	۲/۷۶^{a}
	۱۵۰	۵/۶۳^{c}	۶/۰۶^{c}	۳/۷۹^{b}	۱/۲۶^{a}	۲/۷۸^{b}
	۲۰۰	۷/۸۹^{c}	۷/۵۳^{bc}	۴/۶۲^{a}	۵/۶۳^{ab}	۶/۲۷^{abc}

میانگین ردیف‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، اختلاف معنادار با یکدیگر ندارند.

جدول ٤- تغییرات مقادیر میانگین شوری از ابتدا تا انتهای دوره مطالعاتی در اعماق مختلف خاک

عمق	تیمار	۲۳ خرداد	۹ تیر	۲۰ مرداد	۳ شهریور	۳۱ شهریور
۰ -۲۰	I_3	۶/۱۴^{b}	۷/۷۵^{b}	۳/۶۱^{a}	۲/۴۹^{a}	۳/۷۱^{a}
	I_{14}	۶/۶۳^{b}	۶/۶۲^{b}	۳/۵۷^{ab}	۳/۴۱^{a}	۳/۸۳^{ab}
۲۰ -۴۰	I_3	۶/۴۷^{b}	۷/۵۵^{b}	۳/۶۷^{a}	۳/۰۸^{a}	۳/۵۱^{a}
	I_{14}	۶/۳۴^{a}	۶/۴^{a}	۴/۱۴^{a}	۴/۳^{a}	۴/۰۲^{a}
۴۰ -۶۰	I_3	۵/۷۶^{c}	۵^{bc}	۳/۶۴^{ab}	۲/۸۸^{a}	۳/۸۸^{abc}
	I_{14}	۶/۹^{a}	۴/۴۳^{a}	۴/۲۹^{a}	۵/۶۳^{a}	۴/۴۷^{a}
۶۰ -۸۰	I_3	۵/۰۲^{a}	۵/۰۷^{a}	۴/۴۵^{a}	۲/۱۵^{a}	۳/۳۶^{a}
	I_{14}	۶/۱۵^{a}	۴/۳۴^{a}	۴/۲^{a}	۳/۵۶^{a}	۳/۵۶^{a}
۸۰ -۱۰۰	I_3	۵/۶۹^{b}	۴/۱۱^{ab}	۴/۳۲^{ab}	۲/۴۹^{a}	۳/۰۷^{a}
	I_{14}	۴/۶۳^{a}	۴/۶۳^{a}	۳/۷۴^{a}	۳/۶۹^{a}	۴/۳۲^{a}

میانگین ردیف‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، اختلاف معنادار با یکدیگر ندارند.

اما در فواصل ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتیمتری از درخت این اختلاف معنادار می‌باشد ($p<0.05$). در تیمار I_3 مقادیر شوری فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سانتیمتری درخت در نمونه‌های ۲۳ خرداد به ترتیب ۴/۷۶، ۵/۶۴، ۶/۱۳ و ۶/۷۴ دسی‌سیمنز بر متر بوده است که در نمونه‌های ۳۱ شهریور به ترتیب به مقادیر ۳/۰۵، ۲/۶۴، ۳/۰۹ و ۵/۲۶ دسی‌سیمنز بر متر کاهش یافته‌اند. بنابراین درصد کاهش شوری در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سانتیمتری درخت به ترتیب ۳۵/۹۲، ۵۳/۱۹، ۴۹/۵۹ و ۲۱/۹۵ درصد بوده است. همچنین در تیمار I_{14} از تاریخ ۲۳ خرداد تا ۳۱ شهریور مقادیر شوری فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سانتیمتری از درخت به ترتیب از ۴/۵۶، ۲/۹۹، ۶/۰۶ و ۷/۵۳ به ۴/۴۴، ۲/۷۶، ۲/۷۸ و ۶/۲۷ کاهش یافتند. این مقادیر بیانگرکاهش ۲/۶۳، ۷/۶۹، ۵۴/۱۲ و ۱۶/۷۳ درصد به ترتیب در فواصل بیان شده می‌باشد. اختلاف بین مقادیر شوری اولین و آخرین نمونه خاک تیمار I_{14} در فواصل ۵۰ و ۱۵۰ سانتیمتر معنادار بود.

در جدول ۴ تغییرات مقادیر میانگین شوری از ابتدا تا انتهای دوره مطالعاتی در اعماق مختلف خاک ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که در تیمار I_3 مقادیر شوری در تمامی اعماق در طی دوره آبیاری کاهش یافته است و اختلاف آنها در سطح ۹۵٪ معنادار می‌باشد اما در تیمار I_{14} کاهش معناداری در اعماق مختلف خاک اتفاق نیفتاده است. درصد کاهش شوری در اعماق ۲۰-۰، ۴۰- ۲۰، ۶۰- ۴۰، ۸۰- ۶۰ و ۱۰۰- ۸۰ تیمار I_3 به ترتیب ۳۹/۵۷، ۴۵/۷۴، ۳۲/۶۳، ۳۳/۰۷ و ۴۶/۰۴ بود. شوری عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در تیمارهای I_3 و I_{14} در انتهای فصل به ترتیب به مقادیر ۳ و ۴ دسی‌سیمنز بر متر رسیده است. با کاربرد مقدار آب بیشتر در تیمار I_3 شوری در عمق توسعه ریشه و بخصوص در فواصل ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتیمتری از درخت بطور محسوسی کاهش یافته است و به زیر منطقه توسعه ریشه هدایت شده است.

در مجموع با توجه به اینکه در درختان بارور پسته، بیشترین تراکم ریشه‌های فعال در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتیمتری می‌باشد (صداقتی و همکاران، ۱۳۹۱) بهترین وضعیت توزیع شوری را دور آبیاری ۳ روز با مقدار کاربرد آب بیشتر دارا می‌باشد.

اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد درخت پسته

در تحقیق حاضر، اثر مقدار آب آبیاری بر صفات کمی و کیفی

محصول پسته از جمله عملکرد (کیلوگرم در هردرخت)، تعداد دانه در انس پسته، درصد خندانی، درصد پوکی و کارایی مصرف آب نیز بررسی شد (جدول ۴). با کاهش مصرف آب در تیمار I_{14} اختلاف معناداری بین تیمارها از نظر وزن محصول خشک مشاهده نشد و از نظر عددی مقدار محصول تیمار I_3 در حدود ۰/۴ کیلوگرم بر درخت کاهش یافت. برخی از صفات کیفی نیز تحت تأثیر میزان آب قرار گرفتند. با کاهش مصرف آب در تیمار I_{14} صفاتی از جمله انس پسته در حدود ۴ درصد افزایش و درصد خندانی ۳۹/۴ درصد کاهش یافتند. اختلاف مقادیر درصد خندانی از لحاظ آماری معنادار بود. بیشترین درصد خندانی مربوط به تیمارهای با دور آبیاری کمتر است. در بحث آبیاری، تحقیقات نشان داده است که آبیاری ناکافی در اواخر مرداد تا اواسط شهریورماه (اواسط آگوست تا اوایل سپتامبر) درصد خندانی را کاهش می‌دهد و به طور کلی نبایستی در این دوره تنش آبی به درختان وارد شود. همچنین آبیاری کافی در اواخر اردیبهشت تا اوایل تیر ماه (اواسط می تا اواخر جون) موجب افزایش درصد خندانی می‌شود (قاسمی، ۱۳۹۲).

افزایش مقادیر درصد پوکی تیمار I_{14} نسبت به I_3 در سطح ۹۵٪ معنادار نبود. حکم آبادی (۱۳۹۲) بیان کرد که پدیده پوکی زمانی رخ می دهد که میوه تشکیل شده و تخمدان رشد می‌کند اما رشد جنین با اختلال روبرو می‌گردد. پدیده پوکی در زمان تشکیل میوه و پر شدن میوه اتفاق می‌افتد. تنش خشکی، شوری و دوره‌های آبیاری طولانی مدت سبب افزایش درصد پوکی محصول می‌شوند. جلوگیری از تنش‌های آبی در زمان رشد و نمو میوه و جنین از افزایش تولید میوه‌های پوک می‌کاهد (حکم آبادی، ۱۳۹۲). بهار سال ۹۲ از لحاظ آب و هوایی، سال خاصی بود. در زمان گرده‌افشانی، بویژه در مناطق پسته‌کاری استان کرمان، بارندگی‌های غیرمعمول اتفاق افتاد که برای گرده‌افشانی مضر و بی موقع بود. بهار خنک سال ۹۲ منجر به رشد رویشی غیرمعمول در برخی مناطق و اختلال در تقسیم متابولیت‌ها بین فاز رویشی و فاز زایشی درختان شد و این موضوع باعث ریزش دانه‌ها در برخی مناطق شد (رییس هیئت مدیره انجمن پسته ایران، ۱۳۹۲) که شهرستان سیرجان از این قاعده مستثنی نبود. بنابراین در سال ۹۲ عملکرد تیمارها به دلیل ریزش جوانه‌ها تحت تاثیر قرار گرفت و بنابراین نمی‌توان مقایسه واضحی بین آنها انجام داد.

صداقت و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که افزایش مقدار آب آبیاری کاربردی در روش SDI، سبب کاهش انس پسته و در نتیجه درشتی میوه‌ها، افزایش درصد خندانی، کاهش درصد پوکی میوه‌ها و افزایش عملکرد درخت نسبت به شرایط تنش آبی می‌شود. در تحقیقی دیگر نشان داده شد که آبیاری با دور آبیاری کم (روزانه) هندوانه باعث افزایش ۶۳ درصدی عملکرد میوه در مقایسه با دور زیاد آبیاری (هفتگی) تحت سیستم DI شد (Abalos et al., 2014).

نتایج نشان دادند که با کاهش مصرف آب آبیاری، WUE افزایش یافت. یعنی به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، تولید محصول بیشتر بوده است. مقدار WUE تیمار I_{14} نسبت به I_3 بیشتر بوده است (جدول ۴). بالاتر بودن کارایی مصرف در تیمار دور طولانی‌تر آبیاری به دلیل عدم کاهش معنادار محصول و کاهش حجم آبیاری است. در باغات پسته آمریکا با مصرف آب بیشتر در هکتار و با تعداد درخت کمتر از ایران مقدار محصول بیشتری تولید کرده و کارایی آب مصرفی آنها در تولید هر کیلو محصول خشک بسیار بیشتر از ایران است و در واقع میزان آب کمتری برای تولید هر کیلو محصول مصرف کرده‌اند (یعقوبی، ۱۳۹۲).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق دورهای آبیاری ۳ و ۱۴ روز (I_3 و I_{14}) باغات پسته مورد مقایسه قرار گرفتند. میزان آب آبیاری دو تیمار I_3 و I_{14} از خرداد تا برداشت محصول (مهر ماه) به ترتیب ۱۳۲۹ و ۶۹۲ میلی‌متر محاسبه شد. از نظر آماری اختلافی معنادار بین عملکرد دو تیمار مشاهده نشد و میزان عملکرد دو تیمار تقریبا یکسان بود. همچنین تیمار I_3 موجب کاهش ۴۰ درصدی پوکی و افزایش ۹۳ درصدی خندانی محصول گردید. تیمارهای آبیاری اثرات معناداری روی مقدار رطوبت خاک در اعماق خاک داشتند. تیمار I_3 با توجه به تعداد دفعات بیشتر آبیاری، مقادیر ذخیره رطوبتی بیشتری داشت. در هر دو تیمار آبیاری، کاهش شوری خاک از سطح تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری مشاهده شد و بزرگترین مقادیر شوری در لایه‌های سطحی خاک وجود داشت که بیانگر تجمع شوری در سطح خاک بود. با کاربرد مقدار آب بیشتر در تیمار I_3 شوری در عمق توسعه ریشه و بخصوص در فواصل ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتیمتری از درخت (محل استقرار قطره‌چکان) بطور محسوسی کاهش یافته است و به زیر منطقه توسعه ریشه هدایت شده است.

جدول ٤- میانگین صفات کمی و کیفی اندازه‌گیری شده در تیمارهای آبیاری

تیمار	مقدار آب آبیاری (mm)	عملکرد (kg/tree)	انس پسته (تعداد در ۲۸/۳۵ گرم)	درصد خندانی	درصد پوکی	کارایی مصرف آب (WUE) (kg/ha/mm)
I_3	۱۳۲۹	۳/۳[a]	۲۴[a]	۸۴/۲[a]	۱۴/۱[a]	۴/۷
I_{14}	۶۹۲	۳/۷[a]	۲۵[a]	۵۱[b]	۲۰/۷[a]	۹

میانگین ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، اختلاف معنادار با یکدیگر ندارند.

با توجه به اینکه تحقیق حاضر در مدت یک سال انجام شده است، لازم است تا اثرات طولانی مدت دورهای آبیاری مختلف بر اساس کمبود رطوبت خاک و برگ بر ویژگی های متعدد گیاهی و خاک مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

اداره کل هواشناسی کرمان. (۱۳۹۲)، http://weather.kr.ir/

اسلامی، ا. و نقوی، ه. (۱۳۸۹)، بررسی امکان استفاده از آب با کیفیت نامتعارف در سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی در کانال کود باغات پسته. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۷۵ ص.

امیرتیموری، س. (۱۳۸۹)، بررسی تولید، بازاریابی و صادرات پسته ایران. فصلنامه علمی، خبری و تحلیلی پسته. شماره ۵.

انجمن پسته ایران. (۱۳۹۲)، پسته. ماهنامه انجمن پسته ایران، ۱۹، ۵۶ ص.

حکم آبادی، ح. و محمدی مقدم، م. (۱۳۹۲)، بررسی برخی عوامل مؤثر در پوکی میوه پسته. ماهنامه انجمن پسته ایران، ۳۵-۳۴: ۸۹(۵).

صداقتی، ن.، حسینی فرد، س.ج. و محمدی محمدآبادی، ا. (۱۳۹۱)، مقایسه اثرات دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. نشریه آب و خاک. ۵۸۵-۵۷۵: (۳) ۲۶.

قاسمی، ش. (۱۳۹۲)، عوامل موثر در میزان خندانی و نا خندانی پسته. ماهنامه انجمن پسته ایران، شماره ۸۹، صفحه ۴۱.

نظری، ع. (۱۳۹۲)، پسته. ماهنامه داخلی انجمن پسته ایران، سال پنجم، شماره ۸۹.

یعقوبی، ا. (۱۳۹۲)، مقایسه نیاز آبی پسته در ایران و آمریکا. ماهنامه انجمن پسته ایران، ۴۴-۴۲ :۸۹(۵).

Abalos, D., Sanchez-Martin, L., Garcia-Torres, L., van Groenigen, J.W. and Vallejo, A. (2014), Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops. Science of the Total Environment, 490: 880-888.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998), Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56: 159-181.

Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S. and Mead, R.M. (1999), Subsurface drip irrigation of row crops: are view of 15 years of research at the water management research laboratory. Agricultural Water Management, 42:1–27.

Badr, M.A. and Taalab, A.S. (2007), Effect of drip irrigation and discharge rate on water and solute dynamics in sandy soil and tomato yield. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 1(4):545–552.

Batchelor, C.H., Lovell, C.J. and Murata, M. (1996), Simple micro irrigation techniques for improving irrigation efficiency on vegetable gardens. Agricultural Water Management, 32:37–48

Battam, M.A., Sutton, B.C. and Boughton, D.G. (2003), Soil pits as a simple designaid for subsurface drip irrigation system. Irrigation Science, 22: 135-141.

Blanco, F.F. and Folegatti, M.V. (2002), Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching management. Revista brasileira de engenharia agricola e ambiental, 6(3):414–419

Bresler, E. (1975), Two-dimensional transport of solutes during non steady infiltration from a trickle source. Soil Science Society of America, 39:604–612

Burt, C. and Isbell, B. (2003), Reclamation leaching for salinity buildup under drip/micro irrigation of tree. ITRC Report No. R 03-003.

Burt, C. B. (1996), Drip irrigation on pistachios (research report), California Polytechnic State University.

Chen, X., Dhungel, J., Bhattarai, S.P., Torabi, M., Pendergast, L. and Midmore, D. (2010), Impact of oxygation on soil respiration, yield and water use efficiency of three crop species. Plant Ecology Advance, 1-13.

Cote, C.M., Bristow, K.L., Charlesworth, P.B., Freeman, J., Cook, F.J. and Thorburn, P.J. (2003), Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. Irrigation Science, 22:143–156.

Dasberg, S. and Or, D. (1999), Drip irrigation. Springer, Berlin, p 162

El-Hendawy, S.E., Hokam, E.M. and Schmidhalter, U. (2008), Drip irrigation frequency: the effects and their interaction with nitrogen fertilization on sandy soil water distribution, maize yield and water use efficiency under Egyptian conditions. Agronomy and Crop Science, 194:180–192

Goldhamer, D. A. (2005), Tree water requirements and regulated deficit irrigation. Pistachio Production Manual. 4th Ed. Ferguson L. University of California, Davis.

Hanson, B.R., Hutmacher, R.B. and May, D.M. (2006), Drip irrigation of tomato and cotton under shallow saline ground water conditions. Irrigation and Drainage Systems, 20:155–175

Howell, T.A., Schneider, A.D. and Evett, S.R. (1997), Subsurface and surface micro irrigation of maize—Southern High Plains. Trans ASAE,40:635–641

Iniesta, F., Testi, L., Goldhamer, D.A. and Fereres, E. (2008), Quantifying reductions in consumptive water use under regulated deficit irrigation in

irrigation of cotton with saline-sodic water. Irrigation Science, 6:95–106

Naor, A. (2006), Irrigation scheduling and evaluation of treewater status in deciduous orchards. Horticultural Review, 32:111–165.

Pasternak, D. and De Malach, Y. (1994), Crop irrigation with saline water.In: Pessarakli M (ed), Handbook of plant and crop stress. University of Arizona, Marcel Dekker Inc., New York,pp 599–622

Rajak, D., Manjunatha, M.V., Rajkumar, G.R., Hebbara, M. and Minhas, P.S.(2006), Comparative effects of drip and furrow irrigation on the yield and water productivity of cotton (Gossypium hirsutum L.) in a saline and waterlogged vertisol. Agricultural Water Management, 83:30–36

Ucan, K., Killi, F., Gencoglan, C. and Merdun, H. (2007), Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame (Sesamum indicum L.) under field conditions. Field Crops Research, 101:249–258

Wang, F.X., Kang, Y. and Liu, S.P. (2006), Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. Agricultural Water Management, 79:248–64.

Wang, F.X., Kang, Y.H. and Liu, S.P. (2006), Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. Agricultural Water Management, 79:248–264

Yi, P.F., Hudan, T., Wang, Y.M., Wu, Z.G. and Zhang, J.Z. (2011), Schedule optimization of under-plastic-mulch drip irrigation for cotton in arid areas. Bull Soil Water Conserv, 1:53–57 (in Chinese).

pistachio (Pistacia vera L.). Agricultural Water Management, 95:877-886.

Kanber, M.R., Steduto, P., Aydin, Y. and Diker, K. (2005), Effects of Different Water and Nitrogen Levels on the Yield and Periodicity of Pistachio (Pistaciavera L.). Turkish Journal of Agricultural Ferocity, 29:39-49.

Kanber, R., Yazar, A., Onder, S., and Koksal, H. (1993), Irrigation response of Pistachio (Pistacia vera L.). Irrigation Science, 14: 7-14.

Kandelous, M.M. and Simunek, J. (2010), Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. Agricultural Water Management,97:1070–1076.

Karlberg, L. and Frits, W.T.P.V. (2004), Exploring potentials and constraints of low-cost drip irrigation with saline water in sub-Saharan Africa. Physics and Chemistry of the Earth, 29:1035–1042

Lamm, F.R. and Trooien, T.P. (2003), Subsurface drip irrigation for corn production: A review of 10 years of research in Kansas. Irrigation Science, 22: 195-200.

Lamm, F.R., Manges, H.L., Stone, L.R., Khan, A.H. and Rogers, D.H. (1995),Water requirement of subsurface drip-irrigated maize in northwest Kansas. Trans ASAE, 38:441–448

Liu, M., Yang, J., Li, X., Liu, G., Yu, M. and Wang, J. (2013), Distribution and dynamics of soil water and salt under different drip irrigation regimes in northwest China. Irrigation Science, 31:675-688.

Mantell, A., Frenkel, H. and Meiri, A. (1985), Drip

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 8, Winter. 2015, p. 786-799

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد۸، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۷۹۹-۷۸۶

The Impact of Irrigation Frequency on Moisture and Salinity distributions under Subsurface Drip Irrigation (SDI) of Pistachio Orchards

A.Seifi[1], S.M.Mirlatifi[2*], H.Dehghanisanij[3], M.Torabi[4]

Recived: Jul. 6, 2014 Accepted: Oct. 29, 2014

Abstract

Pistachio is a strategic product with high economic value in Iran, which is cultivated in arid regions with limited water resources and poor water quality. Therefore, it is essential to use irrigation systems capable of yielding high irrigation efficiency along with effective management of soil water and salinity. In recent years, application of Subsurface Drip Irrigation (SDI) system has been widely accepted by many pistachio growers. Since, irrigation water is of poor quality in major pistachio plantations, utilization of this irrigation method will result in accumulation of salt in the vicinity of soil surface, hence a reduction in pistachio yield. In addition, appropriate irrigation interval for Pistachio orchards irrigated by SDI systems is unknown. A field experiment was conducted on 15-year old pistachio trees grown on loam silt soil and irrigated by subsurface drip irrigation with saline water (EC= 4.2 dS/m) in a region under desert climate to investigate the effects of different irrigation regimes on the soil moisture and salinity distributions as well as pistachio yield. Two irrigation frequency treatments, namely I_3 (Once every 3 days) and I_{14} (Once every 14 days), replicated three times were applied to one hectare block of a farm in Sirjan. The results revealed that irrigation frequency had significant effects on the spatial distribution of soil water content within 0-100 cm depths with a higher soil water contentforI_3. In contrast to I_{14}, salt accumulation in the root zone for I_3 was significantly ($p<0.05$) low due to more water application. Pistachio yield for I_3 and I_{14} was 3.3 and 3.7 kg/tree, respectively, indicating non-significant difference. However, I_3 showed marked enhancement in quality traits such as osteoporosis and smiling.

Keywords: Subsurface drip irrigation, Pistachio, Irrigation frequency, Moisture, Salinity

1- Ph.D Student, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Associate, Dept. of Irrigation Systems Research Department, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran
4- Assistant, Dept. of Irrigation Systems Research Department, Agricultural Engineering Research Institute, Esfahan, Iran
(* - Corresponding Author Email: mirlat_m@modares.ac.ir)