

واکنش هدایت روزنه‌ای به تغییرات پتانسیل آب برگ و دمای تاج در درخت بادام تحت تنش شوری و کمبود آب

اژدر عُنابی میلانی^{۱*}، محمدرضا نیشابوری، محمدرضا مصدقی و داود زارع حقی

دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک دانشگاه تبریز.

a_o_milani@yahoo.com

استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

neyshumr@hotmail.com

دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

mosaddeghi@cc.iut.ac.ir

استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

davoodzarehagi@yahoo.com

چکیده

اراضی وسیعی از کشور متأثر از پدیده شوری و خشکی است. درخت بادام به دلیل تحمل خوبی که به کم آبی دارد، در مناطق خشک و نیمه خشک کاشته می‌شود. با توجه به حساس بودن این گیاه به شوری، مدیریت آبیاری آن مستلزم تمهیداتی است که ما را به آگاهی از تاثیر تنش شوری و خشکی بر ویژگی‌های آبی^۲ آن ناگزیر می‌کند. این مطالعه با هدف بررسی تاثیر تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر ویژگی‌های آبی درخت بادام در قالب طرح پلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار شوری آب، شامل آب چاه یا شوری ۲dS/m (T₁)، و آب‌های شور شده یا نمک‌هائی یا همان ترکیب آب چاه ۴dS/m (T₂) و ۵dS/m (T₃) در سه تکرار و در ایستگاه یاغیائی مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی در خاکی با یافت شن لومی اجرا شد. درخت‌ها با آب تهیه شده پراساس تیمارهای موجود به روش نشکنی به شعاع ۸۵ سانتی‌متر آبیاری شدند. در طول فصل رشد دمای تاج درخت، دمای هوا، رطوبت نسبی هوا، پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای و رطوبت خاک تا عمق ۷۰ سانتی‌متر در وسط روز (۱۲ تا ۱۴) اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که شوری تاثیر معنی‌داری (P<0.0001) بر هدایت روزنه‌ای (g_s)، پتانسیل آب برگ (LWP)، دمای پوشش سبز (T_e) و تخلیه آب قابل استفاده خاک (AWD) دارد. متوسط فصلی g_s برای تیمارهای T₁ تا T₃ به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۵۹ و ۰/۴۴ سانتی‌متر بر ثانیه و پتانسیل آب برگ برای همان تیمارها به ترتیب ۱/۹۰-۱/۹۳ و ۲/۱۶- مگاپاسکال پدست آمد. ارتباط معنی‌داری بین g_s، LWP، T_e و AWD حاصل شد. پراساس معادلات پدست آمده، حد آستانه‌ای g_s برای شروع تنش، در ۰/۷۳ سانتی‌متر بر ثانیه اتفاق افتاد. LWP و AWD معادل برای این هدایت روزنه‌ای به ترتیب ۱/۸۵- مگاپاسکال و ۶۴ درصد بود. T_e بهینه برای وقوع بیش‌ترین مقدار g_s ۲۸/۲ درجه سلسیوس تعیین شد. وجود همبستگی قوی بین T_e یا دیگر شاخص‌های تنش نشان داد که می‌توان از T_e به‌عنوان ابزاری کارآمد برای پایش وضعیت آبی درخت بادام برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تخلیه آب قابل استفاده، رطوبت خاک، روابط آبی گیاه، شاخص تنش، کمبود فشار بخار.

^۱- آدرس نویسنده مسئول: آذربایجان شرقی، جاده تبریز، آذرشهر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی.

^۲- دریافت: فروردین ۱۳۹۴ و پذیرش: مهر ۱۳۹۴

مقدمه

یکی از مکانیزم‌های اجتناب از تنش، کنترل و کاهش خروج آب از گیاه از طریق بسته شدن روزنه‌هاست (چاوز و همکاران، ۲۰۰۲؛ رومرو و بوتیا، ۲۰۰۶). این عکس‌المعمل و تطبیق اسمزی در بیش‌تر درختان مورد مطالعه قرار گرفته است (جونز و همکاران، ۱۹۸۵). گیاهان قادر به کنترل میزان گشادگی روزنه و خو گرفتن به تغییر شرایط محیطی هستند (کامپوستر و همکاران، ۲۰۱۱). ثابت شده است که با کاهش پتانسیل آب برگ مقاومت روزنه‌ای افزایش می‌یابد (اوتول و کروز، ۱۹۸۰). پاسخ گیاهان به تنش شوری و خشکی با استفاده از تکنیک‌های مختلف اندازه‌گیری فیزیولوژیکی مانند پتانسیل آب و اسمزی برگ و هدایت روزنه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد (کوش‌ووران، ۲۰۱۲).

مطالعه روابط آبی گیاه برای تجزیه و تحلیل استفاده بهینه آب توسط گیاهان راه گشا بوده (هسیانو، ۱۹۹۳) و می‌تواند اطلاعات اساسی در خصوص عکس‌المعمل گیاهان به تیمارهای مختلف آبیاری را بدست دهد (رومرو و بوتیا، ۲۰۰۶). بادام (*Prunus dulcis*) جایگاه مهمی در بین محصولات باغی شمال غرب کشور و استان آذربایجان شرقی (موناسترا و راپارلی، ۱۹۹۷) دارد. این درخت با داشتن مکانیزم فعال در کنترل از دست دادن آب در شرایط کم آبی، تحمل خوبی به تنش خشکی دارد (فررس و همکاران، ۱۹۸۱، کاسل و فررس، ۱۹۸۲؛ رومرو و همکاران، ۲۰۰۴). ویژگی‌های فیزیولوژیکی بادام مثل شدت فتوسنتز و تعرق تابع سرعت، شدت و طول مدت تنش است (روحی و همکاران، ۲۰۰۷). در پژوهش توریسیاس و همکاران (۱۹۹۶) در درخت بادام، پتانسیل آب برگ در قبل از طلوع آفتاب بطور فزاینده‌ای در طول دوره تنش آبی کاهش یافت و به مقدار ۰/۸۰- و ۰/۹۸- مگاپاسکال به ترتیب در دو رقم بادام مورد مطالعه در پایان دوره تنش (۲۸ روز) رسید. آنها گزارش کردند که کاهش هدایت روزنه‌ای در وسط روز در درختان تحت تنش می‌تواند

براساس گزارش FAO (۱۹۹۴) حدود ۳۳ میلیون هکتار از اراضی کشور ایران (معادل ۵۵ درصد اراضی قابل کشت) به درجات مختلف متأثر از شوری است که از این مقدار حدود هشت میلیون هکتار دارای شوری زیاد است. دمای بالا، تابش زیاد، فشار بخار پائین، و نزولات کم در بیش‌تر ماه‌ها، از شاخص‌های اکوسیستم‌های خشک و نیمه خشک است (کردوانی، ۱۹۹۰). در چنین اکوسیستم‌هایی به دلیل تبخیر زیاد و سریع آب از لایه‌های تحتانی، خاک عمدتاً دارای مشکل شوری است (اشرف و اولری، ۱۹۹۶). شور شدن خاک یک پدیده طولانی مدت است و طی سده اخیر بسیاری از سفره‌های آب و رودخانه‌ها به دلیل غلظت بالای نمک برای مصارف انسانی نامناسب شده‌اند (ونگوش، ۲۰۰۳) در آینده بهره‌برداری از هزاران چاه در خاورمیانه و دیگر مناطق متأثر از کمبود آب در دنیا، تا حد زیادی به شدت و میزان شور شدن آنها بستگی دارد.

علاوه بر این، هر ساله سطوح وسیعی از اراضی کشاورزی شور شده و غیرقابل استفاده می‌شوند (ونگوش، ۲۰۰۳). تحت چنین شرایطی گیاهان از تاثیر توأم تنش خشکی و شوری صدمه می‌بینند. اولین پاسخ اکوفیزیولوژیکی گیاهان در این شرایط محیطی سخت، کاهش فعالیت فتوسنتزی است (دیدا و همکاران، ۱۹۹۰؛ استوارت و برتیه، ۱۹۹۵). این کاهش بواسطه کاهش هدایت روزنه‌ای و محدودیت دسترسی به دی‌اکسید کربن برای کربوکسیلاسیون می‌باشد (بروگنولی و لاتری، ۱۹۹۱).

لیدی و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند که با کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، هدایت روزنه‌ای در پنبه کاهش می‌یابد. تنش خشکی نیز اثرات قابل توجهی بر رفتارهای فیزیولوژیکی گیاه دارد (ریگر، ۱۹۹۵؛ سمندری گیکلو و الهامی، ۲۰۱۲). گیاهانی که در شرایط خشک و نیمه خشک قرار می‌گیرند از مکانیزم‌های مختلفی مانند فرار، تحمل و اجتناب برای مقابله با تنش استفاده می‌کنند

سبز می‌تواند به‌عنوان روشی برای پایش وضعیت آبی گیاه مورد استفاده قرار گیرد چراکه دمای سطح پوشش سبز شاخص قابل اعتمادی برای سنجش تنش آبی است و بطور تنگاتنگی به تعرق روزانه گیاه وابسته است (ایدسو و همکاران، ۱۹۸۱؛ جونز، ۲۰۰۷).

برخی از مطالعات در خصوص تاثیر تنش خشکی و شوری بر ویژگی‌های اکوفیزیولوژیکی صورت گرفته است (بهبودیان و همکاران، ۱۹۸۶؛ ریگر، ۱۹۹۵؛ رنجبر فروردینی و همکاران، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱) اما معمولاً تنش‌های اعمال شده بصورت جداگانه بوده است و مطالعه درخصوص تاثیر توأم این دو تنش در درختان اندک است. هدف از این مطالعه عبارت بودند از:

بررسی تغییرات هدایت روزنه‌ای درخت بادام در طول فصل رشد و تاثیر تنش خشکی و شوری بر آن.
مطالعه ارتباط دمای پوشش سبز با هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ به‌عنوان روشی جایگزین برای پایش وضعیت آبی درخت بادام و تاثیر شوری بر آن.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه باغبانی مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی واقع در جنوب غربی تبریز (۲۹° ۵۷' ۴۳" طول شرقی و ۳۷° ۵۵' ۳۷" عرض شمالی، ارتفاع ۱۳۲۷ متر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار (نه واحد آزمایشی) بر روی درختان جوان (هفت ساله) بادام رقم آذر (*Prunus dulcis* (Mill.) cv. Azar) که بر روی پایه رویشی GF677 پیوند شده و به فاصله ۵ × ۴ متر کاشته شده‌اند در سال ۱۳۹۳ به انجام رسید. رقم آذر از ارقام برتر تجاری بادام بوده و دارای قدرت رشد بالانگیز است. دیرگل بودن این رقم باعث شده است که جایگاه ویژه‌ای بین ارقام بادام منطقه داشته باشد چراکه در مقابل سرمای دیررس بهاره عکس‌العمل بهتری نشان می‌دهد. پایه GF677 دورگ بین بادام و هلو می‌باشد که قوی و تنومند بوده و عموماً به‌عنوان پایه برای باغات هلو

به‌دلیل کاهش پتانسیل آب برگ در این وقت از روز باشد در بین گیاهان درختان عموماً در مرحله جوانه‌زدن نسبت به شوری مقاوم‌تر هستند اما در مرحله ظهور گیاهچه حساس بوده و بعد از آن با افزایش سن درخت تحمل آن به تنش شوری بجز در مرحله گل‌دهی افزایش می‌یابد (شانون و همکاران ۱۹۹۴). تنش شوری روابط آبی بیش‌تر درختان را تغییر می‌دهد و مقاومت در برابر تنش شوری بستگی به مقاومت در برابر تنش خشکی دارد (گرین‌وی و مونز، ۱۹۸۰؛ فلاورز و یئو، ۱۹۸۶). رنجبر فروردینی و همکاران (۲۰۰۱) تاثیر تنش اسمزی را روی دو رقم درخت پسته مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که با کاهش پتانسیل اسمزی محلول غذایی، هم پتانسیل آب برگ و هم پتانسیل اسمزی آن کاهش می‌یابد. در پژوهش انجام شده توسط بهبودیان و همکاران (۱۹۸۶) با کاهش پتانسیل آب برگ به ۶- مگاپاسکال در اثر تنش رطوبتی، مقاومت روزنه‌ای به ۴۰ ثانیه بر سانتی‌متر در پسته افزایش یافت.

آگاهی از عکس‌العمل گیاهان نسبت به شرایط محیطی، عامل کلیدی برای برنامه‌ریزی و بهبود آبیاری است. بطور 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 بطور گسترده در چندین نوع گیاه مطالعه شده است. چراکه شاخص‌های مبتنی بر گیاه اثرات تجمعی شرایط خاک، گیاه و آب و هوا را نشان می‌دهند (شاکل، ۲۰۱۱).

در این مورد پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای ویژگی‌هایی هستند که بطور معمول برای پایش وضعیت آبی گیاهان تحت تنش، مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما این اندازه‌گیری‌ها وقت‌گیر بوده و قابلیت خودکار شدن ندارند در نتیجه برای پایش مستمر وضعیت آبی گیاه مناسب نیستند (رومرو و بوتیا، ۲۰۰۶؛ گارسیا-تجرو و همکاران، ۲۰۱۱). در این خصوص دمای پوشش

۸۵ سانتی‌متر) را تقریباً به حالت اشباع برساند. هدف از ایجاد رطوبت بالا تعیین حد آستانه‌ای رطوبت برای تهیه بود. علاوه بر آن برای مقایسه تاثیر تنش رطوبتی و شوری بر هدایت روزنه‌ای، پتانسیل آب برگ و دمای تاج درخت از این درخت بعنوان درخت بدون تنش و درختی که بطور کامل تفرق می‌کند استفاده گردید.

از اواخر اردیبهشت ماه، بعد از آبیاری اولیه همه ۱۰ درخت (نه درخت مربوط به سه تیمار شوری T_1 ، T_2 ، T_3 و یک درخت برای آبیاری کامل، T_0 به‌عنوان شاهد) به حجم ۲۰۰ لیتر برای هر درخت (۲۰۰ میلی‌متر در سطح یک متر مربع سایه انداز درخت) اندازه‌گیری‌ها شروع شد و برای بررسی تاثیر شوری بر ویژگی‌های آبی درخت و دیگر پارامترهای فیزیولوژیکی در رطوبت‌های مختلف خاک، و همچنین بررسی اثر تنش شدید رطوبتی بر پتانسیل آب برگ و دمای برگ، آبیاری‌های بعدی به عمق ۱۸۰ میلی‌متر (۴۰۰ لیتر آب در سطح ۲/۲۵ متر مربع) زمانی انجام گرفت که رطوبت خاک به نزدیکی نقطه پژمردگی برسد. آبیاری هر درخت بصورت تثنکی و در سایه‌انداز درخت به وسعت $1/5 \times 1/5$ متر (۲/۲۵ متر مربع) صورت گرفت.

استفاده می‌شود. این پایه که بصورت غیرجنسی و رویشی تکثیر می‌شود، در مقابل کمبود آهن مقاوم بوده (الغربی و جدایی، ۱۹۹۴) و مخصوصاً برای خاک‌های با حاصل‌خیزی کم (چاررا و همکاران، ۱۹۹۸)، مقدار آب قابل استفاده پائین و آهن زیاد مناسب است (مونتیسلی و همکاران ۲۰۰۰، شریف‌مقدم و همکاران ۲۰۱۱، یداللهی و نظری مقدم ۲۰۱۲).

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 موجود در ایستگاه (T_1)، آب لب شور (T_2) و آب شور (T_3) بود. آب لب‌شور و شور بر اساس روش علی اصغرزاد (۱۳۷۹) با حل کردن نمک‌های مختلف در آب حاصل از چاه ایستگاه به‌طوری‌که ترکیب یونی شبیه آب چاه منطقه باشد تهیه گردید. ویژگی‌های آب سه تیمار شوری در جدول (۳) آمده است. برای تعیین تاثیر تنش خشکی نیز یک درخت به‌عنوان شاهد انتخاب و تا پایان پژوهش بطور مرتب با فواصل تقریبی دو روز (به‌غیر از روزهای تعطیل) به عمق ۱۵۰ میلی‌متر آبیاری گردید (T_0). این مقدار آبیاری کافی بود رطوبت ناحیه ریشه (عمق ۷۰ و شعاع

جدول ۱ ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش

عمق (cm)	هدایت الکتریکی ($dS m^{-1}$)	واکنش کل اشباع	مواد خنثی شونده (%)	کربن آلی (%)	اوت کل (%)	فسفر قابل جذب ($mg kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب
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 اشباع	تجزیه مکانیکی			چگالی ظاهری ($kg m^{-3}$)	رطوبت وزنی (%)	
		شن (%)	سیلت (%)	رس (%)		PWP (1.5MPa)	FC (0.03MPa)
۰-۲۰	۲۵	۸۷	۸	۵	۱/۵۴	۹/۹	۴/۳
۲۰-۴۰	۲۱	۸۸	۷	۵	۱/۶۳	۷/۵	۴/۴
۴۰-۹۰	۲۱	۸۹	۶	۵	۱/۵۸	۸/۳	۴/۱

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

تیمار	هدایت الکتریکی (dSm ⁻¹)	pH	میلی اکی والان در لیتر						نسبت جذب سدیم (SAR)	
			کربنات (CO ₃ ²⁻)	بیکربنات (HCO ₃ ⁻)	کلر (Cl)	سولفات (SO ₄ ²⁻)	مجموع کلسیم + منیزیم (Mg ²⁺ + Ca ²⁺)	سدیم (Na ⁺)		مجموع کاتیون‌ها
T ₁	۷/۱۶۱	۷/۵۶	۰/۰	۳/۴	۹/۰	۹/۶	۱۶/۲	۵/۸	۲۲/۰	۲/۰
T ₂	۴/۳۳۱	۷/۴۹	۰/۰	۳/۶	۲۳/۰	۱۷/۴	۲۸/۶	۱۸/۶	۴۴/۰	۴/۹
T ₃	۵/۱۴۰	۷/۸۲	۰/۰	۴/۰	۲۸/۸	۱۸/۲	۲۶/۰	۲۵/۰	۵۱/۰	۶/۹

درخت) با کمترین تغییر مکانی برگ نسبت به وضعیت اصلی توسط دستگاه پورومتر مدل AP4 ساخت شرکت Delta T اندازه‌گیری گردید (شاکل، ۲۰۱۱؛ گارسیا-تجرو و همکاران، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲).

در طول پژوهش، دمای تاج درخت (T_c) با دستگاه دماسنج مادون قرمز دستی Raytek مدل Raynger STTM در بین ساعت ۱۲ تا ۱۴ از یک سوم میانی تاج (تورسیاس و همکاران ۱۹۸۸) با دقت یک درجه سلسیوس اندازه‌گیری گردید. دمای هوا (T_a) و رطوبت نسبی (RH) برای ساعت ۱۲ تا ۱۴، از ایستگاه هواشناسی موجود در ایستگاه باغبانی اخذ شده و از روی آن مقدار کمبود فشار بخار هوا محاسبه گردید (مونتیت ۱۹۷۳). نتایج بدست آمده از صفات مورد اندازه‌گیری برای تیمارهای مختلف شوری توسط نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه آماری قرار گرفت و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد مقایسه گردیده و منحنی‌های همبستگی بین پارامترها توسط نرم‌افزار MS Excel رسم شد.

نتایج و بحث

هدایت روزنه‌ای

تغییرات هدایت روزنه‌ای در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف در شکل (۱) ارائه شده است. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود تنش کمبود و شوری آب به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه‌ای را کاهش داده است. مقایسه میانگین نتایج جدول (۴) هم مرید همین مطلب است که اختلاف تیمارها در خصوص هدایت روزنه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار است. هدایت روزنه‌ای در تیمار شور (T_3) بطور قابل توجهی بویژه در

رطوبت حجمی نیم‌رخ خاک (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 مدل Trase 6050 X1 اندازه‌گیری گردید و از روی آن مقدار تخلیه آب قابل استفاده^۱ خاک (AWD) برای اعماق فوق توسط رابطه زیر محاسبه شد:

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

که در آن:

FC و PWP به ترتیب رطوبت گنجایش مزرع‌ای، رطوبت اندازه‌گیری شده و رطوبت نقطه پژمردگی دائم می‌باشد.

در طول انجام پژوهش (۳۰ اردیبهشت تا ۲۵ مهر)، پتانسیل آب برگ (LWP) در زمان حداکثر دمای هوا (۱۲ تا ۱۴) از برگ‌های واقع در سایه (قسمت شمالی درخت) و نزدیک تنه درخت از قسمت تحتانی تاج درخت (گلداهامر و فررس ۲۰۰۱، تستی و همکاران ۲۰۰۸، شاکل ۲۰۱۱، گارسیا-تجرو و همکاران ۲۰۱۱a، ۲۰۱۱b و ۲۰۱۲) با دستگاه محفظه فشاری اندازه‌گیری گردید (شولاندر و همکاران ۱۹۶۵، تورنر ۱۹۸۸). علت اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ از برگ‌های واقع در سایه نزدیک تنه این بود که پتانسیل اندازه‌گیری شده نشانگر پتانسیل آب ساقه باشد چراکه به‌نظر شاکل و همکاران (۱۹۹۷) پتانسیل آب ساقه ویژگی‌های آبی درخت را بهتر از پتانسیل آب برگ نشان می‌دهد.

هدایت روزنه‌ای (g_r) در وسط روز از سطح پائینی برگ‌هایی که بطور کامل در معرض آفتاب قرار داشتند و از قسمت بالائی تاج درخت (دو برگ از هر

¹ - Available water depletion

بود. روند تغییرات پتانسیل آب برگ و دمای تاج درخت در طول فصل رشد برای مقایسه با هدایت روزنه‌ای در شکل (۱) ارائه شده است و در ادامه ارتباط این پارامترها مورد بحث قرار خواهد گرفت.

هدایت روزنه‌ای و کمبود فشار بخار

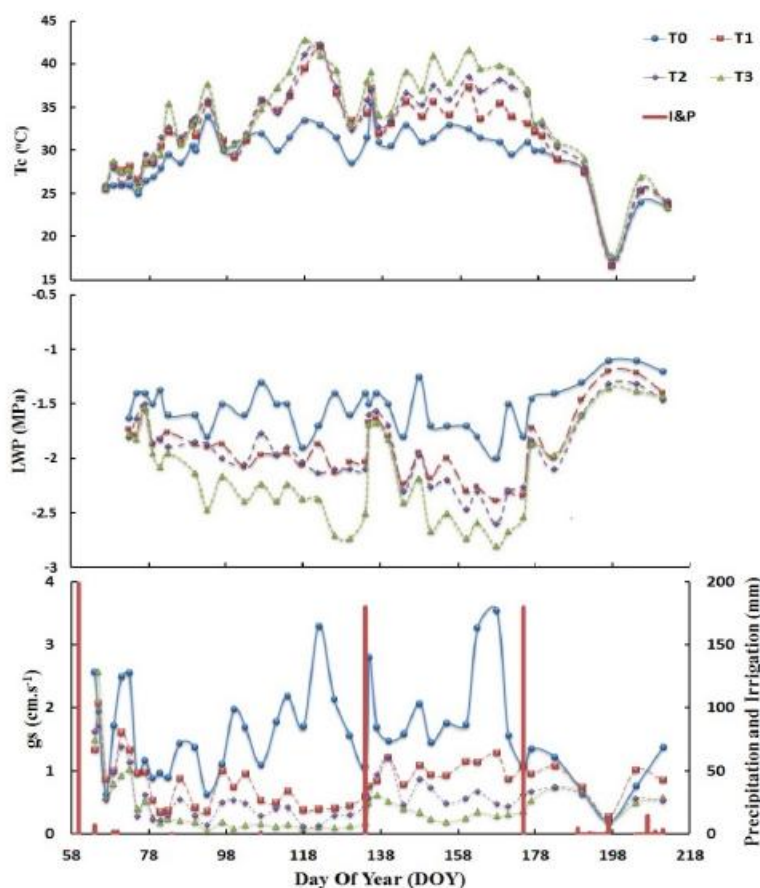
همان‌طور که از جدول (۵) مشخص است هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری بین هدایت روزنه‌ای و کمبود فشار بخار اشباع در بین تیمارها وجود ندارد. اما گلداهامر (۱۹۹۶) و گلداهامر و ویوروس (۲۰۰۰) به این نتیجه رسیدند که روند تبادل گازها در طول روز در درختان بادام تحت کم آبیاری کنترل شده، نشان از کنترل قوی روزنه بر شدت ترمق دارد که بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز در اوایل صبح و زمانی که کمبود فشار بخار و دمای هوا پائین است اتفاق می‌افتد و به‌طور فزاینده‌ای در وسط روز و اوایل بعدازظهر کاهش می‌یابد. همچنین پالما و نووللو (۱۹۹۶) و کلین و همکاران (۲۰۰۱) کنترل معنی‌داری را توسط رطوبت نسبی پائین و کمبود فشار بخار و دمای بالا بر میزان گشادگی روزنه در برگ‌های بادام گزارش کردند.

با این‌حال عدم وجود ارتباط بین هدایت روزنه‌ای و کمبود فشار بخار در برخی از مطالعات در دیگر گونه‌های درختی مانند زیتون تحت تنش رطوبتی خاک (فراندز و همکاران، ۱۹۹۷؛ جیوریو و همکاران، ۱۹۹۹)، نشانگر این مطلب است که وضعیت رطوبتی خاک و عوامل درون‌زاد (علائم شیمیایی) نقش مهمی را در کنترل هدایت روزنه‌ای در شرایط مزرعه‌ای دارند (جیوریو و همکاران، ۱۹۹۹؛ موریانا و همکاران، ۲۰۰۲؛ توگنتی و همکاران، ۲۰۰۴).

فواصل روزهای ۸۰ تا روز ۱۳۴ پائین بود (بطور میانگین ۰/۱۵ سانتی‌متر بر ثانیه). آبیاری در روزهای ۱۳۴ و ۱۷۵ باعث شد که هدایت روزنه‌ای در تیمارهای تنش افزایش یابد هرچند که افزایش در تیمار T₃ بویژه بعد از روز ۱۷۵ بطور تدریجی بود که احتمالاً به دلیل آبیاری مجدد تاخیری بواسطه پتانسیل اسمزی کم در این تیمار بوده است. عدم تناسب تغییرات هدایت روزنه‌ای در درخت خوب آبیاری شده با آبیاری‌ها در شکل (۱) به این دلیل است که آبیاری آن بطور مجزا و با فواصل تقریبی سه روز بود و تغییرات سینوسی هدایت روزنه‌ای در این تیمار حاکی از این مطلب است. متوسط هدایت روزنه‌ای برای درخت بدون تنش ۱/۶۲ سانتی‌متر بر ثانیه بدست آمد.

بیشترین و کمترین هدایت روزنه‌ای ثبت شده برای تیمارهای T₁ تا T₃ به‌ترتیب ۲/۰۷ و ۰/۲۸، ۱/۷۲ و ۰/۱۳ و ۲/۵۸ و ۰/۰۷ بود. نتایج بدست آمده، یافته‌های تورسیاس و همکاران (۱۹۸۸ و ۱۹۹۶)، مارسال و همکاران (۱۹۹۷)، کلین و همکاران (۲۰۰۱)، زمانی و همکاران (۲۰۰۲)، روحی و همکاران (۲۰۰۶)، گومز-لارانشو و همکاران (۲۰۰۶) و سمندری گیکلو و الهامی (۲۰۱۲) را در خصوص اثر تنش خشکی و سیمن و کریچلی (۱۹۸۵)، بروگنولی و لوتری (۱۹۹۱)، دلفاین و همکاران (۱۹۹۸)، آزبودو نتر و همکاران (۲۰۰۴)، جانانگودار (۲۰۰۷)، کیو و همکاران (۲۰۰۷)، وولپ و همکاران (۲۰۱۱)، کوشوروان (۲۰۱۲) و زریق و همکاران (۲۰۱۵) را در خصوص تنش شوری تأیید می‌کند.

همان‌طوری که از جدول (۴) مشخص است اختلاف تیمارها در خصوص پتانسیل آب برگ، دمای تاج درخت، اختلاف دمای تاج درخت و هوا، رطوبت نیمرخ خاک در اعماق مختلف و تخلیه آب قابل استفاده معنی‌دار



شکل ۱ تغییرات دمای تاج درخت، پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف (I&P به معنی وقوع بارش یا آبیاری است)

هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ

بررسی قرار گرفت (رومرو و همکاران، ۲۰۰۴b) (خط ممتد در شکل ۲) در این خصوص مشاهده گردید که ارتباط خوبی از نوع درجه دوم بین LWP و g_s وجود دارد:

$$g_s = 0.43LWP^2 + 2.47 LWP + 3.79$$

$$(r = 0.63, P < 0.001)$$

(۲)

با توجه به اینکه متوسط هدایت روزنه‌ای برای درخت بدون تنش ۱/۶۲ سانتی متر بر ثانیه بدست آمد، با قرار دادن آن در رابطه فوق، مقدار پتانسیل آب برگ برای حالت بدون تنش، برابر ۱/۱- مگاپاسکال خواهد بود.

ارتباط هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ در شکل (۲) نشان داده شده است همان طوری که مشخص است و همبستگی این دو پارامتر جدول (۵) نشان می‌دهد، ارتباط آنها فقط در تیمار شور (T_3) معنی‌دار است. علت امر این است که هر یک از تیمارهای T_0 تا T_2 محدوده‌ای از پتانسیل آب برگ را در بر می‌گیرند که تغییرات در این محدوده زیاد نیست به‌عنوان مثال در تیمار T_0 محدوده LWP بین ۱/۲- و ۱/۸- مگاپاسکال است. درحالیکه تیمار T_3 محدوده‌ای از ۱/۴- تا ۲/۸- مگاپاسکال را شامل می‌شود. به همین علت برای داشتن محدوده وسیعی از تنش و غیرتنش تمامی نقاط متفقا مورد

جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین صفات مورد اندازه‌گیری در تیمارهای مختلف

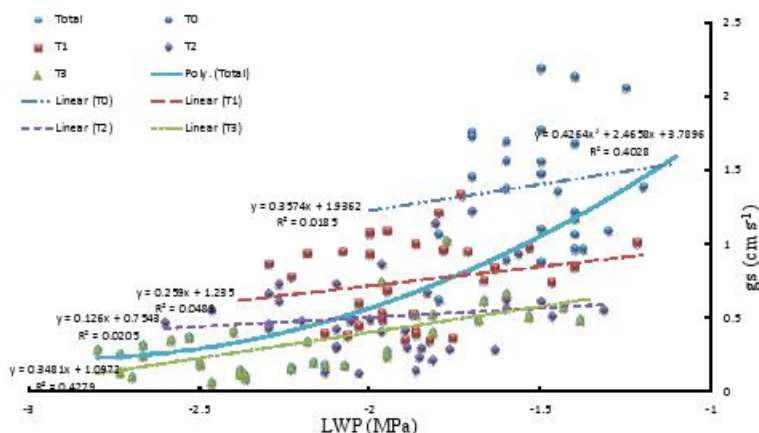
تیمار	g_s ($cm\ s^{-1}$)	LWP (MPa)	T_c (°C)	T_c-T_a (°C)	رطوبت حجمی خاک (%)			تخلیه آب قابل استفاده (%)		
					-۲۰ cm	-۴۰ cm	-۷۰ cm	-۲۰ cm	-۴۰ cm	-۷۰ cm
T ₁	-۰/۸۶ a	-۱/۹۰ a	۳۱/۹۴ a	-۱۰/۱۰ a	۱۰/۳۶ a	۱۰/۹۵ a	۱۱/۵۵ a	۷۶/۷۳ a	۶۹/۱۴ a	۵۸/۹۰ a
T ₂	-۰/۵۹ b	-۱/۹۳ a	۳۷/۶۹ b	-۱۸/۲۶ b	۱۰/۷۴ b	۱۰/۹۵ a	۱۱/۴۰ a	۷۴/۲۹ b	۶۹/۱۴ a	۶۰/۲۳ a
T ₃	-۰/۴۴ c	-۲/۱۶ b	۳۳/۶۲ c	۱۷/۱۳ c	۱۱/۱۷ c	۱۱/۹۰ b	۱۲/۰۷ b	۷۱/۵۷ c	۶۱/۸۲ b	۵۴/۴۵ b
LSD _{0.01}	-۰/۱۰۵	-۰/۵۲۹	-۰/۵۴۴	-۰/۵۴۴	-۰/۳۸۴	-۰/۲۲۴	-۰/۳۵۳	-۰/۴۵۰	-۰/۴۶۹	-۰/۳۰۵
C.V. (%)	۱۶/۴۸	۸/۲۰	۵/۲۲	۱۹/۱۳۱	۱۱/۰۵	۶/۱۵	۹/۳۵	۱۰/۲۲	۸/۰۳	۱۶/۰۷

جدول ۵ ضرایب همبستگی (r) بین صفات مورد اندازه‌گیری

صفات	VPD				g_s				LWP				T_c				T_c-T_a				
	T ₃	T ₂	T ₁	T ₀	T ₃	T ₂	T ₁	T ₀	T ₃	T ₂	T ₁	T ₀	T ₃	T ₂	T ₁	T ₀	T ₃	T ₂	T ₁	T ₀	
g_s																					
LWP																					
T_c																					
T_c-T_a																					
SWC (0-40)																					
AWD (0-40)																					

وجود دارد که بالاتر از آن دیگر هدایت روزنه‌ای افزایش نیافته و ثابت می‌ماند. در نتایج حاصله از پژوهش جاری رابطه (۲) و شکل (۲) LWP آستانه ای مشاهده نمی‌شود. تورسیاس و همکاران (۱۹۹۶) نیز ارتباط خطی بین فشار تورمی و هدایت روزنه‌ای در بادام بدست آوردند. همچنین مک‌کاجن و شاکل (۱۹۹۲) در گوجه، نانور (۱۹۹۸) در سیب، مارسال و همکاران (۲۰۰۲) در گلابی، توگنتی و همکاران (۲۰۰۴) در زیتون، نانور (۲۰۰۴) در آلو و اسدودی و سومجون (۲۰۰۸) در پرتقال ارتباط قوی بین پتانسیل آب برگ یا ساقه و هدایت روزنه‌ای پیدا کردند. در مقابل، نیلسن (۱۹۹۰) در مورد ارتباط بین پتانسیل آب برگ و مقاومت روزنه‌ای سویا به این نتیجه رسید که حد آستانه‌ای پتانسیل آب برگ برای بسته شدن روزنه تابع فصل است به طوری که این حد آستانه در ماه جولای برابر ۰/۹- و در آگوست برابر ۱/۶- مگاپاسکال است.

فررس و همکاران (۱۹۸۱)، رومرو و همکاران (۲۰۰۴a) و گارسیا-تجرو و همکاران (۲۰۱۱) نیز ارتباط غیرخطی معنی‌داری بین LWP و g_s در درختان بادام بدست آوردند. رومرو و همکاران (۲۰۰۴c)، اگا و همکاران (۲۰۱۱) و گونزالس-دوگو و همکاران (۲۰۱۲) نیز ارتباط معنی‌داری بصورت خطی بین هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ و ساقه در بادام گزارش کردند. در پژوهش کلین و همکاران (۲۰۰۱) روی بادام بالغ (هفت ساله) ارتباط معنی‌داری ($R^2 = 0.34$) بین پتانسیل آب ساقه و هدایت روزنه‌ای بدست آمد و با دخالت دادن فاکتور کمبود فشار بخار و سرعت باد ضریب تبیین افزایش یافت ($R^2 = 0.55$). رومرو و بوتیا (۲۰۰۶) نیز ارتباط معنی‌داری بین LWP و g_s در شرایط بدون تنش و مرحله ترمیم بعد از تنش بدست آوردند اما در شرایط تنش شدید ارتباط این دو صفت معنی‌دار نبود. هسینو (۱۹۷۳) گزارش کرد که یک حد آستانه‌ای برای LWP



شکل ۲ ارتباط پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای در تیمارهای مختلف

بررسی قرار گرفت ارتباط معنی‌داری بصورت معادله پلی‌نومیال خط ممتد در شکل (۳) بین دمای تاج درخت و هدایت روزنه‌ای بدست آمد که دارای یک نقطه بیشینه بود:

$$g_s = \frac{1}{0.016T_c^2 - 0.927T_c + 14.15} \quad (3)$$

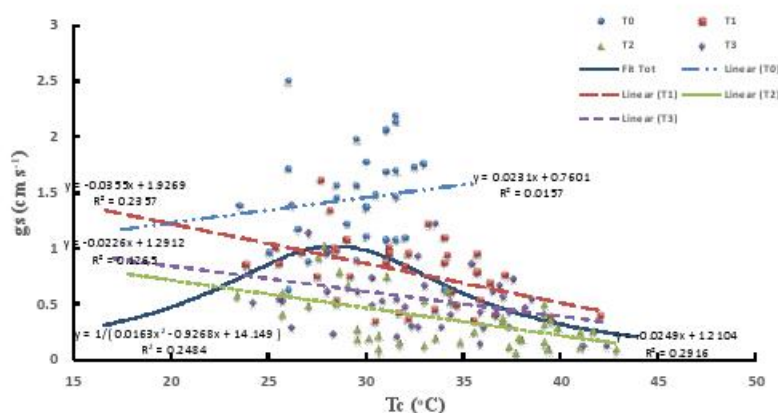
براساس معادله فوق با افزایش T_c که نشانگر افزایش شدت تابش و دمای هوا است روزنه‌ها بیش‌تر باز شده و هدایت روزنه‌ای افزایش می‌یابد ولی از یک نقطه‌ای به بعد (تقریباً ۲۸ درجه سلسیوس) افزایش بیش‌تر دمای تاج درخت باعث کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود چراکه این افزایش T_c به دلیل کاهش پتانسیل آب خاک و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق می‌باشد.

رومرو و بوتیا (۲۰۰۶) نیز چنین ارتباطی را در درخت بادام بدست آوردند و اذعان داشتند که شدت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای با افزایش دمای برگ تا یک مقدار بهینه (۳۵ درجه سلسیوس) افزایش می‌یابد و بعد از آن کم می‌شود. گارسیا-تجرو و همکاران (۲۰۱۱b) نیز ارتباط خطی معنی‌داری بین هدایت روزنه‌ای و دمای تاج درخت در درخت بادام بدست آوردند ($g_s = -0.021T_c + 0.939$) که با معادله بدست آمده در آزمایش جاری برای تیمار T_3 ($g_s = -0.025T_c + 1.21$) هم‌خوانی خوبی دارد. ضیاخان و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پنبه ارتباط معنی‌داری بین دمای پوشش سبز و هدایت روزنه‌ای گزارش کردند.

هدایت روزنه‌ای و دمای تاج درخت

همانطور که از شکل (۳) و جدول (۵) مشخص است ارتباط معنی‌داری بین هدایت روزنه‌ای و دمای تاج درخت در تیمارهای تنش دیده شد. در این شرایط بعلت کاهش پتانسیل آب خاک بواسطه تنش شوری و کمبود آب، گشادگی روزنه‌ها علاوه بر عوامل محیطی تابعی از پتانسیل آب خاک بوده و تحت شرایط تنش روزنه‌ها بسته شده و همزمان با کاهش هدایت روزنه‌ای، دمای تاج درخت بعلت کاهش تعرق، افزایش می‌یابد و به همین علت تحت شرایط تنش ارتباط معکوسی بین هدایت روزنه‌ای و دمای تاج درخت برقرار شد شکل (۳).

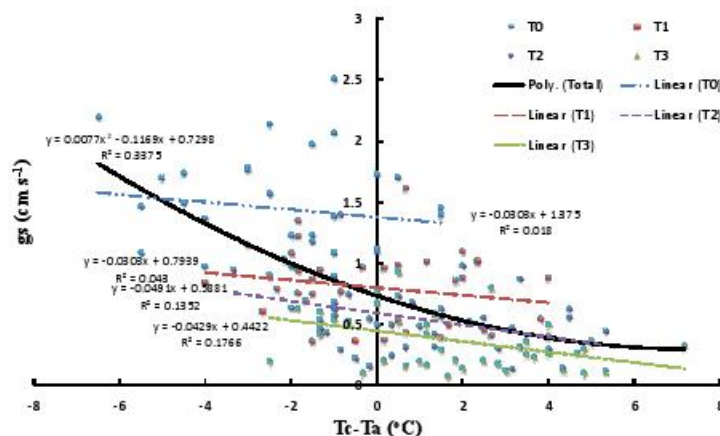
بایومی و همکاران (۲۰۱۴) نیز ارتباط معنی‌دار معکوسی ($r = -0.53^*$) بین دمای تاج درخت و هدایت روزنه‌ای در ارقام مختلف گندم بدست آوردند. اما در درخت بدون تنش بعلت وجود آب کافی روزنه‌ها باز بوده و هدایت روزنه‌ای تابعی از عوامل محیطی مانند شدت نور، CO_2 ، رطوبت، سرعت باد و دمای هوا خواهد بود (رومرو و بوتیا، ۲۰۰۶). همانطوریکه در شکل (۳) دیده می‌شود برعکس شرایط تنش، ارتباط مثبتی بین دمای تاج درخت و هدایت روزنه‌ای برای درخت خوب آبیاری شده وجود دارد چرا که در این مورد افزایش دمای تاج درخت به دلیل کاهش تعرق (کاهش هدایت روزنه‌ای) نیست بلکه به دلیل افزایش تابش خورشیدی و دمای هوا بوده که سبب افزایش فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای می‌شود. به همین دلیل وقتی همه نقاط (بدون در نظر گرفتن تیمارها) مورد



شکل ۳ تغییرات هدایت روزنه‌ای یا دمای تاج درخت در تیمارهای مختلف در طول ۱۵۰ روز دوره رویش

جدول (۵). در کل با افزایش شدت تنش، ارتباط این دو صفت قوی‌تر شده و ضریب همبستگی افزایش یافت به طوری که همبستگی این دو پارامتر در تیمار لب‌شور (T_2) در سطح پنج درصد و در تیمار شور (T_3) در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول (۵)).

هدایت روزنه‌ای و اختلاف دمای تاج درخت و هوا ارتباط معنی‌داری بین هدایت روزنه‌ای و اختلاف دمای تاج درخت و هوا ($T_c - T_a$) در تیمارهای تنش شوری بدست آمد اما این ارتباط در مورد تیمار تنش خشکی و درخت بدون تنش معنی‌دار نبود (شکل (۴) و



شکل ۴ ارتباط هدایت روزنه‌ای یا اختلاف درجه حرارت تاج درخت و هوا

ارتباط دادن متوسط دمای سطوحی با جهت‌گیری‌های متفاوت به هدایت روزنه‌ای برگ‌های انفرادی، ارتباط زیادی به جهت‌گیری برگ‌ها نسبت به تابش خورشیدی دارد. براساس رابطه بدست آمده، هدایت روزنه‌ای مربوط به اختلاف دمای صفر ($T_c - T_a = 0$) (حد آستانه‌ای آغاز تنش)، 0.73 سانتی‌متر بر ثانیه ($283 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) بدست آمد. به گفته دیگر کمتر از این هدایت روزنه‌ای، گنجایش خنک‌کنندگی تاج درخت به دلیل محدود شدن تعرق (بواسطه رطوبت کم خاک یا شرایط نامساعد آب‌وهوایی)، بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد. در نتیجه

با مد نظر قرار دادن کلیه داده‌ها (تمام تیمارها) ارتباط درجه دو بین $T_c - T_a$ و g_s خط ممتد در شکل (۴) مشاهده گردید به طوری که با کاهش اختلاف درجه حرارت تاج درخت با هوا که نشانگر کاهش تنش است، هدایت روزنه‌ای افزایش می‌یابد. براساس معادله بدست آمده کمینه هدایت روزنه‌ای (0.29 سانتی‌متر بر ثانیه) در $T_c - T_a$ برابر $7/6$ درجه ایجاد می‌شود. همان‌طوری که از جدول (۵) مشخص است ضریب همبستگی g_s با $T_c - T_a$ کمتر از همبستگی آن با LWP می‌باشد در خصوص علت این موضوع جونز و همکاران (۲۰۰۹) استدلال کردند که

AWD در درخت بدون تنش مشاهده نگردید. با مدنظر قرار دادن تمامی نقاط و بدون در نظر گرفتن تیمارها، معادله درجه دو برای ارتباط این دو صفت برازش شد هر چند که معادله ارتباط خطی نیز در حد بالایی معنی‌دار بود ولی دلیل ضریب همبستگی بالاتر در معادله درجه دو (۰/۷۰) نسبت به معادله درجه یک (۰/۶۷) از این رابطه استفاده شد شکل (۵). بر اساس این معادله، هدایت روزنه‌ای در ۱۰۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده (نقطه پژمردگی دائم اسمی، مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال) برابر ۰/۳۲ سانتی‌متر بر ثانیه خواهد بود و برای هدایت روزنه‌ای صفر، تخلیه رطوبتی به ۱۰۸ درصد می‌رسد. یعنی درخت بادام قادر بود در رطوبت‌های پایین‌تر از مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال هم آب جذب کرده و تعرق کند.

این یافته در خصوص نتایج شاخص تنش آبی محصول (نتایج ارائه نشده است) نیز دیده شد بطوری‌که تنش کامل ($CWSI = 1$) در رطوبت‌های کمتر از مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال اتفاق می‌افتاد. در طرف مقابل بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای (۱/۲۱ سانتی‌متر بر ثانیه) در تخلیه رطوبتی ۵/۵ درصد ایجاد خواهد شد شکل (۵). همان‌طور که در قسمت قبلی گفته شد آستانه شروع تنش (برابری دمای پوشش سبز با دمای هوا، $T_c - T_a = 0$)، در هدایت روزنه‌ای ۰/۷۳ سانتی‌متر بر ثانیه رخ می‌دهد. با قرار دادن این آستانه در معادله ارتباط g_c با AWD شکل (۵)، تخلیه آستانه برای شروع تنش ۶۴ درصد خواهد بود. و این ۱۴ درصد بیش‌تر از ۵۰ درصد تخلیه معروف برای شروع آبیاری است. این مطلب نشان می‌دهد که روش‌های کم آبیاری مانند RDI یا PRD در خصوص بادام به شرط پایش دقیق وضعیت آبی گیاه قابل اعمال هستند.

توگشتی و همکاران (۲۰۰۴) در درخت زیتون ارتباط معنی‌داری بین رطوبت حجمی در یک خاک لوم شنی و هدایت روزنه‌ای بدست آوردند که بر اساس رابطه خطی برازش شده، وقتی رطوبت حجمی به ۶/۹ درصد می‌رسید هدایت روزنه‌ای به صفر می‌رسید اما در آزمایش حاضر هدایت روزنه‌ای در رطوبت ۵/۳ درصد به صفر

کاهش جذب آب باعث بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تعرق و افزایش دمای برگ می‌شود (بلانکوئیست و همکاران، ۲۰۰۹). گونزالس-دوگو و همکاران (۲۰۱۲) ارتباط خطی بین g_c و $T_c - T_a$ در دو رقم بادام را در کالیفرنیا بدست آوردند. گارسیا-تجرو و همکاران (۲۰۱۲) نیز ارتباط خطی بین این دو صفت را در سریای اسپانیا گزارش کردند با این تفاوت که مقدار هدایت روزنه‌ای آستانه برای شروع تنش ($335 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) بیش‌تر از پژوهش مربوط به گونزالس-دوگو و همکاران (۲۰۱۲) ($180 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) بود.

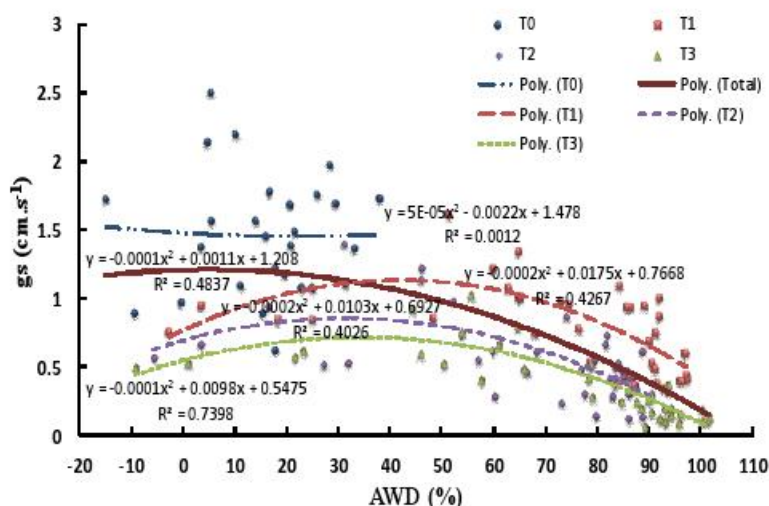
اما نتایج بدست آمده در پژوهش گارسیا-تجرو و همکاران (۲۰۱۲) به نتایج پژوهش جاری نزدیک‌تر است. ماس و استپ (۲۰۱۲) بطور گسترده‌تری ارتباط g_c و $T_c - T_a$ را در درجه حرارت‌ها و کمبود فشار بخارهای مختلف هوا، شدت‌های مختلف تابش و آلبدو، سرعت‌های مختلف باد، زاویه‌های مختلف قرارگیری، اندازه، شکل و شاخص سطح برگ و ارتفاع‌های مختلف پوشش سبز، در گیاهان ذرت، گندم و انگور مورد بررسی قرار دادند. گارسیا-تجرو و همکاران (۲۰۱۱a) ارتباط نمائی را بین این دو صفت در درختان مرکبات بدست آوردند و هدایت روزنه‌ای برای شروع تنش را $1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ تعیین کردند. لوربه (۲۰۱۳) نیز ارتباط معنی‌داری بین g_c و $T_c - T_a$ در درخت نارنگی بدست آورد. با این تفاوت که هدایت روزنه‌ای مربوط به شروع تنش، کم و درحد $18 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ بود.

هدایت روزنه‌ای و تخلیه آب قابل استفاده

با توجه به اینکه میزان باز بودن روزنه و هدایت روزنه‌ای تابعی از رطوبت خاک است همان‌طور که انتظار می‌رفت ارتباط معنی‌داری ($P < 0.001$) بین هدایت روزنه‌ای و تخلیه آب قابل استفاده (AWD) در تیمارهای تنش مشاهده گردید شکل (۵) و این ارتباط در تنش‌های بالا قوی‌تر شد جدول (۵). با توجه به اینکه هدایت روزنه‌ای در حالت وجود رطوبت کافی در خاک، تابع شرایط آب و هوایی است، ارتباط معنی‌داری بین g_c و

تقریباً بصورت یکنواخت است ولی زمانی که رطوبت به زیر هفت درصد وزنی کاهش می‌یابد و مکش خاک به بیش‌تر از ۰/۳ مگاپاسکال می‌رسد، به بطور فزاینده‌ای شروع به کاهش می‌کند. اُورس و همکاران (۲۰۰۱) نیز ارتباط معنی‌داری (R^2 از ۰/۴۵ تا ۰/۵۸) در تیمارهای مختلف رطوبتی و کودی) بین رطوبت خاک و هدایت روزنه‌ای در کاج و صنوبر بدست آوردند.

می‌رسد. درحالی‌که رطوبت نقطه پژمردگی دائم ۶/۹ درصد است یعنی درخت بادام قادر بود در رطوبت‌های پایین‌تر از نقطه پژمردگی دائم نیز آب جذب کند. گولان و همکاران (۱۹۸۶) در گندم و آفتاب‌گردان ارتباط رطوبت و مکش خاکی با بافت لوم شنی با چگالی ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتیمتر مکعب را با هدایت روزنه‌ای مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در رطوبت‌های بیشتر از هفت درصد وزنی، هدایت روزنه‌ای بالا بوده و



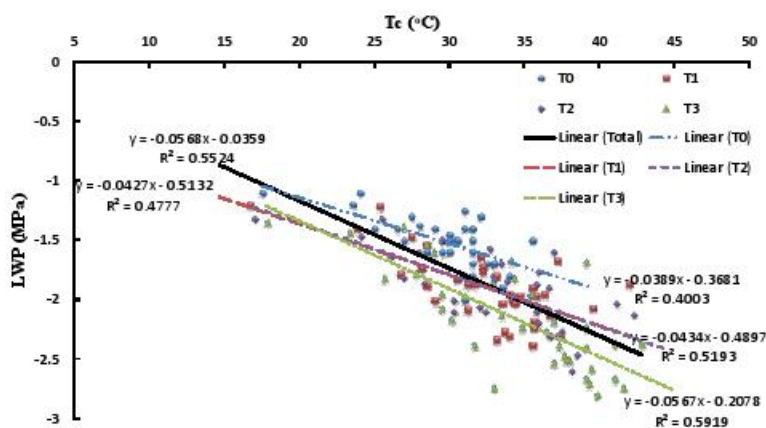
شکل ۵. ارتباط هدایت روزنه‌ای با تخلیه آب قابل استفاده در عمق ۴۰ سانتی‌متر

آمد:

$$LWP = -0.06 T_c - 0.04 \quad (4)$$

کوهن و همکاران (۲۰۰۵) نیز ارتباط معنی‌داری بین دمای تاج درخت و پتانسیل آب برگ در پنبه بدست آوردند. کومار و تریپاتی (۱۹۹۱) نیز ارتباط بین شدت تعرق، LWP و T_c را در گندم مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش LWP ، T_c کاهش می‌یابد و در یک شدت تعرق معین، دمای پوشش سبز در گندم خوب آبیاری شده کمتر از گندم تحت تنش است.

پتانسیل آب برگ و دمای تاج درخت: ارتباط معنی‌داری بین LWP و T_c بدست آمد شکل (۶) و جدول (۵) ضریب همبستگی بین این دو صفت با افزایش تنش شوری و کمبود آب بیش‌تر شد جدول (۵). هم‌چنین با افزایش تنش، شیب رابطه بین این دو پارامتر افزایش یافت شکل (۶). اودومپتایکول و همکاران (۲۰۱۱) رابطه خطی را بین پتانسیل آب ساقه و دمای پوشش سبز برای قسمت سایه تاج درخت بادام از طریق رگرسیون چند متغیره ارائه دادند. با مد نظر قرار دادن تمامی داده‌ها و بدون در نظر گرفتن تیمارها بطور مجزا، رابطه کلی بصورت زیر بدست



شکل ۶ ارتباط دمای تاج درخت با پتانسیل آب برگ

پتانسیل آب برگ و اختلاف دمای تاج درخت و هوا: رابطه معنی‌داری بین $T_c - T_a$ و LWP (P < 0.01) بدست آوردند (همکاران ۲۰۱۳). گونزالس-دوگو و همکاران (۲۰۱۳) در خصوص درختان بادام، زردآلو، هلو، پرتقال و لیمو، ارتباط LWP و $T_c - T_a$ را مورد بررسی قرار دادند. پژوهش آنها هم‌بستگی این دو پارامتر در درختان هسته دار بیش‌تر از مرکبات بود. سیالکر-کانتو و همکاران (۲۰۰۶) در درخت زیتون، گارسیا تجرو و همکاران (۲۰۱۱) در درخت پرتقال و بلورت و همکاران (۲۰۱۳) در انگور ارتباط معنی‌داری بین $T_c - T_a$ و LWP بدست آوردند.

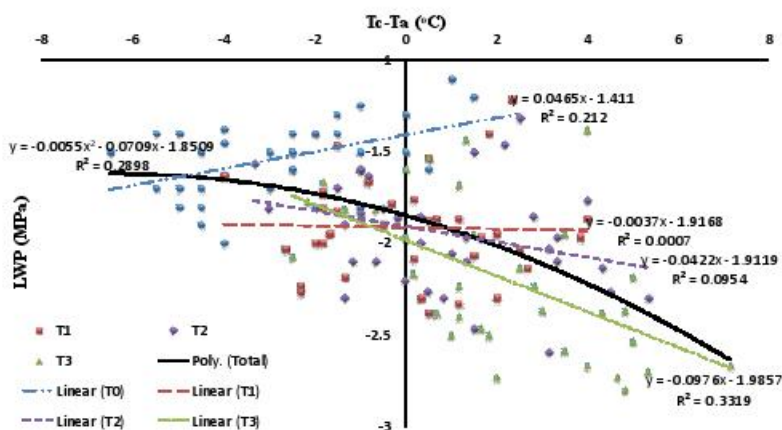
براساس چنین ارتباطات معنی‌داری بین $T_c - T_a$ و پتانسیل آب برگ، آنها $T_c - T_a$ را پارامتری بالقوه برای سنجش تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری در زمینه کشاورزی دقیق در سطح درختان دانسته‌اند. وانگ و گارتونگ (۲۰۱۰) نیز چنین ارتباط معنی‌داری (LWP = $-0.17(T_c - T_a) - 0.91$) را در درخت هلو گزارش کردند. همه این محققین خاطرنشان کردند که روش اندازه‌گیری دمای تاج درخت توسط مادون قرمز یک روش امیدبخش برای ارزیابی تنش آبی گیاهان بویژه در شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه خشک تحت استراتژی کم آبیاری می‌باشد (گارسیا-تجرو و همکاران ۲۰۱۲).

همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش $T_c - T_a$ ، LWP کاهش یافت. شیب این کاهش با افزایش تنش از T1 به T3 بیش‌تر شد. علاوه بر آن ضریب همبستگی بین این دو صفت نیز با افزایش تنش، افزایش یافته است جدول (۵). معادله درجه دوم زیرخط ممند در شکل (۷) برای ارتباط این دو صفت بر کلیه داده‌ها برازش شد:

$$LWP = -0.0055(T_c - T_a)^2 - 0.0709(T_c - T_a) - 1.85 \quad (5)$$

که در آن:

$T_c - T_a$ برحسب درجه سلسیوس و LWP برحسب مگاپاسکال می‌باشد. براساس این معادله پتانسیل آب برگ آستانه برای شروع تنش ($T_c - T_a = 0$)، $-1/85$ مگاپاسکال خواهد بود. گونزالس-دوگو و همکاران (۲۰۱۲) نیز در کالیفرنیا ارتباط مثبت و معنی‌داری بین $T_c - T_a$ و LWP در دو رقم بادام بدست آوردند که معادله بدست آمده از ادغام داده‌های دو رقم بصورت $LWP = -0.09(T_c - T_a) - 2.13$ می‌باشد. این معادله با رابطه بدست آمده در پژوهش جاری برای تیمار T3 ($LWP = -0.10(T_c - T_a) - 1.99$) هم‌خوانی بیش‌تری دارد. گارسیا-تجرو و همکاران (۲۰۱۲) هم در سویای اسپانیا ارتباط معنی‌داری



شکل ۷ ارتباط پتانسیل آب برگ و اختلاف دمای تاج درخت با هوا

نتیجه‌گیری

بدست آمد، که می‌توان از این حدود آستانه‌ای در آبیاری بادام با بهره‌گیری از روش‌های کم آبیاری مانند کم آبیاری کنترل شده (RDI) و خشک کردن جزئی ناحیه ریشه (PRD) استفاده کرد. شوری همچنین باعث کاهش تخلیه آب قابل استفاده شده و از این راه دامنه آب قابل استفاده را کاهش داد. همبستگی معنی‌دار هدایت روزنه‌ای با دمای تاج درخت حاکی از آن بود که دمای بهینه تاج درخت برای بیشینه هدایت روزنه‌ای (بیش‌ترین فتوسنتز) ۲۸/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. 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 می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری و مساعدت‌های بی‌شائبه کارکنان ایستگاه باغبانی و بخش‌های تحقیقات آبخیزداری و خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی تشکر و قدردانی نمایند.

با توجه به نتایج بدست آمده در خصوص ارتباط معنی‌دار و قوی دمای تاج درخت با شاخص‌های شناخته شده وضعیت آبی گیاه مانند هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ، می‌توان گفت که شاخص‌های مبتنی بر دمای تاج درخت می‌توانند برای تعیین ویژگی‌های آبی درخت بادام و برنامه‌ریزی آبیاری این محصول مورد استفاده قرار گیرند. مزیت این روش‌ها عدم نیاز به نمونه‌گیری‌های متعدد تخریبی، امکان اندازه‌گیری از راه دور و قابلیت خودکار کردن آبیاری بر اساس آنها است. شوری آب آبیاری تاثیر معنی‌داری بر دمای تاج درخت، پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای داشت و باعث افزایش دمای تاج درخت و کاهش پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای شد. با توجه به همبستگی معنی‌دار هدایت روزنه‌ای با اختلاف دمای تاج درخت و هوا، آستانه هدایت روزنه‌ای برای شروع تنش در درخت بادام در منطقه انجام این آزمایش، ۰/۷۳ سانتی‌متر بر ثانیه تعیین شد و پتانسیل آب برگ در وسط روز و تخلیه آب قابل استفاده معادل آن به ترتیب ۱/۸۵- مگاپاسکال و ۶۴ درصد

فهرست منابع

۱. 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.
2. Ashraf, M. and J.W. O'Leary. 1996. Effect of drought stress on growth, water

- relations, and gas exchange of two lines of sunflower differing in degree of salt tolerance. *Int. J. Plant Sci.* 157(6): 729–732.
3. Azevedo Neto, A.D., J.T. Prisco, J. Enéas-Filho, C.F. Lacerda, J.V. Silva, P.H.A. Costa, and E. Gomes-Filho. 2004. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Braz. J. Plant Physiol.* 16: 31–38.
 4. Bayoumi, T.Y., S. El-Hendawy, M.S.H. Yousef, and M.A. El Gawad. 2014. Application of infrared thermal imagery for monitoring salt tolerant of wheat genotypes. *J. Amer. Sci.* 10(12): 227–234.
 5. Behboudian, M.H., R.R. Walker, and E. Torokfalvy. 1986. Effects of water stress and salinity on photosynthesis of pistachio. *Sci. Hortic.* 29(3): 251–261.
 6. Bellvert, J., P.J. Zarco-Tejada, J. Girona, and E. Fereres. 2014. Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agric.* 15: 361–376.
 7. Blonquist, J.M., J.M. Norman, B. Bugbee. 2009. Automated measurement of canopy stomatal conductance based on infrared temperature, *Agric. Forest Meteorol.* 149: 1931–1945.
 8. Brugnoli, E., and M. Lauteri. 1991. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-resistant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non-halophytes. *Plant Physiol.* 95: 628–635.
 9. Camposeo, S., M. Palasciano, G.A. Vivaldi, and A. Godini. 2011. Effect of increasing climatic water deficit on some leaf and stomatal parameters of wild and cultivated almonds under Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 127: 234–241.
 10. Castel, J.R., and E. Fereres. 1982. Responses of young almond trees to two drought periods in the field. *J. Hort. Sci.* 57: 175–187.
 11. Charrera, M., G.A. Parasi, and R. Monet. 1998. Rootstock influence on the performance of the peach variety "Catherine". *Acta Hort.* 465: 573–577.
 12. Chaves, M.M., J.S. Pereira, J. Maroco, M.L. Rodrigues, C.P.P. Ricardo, M.L. Osorio, I. Carvalho, T. Faria, and C. Pinheiro. 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Ann. Bot.* 89: 907–916.
 13. Cohen, Y., V. Alchanatis, M. Meron, Y. Saranga, and J. Tsipris. 2005. Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. *J. Exp. Bot.* 56(417):1843–1852.
 14. Deidda, P., S. Dettori, M.R. Filigueddu and A. Canu. 1990. Water Stress and Physiological Parameters in Young Table Olive Tree. *Acta Hort.* 286: 255–259.
 15. Delfine, S., A. Alvino, M. Zacchini, and F. Loreto. 1998. Consequences of salt stress on conductance to CO₂ diffusion, Rubisco characteristics and anatomy of spinach leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 25: 395–402.
 16. Egea, G., I.C. Dodd, M.M. González-Real, R. Domingo, and A. Baille. 2011. Partial rootzone drying improves almond tree leaf-level water use efficiency and afternoon water status compared with regulated deficit irrigation. *Func. Plant Biol.* 38: 372–385.
 17. El Gharbi, A. and B. Jraidi. 1994. Performance of rootstocks of almond, peach and peach × almond hybrids with regard to iron chlorosis. *Acta Hort.* 373: 91–97.
 18. Ewers, B.E., R. Oren, N. Phillips, M. Strömngren, and S. Linder. 2001. Mean canopy stomatal conductance responses to water and nutrient availabilities in *Picea abies* and *Pinus taeda*. *Tree Physiol.* 21: 841–850.
 19. FAO. 1994. Land degradation in South Asia: Its severity, causes and effects upon

- the people. World Soil Resources Reports. FAO, Rome.
20. Fereres, E., T.M. Aldrich, H. Schulbach, and D.A. Martinich. 1981. Responses of young almond trees to late-season drought. *California Agric.* 35 (7 & 8), 11–12.
 21. Fernández, J.E., F. Moreno, I.F. Girón, and O.M. Blázquez. 1997. Stomatal control of water use in olives trees leaves. *Plant Soil* 190: 179–192.
 22. Flowers, T.J., and A.R. Yeo. 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:75–91.
 23. García-Tejero, I., V.H. Durán-Zuazo, J. Arriaga, A. Hernández, L.M. Vélez, and J.L. Muriel-Fernández. 2012. Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. *Fruits* 67:463–474.
 24. García-Tejero, I., V.H. Durán-Zuazo, J.L. Muriel-Fernández, and B.J.A. Jiménez. 2011a. Linking canopy temperature and trunk diameter fluctuations with other physiological water status tools for water stress management in citrus crops, *Funct. Plant Biol.* 38: 106–117
 25. García-Tejero, I.F., V.H. Durán-Zuazo, L.M. Vélez, A. Hernández, A. Salguero, and J.L. Muriel-Fernández. 2011b. Improving almond productivity under deficit irrigation in semiarid zones. *The Open Agric. J.* 5: 56–62.
 26. Giorio, P., G. Sorrentino, and R. diAndria. 1999. Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. *Environ. Exp. Bot.* 42: 95–104.
 27. Goldhamer, D.A. 1996. Regulated deficit irrigation of fruit and nut trees. In: *Proceedings of 7th International Conference on Water and Irrigation*, 13–16 May, Tel Aviv, Israel, pp. 152–167.
 28. Goldhamer, D.A., and E. Fereres. 2001. Simplified tree water status measurements can aid almond irrigation. *California Agric.* 55(3):32–37.
 29. Goldhamer, D.A., and M. Viveros. 2000. Effects of pre-harvest irrigation cutoff durations and post-harvest water deprivation on almond tree performance. *Irrig. Sci.* 19: 125–131.
 30. Gollan, T., J.B. Passioura, and R. Munns. 1986. Soil water status affects the stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 459–464.
 31. Gomes-Laranjo, J., J.P. Coutinho, V. Galhano, and V. Cordeiro. 2006. Responses of five almond cultivars to irrigation: Photosynthesis and leaf water potential. *Agric. Water Manag.* 83: 261–265.
 32. Gonzalez-Dugo, V., P. Zarco-Tejada, E. Nicolás, P.A. Nortes, J.J. Alarcon, D.S. Intrigliolo, and E. Fereres. 2013. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agric.* 14: 660–678.
 33. Gonzalez-Dugo, V., P. Zarco-Tejada, J.A.J. Berni, L. Suarez, D. Goldhamer, and E. Fereres. 2012. Almond tree canopy temperature reveals intra-crown variability that is water stress-dependent. *Agric. Forest Meteorol.* 154–155: 156–165.
 34. Greenway, H., and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:149–190.
 35. Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519–70.
 36. Hsiao, T.C. 1993. Growth and productivity of crops in relation to water status. *Acta Hort.* 335: 137–147.
 37. Idso, S.B., R.D. Jackson, P.J. Pinter, R.J. Reginato, J.L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24: 45–55.

38. Janagoudar Sr, B.S. 2007. Salinity induced changes on stomatal response, bio-physical parameters, solute accumulation and growth in cotton (*Gossypium* spp.). The World Cotton Research Conference 4, September 10–14, 2007, Lubbock, TX.
39. Jones, H. 2007. Monitoring plant and soil water status: established a novel revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *J. Exp. Bot.* 58: 119–30.
40. Jones, H.G., A.N. Lakso and J.P. Syvertsen. 1985. Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. *Hortic. Rev.* 7:301–344.
41. Jones, H.G., R. Serraj, B.R. Loveys, L. Xiong, A. Wheaton, and A.H. Price. 2009. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Func. Plant Biol.* 36: 978–989.
42. Kardavani P. 1990. Climatological Characteristics of Arid Regions, Tehran University Press, Tehran, Iran (in Farsi).
43. Klein, I., G. Esparza, S.A. Weinbaum, and T.M. DeJong. 2001. Effects of irrigation deprivation during the harvest period on leaf persistence and function in mature almond trees. *Tree Physiol.* 21: 1063–1072.
44. Kumar, A., and R.P. Tripathi. 1991. Relationships between leaf water potential, canopy temperature and transpiration in irrigated and nonirrigated wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 166: 19–23.
45. Kusvuran, S. 2012. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). *African J. Agric. Res.* 7(5): 775–781.
46. Leidi, E.O., J.M. Lopez, M. Lopez, and J.C. Gutierrez. 1993. Searching for tolerance to water stress in cotton genotypes: photosynthesis, stomatal conductance and transpiration. *Photosynthetica* 28: 383–390.
47. Lurbe, C.B. 2013. Regulated deficit irrigation in citrus: agronomic response and water stress indicators. PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
48. Maes, W.H., and K. Steppe. 2012. Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *J. Exp. Bot.* 63(13): 4671–4712.
49. Marsal, J., J. Girona, and M. Mata. 1997. Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 122: 582–587.
50. Marsal, J., M. Mata, A. Arbonés, J. Rufat, and J. Girona. 2002. Water stress limits for vegetative and reproductive growth of ‘Barlett’ pears. *Acta Hort.* 596: 659–64.
51. McCutchan, H., and K.A. Shackel. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(4): 607–611.
52. Monastra, F., and E. Raparelli. 1997. Inventory of almond research, germplasm and references, REUR Technical Series 51, FAO, Rome.
53. Monteith JL, 1973. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London.
54. Monticelli, S., G. Puppi, and C. Damiano. 2000. Effects of in vivo mycorrhization on micropropagated fruit tree rootstocks. *Appl. Soil Ecol.* 15: 105–111.
55. Moriana, A., F.J. Villalobos, and E. Fereres. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive leaves to water deficits. *Plant Cell Environ.* 25: 395–405.
56. Naor, A. 1998. Relationships between leaf and stem water potentials and stomatal conductance in three field-grown woody species. *J. Hort. Sci. Biotech.* 73: 431–436.
57. Naor, A. 2004. The interactions of soil- and stem-water potentials with crop level, fruit size and stomatal conductance of field-grown ‘Black Amber’ Japanese plum. *J.*

- Hortic. Sci. Biotech. 79: 273–280.
58. Nielsen, D.C. 1990. Scheduling irrigations for soybeans with the crop water stress index (CWSI). *Field Crops Res.* 23: 103–116.
 59. O'Toole, J.C., and R.T. Cruz. 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.* 65: 428–432.
 60. Palma, L., and V. Novello. 1996. Caratteristiche dell'attività fotosintetica di mandorlo e pistacchio. *Riv. di Frutticol.* 1: 55–56.
 61. Qiu D.L., P. Lin, and S.Z. Guo. 2007. Effects of salinity on leaf characteristics and CO₂/H₂O exchange of *Kandelia candel* (L.) Druce seedlings. *J. Forest Sci.* 53(1): 13–19.
 62. Ranjbarfordoei, A., Lemeur R. and Van Damme P. 2001. Ecophysiological characteristics of two pistachio species (*Pistacia khinjuk* and *Pistacia mutica*) in response to salinity. In: Ak B.E. (ed.). XI GREMPA Seminar on Pistachios and Almonds. Zaragoza: CIHEAM, Pp. 179–187 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 56).
 63. Ranjbarfordoei, A., Samson R., Lemeur R. and Van Damme P. 2000. Effects of drought stress induced by polyethylene glycol on pigment content and photosynthetic gas exchange of *pistacia mutica* and *P. khinjk*. *Photosynthetica* 38(3): 443–447.
 64. Rieger, M. 1995. Offsetting effects of reduced root hydraulic conductivity and osmotic adjustment following drought. *Tree Physiol.* 15: 379–385.
 65. Romero, P., and P. Botia. 2006. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. *Envir. and Exper. Bot.* 56: 158–173.
 66. Romero, P., J.M. Navarro, F. Garcia, and P.B. Ordaz. 2004a. Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees. *Tree Physiol.* 24: 303–312.
 67. Romero, P., P. Botia, and F. Garcia. 2004b. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant Soil* 260: 169–181.
 68. Romero, P., P. Botia, and F. Garcia. 2004c. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant Soil* 260: 155–168.
 69. Rouhi, V., R. Samson, R. Lemeur, and P. Van Damme. 2006. Stomatal resistance under drought stress conditions induced by PEG 6000 on wild almond. *Comm. in Agri. and Appl. Biol. Sci.* 71: 239–241.
 70. Rouhi, V., R. Samson, R. Lemeur, and P. Van Damme. 2007. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environ. Exp. Bot.* 59: 117–129.
 71. Samandari Gikloo, T. and B. Elhami. 2012. Physiological and morphological responses of two almond cultivars to drought stress and cycocel. *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.* 3(5): 1000–1004.
 72. Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D., and Hemmingsen, E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339–346.
 73. Sdoodee, S., and J. Somjun. 2008. Measurement of stem water potential as a sensitive indicator of water stress in neck orange (*Citrus reticulata* Blanco). *Songklanakarin J. Sci. Tech.* 30(5): 561–564.
 74. Seemann, J.R., and C. Critchley. 1985. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L.. *Planta* 164(2): 151–162.

75. Sepulcre-Cantó, G., P.J. Zarco-Tejada, J.C. Jiménez-Muñoz, J.A. Sobrino, E. de Miguel, and F.J. Villalobos. 2006. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agric. Forest Meteorol.* 136: 31–44.
76. Shackel, K. 2011. A plant-based approach to deficit irrigation in trees and vines. *Hort Sci.* 46(2): 173–177.
77. Shackel KA, Ahmadi H, Biasi W, Buchner R, Goldhamer D, Gurusinghe S, Hasey J, Kester D, Krueger B, Lampinen B, McGourty G, Micke W, Mitcham E, Olson B, Pelletrau K, Philips H, Ramos D, Schwankl L, Sibbett S, Snyder R, Southwick S, Stevenson M, Thorpe M, Weinbaum S, and Yeager J, 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Hort Tech.* 7(1): 23–29.
78. Shannon, M.C., C.M. Grieve, and L.E. Francois. 1994. Whole-plant response to salinity. Pp. 199–244. In: Wilkinson R.E. (ed). *Plant-Environment Interactions*. New York: Marcel Dekker, Inc.
79. Sharifmoghaddam, N., A. Safarnejad, and S.M. Tabatabaei. 2011. The effect of plant growth regulators on callus induction and regeneration of GF677 rootstock. *Int. J. Sci. Nature* 2(4): 805–808.
80. Stewart, J.D., and P.Y. Bernier. 1995. Gas exchange and water relations of 3 sizes of containerized *Picea mariana* seedlings subjected to atmospheric and edaphic water stress under controlled conditions. *Annal. Sci. Forest.* 52 (1): 1–9.
81. Testi, L., D. Goldhamer, F. Iniesta, and M. Salinas. 2008. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrig. Sci.* 26(5): 395–405.
82. Tognetti, R., R. diAndria, G. Morelli, D. Calandrelli, and F. Fragnito. 2004. Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk sap flow and leaf water relations in olive trees. *Plant Soil* 263: 249–264.
83. Torrecillas, A., J.J. Alarcón, R. Domingo, J. Planes, and M.J. Sánchez-Blanco. 1996. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. *Plant Sci.* 118: 135–143.
84. Torrecillas, A., M.C. Ruiz-Sanchez, A. Leon, and A.L. Garcia. 1988. Stomatal response to leaf water potential in almond trees under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant Soil* 112(1): 151–153.
85. Turner, N.C. 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrig. Sci.* 9: 289–308.
86. Udompetaikul, V., S.K. Upadhyaya, D. Slaughter, B. Lampinen and K. Shackel. 2011. Plant Water Stress Detection Using Leaf Temperature and Microclimatic Information, 2011 ASABE Annual International Meeting, Sponsored by ASABE Galt House Louisville, Kentucky August 7–10, 2011, Paper Number: 1111555.
87. Vengosh, A. 2003. Salinization and saline environments. In: Lollar B.S. (ed). *Environmental Geochemistry*. Vol. 9 pp. 333–365. Elsevier.
88. Volpe, V., S. Manzoni, M. Marani, and G. Katul. 2011. Leaf conductance and carbon gain under salt-stressed conditions. *J. Geo. Res.* 116(4): 1–12.
89. Wang, D. and J. Gartung. 2010. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agric. Water Manage.* 97: 1787–1794.
90. Yadollahi, A., and A.R. NazaryMoghadam. 2012. Micropropagation of GF677 rootstock. *J. Agric. Sci.* 4(5): 131–138.
91. Zamani, Z., A. Taheri, A. Vezvaei, and K. Poustini. 2002. Proline content and stomatal resistance of almond seedlings as affected by irrigation intervals. *Acta Hort.* 491: 411–416.
92. Zia-Khan, S., W. Spreer, Y. Pengnian, X. Zhao, H. Othmanli, X. He, and J. Müller. 2015. Effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of

- cotton in Northwest China. *Water* 7: 116–131.
93. Zrig, A., H. Ben Mohamed, T. Tounekti, S.O. Ahmed, and H. Khemira. 2015. Differential responses of antioxidant enzymes in salt-stressed almond tree grown under sun and shade conditions. *J. Plant Sci. Res.* 2(1): 117.