

اثر آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با آب شور و غیرشور بر تغییرات جریان شیره آوندی، هدایت روزنه‌ای و دمای برگ درختان پسته

علی عطایی، مهدی اکبری^{۱*}، محمدرضا نیشابوری، زهرا غفاری و داوود زارع حقی

فارغ التحصیل دکتری دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک.

Aliataee.kh@gmail.com

دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج-ایران.

Akbari_m43@yahoo.com

استاد گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

neyshmr@hotmail.com

مسئول آزمایشگاه شیمی خاک موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج-ایران.

zahra.ghaffari63@gmail.com

استادیار گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

davoodzarehagi@yahoo.com

چکیده

به منظور مطالعه اثرات تغییر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی به زیرسطحی بر پاسخ گیاهی، یک باغ پسته ۱۰ هکتاری از شهرستان شهریار انتخاب و تیمارهای آبیاری شامل قطره‌ای سطحی با آب شور (DI)، قطره‌ای زیر سطحی با آب شور (SDI) و قطره‌ای سطحی با آب غیرشور (A) در آن پیاده شد و پاسخ‌های گیاهی اندازه‌گیری شد. نتایج بررسی توزیع شوری نشان داد که بیشترین تجمع املاح در دواپر هم مرکز به دور از قطره چکان رخ داده است که در DI عمق ۳۰ تا ۵۰ و فاصله عرضی ۷۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری از درخت، و در SDI لایه سطحی ۰ تا ۲۰ و فاصله عرضی ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متری از درخت نقاط تجمع املاح بوده است. تمام پاسخ‌های گیاهی در تیمار آب غیرشور به طور معنی‌داری شرایط مساعدتری را نشان دادند. برخلاف تیمار A، دمای تاج گیاه و اختلاف آن با دمای اتمسفر بین دو سامانه آبیاری DI و SDI تغییرات معنی‌داری را نشان نداد. اما در شاخص تنش آب گیاه (CWSI) با نرمال‌سازی دمای تاج گیاهی نسبت به اثرات محیطی، اختلاف بین دو سامانه آبیاری معنی‌دار گردید و مقدار آن در SDI کمتر از DI به دست آمد. هدایت روزنه‌ای نیز در SDI به طور معنی‌داری بیش‌تر از DI اندازه‌گیری شد. بر اساس جریان شیره آوندی، با وجودی که تیمار A به طور معنی‌داری بیشترین جریان را داشت، در طول ۲۴ ساعت اختلاف معنی‌داری بین دو سامانه آبیاری DI و SDI مشاهده نگردید، اما با میانگین‌گیری این شاخص برای طول روز و به خصوص ساعات اوج تنش اختلاف معنی‌دار شد. با توجه به حجم یکسان آب آبیاری در دو تیمار DI و SDI، نتیجه‌گیری می‌شود که سامانه SDI با توزیع مناسب شوری، شرایط بهتری را برای جذب آب توسط گیاه فراهم نموده و باعث کاهش تنش رطوبتی به خصوص در ساعات اوج تعرق می‌گردد. هرچند استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیازمند مطالعات طولانی مدت می‌باشد، اما با توجه به پاسخ‌های گیاهی مشاهده شده و همچنین از نقطه نظر توزیع شوری در خاک، استفاده از این سامانه آبیاری برای درختان پسته قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: آب شور، پاسخ گیاهی، توزیع شوری، تنش رطوبتی و شوری، شاخص تنش آب گیاه

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: کرج، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

* - دریافت: مرداد ۱۳۹۸ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

مقدمه

آب شور و غیرشور را به منظور ارزیابی اثرات آن بر رشد بخش هوایی و محصول‌دهی گیاه پنبه در یک آزمایش مزرعه‌ای بررسی کردند. نتایج آن‌ها اختلاف معنی‌داری بین توزیع رطوبت خاک، شوری خاک و تراکم طولی ریشه در ناحیه ریشه در آبیاری با آب غیرشور و آب شور را نشان داد. این نتایج حاکی از افزایش میزان رطوبت و شوری خاک در تیمار آبیاری شده با آب شور نسبت به آب غیرشور بود. به دلیل جذب آب توسط ریشه گیاه، میزان رطوبت خاک در هر دو تیمار آبیاری کاهش و متعاقباً غلظت املاح افزایش یافت. این افزایش در نقاط با تراکم بالای ریشه بیش‌تر از سایر نقاط بود. تراکم ریشه بیش‌تر در ۳۰ سانتی‌متری بالایی نیم‌رخ خاک بود. میانگین تراکم ریشه، وزن خشک ساقه و محصول در تیمار آب شور کمتر از تیمار آب غیرشور به-دست آمد که به دلیل افزایش شوری ناحیه ریشه در تیمار آب شور بود.

کمبود آب با تأثیر بر آماس سلولی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرایندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و از طرف دیگر با تأثیر بر فرایندهای آنزیمی که به‌طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد (برار و همکاران، ۱۹۹۰؛ سینگ و پاتال، ۱۹۹۶). تنش شوری می‌تواند علاوه بر کاهش پتانسیل آب و پسابیدگی، از طریق برهم زدن تعادل یونی و بروز سمیت یونی، به‌وسیله تنش‌های ثانویه‌ای مانند اختلالات تغذیه‌ای، تخریب غشای سلولی، سمیت متابولیک و جلوگیری از فعالیت‌های فتوسنتزی بر مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه تأثیرگذار باشد (حاج محمدنیا قالی‌باف و سلاح‌ورزی، ۱۳۹۱). هم‌چنین تنش آبی و شوری می‌تواند برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی شامل تعرق، جریان شیره آوندی، دمای برگ و هدایت روزنه‌ای را تغییر دهد (ژائو و همکاران، ۲۰۰۷).

برای آگاهی از چگونگی پاسخ گیاه نسبت به تغییرات محیطی به‌ویژه در شرایط کمبود رطوبت همانند مناطق نیمه خشک، درک ارتباط بین پویایی آب خاک و تعرق گیاهی ضروری می‌باشد. از آنجایی که تعرق علاوه بر

سامانه‌های پیشرفته آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی اغلب به منظور غلبه بر مشکلات کمبود آب در نواحی خشک پیشنهاد شده‌اند (کاندلوئس و سیمونیک، ۲۰۱۰). امروزه آبیاری قطره‌ای به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های آبیاری شناخته می‌شود. با این روش می‌توان آب را به‌طور نسبتاً یکنواخت توزیع و مقدار آب مصرفی را به دقت تنظیم نمود. عملکرد گیاه را افزایش و تبخیر از سطح خاک، نفوذ عمقی و خطرات پراکندگی و شور شدگی خاک را کاهش داد (بچلور و همکاران، ۱۹۹۶؛ آیارس و همکاران، ۱۹۹۹؛ کالبرگ و دوریست، ۲۰۰۴). گنجی‌خرم‌دل و کیخایی (۱۳۹۵) تأثیر تغییر سامانه آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای بر درختان ۱۰ ساله بارور پسته (رقم احمد آقایی) را طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در منطقه خشک‌رود زرن‌دیه ساوه بررسی کردند. بر اساس گزارش این محققان عملکرد و شاخص‌های کیفی محصول در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به سطحی در سال اول آزمایش کاهش نشان داد؛ ولی در سال دوم، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت پسته در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش آبیاری سطحی مشاهده شد که نشان‌دهنده سازگاری درختان پسته نسبت به تغییر سیستم بود. میانگین دو ساله عملکرد خشک در روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به-ترتیب برابر با ۷۳۹ و ۹۲۷ کیلوگرم در هکتار، میانگین آب مصرفی ۶۳۷۵ و ۴۱۱۰ متر مکعب در هکتار و میزان کارایی مصرف آب ۱۲۵ و ۱۹۰ گرم محصول خشک به ازای هر متر مکعب آب گزارش گردید. تحقیقات انجام شده روی روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نشان می‌دهد که عموماً کاربرد این سامانه‌ها امکان کاهش مصرف آب به میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد برای گیاهان ردیفی و حتی صرفه‌جویی بیش‌تر در باغ‌ها را ممکن می‌سازد (براد و شیمز، ۱۹۶۵؛ کمپ، ۱۹۹۸؛ گنجی‌خرم‌دل و کیخایی، ۱۳۹۵).

چن و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای پویایی رطوبت و شوری خاک، توزیع ریشه در آبیاری قطره‌ای با

و از ارقام قزوینی، بادامی زرنده و احمد آقایی می‌باشند که به دلیل نزدیکی ردیف درختان رقم احمد آقایی به منابع آب و برق، مطالعه بر روی آن‌ها صورت گرفت. سامانه اصلی آبیاری مورد استفاده در باغ فوق الذکر، آبیاری قطره‌ای سطحی به صورت دو ردیفه در دو طرف ردیف درختان با فواصل ۵۰ سانتی‌متر از تنه درختان بود. در این مزرعه با توجه به مدیریت باغدار، آبیاری‌ها هر هشت روز یک بار و به مدت شش ساعت و با دبی قطره‌چکان هشت لیتر در ساعت صورت گرفت. منبع آب آبیاری یک رشته قنات است که آب آن به یک استخر ذخیره آب هدایت شده بود. تغییرات شوری آب آبیاری در طول فصل زراعی ناچیز بوده و مقدار شوری برابر $6/6 \text{ dS m}^{-1}$ اندازه‌گیری گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

پتانسیل آب خاک به عوامل دیگری از ویژگی‌های خاک و محیط ریشه وابسته است، اندازه‌گیری پاسخ‌های گیاهی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از کارایی سیستم‌های آبیاری در اختیار قرار دهد؛ بنابراین این تحقیق با هدف مطالعه پاسخ‌های گیاهی شامل جریان شیره آوندی، هدایت روزنه‌ای و شاخص تنش آب گیاه (CWSI) درختان پسته در هر یک از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و سامانه‌های آبیاری

این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در یک باغ پسته ۱۰ هکتاری واقع در دهستان اخترآباد از توابع شهرستان شهریار استان تهران به اجرا درآمد. درختان پسته این باغ ۱۲ ساله

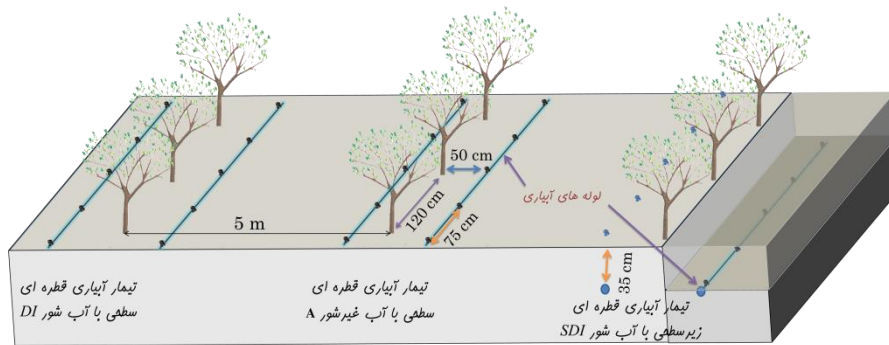
جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

K_{av} mg/kg	P_{av} mg/kg	N %	کربن آلی %	آهک %	K_s cm/day	BD g/cm ³	تخلخل %	pH	EC_e (dS/m)	سیلت رس %	شن %	عمق (cm)
۳۴۲/۴	۱۱۰/۷	۰/۱۷۸	۲/۰۸	۱۶	۱۵۴	۱/۴۶	۴۷/۳	۷/۵	۶/۸	۱۳	۱۹	۶۸
۳۸۲/۱	۳۵/۹	۰/۰۸۰	۰/۹۳۶	۱۷	۱۰۳	۱/۵۶	۴۴/۸	۷/۴	۵/۹	۱۸	۱۹	۴۰-۶۳
۳۸۲/۱	۱۴/۶	۰/۰۵۰۰	۰/۵۸۵	۱۳	۵۷	۱/۶۵	۴۱/۸	۷/۶	۵/۵۱	۱۴	۲۰	۶۰-۶۶
۸۴/۹	۱/۵	۰/۰۰۷	۰/۱	۱۱	۴۸	۱/۶۶	۳۴	۷/۸	۵/۳۷	۹/۲	۹/۹	۸۰-۹۰

BD: جرم مخصوص ظاهری؛ K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع؛ P_{av} : فسفر در دسترس؛ K_{av} : پتاسیم در دسترس

به منظور انجام این تحقیق، در یک ردیف از درختان، قطره‌چکان‌ها به عمق ۳۵ سانتی‌متری انتقال داده شد. این عمق بر اساس بافت خاک و همچنین وجود لایه با مقاومت بالا در عمق ۸۰ سانتی‌متری انتخاب گردید. برای استخراج اثرات تنش شوری و خشکی بر پایه پاسخ گیاهی در نصف ردیف از درختان که به عنوان مرجع انتخاب شدند، آبیاری قطره‌ای سطحی با استفاده از آب غیرشور ($EC=1.5 \text{ dS m}^{-1}$) در دوره‌های سه یا چهار روزه صورت گرفت. آب غیرشور از منبع آب لوله کشی روستایی جهت مصارف خانگی تأمین شد. بنابراین سه تیمار آزمایشی شامل آبیاری قطره‌ای سطحی با آب شور (DI)، آبیاری قطره‌ای زیر سطحی با آب شور (SDI) و آبیاری قطره‌ای سطحی با آب غیرشور (A) در مزرعه پیاده شد (شکل ۱).

خاک مزرعه آزمایشی دارای بافت لوم شنی بود که در لایه‌های پایینی (زیر ۶۰ سانتی‌متر) به دلیل تکامل کمتر، درصد ذرات درشت‌تر افزایش یافته و بافت خاک به شن لومی تغییر می‌یابد. همچنین در لایه‌های پایینی با افزایش اندازه ذرات و آمدن وزن لایه‌های بالایی خاک بر ذرات این لایه، فضای بین منافذ کاهش یافته و تخلخل به طور چشم‌گیری کاهش یافته است. جرم مخصوص ظاهری خاک نیز در لایه‌های پایینی افزایش را نشان داد. در زمین‌هایی که تحت آبیاری با آب شور می‌باشد، در آخر فصل رشد به منظور تعدیل شوری آبیاری‌های سنگینی صورت می‌گیرد که در کنار بارندگی‌های زمستانه باعث تعدیل شوری در ناحیه ریشه می‌شود.



شکل ۱- موقعیت درختان، سامانه‌های آبیاری و تیمارهای آزمایشی

نمونه‌برداری و آزمایش‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های مرکب و دست‌نخورده تهیه شده از لایه‌های ۲۰ سانتی-متری خاک تا عمق ۸۰ سانتی‌متری تعیین شدند. EC، pH و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب، به روش‌های متداول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند (اسپارکس و همکاران، ۱۹۹۶). درصد کربن آلی لایه‌های مختلف در نمونه‌های مرکب به روش هضم تر والکی - بلک (نلسون و سامر، ۱۹۹۶)، درصد کربنات کلسیم معادل (آهک) به روش تیتراسیون معکوس (نلسون، ۱۹۸۲)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (برمنر و مولوانی، ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل جذب توسط عصاره گیر استات آمونیوم (نادسن و پترسون، ۱۹۸۲) و فسفر قابل استفاده جذب به روش اولسن و سامرز (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (گی و باوذر، ۱۹۸۶)، جرم مخصوص ظاهری در نمونه‌های دست‌نخورده به روش سیلندر (بلک و هارتیج، ۱۹۸۶) و هدایت هیدرولیکی اشباع با روش بار ثابت (کلوت، ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. تخلخل نمونه‌ها هم از نسبت وزن آب در حالت اشباع بر حجم سیلندر محاسبه گردید.

تعیین توزیع شوری در ناحیه ریشه

در نیمه‌های فصل رشد (۱۸ مردادماه) و پس از هشت نوبت آبیاری قطره‌ای، جهت بررسی اثرات سامانه‌های آبیاری و شوری آب بر توزیع شوری خاک، از هر سامانه آبیاری سه درخت انتخاب و در فواصل ۳۰ سانتی-متری (تا ۱۲۰ سانتی‌متر) از درخت تا عمق ۸۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری با اوگر انجام شد (به دلیل وجود لایه سخت و مقاومت بالای خاک، نمونه‌برداری تا عمق بیش‌تر ممکن نبود). هدایت الکتریکی نمونه‌ها در عصاره ۱ به ۲/۵ (EC_{2.5}) اندازه‌گیری گردید. برای تبدیل EC_{2.5} به هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC_e، در ده نمونه (به‌طوری‌که تمام دامنه شوری را در برداشته باشد) EC_e اندازه‌گیری شد و بین آن‌ها رابطه رگرسیونی برقرار گردید. برای ترسیم دو بعدی توزیع شوری خاک از نرم افزار سورفر استفاده گردید. مقادیر شوری در نقاط اندازه‌گیری شده به نرم افزار داده شد و مقادیر شوری در فواصل بین نقاط با استفاده از روش کریجینگ میانابی شد.

تعیین پاسخ‌های گیاهی

دمای کانوپی و شاخص تنش آب گیاه (CWSI)

یک هفته بعد از تعیین توزیع شوری، وسایل لازم برای اندازه‌گیری‌های پاسخ گیاهی آماده گردید و بعد از آبیاری دهم اندازه‌گیری‌های گیاهی شروع گردید. دمای تاج گیاهی^۲ (T_c) در زمان بیشینه دمای هوا (بین ساعات ۱۲ تا ۱۴) با استفاده از دستگاه دماسنج مادون‌قرمز مدل ST 8896

^۲ Canopy Temperature

عرض از مبدا خط NWSB به دست آمده و به عنوان میزان شیب فشار بخار نهایی VPG در نظر گرفته می‌شود. اختلاف دمای به دست آمده از این روش، حداکثر مقداری است که گیاه می‌تواند به آن برسد (ایدسو و همکاران، ۱۹۸۱؛ تستی ۲۰۰۸):

$$(T_c - T_a)_{UL} = \alpha + b(VPG) = \alpha + b(e_s(T_a) - e_s(T_a + \alpha)) \quad (3)$$

در این رابطه:

VPG، $e_s(T_a)$ و $e_s(T_a + \alpha)$ به ترتیب شیب فشار بخار، فشار بخار اشباع در دمای هوا و فشار بخار اشباع در دمای هوا به علاوه عرض از مبدا خط مبنای پایینی (معادله ۲) می‌باشد. در نهایت با به دست آوردن حداکثر و حداقل اختلاف دمای تاج گیاهی - اتمسفر ممکن برای درختان پسته در مزرعه آزمایشی، شاخص تنش آبی گیاه در طول دوره آزمایش برای درخت پسته محاسبه گردید.

هدایت روزنه‌ای در نیم‌روز (ساعت ۱۲-۱۴) و از سطح زیری برگ‌هایی که به طور کامل در معرض آفتاب قرار داشتند، توسط دستگاه پرومتر مدل AP-4 ساخت شرکت Delta-T اندازه‌گیری شد (میلانی، ۱۳۹۴).

شدت جریان شیره آوندی (SF) در دو درخت از هر تیمار (به دلیل محدودیت در تعداد سنجنده‌های دستگاه) با استفاده از روش اتلاف گرمایی گرانیور (۱۹۸۵) و توسط دستگاه TDP* ساخت شرکت داینامکس (Dynamax) آمریکا اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری جریان شیره آوندی نیز همزمان با سایر اندازه‌گیری‌های گیاهی و رطوبت خاک صورت گرفت. لازم به ذکر است که دستگاه TDP اندازه‌گیری را به صورت پیوسته و در طول شبانه روز انجام می‌دهد. دستگاه مذکور شامل شش سنجنده هرکدام با دو پروب سوزنی است که در داخل یکی از پروب‌ها یک گرم‌کننده الکتریکی و یک ترموکوپل قرار دارد و در پروب دیگر هم یک ترموکوپل جایگذاری شده است. این ترموکوپل‌ها برای اندازه‌گیری اختلاف دمای بین دو سنجنده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این اختلاف، تحت تأثیر شدت

از یک سوم میانی تاج اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری‌ها در سه درخت از هر تیمار (SDI، DI و A) و در سه جهت متفاوت به نحوی انجام گرفت که در محدوده دید دستگاه که با نور لیزر مشخص می‌شود، غیر از برگ، شی دیگری همانند شاخه یا میوه قرار نداشته باشد. از میانگین‌گیری سه قرائت انجام شده، دمای تاج درخت برای هر روز بعد از آبیاری محاسبه شد. دمای هوا و رطوبت نسبی نیز در مزرعه با دستگاه مذکور قرائت و یادداشت شد.

با تعیین دمای کانوپی (T_c) در یک محیط مشخص برای شرایط تعرق پتانسیل و بدون تعرق یک گیاه یعنی حالت حداکثر و حداقل هدایت روزنه‌ای) شاخص CWSI از طریق معادله ۱ محاسبه شد:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{LL}}{(T_c - T_a)_{UL} - (T_c - T_a)_{LL}} \quad (1)$$

در این رابطه:

$(T_c - T_a)$ اختلاف دمای برگ- هوا اندازه‌گیری شده می‌باشد، $(T_c - T_a)_{LL}$ بیان‌کننده حد پایینی اختلاف دمای برگ - هوا است که مربوط به شرایط تعرق پتانسیل می‌باشد و $(T_c - T_a)_{UL}$ بیان‌کننده حد بالایی این اختلاف دما است که مربوط به شرایط تعرق صفر تاج گیاهی (به دلیل تنش رطوبتی) است. حدود بالایی و پایینی $T_c - T_a$ که در این معادله مورد استفاده قرار گرفته به روش پیشنهادی ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) برآورد شد. بر این اساس تحت شرایط رطوبتی خوب خاک و یا به عبارتی در شرایط حداکثر هدایت روزنه‌ای ($T_c - T_a$) تابع خطی از کمبود فشار بخار (VPD) می‌باشد که با عنوان "خط پایه بدون تنش" (NWSB) شناخته می‌شود. برای محاسبه NWSB، $T_c - T_a$ گیاه بدون تنش (تیمار A) در مقابل VPD رسم و معادله خط به دست آمد:

$$(T_c - T_a)_{LL} = \alpha + b VPD \quad (2)$$

ضرایب α و b ضرایب خط رگرسیونی می‌باشد که برای هر گیاه در هر منطقه متفاوت است (ایدسو و همکاران، ۱۹۸۱؛ تستی ۲۰۰۸). برای محاسبه $(T_c - T_a)_{UL}$ اختلاف فشار بخار اشباع در دمای محیط و افزایش دما به اندازه

* Thermal dissipation probe

† Non-water-stressed baseline

جریان شیره آوندی قرار می‌گیرد. در نهایت با استفاده از رابطه ۴ و اختلاف دمای اندازه‌گیری شده، سرعت شیره آوندی محاسبه گردید (گرانیر، ۱۹۸۵؛ لو و همکاران، ۲۰۰۴):

$$F_d = 118.99 \times 10^{-6} \left(\frac{\Delta T_{\max} - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1.231}$$

(۴) F_d : شدت جریان شیره آوندی ($m^3 m^{-2} s^{-1}$)، ΔT اختلاف دمای بین دو سنجده که توسط دستگاه ثبت می‌شود و ΔT_{\max} حداکثر اختلاف دمای اندازه‌گیری شده که نشان‌دهنده شدت جریان صفر می‌باشد. مراحل نصب در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- مراحل نصب سنجده دستگاه اندازه‌گیری شیره آوندی

① ایجاد سوراخ با استفاده از مته در تنه درخت؛ ② ضد عفونی کردن محل ایجاد سوراخ؛ ③ کار گذاشتن سنجده‌ها در محل سوراخ ایجاد شده و ④ پیچیدن عایق حرارتی دور تنه در قسمت نصب سنسور

۲۸/۳۵ گرم (اصطلاحاً انس پسته) برای هر درخت تعیین و میانگین سه تکرار برای هر تیمار گزارش شد (حکم آبدی، ۱۳۹۲؛ سیفی و همکاران، ۱۳۹۳ الف).

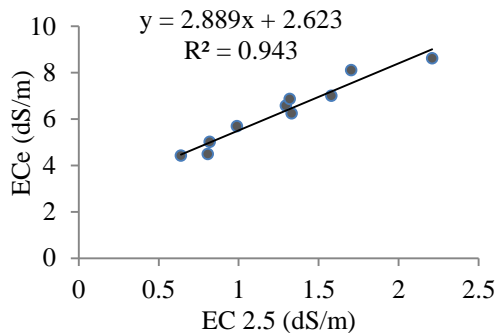
نتایج

مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در عصاره اشباع نشان داد که بیشترین مقدار در لایه سطحی و حدود $6/8 \text{ dS m}^{-1}$ است که با رفتن به عمق به صورت یکنواخت کاهش می‌یابد (شکل ۳). بر اساس گزارش سندن (۲۰۱۶) و سندن و همکاران (۲۰۰۴) پسته گیاه مقاوم به شوری بوده و دارای حد آستانه $9/4 \text{ dS m}^{-1}$ با شیب کاهش $8/4$ در محصول (جذب آب) به ازای افزایش واحد شوری در بالای حد آستانه‌ای می‌باشد. از آنجایی که نمونه‌برداری خاک پس از بارندگی‌ها و قبل از آبیاری انجام شده و در این بازه زمانی حدوداً ۲۰ روز، حرکت آب و املاح به سمت لایه‌های سطح خاک و خشک شدن خاک در نتیجه تبخیر

مجموع جریان شیره آوندی در طول ۲۴ ساعت برای روزهای دوره آزمایش که برابر با مساحت زیر منحنی سرعت جریان شیره آوندی (cm min^{-1}) تابعی از زمان (min) می‌باشد، با استفاده از نرم افزار MATLAB محاسبه گردید. هم‌چنین با توجه به متفاوت بودن سرعت شیره آوندی در ساعات مختلف روز، میانگین آن برای بازه‌های مختلف زمانی شامل ۲۴ ساعت، از ساعت ۶ تا ۲۰ (طول روز) و ساعت ۱۲ تا ۱۴ (حداکثر زمان شدت تعرق) محاسبه و مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفت.

آنالیز آماری پاسخ‌های گیاهی در قالب فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با دو تیمار سامانه آبیاری (در دو سطح SDI, DI) و روزهای بعد از آبیاری (تعداد سطح بسته به تعداد روزهای داده بردای بود) برای سه تکرار با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. در انتهای فصل صفات کمی و کیفی محصول پسته از قبیل درصد پوکی، درصد خندانی، وزن ۱۰ عدد پسته و تعداد پسته در یک انس معادل

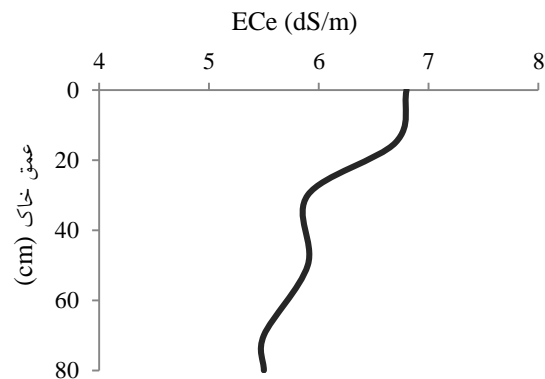
که با نتایج ابوکیلا و نورتون (۲۰۱۷) و خرسندی و یزدی (۲۰۱۱) مطابقت دارد؛ از این رو در این مطالعه از رابطه حاصله برای تبدیل $EC_{2.5}$ به EC_e استفاده شد.



شکل ۴- رابطه بین مقادیر $EC_{2.5}$ و EC_e برای خاک مورد مطالعه

در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی کمترین میزان شوری در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری و در فاصله ۱۰ تا ۷۰ سانتی‌متری از درخت مشاهده شد. بیشترین تجمع املاح در عمق ۵۰ سانتی‌متری زیر قطره‌چکان و در فاصله ۸۰ سانتی-متری از درخت از سطح خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۵- الف). در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (شکل ۵- ب) کمترین میزان هدایت الکتریکی در عمق ۲۰ تا ۶۰ سانتی-متری و فاصله ۱۰ تا ۶۰ سانتی‌متری از درخت اندازه‌گیری شد و تجمع املاح در لایه سطحی خاک اتفاق افتاده است. هم‌چنین حداکثر مقدار EC_e اندازه‌گیری شده در این سامانه $11/26 \text{ dS m}^{-1}$ بود که کمتر از مقدار مشابه برای آبیاری قطره‌ای سطحی ($EC = 12.3 \text{ dS m}^{-1}$) است (شکل ۵- ب). نتایج حاصله از این تحقیق با نتایج اورن و همکاران (۱۹۹۹) برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، سلیم و همکاران (۲۰۱۳) برای آبیاری قطره‌ای سطحی، هانسون و می (۲۰۰۴) برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تطابق دارد.

می‌تواند عامل افزایش شوری در لایه‌های سطحی خاک باشد. درشت‌تر شدن بافت خاک به همراه کاهش تخلخل و بالا بودن هدایت هیدرولیکی در لایه‌های زیرسطحی باعث شده است که بر خلاف تصور تجمع املاح در این لایه‌ها کمتر از لایه سطحی خاک باشد.



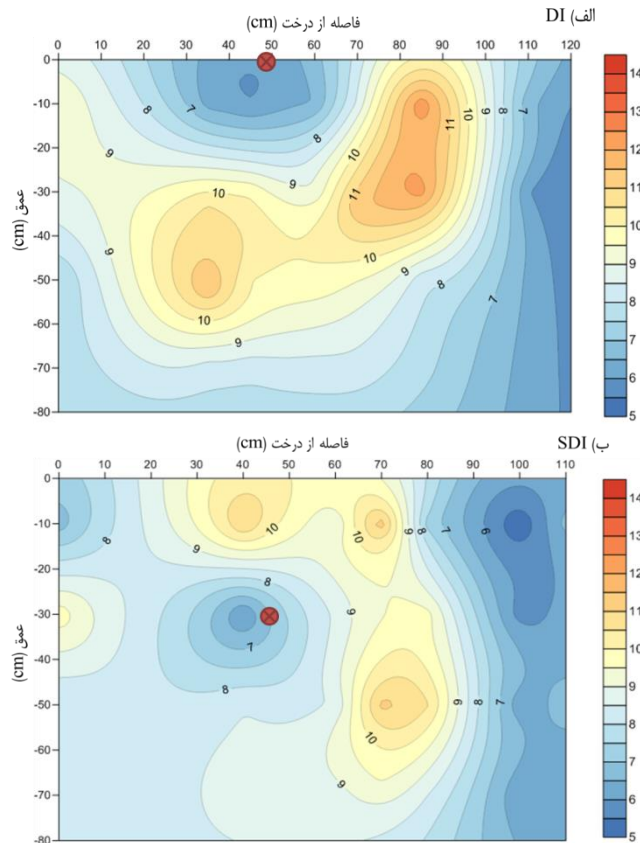
شکل ۵- میانگین توزیع اولیه شوری خاک قبل از شروع آبیاری

نیاز غذایی درخت پسته در سال پر بار حدود ۴۵۰ گرم نیتروژن، ۷۵ گرم فسفر و حدود یک کیلوگرم پتاسیم می‌باشد (موسی نژاد و همکاران، ۱۳۸۹؛ سایت انجمن پسته ایران^۵). محاسبات نشان داد که برای هر درخت در لایه ۰ تا ۸۰ سانتی‌متری خاک در حدود ۲ کیلوگرم نیتروژن، حدود ۱۱۰ گرم فسفر و ۸۹۲ گرم پتاسیم در دسترس گیاه وجود دارد که از این رو این عناصر به میزان لازم در خاک حضور دارند. در ضمن لازم به ذکر است که بالا بودن میزان فسفر خاک می‌تواند به دلیل کوددهی مداوم همراه با کاهش جذب در نتیجه ترسیب آن در خاک باشد.

توزیع شوری در دامنه ریشه

نتایج اندازه‌گیری مقادیر $EC_{2.5}$ و EC_e برای خاک مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطوری که در این شکل مشاهده می‌شود رابطه قوی بین مقادیر $EC_{2.5}$ و EC_e برای خاک مورد مطالعه برقرار است

^۵ <http://iranpistachio.org>



شکل ۵- تغییرات توزیع ECE (ds/m) اندازه‌گیری شده در دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی (الف) و زیرسطحی (ب)؛ موقعیت درخت در {+،+} و نشان دهنده موقعیت قطره چکان می‌باشد

لیکن دمای تاج گیاهی دو سامانه SDI و DI اختلاف معنی‌داری را نشان نداده است.

تغییرات دمای تاج گیاهی نسبت به دمای اتمسفر $(T_c - T_a)$ شاخص دیگری از وضعیت رطوبتی گیاه می‌باشد. هنگامی که گیاه از نظر رطوبتی و شوری در شرایط مساعدی قرار داشته باشد، (همانند تیمار A)، دمای آن نسبت به اتمسفر کمتر خواهد بود. به همین دلیل است که تاج گیاهی درختان تیمار A دارای بیشترین اختلاف دما نسبت به اتمسفر است (جدول ۳)؛ اما در دو تیمار DI و SDI این اختلاف کم بوده و در روزهای آخر بعد آبیاری حتی به مقادیر مثبت نیز رسیده است (جدول ۳). افزایش دمای تاج گیاهی نسبت به دمای هوا نشان‌دهنده کاهش تعرق به دلیل تنش رطوبتی می‌باشد. تستی و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که کاهش آب آبیاری در مدیریت کم‌آبیاری

دمای تاج گیاهی و CWSI

در درختان پسته تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، نوسانات دمای تاج گیاهی تابعی از دمای هوا و رطوبت خاک می‌باشد. بیشترین، کمترین و میانگین دمای تاج گیاهی، در طول دوره آزمایش برای سامانه قطره‌ای سطحی به ترتیب برابر با $43/7^{\circ}\text{C}$ ، $33/7$ ، $37/9$ و برای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برابر با $42/2^{\circ}\text{C}$ ، $32/9$ و $37/6$ یادداشت گردید. متوسط دمای تاج گیاهی درختان مرجع (آبیاری شده با آب غیرشور) در دوره آزمایش همواره کمتر از دمای هوا و هم‌چنین درختان دو تیمار SDI و DI بوده است. بیشترین، کمترین و میانگین دمای ثبت شده برای تاج گیاهی درختان آبیاری شده با آب غیرشور (A) نیز به ترتیب برابر با 39°C و 29 و $32/4$ بود. آنالیز آماری انجام شده نشان داد که دمای تاج گیاهی درختان در روزهای بعد از آبیاری تغییرات معنی‌داری داشته (جدول ۲)

$1/5$ اختلاف دمای پوشش سبز ذرت نسبت به دمای هوا، حدود سه درجه سانتی‌گراد، افزایش پیدا کرد. در محاسبه CWSI اولین اقدام به دست آوردن خط NWSB بود که با رسم اختلاف دمای تاج گیاهی - اتمسفر در برابر تغییرات کمبود فشار بخار هوا به دست آمد (شکل ۶).

منظم^۶ و در نتیجه خشکی خاک، باعث افزایش معنی‌دار دمای تاج گیاهی می‌شود. در تیمار (A) به دلیل استفاده از آب غیرشور جهت آبیاری، شوری ناحیه ریشه نسبت به دو تیمار دیگر بسیار کمتر بوده و در نتیجه گیاه از نظر شوری شرایط بهتری را تجربه می‌کند. محققان متعددی نیز اثر شوری بر دمای گیاه را گزارش کرده‌اند (بیتز، ۲۰۰۹؛ روی و اوفوری، ۲۰۱۴). سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) مشاهده کردند که با افزایش شوری خاک از $2/2 \text{ dS m}^{-1}$ به 2 dS m^{-1}

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس تأثیر سامانه‌های آبیاری و زمان از آبیاری دهم بر شاخص‌های دمایی پاسخ گیاه

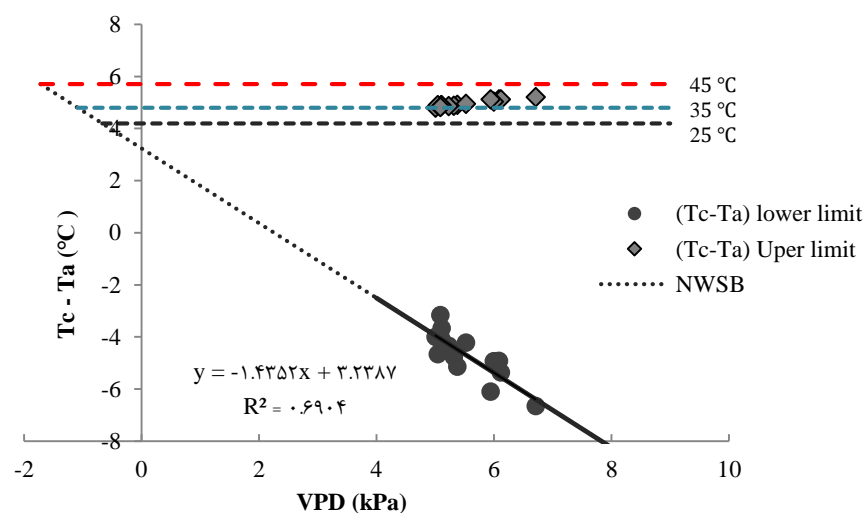
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		CWSI	$T_c - T_a$	T_c
سامانه آبیاری	۱	۰/۰۲۳*	۱/۵۳ ^{NS}	۱/۵۳ ^{NS}
روز	۱۴	۰/۱۹۷**	۱۸/۸۵**	۲۱/۷**
سامانه آبیاری * روز	۱۴	۰/۰۰۷ ^{NS}	۰/۸۶ ^{NS}	۰/۸۶ ^{NS}
خطا	۶۰	۰/۰۰۴	۰/۴۲	۰/۴۲
ضریب تغییرات		۱۲/۴۷	۹۲/۳	۱۱/۷

** معنی‌داری در سطح ۱٪، * معنی‌دار در سطح ۵٪، NS غیر معنی‌دار

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های دمایی پاسخ گیاه در تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار	T_c (°C)	$T_c - T_a$ (°C)	CWSI
A	۳۲/۳۸ ^a *	-۴/۶۷ ^a	۰/۰۱ ^a
SDI	۳۷/۶۲ ^b	۰/۵۷ ^b	۰/۵۴ ^b
DI	۳۷/۸۸ ^b	۰/۸۳ ^b	۰/۵۸ ^c

* تیمارهای با حروف مشابه در یک کلاس قرار دارند



شکل ۶- تغییرات اختلاف دمای تاج گیاهی - اتمسفر ($T_c - T_a$) در نیمه روز با کمبود فشار بخار اتمسفر (VPD) در درختان پسته بدون تنش

^۶ Regulated deficit irrigation

آزمایشی در روزهای مختلف محاسبه گردید. بیشترین و کمترین میزان CWSI برای تیمار DI به ترتیب ۱/۰۸ و ۰/۲۳ و برای تیمار SDI به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۲۱ به دست آمد. این نتیجه نشان می‌دهد که با مدیریت موجود آبیاری درختان پسته در هر دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در روزهای آخر آبیاری دچار تنش رطوبتی می‌شوند. لذا در این باغ، انجام آبیاری با دور کوتاه‌تر توصیه می‌گردد.

آنالیز تجزیه واریانس (

مدرانو، ۲۰۰۲؛ اسماعیل‌پور و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به اینکه تغییرات بین تکرارهای هدایت روزنه‌ای بسیار بالا بود، در تجزیه واریانس هر درخت (تکرار) به‌عنوان یک بلوک در نظر گرفته شد و با طرح آماری فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه گردید (جدول ۴). محققان نوسانات بالای هدایت روزنه‌ای را به اثرات ترکیبی دمای برگ، شدت نور، غلظت دی‌اکسید کربن بین سلولی و کمبود فشار بخار اتمسفر و همچنین پتانسیل آب خاک نسبت داده‌اند (کوان، ۱۹۷۷؛ توزات و همکاران، ۲۰۰۳). بر اساس جدول تجزیه واریانس، علاوه بر تغییر معنی‌دار هدایت روزنه‌ای در روزهای اندازه‌گیری، مقدار آن در سامانه‌های متفاوت آبیاری نیز با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارد. میانگین هدایت روزنه‌ای در SDI و DI به ترتیب ۰/۵ و ۰/۳۹۵ سانتی‌متر بر ثانیه به دست آمد که نشان می‌دهد توزیع رطوبت و شوری در SDI با بهبود وضعیت رطوبتی گیاه باعث افزایش هدایت روزنه‌ای درختان این تیمار شده است.

عرض از مبدا (α) و شیب خط (b) به دست آمده (شکل ۶) در این پژوهش با مقادیر گزارش شده توسط سایر محققان تطابق مناسبی دارد (تستی و همکاران، ۲۰۰۸؛ سیفی و همکاران، ۱۳۹۳ ب).

بر اساس خط مبنا یا بالایی یا شرایط بدون تعرق $(T_c - T_a)_{UL}$ حداکثر اختلاف دمایی که درختان پسته در مزرعه آزمایشی قادر به تحمل آن هستند (بر اساس تئوری ایدسو و همکاران، ۱۹۸۱) از ۴/۸ تا ۵/۲ درجه سانتی‌گراد در تغییر بود. در نهایت میزان شاخص تنش آب گیاه با داشتن تمام پارامترهای مورد نیاز برای تیمارهای جدول ۲) نشان داد علاوه بر اینکه مقدار شاخص CWSI در روزهای مختلف تغییرات معنی‌داری دارد، اختلاف آن بین دو تیمار آبیاری SDI و DI نیز در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که با نرمال‌سازی دمای تاج گیاهی نسبت به اثرات محیطی همانند تابش و همرفت در قالب CWSI، اثرات شرایط رطوبتی خاک بر دمای تاج گیاهی بهتر قابل مشاهده خواهد بود. در نتیجه اختلاف موجود بین دو سامانه آبیاری در تأمین نیاز رطوبتی گیاه آشکار شده و از نظر آماری معنی‌دار شده است. لذا مشخص شد که توزیع رطوبت و شوری در خاک نیز می‌تواند اثر معنی‌داری بر پاسخ‌های گیاهی داشته باشد و تغییر سامانه آبیاری از DI به SDI با بهبود الگوی توزیع رطوبت و شوری سبب افزایش فراهمی آب خاک برای گیاه و ارتقاء وضعیت رطوبتی گیاه شود.

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای یکی از سریع‌ترین پاسخ‌های گیاهی به شرایط رطوبتی و شوری خاک می‌باشد (فلکس و

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس هدایت روزنه‌ای در تیمارها و روزهای مختلف

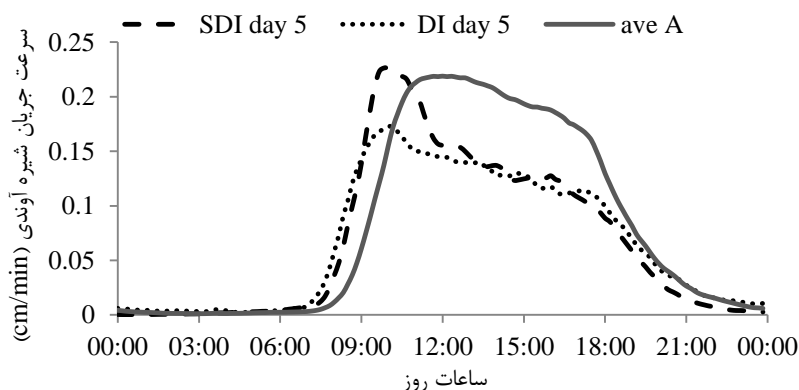
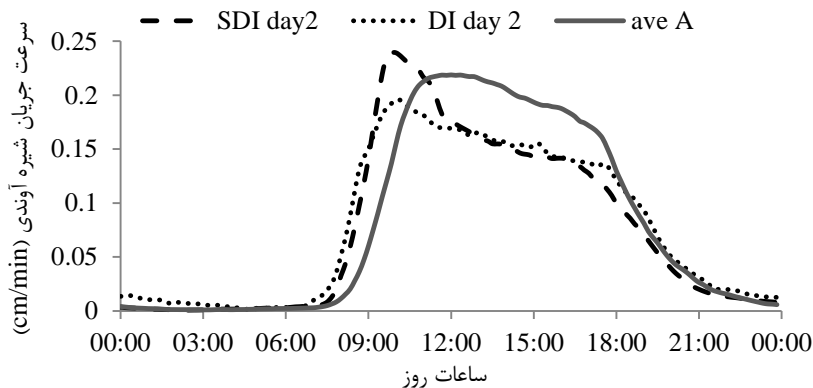
C.V.	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
	۰/۱۹۸**	۱	سامانه آبیاری
	۰/۴۲۶**	۱۱	روز
۳۰/۸	۰/۰۴۶*	۱۱	سامانه آبیاری* روز
	۰/۲۹۲**	۲	تکرار
	۰/۰۱۹	۴۶	خطا

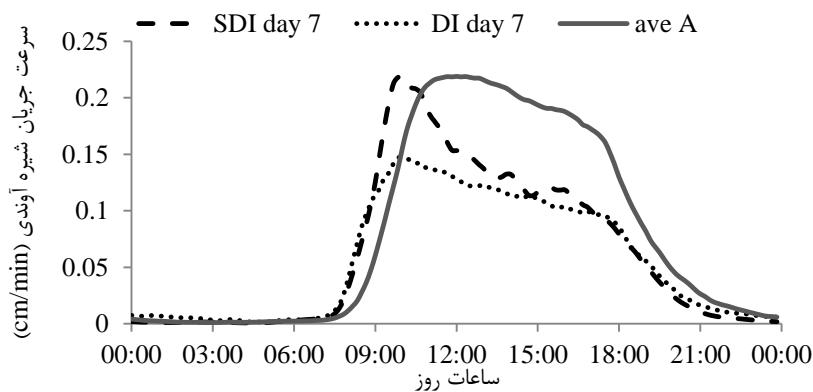
** معنی‌داری در سطح ۱٪، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ns غیر معنی‌دار

جریان شیره آوندی

(۲۰۰۳) و توکتی و همکاران (۲۰۰۴) نیز مشاهده شد که بیشینه مقدار جریان شیره آوندی در درختان دیم زودتر از درختان تحت آبیاری رخ می‌دهد. به‌علاوه، نتایج نشان داد که حداکثر شدت جریان شیره آوندی (SF) در SDI بیشتر از دو سامانه دیگر می‌باشد که با گذشت زمان کاهش شدیدی در آن مشاهده می‌شود. بالا بودن سرعت شیره آوندی در ابتدای روز می‌تواند تابعی از ویژگی‌های گیاهی از جمله ذخیره آب در ریشه‌ها و ساقه، شدت بالای تعرق در ابتدای روز، تعداد زیاد برگ‌ها و... باشد؛ اما ادامه آن تابعی از فراهمی آب خاک برای گیاه می‌باشد و به همین دلیل است که درختان خوب آبیاری شده در طول روز SF بیشتری نسبت به دو تیمار دیگر دارد. با مقایسه سه نمودار مشاهده می‌شود که با دور شدن از آبیاری اختلاف بین جریان شیره آوندی DI و SDI با تیمار A افزایش می‌یابد و نمودار مربوط به SDI در سطح بالاتری نسبت به DI قرار گرفته می‌گیرد که به وضوح نشان‌دهنده مزیت SDI است.

با توجه به اینکه جریان شیره آوندی در طول ۲۴ ساعت روز برای دوره آزمایش اندازه‌گیری شده است، میانگین تغییرات آن در سامانه‌های متفاوت برای سه دوره در روز دو، پنج و هفت بعد از آبیاری در شکل ۷ رسم شده است. این نتایج نشان می‌دهد که در طول روز جریان شیره آوندی به دلیل تعرق افزایش می‌یابد و در طول شب تقریباً به صفر می‌رسد. شروع صعود شیره آوندی برای تیمار DI و SDI زودتر از تیمار A آغاز می‌شود که به دلیل بیشتر بودن پتانسیل آب ساقه در درختان خوب آبیاری شده (نتیجه‌ای از شوری کمتر و رطوبت بیشتر خاک) است. به عبارت بهتر با طلوع خورشید و باز شدن روزنه‌ها تعرق انجام شده و پتانسیل آب ساقه کاهش می‌یابد و از آنجایی که در تیمار A پتانسیل آب ساقه در مقدار بیشتری قرار دارد، شیب پتانسیل ایجاد شده با اختلاف زمانی بیشتری نسبت به دو تیمار دیگر به ریشه می‌رسد. در تحقیق رمورینی و مازای





شکل ۷- تغییرات متوسط سرعت جریان شیره آوندی در طول ۲۴ ساعت در تیمارهای آزمایشی در سه روز مختلف پس از آبیاری (روز ۲، ۵، ۷)

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس تاثیر سامانه‌های آبیاری و زمان بعد از آبیاری بر شاخص‌های جریان شیره آوندی

میانگین مربعات			مجموع جریان ۲۴ ساعته (cm)	درجه آزادی	منابع تغییر
SF میانگین روز (۱۲-۱۴) (cm/min)	SF روزانه (۶-۲۰) (cm/min)	SF ۲۴ ساعته (cm/min)			
۰/۰۰۱۵*	۰/۰۰۹۴**	۰/۰۰۹۴۷ ^{ns}	۱۹۶/۱ ^{ns}	۱	سامانه آبیاری
۰/۰۰۰۷۶**	۰/۰۰۰۴۸**	۰/۰۰۰۲۱**	۴۳۵/۳**	۲۳	روز
۰/۰۰۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۶۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۶۲/۳ ^{ns}	۲۳	سامانه آبیاری* روز
۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۰۰۷۱	۰/۰۰۰۰۳	۶۲/۵	۴۸	خطا
۱۱/۱	۷/۷	۸/۱	۸/۱		ضریب تغییرات

** معنی‌داری در سطح ۱٪، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} غیر معنی‌دار

پتانسیل ایجاد شده در طول روز را با ادامه فرایند جذب احیا می‌کند و از این رو اختلاف میانگین سرعت ۲۴ ساعته بین دو سامانه آبیاری کاهش می‌یابد. این نتیجه در راستای نتایج به دست آمده توسط سایر محققان می‌باشد. فوئتنس و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که شدت سرعت شیره آوندی در طول شب در ارتباط با وضعیت رطوبتی گیاه در روز قبل و فراهمی آب خاک می‌باشد. لویز-برنال و همکاران (۲۰۱۰) افزایش نسبت سرعت شیره آوندی شبانه به روزانه را با فراهمی آب خاک در ارتباط دانستند.

ویژگی‌های کمی و کیفی پسته

در آخر فصل رشد و در زمان برداشت محصول اندازه‌گیری‌های مربوطه به ویژگی‌های کمی و کیفی پسته انجام گرفت که تجزیه واریانس در جدول ۶ و مقایسات میانگین آن در جدول ۷ آورده شده است.

نتایج تجزیه تحلیل آماری میانگین جریان شیره آوندی در ساعات مختلف روز در جدول ۵ آمده است. بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) مقدار و سرعت جریان شیره آوندی در روزهای مختلف، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. دو سامانه آبیاری DI و SDI بر مجموع جریان ۲۴ ساعته و همچنین میانگین سرعت جریان در ۲۴ ساعت تأثیر معنی‌داری نداشته اما باعث اختلاف معنی‌دار متوسط سرعت جریان در طول روز و در میانه روز شده است. این نتیجه به این معنی می‌باشد که تغییر توزیع رطوبت و شوری در نتیجه جابه‌جایی قطره‌چکان‌ها از سطح به عمق خاک باعث تطابق بهتر الگوی جذب آب ریشه با فراهمی آب خاک می‌شود. در نتیجه گیاه در زمانی که شدت جذب بالاست (در طول روز) بهتر می‌تواند آب مورد نیاز خود را از خاک جذب نماید و سرعت جریان شیره آوندی به‌طور معنی‌داری تغییر می‌یابد؛ اما در طول شب، گیاه افت

جدول ۶- جدول تجزیه واریانس خصوصیات کیفی پسته

میانگین مربعات				درجه آزادی	منبع تغییرات
وزن ۱۰ عدد	انس پسته*	درصد پوکی	درصد خندانی		
۶۹/۱۷*	۸۰/۷۸*	۱۱۳/۷۷ ^{ns}	۳۱/۰۰۸ ^{ns}	۲	سامانه آبیاری
۴۴/۷	۵۵/۳	۱۳۶۹	۳۶۶/۳	۶	خطا

* انس پسته یعنی تعداد پسته در یک انس معادل ۲۸/۳۵ گرم

جدول ۷- مقایسه میانگین خصوصیات کیفی پسته در تیمارهای آبیاری

وزن ۱۰ عدد پسته	انس پسته	درصد پوکی	درصد خندانی	سامانه آبیاری
۲۱/۱۴ ^a	۱۴ ^a	۷/۵ ^a	۵۱/۷ ^a	آب غیرشور (A)
۱۶/۶ ^{ab}	۱۸/۳ ^{ab}	۲/۲ ^a	۴۰/۷ ^a	قطره‌ای سطحی (DI)
۱۱/۵ ^{bc}	۳۴/۳ ^{bc}	۸ ^a	۵۱ ^a	قطره‌ای زیرسطحی (SDI)

معنی‌داری را بر توزیع رطوبت و شوری اعمال نکرده‌اند، اختلاف معنی‌داری در درصد پوکی مشاهده نشد. سایر تحقیقات انجام شده نشان داده است که کاهش حجم آب آبیاری باعث افزایش انس و کاهش درصد خندانی پسته‌ها می‌گردد (سیفی و همکاران، ۱۳۹۳ الف). صداقتی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کرده‌اند که افزایش مقدار آب آبیاری 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. نتیجه به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که در SDI اندازه پسته‌ها کوچکتر شده است که می‌تواند عواملی غیر از عوامل رطوبت و شوری همانند ژنتیک درخت، تنش‌های گذشته و یا کود دهی بوده باشد.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری‌ها نشان داد که در عمق حدود ۸۰ سانتی‌متری یک لایه سخت با مقاومت بسیار بالا حضور داشت که امکان نفوذ ریشه به لایه‌های زیرین را محدود کرده بود؛ بنابراین منبع اصلی تامین رطوبت گیاه از لایه‌های سطحی خاک و آب آبیاری بوده است و از این رو تغییر سامانه آبیاری توانست پاسخ‌های گیاهی را تحت تاثیر قرار دهد. دمای تاج گیاه و اختلاف دمای تاج گیاه با اتمسفر با اینکه در روزهای مختلف بعد از آبیاری به طور معنی‌دار تغییر می‌کردند، اما بین دو سامانه اختلاف معنی‌داری

مشاهده می‌شود که درصد خندانی و درصد پوکی پسته در SDI مشابه با سامانه آب غیرشور می‌باشد اما در DI درصد خندانی و درصد پوکی کمتری هم دارد. آنالیز آماری انجام شده نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سامانه‌های مختلف آبیاری از نظر درصد خندانی و درصد پوکی وجود ندارد؛ اما انس پسته و وزن ۱۰ عدد پسته در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. بر اساس مقایسات میانگین انجام شده، از نظر دو شاخص کیفی معنی‌دار شده SDI اختلاف معنی‌داری با A دارد اما DI با SDI و A اختلاف معنی‌داری ندارد؛ به عبارت دیگر تغییر سامانه آبیاری تاثیری در درصد خندانی و پوکی پسته‌ها نداشته است اما باعث کاهش وزن پسته‌ها و یا افزایش تعداد پسته در یک انس شده است.

حکم‌آبادی (۱۳۹۲) بیان کرد که پدیده پوکی یا در زمان تشکیل میوه یا در زمان پر شدن میوه به وقوع می‌پیوندد. در زمان تشکیل میوه هنگامی که گرده افشانی انجام می‌گیرد، اما تلقیح به دلایلی همچون عدم رشد لوله گرده تا رسیدن به تخمک و همچنین از بین رفتن تخمک در زمان نزدیک شدن لوله گرده با مشکل روبه‌رو می‌شود پوکی اتفاق می‌افتد. در هنگام پر شدن میوه نیز در زمان نمو مغز پوکی می‌تواند رخ دهد که در این حالت جنین‌های تلقیح شده قادر به رشد و نمو و پر کردن میوه نیستند. در این تحقیق با توجه به اینکه در زمان تشکیل میوه که اوایل فصل رشد است و سامانه‌های آبیاری اعمال شده تأثیرات

اندازه‌گیری شده بود، نیز نشان داد که اختلاف بین دو سامانه آبیاری در طول روز و در زمان اوج تنش معنی‌دار می‌شود. با توجه به اینکه حجم آب آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برابر بود، تغییرات معنی‌دار مشاهده شده در نتیجه چگونگی توزیع رطوبت و املاح در این دو سامانه آبیاری می‌باشد. در کل نتیجه‌گیری می‌شود که توزیع مناسب رطوبت و شوری در سامانه SDI، با بهبود شرایط جذب آب برای گیاه، باعث افزایش جریان شیره آوندی، افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش دمای کانوپی و CWSI شده است، لذا استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از نقطه نظر توزیع مناسب رطوبت و شوری و تامین بهینه نیاز رطوبتی گیاه، برای درختان پسته توصیه می‌گردد.

نداشتند. مشاهده شد که در سامانه DI بعد از روز چهارم و در سامانه SDI بعد از روز ششم تغییرات دمای تاج گیاهی معنی‌دار شده است. شاخص CWSI با نرمال سازی دمای تاج گیاهی نسبت به اثرات محیطی همانند تابش و همرفت، تنش رطوبتی موجود در هر روز را به خوبی نشان داد به نحوی که براساس این شاخص اختلاف بین دو سامانه آبیاری در تامین نیاز رطوبتی گیاه آشکار شده و از نظر آماری معنی‌دار گردید. این نتایج نشان می‌دهد که CWSI یک شاخص مناسبی از وضعیت رطوبتی گیاه است.

هدایت روزنه‌ای از دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده بود که به‌خوبی پاسخ گیاه را به فراهمی آب خاک نشان داد. این پارامتر علیرغم نوسانات بالای اندازه‌گیری، به صورت معنی‌داری بین دو سامانه آبیاری تغییر کرد و در نتیجه مشخص شد که در SDI مقدار هدایت روزنه‌ای بیشتر از DI است. جریان شیره آوندی که به صورت پیوسته

فهرست منابع

۱. حاج محمدنیا قالی باف، ک. و سلاح ورزی، ی. ۱۳۹۱. پاسخ های فیزیولوژیک گیاه کالارگراس (*Leptochloa fesca L. kunth*) به تنش های ترکیبی خشکی و شوری در شرایط کنترل شده. تنش های محیطی در علوم زراعی. جلد ۴. شماره ۲. صفحات ۱۰۵-۱۱۵.
۲. حکم آبادی، ح. ۱۳۹۲. بررسی برخی عوامل موثر در پوکی میوه پسته. ماهنامه تخصصی پسته. شماره ۸۹. سال پنجم. تیرماه ۹۲. صفحه ۳۴.
۳. سعیدی نیا، م.، برومند نسب، س.، هوشمند، ع.، سلطانی محمدی، ا. و اندرزیان، ب. ۱۳۹۵. قابلیت کاربرد شاخص CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت با آب شور در اهواز. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۶. شماره ۱. صفحات ۱۷۳-۱۸۵.
۴. سیفی، ا.، میرلطفی، س.م.، دهقانی سانج، ح.، ترابی، م. ۱۳۹۳ الف. تأثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغهای پسته تحت شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: شهرستان سیرجان استان کرمان). آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۸. شماره ۴. صفحات ۷۸۶-۷۹۹.
۵. سیفی، ا.، میرلطفی، س.م.، دهقانی سانج، ح.، ترابی، م. ۱۳۹۳ ب. تعیین شاخص تنش آب برای درختان پسته تحت روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از اختلاف دمای تاج گیاه و هوا. مدیریت آب و آبیاری. دوره ۴. شماره ۱. صفحات ۱۲۳-۱۳۶.
۶. 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 (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶. شماره ۳. صفحات ۵۷۵-۵۸۵.

۷. گنجی خرم دل، ن. و کیخایی، ف. ۱۳۹۵. مقایسه تغییرات رشد و عملکرد محصول درختان بارور پسته در گذار از آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای در ساوه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۰. شماره ۱. صفحات ۳۹-۴۹.
۸. موسی نژاد، م.، نقوی، ه. و شیرخانی، ن. ۱۳۹۴. نقش عناصر غذایی در بازدهی باغات پسته. مرکز تحقیقات کشاورزی استان کرمان.
۹. میلانی، ا.ع.، نیشابوری، م.ر. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص‌های LLWR و IWC در سطوح مختلف شوری خاک با استفاده از سرعت صعود شیره آوندی در درخت بادام. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز. ۲۴۱ صفحه.
10. Aboukila, E.F. and Norton, J.B. 2017. Estimation of saturated soil paste salinity from soil water extracts. *Soil Science*. 182: 107-113.
11. Ayars, J., Phene, C., Hutmacher, R., Davis, K., Schoneman, R., Vail, S. and Mead, R. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*. 42(1): 1-27.
12. Batchelor, C., Lovell, C. and Murata, M. 1996. Simple microirrigation techniques for improving irrigation efficiency on vegetable gardens. *Agricultural Water Management*. 32: 37-48.
13. Beets, W. 2009. Detecting and monitoring vegetation water stress using remote sensing tools in Saratov region, Russia. MSc Thesis, Moscow State University of Environmental Engineering.
14. Brar, G., Kar, S. and Singh, N.T. 1990. Photosynthetic response of wheat to soil water deficits. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 164: 343-348.
15. Braud, H.J., Adams, A., Brown, R. and Schmitz, F. 1965. Subirrigation: a new look at an old method. *Louisiana. Agriculture*. 8: 6-7.
16. Camp, C. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Transactions of the ASAE*: 41(5): 1353.
17. Chen, W., Jin, M., Ferré, T.P., Liu, Y., Xian, Y., Shan, T. and Ping, X. 2018. Spatial distribution of soil moisture, soil salinity, and root density beneath a cotton field under mulched drip irrigation with brackish and fresh water. *Field Crops Research*. 215: 207-221.
18. Cowan, I. R. 1977. Stomatal behavior and environment. *Advances in Botanical Research* 4: 117-228.
19. Esmaeilpour, A., Van Labeke, M.-C., Samson, R. and Van Damme, P. 2015. Osmotic stress affects physiological responses and growth characteristics of three pistachio cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum*. 37(6): 123.
20. Flexas, J., and Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3- plants: stomatal and nonstomatal limitation revisited. *Annals of Botany*. 183: 183-189
21. Fuentes, S., Mahadevan, M., Bonada, M., Skewes, M.A. and Cox, J.W. 2013. Night-time sap flow is parabolically linked to midday water potential for field-grown almond trees. *Irrigation Science*. 31(6): 1265-1276.
22. Hanson, B. and May, D. 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*. 68: 1-17.
23. Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, J.R., Reginato, R.J. and Hatfield, J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*. 24: 45-55.
24. Kandelous, M.M. and J. Šimůnek. 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.

25. Karlberg, L. and de Vries, F.W.P. 2004. Exploring potentials and constraints of low-cost drip irrigation with saline water in sub-Saharan Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 29: 1035-1042.
26. Khorsandi, F. and Yazdi, F.A.. 2011. Estimation of saturated paste extracts' electrical conductivity from 1: 5 soil/water suspension and gypsum. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 42: 315-321.
27. Klute, A. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Klute, A. (ed.), *Methods of soil analysis: part 1: Physical and mineralogical methods*. Agronomy monograph vol 9, 2nd edn. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. p. 687–732.
28. Knudsen, D. and Peterson, G.A. 1982. Lithium, sodium, and potassium. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.), *Methods of Soil Analysis part 2, 2nd ed., Chemical and microbiological properties*. Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 225–246.
29. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1 – Physical and Mineralogical Methods*. Lewis Publishers. Madison, WI. pp. 383–411.
30. Granier, A., 1985. A new method of sap flow measurement in tree stems. *Annales des Sciences Forestieres (France)*.
31. López-Bernal A., Alcántara E., Testi L., and Villalobos F.J. 2010. Spatial sap flow and xylem anatomical characteristics in olive trees under different irrigation regimes. *Tree Physiology* 30: 1536–1544.
32. Lu, P., Urban, L. and Zhao, P. 2004. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. *Acta Botanica Sinica-english edition*. 46(6): 631-646.
33. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabaei, C.T. Johnson and M.E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Serie 5. SSSA, Madison, WI, USA. pp. 967-1010.
34. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis part 2, 2nd ed., Chemical and microbiological properties*. Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 181–197.
35. Olsen, S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis part 2, 2nd ed., Chemical and microbiological properties*. Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 403–430.
36. Oren, R., Philips, N., Ewers, B.E., Pataki, D.E. and Megonigal, J.P. 1999. Sap-flux scaled transpiration responses to light, vapour pressure deficit, and leaf area reduction in a flooded *Taxodium distichum* forest. *Tree Physiol*. 19: 337–347.
37. Remorini, D. and Massai, R. 2003. Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrigation Science*. 22: 39–46.
38. Roy, S. and Ophori, D. 2014. Estimation of crop water stress index in almond orchards using thermal aerial imagery. *Journal of Spatial Hydrology*. 12(1): 29-43.
39. Sanden, B. 2016. Water use of pistachio and salinity effects. *Crop Water Stress Conference, CSU Fresno Center for Irrigation Technology*. February 23, 2016.
40. Sanden, B. L., Ferguson, L., Reyes, H. C. and Grattan, S. R. 2004. Effect of salinity on evapotranspiration and yield of San Joaquin Valley pistachios. *Acta Horticulturae*. 664: 583–589.
41. Selim, T., Berndtsson, R. and Persson, M. 2013. Simulation of soil water and salinity distribution under surface drip irrigation. *Irrigation and Drainage*. 62: 352-362.
42. Singh, J. and Patal, A. 1996. Water status, gaseous exchange, proline accumulation and yield of wheat in response to water stress. *Annals of Biology (Ludhiana)*. 12: 77-81.

43. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Summer, M.E. 1996. Methods of soil analysis. Part 3 chemical methods. Soil Science Society of America Inc, Madison.
44. Testi, L., Goldhamer, D., Iniesta, F. and Salinas, M. 2008. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*. 26: 395-405.
45. Tognetti, R., diAndria, R., Morelli, G., Calandrelli, D. and Fragnito, F. 2004. Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk sap flow and leaf water relations in olive trees. *Plant and Soil*. 263: 249–264.
46. Tuzet, A., Perrier, A. and Leuning, R. 2003. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. *Plant, Cell and Environment* 26(7): 1097–1116.
47. Zhao, G.Q., Ma, B.L. and Ren, C.Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Science*. 47: 123-131.