



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷
صفحه‌های ۸۴-۶۹

همبستگی شاخص‌های تنش مبتنی بر دمای پوشش گیاهی با وضعیت آب خاک در درخت بادام تحت تنش هم‌زمان خشکی و شوری

اژدر غنّابی میلانی^{۱*}، محمد زرین‌بال^۲

۱. استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.
۲. مربی پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۴

چکیده

دمای پوشش گیاهی روشی است که بدون نیاز به نمونه‌برداری و به‌صورت سنجش از دور توانایی پایش وضعیت آب گیاه را دارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر توأم تنش آبی و شوری بر شاخص‌های تنش آبی درخت بادام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح شوری آب، شامل آب چاه با شوری $2^{ds/m}$ (T_1)، و آب‌های شور با همان ترکیب آب چاه $4^{ds/m}$ (T_2) و $5^{ds/m}$ (T_3) در سه تکرار در خاکی با بافت شن لومی در استان آذربایجان شرقی و در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. در طول فصل رشد دمای تاج درخت (T_c)، دمای هوا (T_a)، رطوبت نسبی هوا و رطوبت خاک (SWC) تا عمق ۷۰ سانتی‌متر در نیم‌روز (ساعت ۱۲ تا ۱۴) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری ($P < 0/01$) بر دمای تاج درخت، اختلاف دمای تاج درخت و هوا ($T_c - T_a$) و تخلیه آب قابل استفاده (AWD) خاک داشت. ارتباط معنی‌داری ($P < 0/01$) بین $T_c - T_a$ ، T_c و SWC حاصل شد. حد آستانه‌ای T_c برای شروع تنش، در تیمارهای T_1 تا T_3 به ترتیب ۳۱/۶، ۳۰/۳ و ۲۸/۴ درجه سلسیوس بود. SWC برای این دماهای تاج، به ترتیب ۸/۷۰، ۱۱/۰۱ و ۱۴/۰۷ درصد بود. وجود همبستگی قوی ($P < 0/01$) بین T_c با شاخص‌های تنش مبتنی بر وضعیت آب خاک نشان داد که می‌توان از T_c به‌عنوان ابزاری کارآمد برای پایش وضعیت آبی درخت بادام به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری دقیق استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی آبیاری، تخلیه آب قابل استفاده، رطوبت خاک، روابط آبی گیاه، کمبود فشار بخار.

مقدمه

بادام (*Prunus dulcis*) با ۲۰۰ هزار هکتار پنجمین محصول باغی کشور از نظر سطح زیر کاشت و تولید ۳۰۵ هزار تن دومین محصول باغی میوه خشک بعد از پسته می‌باشد (۱). این گیاه جایگاه مهمی در بین محصولات باغی شمال غرب کشور دارد (۳۳). بادام سازگاری خوبی به کمبود آب دارد (۳۲)، ولی عملکرد آن در شرایط بدون محدودیت به طور معنی داری افزایش می‌یابد به طوری که عملکرد اقتصادی آن تا ۱۰ برابر نسبت به شرایط دیم قابل افزایش است (۱۸). در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک، محدودیت آب مهم ترین عامل محدودکننده افزایش تولید بادام است و بنابراین آبیاری دقیق و کم آبیاری یکی از روش های قابل اعتماد جایگزین برای تولید مناسب این محصول می‌باشد (۴۰). ویژگی های رطوبتی خاک سالیان متمادی است که به عنوان شاخصی از تنش آبی گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است. اما در سال های اخیر تأکید بر استفاده از شاخص های مبتنی بر خود گیاه است که از آن جمله می‌توان به پتانسیل آب ساقه و مقاومت روزنه ای گیاه اشاره کرد که در بسیاری از گیاهان به عنوان وسیله ای برای برنامه ریزی آبیاری استفاده می‌شوند (۳۱). اما این اندازه گیری ها به زمان و نیروی کار مزرعه ای زیادی نیاز دارند (۱۴). بنابراین برای تنظیم برنامه ریزی آبیاری خودکار به شاخص های جایگزین دیگری که به وضعیت آبی گیاه وابسته بوده و به طور مستقیم قابل اندازه گیری باشد نیاز است. یکی از این شاخص ها دمای پوشش گیاهی^۱ (T_c) می‌باشد. دمای پوشش گیاهی نشانگر تنش آبی بوده و قویاً به میزان تعرق گیاه وابسته است (۱۳). استفاده از دمای پوشش گیاهی برای تشخیص تنش آبی گیاهان بر این فرض استوار است که تعرق آب از برگ ها

باعث می‌شود که دمای آنها نسبت به هوای اطراف خنک تر شوند. زمانی که آب محدود می‌شود، هدایت روزنه ای و به تبع آن تعرق کاهش یافته و درجه حرارت برگ ها به علت جذب بیش تر تابش خورشیدی نسبت به هوای اطراف افزایش می‌یابد (۲۷). بنابراین اندازه گیری امواج مادون قرمز منتشر شده از پوشش سبز گیاه، می‌تواند به عنوان شاخصی از تنش آبی مورد استفاده قرار گیرد (۲۶ و ۲۸). برخی از پژوهش ها از ارتباط بین دمای پوشش گیاهی و پتانسیل آب گیاه پشتیبانی کردند (۹ و ۱۹).

با توسعه دماسنج های مادون قرمز، پژوهش در زمینه ارتباط دادن دمای پوشش گیاهی به آب قابل استخراج خاک به طور فزاینده ای افزایش پیدا کرد (۲۰). در این زمینه جکسون و همکاران (۲۵) ارتباط دمای پوشش گیاهی را با آب قابل استخراج خاک بررسی کرده و ارتباط معنی داری بین آن دو به دست آوردند. ریکوسکی و همکاران (۳۸) نتیجه گرفتند که دمای پوشش گیاهی در زمان بیش ترین تابش خورشیدی در تیمار دیم پنج درجه سلسیوس بیش تر از تیمار آبیاری شده می‌باشد. هتفیلد (۱۹) نیز نتیجه مشابهی در گیاه سورگوم بدست آورد. براساس نظر گاردنر و همکاران (۱۶) با کاهش فراهمی آب خاک، انحراف استاندارد دمای پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. در پژوهش فوکس و تانر (۱۲) اختلاف دمای پوشش سبز گیاهان تحت فراهمی مختلف آب خاک، برای ایجاد شاخصی از شدت تنش مورد استفاده قرار گرفت. سنجش دمای پوشش گیاهی با استفاده از دماسنج های مادون قرمز یا دوربین های حرارتی نشانگر توانایی بالقوه خوبی برای برآورد وضعیت آبی گیاه در درختان مختلف می‌باشد (۳، ۳۷ و ۸). بزرگ ترین مزیت این روش عدم نیاز به نمونه گیری های تخریبی (۲۴) و امکان اندازه گیری از طریق دورسنجی است (۶).

اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا برای استفاده

1. Canopy temperature

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

همبستگی شاخص‌های تنش مبتنی بر دمای پوشش گیاهی با وضعیت آب خاک در درخت بادام تحت تنش هم‌زمان خشکی و شوری

تنش در درختان اندک است. هدف از پژوهش بررسی تغییرات دمای تاج درخت بادام در طول فصل رشد و تأثیر تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر آن و همچنین یافتن ارتباط دمای تاج درخت با وضعیت رطوبت خاک در درخت بادام و تأثیر شوری بر آن بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه باغبانی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی واقع در جنوب غربی تبریز ($37^{\circ} 55' 43''$ و $45^{\circ} 57' 29''$ طول شرقی و عرض شمالی، ارتفاع ۱۳۲۷ متر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار بر روی درختان جوان (۷ ساله) بادام رقم آذر^۱ که بر روی پایه رویشی جی اف ۲۶۷۷ پیوند شده و به فاصله ۴×۵ متر کاشته شده‌اند در سال ۱۳۹۳ به انجام رسید. هر تیمار شامل ۳ درخت بود که برای کاهش خطای تأثیر اندازه درخت بر صفات مورد اندازه‌گیری، سعی گردید درختان انتخابی دارای قطر و سایه‌انداز یکسانی باشند. رقم آذر از ارقام برتر تجاری بادام بوده و دارای قدرت رشد بالایی است. دیرگل بودن این رقم باعث شده است که جایگاه ویژه‌ای بین ارقام بادام منطقه داشته باشد. پایه جی اف ۲۶۷۷ دورگ بین بادام و هلو می‌باشد که قوی و تنومند بوده و به صورت غیرجنسی و رویشی تکثیر می‌شود، در مقابل کمبود آهن مقاوم بوده (۱۱) و به‌ویژه برای خاک‌های با حاصلخیزی کم (۷)، مقدار آب قابل استفاده پایین و آهک زیاد (۴۴) مناسب است. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای پژوهش به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

تیمارهای شوری شامل آبیاری با آب چاه با شوری ۲

بالمقوه در مدیریت کم آبیاری باغ هلو توسط وانگ و گارتونگ (۴۳) با به‌کارگیری رطوبت خاک و پتانسیل آب ساقه تصحیح شد. گارسیا-تیجرو و همکاران (۱۴) نتیجه گرفتند که تغییرات اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا ($T_c - T_a$) روش مفیدی برای تعیین تنش آبی درخت مرکبات می‌باشد. آنها همچنین نتیجه گرفتند که $T_c - T_a$ نسبت به پتانسیل آب ساقه و هدایت روزنه‌ای حساسیت بیشتری به تنش آبی دارد. در پژوهشی بر روی بادام بین تیمارهای کم آبیاری و آبیاری کامل اختلاف معنی‌داری در دمای پوشش گیاهی حتی بیش‌تر از پتانسیل آب ساقه و هدایت روزنه‌ای مشاهده گردید (۱۵). در درخت بادام و گردو مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی به روش گام به گام برای ارتباط دادن دمای تاج درخت به وضعیت آب آن و داده‌های میکروکلیمایی ایجاد گردید که ضریب تبیین آن برای بادام و گردو به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۸۳ بود. از این مدل‌ها برای تفکیک درختان تحت تنش و غیرتنش استفاده گردید (۸).

اطلاع از عکس‌العمل گیاه نسبت به شرایط محیطی، عامل کلیدی برای برنامه‌ریزی و بهبود آبیاری است. به‌طور مرسوم عمدتاً از اندازه‌گیری متغیرهای خاکی و آب و هوایی برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده می‌شود. اما استفاده از شاخص‌های تنش آبی مبتنی بر گیاه برای کاهش خطرات از بین رفتن محصول و یا صدمه دیدن درختان در اثر تنش آبی به‌طور گسترده در چندین نوع گیاه مطالعه شده است. چراکه شاخص‌های مبتنی بر گیاه اثرات تجمیعی شرایط خاک، گیاه و آب و هوا را نشان می‌دهند (۴۱).

برخی از پژوهش‌ها در مورد تأثیر تنش خشکی و شوری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی صورت گرفته است (۴۰ و ۳۶) اما معمولاً تنش‌های اعمال شده به‌صورت جداگانه بوده است و مطالعه در مورد تأثیر توأم این دو

1. *Prunus dulcis* (Mill.) cv. Azar
2. GF677

درصد کاهش عملکرد) انتخاب گردد ولی با توجه به اینکه بادام به شوری حساس است (آستانه تحمل آن ۱/۵ دسی‌زیمنس بوده و شیب کاهش عملکرد به ازای واحد شوری ۱۹ درصد است (۳۰)) و از طرف دیگر به‌خاطر هدف پژوهش که می‌بایست تخلیه رطوبتی خاک تا محدوده نقطه پژمردگی دائم ادامه یابد، برای اجتناب از صدمه احتمالی گیاه به‌جای ۶، ۵ دسی‌زیمنس بر متر (شوری معادل ۶۷ درصد کاهش عملکرد) انتخاب گردید. ویژگی‌های آب سه تیمار شوری در جدول ۳ آمده است.

(T₁)، آب لب‌شور با شوری ۴ (T₂) و آب شور با شوری ۵ (T₃) دسی‌زیمنس بر متر بود. آب لب‌شور و شور براساس روش علی اصغرزاد (۲) با حل کردن نمک‌های مختلف در آب حاصل از چاه ایستگاه به‌طوری‌که ترکیب یونی شبیه آب چاه منطقه باشد تهیه گردید. با توجه به اینکه آب چاه موجود در ایستگاه دارای شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود، مقرر شد که برای تیمارهای شورتر، شوری‌های ۴ (شوری معادل ۴۸ درصد کاهش عملکرد) و ۶ دسی‌زیمنس بر متر (شوری معادل ۸۵

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	واکنش گل اشیاع	مواد خنثی‌شونده (%)	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)
۰-۲۰	۳/۰۴	۷/۵۷	۳/۵	۰/۴۷	۰/۰۵	۱۴/۲	۴۱۹
۲۰-۴۰	۲/۱۲	۷/۸۶	۲/۰	۰/۲۷	۰/۰۳	۳/۴	۱۹۲
۴۰-۹۰	۱/۴۵	۸/۰۳	۲/۰	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۶	۱۱۵

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی خاک محل اجرای پژوهش

عمق (cm)	درصد اشیاع	تجزیه مکانیکی			چگالی ظاهری		رطوبت وزنی (%)	
		شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت	(kg m ⁻³)	PWP (1.5MPa)	FC (0.03MPa)
۰-۲۰	۲۵	۸۷	۸	۵	شن لومی	۱/۵۴	۹/۹	۴/۳
۲۰-۴۰	۲۱	۸۸	۷	۵	شنی	۱/۶۳	۷/۵	۴/۴
۴۰-۹۰	۲۱	۸۹	۶	۵	شنی	۱/۵۸	۸/۳	۴/۱

جدول ۳. ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری در تیمارهای مختلف

تیمار	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	pH	Meq l ⁻¹							
			کربنات (CO ₃ ²⁻)	بیکربنات (HCO ₃ ⁻)	کلر (Cl ⁻)	سولفات (SO ₄ ²⁻)	آنیون‌ها	کلسیم + منیزیم (Mg ²⁺ + Ca ²⁺)	سدیم (Na ⁺)	مجموع کاتیون‌ها
T ₁	۲/۱۶	۷/۵۶	۰/۰	۳/۴	۹/۰	۹/۶	۲۲/۰	۱۶/۲	۵/۸	۲۲/۰
T ₂	۴/۳۳	۷/۴۹	۰/۰	۳/۶	۲۳/۰	۱۷/۴	۴۴/۰	۲۸/۶	۱۸/۶	۴۷/۲
T ₃	۵/۱۴	۷/۸۲	۰/۰	۴/۰	۲۸/۸	۱۸/۲	۵۱/۰	۲۶/۰	۲۵/۰	۵۱/۰

همبستگی شاخص‌های تنش مبتنی بر دمای پوشش گیاهی با وضعیت آب خاک در درخت بادام تحت تنش هم‌زمان خشکی و شوری

در این رابطه FC ، θ و PWP به ترتیب رطوبت گنجایش مزرعه‌ای، رطوبت اندازه‌گیری شده و رطوبت نقطه پژمردگی دائم می‌باشد. پتانسیل ماتریک خاک برای هر لایه از طریق معادله منحنی مشخصه رطوبتی به دست آمده از طریق مدل ون‌گنوختن (معادلات ۲ تا ۴ به ترتیب برای لایه‌های اول تا سوم) تعیین گردید.

$$\theta_{VG}(h) = \left[0.0656 + \frac{0.3162}{(1 + 0.0108h^{1.4669})^{0.3183}} \right] \quad (2)$$

$$R^2 = 0.994, P < 0.0001$$

$$\theta_{VG}(h) = \left[0.0713 + \frac{0.2649}{(1 + 0.0089h^{1.6165})^{0.3814}} \right] \quad (3)$$

$$R^2 = 0.993, P < 0.0001$$

$$\theta_{VG}(h) = \left[0.0635 + \frac{0.2889}{(1 + 0.0109h^{1.5726})^{0.3641}} \right] \quad (4)$$

$$R^2 = 0.991, P < 0.0001$$

در این روابط θ و h به ترتیب رطوبت برحسب متر مکعب بر متر مکعب و مکش خاک برحسب سانتی‌متر می‌باشد.

در طول پژوهش، دمای تاج درخت (T_c) با دستگاه دماسنج مادون قرمز دستی^۴ در بین ساعت ۱۲ تا ۱۴ از یک سوم میانی تاج (۴۲) با دقت یک درجه سلسیوس اندازه‌گیری گردید.

دمای هوا (T_a) و رطوبت نسبی (RH) در ارتفاع ۲ متری برای ساعت ۱۲ تا ۱۴، از ایستگاه هواشناسی موجود در ایستگاه باغبانی اخذ شده و از روی آن مقدار کمبود فشار بخار هوا^۵ (VPD) محاسبه گردید (۳۴).

$$VPD = \left(\frac{1 - RH}{100} \right) e_s \quad (5)$$

برای تعیین تأثیر تنش خشکی نیز سه درخت به عنوان شاهد انتخاب و تا پایان پژوهش به طور مرتب با فواصل تقریبی دو تا سه روز به عمق ۱۵۰ میلی‌متر با استفاده از کنتور آبیاری گردید (T_0) تا آب کافی برای تعرق در اختیار داشته باشند. این عمق آب از وجود رطوبت کافی در ناحیه ریشه برای عدم وجود تنش و همچنین آسویی نمک‌های ناحیه ریشه اطمینان کافی به دست می‌داد. علاوه بر آن برای مقایسه تأثیر تنش رطوبتی و شوری بر دمای تاج درخت از این درختان به عنوان درختان بدون تنش و درختانی که به طور کامل تعرق می‌کنند استفاده گردید.

از اواخر اردیبهشت‌ماه، بعد از آبیاری اولیه همه درختان اندازه‌گیری‌های دمای تاج درخت و رطوبت خاک شروع شد. برای بررسی تأثیر شوری بر ویژگی‌های آبی درخت و دیگر پارامترهای فیزیولوژیکی در رطوبت‌های مختلف خاک و همچنین بررسی اثر تنش شدید رطوبتی بر دمای تاج درخت، آبیاری‌های بعدی زمانی انجام گرفت که رطوبت خاک به نزدیکی نقطه پژمردگی (رطوبت حدود ۶ تا ۷ درصد حجمی) برسد و بر همین اساس تنها سه بار آبیاری در تاریخ‌های ۲۹ اردیبهشت، ۱۰ مرداد و ۲۰ شهریور انجام شد. آبیاری هر درخت به صورت تشتکی و در سایه‌انداز درخت صورت گرفت. رطوبت حجمی نیم‌رخ خاک^۱ (SWC) تا عمق ۲۰، ۴۰ و ۷۰ سانتی‌متری در سه نقطه از اطراف درخت با زاویه ۱۲۰ درجه به فاصله ۳۰ سانتی‌متری تنه درخت توسط TDR ^۲ اندازه‌گیری گردید و از روی آن مقدار تخلیه آب قابل استفاده^۳ خاک (AWD) برای اعماق فوق توسط رابطه زیر محاسبه شد:

$$AWD = \frac{FC - \theta}{FC - PWP} \times 100 \quad (1)$$

4. Raytek (Raynger STTM)
5. Vapor pressure deficit

1. Volumetric soil water content
2. Trase 6050 X1
3. Available water depletion

نتیجه رسیدند که شوری‌های مختلف خاک تا تخلیه ۸۰ درصد آب قابل استفاده تأثیری بر کاهش جذب آب توسط ریشه ندارند ولی در رطوبت‌های کمتر از آن باعث کاهش جذب آب می‌شوند.

با تبدیل رطوبت‌ها به مکش ماتریک مشخص شد که درختان در تیمارهای T_0 تا T_3 ، به‌طور میانگین در طول فصل به‌ترتیب تحت مکش ماتریک ۱۲، ۷۹، ۷۵ و ۵۷ کیلوپاسکال قرار داشته‌اند. علت پایین بودن مکش ماتریک در تیمار T_0 نسبت به تیمار T_1 آبیاری زیاد و علت پایین بودن مکش ماتریک در تیمارهای T_2 و T_3 شوری محلول خاک و فشار اسمزی بالا بوده است.

تخلیه آب قابل استفاده و تأثیر تیمارهای شوری بر آن

تأثیر تیمارهای شوری بر تخلیه آب قابل استفاده در سطح یک درصد معنی‌دار به‌دست آمد. تغییرات تخلیه آب قابل استفاده خاک در طول فصل رشد در شکل ۲ به‌عنوان نمونه برای عمق ۴۰-۰ سانتی‌متر ارائه شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود در بیش‌تر مواقع به‌جز تخلیه‌های کم، تخلیه رطوبتی در تیمار شور (T_3) کم‌تر از تیمارهای دیگر است. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) نیز این مطلب را تأیید می‌کند. با توجه به اینکه در رطوبت‌های بالا، اختلاف رطوبت خاک بین تیمارها معنی‌دار نبود (نتایج ارائه نشده است)، می‌توان چنین استدلال نمود که در رطوبت‌های کم (تخلیه‌های زیاد) به‌دلیل افزایش فشار اسمزی محلول خاک در تیمار شور، درخت قادر به جذب آب نیست و به همین جهت در این تیمار تخلیه رطوبتی کم‌تر از تیمارهای دیگر است. در پژوهش کلایتنبرگ و بیگار (۲۹) نیز گیاهانی که در شرایط شوری کم قرار داشتند نسبت به تیمار شور، آب بیش‌تری از خاک جذب کرده بودند.

در این رابطه VPD کمبود فشار بخار هوا (kPa)، RH رطوبت نسبی (%) و e_s فشار بخار اشباع (kPa) می‌باشد که از رابطه زیر به‌دست آمد (۳۵):

$$e_s = 0.6107 \times 10^{7.5T_a / (237.3 + T_a)} \quad (6)$$

نتایج به‌دست‌آمده از صفات مورد بررسی شامل دمای تاج درخت، اختلاف دمای تاج درخت با هوا، رطوبت خاک، پتانسیل آب خاک و تخلیه آب قابل استفاده برای تیمارهای مختلف شوری توسط نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه آماری قرار گرفت و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مقایسه گردیده و منحنی‌های همبستگی بین پارامترها توسط نرم‌افزار MS Excel رسم شد.

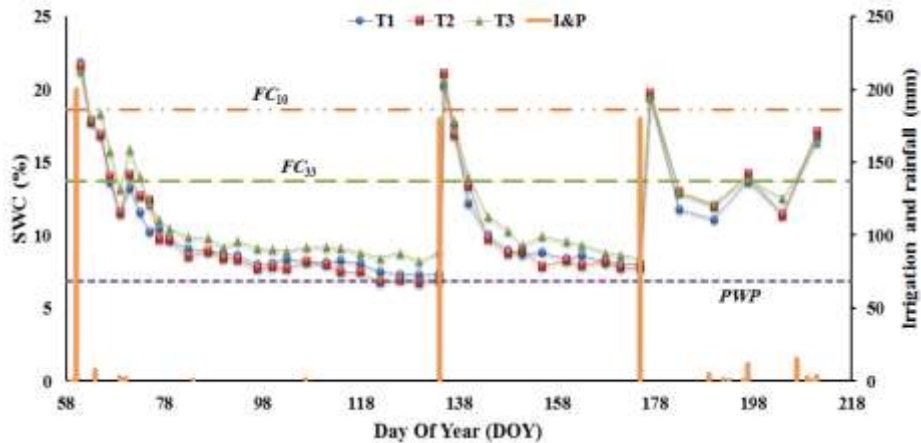
نتایج و بحث

توزیع رطوبت در ناحیه ریشه و تأثیر تیمارهای شوری بر آن

تیمارها تأثیر معنی‌داری بر رطوبت خاک در لایه‌های مختلف داشتند (جدول ۴). تغییرات رطوبت خاک (میانگین هر لایه) در طول فصل رشد اندازه‌گیری و ثبت گردید که به‌عنوان نمونه برای لایه ۴۰-۰ در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود در بیش‌تر مواقع به‌جز رطوبت‌های زیاد (چند روز بعد از آبیاری) رطوبت خاک در تیمار شور (T_3) بیش‌تر از تیمارهای دیگر بود. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) نیز این مطلب را تأیید می‌کند. در رطوبت‌های کم به‌دلیل افزایش فشار اسمزی محلول خاک در تیمار شور، ریشه درخت قادر به جذب آب کافی نبوده و به همین دلیل در این تیمار رطوبت باقیمانده در خاک بیش‌تر از تیمارهای دیگر است. قطبی‌زاده و سپاسخواه (۱۷) نیز در گیاه ویتور^۱ به این

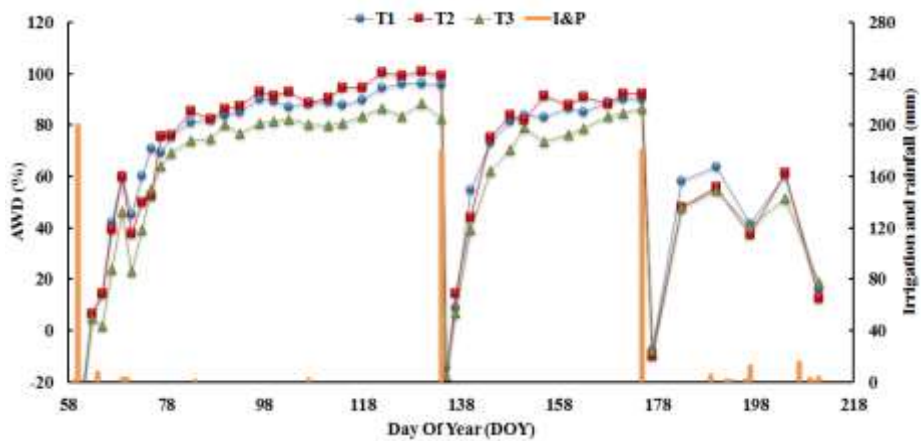
1. *Vetiveria zizanioides*

همبستگی شاخص‌های تنش مبتنی بر دمای پوشش گیاهی با وضعیت آب خاک در درخت بادام تحت تنش هم‌زمان خشکی و شوری



شکل ۱. تغییرات رطوبت خاک (میانگین عمق ۰-۴۰) در تیمارهای مختلف در طول فصل رشد.

T_1 : $۲dS m^{-1}$, T_2 : $۴dS m^{-1}$, T_3 : $۵dS m^{-1}$



شکل ۲. تغییرات تخلیه آب قابل استفاده خاک (میانگین ۰-۴۰) در تیمارهای مختلف شوری در طول فصل رشد.

T_1 : $۲dS m^{-1}$, T_2 : $۴dS m^{-1}$, T_3 : $۵dS m^{-1}$

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین صفات مورد اندازه‌گیری در تیمارهای مختلف

تیمار	T_c (°C)	T_c-T_a (°C)	رطوبت حجمی (%) در لایه‌های خاک (cm)					تخلیه آب قابل استفاده (%) در لایه‌های خاک (cm)				
			۰-۲۰	۲۰-۴۰	۴۰-۷۰	۰-۴۰	۰-۷۰	۰-۲۰	۲۰-۴۰	۴۰-۷۰	۰-۴۰	۰-۷۰
T_0	۲۹/۴۹ a	-۲/۴۴ a	۱۸/۱ a	۱۴/۱ a	۲۰/۵ a	۱۶/۲ a	۱۸/۱ a	۱۶/۲ a	۲۰/۵ a	۲۰/۶ c	۲۵/۰ c	
T_1	۳۱/۹۴ b	۰/۱۰ b	۱۰/۴ c	۱۱/۶ c	۱۲/۳ b	۱۱/۰ c	۱۱/۶ c	۱۱/۰ c	۱۲/۳ b	۷۵/۲ a	۵۴/۴ a	
T_2	۳۲/۶۹ c	۰/۸۳ c	۱۰/۷ bc	۱۱/۲ c	۱۱/۹ b	۱۱/۰ c	۱۱/۴ bc	۱۱/۰ c	۱۱/۹ b	۷۲/۸ ab	۵۵/۸ a	
T_3	۳۳/۶۲ d	۱/۷۱ d	۱۱/۲ b	۱۲/۷ b	۱۲/۳ b	۱۱/۹ b	۱۲/۱ b	۱۱/۹ b	۱۲/۳ b	۷۰/۰ b	۴۹/۶ a	
LSD _{0.01}	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۳۸۴	۰/۴۷۶	۰/۴۳۴	۰/۲۲۴	۰/۳۵۳	۰/۲۲۴	۰/۴۳۴	۲/۴۵۰	۳/۰۰۵	
C.V. (%)	۵/۲۲	۱۹۱/۳۱	۱۱/۰۵	۸/۶۰	۱۰/۲۰	۶/۱۵	۹/۳۵	۸/۰۳	۱۰/۲۲	۱۶/۰۷	۱۶/۰۷	

T_1 : $۲dS m^{-1}$, T_2 : $۴dS m^{-1}$, T_3 : $۵dS m^{-1}$

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

منطقی است که درختان در این تیمار بیش‌تر حجم آب مورد نیاز خود را از لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری جذب نمایند.

دمای تاج درخت

دمای تاج درخت در نیم‌روز (T_c) در طول فصل رشد بادام برای تیمارهای مختلف شوری به انضمام درخت بدون تنش (T_0) در شکل ۳ نشان داده شده است. تنش آبی و شوری تأثیر معنی‌داری بر دمای تاج درخت در نیم‌روز داشتند. نتایج پژوهش‌های هاول و همکاران (۲۲) در گیاه پنبه، بیتز (۴) در گیاه یونجه و بایومی و همکاران (۵) در گندم نیز مؤید همین مطلب است. همان‌طور که مقایسه میانگین نتایج (جدول ۴) نشان می‌دهد دمای تاج درخت در تیمار T_3 به‌طور متوسط ۱، ۱/۷ و ۴/۱ درجه سلسیوس بیش‌تر از تیمارهای به‌ترتیب T_2 ، T_1 و T_0 بود. در پژوهش رازوک و همکاران (۳۷) نیز تنش آبی به‌طور معنی‌داری دمای برگ را در همه گونه‌های مورد بررسی (هلو، آلو و بادام) افزایش داد. بیشینه و کمینه دمای تاج درخت در طول فصل رشد برای تیمارهای T_1 تا T_3 به‌ترتیب ۴۲/۰، ۱۶/۷، ۴۲/۳ و ۱۷/۰ و ۴۲/۸ و ۱۷/۸ درجه سلسیوس ثبت گردید. درحالی‌که بیشینه و کمینه دمای تاج درختان بدون تنش (T_0) به‌ترتیب ۳۳/۵ و ۱۷/۰ درجه سلسیوس بود.

با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که در دوره زمانی پس از اولین آبیاری، اختلاف بین تیمارهای تنش (T_1 تا T_3) از نظر دمای تاج درخت زیاد نیست و تنها اختلاف آنها با درخت بدون تنش (T_0) محسوس است که علت این است که احتمالاً تجمع نمک در نیم‌رخ خاک هنوز به حد بحرانی نرسیده که تأثیر خود را داشته باشد ولی در دوره دوم پس از آبیاری، افزایش غلظت نمک منجر به کاهش بیش‌تر پتانسیل اسمزی محلول خاک در اثر خشک شدن نیم‌رخ خاک شده و تأثیر شوری در دوره

پتانسیل آب خاک و تأثیر تیمارهای شوری بر آن

پتانسیل ماتریک خاک^۱ (SMP) در تیمار T_3 به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از تیمار T_1 و T_2 بود. در مقابل پتانسیل اسمزی خاک^۲ (SOP) در تیمار T_3 به‌دلیل شوری، کم‌تر از تیمار T_1 و T_2 بود. پتانسیل ماتریک زیاد و پتانسیل اسمزی کم در تیمار T_3 نسبت به تیمارهای T_1 و T_2 باعث شد که پتانسیل آب خاک^۳ (SWP) در این تیمار تقریباً مشابه تیمارهای T_1 و T_2 باشد.

در کل درختان در تیمارهای T_1 تا T_3 حجم بیش‌تر آب مورد نیاز خود را به‌ترتیب از اعماق ۰-۴۰، ۴۰-۲۰ و ۷۰-۴۰ جذب کرده بودند. علت امر را می‌توان چنین توضیح داد که در تیمار T_3 شوری خاک بیش‌تر است و به‌دلیل آن که لایه سطحی آب خود را به‌واسطه تبخیر از سطح خاک و جذب توسط ریشه گیاه سریع‌تر از دست می‌دهد، در نتیجه غلظت نمک‌ها افزایش یافته و پتانسیل اسمزی نسبت به لایه‌های پایین‌تر که مرطوب‌تر هستند، بیش‌تر کاهش می‌یابد و به همین سبب درخت دیگر قادر نبوده از این لایه آب جذب کند و اجباراً نیاز آبی خود را از لایه‌های پایین‌تر تأمین کرده است. در تیمار T_2 غلظت نسبتاً کمتر بوده و درختان در این تیمار بهتر از تیمار T_3 قادر به جذب آب از لایه‌های سطحی هستند با این حال در این تیمار هم به‌دلیل شوری بیش‌تر نسبت به T_1 و کاهش پتانسیل اسمزی در لایه سطحی (۲۰-۰) با خشک شدن سریع‌تر آن نسبت به لایه پایینی، درختان تمایل دارند از لایه تحتانی‌تر (۴۰-۲۰) آب جذب کنند. اما چون در تیمار T_1 محدودیت شوری زیاد نیست و گیاهان عمدتاً ۷۰ درصد آب مورد نیاز خود را از ۵۰ درصد بالایی ناحیه توسعه ریشه جذب می‌کنند (۱۱)، در نتیجه

1. Soil matric potential
2. Soil osmotic potential
3. Soil water potential

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

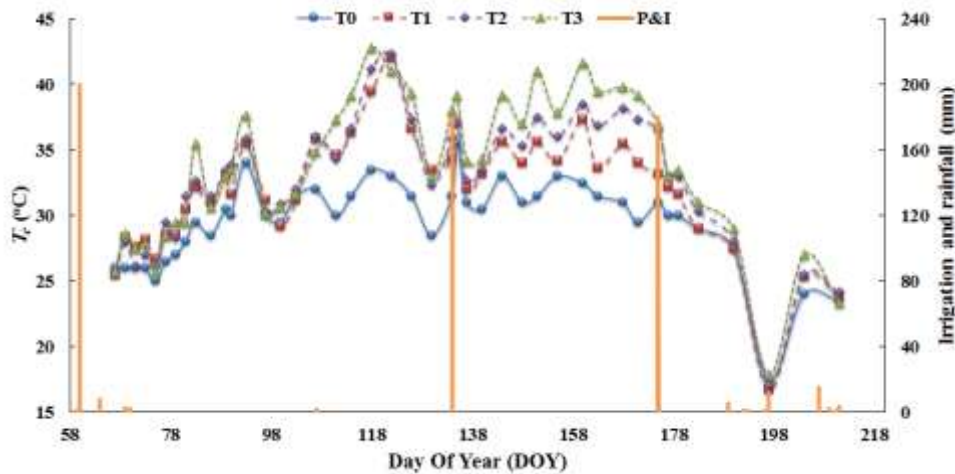
همبستگی شاخص‌های تنش مبتنی بر دمای پوشش گیاهی با وضعیت آب خاک در درخت بادام تحت تنش هم‌زمان خشکی و شوری

T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب ۰/۱، ۰/۸ و ۱/۷ درجه سلسیوس بیشتر از دمای هوا بود درحالی‌که اختلاف دمای تاج درخت با هوا در تیمار T_0 ، ۲/۴- درجه سلسیوس بود. کمینه، بیشینه و میانگین $T_c - T_a$ در طول فصل رشد برای درخت بدون تنش، به ترتیب ۶/۵-، ۱/۵ و ۲/۴- درجه سلسیوس ثبت گردید درحالی‌که برای درخت تحت تنش شوری (T_3) مقادیر مذکور به ترتیب ۲/۵-، ۷/۱ و ۱/۷ درجه سلسیوس بود. روند تغییرات $T_c - T_a$ در طول فصل رشد در شکل ۴ ارائه شده است.

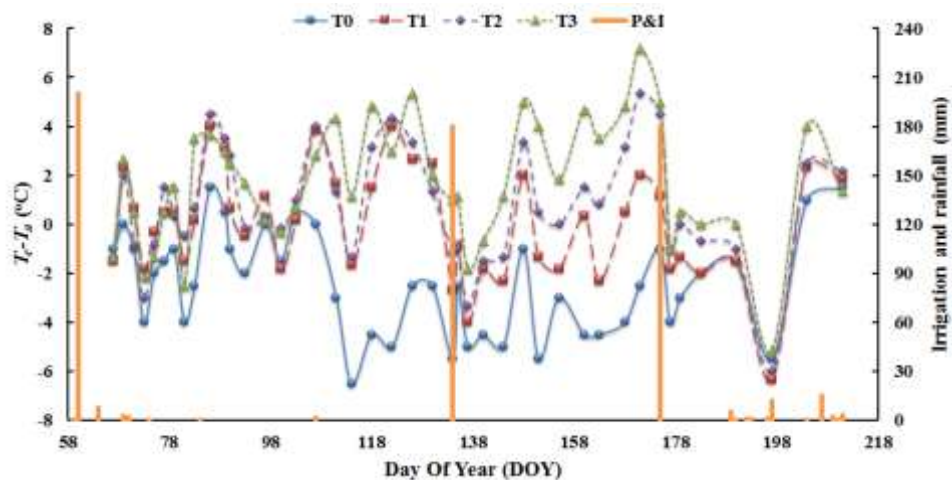
دوم مشهودتر است. در دوره سوم نیز به علت بارندگی‌های متوالی و تعدیل شوری خاک به‌ویژه در لایه سطحی و همچنین ابری بودن هوا و خنکی آن، اختلاف دمای تاج درخت بین تیمارها معنی‌دار نبود.

اختلاف دمای بین تاج درخت و هوا

اختلاف دمای تاج درخت و هوا ($T_c - T_a$) نیز بین تیمارهای پژوهش، معنی‌دار بود (جدول ۴). به‌طور میانگین، دمای پوشش گیاهی در طول فصل رشد در تیمار



شکل ۳. تغییرات دمای تاج درخت (T_c) در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف



شکل ۴. تغییرات اختلاف دمای تاج درخت با هوا ($T_c - T_a$) در تیمارهای مختلف آزمایشی در طول فصل رشد

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

در خصوص گندم به‌دست آوردند. بین رطوبت حدود ۷ تا ۲۰ درصد، دمای تاج درخت در تیمارهای شور بیش‌تر از تیمار بدون شوری است ولی در رطوبت‌های بیش‌تر از ۲۰ درصد به‌دلیل غلظت کم محلول خاک، تأثیر شوری بر دمای تاج درخت تقریباً از بین می‌رود (شکل ۵).

رطوبت خاک (SWC) و اختلاف دمای بین تاج درخت و هوا ($T_c - T_a$)

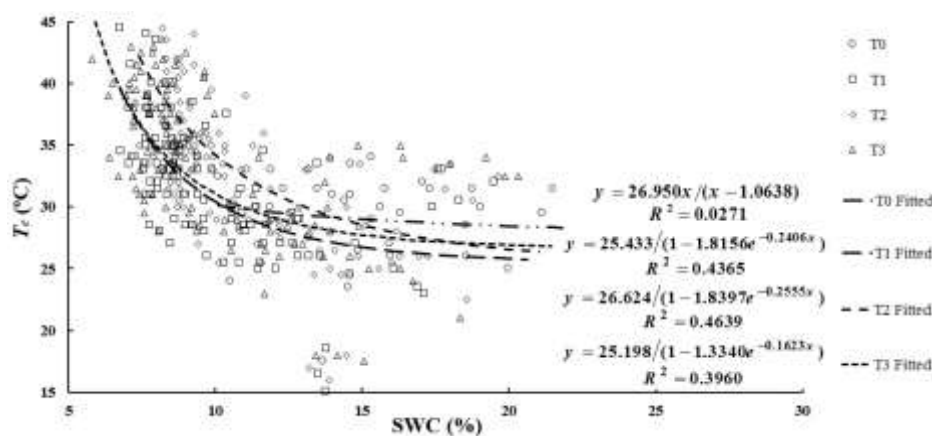
همبستگی معکوس و معنی‌داری بین رطوبت نیم‌رخ خاک و اختلاف دمای تاج درخت با هوا ($T_c - T_a$) در تیمارهای تحت تنش (T_1 تا T_3) دیده شد (جدول ۵) اما در درخت خوب آبیاری‌شده رطوبت خاک تأثیر معنی‌داری بر $T_c - T_a$ نداشت (جدول ۵) که دلیل آن در قسمت قبلی توضیح داده شد.

رطوبت خاک (SWC) و دمای تاج درخت (T_c)

همبستگی معکوس و معنی‌داری بین رطوبت نیم‌رخ خاک و دمای تاج درخت در تیمارهای تحت تنش (T_1 تا T_3) دیده شد (جدول ۵) اما در درخت خوب آبیاری‌شده (T_0) رطوبت خاک تأثیر معنی‌داری بر دمای تاج درخت نداشت (جدول ۵) چراکه در این درخت به‌علت وجود رطوبت کافی در نیم‌رخ خاک، تعرق و در نتیجه دمای تاج درخت، تحت کنترل ویژگی‌های آب‌وهوایی و قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر بود (۲۳). همان‌طوری‌که از شکل ۵ مشخص است با افزایش رطوبت از حدود ۵ درصد، دمای تاج درخت سریعاً کاهش می‌یابد اما با افزایش رطوبت خاک شیب کاهش دمای تاج کمتر می‌شود به‌طوری‌که بعد از رطوبت حدود ۲۰ درصد، کاهش دمای تاج درخت تقریباً ناچیز است. اهرلر و همکاران (۹) نیز نتایج مشابهی

جدول ۵. ضرایب همبستگی (r) بین صفات مورد اندازه‌گیری

$T_c - T_a$				T_c				VPD				صفات
T_3	T_2	T_1	T_0	T_3	T_2	T_1	T_0	T_3	T_2	T_1	T_0	تیمار
-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۷۶**	۰/۷۳**	۰/۷۳**	۰/۶۷**	T_c
-	-	-	-	۰/۶۶**	۰/۴۹**	۰/۳۴*	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۷۸**	$T_c - T_a$
۰/۵۴**	۰/۵۴**	۰/۳۴*	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۴۵**	۰/۴۶**	۰/۳۹*	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	SWC (0-40)
۰/۵۴**	۰/۴**	۰/۳۴*	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۴۵**	۰/۴۶**	۰/۳۹*	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	AWD (0-40)



شکل ۵. ارتباط رطوبت حجمی خاک در عمق ۰-۴۰ سانتی‌متر (SWC) و دمای تاج درخت (T_c) در نیم‌روز

همبستگی شاخص‌های تنش مبتنی بر دمای پوشش گیاهی با وضعیت آب خاک در درخت بادام تحت تنش هم‌زمان خشکی و شوری

کمبود فشار بخار (قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر) معین، دمای تاج درختی که تحت تنش شوری است بیش‌تر از درختی است که تحت همان رطوبت خاک اما بدون شوری است. ارتباط کلی T_c با VPD بدون در نظر گرفتن تیمارها و تجمع کلیه داده‌ها به صورت رابطه زیر می‌باشد که با خط ممتد در شکل ۷ نشان داده شده است.

$$T_c = 20.182 + 3.6586 VPD \quad (7)$$

$$R^2 = 0.5324, n = 156, P < 0.0001$$

دمای تاج درخت (T_c) و اختلاف دمای بین تاج درخت و هوا ($T_c - T_a$)

ارتباط مثبت و معنی‌داری بین T_c و $T_c - T_a$ در درختان تحت تنش در تیمارهای T_1 تا T_3 دیده شد (جدول ۵) اما این ارتباط در خصوص تیمار T_0 معنی‌دار نبود. در حضور آب کافی برای تعرق، دمای تاج درخت کمتر از دمای هوا بوده و تابعی از رطوبت خاک نیست. در این شرایط افزایش دمای تاج درخت (T_c) (در صورت وجود) به علت افزایش دمای هوا (T_a) بوده و $T_c - T_a$ تاحدودی ثابت است در نتیجه افزایش و یا کاهش T_c تأثیر زیادی بر $T_c - T_a$ نداشته و به همین علت ارتباط این دو در مورد درختان خوب آبیاری شده معنی‌دار نبود. در مورد درختان تحت تنش، T_c تابعی از فراهمی آب خاک است و با کاهش رطوبت خاک، تعرق و اثر خنک‌کنندگی آن کاهش یافته و T_c افزایش می‌یابد و با افزایش آن، $T_c - T_a$ (که عمدتاً مثبت است) نیز افزایش پیدا می‌کند در نتیجه ارتباط مستقیمی بین این دو صفت در تیمارهای تحت تنش مشاهده گردید (شکل ۸).

با قرار دادن عدد صفر برای $T_c - T_a$ در معادلات مربوط به تیمارهای T_1 تا T_3 ، مقدار T_c برای این تیمارها به ترتیب ۳۱/۶، ۳۰/۳ و ۲۸/۴ درجه سلسیوس خواهد بود. یعنی دمای آستانه‌ای تاج درخت در شرایط بدون شوری برای

همان‌طوری که از شکل ۶ مشخص است یک ارتباط نمایی بین $T_c - T_a$ و SWC وجود دارد. همانند ارتباط SWC با T_c در اینجا نیز اختلاف تیمارها بعد از رطوبت حدود ۲۰ درصد ناچیز می‌شود و در رطوبت‌های بالاتر از آن به دلیل غلظت کم محلول خاک تأثیر شوری بر $T_c - T_a$ از بین می‌رود. این رطوبت در محدوده رطوبت‌های گنجایش مزرعه‌ای معادل ۱۰ کیلوپاسکال (۱۸/۶ درصد حجمی) می‌باشد. در رطوبت‌های بین حدود ۷ و ۲۰ درصد، در یک رطوبت معین خاک، $T_c - T_a$ با افزایش شوری خاک افزایش می‌یابد. آستانه شروع تنش ($T_c - T_a = 0$) در تیمارهای T_1 تا T_3 به ترتیب در رطوبت‌های ۸/۷۰، ۱۱/۰۱ و ۱۴/۰۷ درصد می‌باشد. یعنی در تیمار شور برای اجتناب از تنش باید رطوبت ناحیه ریشه در محدوده ۱۴ درصد نگهداری شود که این رطوبت نزدیک رطوبت گنجایش مزرعه‌ای معادل ۳۳ کیلوپاسکال است. اندروز و همکاران (۳) ارتباط معکوسی بین SWC و $T_c - T_a$ در درختان سیب به دست آوردند. هلیس و همکاران (۲۱) در نوعی لوییا به این نتیجه رسیدند که با کاهش رطوبت قابل استفاده خاک، $T_c - T_a$ افزایش می‌یابد.

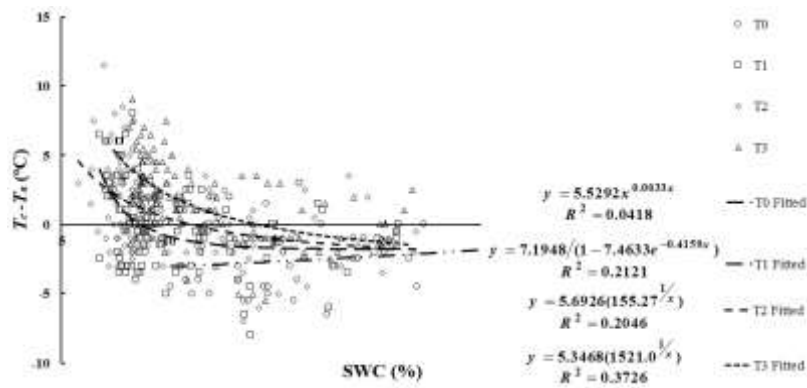
کمبود فشار بخار (VPD) و دمای تاج درخت (T_c)

در شکل ۷ ارتباط بین دمای تاج درخت با VPD برای تیمارهای مختلف شوری به انضمام آبیاری کامل (T_0) نشان داده شده است. همان‌طوری که مشخص است ارتباط مثبت معنی‌داری بین کمبود فشار بخار با دمای تاج درخت وجود دارد (جدول ۵). شیب خط نشان‌دهنده افزایش دمای پوشش سبز به ازای افزایش واحد کمبود فشار بخار است. این شیب برای حالت بدون تنش کمتر بوده و در مورد تیمارها نیز با افزایش شوری شیب افزایش می‌یابد. این مطلب نشانگر آن است که با افزایش شوری، گیاه تحت تنش بیش‌تری قرار می‌گیرد به طوری که در یک

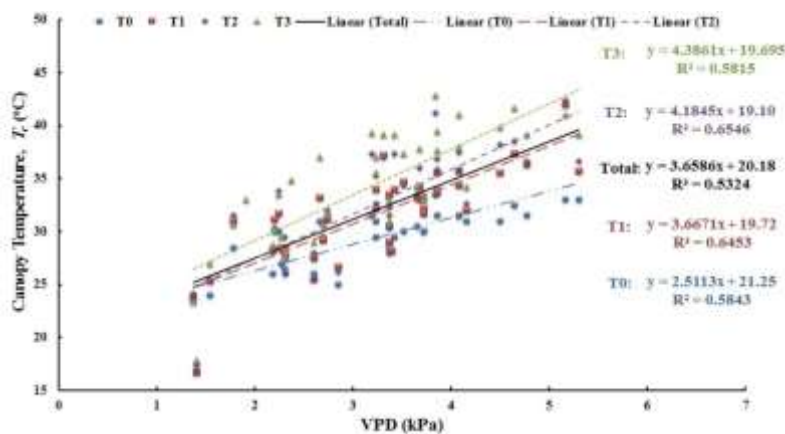
اژدر غنّایی میلانی، محمد زرین‌بال

وارد تنش می‌شود (به دلیل کاهش فراهمی آب خاک ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی).

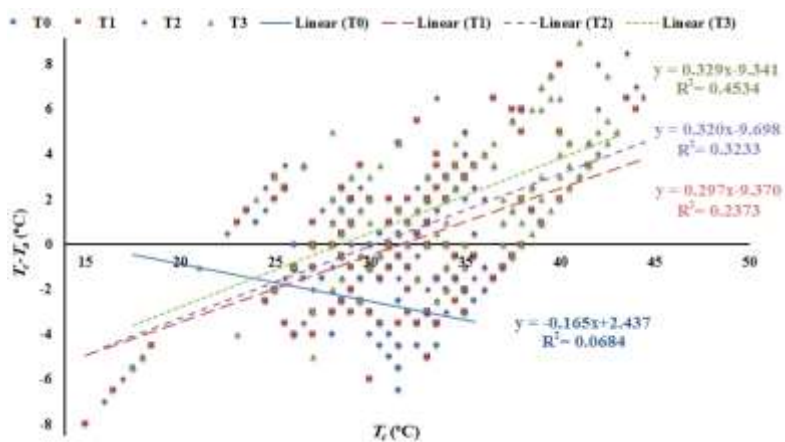
ورود به تنش، ۳۱/۶ درجه سلسیوس است درحالی که در حالت شور درخت در دمای تاج ۲۸/۴ درجه سلسیوس



شکل ۶. ارتباط رطوبت حجمی خاک در عمق ۰-۴۰ سانتی‌متر (SWC) و اختلاف دمای تاج درخت با هوا ($T_c - T_a$)



شکل ۷. ارتباط دمای پوشش سبز (T_c) با کمبود فشار بخار هوا (VPD) در تیمارهای آزمایش



شکل ۸. ارتباط دمای تاج درخت (T_c) و اختلاف دمای بین تاج درخت و هوا ($T_c - T_a$) در تیمارهای مختلف

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

همبستگی شاخص‌های تنش مبتنی بر دمای پوشش گیاهی با وضعیت آب خاک در درخت بادام تحت تنش هم‌زمان خشکی و شوری

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در خصوص ارتباط معنی‌دار دمای تاج درخت با وضعیت آبی خاک که به‌طور گسترده برای آگاهی از تنش محصول و برنامه‌ریزی آبیاری استفاده می‌شود، می‌توان گفت که شاخص‌های مبتنی بر دمای تاج درخت مانند $T_c - T_a$ و T_c می‌توانند برای تعیین ویژگی‌های آبی درخت بادام و وقوع تنش در این محصول به‌منظور آبیاری دقیق مورد استفاده قرار گیرند. شوری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر دمای تاج درخت و اختلاف دمای بین تاج درخت و هوا داشت و باعث افزایش آنها شد. در نتیجه این شاخص‌ها علاوه بر تنش آبی قادر هستند تنش شوری را نیز در درخت بادام پایش نمایند. با توجه به همبستگی معنی‌دار رطوبت خاک با اختلاف دمای تاج درخت و هوا، آستانه رطوبت خاک برای شروع تنش در درخت بادام در منطقه انجام این پژوهش (خاک شن لومی)، برای حالت بدون شوری ۸ و برای حالت شور ۱۴ درصد تعیین شد، همچنین دمای تاج درخت آستانه‌ای برای شروع تنش در حالت بدون تنش شوری و تنش شوری به‌ترتیب ۳۲ و ۲۸ درجه سلسیوس به‌دست آمد که می‌توان از این حدود آستانه‌ای در آبیاری بادام با بهره‌گیری از روش‌های کم‌آبیاری استفاده کرد. شوری همچنین باعث کاهش تخلیه آب قابل استفاده شده و از این راه دامنه آب قابل استفاده را کاهش داد. نتایج پژوهش همچنین نشان داد که درخت بادام قادر است در رطوبت‌های کم‌تر از نقطه پژمردگی دائم (۱۵۰۰ کیلوپاسکال) نیز آب جذب کند اما با شور شدن محلول خاک جذب آب در رطوبت‌های بالاتر از آن نیز شدیداً کاسته شد. نتایج بررسی پتانسیل آب خاک نشان داد که در حالت تنش شوری و کاهش پتانسیل اسمزی، درختان بادام در پتانسیل مکش بالاتری (رطوبت بیشتر) نسبت به حالت غیر شور آب جذب می‌کنند و به‌همین جهت در برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط شور این مطلب باید مد نظر

قرار گیرد. علاوه بر آن به‌دلیل افزایش غلظت نمک در لایه‌های سطحی، درختان بادام در حالت وجود شوری، آب مورد نیاز خود را از لایه‌های تحتانی (۴۰-۷۰ سانتی‌متری) جذب می‌کنند درحالی‌که در حالت غیر شور بیشتر آب جذب‌شده از عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری بود که این مطلب باید در خاک‌های مطبق و نیم‌رخ‌هایی که لایه‌های خاک تحتانی نفوذناپذیر دارند به‌ویژه در شرایط شور مد نظر قرار گیرد.

منابع

۱. احمدی ک، قلی‌زاده ح، عبادزاده ح ر، حاتمی ف، حسین‌پور ر، عبدشاه ه، رضایی م م و فضلی استبرق م (۱۳۹۶) آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۵. جلد سوم: محصولات باغبانی. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ۲۳۱ صفحه
۲. علی اصغرزاد ن (۱۳۷۹) بررسی پراکنش و تراکم جمعیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های شور دشت تبریز و تعیین اثرات تلقیح آنها در بهبود تحمل پیاز و جو به تنش شوری، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران.
3. Andrews PK, Chalmers DJ and Moremong M (1992). Canopy-air temperature differences and soil water as predictors of water stress of apple trees grown in a humid, temperate climate. American Society of Horticultural Science. 117(3): 453-458.
4. Bates LM and Hall AE (1981) Stomatal closure with soil water depletion not associated with changes in bulk leaf water status. Oecologia. 50: 62-65.
5. Bayoumi TY, El-Hendawy S, Yousef MSH and El Gawad MA (2014) Application of infrared thermal imagery for monitoring salt tolerant of wheat genotypes. American Science. 10(12): 227-234.
6. Berni JAJ, Zarco-Tejada PJ, Sepulcre-Cantó G, Fereres E and Villalobos F (2009) Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. Remote Sensing of Environment. 113(11): 2380-2388.

7. Charrera M, Parasi GA and Monet R (1998) Rootstock influence on the performance of the peach variety "Catherine". *Acta Horticulturae*. 465: 573-577.
8. Dhillon R, Rojo F, Roach J, Han C and Upadhyaya S (2014) Comparison of hand-held sensor suite and thermal imaging technique to measure canopy temperature in orchard crops for plant water status predictions. An ASABE – CSBE/ASABE Joint Meeting Presentation, Paper number 141893976, Montreal, Quebec Canada.
9. Ehrler WL, Idso SB, Jackson RD and Reginato RJ (1978) Wheat canopy temperatures: relation to plant water potential. *Agronomy Journal*. 70: 251-256.
10. El Gharbi A and Jraidi B (1994) Performance of rootstocks of almond, peach and peach × almond hybrids with regard to iron chlorosis. *Acta Horticulturae*. 373: 91-97.
11. Evans R, Cassel DK and Sneed RE (1996) Soil, water and crop characteristics important to irrigation scheduling. North Carolina Cooperative Extension Service, Raleigh. Publication Number: AG 452-1. Available at <https://content.ces.ncsu.edu/soil-water-and-crop-characteristics-important-to-irrigation-scheduling>.
12. Fuchs M and Tanner CB (1966) Infrared thermometry of vegetation. *Agronomy Journal*. 58: 597-601.
13. García-Tejero I, Durán-Zuazo VH, Arriaga J, Hernández A, Vélez LM and Muriel-Fernández JL (2012) Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. *Fruits*. 67: 463-474.
14. García-Tejero IF, Durán-Zuazo VH, Muriel-Fernández JL and Jiménez BJA (2011a) Linking canopy temperature and trunk diameter fluctuations with other physiological water status tools for water stress management in citrus crops. *Functional Plant Biology*. 38: 106-117.
15. García-Tejero IF, Durán-Zuazo VH, Vélez LM, Hernández A, Salguero A and Muriel-Fernández JL (2011b) Improving almond productivity under deficit irrigation in semiarid zones. *The Open Agriculture Journal*. 5: 56-62.
16. Gardner BR, Blad BL and Watts DG (1981) Plant and air temperatures in differentially-irrigated corn. *Agricultural Meteorology*, 25: 207-217.
17. Ghotbizadeh M and Sepaskhah AR (2015) Effect of irrigation interval and water salinity on growth of vetiver (*Vetiveria zizanioides*). *International Plant Production*. 9(1): 17-38.
18. Goldhamer DA, Viveros M and Salinas M (2006) Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrigation Science*. 24: 101-114.
19. Hatfield JL (1983) The utilization of thermal infrared radiation measurements from grain sorghum crops as a method of assessing their irrigation requirements. *Irrigation Science*. 3: 259-268.
20. Hattendorf MJ (1986) Canopy temperature and yield relationships of water-deficit-stressed alfalfa. Iowa State University. Ph.D. Dissertations.
21. Helyes L, Pék Z and McMichael B (2006) Relationship between the stress degree day index and biomass production and the effect and timing of irrigation in snap bean (*Phaseolus vulgaris* var. Nanus) stands: results of a long term experiments. *Acta Botanica Hungarica*. 48: 311-321.
22. Howell TA, Hatfield jL, Rhoades JD and Meron M (1984) Response of cotton water stress indicators to soil salinity. *Irrigation Science*. 5: 25-36.
23. Idso SB, Reginato RJ, Reicosky DC and Hatfield JL (1981) Determining soil-induced plant water potential depressions in alfalfa by means of infrared thermometry. *Agronomy Journal*, 73: 826-830.
24. Irmak S, Haman DZ and Bastug R (2000) Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal*. 92: 1221-1227.
25. Jackson RD, Idso SB, Reginato RJ and Pinter PJ (1981) Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*. 17: 1133-1138.
26. Jones HG (1999) Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology*. 95: 139-149.
27. Jones HG, Serraj R, Loveys BR, Xiong L, Wheaton A and Price AH (2009) Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biology*. 36: 978-989.
28. Jones HG, Stoll M, Santos T, de Sousa C, Chaves MM and Grant OM (2002) Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Experimental Botany*. 53: 2249-2260.
29. Kluitenberg GJ and Biggar JW (1992) Canopy

- temperature as a measure of salinity stress on sorghum. *Irrigation Science*. 13(3): 115-121.
30. Maas EV (1986). Salt tolerance in plants. *Appl. Agric. Res.* 1: 12-26.
31. Mahhou A, De Jong TM, Shackel KS and Cao T (2011) Water stress and crop load effects on yield and fruit quality of Elegant Lady peach [*Prunus persica* (L.) Batch], *Fruits* 61: 407-418.
32. Marsal J, Girona J and Mata M (1997) Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during deficit irrigation period. *American Society for Horticultural Science*, 122: 582-587.
33. Monastra F and Raparelli E (1997) Inventory of almond research, germplasm and references, REUR Technical Series 51, FAO, Rome, 232 p.
34. Monteith JL (1973) Principles of Environmental Physics. 3rd Ed. Edward Arnold, London, 440 p.
35. Murray FW (1967) On the computation of saturation vapor pressure. *Applied Meteorology and Climatology*, 6: 203-204.
36. Ranjbar A, Lemeur R and Van Damme P (2001) Ecophysiological characteristics of two pistachio species (*Pistacia khinjuk* and *Pistacia mutica*) in response to salinity. Proceeding 11th GREMPA Seminar on Pistachios and Almonds, Zaragoza, Spain.
37. Razouk R, Ibijbijen J, Kajji A and Karrou M (2013) Response of peach, plum and almond to water restrictions applied during slowdown periods of fruit growth. *American Plant Sciences* 4: 561-570.
38. Reicosky DC, Deaton DE and Parsons JE (1980) Canopy air temperatures and evapotranspiration from irrigated and stressed soybeans. *Agricultural Meteorology*. 21: 21-35.
39. Rieger M (1995) Offsetting effects of reduced root hydraulic conductivity and osmotic adjustment following drought. *Tree Physiology*. 15: 379-385.
40. Romero P, Navarro JM, Garcia F and Ordaz PB (2004) Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees. *Tree Physiology* 24: 303-312.
41. Shackel K (2011) A plant-based approach to deficit irrigation in trees and vines. *Horticultural Science*. 46(2): 173-177.
42. Torrecillas A, Ruiz-Sanchez MC, Leon A and Garcia AL (1988) Stomatal response to leaf water potential in almond trees under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant and Soil*. 112(1): 151-153.
43. Wang D and Gartung J (2010) Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 97: 1787-1794.
44. Yadollahi A and NazaryMoghadam AR (2012) Micropropagation of GF677 rootstock. *Agricultural Science*. 4(5): 131-138.



Water and Irrigation Management

(Scientific Journal of Agriculture)
(College of Abouraihan – University of Tehran)

Vol. 8 ■ No. 1 ■ Spring & Summer 2018

Correlation between canopy temperature based water stress indicators and soil water status in almond trees under simultaneous salinity and water stress

Ajdar Onnabi Milani^{1*}, Mohammad Zarrinbal²

1. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran.
2. Scientific Staff Member, Seed and Plant Improvement Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran.

Received: March 5, 2018

Accepted: June 4, 2018

Abstract

One of the non-invasive and remotely sensing method for measuring plant water status, and also irrigation automation, is using canopy temperature as an indicator. This study aimed to evaluate the combined effect of salinity and drought stress on almond water status. The trial was conducted based on randomized complete block design with three replications on a loamy sand soil. Treatments comprised three irrigation salinity levels viz. 2 (T_1), 4 (T_2), and 5 (T_3) dSm^{-1} . Canopy (T_c) and air (T_a) temperatures, relative humidity and integrated volumetric soil water content (SWC) at three depths (0-20, 0-40, and 0-70) were measured at midday (12-14) during the growing season. Results indicated that salinity has significant effect on T_c , T_c-T_a and available water depletion (AWD). Seasonal averages of T_c for treatment T_1 to T_3 were 31.9, 32.7 and 33.6 °C, respectively. Significant correlation was found between T_c , T_c-T_a , SWC and AWD. Threshold value of T_c for initiating stress in treatment T_1 to T_3 was obtained to be 31.6, 30.3 and 28.4 °C, respectively. Corresponding SWC for these T_c were 8.70, 11.01 and 14.07 %, respectively. High correlation between T_c and soil water status, shows that midday canopy temperature may be a useful tool for assessment of water status and precision irrigation scheduling of almond orchards.

Keywords: Available water depletion, Irrigation scheduling, Plant water relations, Soil water content, Vapor pressure deficit