

روابط بین پتانسیل آب برگ، تنش - درجه - روز و تخلیه آب قابل استفاده در درخت بادام تحت تنش شوری

اژدر عنابی میلانی^{1*}، محمدرضا نیشابوری²، محمدرضا مصدقی³، داوود زارع حقی⁴

تاریخ دریافت: 93/12/16 تاریخ پذیرش: 94/10/21

1- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه تبریز و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی

2- استاد گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

3- دانشیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان

4- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a_o_milani@yahoo.com

چکیده

بادام یکی از مهم‌ترین محصولات باغی کشور و به‌ویژه استان آذربایجان شرقی می‌باشد. با توجه به کمبود منابع آب در استان و شور بودن بیش‌تر آن‌ها و اهمیت بادام به‌عنوان محصول باغی، مطالعه تأثیر شوری بر روابط آبی مربوطه در امر برنامه‌ریزی آبیاری حائز اهمیت است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر شوری بر برخی شاخص‌های تنش آبی که در برنامه‌ریزی آبیاری باغ‌های بادام مورداستفاده قرار می‌گیرد، به مرحله اجرا درآمد. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار شوری آب، شامل آب چاه با شوری $2^{ds/m}$ (T_1) و آب‌های شور شده با نمک‌هایی با همان ترکیب آب چاه $4^{ds/m}$ (T_2) و $5^{ds/m}$ (T_3) در سه تکرار و در ایستگاه باغبانی مرکز تحقیقات کشاورزی استان در خاکی با بافت شن لومی در سال 1393 اجرا شد. در طول فصل رشد، دما و رطوبت نسبی هوا از ایستگاه هواشناسی اخذ شد و دمای پوشش سبز، پتانسیل آب برگ و رطوبت خاک تا عمق 70 سانتی‌متر در وسط روز (ساعت 12 ظهر تا 14 بعدازظهر) به‌ترتیب توسط دماسنج مادون‌قرمز، محفظه فشاری و TDR اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری ($p < 0.0001$) بر تنش-درجه-روز (SDD)، پتانسیل آب برگ و تخلیه آب قابل‌استفاده (AWD) خاک دارد. میانگین فصلی SDD برای تیمارهای T_1 تا T_3 به‌ترتیب 28/4، 34/1 و 42/3 درجه سلسیوس روز و پتانسیل آب برگ برای همان تیمارها به‌ترتیب 1/90، 1/93- و 2/16- مگاپاسکال به‌دست آمد. ارتباط معنی‌داری بین SDD و پتانسیل آب برگ با AWD به‌دست آمد و با افزایش سطح تنش این ارتباط قوی‌تر شد. بر اساس معادلات رگرسیونی به‌دست آمده، AWD برای تیمارهای T_1 تا T_3 به‌ترتیب 72/7، 57/2 و 51/9 درصد به‌دست آمد. بر این اساس حد آستانه‌ای پتانسیل آب برگ برای تیمارهای یاد شده جهت اجتناب از تنش به‌ترتیب 1/68، 1/76 و 1/53- مگاپاسکال خواهد بود. پتانسیل آب برگ معادل برای تنش کامل درخت بادام در منطقه نیز 2/40، 2/29 و 2/37- مگاپاسکال به‌ترتیب برای تیمارهای T_1 تا T_3 به‌دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست آمده و ارتباط معنی‌دار SDD با پتانسیل آب برگ و رطوبت خاک که هر دو شاخص‌هایی مهم و پذیرفته‌شده از وضعیت آب گیاه هستند، می‌توان از این شاخص بدون نیاز به نمونه‌گیری‌های زیاد برای تعیین وضعیت آبی درخت بادام، برنامه‌ریزی آبیاری و استراتژی‌های کم‌آبیاری مانند RDI و PRD استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، رطوبت خاک، روابط آبی، شاخص تنش آبی، کمبود فشار بخار

Relationships between Leaf Water Potential, Stress-Degree-Day and Available Water Depletion in Almond Tree under Salinity Stress

A Onnabi Milani^{1*}, MR Neyshabouri², MR Mosaddeghi³ and D Zare Haggi⁴

Received: 7 March 2015 Accepted: 11 January 2016

1- PhD Student and Scientific Staff Member of AREO, Soil Science Dept. Univ. of Tabriz, Iran

2- Prof., Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Univ. of Tabriz, Iran

3- Assoc. Prof., Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Tech. Univ. of Isfahan, Iran

4- Assoc. Prof., Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Univ. of Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: a_o_milani@yahoo.com

Abstract

Almond (*Prunus dulcis*) is an important horticultural crop in Iran especially in East Azarbaijan province. Due to the scarcity of water resources and increase in their salinity during the recent years, also economic importance of this crop in the area, studying the salinity effect on almond water relations seems crucial for irrigation scheduling. This investigation aimed to evaluate the salinity effects on some water stress indicators that can be used for irrigation scheduling in almond orchards. The study was conducted during 2014 based on randomized complete block design with three replications on a loamy sand soil at horticultural station of the State Agricultural Research Center. Treatments comprised three irrigation salinity levels viz. 2 (T_1), 4 (T_2), and 5 (T_3) $dS\ m^{-1}$. Air temperature (T_a) and relative humidity were taken from the meteorological site. Canopy temperature (T_c) leaf water potential (LWP) and volumetric soil water content (WC) at three depths (0-20, 0-40, and 0-70 cm) were measured at midday (12-14) during the growing season using infrared thermometer, pressure chamber and TDR respectively. Results indicated that salinity has significant effect ($p < 0.0001$) on stress degree day (SDD), $T_c - T_a$, LWP and available water depletion (AWD). Seasonal averages of SDD for treatment T_1 to T_3 were 28.4, 34.1 and 42.3 °C day, with corresponding LWP of -1.90, -1.93 and -2.16 MPa, respectively. Also significant correlation was found between SDD and LWP with AWD. Based on the regression equations, AWD of the treatments T_1 to T_3 should not exceed 72.7, 57.2, and 51.9%, respectively to avoid any water stress. In this case, LWP would be equal to -1.68, -1.76 and -1.53 MPa for treatments T_1 to T_3 . Falling the corresponding WCs below 3.5, 6.0, and 8.3% would lead to fully stressed conditions at T_1 to T_3 , respectively. The corresponding LWPs for those WCs were -2.40, -2.29 and -2.37 MPa.

Keyword: Irrigation scheduling, Soil water content, Vapor pressure deficit, Water relations, Water stress indicator

مقدمه

(موناسترا و راپارلی 1997) دارد. هرچند بادام تحمل خوبی به کمبود آب دارد (رحیمی ایچی 2013) ولی عملکرد آن در شرایط بدون محدودیت به طور

بادام (*Prunus dulcis*) یکی از مهم‌ترین محصولات باغی کشور بوده و جایگاه مهمی در بین محصولات باغی شمال غرب کشور و استان آذربایجان شرقی

2004). فشار برای بهبود کارآئی مصرف آب آبیاری و استفاده از آبیاری برای کنترل دقیق رشد رویشی مانند RDI، هردو نیازمند افزایش دقت در برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد. برای داشتن آبیاری دقیق و کنترل‌شده پایش دقیق وضعیت آبی گیاه ضروری است.

پتانسیل آب برگ، مقاومت روزنه‌ای، شدت فتوسنتز و دمای پوشش سبز اندازه‌گیری‌های پایه‌ای هستند که وضعیت آبی گیاه را به خوبی نشان می‌دهند و در بسیاری از گیاهان به‌عنوان وسیله‌ای برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده می‌شوند (شاکل و همکاران 1997، نائور 2000).

شاخص‌های مختلفی برای تعیین وضعیت آبی گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند که توسط جونز (2004) مورد بررسی قرار گرفته است. برخی از این شاخص‌ها بر پایه خاک استوار است (مانند رطوبت خاک و پتانسیل آب خاک) و برخی بر پایه ویژگی‌های خود گیاه (مانند پتانسیل آب برگ، دمای پوشش سبز، مقاومت روزنه‌ای و شدت فتوسنتز). اعتقاد بر این است که تنش آب توسط پتانسیل آب برگ زودتر از مقاومت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز قابل‌سنجش است (گارسیا-تیجرو و همکاران 2012) اما پژوهشگران دیگر مثل گارسیا-تیجرو و همکاران (2011) حساسیت بالائی را از روش دمای پوشش سبز برای سنجش تنش آبی در مرکبات در مقایسه با دیگر پارامترهای فیزیولوژیکی از جمله پتانسیل آب ساقه یا مقاومت روزنه‌ای گزارش کردند. نائور (2006) اذعان می‌دارد که پتانسیل آب برگ در وسط روز و دمای پوشش سبز نسبت به دیگر پارامترها در مرتبه پائین‌تری قرار دارند. مادامی‌که پتانسیل آب برگ به‌طور وسیعی به‌عنوان شاخص اصلی وضعیت آبی گیاه مورد پذیرش قرار گرفته است، مقایسه چنین روشی با داده‌های دمای پوشش سبز سودمند خواهد بود (جکسون 1982). بلورت و همکاران (2014) ارتباط معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ و شاخص تنش آبی

معنی‌داری افزایش می‌یابد به‌طوری‌که عملکرد اقتصادی آن تا ده برابر نسبت به شرایط دیم قابل افزایش است (جیرونا و همکاران 2005، گلدهامر و همکاران 2006). در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، محدودیت منابع و کیفیت پائین آب مهم‌ترین عامل محدودکننده افزایش تولید محصولات زراعی و باغی به‌ویژه بادام است. به‌خاطر همین محدودیت، استفاده بهینه از این منابع اهمیت به‌سزایی پیدا می‌کند به‌ویژه اینکه این محصول خود را با شرایط محدودیت آب به‌خوبی وفق می‌دهد (کاسل و فررس 1982، مارسال و همکاران 1997).

در سال‌های اخیر دامنه وسیعی از روش‌های جدید برای برنامه‌ریزی آبیاری پیشنهاد شده است که همه به‌طور کامل مورد استقبال قرار نگرفته‌اند. بسیاری از این روش‌ها بر اساس سنجش عکس‌العمل گیاه هستند تا سنجش مستقیم رطوبت خاک (جونز 2004). کاهش جهانی منابع آب و افزایش هزینه‌های آبیاری باعث شده که امروزه تأکید بر توسعه روش‌های آبیاری باشد که باعث کاهش مصرف آب و افزایش کارآئی مصرف آب می‌شوند (جونز 2004، رحیمی ایچی 2013). روش‌های آبیاری دقیق مثل آبیاری قطره‌ای نقش مهمی در کاهش مصرف آب در محصولات زراعی و باغبانی ایفا می‌کند. اما این سامانه‌های آبیاری به روش‌های نوین و دقیق کنترل و برنامه‌ریزی آبیاری نیاز دارند. رازوک و همکاران (2013) اذعان کردند که محدود کردن آبیاری به‌ویژه در مرحله کاهش سرعت رشد باعث افزایش کارآئی مصرف آب و بهبود کیفیت میوه در درختان هلو، آلو و بادام می‌شود. روش "کم‌آبیاری تنظیم شده"¹ (RDI) و "خشک کردن جزئی منطقه ریشه"² (PRD) روش‌های نوآورانه‌ای هستند که برای استفاده بهینه از آب آبیاری ابداع شده‌اند. اما بزرگ‌ترین موفقیت این روش‌ها در محصولات با ارزش باغی است به شرط آنکه سنجش تنش گیاه به‌درستی صورت گیرد (جونز

¹ Regulated deficit irrigation

² Partial root-zone drying

شوری روابط آبی بیش‌تر درختان را تغییر می‌دهد و مقاومت در برابر شوری بستگی به مقاومت در برابر تنش خشکی دارد (گرین‌وی و مونز 1980، فلاورز و یئو 1986). تغییر در پتانسیل آب برگ، پتانسیل اسمزی، شادابی برگ و توسعه‌پذیری دیواره سلولی در اثر افزایش شوری، در گیاهان علفی به‌طور گسترده مطالعه شده است. اما مطالعه تأثیر شوری بر روابط آبی در درختان میوه ناچیز می‌باشد که در این خصوص به پژوهش گوچی و همکاران (1997) و موسوی و همکاران (2008) در خصوص درخت زیتون و لمور و همکاران (2001) در مورد پسته می‌توان اشاره کرد.

هدف از این مطالعه بررسی ارتباط بین پتانسیل آب برگ به‌عنوان اصلی‌ترین شاخص وضعیت آبی گیاه با دمای تاج درخت و رطوبت خاک و تأثیر شوری بر آن‌ها در درخت بادام بوده است. تا در صورت وجود ارتباط معنی‌دار بین آن‌ها در شرایط شور، بتوان روشی ساده و قابل دورسنجی مانند دمای گیاه را برای تعیین وضعیت آبی درخت بادام در برنامه‌ریزی آبیاری و استراتژی‌های کم آبیاری مثل RDI و PRD معرفی کرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه باغبانی مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی واقع در جنوب غربی تبریز (29° و 57' و 43° و 55' طول شرقی و 37° عرض شمالی، ارتفاع 1327 متر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار (9 واحد آزمایشی) بر روی درختان جوان (7 ساله) بادام رقم آذر (*Prunus dulcis* (Mill.) cv Azar) که بر روی پایه رویشی GF677 پیوند شده و به فاصله 4×5 متر کاشته شده‌اند در سال 1393 به انجام رسید. 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 چراکه در مقابل سرمای دیررس بهاره عکس‌العمل بهتری نشان

محصول (CWSI) که همانند SDD شاخصی مبتنی بر دمای پوشش سبز است در درخت مو به‌دست آوردند. روی و افوری (2014) نیز به این نتیجه رسیدند که متوسط این شاخص برای درختان بادام بدون تنش 0/24 است و زمانی‌که مقدار آن از 0/5 فراتر رود عملکرد بادام تحت تأثیر قرار گرفته و کاهش می‌یابد. در پژوهش رازوک و همکاران (2013) تنش آبی به‌طور معنی‌داری دمای برگ را در همه گونه‌های موردبررسی (هلو، آلو و بادام) افزایش داد. گونزالس-دوگو و همکاران (2013) در خصوص درختان بادام، زردآلو، هلو، پرتقال و لیمو، ارتباط پتانسیل آب برگ و اختلاف دمای پوشش سبز و هوا را موردبررسی قرار دادند. در پژوهش آن‌ها هم‌بستگی این دو پارامتر در درختان هسته‌دار بیش‌تر از مرکبات بود.

شوری یکی از مشکلات گسترده جهانی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. برخی مطالعات نشان می‌دهد که 20 تا 50 درصد کل زمین‌های زراعی متأثر از شوری است که سبب کاهش قابل‌توجه درآمد اقتصادی می‌شود (فلاورز 1999). افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک و کاهش جذب آب توسط گیاهان می‌شود (لویت 1980). تنش آبی به‌واسطه نمک که خشکی فیزیولوژیکی نامیده می‌شود زمانی اتفاق می‌افتد که غلظت نمک در محلول خاک به‌حدی افزایش یابد که جذب آب توسط گیاه را همانند تنش خشکی محدود کند (کارو و دانکن 1998). هردو تنش شوری و آبی منجر به از دست دادن آب سلولی و تنش اسمزی می‌شوند (بارتلس و سانکار 2005) بنابراین گیاهان ممکن است روش مشترکی برای مقابله با این تنش‌ها اتخاذ کنند (پاستوری و فویر 2002، توتجا 2007). در بین گیاهان درختان در کل در مرحله جوانه‌زدن نسبت به شوری مقاوم‌تر هستند اما در مرحله ظهور گیاهچه حساس بوده و بعدازآن با افزایش سن درخت تحمل آن به تنش شوری به‌جز در مرحله گل‌دهی افزایش می‌یابد (شانون و همکاران 1994). تنش

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک باغ به ترتیب در جدول‌های 1 و 2 ارائه شده است. تیمارهای شوری شامل آبیاری با آب چاه موجود در ایستگاه (T₁)، آب لب شور (T₂) و آب شور (T₃) بود. آب لب‌شور و شور بر اساس روش علی اصغرزاد (1379) با حل کردن نمک‌های مختلف در آب چاه ایستگاه به طوری که ترکیب یونی شبیه آب چاه منطقه باشد تهیه گردید. ویژگی‌های آب سه تیمار شوری در جدول 3 آمده است.

می‌دهد. پایه GF677 دورگ بین بادام و هلو می‌باشد که قوی و تنومند بوده و عموماً به عنوان پایه برای باغات هلو استفاده می‌شود این پایه که به صورت غیرجنسی و رویشی تکثیر می‌شود، در مقابل کمبود آهن مقاوم بوده (الغربی و جدایی 1994) و به ویژه برای خاک‌های با حاصلخیزی کم (چاررا و همکاران 1998)، مقدار آب قابل استفاده پائین و آهک زیاد مناسب است (مونتیسیلی و همکاران 2000، شریف‌مقدم و همکاران 2011، یداللهی و نظری مقدم 2012).

جدول 1 - ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش.

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	pH	مواد خنثی شونده (%)	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)
0-20	3/04	7/57	3/5	0/47	0/05	14/2	419
20-40	2/12	7/86	2/0	0/27	0/03	3/4	192
40-90	1/45	8/03	2/0	0/10	0/01	0/6	115

جدول 2 - ویژگی‌های فیزیکی خاک محل اجرای پژوهش.

عمق (cm)	درصد اشباع	تجزیه مکانیکی			چگالی ظاهری		رطوبت وزنی (%)	
		شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت	(g cm ⁻³)	FC (0.03 MPa)	PWP (1.5 MPa)
0-20	24	87	8	5	شن لومی	1/56	10/9	4/3
20-40	21	88	7	5	شنی	1/64	8/1	4/4
40-90	21	89	6	5	شنی	1/57	8/3	4/1

جدول 3 - ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری در تیمارهای مختلف.

تیمار	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	pH	کربنات (CO ₃ ²⁻)	بیکربنات (HCO ₃ ⁻)	کلر (Cl ⁻)	سولفات (SO ₄ ²⁻)	میلی اکی والان در لیتر			نسبت جذب سدیم (SAR)
							مجموع آنیون‌ها	کلسیم + منیزیم (Mg ²⁺ + Ca ²⁺)	سدیم (Na ⁺)	
T ₁	2/161	7/56	0/0	3/4	9/0	9/6	22/0	16/2	5/8	22/0
T ₂	4/331	7/49	0/0	3/6	23/0	17/4	44/0	28/6	18/6	47/2
T ₃	5/140	7/82	0/0	4/0	28/8	18/2	51/0	26/0	25/0	51/0

حالت اشباع برسانند. هدف از ایجاد رطوبت بالا تعیین حد آستانه‌ای رطوبت برای تهویه بود.

اواخر اردیبهشت‌ماه، تمام درخت‌ها به عمق 200 میلی‌متر آبیاری شدند و بعد از آن اندازه‌گیری‌ها شروع شد. برای بررسی تأثیر شوری بر ویژگی‌های آبی

برای تعیین تأثیر تنش خشکی نیز یک درخت انتخاب و تا پایان پژوهش به طور مرتب با فواصل تقریبی دو روز (به غیر از روزهای تعطیل) به عمق 150 میلی‌متر آبیاری گردید (T₀). این مقدار آبیاری کافی بود رطوبت ناحیه ریشه (عمق 70 و شعاع 85 سانتی‌متر) را تقریباً به

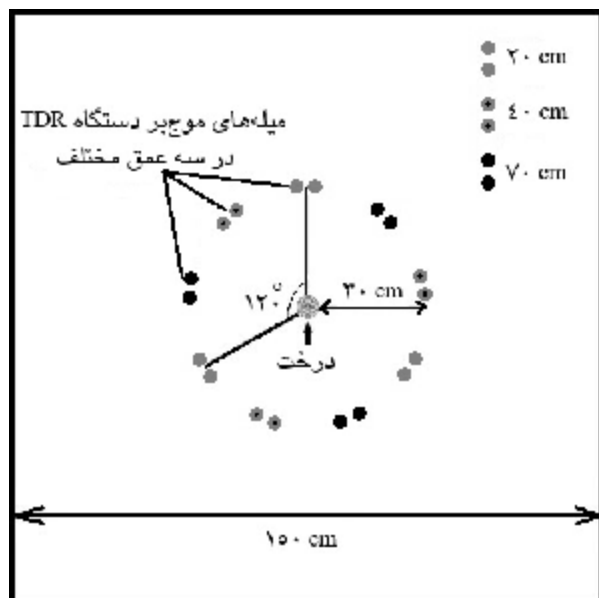
در طول انجام پژوهش (30 اردیبهشت تا 25 مهر)، دمای هوا و رطوبت نسبی برای ساعت 12 تا 14، از سایت هواشناسی موجود در ایستگاه اخذ شده و از روی آن مقدار کمبود فشار بخار هوا از طریق رابطه زیر (مونتیث 1973) محاسبه گردید:

$$VPD = \frac{e - RH}{100} \frac{\partial e_s}{\partial T} \quad [2]$$

که در آن VPD کمبود فشار بخار اشباع (kPa)، RH رطوبت نسبی (%) و e_s فشار بخار اشباع (kPa) هست که از رابطه زیر به دست آمد (مورای 1967):

$$e_s = 0.6107 \cdot 10^{7.5T / (237.3 + T)} \quad [3]$$

که در آن T دمای هوا (°C) هست.



شکل 1- ابعاد یک کرت و طرز قرار گرفتن درخت و میله‌های موج‌بر دستگاه TDR در سه عمق مختلف.

تنش-درجه-روز (Stress-degree-day)، SDD بر اساس رابطه زیر (جکسون و همکاران 1977) در طول فصل رشد محاسبه گردید:

$$SDD_{pos} = \sum_{n=i}^N (T_c - T_a)_n \quad [4]$$

که در آن SDD_{pos} مجموع مقادیر مثبت $T_c - T_a$ هست. مقادیر منفی $T_c - T_a$ ، صفر در نظر گرفته می‌شوند. اندیس i اولین روز بعد از آبیاری و N تعداد روزهایی است که نیاز است تا SDD_{pos} به مقدار تعیین شده قبلی برسد. T_a و T_c نیز به ترتیب دمای هوا و دمای پوشش سبز در

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 180 میلی‌متر) زمانی انجام گرفت که رطوبت خاک به نزدیکی نقطه پژمردگی برسد و علائم پژمردگی در برگ‌ها ظاهر شود.

رطوبت حجمی نیم‌رخ خاک (SWC) تا عمق 20، 40 و 70 سانتی‌متری در سه نقطه از اطراف درخت در گوشه‌های یک مثلث فرضی با زاویه 120 درجه به فاصله 30 سانتی‌متری تنه درخت توسط دستگاه TDR مدل Trase 6050 X1 اندازه‌گیری گردید (شکل 1) و از روی آن مقدار تخلیه آب قابل‌استفاده خاک (Available water depletion، AWD) برای اعماق فوق توسط رابطه زیر محاسبه شد:

$$AWD = \frac{FC - q}{FC - PWP} \cdot 100 \quad [1]$$

که در آن FC، θ و PWP به ترتیب رطوبت گنجایش مزرعه‌ای، رطوبت اندازه‌گیری شده و رطوبت نقطه پژمردگی دائم می‌باشد. پتانسیل آب برگ در زمان بیشینه دمای هوا (12 تا 14) از برگ‌های واقع در سایه (قسمت شمالی درخت) و نزدیک تنه درخت از قسمت تحتانی پوشش سبز (گلداهامر و فررس 2001، تستی و همکاران 2008، شاکل 2011، گارسیا-تجرو و همکاران 2011 و 2012) توسط دستگاه محفظه فشاری اندازه‌گیری گردید (شولاندر و همکاران 1965، تورنر 1988). علت اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ از برگ‌های واقع در سایه نزدیک تنه این بود که پتانسیل اندازه‌گیری شده نشان‌گر پتانسیل آب ساقه باشد چراکه به نظر شاکل و همکاران (1997) پتانسیل آب ساقه ویژگی‌های آبی درخت را بهتر از پتانسیل آب برگ نشان می‌دهد.

در طول پژوهش، دمای پوشش سبز توسط دستگاه دماسنج مادون‌قرمز دستی³ در بین ساعت 12 ظهر تا 14 بعدازظهر از یک‌سوم میانی تاج درخت (تورسیاس و همکاران 1988) اندازه‌گیری گردید.

³ Raytek, model Raynger ST™

وسط روز هست.

آب برگ ثبت شده برای تیمارهای T_1 تا T_3 به ترتیب 1/20، 1/32، و 1/35 - و کمترین آن به ترتیب 2/38، 2/47 - و 2/73 - مگاپاسکال بود. پتانسیل آب برگ برای تیمار بدون تنش بین 1/1 - تا 2/0 - نوسان داشت که در محدوده گزارش شده توسط دیگر پژوهش‌ها برای بادام (شاکل و همکاران 1997، گلداهامر و فررس 2004، نورتنس 2008، گارسیا-تجرو و همکاران 2012) و زیتون (سپالکر-کانتو و همکاران 2006) است. در پژوهشی گلخانه‌ای بر روی دو رقم زیتون در کرج (موسوی و همکاران 2008)، افزایش شوری از صفر تا 160 میلی‌مولار NaCl باعث کاهش پتانسیل آب برگ از 0/7 - تا 2/0 - مگاپاسکال گردید که مقدار کاهش پتانسیل آب برگ در پژوهش آن‌ها (1/3 مگاپاسکال) بیشتر از پژوهش حاضر (0/63 مگاپاسکال) بود. در پژوهش لمور و همکاران (2001) در پسته نیز افزایش شوری آب آبیاری از صفر به 19 دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش پتانسیل آب برگ از 1/2 - تا 2/3 - مگاپاسکال شده بود که در خصوص میزان کاهش پتانسیل آب برگ با پژوهش ما هم‌خوانی دارد اما شوری اعمال شده توسط آن‌ها بیشتر بود که علت امر تحمل بیشتر پسته به شوری نسبت به بادام است. مورالس و همکاران (2000) نیز به نتایج کمابیش مشابهی در درخت سدر دست یافتند. در پژوهش آن‌ها اختلاف پتانسیل آب برگ در تیمارهای 0 و 70 میلی‌مولار NaCl بعد از 15 روز معنی‌دار نبود ولی در 140 میلی‌مولار، پتانسیل آب برگ کاهش معنی‌داری داشت. بعد از 28 روز، کاهش پتانسیل آب برگ در تیمار 70 میلی‌مولار نیز نسبت به شاهد معنی‌دار شد.

تنش-درجه-روز: بعد از تعیین اختلاف دمای

پوشش سبز و هوا، مقدار تجمعی (فقط مقادیر مثبت) آن‌ها به عنوان تنش-درجه-روز (SDD) (رابطه 4) مورد تجزیه آماری قرار گرفت. تغییرات SDD در طول فصل رشد بادام برای تیمارهای مختلف شوری در شکل 3 نشان داده شده است. همان‌طوری که از شکل مشخص

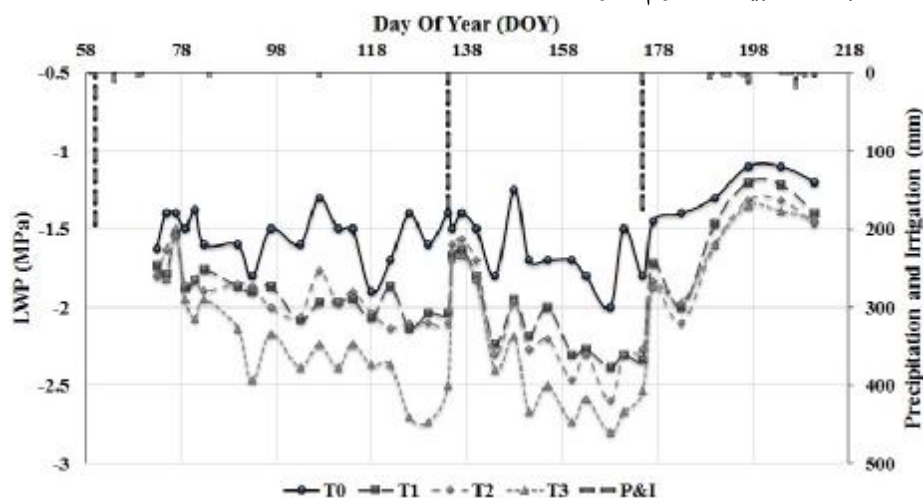
نتایج به دست آمده از دمای پوشش سبز، اختلاف دمای پوشش سبز با هوا، پتانسیل آب برگ، تنش-درجه-روز و تخلیه آب قابل استفاده خاک (AWD) برای تیمارهای مختلف شوری توسط نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه آماری قرار گرفت و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 1 و 5 درصد مقایسه گردیده و منحنی‌های هم‌بستگی بین پارامترها توسط نرم‌افزار MS Excel رسم شد.

نتایج و بحث

پتانسیل آب برگ: نتایج پتانسیل آب برگ در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف در شکل 2 نشان داده شده است. هرچند که در بیشتر مواقع فصل پتانسیل آب برگ در تیمار T_2 کمتر از تیمار T_1 بود اما مقایسه میانگین نتایج نشان داد که تنها تیمار شوری T_3 باعث شده پتانسیل آب برگ به طور معنی‌داری کاهش یابد (جدول 4) و اختلاف تیمار T_1 با T_2 از این نظر معنی‌دار نیست. همان‌طور که از شکل مشخص است در اوایل شروع پژوهش و تا 20 روز بعد از آبیاری اول (تا روز 80) پتانسیل آب برگ تیمارها اختلاف ناچیزی با هم دارند اما با خشک شدن خاک و افزایش تنش خشکی در تیمار T_1 و تنش خشکی و شوری در تیمارهای T_2 و T_3 ، پتانسیل آب برگ در تیمارهای مختلف نسبت به هم اختلاف بیشتری پیدا می‌کنند این روند بعد از آبیاری دوم نیز تکرار می‌شود به طوری که تا 10 روز بعد از آبیاری اختلافی بین تیمارها دیده نمی‌شود و بعد از آن اختلاف شروع می‌شود. بعد از آبیاری سوم هم به دلیل وجود بارندگی و خنک بودن هوا در اواخر فصل اختلاف بین تیمارها از نظر پتانسیل آب برگ کم است (شکل 2). متوسط فصلی پتانسیل آب برگ برای حالت تعرق کامل و بدون تنش (T_0) برابر 1/53 - مگاپاسکال به دست آمد در حالی که در تیمارهای T_1 تا T_3 به ترتیب برابر 1/90 -، 1/93 - و 2/16 - مگاپاسکال بود. بیشترین مقدار پتانسیل

تا آخر فصل (روز 211) نیز به دلیل کاهش دمای هوا و بارندگی، اختلاف SDD بین تیمارها معنی‌دار نگردید. در پژوهش رازوک و همکاران (2013) تنش آبی به‌طور معنی‌داری دمای برگ را در همه گونه‌های مورد بررسی (هلو، آلو و بادام) افزایش داد. میانگین این افزایش برای تیمار 50 درصد تبخیر-تعرق برای هلو، آلو و بادام به‌ترتیب 2/2، 3/2 و 2/2 درجه سلسیوس گزارش شد.

است و مقایسه میانگین نتایج (جدول 4) نیز نشان می‌دهد تنش‌های مختلف شوری تأثیر معنی‌داری بر SDD داشته است. با مراجعه به شکل 3 مشخص می‌شود که اختلاف تیمار T₃ با T₂ از روز 110 به بعد و اختلاف T₂ با T₁ از روز 118 به بعد معنی‌دار شده است. بعد از آبیاری دوم (روز 134) دوباره تا روز 150 اختلاف تیمارها معنی‌دار نبود و تا روز 165 نیز اختلاف T₁ با T₂ معنی‌دار نشد. بعد از آبیاری سوم (روز 175)



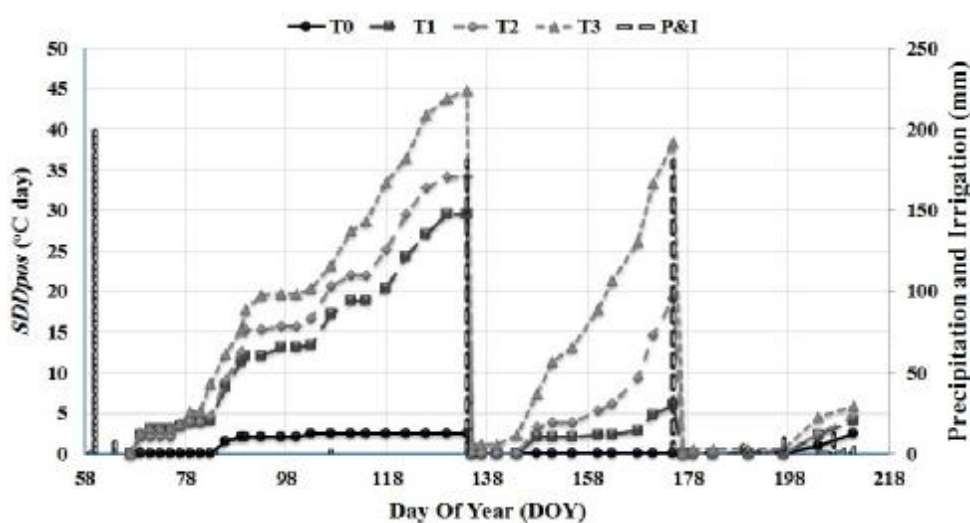
شکل 2- تغییرات پتانسیل آب برگ در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف.

جدول 4 - نتایج مقایسه میانگین صفات مورد اندازه‌گیری در تیمارهای مختلف.

تیمار	AWD (%)			VSWC (%)			T _c -T _a (°C)	SDD (°C day)	LWP (MPa)	LSD _{0.01}	LSD _{0.05}	C.V. (%)
	0-70	0-40	0-20	0-70	0-40	0-20						
T ₁	58/90 a	69/14 a	76/73 a	11/55 a	10/95 a	10/36 a	0/101 a	28/41 a	-1/90 a			
T ₂	60/23 a	69/14 a	74/29 b	11/40 a	10/95 a	10/74 b	0/826 b	34/09 b	-1/93 a			
T ₃	54/45 b	61/82 b	71/57 c	12/07 b	11/90 b	11/17 c	1/713 c	42/28 c	-2/16 b			
	3/005	0/469	2/450	0/353	0/224	0/384	0/544	4/627	0/053			
			1/859			0/291						
	16/07	8/03	10/22	9/35	6/15	11/05	191/31	41/00	8/20			

و دسترسی به آب موجود در فواصل دورتر هست. این مسئله در روزهای 111 تا 118 نیز برای تیمارهای T₁ و T₂ تکرار شده اما شور بودن محیط ریشه مانع شده است که این مقدار جزئی آب در SDD تیمار T₃ تأثیر داشته باشد در نتیجه تیمار T₃ در این دوره زمانی از این روند تبعیت نکرده و حالت افزایشی خود را ادامه داده است.

همان‌طور که از شکل 3 مشخص است منحنی SDD به‌صورت پله‌ای درآمده که این حالت به‌ویژه در دوره اول تر و خشک شدن بیشتر مشهود است. علت امر در روزهای 70 تا 80 به علت رطوبت کافی موجود در خاک و بارندگی‌های کم عمق بوده ولی در روزهای 90 تا 103 احتمالاً به دلیل نفوذ جزئی آب از اطراف به‌واسطه آبیاری درختان دیگر باغ و همچنین رشد متناوب ریشه

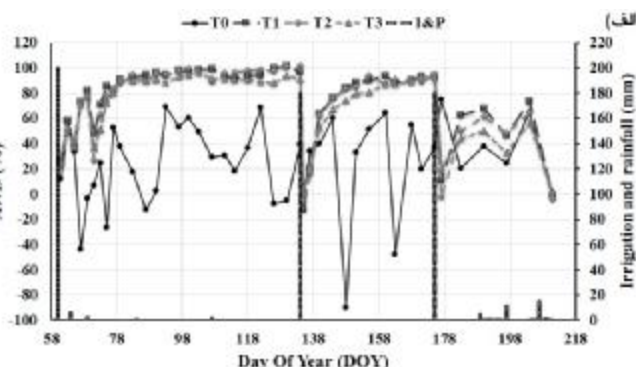
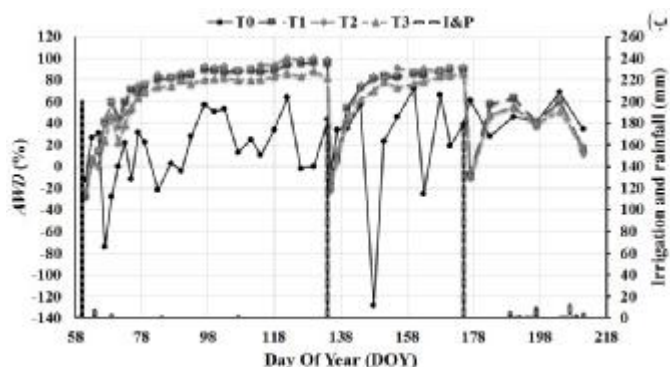


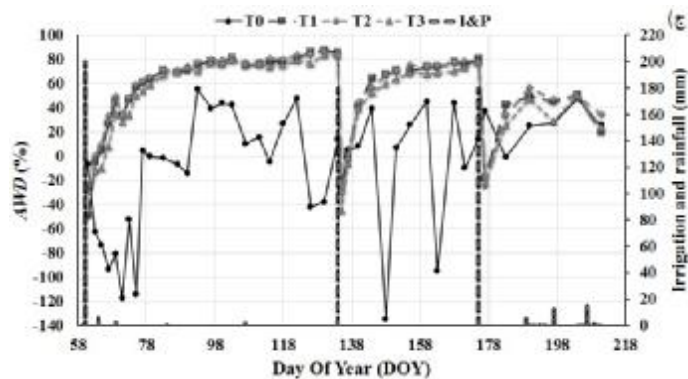
شکل 3- تغییرات تنش-درجه-روز در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف.

روز باید آبیاری شود درحالی‌که تیمار شوری زیاد (T_3) بعد از 24 روز یعنی 2 روز زودتر از تیمار بدون شوری. اما در دوره دوم خشک شدن به دلیل تجمع نمک در تیمار شور، تیمار T_1 و T_3 به ترتیب بعد از 37 روز و 16 روز باید آبیاری شوند یعنی اختلاف آبیاری دو تیمار از 2 روز به 21 روز افزایش می‌یابد.

تخلیه آب قابل‌استفاده خاک: تغییرات تخلیه آب قابل‌استفاده خاک در طول فصل رشد در شکل 4 برای اعماق 0-20، 0-40 و 0-70 ارائه شده است.

در دوره اول خشک شدن خاک افزایش SDD هر سه تیمار تنش تدریجی است با این تفاوت که با افزایش شوری شیب افزایش SDD بیشتر می‌شود اما در دوره دوم خشک شدن خاک بعد از آبیاری دوم افزایش SDD در تیمارهای T_1 و T_2 تدریجی است اما در تیمار T_3 افزایش خیلی شدید و با شیب تند هست که علت امر احتمالاً افزایش شوری و تجمع نمک در این تیمار است. در نتیجه اگر SDD 10 را حد آستانه‌ای برای شروع آبیاری در نظر بگیریم (جکسون و همکاران 1977)، در دوره اول خشک شدن، تیمار بدون شوری (T_1) بعد از 26





شکل 4 - تغییرات تخلیه آب قابل استفاده خاک در تیمارهای مختلف در طول فصل رشد در اعماق: الف) 0-20، ب) 0-40، ج) 0-70.

متوسط در اعماق 0-20، 0-40 و 0-70 به ترتیب 11/4، 12/1 و 7/2- درصد بود (شکل 4).

کمبود فشار بخار و پتانسیل آب برگ:

همان طوری که از شکل 5 و جدول 5 مشخص است ارتباط معنی داری بین کمبود فشار بخار هوا و پتانسیل آب برگ در وسط روز وجود داشت به طوری که با افزایش کمبود فشار بخار هوا (افزایش تقاضای تبخیر اتمسفر) پتانسیل آب برگ کاهش یافت این کاهش در تیمارها با افزایش شوری افزایش یافت چراکه با شور شدن محلول خاک و افزایش تنش و کاهش جذب آب توسط ریشه به واسطه کاهش پتانسیل اسمزی، گیاه قادر به پاسخ گوئی به تقاضای تبخیر اتمسفر نبوده و در نتیجه پتانسیل آب برگ کاهش می یابد. به گفته دیگر در تیمار بدون تنش (T_0) با افزایش کمبود فشار بخار، عامل کاهش پتانسیل برگ تنها تقاضای تبخیر اتمسفر است اما در تیمارهای تنش خشکی (T_1) و تنش شوری (T_2 و T_3) علاوه بر عامل تقاضای تبخیر اتمسفر عامل کاهش پتانسیل آب خاک نیز تأثیر می گذارد. مک کاچن و شاکل (1992) و شاکل و همکاران (1997) نیز ارتباط معنی داری بین پتانسیل آب ساقه با کمبود فشار بخار هوا در مورد آلو و بادام پیدا کرده و معادله خط مبنای بدون تنش را ارائه دادند ($-0.12VPD(kPa) - 0.41$) (SWP(MPa)). مک کاچن و شاکل (1992) دریافتند که پتانسیل آب ساقه در نیمروز برای درخت آلو بدون محدودیت آب در طول فصل رشد بین 0/5- تا 1/0- مگاپاسکال بسته به کمبود

همان طوری که مشاهده می شود در بیشتر مواقع به جز تخلیه های کم (تا چند روز بعد از آبیاری) تخلیه رطوبتی در تیمار شور (T_3) کمتر از تیمارهای دیگر است. مقایسه میانگین داده ها (جدول 4) نیز این مطلب را تأیید می کند که تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک در تیمار شور به طور معنی داری (در سطح یک درصد) کمتر از تیمارهای دیگر است البته در عمق 0-20 اختلاف تیمار لب شور (T_2) با تیمار بدون شوری (T_1) نیز در سطح 5 درصد معنی دار بود. با ملاحظه اینکه در رطوبت های بیش تر از ده درصد حجمی، اختلاف رطوبت خاک بین تیمارها معنی دار نبود (نتایج ارائه نشده است)، می توان چنین استدلال نمود که در رطوبت های کم (تخلیه های زیاد) به دلیل 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. همین روند در مورد رطوبت حجمی نیمرخ خاک در اعماق مختلف اندازه گیری شده نیز مشاهده گردید. به طوری که رطوبت نیمرخ خاک در تیمار شور به طور معنی داری بیش تر از تیمارهای دیگر بود (جدول 4). کلایتنبرگ و بیگار (1992) نیز در مورد سورگوم به نتایج مشابهی دست یافتند. در پژوهش آن ها نیز گیاهانی که در شرایط شوری کم قرار داشتند نسبت به تیمار شور، آب بیشتری از خاک جذب کرده بودند. تخلیه رطوبت قابل استفاده برای T_0 به طور

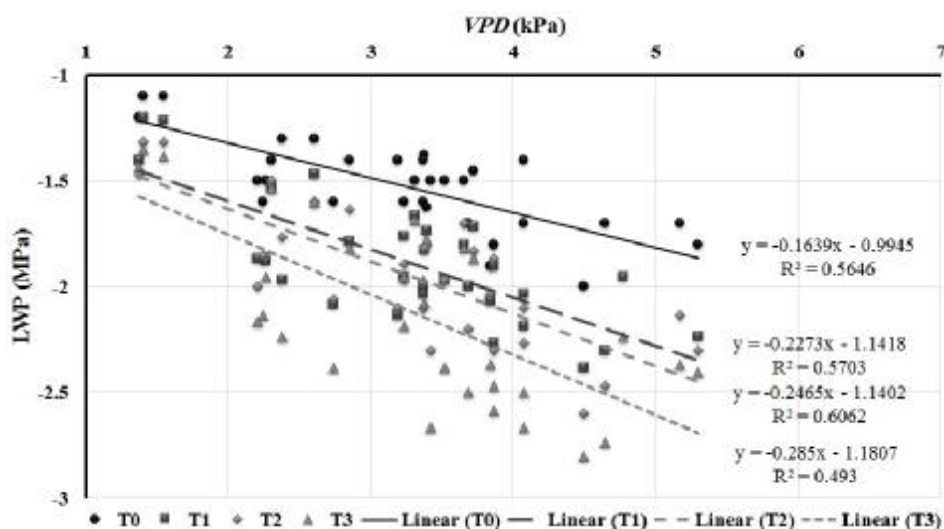
فشار بخار هوا تغییر می‌کند اما برای درختی که آبیاری

نمی‌شود پتانسیل آب برگ تا 3/0- مگاپاسکال نیز کاهش می‌یابد. در پژوهش حاضر نیز پتانسیل آب برگ (نه ساقه) برای درخت خوب آبیاری شده از 1/1- تا 1/8- مگاپاسکال متغیر بود و برای تیمار تنش شوری تا 2/8- نیز افزایش یافت (شکل 5). هاول و همکاران (1984) در خصوص تأثیر شوری بر شاخص‌های تنش پنبه به این نتیجه رسیدند که در تیمار شور (17 دسی‌زیمنس بر متر) با افزایش کمبود فشار بخار هوا از 1 به 6 کیلوپاسکال، پتانسیل آب برگ از 0/9- به حدود 2/0- مگاپاسکال رسید. در پژوهش حاضر معادله به‌دست‌آمده برای خط مبنای بدون تنش به‌صورت زیر

[5]

$$LWP(MPa) = -0.164VPD - 0.995$$

ایدسو و همکاران (1981) در خصوص گندم و یونجه و ایدسو و رجیناتو (1982) در مورد پنبه معادله درجه دو را برای ارتباط بین پتانسیل آب برگ و کمبود فشار بخار هوا در نظر گرفتند. سپاسخواه و کاشفی پور (1994) نیز در خصوص لیموشیرین ارتباط بین پتانسیل آب برگ، کمبود فشار بخار هوا، دمای پوشش سبز، شاخص تنش آبی و پتانسیل آب خاک را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند.



شکل 5- ارتباط پتانسیل آب برگ با کمبود فشار بخار هوا در تیمارهای مختلف.

جدول 5- ضرایب همبستگی (r) بین صفات مورد اندازه‌گیری.

AWD (0-70)				AWD (0-40)				AWD (0-20)				$T_c - T_a$				SDD				LWP				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	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
0/260/110/270/22	0/290/270/260/20	0/280/250/210/23	0/100/160/240/78	0/280/180/140/06	0/630/660/660/65	VPD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	
0/620/510/540/21	0/710/590/590/22	0/660/590/550/25	0/780/720/640/56	0/750/350/260/02	-	LWP	**	**	**	ns	ns	**	*	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	
0/940/930/870/30	0/940/870/890/15	0/870/760/820/13	0/570/450/420/18	-	-	SDD	**	**	**	ns	ns	**	**	*	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	
0/510/480/350/14	0/530/560/370/20	0/500/450/340/18	-	-	-	$T_c - T_a$	**	**	*	ns	ns	**	**	*	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	
**	**	*	ns	**	**	*	ns	**	**	*	ns	**	**	*	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	

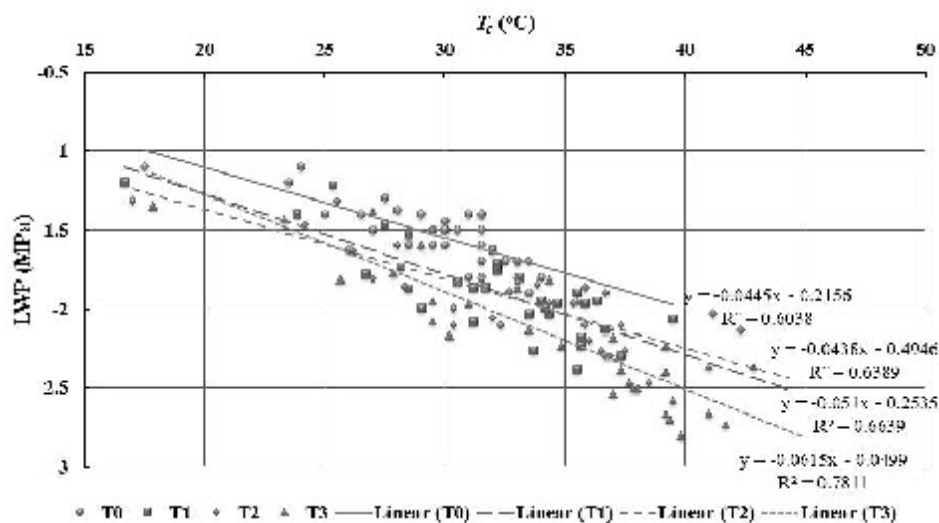
** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 1 و 5 درصد و ns غیر معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد

زیر را بین پتانسیل آب ساقه و دمای پوشش سبز برای قسمت سایه پوشش سبز درخت بادام از طریق رگرسیون چندمتغیره ارائه دادند:

$$\text{Shaded } T_1 = 28.68 + 2.49T_a - 1.45\text{SWP}, R^2 = 0.894 \quad [6]$$

که در آن T_a ، $\text{Shaded } T_1$ و SWP به ترتیب دمای برگ‌های قرار گرفته در سایه، دمای هوا و پتانسیل آب ساقه هست.

در این پژوهش رابطه بین پتانسیل آب برگ و دمای پوشش سبز برای تیمار T_1 (بدون تنش شوری) به صورت $T_c (^{\circ}\text{C}) = -4.97 - 19.61\text{LWP}(\text{MPa})$ (شکل 6) کوهن و همکاران (2005) نیز ارتباط معنی‌داری بین دمای پوشش سبز و پتانسیل آب برگ در پنبه به دست آوردند. معادله به دست آمده به صورت $T_c (^{\circ}\text{C}) = 20.50 - 6.25\text{LWP}(\text{MPa})$ گزارش شد. کومار و تریپاتی (1991) نیز ارتباط بین T_c و LWP را در گندم مورد مطالعه قرار دادند.



شکل 6- ارتباط دمای تاج درخت با پتانسیل آب برگ در تیمارهای آزمایشی.

مثبت و معنی‌داری بین $T_c - T_a$ و LWP در دو رقم بادام به دست آوردند که معادله به دست آمده از ادغام داده‌های دو رقم به صورت $\text{LWP}(\text{MPa}) = -0.09 (T_c - T_a) - 2.13$ هست. این معادله با رابطه به دست آمده در پژوهش جاری برای تیمار T_3 $\text{LWP}(\text{MPa}) = -0.11 (T_c - T_a) - 2.02$ همخوانی بیشتری دارد. گارسیا-تیجرو و همکاران (2012) هم در سویای اسپانیا ارتباط معنی‌داری

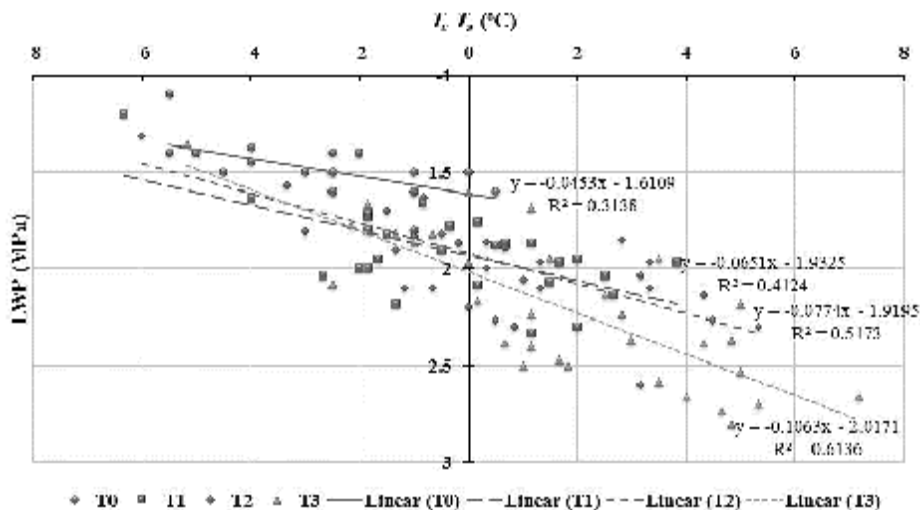
پتانسیل آب برگ و دمای پوشش سبز: ارتباط معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ و تاج درخت به دست آمد (شکل 6 و جدول 5) ضریب همبستگی بین این دو پارامتر با افزایش تنش افزایش یافت (جدول 5). همچنین با افزایش تنش، شیب رابطه بین این دو پارامتر بیشتر شد (شکل 6) البته اختلاف شیب بین تیمارهای T_1 و T_2 بسیار اندک بود و این همان عدم معنی‌داری اختلاف این دو تیمار در پتانسیل آب برگ را نشان می‌دهد (جدول 4). در نتیجه می‌توان دمای تاج درخت را شاخص مناسبی از پتانسیل آب برگ دانست و اهمیت این موضوع وقتی آشکار می‌شود که بدانیم اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ نیاز به زمان و نمونه‌گیری‌های متعدد تخریبی دارد درحالی‌که اندازه‌گیری دمای پوشش سبز به راحتی توسط دماسنج‌های مادون قرمز یا دوربین‌های حرارتی قابل انجام است. اودومپتایکول و همکاران (2011) رابطه خط

پتانسیل آب برگ و اختلاف دمای پوشش سبز و هوا: رابطه معنی‌داری بین $T_c - T_a$ و LWP به دست آمد (شکل 7) همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش $T_c - T_a$ ، LWP کاهش یافت. شیب این کاهش با افزایش تنش از T_1 به T_3 بیشتر شد. علاوه بر آن ضریب همبستگی بین این دو صفت نیز با افزایش تنش، افزایش یافت (جدول 5). گونزالس-دوگو و همکاران (2012) نیز در کلیفرنیا ارتباط

برنامه‌ریزی آبیاری در زمینه کشاورزی دقیق در سطح درختان دانسته‌اند. وانگ و گارتانگ (2010) نیز چنین ارتباط معنی‌داری ($LWP(MPa) = -0.17 (T_c - T_a) - 0.91$) را در درخت هلو گزارش کردند. گارسیا تیجرو و همکاران (2011) در درخت پرتقال نیز ارتباط معنی‌داری بین LWP و $T_c - T_a$ به دست آوردند با این تفاوت که آن‌ها معادله درجه 3 را برای این ارتباط برآزش دادند. همه این محققین خاطرنشان کردند که روش اندازه‌گیری دمای پوشش سبز توسط مادون‌قرمز یک روش امیدبخش برای ارزیابی تنش آبی گیاهان به‌ویژه در شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک تحت استراتژی کم آبیاری هست (گارسیا-تیجرو و همکاران 2012).

در مورد محصولات زراعی نیز ارتباط بین LWP و $T_c - T_a$ در خصوص گندم (ارلر و همکاران 1978)، ذرت (هیومن و دوک 1978)، سورگوم (گاردنر و همکاران 1981b) مورد مطالعه قرار گرفته است.

($p < 0.01$) بین LWP و $T_c - T_a$ به دست آوردند حاصل‌شده در پژوهش جاری نزدیک‌تر است. گونزالس-دوگو و همکاران (2013) در خصوص درختان بادام، زردآلو، هلو، پرتقال و لیمو، ارتباط LWP و $T_c - T_a$ را مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش آن‌ها همبستگی این دو پارامتر در درختان هسته‌دار بیش‌تر از مرکبات بود. سپالکر-کانتو و همکاران (2006) در درخت زیتون ارتباط معنی‌داری بین LWP و $T_c - T_a$ برای ساعت‌های مختلف روز به دست آورد که بیش‌ترین همبستگی ساعت 7/30 ($R^2 = 0.62$) و کمترین آن در ساعت 12/30 ($R^2 = 0.25$) بود. برعکس سپالکر-کانتو و همکاران (2006)، بلورت و همکاران (2014) در انگور همبستگی بین LWP و $T_c - T_a$ را در ساعت 12/30 ($R^2 = 0.71$) بیش‌تر از 9/30 ($R^2 = 0.46$) به دست آوردند. بر اساس چنین ارتباطات معنی‌داری بین $T_c - T_a$ و پتانسیل آب برگ، آن‌ها پارامتری بالقوه برای سنجش تنش آبی و



شکل 7- ارتباط پتانسیل آب برگ و اختلاف دمای پوشش سبز با هوا در تیمارهای آزمایشی.

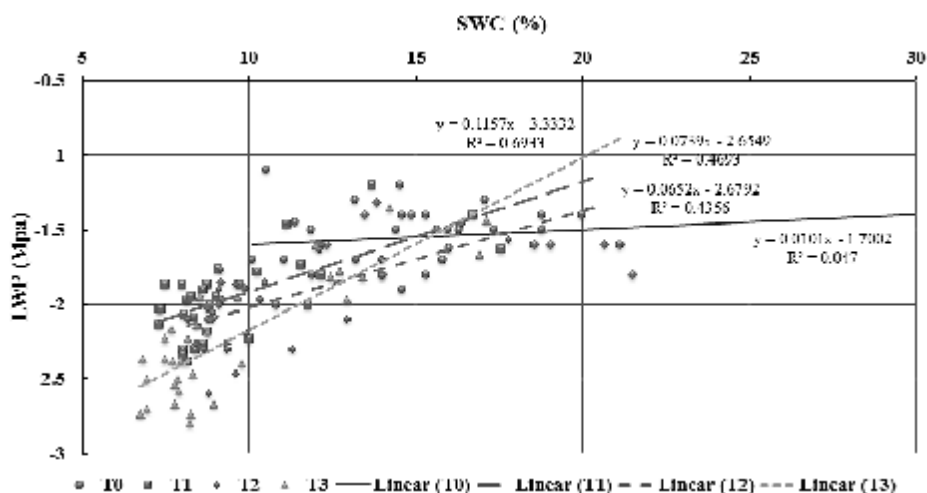
است که درخت احتمالاً بیش‌تر آب مورد استفاده خود را از این عمق جذب می‌کند با توجه به جوان بودن درختان (7 ساله) و لایه کم نفوذپذیر تحتانی، تراکم ریشه در این عمق خاک، دور از انتظار نیست. با افزایش تنش، شیب معادله بین این دو صفت افزایش یافت. عدم اختلاف

پتانسیل آب برگ و رطوبت خاک: همان‌طوری که از جدول 5 مشخص است ارتباط معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ در وسط روز و رطوبت خاک به‌ویژه در عمق 0-40 وجود دارد. بیش‌تر بودن همبستگی پتانسیل آب برگ با رطوبت نیم‌رخ خاک در عمق 0-40 نشان‌گر این

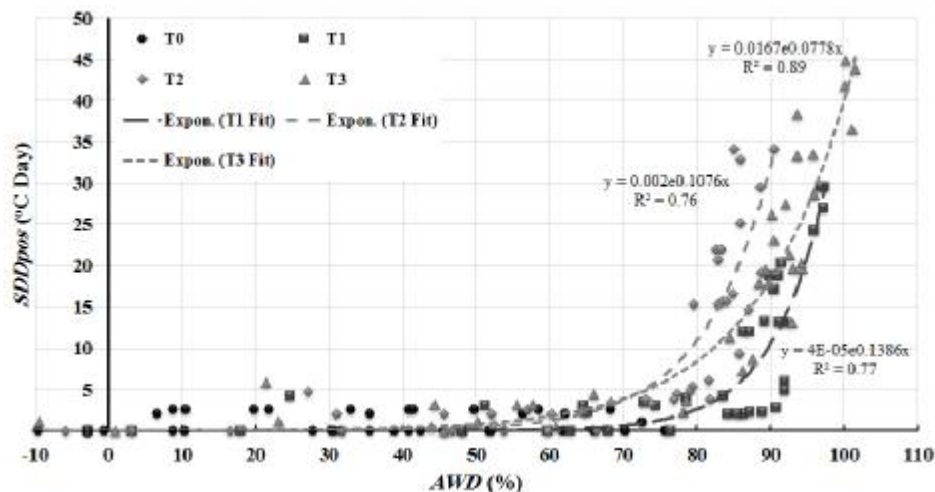
شروع تنش آبی، در شرایط عدم تنش شوری (T_1) 72 درصد از آب قابل استفاده توسط بادام قابل تخلیه است اما در تیمارهای T_2 و T_3 به ترتیب در تخلیه‌های بیشتر از 56 و 51 درصد درختان وارد تنش خواهند شد. به گفته دیگر به علت کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک به واسطه شوری، آب قابل استفاده خاک در تیمار T_2 و T_3 به ترتیب 16 و 21 درصد کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن حد آستانه‌ای 0/24 برای شاخص تنش آبی محصول (CWSI) بادام (گونزالس-دوگو و همکاران 2013، روی و افوری 2014) و روابط به دست آمده بین CWSI، رطوبت خاک و SDD در پژوهش حاضر، تخلیه مجاز رطوبت قابل استفاده (MAD) برای بادام در منطقه برای تیمارهای T_1 تا T_3 به ترتیب 72/7، 57/2 و 51/9 درصد به دست آمد. جکسون و همکاران (1977) امکان استفاده از SDD را برای برنامه‌ریزی آبیاری گندم مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها تخلیه آب خاک را توسط نوترون‌متر اندازه‌گیری کردند و مقادیر تجمعی مثبت SDD را محاسبه نمودند و به این نتیجه رسیدند که قبل از رسیدن SDD به 10، مزرعه باید آبیاری شود. اما عُنَّابی میلانی و زمانی (1393) روش SDD را با دیگر روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری مقایسه کردند و روش SDD با حدود آستانه‌ای 8 و 12 را برای آبیاری گندم در شرایط آب و هوایی استان آذربایجان شرقی مناسب ندانستند. در مورد عدم مطابقت این نتایج، گاردنر و همکاران (1981a) خاطر نشان کردند که اختلاف دمای پوشش سبز و هوا وابسته به نوع خاک، گیاه و شرایط آب و هوایی است.

معنی‌دار شیب بین تیمارهای T_1 و T_2 نشان می‌دهد که تأثیر تیمار لب‌شور بر پتانسیل آب برگ معنی‌دار نبوده است و این مطلب را مقایسه میانگین تیمارها (جدول 4) نیز نشان می‌دهد. بالا بودن شیب معادله مربوط به تیمار لب‌شور نشان می‌دهد که در این تیمار به ازای کاهش رطوبت خاک، کاهش پتانسیل آب برگ بیشتر از تیمارهای دیگر است چراکه کاهش پتانسیل اسمزی به واسطه افزایش غلظت نمک با کاهش پتانسیل ماتریک به واسطه کاهش رطوبت همراه بوده و اثر تجمعی این دو باعث کاهش بیشتر پتانسیل آب برگ می‌شود. در مورد تیمار T_0 با توجه به اینکه رطوبت کافی همواره در خاک وجود داشت دیکته کننده شدت تعرق رطوبت خاک نبوده بلکه قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر هست (ایدسو و رجیناتو 1982) به همین جهت تغییرات پتانسیل آب برگ توسط قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر کنترل می‌شود نه رطوبت خاک چرا که درخت برای جذب آب از خاک کاملاً مرطوب، هیچ مشکلی ندارد. به همین علت ارتباط معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ و رطوبت خاک در این تیمار به دست نیامد (جدول 5 و شکل 8).

تنش-درجه-روز و تخلیه آب قابل استفاده خاک: ارتباط قوی و معنی‌داری بین SDD و AWD به دست آمد (جدول 5). در شکل 9 ارتباط این دو صفت برای عمق 0-40 به عنوان نمونه رسم شده است. ملاحظه می‌شود که در تیمار T_1 تا حدود 85 درصد تخلیه آب قابل استفاده هنوز SDD کمتر از 5 است در حالی که در تیمارهای شوری (T_2 و T_3) در تخلیه بیشتر از 73 درصد، SDD بیشتر از 5 می‌شود. در صورت مدنظر قرار دادن متوسط SDD برابر با 0/87 برای درخت بدون تنش به عنوان حد آستانه‌ای



شکل 8- تغییرات پتانسیل آب برگ با رطوبت نیمرخ خاک (0-40) در تیمارهای آزمایشی.



شکل 9- ارتباط تنش-درجه-روز و تخلیه آب قابل استفاده خاک در تیمارهای آزمایشی.

و خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی تشکر و قدردانی نمایند.

سپاسگزاری: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه و مساعدت‌های بی‌شائبه کارکنان ایستگاه باغبانی سهند و بخش‌های تحقیقات آبخیزداری

منابع مورد استفاده

علی اصغر زاد ن، 1379. 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.
 عنابی میلانی ا، و زمانی ص، 1393. تأثیر روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد 28، شماره 3، صفحه‌های 489 تا 502.

Bartels D and Sunkar R, 2005. Drought and salt tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci. 24: 23–58.

Bellvert J, Zarco-Tejada PJ, Girona J, and Fereres E, 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.

Carrow RN and Duncan RR, 1998. Salt-Affected Turfgrass Sites: Assessment and Management. Sleeping Bear Press, Farmington Hills, MI.

- Castel JR and Fereres E, 1982. Responses of young almond trees to two drought periods in the field. *J. Hortic. Sci.* 57: 175–187.
- Charrera M, Parasi GA and Monet R, 1998. Rootstock influence on the performance of the peach variety "Catherine". *Acta Hort.* 465: 573-577.
- Cohen Y, Alchanatis V, Meron M, Saranga Y and Tsipris J, 2005. Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. *J. Exp. Bot.* 56(417): 1843-1852.
- Ehrler WL, Idso SB, Jackson RD and Reginato RJ, 1978. Wheat canopy temperature: Relation to plant water potential. *Agron. J.* 70: 251–256.
- El Gharbi A and Jraidi B, 1994. Performance of rootstocks of almond, peach and peach × almond hybrids with regard to iron chlorosis. *Acta Hort.* 373: 91-97.
- Flowers TJ, 1999. Salinization and horticultural production. *Sci. Hort.* 78: 1-4.
- Flowers TJ and Yeo AR, 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 75--91.
- 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.
- García-Tejero I, Durán-Zuazo VH, Muriel FJL and Jiménez BJA, 2011. 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.
- Gardner BR, Blad BL and Watts DG, 1981a. Plant and air temperatures in differentially irrigated corn. *Agr. Meteorol.* 25: 207-217.
- Gardner BR, Blad BL, Garrity DP and Watts DG, 1981b. Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. *Irrig. Sci.* 2: 213-224.
- Girona J, Mata M and Marsal J, 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel filling Period and optimal irrigation rates in almond. *Agr. Water Manage.* 75: 152–167.
- Goldhamer DA and Fereres E, 2001. Simplified tree water status measurements can aid almond irrigation. *Calif. Agric.* 55(3): 32-37.
- Goldhamer DA and Fereres E, 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrig. Sci.* 23: 11–19.
- 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, *Irrig. Sci.* 24: 101–114.
- Gonzalez-Dugo V, Zarco-Tejada P, Berni JAJ, Suarez L, Goldhamer D and Fereres E, 2012. Almond tree canopy temperature reveals intra-crown variability that is water stress-dependent. *Agr. Forest Meteorol.* 154-155: 156-165.
- Gonzalez-Dugo V, Zarco-Tejada P, Nicolás E, Nortes PA, Alarcon JJ, Intrigliolo DS and Fereres E, 2013. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard, *Precis. Agric.*
- Greenway H and Munns R, 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
- Gucci R, Lombardini L and Tattini M, 1997. Analysis of leaf water relations in leaves of two olive (*Olea europea* L.) cultivars differing in tolerance to salinity. *Tree Physiol.* 17: 13-21.
- Heermann DF and Duke HR, 1978. Evaluation of crop water stress under limited irrigation. *Pap.—Am. Soc. Agric. Eng.* 78-2556, 1-12.
- Howell TA, Hatfield jL, Rhoades jD and Meron M, 1984. Response of cotton water stress indicators to soil salinity. *Irrig. Sci.* 5: 25-36.
- Idso SB and Reginato RJ, 1982. Soil- and atmosphere-induced plant water stress in cotton as inferred from foliage temperatures. *Water Resour. Res.* 18(4): 1143-1148.
- Idso SB, Reginato RJ, Jackson RD and Pinter, Jr. PJ, 1981. Measuring yield-reducing plant water potential depressions in wheat by infrared thermometry. *Irrig Sci* 2: 205-212.
- Jackson RD, 1982. Canopy Temperature and Crop Water Stress Index. Pp. 43–85. In: Hillel D (ed). *Advances in Irrigation*, vol. 1. Academic Press, New York.
- Jackson RD, Reginato RJ and Idso SB, 1977. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. *Water Resour. Res.* 13(3): 651–656.
- Jones HG, 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.* 55(407): 2427-2436.
- Kluitenberg GJ and Biggar JW, 1992. Canopy temperature as a measure of salinity stress on sorghum. *Irrig. Sci.* 13(3): 115-121.
- Kumar A and Tripathi RP, 1991. Relationships between leaf water potential, canopy temperature and transpiration in

- irrigated and nonirrigated wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 166: 19-23.
- Lemour R, Ranjbar A and Van Damme P, 2001. Ecophysiological characteristics of two pistachio species (*Pistacia khinjuk* and *Pistacia mutica*) in response to salinity. Pp. 179-187. In: Ak BE (ed.). XI GREMPA Seminar on Pistachios and Almonds. Zaragoza: CIHEAM, (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 56).
- Levitt J, 1980. Salt and ion stresses. Pp. 365-488. In: Levitt J (ed). Responses of Plant to Environmental Stresses. Vol 2. New York, Academic Press.
- Marsal J, Girona J and Mata M, 1997. Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 122: 582-587.
- McCutchan H and Shackel KA, 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117(4): 607-611.
- Monastra F and Raparelli E, 1997. Inventory of Almond Research, Germplasm and References, REUR Technical Series 51, FAO, Rome.
- Monteith JL, 1973. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London
- Monticelli S, Puppi G and Damiano C, 2000. Effects of in vivo mycorrhization on micropropagated fruit tree rootstocks. *Appl. Soil Ecol.* 15: 105-111.
- Morales MA, Alarcón JJ, Torrecillas A and Sánchez-Blanco MJ, 2000. Growth and water relations of *Lotus creticus* plants as affected by salinity. *Biol. Plantarum* 43(3): 413-417.
- Mousavi A, Lessani H, Babalar M, Talaei AR and Fallahi E, 2008. Influence of salinity on chlorophyll, leaf water potential, total soluble sugars, and mineral nutrients in two young olive cultivars. *J. Plant Nutr.* 31: 1906-1916.
- Murray FW, 1967. On the computation of saturation vapor pressure. *J. Appl. Meteorol.* 6: 203-204.
- Naor A, 2000. Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Hort.* 537: 447-454.
- Naor A. 2006. Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards, *Hortic. Rev.* 112-165.
- Nortes P, 2008. Respuesta agronómica y fisiológica del almendro al riego deficitario. Indicadores de Estrés Hídrico, Univ. Politéc. Cartagena, PhD Thesis, Spain, 194 p.
- Pastori GM and Foyer GH, 2002. Common components, networks, and pathway of cross-tolerance to stress. The central role of redox and abscisic acid-mediated control. *Plant Physiol.* 129: 460-468.
- Rahimi Eichi V, 2013. Water use efficiency in almond (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb). M.Sc. thesis. School of Agriculture, Food and Wine. Faculty of Science. University of Adelaide.
- Razouk R, Ibjibijen J, Kajji A and Karrou M, 2013. Response of peach, plum and almond to water restrictions applied during slowdown periods of fruit growth. *Am. J. Plant Sci.* 4: 561-570
- Roy S and Ophori D, 2014. Estimation of crop water stress index in almond orchards using thermal aerial imagery. *JOSH.* 12(1) p 14.
- Scholander PF, Hammel HT, Bradstreet ED and Hemmingsen EA, 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.
- Sepaskhah AR and Kashefipour SM, 1994. Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Agric. Water Manage.* 25: 13-22.
- Sepulcre-Cantó G, Zarco-Tejada PJ, Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA, de Miguel E and Villalobos FJ, 2006. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agr. Forest Meteorol.* 136: 31-44.
- Shackel K, 2011. A plant-based approach to deficit irrigation in trees and vines. *Hort. Sci.* 46(2): 173-177.
- Shackel KA, Ahmadi H, Biasi W, Buchner R, Goldhamer D, Gurusinge 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. *HortTechnology* 7(1): 23-29.
- Shannon MC, Grieve CM and Francois LE, 1994. Whole-plant response to salinity. Pp. 199-244. In: Wilkinson RE (ed). *Plant-Environment Interactions*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Sharifmoghaddam N, Safarnejad A and Tabatabaei SM, 2011. The effect of plant growth regulators on callus induction and regeneration of GF677 rootstock. *Int. J. Sci. Nat.* 2(4): 805-808.
- Testi L, Goldhamer D, Iniesta F and Salinas M, 2008. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrig. Sci.* 26(5): 395-405.
- Torrecillas A, Ruiz-Sanchez MC, Leon A and Garcia AL, 1988. Stomatal response to leaf water potential in almond trees under drip irrigated and nonirrigated conditions. *Plant and Soil* 112(1): 151-153.
- Turner NC, 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrig. Sci.* 9: 289-308.
- Tuteja N, 2007. Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Method Enzymol.* 428: 419-438.
- Udompetaikul V, Upadhyaya SK, Slaughter D, Lampinen B and Shackel K, 2011. Plant Water Stress Detection Using Leaf Temperature and Microclimatic Information, Pp. 1-10, In: ASABE Annual International Meeting, Sponsored by ASABE Galt House Louisville, Kentucky August 7 - 10, Paper Number: 1111555,

- Wang D and Gartung J, 2010. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agric. Water Manage.* 97: 1787–1794.
- Yadollahi A and NazaryMoghadam AR, 2012. Micropropagation of GF677 rootstock. *J. Agr. Sci.* 4(5): 131-138.