



تأثیر تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر جذب آب و پتانسیل آب برگ درخت بادام در شرایط نیمه‌خشک

اژدر عُنابی میلانی^{*۱} - محمد زرین بال^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

چکیده

درخت بادام تحمل خوبی به کم آبی دارد و مناسب کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران است اما حساسیت آن به شوری، مدیریت آبیاری آن را با چالش‌هایی مواجه کرده است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر جذب آب، رشد رویشی و پتانسیل آب برگ درخت بادام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار شوری آب، شامل آب چاه با شوری ۲dS/m (T_1)، و آب‌های شور شده با نمک‌هایی با همان ترکیب آب چاه ۴dS/m (T_2) و ۵dS/m (T_3) در سه تکرار در خاکی با بافت شن لومی اجرا شد. در طول فصل رشد، دما و رطوبت نسبی هوا، پتانسیل آب برگ (LWP) و رطوبت خاک (SWC) تا عمق ۷۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر رشد رویشی و مقدار آب باقیمانده خاک دارد. متوسط فصلی رشد طولی سرشاخه و رشد قطری تنه در درخت بدون تنش به ترتیب ۱۰۴ سانتی‌متر و ۵۳ درصد بود که در تیمار تنش هم‌زمان خشکی و شوری (T_3) به ترتیب به ۶۲ سانتی‌متر و ۱۸ درصد کاهش یافت. متوسط فصلی LWP برای تیمارهای T_1 تا T_3 به ترتیب $-۱/۷۸$ ، $-۱/۹۳$ و $-۲/۱۶$ مگاپاسکال بدست آمد. ارتباط معنی‌داری بین LWP با کمبود فشار بخار هوا و SWC حاصل شد. حد آستانه‌ای LWP برای شروع تنش، $-۱/۷۸$ مگاپاسکال بدست آمد. براساس پتانسیل آب برگ آستانه‌ای تنش، کمینه رطوبت حجمی خاک برای تیمارهای T_1 تا T_3 برای اجتناب از تنش به ترتیب $۱۰/۱$ ، $۱۱/۸$ و $۱۳/۵$ درصد تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب ساقه، رطوبت خاک، قطر تنه، کمبود فشار بخار

مقدمه

است. بخاطر همین محدودیت، استفاده بهینه از این منابع اهمیت بسزایی پیدا می‌کند بویژه اینکه این محصول خود را با شرایط محدودیت آب بخوبی وفق می‌دهد (۳۰).

شاخص‌های مختلفی برای تعیین وضعیت آبی گیاه وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند که توسط جونز (۲۳) مورد بررسی قرار گرفته است. برخی از این شاخص‌ها برپایه خاک استوار است (مانند رطوبت و پتانسیل آب خاک) و برخی بر پایه ویژگی‌های خود گیاه (مانند شدت رشد رویشی، پتانسیل آب برگ، دمای پوشش سبز، مقاومت روزنه ای و شدت فتوسنتز). اعتقاد بر اینست که تنش آب توسط پتانسیل آب برگ زودتر از مقاومت روزنه ای و دمای پوشش سبز قابل سنجش است (۱۴). انتخاب شاخص‌های تنش مبتنی بر گیاه به حساسیت نسبی هر یک از آنها بستگی دارد. حساسیت نسبی برخی از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه توسط هسیانو (۲۱) بررسی شده و رشد سلول حساس‌ترین فرآیند به کمبود آب بافت گزارش شده است. تغییر در سرعت رشد نشانگر حساسی از تنش آب گیاه است (۲۳). در سال - های اخیر روشن شده است که نگهداشتن گیاه تحت تنش آبی جزئی، می‌تواند تقسیم کربوهیدرات‌ها را در اندام‌های زایشی مانند میوه بهبود بخشیده و رشد بیش از حد رویشی را کنترل کند (۵) که در نهایت باعث ابداع روشی گردید که توسط چالمرز و همکاران (۴) کم‌آبیاری

بادام (*Prunus dulcis*) یکی از مهم‌ترین محصولات باغی کشور بوده و جایگاه مهمی در بین محصولات باغی شمال غرب کشور و استان آذربایجان شرقی (۳۲) دارد. هرچند بادام تحمل خوبی به کمبود آب دارد (۴۶) ولی عملکرد آن در شرایط بدون محدودیت بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد به طوری که عملکرد اقتصادی آن تا ده برابر نسبت به شرایط دیم قابل افزایش است (۱۶). در مناطق خشک و نیمه خشک نظیر ایران، محدودیت منابع و کیفیت پایین آب مهم‌ترین عامل محدودکننده افزایش تولید محصولات زراعی و باغی بویژه بادام

۱ - استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: a_o_milani@yahoo.com)

۲- دانشجوی دکتری، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v33i6.76735

تنظیم شده (RDI) خوانده شد.

پتانسیل آب برگ (LWP) که در زمان‌های مختلف روز (قبل از طلوع آفتاب و در طول روز) اندازه‌گیری می‌شود، اغلب برای تعیین وضعیت آبی گیاهان مختلف استفاده می‌شود (۴۰، ۷). تاردیو و سیموناو (۵۷) نتیجه گرفتند که LWP زمانی که گیاه تحت تعرق نیست، تحت تأثیر شدید کاهش رطوبت خاک قرار دارد ولی زمانی که در حضور گیاه تعرق کننده اندازه‌گیری می‌شود تحت تأثیر مجموع اثرات متقابل خاک و تقاضای تعرق است. گزارش شده است که در صورتی که پتانسیل آب برگ برای تغییرات روزانه و محیطی تصحیح شود شاخص حساسی برای وضعیت آبی گیاه بدست خواهد آمد (۴۵). پتانسیل آب برگ قبل از طلوع آفتاب نمی‌تواند در شرایط تنش آبی وضعیت آب گیاه را بخوبی منعکس کند در نتیجه پتانسیل آب برگ در نیمروز بهتر از پتانسیل آب برگ قبل از طلوع آفتاب می‌تواند با وضعیت آب گیاه، عملکرد گیاه و فراهمی آب خاک همبستگی داشته باشد (۶۰). در پژوهشی بر روی درخت بادام (۴۸)، پتانسیل آب برگ قبل از طلوع آفتاب در تیمار خوب آبیاری شده و تحت کم آبیاری تنظیم شده (آبیاری به میزان ۲۰ درصد ETC) به ترتیب بیش‌تر از ۱/۰- و ۲/۳۷- مگاپاسکال بدست آمد. در پژوهشی دیگر بر روی همین محصول روییز-سانچز و همکاران (۴۹) از پتانسیل آب برگ در نیمروز استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که پتانسیل آب برگ در بادام دیم تا ۳/۷- مگاپاسکال نیز کاهش می‌یابد در حالی که در تیمار تحت آبیاری قطره‌ای بین ۱/۶- تا ۱/۹- مگاپاسکال در نوسان است. باتوجه به متغیر بودن وضعیت آب برگ، برخی از پژوهش‌گران پتانسیل آب آوند چوبی یا پتانسیل آب ساقه (StWP) را به عنوان شاخصی مفیدتر و دقیق‌تر از پتانسیل آب برگ ارایه نمودند (۱۵ و ۳۸). پتانسیل آب ساقه یکی از روش‌های عمومی تعیین وضعیت و تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری در درختان است (۴۱، ۴۲، ۴۳، ۳۹، ۴۰، ۵۵، ۸، ۱۲، ۵۱ و ۱۴). مطالعات اخیر نشان داده است که پتانسیل آب ساقه شاخصی مرتبط و قابل اعتماد برای تنش آبی در درختان میوه است (۴۳). نشان داده شده است که StWP برای پیش‌بینی کمبود آب حساس‌تر از LWP است (۴۰ و ۸) و همچنین به واسطه حساسیتش به رژیم آبیاری، شاخص دقیقی برای تنش آبی گیاه در برخی گونه‌های درختی می‌باشد (۵۴ و ۴۰). همچنین مشخص شده است که StWP نسبت به LWP تغییرات کمتری دارد و برای سنجش اختلافات اندک ولی معنی‌دار تیمارهای آزمایشی مناسب‌تر است (۳۰). StWP نیمروز همبستگی زیادی با پتانسیل آب خاک و هدایت روزنه‌ای دارد (۳۱). گارنیر و برگر (۱۵) نشان دادند که اختلاف بین StWP و LWP (اندازه‌گیری شده بطور همزمان در یک گیاه) شاخصی از شدت تعرق می‌باشد. اعتقاد بر اینست که تنش آب از طریق پتانسیل آب برگ زودتر از مقاومت روزنه ای و دمای پوشش سبز قابل سنجش است (۱۴). نورتنس و همکاران (۴۴) در مورد درخت بادام جوان شاخص‌های مختلفی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که پتانسیل آب برگ در قبل از طلوع آفتاب و پتانسیل

آب ساقه به همراه شدت رشد تنه نسبت به بقیه شاخص‌ها حساسیت بیش‌تری به تنش آبی دارند. در پژوهشی بر روی بادام سه تیمار آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید مورد بررسی قرار گرفت (۲۵). پتانسیل آب ساقه در نیمروز در تیمار آبیاری کامل بالاتر از ۱/۰- مگاپاسکال باقی ماند اما در تیمارهای تنش متوسط و شدید به ترتیب به ۱/۴- تا ۲/۰- و ۲/۰- تا ۲/۶- کاهش یافت. در این پژوهش حد آستانه‌ای پتانسیل آب ساقه در نیمروز برای ریزش برگ‌ها ۱/۸- مگاپاسکال بدست آمد.

شوری یکی از مشکلات گسترده جهانی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. برخی مطالعات نشان می‌دهد که ۲۰ تا ۵۰ درصد کل زمین‌های زراعی متاثر از شوری است که سبب کاهش قابل توجه درآمد اقتصادی می‌شود (۱۱). براساس گزارش FAO (۱۰) حدود ۳۳ میلیون هکتار از اراضی کشور ایران (معادل ۵۵ درصد اراضی قابل کشت) به درجات مختلف متاثر از شوری است که از این مقدار حدود ۸ میلیون هکتار دارای شوری زیاد است. افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک و کاهش جذب آب توسط گیاهان می‌شود (۲۸). تنش آبی بواسطه نمک که خشکی فیزیولوژیکی نامیده می‌شود زمانی اتفاق می‌افتد که غلظت نمک در محلول خاک به حدی افزایش یابد که جذب آب توسط گیاه را همانند تنش خشکی محدود کند (۳). هردو تنش شوری و آبی منجر به از دست دادن آب سلولی و تنش اسمزی می‌شوند (۲) بنابراین گیاهان ممکن است روش مشترکی برای مقابله با این تنش‌ها اتخاذ کنند (۵۸). در بین گیاهان درختان در کل در مرحله جوانه زدن 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 گل دهی افزایش می‌یابد (۵۶). تنش شوری روابط آبی بیش‌تر درختان را تغییر می‌دهد و مقاومت در برابر شوری بستگی به مقاومت در برابر تنش خشکی دارد (۱۲). تغییر در پتانسیل آب برگ، پتانسیل اسمزی، شادابی برگ و توسعه پذیری دیواره سلولی در اثر افزایش شوری، در گیاهان علفی بطور گسترده مطالعه شده است. اما مطالعه تاثیر شوری بر روابط آبی در درختان میوه ناچیز می‌باشد که در این خصوص به پژوهش گوجی و همکاران (۲۰) و موسوی و همکاران (۳۵) در خصوص درخت زیتون و لمئور و همکاران (۲۷) در مورد پسته می‌توان اشاره کرد.

هدف از این مطالعه بررسی اثر تنش همزمان خشکی و شوری بر رشد رویشی و پتانسیل آب برگ به عنوان اصلی‌ترین شاخص وضعیت آبی گیاه در درخت بادام بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه باغبانی سهند مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی واقع در جنوب غربی تبریز (۲۹° ۵۷' ۴۵" طول شرقی و ۳۷° ۵۵' ۴۳" عرض شمالی،

دسی‌زیمنس بر متر بود، مقرر شد که برای تیمارهای شورتر، شوری‌های ۴ (شوری معادل ۵۰ درصد کاهش عملکرد) و ۶ دسی‌زیمنس بر متر (شوری معادل ۸۵ درصد کاهش عملکرد) انتخاب گردد ولی با توجه به اینکه بادام به شوری حساس است (آستانه تحمل آن ۱/۵ دسی‌زیمنس بوده و شیب کاهش عملکرد به ازاء واحد شوری ۱۹ درصد است) و از طرف دیگر به‌خاطر هدف پژوهش در خصوص تنش خشکی که می‌بایست تخلیه رطوبتی خاک تا محدوده نقطه پژمردگی دائم ادامه یابد، برای اجتناب از صدمه احتمالی گیاه بجای ۶، ۵ دسی‌زیمنس بر متر (شوری معادل ۶۷ درصد کاهش عملکرد) انتخاب گردید. آب لب‌شور و شور براساس روش علی اصغرزاد (۱) با حل کردن نمک‌های مختلف در آب حاصل از چاه ایستگاه به طوری که ترکیب یونی شبیه آب چاه منطقه باشد تهیه گردید. ویژگی‌های آب سه تیمار شوری در جدول ۳ آمده است.

برای تعیین تأثیر تنش خشکی نیز یک درخت به‌عنوان شاهد انتخاب و تا پایان پژوهش بطور مرتب با فواصل دو تا سه روز به عمق ۱۵۰ میلی‌متر آبیاری گردید (T₀). علاوه بر آن برای مقایسه تأثیر تنش رطوبتی و شوری بر پتانسیل آب برگ و رشد رویشی، از این درخت به‌عنوان درخت بدون تنش و درختی که بطور کامل تفرق می‌کند استفاده گردید. ترتیب قرارگیری تیمارها در شکل ۲ ارایه شده است.

ارتفاع ۱۳۲۷ متر) (شکل ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار (۹ واحد آزمایشی) بر روی درختان جوان (۷ ساله) بادام رقم آذر (*Prunus dulcis* Mill. cv. Azar) که بر روی پایه رویشی GF677 پیوند شده و به فاصله ۴ × ۵ متر کاشته شده‌اند در سال ۱۳۹۳ به انجام رسید. هر تیمار شامل ۳ درخت بود که برای کاهش خطای تأثیر اندازه درخت بر صفات مورد اندازه‌گیری، سعی گردید درختان انتخابی تا حد ممکن دارای قطر و سایه‌انداز یکسانی باشند. رقم آذر از ارقام برتر تجاری بادام بوده و دارای قدرت رشد بالایی است. دیرگل بودن این رقم باعث شده است که جایگاه ویژه‌ای بین ارقام بادام منطقه داشته باشد 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 استفاده می‌شود. این پایه که بصورت غیرجنسی و رویشی تکثیر می‌شود، در مقابل کمبود آهن مقاوم بوده (۹) و بویژه برای خاک‌های با حاصل خیزی کم (۶)، مقدار آب قابل استفاده پایین و آهک زیاد مناسب است (۶۱).

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای پژوهش به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارایه شده است. تیمارهای شوری شامل آبیاری با آب چاه موجود در ایستگاه (T₁)، آب لب‌شور (T₂) و آب شور (T₃) بود. با توجه به اینکه آب چاه موجود دارای شوری ۲



شکل ۱- نقشه استان آذربایجان شرقی و ایستگاه باغبانی سهند
Figure 1- Map of the east Azarbaijan province and Sahand horticultural station

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش

Table 1- Chemical properties of the soil of experimental site

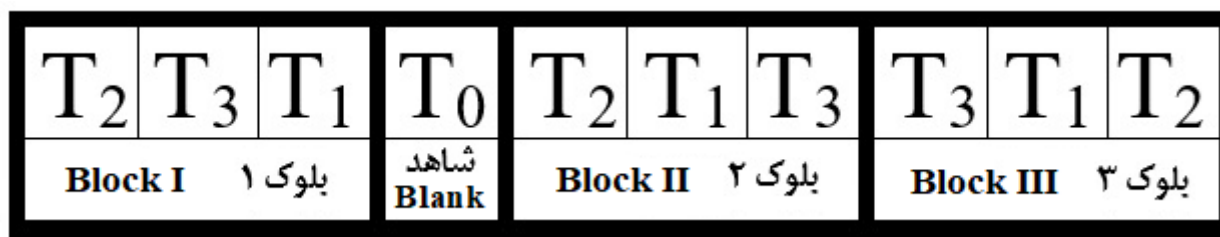
عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	واکنش گل اشباع pH	مواد خنثی شونده CaCO ₃ (%)	کربن آلی OC (%)	ازت کل Total N (%)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
						Available P (mg.kg ⁻¹)	Available K
0-20	3.04	7.57	3.5	0.47	0.05	14.2	419
20-40	2.12	7.86	2.0	0.27	0.03	3.4	192
40-90	1.45	8.03	2.0	0.10	0.01	0.6	115

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی خاک محل اجرای پژوهش
Table 2- Physical properties of the soil of experimental site

عمق Depth (cm)	درصد اشباع SP (%)	تجزیه مکانیکی Mechanical analysis				چگالی ظاهری Bulk density (kg.m ⁻³)	رطوبت (m ³ .m ⁻³) Water content	
		شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture		FC (0.03MPa)	PWP (1.5MPa)
0-20	25	87	8	5	شن لومی Loamy sand	1.54	9.9	4.3
20-40	21	88	7	5	شنی sandy	1.63	7.5	4.4
40-90	21	89	6	5	شنی sandy	1.58	8.3	4.1

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری در تیمارهای مختلف
Table 3- Chemical properties of irrigation water in salinity treatments

تیمار Treatment	هدایت الکتریکی EC(dS.m ⁻¹)	pH	کربنات CO ₃ ²⁻	بی‌کربنات HCO ₃ ⁻	کلر Cl ⁻	سولفات SO ₄ ²⁻	مجموع آنیون‌ها Sum of cations meq l ⁻¹	کلسیم + منیزیم Mg ²⁺ + Ca ²⁺	سدیم Na ⁺	مجموع کاتیون‌ها Sum of anions	نسبت جذب سدیم SAR
T ₁	2.16	7.56	0.0	3.4	9.0	9.6	22.0	16.2	5.8	22.0	2.0
T ₂	4.33	7.49	0.0	3.6	23.0	17.4	44.0	28.6	18.6	47.2	4.9
T ₃	5.14	7.82	0.0	4.0	28.8	18.2	51.0	26.0	25.0	51.0	6.9



شکل ۲- ترتیب قرار گرفتن تیمارها
Figure 2- Treatments layout

رابطه زیر محاسبه شد:

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

که در آن FC ، θ و PWP به ترتیب رطوبت گنجایش مزرعه‌ای، رطوبت اندازه‌گیری شده و رطوبت نقطه پژمردگی دایم می‌باشد. همچنین با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی هر لایه، رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به مکش ماتریک متناظر تبدیل شد.

برای تعیین تأثیر تیمارها بر رشد رویشی، رشد طولی شاخه و رشد قطری تنه اندازه‌گیری گردید. رشد طولی شاخه سال از محل شروع رشد آن بر روی شاخه سال قبل تا انتهای جوان‌ترین برگ از چهار جهت جغرافیایی برای هر درخت در مقاطع مختلف زمانی اندازه‌گیری شد و متوسط طول اندازه‌گیری شده برای هر تیمار محاسبه گردید. رشد تجمعی در طول دوره رشد با جمع کردن مقدار افزایش طول شاخه در هر اندازه‌گیری بدست آمد. برای اندازه‌گیری رشد قطری تنه، یکبار در شروع پژوهش و بار دیگر در پایان، قطر تنه هر درخت از دو جهت عمود بر هم توسط کولیس اندازه‌گیری شد.

با توجه به اینکه پتانسیل آب ساقه (معادل با پتانسیل آب برگ) که نزدیک ساقه اصلی قرار گرفته و تعرق ناچیز دارد) نسبت به

از اواخر اردیبهشت ماه، بعد از آبیاری اولیه همه ۱۰ درخت (۹ درخت مربوط به سه تیمار شوری T₁، T₂، T₃ و یک درخت برای آبیاری کامل، T₀ به‌عنوان شاهد) به حجم ۲۰۰ لیتر برای هر درخت (۲۰۰ میلی‌متر در سطح یک متر مربع سایه‌انداز درخت) اندازه‌گیری‌ها شروع شد. برای بررسی تأثیر شوری بر رشد و پتانسیل آب برگ در رطوبت‌های مختلف (از گنجایش مزرعه‌ای تا نقطه پژمردگی دایم)، آبیاری‌های بعدی زمانی انجام گرفت که علائم پژمردگی برگ‌ها ظاهر شود. آبیاری هر درخت به عمق ۱۸۰ میلی‌متر به‌صورت تشتکی و در سایه‌انداز درخت به وسعت ۱/۵ × ۱/۵ متر (۲/۲۵ متر مربع) صورت گرفت.

رطوبت حجمی نیم‌رخ خاک (SWC) تا عمق ۲۰، ۴۰ و ۷۰ سانتی‌متری در سه نقطه از اطراف درخت با زاویه ۱۲۰ درجه (گوشه‌های یک مثلث فرضی) به فاصله ۳۰ سانتی‌متری تنه درخت توسط مدل Trase 6050 X1 اندازه‌گیری شد و از روی آن مقدار تخلیه آب قابل استفاده خاک^۱ (AWD) برای اعماق فوق توسط

1- Available water depletion

محلول خاک در تیمار شور، ریشه درخت قادر به جذب آب کافی نبوده و به همین دلیل در این تیمار رطوبت باقیمانده در خاک بیش‌تر از تیمارهای دیگر است. قطبی‌زاده و سپاس‌خواه (۱۹) نیز در گیاه وتیور (*Vetiveria zizanioides*) به این نتیجه رسیدند که شوری‌های مختلف خاک تا تخلیه ۸۰ درصد آب قابل استفاده، تأثیری بر کاهش جذب آب توسط ریشه ندارد ولی در رطوبت‌های کمتر از آن باعث کاهش جذب آب شد. به دلیل تجمع نمک در پایان فصل، بارندگی‌های پایان فصل نتوانسته‌اند شوری خاک را تعدیل نمایند.

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

تخلیه آب قابل استفاده و تأثیر تیمارهای شوری بر آن

تخلیه آب قابل استفاده در طول دوره رشد و زمان‌های مختلف اندازه‌گیری بطور معنی‌داری متفاوت بود (جدول ۴). همانطوری‌که در جدول ۴ دیده می‌شود تیمارهای تنش (شوری) و زمان‌های اندازه‌گیری در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر تخلیه آب قابل استفاده در تمامی لایه‌ها داشتند. تأثیر زمان‌های اندازه‌گیری مشخص و قابل پیش‌بینی بود چرا که با گذشت زمان و جذب آب توسط درختان و یا تبخیر آب از سطح خاک میزان تخلیه آب قابل استفاده تغییر می‌یابد ولی آنچه که مهم است تأثیر تیمارهای شوری بر تخلیه آب قابل استفاده بود. همچنین تکرارهای آزمایش نیز بجز لایه ۷۰-۰ سانتی‌متری تأثیر معنی‌داری بر تخلیه آب قابل استفاده گذاشتند که نشانگر این مطلب است که درختان نیز در جذب آب از خاک رفتارهای متفاوتی با هم داشتند. تغییرات تخلیه آب قابل استفاده خاک در طول فصل رشد در شکل ۳-ب برای عمق ۴۰-۰ ارایه شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود در بیش‌تر مواقع به جز تخلیه‌های کم (چند روز پس از آبیاری) تخلیه رطوبتی در تیمار شور (T_3) کم‌تر از تیمارهای دیگر است. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵) نیز این مطلب را تأیید می‌کند که تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متر در تیمار شور بطور معنی‌داری کم‌تر از تیمارهای دیگر است. با توجه به اینکه در رطوبت‌های زیاد، اختلاف رطوبت خاک بین تیمارها معنی‌دار نبود، می‌توان چنین استدلال نمود که در تخلیه‌های زیاد آب قابل استفاده، به دلیل افزایش فشار اسمزی محلول خاک در تیمار شور، شیب پتانسیل آب، کاهش چشمگیر داشته و علاوه بر آن مقاومت ریشه برای جذب آب افزایش می‌یابد (۵۹) در نتیجه درخت قادر به جذب آب نبوده و به همین جهت در این تیمار تخلیه رطوبتی کم‌تر از تیمارهای دیگر است.

پتانسیل آب برگ وضعیت آبی درخت را بهتر نشان می‌دهد (۵۴)، در نتیجه پتانسیل آب برگ نیم‌روز (ساعت ۱۲ تا ۱۴) در برگ‌هایی که در قسمت شمالی درخت و به‌طور کامل در سایه قرار دارد و نزدیک ساقه بود (۱۴) در دو برگ از قسمت تحتانی تاج هر درخت با دستگاه محفظه فشاری (۵۰) اندازه‌گیری شد.

دمای هوا (T_a) و رطوبت نسبی (RH) در ارتفاع ۲ متری برای ساعت ۱۲ تا ۱۴، از ایستگاه هواشناسی موجود در ایستگاه باغبانی اخذ شده و از روی آن مقدار کمبود فشار بخار هوا (VPD) محاسبه گردید (۳۳).

$$VPD = \left(\frac{1 - RH}{100} \right) e_s \quad (2)$$

در این رابطه VPD کمبود فشار بخار هوا (kPa)، RH رطوبت نسبی (%) و e_s فشار بخار اشباع (kPa) می‌باشد که از رابطه زیر بدست آمد (۳۷):

$$e_s = 0.6107 \times 10^{7.5T_a / (237.3 + T_a)} \quad (3)$$

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 ۱ و ۵ درصد مقایسه گردیده و منحنی‌های همبستگی بین پارامترها توسط نرم‌افزار MS Excel رسم شد.

نتایج و بحث

توزیع رطوبت در ناحیه ریشه و تأثیر تیمارهای شوری

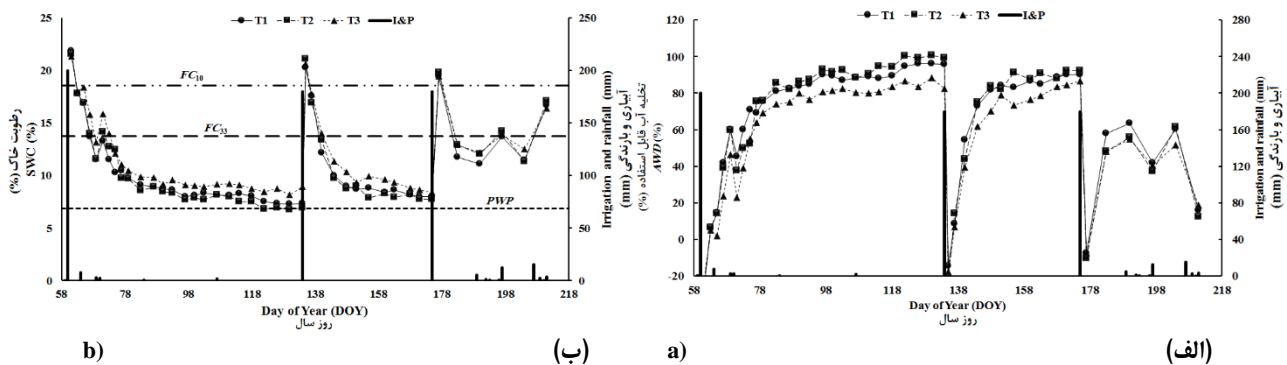
بر آن: تیمارها تأثیر معنی‌داری بر رطوبت خاک در لایه‌های مختلف داشتند (جدول ۴). تغییرات رطوبت خاک (میانگین هر لایه) در طول فصل رشد برای لایه ۴۰-۰ سانتی‌متر به‌عنوان نمونه در شکل ۳-الف ارایه شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود در بیش‌تر مواقع به جز رطوبت‌های بالا (چند روز بعد از آبیاری) رطوبت خاک در تیمار شور (T_3) بیش‌تر از تیمارهای دیگر است. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵) نیز این مطلب را تأیید می‌کند که رطوبت نیم‌رخ خاک در تیمار شور، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار T_1 (و در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متر حتی بیش‌تر از تیمار T_2) است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود بعد از آبیاری و همچنین بارندگی‌های ابتدای فصل میزان رطوبت خاک در هر سه تیمار تقریباً نزدیک هم می‌باشد اما با گذشت زمان و کاهش رطوبت خاک، خط مربوط به تیمار T_3 از خطوط مربوط به تیمارهای T_1 و T_2 فاصله می‌گیرد و تا آبیاری بعدی در روز ۱۳۰، رطوبت در تیمار T_3 همیشه بیشتر از دو تیمار دیگر است این روند بعد از آبیاری دوم و سوم نیز دیده می‌شود. در این خصوص می‌توان چنین استدلال نمود که در رطوبت‌های کم، به دلیل افزایش فشار اسمزی

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای شوری بر رطوبت خاک و تخلیه آب قابل استفاده در اعماق مختلف

Table 4- Analysis of variance of the effect of salinity treatment on soil water content (SWC) and available water depletion (AWD)

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square									
		رطوبت حجمی خاک SWC					تخلیه آب قابل استفاده خاک AWD				
		0-20	20-40	40-70	0-40	0-70	0-20	20-40	40-70	0-40	0-70
تکرار Replication	2	38.6**	20.7*	24.2	24.6**	22.9**	1641.2**	3133.1*	2672.4*	1790.7*	1969.8
تیمار تنش Stress	3	666.2**	107.6**	748.5**	312.4**	480.4**	28342.8**	13156.2**	22954.8**	28611.1**	114734**
زمان اندازه گیری Time	42	164.1**	147.1**	100.5**	128.5**	111.5**	6982.4**	21073.5**	9946.7**	9705.5**	10769.7**
تیمار× زمان Stress×Time	126	6.84	2.61	5.70	4.15	4.78	291.58	345.13	313.20	345.40	728.61
خطا Error	382	5.8	5.4	10.8	3.7	4.2	248.0	716.3	766.0	460.6	777.8

***، ** و * به ترتیب نشانگر معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی داری می باشد.



شکل ۳- تغییرات رطوبت (الف) و آب قابل استفاده خاک (ب) (میانگین عمق ۴۰-۰) در تیمارهای مختلف در طول فصل رشد

Figure 3- Volumetric soil water contents (a) and available water depletion (b) in different treatments during the growing season

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین رطوبت حجمی خاک (%) و تخلیه آب قابل استفاده (%) در لایه های مختلف نپیرخ خاک و در تیمارهای مختلف

Table 5- Effect of treatments on soil water content (SWC) and available water depletion (AWD) at the various layers

تیمار Treatment	رطوبت حجمی خاک SWC (%)					تخلیه آب قابل استفاده خاک AWD (%)				
	0-20	20-40	40-70	0-40	0-70	0-20	20-40	40-70	0-40	0-70
	T ₀	18.06 a	14.07 a	20.46 a	16.17 a	18.13 a	25.02 c	20.55 c	-6.61 b	14.69 c
T ₁	10.36 c	11.61 c	12.26 b	10.95 c	11.55 c	75.24 a	44.91 a	37.88 a	65.01 a	54.40 a
T ₂	10.74 bc	11.19 c	11.92 b	10.95 c	11.40 bc	72.75 ab	50.13 a	41.45 a	65.01 a	55.84 a
T ₃	11.17 b	12.71 b	12.28 b	11.90 b	12.07 b	69.96 b	31.37 b	37.69 a	56.94 b	49.55 a
LSD _{0.01}	0.384	0.476	0.434	0.224	0.353	2.450	0.469	3.005	0.469	3.005
C.V. (%)	11.05	8.60	10.20	6.15	9.35	10.22	8.03	16.07	8.03	16.07

LSD_{0.01}: Least significant difference, C.V.: Coefficient of Variation. در هر ستون اعدادی که دارای یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی دار ندارند. LSD_{0.01}: حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد، C.V.: ضریب تغییرات آزمایش. Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.01)

دست یافتند. در پژوهش آنها نیز گیاهانی که در شرایط شوری کم

کلائیترگ و بیگار (۲۶) نیز در مورد سورگوم به نتایج مشابهی

تیمارها تأثیر معنی‌داری بر رشد طولی شاخه سال و هم‌چنین رشد قطری تنه درخت داشته‌اند (جدول ۶). از نظر طول شاخه سال اختلاف بین تمام تیمارها معنی‌دار بود. درخت خوب آبیاری شده بیش‌ترین و درختان تیمار شور کم‌ترین رشد طولی شاخه سال را داشتند (جدول ۷). علاوه بر تنش شوری، تنش آبی (T₁) (نمونه برداری‌های دوره‌ای حاکی از این بود که شوری متوسط خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متر در این تیمار در حدود ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر است) نیز باعث کاهش معنی‌دار رشد طولی شاخه سال گردید. مانز (۳۶) خاطر نشان ساخت که شوری توانایی گیاهان برای جذب آب را کاهش می‌دهد و بسرعت باعث کاهش در سرعت رشد می‌شود. روند رشد طولی شاخه سال در طول دوره پژوهش (۱۵۰ روز) در شکل ۴ ارایه شده است.

قرار داشتند نسبت به تیمار شور، آب بیش‌تری از خاک جذب کرده بودند. مانز (۳۶) نیز عقیده دارد که شوری، توانایی گیاه را برای جذب آب کاهش می‌دهد. در پژوهش وست (۵۹) بر روی درخت سیب، افزودن محلول کلرید سدیم به هر قسمت از منطقه ریشه باعث کاهش سریع جذب آب در آن منطقه و افزایش جذب آب از قسمت‌هایی که شور نبود شد. تخلیه رطوبت قابل استفاده برای درختان بدون تنش بطور متوسط در اعماق ۲۰-۴۰، ۴۰-۷۰ و ۷۰-۱۱۴، ۱۲/۱ و ۷/۲- درصد بود.

رشد رویشی: تأثیر تنش رطوبتی و تیمارهای شوری بر رشد طولی شاخه‌های سال و رشد قطری تنه درخت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها به‌ترتیب در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای شوری بر رشد رویشی و پتانسیل آب برگ بادام

Table 6- Analysis of variance of the effect of salinity treatment on shoot and diameter growth and leaf water potential (LWP)

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					پتانسیل آب برگ (LWP)
		شاخص‌های رشدی شاخه سال Shoot growth			شاخص‌های رشدی تنه Trunk growth		
		طول Length	درصد افزایش* Increase	سرعت رشد Growth rate	درصد افزایش قطر* Increase	سرعت رشد Growth rate	
تکرار Replication	2	328.4*	1717.6 ^{ns}	0.007*	144.3 ^{ns}	0.002 ^{ns}	2.329**
تیمار تنش Stress	3	3297.5**	2917.2 ^{ns}	0.047**	663.6**	0.005**	3.893**
زمان اندازه‌گیری Time	42	-	-	-	-	-	1.007**
تیمار× زمان Stress×Time	126	-	-	-	-	-	0.041
خطا Error	76 or 382	74.5	748.3	0.003	32.8	0.000	0.032

* Increase (%) was calculated based on increase from beginning of study to the end of growing season (150day)

* درصد افزایش در انتهای فصل رشد نسبت به شروع پژوهش (۱۵۰ روز)

76 for shoot and trunk growth traits and 382 for leaf water potential

۷۶ برای شاخص‌های رشدی و ۳۸۲ برای پتانسیل آب برگ

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد رویشی در تیمارهای مختلف

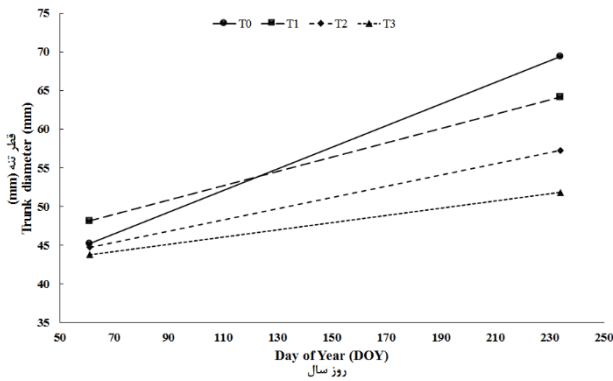
Table 7- Effect of treatments on shoot and trunk growth and Leaf water potential (LWP)

تیمار Treatment	شاخص‌های رشدی شاخه سال Shoot growth			شاخص‌های رشدی تنه Trunk growth		پتانسیل آب برگ LWP (MPa)
	طول (cm) Length	افزایش (%) Increase	سرعت رشد Growth (mm.d ⁻¹) rate	افزایش قطر (%) Increase in diameter	سرعت رشد قطر Trunk growth (mm.d ⁻¹) rate	
T ₀	104.17 a	123.68 a	4.15 a	53.47 a	0.140 a	-1.525 a
T ₁	75.43 b	73.70 ab	2.04 b	32.38 b	0.093 b	-1.778 b
T ₂	69.22 c	73.56 ab	1.88 b	27.69 bc	0.072 bc	-1.932 c
T ₃	62.17 d	49.54 b	1.27 b	18.31 c	0.047 c	-2.156 d
LSD _{0.01}	4.85	62.13	1.44	11.73	0.036	0.053
C.V. (%)	23.11	25.13	12.34	15.11	13.63	8.20

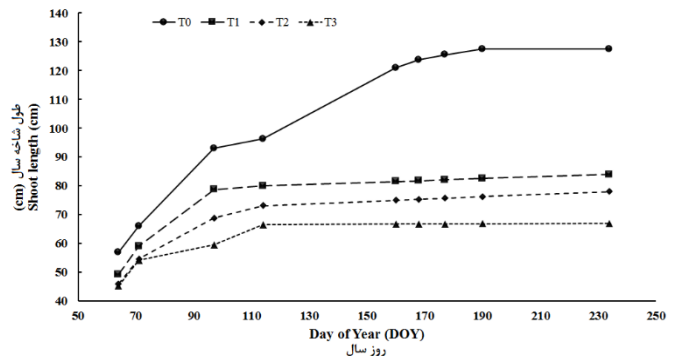
* Increase (%) was calculated based on increase from beginning of study to the end of growing season (150 days)

* درصد افزایش در انتهای فصل رشد نسبت به شروع پژوهش (۱۵۰ روز) در هر ستون اعدادی که دارای یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌دار ندارند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.01)



شکل ۵- افزایش قطر تنه درختان در پایان فصل نسبت به ابتدا
Figure 5- Effect of treatments on trunk growth



شکل ۴- رشد شاخه سال در طول دوره رشد

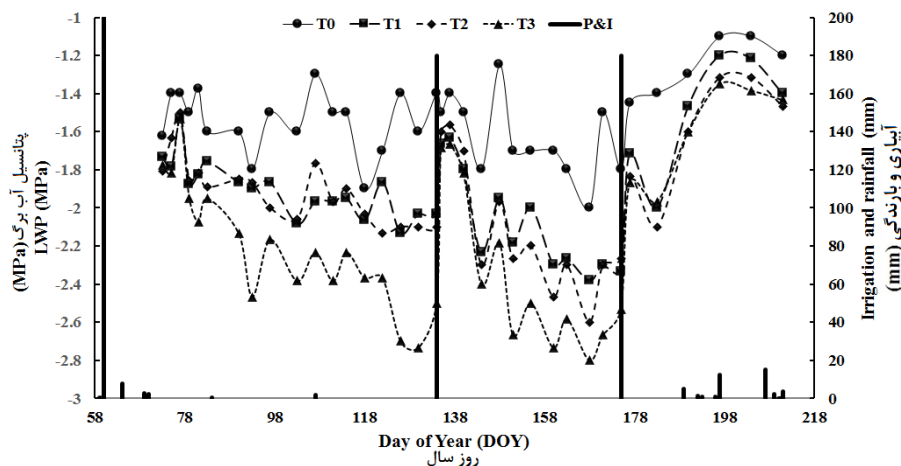
Figure 4- Shoot growth in different treatments during the growing season

پتانسیل آب برگ در تیمارهای شور عمدتاً به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک و کاهش جذب آب توسط ریشه است (۳۵). با توجه به شکل ۶ مشخص می‌شود که بعد از آبیاری اول در روز ۶۰ و بارندگی‌های پراکنده در روزهای ۶۴، ۶۹ و ۷۰، اثر تنش در روز ۷۳ بین تیمار شاهد و تیمارهای تنش در پتانسیل آب برگ پدیدار می‌شود ولی اختلاف بین تیمارهای تنش، از روز ۷۹ (تقریباً ۱۰ روز بعد) به بعد ایجاد می‌گردد. به (۶۲) نیز در پژوهش خود بر روی بادام به این نتیجه رسید که در اثر شوری پتانسیل آب ساقه تا ۱۰ روز کاهش چشمگیری ندارد و بعد از آن شروع به کاهش می‌کند. در روز ۱۳۴ و بلافاصله قبل از آبیاری دوم اختلاف پتانسیل آب برگ در تیمارها به بیشترین مقدار خود افزایش می‌یابد. ۳ روز بعد از آبیاری در روز ۱۳۷ هرچند که بین تیمارهای تنش اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما اختلاف آنها با درخت خوب آبیاری شده معنی‌دار بود. این مطلب نشان می‌دهد که حتی بعد از ۳ روز درختان تحت تنش نتوانستند با جذب آب کافی پتانسیل آب خود را احیاء مجدد کنند. روند کاهش پتانسیل آب برگ در دوره دوم خشک شدن نیز همانند دوره اول ادامه یافت با این توصیف که شیب کاهش با افزایش شوری در تیمارها بیش‌تر شد. دو روز بعد از آبیاری سوم و در روز ۱۷۷، درختان در تیمار T1 نتوانستند تا حدودی با جذب آب احیاء مجدد کنند ولی تجمع نمک در تیمارهای T2 و T3 مانع از این کار شد و این مسئله باعث شد که اختلاف تیمار T1 بعد از آبیاری با تیمارهای تنش شوری معنی‌دار شود. اما احیاء مجدد درختان در تیمار T1 تاحدی نبود که بتوانند پتانسیل آب خود را به حد درخت خوب آبیاری شده برسانند. در کل تا انتهای فصل، درختان تحت تنش نتوانستند پتانسیل آب برگ خود را به درخت خوب آبیاری شده برسانند. اما در اواخر فصل و از روز ۱۹۲ به بعد به علت بارندگی‌های متعدد و خنک شدن هوا پتانسیل آب برگ در تیمار T1 به حد درخت بدون تنش رسیده و اختلاف معنی‌داری نداشتند. با اینحال تجمع نمک در نیم‌رخ خاک تیمارهای T2 و T3 باعث شد که علی‌رغم این بارندگی‌ها و کاهش قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر کماکان اختلاف پتانسیل آب برگ در این تیمارها با تیمارهای T0 و T1 معنی‌دار باقی بماند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود حساسیت رشد رویشی به تنش در اوایل فصل رشد بدلیل رشد سریع‌تر، بیش‌تر از اواخر دوره رشد می‌باشد. در مورد درصد افزایش طول شاخه سال نسبت به شروع پژوهش اختلاف تیمار T0 فقط با تیمار T3 معنی‌دار بود (جدول ۷). در مورد سرعت رشد نیز تیمارهای تنش در یک گروه آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری نداشتند اما تیمار بدون تنش با میانگین رشد ۴/۱۵ میلی‌متر در روز بیش‌ترین سرعت رشد را داشت.

درخصوص درصد افزایش قطر تنه در انتهای فصل رشد نسبت به شروع پژوهش تیمار بدون تنش بیش‌ترین افزایش را داشت و اختلاف آن با سایر تیمارها معنی‌دار بود. تیمار T3 نیز کم‌ترین درصد افزایش را بخود اختصاص داده بود و با تیمارهای T0 و T1 اختلاف معنی‌داری داشت. اختلاف تیمار T1 و T2 از این نظر معنی‌دار نبود (جدول ۷). گروه‌بندی آماری سرعت رشد تنه درخت همانند درصد افزایش قطر بود (جدول ۷). افزایش قطر تنه درختان در تیمارهای مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.

پتانسیل آب برگ: تغییرات پتانسیل آب برگ در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف در شکل ۶ نشان داده شده است. تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که تیمارهای آزمایش تأثیر معنی‌داری بر پتانسیل آب برگ در نیم‌روز داشتند. تیمار T0 (آبیاری کامل) با میانگین ۱/۵۳- مگاپاسکال بیش‌ترین و تیمار T3 (تیمار شور) با ۲/۱۶- مگاپاسکال کم‌ترین پتانسیل آب برگ را داشتند (جدول ۷). میانگین فصلی پتانسیل آب برگ در تیمارهای T1 (تنش آبی بدون شوری) و T2 (تیمار لب شور) نیز به ترتیب برابر ۱/۷۸- و ۱/۹۳- مگاپاسکال بود. نتایج هم‌چنین حاکی از اختلاف تمام تیمارها با همدیگر در سطح یک درصد بود به طوری که هر تیمار در گروه مستقل آماری قرار گرفت (جدول ۷). بیش‌ترین مقدار پتانسیل آب برگ ثبت شده برای تیمارهای T1 تا T3 به ترتیب ۱/۲۰-، ۱/۳۲- و ۱/۳۵- و کم‌ترین آن به ترتیب ۲/۳۸-، ۲/۴۷- و ۲/۷۳- مگاپاسکال بود. پتانسیل آب برگ برای تیمار بدون تنش بین ۱/۱- تا ۲/۰- مگاپاسکال نوسان داشت که در محدوده گزارش شده توسط دیگر پژوهش‌ها برای بادام (۵۴، ۱۷ و ۱۴) و زیتون (۵۲) است. کاهش



شکل ۶- تغییرات پتانسیل آب برگ (LWP) در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف
Figure 6- Leaf water potential (LWP) in different treatments during the growing season

در پژوهش زریقی و همکاران (۶۳) افزایش غلظت NaCl از صفر تا ۷۵ میلی‌مولار باعث شد که پتانسیل آب برگ بادام از ۱/۲۵- به ۱/۹۵- مگاپاسکال کاهش یابد. در پژوهشی گلخانه‌ای بر روی دو رقم زیتون در کرج (۳۵)، افزایش شوری از صفر تا ۱۶۰ میلی‌مولار NaCl باعث کاهش پتانسیل آب برگ از ۰/۷- تا ۲/۰- مگاپاسکال گردید. در پژوهش لمور و همکاران (۲۷) در پسته نیز افزایش شوری آب آبیاری از صفر به ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش پتانسیل آب برگ از ۱/۲- تا ۲/۳- مگاپاسکال شده بود. مورالس و همکاران (۳۴) به نتایج کمابیش مشابهی در درخت سدر دست یافتند. اختلاف پتانسیل آب برگ در تیمارهای ۰ و ۷۰ میلی‌مولار NaCl بعد از ۱۵ روز معنی‌دار نبود ولی در ۱۴۰ میلی‌مولار، پتانسیل آب برگ کاهش معنی‌داری داشت. بعد از ۲۸ روز، کاهش پتانسیل آب برگ در تیمار ۷۰ میلی‌مولار نیز نسبت به شاهد معنی‌دار شد.

پتانسیل آب برگ (LWP) و کمبود فشار بخار (VPD) همان‌طوری که از جدول ۸ و شکل ۷ مشخص است ارتباط معنی‌داری بین کمبود فشار بخار هوا و پتانسیل آب برگ در نیمروز وجود داشت. به‌طوری 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 به‌واسطه کاهش پتانسیل اسمزی، گیاه قادر به پاسخ‌گویی به تقاضای تبخیر اتمسفر نبوده و در نتیجه پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد. به گفته دیگر در تیمار بدون تنش (T0) با افزایش کمبود فشار بخار، عامل کاهش پتانسیل برگ تنها تقاضای تبخیر اتمسفر است (-atmosphere-induced plant water potential) اما در تیمارهای تنش خشکی (T1) و تنش شوری (T2 و T3) علاوه بر عامل تقاضای تبخیر اتمسفر عامل کاهش پتانسیل آب خاک نیز تأثیر می‌گذارد (soil-induced)

$$LWP(MPa) = -0.386 \ln(VPD) - 1.0597 \quad (4)$$

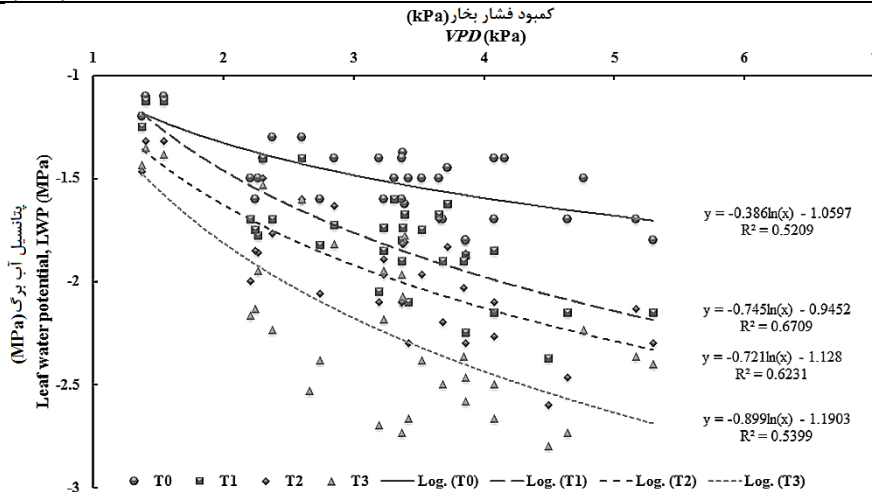
رطوبت خاک (SWC) و پتانسیل آب برگ (LWP)

همان‌طوری که از جدول ۸ مشخص است ارتباط معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ نیمروز و رطوبت خاک بویژه در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متر وجود داشت. بیش‌تر بودن همبستگی پتانسیل آب برگ با رطوبت نیم‌رخ خاک در عمق ۴۰-۰ نشانگر این است که درخت احتمالاً بیش‌تر آب مورد استفاده خود را از این عمق جذب می‌کند که با توجه به جوان بودن درختان (۷ ساله) و مقاومت مکانیکی زیاد لایه‌های تحتانی، تراکم ریشه در این عمق خاک، دور از انتظار نیست.

جدول ۸- ضرایب همبستگی (r) بین صفات مورد اندازه گیری

Table 8- Correlation matrix (absolute value) among the studied parameters (n = 39)

صفات Trait	تیما Treatment	کمبود فشار بخار VPD				پتانسیل آب برگ LWP			
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
		پتانسیل آب برگ LWP	0.65**	0.66**	0.66**	0.63**	-	-	-
رطوبت حجمی خاک SWC (0-40)	0.20 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.68**	0.66**	0.83**	



شکل ۷- ارتباط پتانسیل آب برگ (LWP) نیمروز با کمبود فشار بخار هوا (VPD) در تیمارهای مختلف

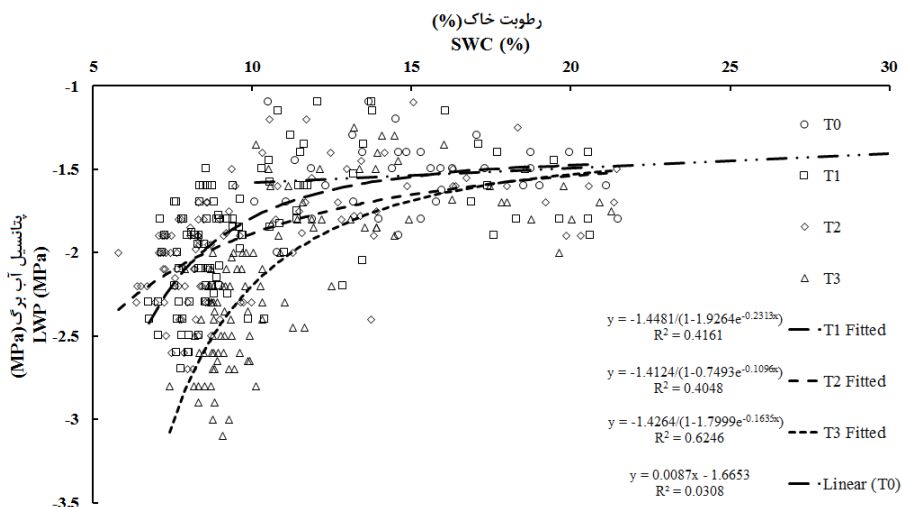
Figure 7- Relationship between the midday leaf water potential (LWP) and vapor pressure deficit (VPD) in different treatments

بدست آمده بود (نتایج ارایه نشده است) در معادلات بدست آمده (شکل ۸)، رطوبت معادل این LWP در تیمارهای T₁ تا T₃ به ترتیب ۱۰/۰۶، ۱۱/۷۶ و ۱۳/۴۸ درصد خواهد بود. یعنی برای اجتناب از تنش، رطوبت نیمرخ خاک در تیمار T₁ (بدون شوری) نباید کمتر از ۱۰ درصد باشد ولی در حالت شور (T₃) برای اجتناب از تنش، رطوبت همواره باید بیشتر از ۱۳/۵ درصد باشد که این ۳/۵ درصد رطوبت اضافی بدلیل کاهش پتانسیل آب خاک بواسطه شوری برای درخت قابل استفاده نیست.

در پژوهش رومرو و همکاران (۴۸) بر روی بادام، با کاهش رطوبت خاک در تیمار تنش از ۲۵ به ۱۵ درصد حجمی در طول فصل رشد، پتانسیل آب برگ از ۰/۵- به حداقل ۲/۵- مگاپاسکال کاهش یافت. رومرو و همکاران (۴۷) در پژوهشی دیگر ارتباط نمایی برای این دو صفت در درختان بادام بالغ برآزش کردند که معادله آن برای آبیاری قطره‌ای سطحی به صورت $LWP = -1440.93SWC^{-2.46}$ و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به صورت $LWP = -395.01SWC^{-1.97}$ می‌باشد. در پژوهش مارسال و همکاران (۳۰) با کاهش رطوبت خاک در طول فصل، پتانسیل آب برگ در بادام کاهش یافت به طوری که با کاهش رطوبت خاک از ۰/۱۵ به ۰/۱ گرم بر گرم، پتانسیل آب برگ قبل از طلوع آفتاب از ۰/۳- به حدود ۰/۹- مگاپاسکال کاهش یافت.

رسم پتانسیل آب برگ در مقابل رطوبت حجمی خاک در عمق ۰-۴۰ سانتی‌متر نشان داد که روند تغییرات طوری است که معادله زیگموئیدال (مدل لاجیستیک) برآزش بهتری دارد (شکل ۸). به طوری که با افزایش رطوبت خاک، پتانسیل آب برگ افزایش می‌یابد ولی این افزایش در رطوبت‌های پایین با شیب تندتر بوده و هرچه رطوبت بیش‌تر افزایش می‌یابد آهنگ افزایش LWP کندتر می‌شود. در رطوبت‌های کمتر، اثر شوری در کاهش LWP بیش‌تر بوده و با افزایش رطوبت اثرش کاهش یافته و در رطوبت‌های حدود ۲۲ درصد خطوط مربوط به تیمارهای T₁، T₂ و T₃ باهم تلاقی پیدا می‌کنند (شکل ۸) که نشانگر از بین رفتن اثر شوری در این رطوبت به دلیل کاهش غلظت نمک‌ها می‌باشد. در مورد تیمار T₀ با توجه به اینکه رطوبت کافی همواره در خاک وجود داشت، دیکته کننده شدت تعرق، رطوبت خاک نبوده بلکه قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر می‌باشد (۲۲) 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 معنی داری بین پتانسیل آب برگ و رطوبت خاک در این تیمار بدست نیامد (جدول ۸ و شکل ۸).

با قرار دادن پتانسیل آب برگ آستانه‌ای شروع تنش (۱/۷۸- مگاپاسکال) که از ارتباط بین پتانسیل آب برگ و دمای تاج درخت



شکل ۸- تغییرات پتانسیل آب برگ (LWP) نیم‌روز با رطوبت خاک (SWC) در عمق ۰-۴۰ سانتی‌متر

Figure 8- Leaf water potential (LWP) as a function of soil water content (SWC) for the layer 0-40 cm during the growing season

بود که پاسخ خوبی به تنش آبی و شوری داشت و تأثیر تیمارهای پژوهش را بخوبی آشکار نمود. حد آستانه ای آن برای بادام در منطقه برای شرایط غیرشور ۱/۷۸- مگاپاسکال تعیین شد. همبستگی معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ با رطوبت خاک دیده شد که می‌توان از آن برای تعیین فراهمی آب خاک در شوری‌های مختلف استفاده کرد. حسن استفاده از شاخص‌های گیاهی مانند پتانسیل آب برگ این است که ویژگی‌های گیاه نیز در تعیین فراهمی آب خاک دخالت داده می‌شود. همچنین همبستگی معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ و کمبود فشار بخار هوا دیده شد که نشانگر این است که پتانسیل آب برگ تحت تأثیر قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر نیز هست، لذا تأثیر ویژگی‌های آب و هوایی نیز به‌عنوان یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در فراهمی آب خاک برای گیاه دیده می‌شود و در نتیجه برای تعریف فراهمی آب خاک صرفاً به رطوبت خاک بسنده نمی‌شود. براساس نتایج بدست آمده در شرایط آب و هوایی و خاکی انجام پژوهش، کمترین رطوبت حجمی خاک برای اجتناب از تنش در شرایط غیر شور و شور به ترتیب ۱۰/۱ و ۱۳/۵ درصد بود.

در پژوهشی بر روی ۵ رقم بادام توسط گومز-لارانجو و همکاران (۱۸) هردو پتانسیل آب برگ (قبل از طلوع آفتاب و نیم‌روز) در تیمار آبیاری شده بیش‌تر از تیمار دیم بود. در پژوهشی بر روی سه رقم انگور توسط ویلیامز و آروجو (۶۰) هر سه پتانسیل آب برگ (قبل از طلوع آفتاب، نیم‌روز و پتانسیل آب ساقه نیم‌روز) در هر سه رقم بطور معنی‌داری در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ درصد ET بیش‌تر از ۵۰ درصد ET و در تیمار ۵۰ درصد ET بیش‌تر از تیمار دیم بود.

نتیجه‌گیری

تنش شوری و خشکی تأثیر معنی‌داری بر جذب آب، رشد رویشی و پتانسیل آب برگ داشت و باعث کاهش هر سه صفت شد. شوری باعث گردید که رطوبت باقیمانده خاک بیش‌تر و تخلیه آب قابل استفاده کمتر باشد به‌طوری‌که در رطوبت‌های کمتر از ۸ درصد حجمی، فراهمی رطوبت خاک برای درخت در تیمار شور کمتر از تیمار غیرشور بود. تنش شوری و خشکی تأثیر معنی‌داری بر کاهش رشد رویشی درخت از جمله رشد طولی شاخه سال و رشد قطری تنه داشت. پتانسیل آب برگ در نیم‌روز نیز یکی دیگر از پارامترهای مورد مطالعه

منابع

- 1- Aliasgharzag N. 2000. The abundance and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz plain and their inoculation effects on the improvement of salt tolerance in onion and barley. Ph.D Thesis, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract)
- 2- Bartels D., and Sunkar R. 2005. Drought and salt tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci., 24: 23-58.
- 3- Carrow R.N., and Duncan R.R. 1998. Salt-affected turfgrass sites: Assessment and management. Sleeping Bear Press, Farmington Hills, MI.
- 4- Chalmers D.J., Burge G., Jerie P.H., and Mitchell P.D. 1986. The mechanism of regulation of Bartlett pear fruit and vegetative growth by irrigation with holding and regulated deficit irrigation. Journal of the American Society of Horticultural Science 111: 904-907.
- 5- Chalmers D.J., Mitchell P.D., and Vanheek L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated

- water supply, tree density and summer pruning. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 106: 307–312.
- 6- Charrera M., Parasi G.A., and Monet R. 1998. Rootstock influence on the performance of the peach variety "Catherine". *Acta Horticulturae* 465: 573–577.
 - 7- Chauvin W., Ameglio T., Prunet J.P., and Soing P. 2006. Irrigation of walnut trees managing the water potential. *Acta Horticulturae* 705: 473–477.
 - 8- Choné X., Van Leeuwen C., Dubourdieu D., and Gaudillère J.P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany* 87: 477–483.
 - 9- El Gharbi A., and Jraidi B. 1994. Performance of rootstocks of almond, peach and peach × almond hybrids with regard to iron chlorosis. *Acta Horticulturae* 373: 91–97.
 - 10- FAO. 1994. Land degradation in South Asia: Its severity, causes and effects upon the people. *World Soil Resources Reports*. FAO, Rome.
 - 11- Flowers T.J. 1999. Salinization and horticultural production. *Scientia Horticulturae* 78: 1–4.
 - 12- Flowers T.J., and Yeo A.R. 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 75–91.
 - 13- Fulton A., Buchner R., Olson W., and Shackel K. 2001. Rapid equilibration of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts, and prunes. *HortTechnology* 11(4): 609–615.
 - 14- García-Tejero I., Durán-Zuazo V.H., Arriaga J., Hernández A., Vélez L.M., and Muriel-Fernández J.L. 2012. Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. *Fruits* 67: 463–474.
 - 15- Garnier E., and Berger A. 1985. Testing water potential in peach trees as an indicator of water stress. *Journal of Horticultural Science* 60: 47–56.
 - 16- Girona J., Mata M., and Marsal J. 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management* 75: 152–167.
 - 17- Goldhamer D.A., and Fereres E. 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science* 23: 11–19.
 - 18- Gomes-Laranjo J., Coutinho J.P., Galhano V., and Cordeiro V. 2006. Responses of five almond cultivars to irrigation: Photosynthesis and leaf water potential. *Agricultural Water Management* 83: 261–265.
 - 19- Ghotbizadeh M., and Sepaskhah A.R. 2015. Effect of irrigation interval and water salinity on growth of vetiver (*Vetiveria zizanioides*). *International Journal of Plant Production* 9(1): 17–38.
 - 20- Gucci R., Lombardini L., and Tattini M. 1997. Analysis of leaf water relations in leaves of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars differing in tolerance to salinity. *Tree Physiology* 17: 13–21.
 - 21- Hsiao T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 519–570.
 - 22- Idso S.B., and Reginato R.J. 1982. Soil- and atmosphere-induced plant water stress in cotton as inferred from foliage temperatures. *Water Resources Research* 18(4): 1143–1148.
 - 23- Jones H.G. 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany* 55(407): 2427–2436.
 - 24- Jones H.G., and Cumming I.G. 1984. Variation of leaf conductance and leaf water potential in apple orchards. *Journal of Horticultural Science* 59(3): 329–336.
 - 25- Klein I., Esparza G., Weinbaum S.A., and De Jong T.M. 2001. Effects of irrigation deprivation during the harvest period on leaf persistence and function in mature almond trees. *Tree Physiology* 21: 1063–1072.
 - 26- Kluitenberg GJ and Biggar JW, 1992. Canopy temperature as a measure of salinity stress on sorghum. *Irrigation Science* 13(3): 115–121.
 - 27- Lemeur R., Ranjbar A., and Van Damme P. 2001. Ecophysiological characteristics of two pistachio species (*Pistacia khinjuk* and *Pistacia mutica*) in response to salinity. p. 179–187. In: A.k. BE (ed.) XI GREMPA Seminar on Pistachios and Almonds. Zaragoza: CIHEAM, (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 56).
 - 28- Levitt J. 1980. Salt and ion stresses. p. 365–488. In J. Levitt (ed.) Responses of Plant to Environmental Stresses. Vol 2. New York, Academic Press.
 - 29- Maas E.V. 1986. Salt tolerance in plants. *Applied Agricultural Research* 1: 12–26.
 - 30- Marsal J., Girona J., and Mata M. 1997. Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122: 582–587.
 - 31- McCutchan H., and Shackel K.A. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(4): 607–611.
 - 32- Monastra F., and Raparelli E., 1997. Inventory of almond research, germplasm and references, REUR Technical Series 51, FAO, Rome.
 - 33- Monteith J.L. 1973. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London.
 - 34- Morales M.A., Alarcón J.J., Torrecillas A., and Sánchez-Blanco M.J. 2000. Growth and water relations of Lotus creticus plants as affected by salinity. *Biologia Plantarum* 43(3): 413–417.
 - 35- Mousavi A., Lessani H., Babalar M., Talaei A.R., and Fallahi E. 2008. Influence of salinity on chlorophyll, leaf water potential, total soluble sugars, and mineral nutrients in two young olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1906–1916.
 - 36- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25(2): 239–250.
 - 37- Murray F.W. 1967. On the computation of saturation vapor pressure. *Journal of Applied Meteorology* 6: 203–204.

- 38- Naor A. 1998. Relations between leaf and stem water potential and stomatal conductance in three field-grown woody species. *Journal of Horticultural Science Biotechnology* 73: 431–436.
- 39- Naor A. 1999. Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Horticulturae* 537: 447–454.
- 40- Naor, A. 2000. Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Horticulturae* 537: 447–454.
- 41- Naor A., Gal Y., and Bravdo B. 1997. Crop load affects assimilation rate, stomatal conductance, stem water potential and water relations of field-grown 'Sauvignon blanc' grapevines. *Journal of Experimental Botany* 48: 1675–1680.
- 42- Naor A., Hupert H., Greenblat Y., Peres M., and Klein I. 2001. The response of nectarine fruit size and midday stem water potential to irrigation level in stage III and crop load. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126: 140–143.
- 43- Naor A., Naschitz S., Peres M., and Gal Y. 2008. Responses of apple fruit size to tree water status and crop load. *Tree Physiology* 28(8): 1255–1261.
- 44- Nortes P.A., Pérez-Pastor A., Egea G., Conejero W., and Domingo R. 2005. Comparison of changes in stem diameter and water potential values for detecting stress in young almond trees. *Agricultural Water Management* 77: 296–307.
- 45- Peretz J., Evans R.G., and Proebsting E.L. 1984. Leaf water potentials for management of high frequency irrigation on apples. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 27: 437–442.
- 46- 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.
- 47- Romero P., Botía P., and Garcia F. 2004a. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant and Soil* 260: 155–168.
- 48- Romero P., Navarro J.M., Garcia F., and Ordaz P.B. 2004b. Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees. *Tree Physiology* 24: 303–312.
- 49- Ruíz-Sánchez M.C., Torrecillas A., Del Amor F., Leon A., and Abrisqueta J.M. 1988. Leaf water potential and leaf conductance during the growing season in almond trees under different irrigation regimes. *Biologia Plantarum* 30(5): 327–332.
- 50- Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D., and Hemmingsen E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339–346.
- 51- Sdoodee S., and Somjun J. 2008. Measurement of stem water potential as a sensitive indicator of water stress in neck orange (*Citrus reticulata* Blanco). *Songklanakarinn Journal of Science and Technology* 30(5): 561–564.
- 52- Sepulcre-Cantó G., Zarco-Tejada P.J., Jiménez-Muñoz J.C., Sobrino J.A., de Miguel E., and Villalobos F.J. 2006. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agricultural and Forest Meteorology* 136: 31–44.
- 53- Shackel K. 2011. A plant-based approach to deficit irrigation in trees and vines. *Horticultural Science* 46(2): 173–177.
- 54- Shackel K.A., 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. *HortTechnology* 7(1): 23–29.
- 55- Shackel K.A., Lampinen B., Sibbett S., and Olson W. 2000. The relation of midday stem water potential to the growth and physiology of fruit trees under water limited conditions. *Acta Horticulturae* 537: 425–430.
- 56- Shannon M.C., Grieve C.M., and Francois L.E. 1994. Whole-plant response to salinity. p. 199-244. In R.E. Wilkinson (ed.) *Plant-Environment Interactions*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- 57- Tardieu F., and Simonneau T. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany* 49: 419–432.
- 58- Tuteja N. 2007. Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology* 428: 419–438.
- 59- West D.W. 1978. Water use and sodium chloride uptake by apple trees I. The effect of non-uniform distribution of sodium chloride in the root zone. *Plant and Soil* 50(1–3): 37–49.
- 60- Williams L.E., and Araujo F.J. 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127: 448–454.
- 61- Yadollahi A., and NazaryMoghadam A.R. 2012. Micropropagation of GF677 rootstock. *Journal of Agricultural Science* 4(5): 131–138.
- 62- Ye Z. 2016. Salinity stress, a key factor affecting almond tree stem water potential. Available at: <https://ysp.ucdavis.edu/content/salinity-stress-key-factor-affecting-almond-tree-stem-water-potential>. (visited 6 May 2019).
- 63- Zrig A., Ben Mohamed H., Tounekti T., Ennajeh M., Valero D., and Khemira H. 2015. A Comparative Study of Salt Tolerance of Three Almond Rootstocks *Journal of Agricultural Science and Technology* 17: 675–689.

The Effects of Simultaneous Drought and Salinity Stresses on Growth, Water Uptake and Leaf Water Potential of Almond in Semi-Arid Condition

A. Onnabi Milani^{1*} - M. Zarrinbal²

Received: 22-12-2018

Accepted: 11-11-2019

Introduction: Almond (*Prunus dulcis*) has an important role in the agricultural economy of north-west of Iran, especially Azerbaijan provinces. Due to arid and semi-arid conditions of our country, large areas of cultivated land are affected by salinity. Almond trees have good tolerance to water stress, and are suitable for such conditions. However, sensitivity of almond trees to salinity calls for special attention to the integrated effect of salinity and water stress on its water relations. This trial aimed to evaluate the combined effect of salinity and drought stress on water uptake, vegetative growth and leaf water potential (LWP) of almond trees.

Materials and Methods: The experiment was conducted at the Sahand Horticultural Station located in East Azerbaijan, Iran (37° 55' 43" N, 45° 57' 29" E) during 2014 growing season at 7 years old almond (cv Azar) trees grafted on GF677 rootstock based on randomized complete block design with three replications. Treatments comprised three irrigation salinity levels viz. 2 (T₁), 4 (T₂), and 5 (T₃) dSm⁻¹. The soil of the experiment site was coarse loamy mixed calcareous mesic typic xerofluvents. Undisturbed and composite disturbed soil samples were taken from three diagnostic layers. Twelve undisturbed core samples were taken from each layer. Composite disturbed soil samples were air-dried and ground to pass a 2-mm sieve. All the appropriate soil chemical (Organic matter and Calcium carbonate content, pH and EC, Total N, Available P and K) and physical (Particle size distribution, natural bulk density) properties were measured by the routine laboratory methods. Water contents at field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP) were determined by the pressure plate apparatus. After irrigation of all trees with 200 mm water enough for saturating of soil in rooting depth on 20th of May, the measurements began. The volumetric soil water content (SWC) was measured at three locations around each tree 30 cm apart from tree trunk at three depths (0-20, 0-40 and 0-70) using a TDR probe. During the experiment (20th May till 17th October), air temperature and relative humidity were obtained from the meteorological site located in the station. The midday leaf water potential (LWP) was measured from the leaves located in north part of trees close to stem between 12 and 14 o'clock.

Result and Discussion: Results indicated that salinity has significant effect ($p < 0.01$) on LWP, vegetative growth and remaining water content. The difference between T₃ and other treatments was not significant in SWC more than 8%. Therefore, it is obvious that, at SWC less than 8%, reduction in soil water potential due to increased osmotic pressure of soil solution in T₃ have caused that, trees unable to uptake more water. Therefore, at SWCs less than 8%, remaining water content in T₃ was significantly more than other treatments. Seasonal averages of annual vegetative growth and increase in trunk diameter in unstressed tree was 104 cm and 53%, respectively and decreased to 62 cm and 18% in T₃ respectively. Seasonal averages of LWP for treatment T₁ to T₃ were -1.78, -1.93 and -2.16 MPa respectively. Whereas unstressed trees had highest LWP (-1.53 MPa). Highest and lowest LWP for treatment T₁ to T₃ were -1.20, -1.32 and -1.35 and -2.38, -2.47 and -2.73 MPa respectively. LWP of unstressed trees was between -1.1 and -2.0 MPa. There was significant negative correlation between LWP and VPD. The slope of regression equation increased as stress severity increased. This means that, for a given VPD, leaf water potential was declined with increase in salinity of irrigation water. LWP is affected by two stresses namely evaporative demand of the atmosphere (atmospheric-induced stress) and unavailability of water due to the reduction of soil water content (soil-induced stress). In well-watered plants, LWP is affected only by atmospheric factors (VPD) and therefore the relationship between LWP and SWC should not be significant as it took place in our experiment for unstressed trees. But there was a significant relationship between LWP and SWC in stressed treatments (T₁ to T₃) because of soil-induced stress. Threshold value of LWP for initiating stress was obtained to be -1.78 MPa. Based on the threshold LWP, values of SWC for initiating stress for treatment T₁ to T₃ can be 10.1, 11.8 and 13.5%, respectively.

Conclusion: Based on our findings, the midday leaf water potential is a suitable criterion for determining water status of almond trees in the studied area and can be used as an indicator for tree water and salinity

1- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

(* - Corresponding Author Email: a_o_milani@yahoo.com)

2- Ph.D Student, Seed and Plant Improvement Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

stresses. Irrigation water salinity had significant effect on LWP. Due to relationship between LWP and soil water content (SWC), this indicator can be used for determination of soil available water and non-limiting water range of almond trees. Besides LWP, salinity also had a significant effect on vegetative growth and extractable soil water content. At high water content, the effect of salinity on extractable water content was not significant. But with decreasing water content, the effect of salinity increased so that, at SWC less than about 8%, the remaining SWC in saline condition was significantly higher than non-saline condition (extractable water in the saline condition was less than non-saline condition). Salinity also reduced soil available water range of almond trees., LWP reached to its threshold value (-1.78 MPa) at SWC equal to 10 and 13.5% in non-saline and saline condition respectively.

Keywords: Soil water content, Stem water potential, Trunk diameter, Vapor pressure deficit