

روابط آبی درختان مرکبات در پاره‌خشکیدگی ناحیه‌ی ریشه و کاربرد هم‌زمان آن با سایه‌اندازی

هرمز عبادی^۱، محمود رائینی سرجاز^{۲*}، محمدعلی غلامی سفیدکوهی^۳

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و مربی مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده

مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر

۲. استاد، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۲۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۱/۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸)

چکیده

تغییر اقلیم و افزایش روزافزون مصرف آب همراه با کمبود آن سبب افت تولیدات گیاهی می‌شود. از این‌رو گزینش مدیریت‌های کارآمد مصرف آب هم‌چون کم‌آبیاری و سایه‌اندازی روی گیاه می‌تواند تا اندازه‌ای در بهبود این کاستی‌ها کمک کند. در کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ناحیه‌ی ریشه (PRD) بخشی از ریشه‌ها آبیاری و بخشی دیگر خشک نگهداشته می‌شوند. این آزمایش با پنج تیمار شامل آبیاری کامل (FI) و پاره‌خشکیدگی ناحیه‌ی ریشه به میزان ۵۰ (PRD50) و ۷۵ (PRD50) درصد آبیاری کامل در دو حالت بی و با سایه‌اندازی (SHPRD50 و SHPRD75) روی درختان مرکبات در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری (رامسر) انجام شد. آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش توکی برای رسانایی روزنه، گنجایش نسبی آب برگ، پتانسیل آب ساقه و دمای برگ در تیمارهای مختلف و نیز تجزیه رگرسیون روابط بین هریک از آن‌ها و تفاوت فشار بخار برگ به هوا انجام شد. نتایج آن‌ها نشان داد که رسانایی روزنه و گنجایش نسبی آب در آبیاری کامل و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه ۷۵ درصد (با و بی‌سایه‌اندازی) بیش‌تر از دو تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد بود. همچنین پتانسیل آب ساقه پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد با سایه‌اندازی، بیش از تیمار پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد بود. دمای برگ در برخی از اندازه‌گیری‌های پیش از آبیاری در تیمارهای تنش آبی ۵۰ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. کم‌آبیاری عملکرد در تیمار پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد را کاهش ولی مواد جامد محلول در تیمارهای پاره‌خشکیدگی ۵۰ و ۷۵ درصد را افزایش معنی‌دار داد. سایه‌اندازی عملکرد و اندازه میوه را افزایش داد. البته تنها از نظر قطر میوه تفاوت تیمارهای پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد با سایه‌اندازی و پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری پاره‌خشکیدگی ریشه، سایه‌اندازی، کم‌آبیاری

مقدمه

مرکبات در میان تولیدات باغی کشور دارای رتبه نخست است که نزدیک به نیمی از آن در استان مازندران تولید می‌شود (Iran's Ministry of Agriculture-Jahad, 2014). در پهنه گسترده‌ای از ایران (۸۳ درصد) میانگین بارش سالانه نزدیک به ۱۸۸ میلی‌متر است و تنها ۱۷ درصد از این پهنه، شامل استان‌های شمالی، دارای میانگین بارش بیش از ۵۷۰ میلی‌متر است (Masoudian, 2009). پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش، پرهزینه و سختی ذخیره، تأمین و انتقال آب برای بسیاری از باغداران، روند کاهش بارندگی سالانه (Modarres and Sarhadi, 2009) و روند افزایشی دمای هوا (Azarakhshi et al., 2013) سبب شده است تا پژوهشگران و کاربران بخش

کشاورزی در پی یافتن راهکارهای نوینی برای افزایش کارایی مصرف آب و بهره‌وری آب باشند.

پاره‌خشکیدگی ناحیه‌ی ریشه^۱ یکی از روش‌های نوین کم‌آبیاری است که در هر بار آبیاری نیمی از ریشه آبیاری و نیمی دیگر خشک نگهداشته می‌شود. این راهبرد کمک می‌کند تا گیاه با تنظیم رفتار روزنه و رشد رویشی به‌طور هم‌زمان وضعیت آب گیاه را در حداکثر پتانسیل آبی حفظ کند (Kriedeman and Goodwin, 2003). تنظیم شار تابش برخوردی به سایبان گیاهی نیز می‌تواند در کاهش شار گرمای نهان تبخیر و تلفات آب برگ نقش داشته باشد. از این‌رو، ایجاد سایه روی تاج درخت، با استفاده از سایبان‌های توری‌مانند، افزون بر کاهش تابش برخوردی به تاج گیاه می‌تواند افت دمای برگ را در پی داشته باشد و با کاهش آشفستگی جریان هوا و

1. Partial Rootzone Drying (PRD)

* نویسنده مسئول : raeini@yahoo.com

تبخیری هوا (ETo)، تابش خورشیدی، میانگین روزانه دما و کمبود فشار بخار هوا) به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۷۹، ۰/۶۶، ۰/۶ و ۰/۴۳ توسط (Ortuno *et al.*, 2006) نیز گزارش شد. به‌طور کلی رسانایی روزنه، پتانسیل آب برگ و تعرق با افزایش تقاضای تبخیری (کمبود فشار بخار هوا) کاهش می‌یابند (Kriedemann and Barrs, 1981; Cohen and Cohen, 1983) ولی روابط بین آن‌ها به‌اندازه متغیرهای تقاضای تبخیری وابسته است. برای نمونه، رسانایی روزنه‌ای درختان لیمو در سراسر بازه LAVPD (کمتر و بیشتر از ۲/۷ کیلوپاسکال)، اما پتانسیل آب برگ تنها در بازه کم‌تر از ۲/۷ کیلوپاسکال، با LAVPD رابطه معکوس داشت. همچنین رابطه بین رسانایی روزنه و پتانسیل آب برگ بستگی به کمبود فشار بخار (VPD) هوا داشت و در زمان بالا بودن VPD هیچ رابطه‌ای بین پتانسیل آب برگ و رسانایی روزنه وجود نداشت و هر زمان که VPD در بازه متوسط بود، تغییرات رسانایی روزنه همسو با پتانسیل آب برگ بود (Pérez-Pérez *et al.*, 2012).

کاهش پتانسیل آب ساقه و رسانایی روزنه در درختان کم‌آب‌باری شده نارنگی کلمانتین و نیز افزایش دمای تاج این درختان و درختان پرتقال ناول در اثر کم‌آب‌باری گزارش شده‌است (Ballester Lurbe, 2013). کاهش رسانایی روزنه در اثر PRD در انگور (Stoll *et al.*, 2000) و مرکبات (Romero-Conde *et al.*, 2013; Hutton and Loveys, 2011 and Pérez-Pérez *et al.*, 2012) گزارش شده است. رسانایی روزنه برگ درختان زیتون در بعدازظهر حتی در روشی از PRD با مقدار آبیاری ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق کم‌تر از درختان آبیاری کامل بود (Wahbi *et al.*, 2005) ولی این نتیجه برای PRD مرکبات با مقدار آبیاری ۱۰۰ درصد تبخیر تعرق (Kusakabe, 2011) و مقادیر دیگر (Shahabian *et al.*, 2011; Contreras-Barragan *et al.*, 2013) و نیز در اندازه‌گیری‌های بامداد و نیمروز درختان زیتون (Wahbi *et al.*, 2005) مشاهده نشد. پتانسیل آب ساقه مرکبات در PRD به میزان ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق کمتر از آبیاری کامل بود (Kusakabe, 2011) ولی برای پتانسیل آب برگ زیتون چنین نبود (Wahbi *et al.*, 2005). پتانسیل آب برگ در پاره خشکیدگی ناحیه ریشه با ۵۰ درصد از نیاز آبی برای درختان نارنگی (Ortuno *et al.*, 2004) و لیمو در نیمی از روزهای اندازه‌گیری (Pérez-Pérez *et al.*, 2012)، کمتر از آبیاری کامل و برای پرتقال (Hutton and Loveys, 2011)، زیتون (Wahbi *et al.*, 2005) و گوجه‌فرنگی (Tahi, 2007) بدون تفاوت معنی‌دار با آبیاری کامل گزارش شد. یافته‌های آزمایشی روی گنجایش نسبی آب برگ زیتون (Wahbi *et al.*,

ایجاد یک لایه مرزی آرام ضخیم از تقاضای تبخیری محیط بکاهد (Allen, 1975). یافته‌های پژوهشی در زمینه پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه در مرکبات بیانگر افزایش کارایی مصرف آب و یا کاهش مصرف آب (Shahabian *et al.*, 2011; Hutton and Loveys, 2011 and Romero-Conde *et al.*, 2013) است. همچنین افزایش کارایی مصرف آب در اثر کاهش تابش با ایجاد سایه روی درختان مرکبات در برخی از گزارش‌ها (Jifon and Syvertsen, 2003; Nicolas *et al.*, 2008) به تأیید رسیده است.

به‌طور کلی پاسخ روزنه به تغییرات محیطی کاملاً پیچیده است و چندین عامل محیطی و گیاهی در تنظیم روزنه برگ اثرگذار هستند (Angelocci *et al.*, 2004). هم‌سویی تغییرات پتانسیل آب برگ و رسانایی روزنه در مرکبات (Sdoodee and Somjun, 2008; Cohen and Cohen, 1983; Gomes *et al.*, 2004; Ortuno *et al.*, 2004) و زیتون (Wahbi *et al.*, 2005) و نیز هم‌سویی تغییرات پتانسیل آب برگ و گنجایش نسبی آب برگ (RWC) گزارش شده است (Wahbi *et al.*, 2005; Tahi *et al.*, 2007). با توجه به معادله تراز انرژی به‌خوبی روشن است که دمای برگ با تبخیر از برگ‌ها تغییر می‌کند و لذا تابعی از رسانایی روزنه است (Jones, 1999). بر پایه گزارش Kriedemann and Barrs (1981) دمای برگ در بازه ۲۰ تا ۴۱ درجه سانتی‌گراد اثر کم یا هیچ اثری بر رسانایی روزنه مرکبات ندارد. بنابراین، می‌توان گفت تأثیر مستقیم دما بر رسانایی برگ کم‌تر آشکار است، زیرا رسانایی برگ به‌شدت به شیب فشار بخار وابسته است و شیب فشار بخار به اختلاف دمای برگ و هوا وابسته است (Angelocci *et al.*, 2004). با این وجود، یافته‌های آزمایشی روی مرکبات نشان داد هنگامی که دمای برگ و تفاوت فشار بخار برگ به هوا (LAVPD) به ترتیب به بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و ۲/۵ کیلوپاسکال افزایش یابد، رسانایی روزنه و فتوسنتز کم می‌شوند (Khairi and Hall, 1976). تفاوت فشار بخار برگ به هوا یکی از متغیرهای تقاضای تبخیری هوا و وابسته به نمایه‌های گیاه محسوب می‌شود که بر باز و بستن شدن روزنه مؤثر است. پاسخ مستقیم روزنه به تغییرات تقاضای تبخیری بیش از تغییرات رطوبت نسبی است (Monteith, 1997; Maroco *et al.*, 1995). رابطه خطی معکوسی با ضریب تبیین ۰/۳۸ بین LAVPD و میانگین رسانایی برگ مرکبات در ساعت‌های ۱۰ تا ۱۲ برقرار است (Cohen and Cohen, 1983). این رابطه بین پتانسیل آب ساق لیمو و متغیرهای نیاز

داشت، ولی دمای نیمروز برگ را ۱/۶ و ۲/۷ درجه سانتی‌گراد کاست (Cohen et al., 1997). در پژوهش دیگری نیز سایه‌اندازی روی درختان مرکبات دمای برگ‌های رو به خورشید در نیمروز را یک تا چهار درجه سانتی‌گراد کاست (Jifon and Syvertsen, 2003). سایه‌اندازی همراه با آبیاری کامل تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و کیفیت آب میوه درختان مرکبات ندارد (Cohen et al., 2005) ولی سایه‌اندازی همراه با کم‌آبیاری سبب افزایش اندازه میوه می‌شود (Abouatallah et al., 2012).

یافته‌ها در زمینه پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه و راهکارهای کاهش تابش با ایجاد سایه روی مرکبات محدود بوده و در زمینه کاربرد همزمان آن‌ها گزارش جامعی مشاهده نشده است. بنابراین، آزمایش مزرعه‌ای با هدف تعیین اثرات کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه و کاربرد هم‌زمان آن‌ها با ایجاد سایه روی برخی روابط آبی و عملکرد کمی و کیفی درختان مرکبات اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در باغ آزمایشی پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری در رامسر به مدت دو سال پیاپی (سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) انجام شد. محل انجام آزمایش دارای مختصات جغرافیایی ۳۹°۵۰' طول شرقی و ۳۶°۵۴' عرض شمالی و ارتفاع شش متر از سطح دریا است. باغ آزمایشی دارای بافت خاک لوم شنی با خصوصیات مندرج در جدول (۱) و درختان پرتقال والنسیا (*Citrus sinensis*) روی پایه نارنج (*Citrus aurantium*) با فاصله کاشت ۵×۵ متر در پهنه‌ای به مساحت ۷۰۰ متر مربع است. میانگین ۲۰ ساله (۸۹-۱۳۶۹) بارندگی و تبخیر سالانه در ایستگاه همدیدی هواشناسی رامسر به ترتیب ۱۱۶۶ و ۹۶۷ میلی‌متر و میانگین دمای هوا در بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۱۶/۸، ۲۵/۳، ۱۵/۶ و ۸/۴ درجه سانتی‌گراد است.

و گوجه‌فرنگی (Tahi, 2007) بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار بین PRD و آبیاری کامل است. نبود تفاوت معنی‌دار بین PRD و آبیاری کامل از نظر دمای برگ و LAVPD نیز براساس آزمایشی با هشت بار (روز) اندازه‌گیری روی لیمو تأکید شده است (Pérez-Pérez et al., 2012). در این آزمایش، افزایش LAVPD سبب کاهش رسانایی روزنه و پتانسیل آب برگ مرکبات شد و شیب تغییرات رسانایی روزنه نسبت به LAVPD در PRD کمتر از آبیاری کامل بود (Pérez-Pérez et al., 2012). کم‌آبیاری در یکی از دو رقم زیتون مورد آزمایش سبب افزایش معنی‌دار اختلاف دمای برگ و هوا (Tc-Ta) شد (Camoglu, 2013). همچنین تیمار بدون آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، دمای برگ را در ارقام دیگر زیتون به میزان ۲ تا ۲/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش داد (Akkuzu et al., 2010; Jimenez-Berni et al., 2007). عملکرد، اندازه، وزن و کیفیت آب میوه مرکبات در اثر کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه کم نمی‌شود ولی این پاسخ در همه شرایط و سال‌های آزمایش یکسان نیست (Hutton and Loveys, 2011; Kirida et al., 2007; Perez-Pérez et al., 2012; Shahabian et al., 2011; Lovatt et al., 2014; Miri et al., 2011).

کاهش تابش خالص و ایجاد سایه سبب کاهش تفاوت فشار بخار بین برگ و هوا (Jifon and Syvertsen, 2003) و افزایش رسانایی روزنه‌ای یا رسانایی برگ می‌شود (Cohen et al., 1997; Jifon and Syvertsen, 2003; Raveh et al., 2003). در آزمایش گلخانه‌ای (ولی تأثیری بر رسانایی برگ‌های در سایه داخل تاج) ندارد (Cohen et al., 1997). برخلاف این یافته‌ها، در آزمایش دیگری روی نهال‌های دوساله لیمو، میانگین روزانه رسانایی سایبان گیاهی و فتوسنتز متأثر از سایبان نبود، ولی تعرق روزانه نهال‌های زیر سایبان کم شد که سبب افزایش کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار محیط باز شد (Nicolas et al., 2008). کاهش تابش خالص نیمروز تا ۴۷ و ۷۳ درصد (با دو تراکم بافت سایبان) تأثیر اندکی بر تعرق و پتانسیل آب

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق (cm)	بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	ماده آلی (%)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	رطوبت حجمی (%)
							ظرفیت زراعی / نقطه پژمردگی دائم
۰-۳۰	لوم شنی	۶۰/۴	۲۴	۱۵/۶	۳/۱۶	۱/۵۸	۲۳/۶ / ۱۲/۷
۳۰-۶۰	لوم شنی	۵۴/۳	۲۵/۶	۲۰/۱	۲/۹۶	۱/۵۱	۲۵/۱ / ۱۳/۸

پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه به میزان ۵۰ درصد آبیاری کامل (PRD50)، ۴ کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه به میزان ۷۵ درصد آبیاری کامل همراه با ایجاد سایه (SHPRD75) و ۵ کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه به میزان

پنج تیمار این آزمایش، به شرح زیر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد: (۱) آبیاری کامل (FI)، (۲) کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه به میزان ۷۵ درصد آبیاری کامل (PRD75)، (۳) کم‌آبیاری به روش

(1999)، می‌رسید. دیگر عملیات داشت همچون سم‌پاشی زمستانه و تابستانه، کوددهی و مبارزه با علف‌های هرز به صورت یکسان برای همه تیمارها انجام شد.

اندازه‌گیری پتانسیل آب گیاه، گنجایش نسبی آب (RWC)، رسانایی روزنه‌ای و دمای برگ سه درخت در هر تیمار، سه بار (سه دور آبیاری) در هر سال (جمعاً شش بار در دو سال) در میانه (ساعت ۱۱ تا ۱۵) روزهای پیش و پس از آبیاری هر دور آبیاری انجام شد. برای اندازه‌گیری پتانسیل آب گیاه دو تا چهار برگ نزدیک تنه در قسمت سایه و جهت‌های مختلف تاج برگزیده و طبق روش (Turner (1981 و Ortuno et al. (2006، با پاکت پلاستیکی مشکی کوچک با روکش ورق نازک آلومینیمی پوشیده می‌شد. یک تا دو ساعت بعد، برگ‌ها از درخت جدا و در مدت کمتر از ۲۰ ثانیه به محفظه دستگاه اتاقت فشار^۲ (شکل ۲) منتقل و پتانسیل آب گیاه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری RWC همچون روش (Wahbi et al. (2005) چهار برگ از جهت‌های مختلف هر درخت جدا و با پوشش پاکت پلاستیکی و استقرار آن در یک محفظه سرد به آزمایشگاه منتقل می‌شد. در آزمایشگاه پس از اندازه‌گیری وزن تر و استقرار آن‌ها به مدت ۲۴ ساعات در یک محفظه تاریک وزن آماس یافته (پلیده) اندازه‌گیری می‌شد. سپس برای رسیدن به وزن خشک، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و سرانجام گنجایش نسبی آب از رابطه (۲) تعیین شد:

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \quad (\text{رابطه } ۲)$$

که در آن FW، TW و DW به ترتیب وزن تر، پلیده و خشک برگ (گرم) است. اندازه‌گیری رسانایی روزنه‌ای چهار تا هشت برگ و دمای دست‌کم هشت برگ بالغ از بخش بیرونی و جهت‌های جغرافیایی مختلف تاج در هر درخت، به ترتیب با استفاده از دستگاه پرومتر^۳ و دماسنج مادرن قرمز دستی انجام شد. تفاوت فشار بخار برگ به هوا (LAVPD) با استفاده از فشار بخار اشباع در دمای برگ و فشار بخار هوای پیرامون محاسبه شد (Jones, 2014). داده‌های رطوبت نسبی و دمای هوا در نزدیکی محل آزمایش اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد کمی و کیفی میوه، درختان آزمایشی در اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ برداشت شد و برای هر درخت وزن کل میوه‌ها، قطر

۵۰ درصد آبیاری کامل همراه با ایجاد سایه (SHPRD50). در دو تیمار پیشین (تیمارهای ۴ و ۵) برای ایجاد سایه روی درختان از سایبان‌های سبز رنگ با تراکم بافت اسمی ۵۰ درصد استفاده شد که به صورت مسطح و افقی درست در بالای تاج درختان نصب شد. این سایبان‌ها در ماه‌های خرداد تا مهر در هنگام ظهر خورشیدی دست‌کم ۸۰ درصد سطح سایه‌انداز درختان را می‌پوشاندند. برای نصب آن‌ها روی هر درخت از چهار پایه فلزی (لوله‌های به قطر یک اینچ) به ارتفاع چهار متر که حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر آن در خاک تثبیت شد، استفاده شد (شکل ۱). همچنین، برای تثبیت و نصب بهتر سایبان، قسمت بالایی چهار پایه با میله‌های مفتولی به قطر ۱۰ میلی‌متر به هم متصل و قسمت پایینی آن‌ها با پایه‌های فلزی کمکی به ارتفاع حدود ۱/۵ متر مهار شدند.

مقدار آب در تیمار آبیاری کامل (IFI) براساس جبران ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک و با رابطه‌ی زیر (۱) تعیین شد.

$$I_{FI} = (FC - \theta_{MAD}) \times P_W \times D_r \quad (\text{رابطه } ۱)$$

در این رابطه FC و θ_{MAD} رطوبت حجمی به ترتیب در نقطه ظرفیت زراعی و در زمان پیش از آبیاری (mm/m)، P_W نسبت مساحت خیس شده به مساحت سایه‌انداز تاج درخت و D_r عمق موثر ریشه درختان (m) است. رطوبت در زمان پیش از آبیاری (θ_{MAD}) بر اساس تخلیه مجاز مدیریتی ۰/۳ تا ۰/۳۵ برنامه‌ریزی شد. در این زمان میانگین رطوبت در عمق ۶۰ سانتی‌متری به روش انعکاس سنجی زمانی و با یک دستگاه مینی‌تریس^۱ تعیین می‌شد. مقدار آب برای دیگر تیمارها به شرح بالا ۷۵ و ۵۰ درصد از مقدار آب تیمار آبیاری کامل بود. تأمین آب موردنیاز درختان بوسیله‌ی آبیاری قطره‌ای انجام شد. برای تیمار آبیاری کامل و دو تیمار ۵۰ درصد به ترتیب شش و سه قطره‌چکان چهار لیتر بر ساعت و برای دو تیمار ۷۵ درصد سه قطره‌چکان چهار لیتر بر ساعت و سه قطره‌چکان دو لیتر بر ساعت استفاده شد. به منظور پایش حجم آب مصرفی در هر بار آبیاری، برای هر تیمار، جداگانه یک لوله توزیع‌کننده (منیفلد) و جریان‌سنج حجمی (کنتور) نصب شد. تغییر سمت آبیاری ریشه در تیمارهای PRD در هر دو بار آبیاری (حدود ۱۰ تا ۱۴ روز در ماه‌هایی که بارش رخ نداد) انجام می‌شد. در این زمان پتانسیل آب گیاه دست‌کم به آستانه تنش آبی متوسط برای مرکبات، Gonzalez-Altazano and Castel, (۱/۳ تا ۱/۵- مگاپاسکال)

2. Scholander pressure bomb, Soil Moisture Equipment Corp., USA
3. Leaf Porometer SC-1, Decagon Devices, Inc., USA

1. Mini-Trase 6050X3K1, Soil Moisture Equipment Corp., USA

پتانسیل آب گیاه، RWC، دمای برگ و عملکرد کمی و کیفی میوه) از ویرایش ۹/۱ نرم‌افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. برای آنالیز رگرسیون رابطه بین کمبود فشار بخار هوا و دمای برگ و نیز روابط بین LAVPD و دیگر متغیرها از ویرایش ۲۲ نرم‌افزار SPSS استفاده شد.



شکل ۲. اندازه‌گیری پتانسیل آب گیاه بوسیله دستگاه اتافک فشار



شکل ۱. نحوه سایه‌اندازی روی درخت مرکبات

(جدول‌های ۳ و ۴) که همسو با نتایج Pérez-Pérez et al. (2012) است. شرح بیشتر نتایج مربوط به دو شرایط پس و پیش از آبیاری به‌طور جداگانه در ۲ ارائه شده است.

الف) پس از آبیاری: در شرایط پس از آبیاری، بیش‌ترین میانگین رسانایی روزنه در تیمارهای آبیاری کامل و پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد با سایه‌اندازی (SHPRD75) و کم‌ترین آن در تیمارهای با و بی‌سایه‌اندازی پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد (SHPRD50 و PRD50) مشاهده شد (جدول ۲). البته این تفاوت‌ها در همه دوره‌های اندازه‌گیری معنی‌دار نبوده، بلکه تیمار SHPRD75 در چهار دور و تیمارهای آبیاری کامل و PRD75 در یک دور با دیگر تیمارها به‌ویژه تیمارهای پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد تفاوت معنی‌دار داشتند. با جای‌گذاری مقادیر ۱/۱ تا ۶/۴ کیلوپاسکال (بازه اندازه‌گیری شده) LAVPD در روابط رگرسیونی (جدول ۳)، میانگین رسانایی روزنه تیمارهای آبیاری کامل، PRD75، SHPRD50، SHPRD75 و SHPRD50 به‌ترتیب حدود ۱۲۴، ۱۲۱، ۱۱۲، ۱۵۶ و ۱۲۴ میلی‌مول بر مترمربع ثانیه به دست آمد. براساس این روابط، رسانایی روزنه‌ای تیمار SHPRD75 در سراسر بازه اندازه‌گیری یادشده با اختلاف ۲۵ تا ۶۲ و ۲۹ تا ۳۵ میلی‌مول بر مترمربع ثانیه به‌ترتیب بیش از PRD50 و SHPRD50 است. همچنین شیب رابطه آبیاری کامل بیش از PRD75 و شیب هردوی این تیمارها بیش از دیگر تیمارهاست (جدول ۳).

نتایج و بحث

یافته‌های مقایسه میانگین‌های اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر چهار متغیر رسانایی روزنه، پتانسیل آب ساقه، گنجایش نسبی آب و دمای برگ در جدول‌های (۲، ۵، ۶ و ۷) ارائه شده است. همچنین، رابطه بین کمبود فشار بخار و دمای برگ و رابطه تفاوت فشار بخار برگ نسبت به هوا (LAVPD) با سه متغیر دیگر یاد شده در تیمارهای مختلف در جدول‌های (۳ و ۴) مشاهده می‌شود. این یافته‌ها حاصل سه اندازه‌گیری در هر سال در ظهر هنگام برای پیش و پس از آبیاری است.

رسانایی روزنه

اثر تیمارهای این آزمایش بر رسانایی روزنه‌ای برگ در بیشتر (دو دور در هر سال) دوره‌های اندازه‌گیری پس از آبیاری معنی‌دار ($p < 0.05$) یا بسیار معنی‌دار ($p < 0.01$) بود. این اثر در شرایط پیش از آبیاری بیشتر مشهود بود زیرا جز در دور اول سال ۱۳۹۳، در بقیه اندازه‌گیری‌ها معنی‌دار شده بود (جدول ۲). آنالیز رگرسیون میان رسانایی روزنه و تفاوت فشار بخار برگ نسبت به هوا (LAVPD) نشان داد که رابطه خطی معکوس معنی‌داری با ضریب تبیین ۳۷ تا ۷۰ درصد در تیمارهای مختلف (جدول‌های ۳ و ۴) وجود دارد. کاهش رسانایی روزنه یا بسته شدن روزنه هنگام افزایش کمبود فشار بخار برگ به هوا بیانگر سازگاری تکاملی گونه‌های مرکبات به حفظ آب است (Syvertsen and Lloyd, 1994). در هر دو شرایط پیش و پس از آبیاری شیب تغییرات رسانایی روزنه نسبت به LAVPD در آبیاری کامل بیش از دیگر تیمارها است

جدول ۲. میانگین رسانایی روزنه برگ (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه، SE±) در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و پاره خشکیدگی ناحیه ریشه بی سایه انداز (PRD50:PRD75) و با سایه انداز (SHPRD50، SHPRD75) در سه دور آبیاری برای هر سال

سال	تیمار	دور آبیاری اول		دور آبیاری دوم		دور آبیاری سوم	
		پیش از آبیاری	پس از آبیاری	پیش از آبیاری	پس از آبیاری	پیش از آبیاری	پس از آبیاری
۱۳۹۳	FI	۷۱/۷±۱۳/۱	۱۱۱/۶±۲۴/۵ ^{ab}	۶۳/۱±۴/۷ ^b	۷۱/۴±۶/۶ ^b	۱۴۸/۱±۱۴/۳ ^a	۱۵۳/۶±۲۲/۶
	PRD75	۵۹/۵±۱۴/۷	۹۲/۳±۶ ^{ab}	۷۰/۱±۸/۶ ^b	۹۲/۷±۱/۷ ^b	۱۱۴/۹±۳۵/۹ ^{ab}	۱۲۴/۴±۱۷/۱
	PRD50	۴۵±۴/۷	۶۲/۵±۴/۲ ^b	۵۷/۳±۱/۴ ^b	۷۰/۳±۳ ^b	۵۴/۷±۱/۳ ^b	۸۹/۱±۷/۵
	SHPRD75	۸۱/۴±۱۳/۲	۱۴۰/۹±۳/۱ ^a	۱۳۳/۹±۶/۶ ^a	۱۵۴±۴/۴ ^a	۱۳۳/۲±۲۲/۶ ^{ab}	۱۵۶±۱۰/۷
	SHPRD50	۴۵±۱۶/۱	۶۳/۸±۱۸/۸ ^b	۵۸/۱±۵/۸ ^b	۹۱/۷±۹/۹ ^b	۷۱/۶±۱۰/۴ ^{ab}	۱۱۲/۵±۱۲/۵
	تفاوت معنی داری	ns	*	**	**	*	ns
۱۳۹۴	FI	۱۴۴/۵±۱۰/۵ ^a	۱۸۰/۹±۶/۹	۱۸۰/۱±۱۵/۳ ^a	۲۱۶/۲±۱۲/۳ ^a	۲۰۶/۶±۳ ^a	۲۸۰/۹±۳ ^a
	PRD75	۱۱۸/۹±۸/۷ ^{ab}	۱۵۸/۴±۱۴/۷	۱۲۲/۱±۹/۴ ^{bc}	۱۲۷/۸±۱۸/۳ ^b	۱۲۲/۱±۱ ^{bc}	۲۳۶±۳ ^a
	PRD50	۵۷/۳±۷/۴ ^c	۱۲۳/۲±۱۷	۵۰/۵±۷/۵ ^d	۱۰۳/۵±۴/۲ ^b	۷۱/۹±۳ ^c	۱۷۱/۵±۵ ^{bc}
	SHPRD75	۱۵۲/۴±۶/۴ ^a	۱۶۶/۴±۱۲/۷	۱۳۷±۱۲/۷ ^{ab}	۱۹۹/۶±۱۳/۱ ^a	۱۵۵/۸±۳ ^{ab}	۲۲۵/۸±۳ ^{ab}
	SHPRD50	۹۰±۷/۳ ^{bc}	۱۴۵/۱±۵	۸۷/۹±۱۳/۲ ^{dc}	۱۳۶/۳±۲۴/۱ ^b	۱۰۰/۵±۳ ^{bc}	۱۶۲/۵±۳ ^c
	تفاوت معنی داری	**	ns	**	**	**	**

میانگین های دارای حروف مشابه تفاوت معنی دار باهم ندارند.

ns، * و ** به ترتیب بدون تفاوت معنی دار و دارای تفاوت معنی دار در سطح پنج (p<۰/۰۵) و یک (p<۰/۰۱) درصد بین تیمارها.

جدول ۳. روابط رگرسیونی^۱ بین تفاوت فشار بخار برگ نسبت به هوا (kPa، متغیر مستقل x) و رسانایی روزنه، پتانسیل آب ساقه و گنجایش نسبی آب و رابطه کمبود فشار بخار هوا (kPa، vpd) با دمای برگ در شرایط پس از آبیاری تیمارهای آبیاری کامل (FI) و پاره خشکیدگی ناحیه ریشه ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل، با و بدون سایه اندازی (به ترتیب PRD75، PRD50، SHPRD75 و SHPRD50).

تیمارها	رسانایی روزنه (mmol/m ² .s)	پتانسیل آب گیاه (bar)	گنجایش نسبی آب (%)	دمای برگ (°C)
FI	gs = -44x + 296.6 r ² =68.2**	swp = -1.49 x-8.417 r ² =37.4**	rcw = -3.211x + 86.73 r ² = 37.0**	tl = 26.81vpd ^{0.279} r ² = 62.2**
PRD75	gs = -34.89x + 257.9 r ² =56.7**	swp=-1.788x-7.269 r ² =41.4**	rcw = -2.631x + 85.36 r ² = 22.2*	tl = 26.63vpd ^{0.284} r ² = 72.4**
PRD50	gs = -24.23x + 206.7 r ² = 37**	swp=-1.615x-9.942 r ² =37.3**	rcw = -1.592x + 76.86 r ² = 21.8*	tl = 26.52vpd ^{0.300} r ² = 73.9**
SHPRD75	gs = -17.41x + 224.5 r ² =40.5**	swp=-1.283x-8.867 r ² =29.7*	rcw = -1.856x + 84.87 r ² = 30.5*	tl = 25.81vpd ^{0.318} r ² = 78.5**
SHPRD50	gs = -18.67x + 197.2 r ² = 37.8**	swp=-1.417x-10.71 r ² =42.5**	ns	tl = 25.71vpd ^{0.328} r ² = 83.4**

۱ روابط با استفاده از ۱۸ جفت داده به دست آمدند.

ns، * و ** به ترتیب نامعنی داری و معنی داری مدل در سطح پنج و یک درصد

جدول ۴. روابط رگرسیونی^۱ بین تفاوت فشار بخار برگ نسبت به هوا (kPa، متغیر مستقل x) و رسانایی روزنه، پتانسیل آب ساقه و گنجایش نسبی آب و رابطه کمبود فشار بخار هوا (kPa، vpd) با دمای برگ در شرایط پیش از آبیاری در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و پاره خشکیدگی ناحیه ریشه ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل، با و بدون سایه اندازی (به ترتیب PRD75، PRD50، SHPRD75 و SHPRD50).

تیمارها	رسانایی روزنه (mmol/m ² .s)	پتانسیل آب گیاه (bar)	گنجایش نسبی آب (%)	دمای برگ (°C)
FI	gs = -24.61x + 263.6 r ² = 61.9**	swp = -4.174x + 1.313 r ² = 60.7**	rcw = -3.500x + 83.03 r ² = 38.8**	tl = 27.77vpd ^{0.248} r ² = 85.7**
PRD75	gs = -14.79x + 188.9 r ² =62.8**	swp = -1.575x - 12.85 r ² = 35.2**	rcw = -3.223x + 84.06 r ² = 26.2*	tl = 27.67vpd ^{0.249} r ² = 84.0**
PRD50	gs = -5.420x + 94.33 r ² = 38.2**	swp = -3.125x - 3.819 r ² = 62.1**	rcw = -2.576x + 76.87 r ² = 54.6**	tl = 28.173vpd ^{0.239} r ² = 88.9**
SHPRD75	gs = -12.78x + 197.4 r ² = 46.8**	swp = -3.866x + 0.475 r ² = 67.3**	rcw = -2.204x + 81.42 r ² = 24.6*	tl = 27.619vpd ^{0.241} r ² = 90.7**
SHPRD50	gs = -12.22x + 146.6 r ² = 70.4**	swp = -3.505x - 4.085 r ² = 48.9**	rcw = -2.421x + 75.44 r ² = 31.6*	tl = 27.433vpd ^{0.253} r ² = 86.5**

۱ روابط با استفاده از ۱۸ جفت داده به دست آمدند.

* و ** به ترتیب معنی داری مدل در سطح پنج و یک درصد

تفاوت قابل توجهی ندارد. هم‌سو با این نتایج، رابطه‌ی خطی معکوس بین متغیرهای یاد شده با شیب مشابه در کم‌آبیاری معمولی، پاره‌خشکیدگی ریشه و آبیاری کامل روی لیمو گزارش شد (Pérez-Pérez *et al.*, 2012). هم‌چنین با توجه به همبستگی قوی بین کمبود فشار بخار هوا و LAVPD (Pérez-Pérez *et al.*, 2012)، نتایج آزمایش (Ortuno *et al.*, 2006) که در آن رابطه پتانسیل آب با VPD در بازه ۰/۳ تا ۵ کیلوپاسکال به‌صورت خطی معکوس به‌دست آمده است را می‌توان هم‌سو با یافته‌های ما دانست. نتایج مقایسه میانگین‌ها و بررسی روابط میان LAVPD و پتانسیل آب ساقه در دو شرایط رطوبتی خاک (پس از آبیاری و پیش از آبیاری) به‌طور جداگانه در زیر ارائه شده است.

الف) پس از آبیاری: اندازه‌گیری پتانسیل آب ساقه برای اندازه‌گیری‌های پس از آبیاری نشان داد که در سال نخست (۱۳۹۳) تفاوت معنی‌داری میان تیمارها در دو دور نخست از سه دور اندازه‌گیری شده وجود دارد، در حالی که در سال دوم (۱۳۹۴) چنین تفاوتی مشاهده نشد. این تفاوت در پتانسیل آب میان تیمارهای تنش آبی ۵۰ درصد (با و بی‌سایه‌انداز PRD50) با تیمارهای آبیاری کامل و SHPRD75 است (جدول ۵). برپایه روابط به‌دست‌آمده از رگرسیون در شرایط پس از آبیاری (جدول ۳)، پتانسیل آب درختان در دو تیمار دارای پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد در همه مقادیر اندازه‌گیری شده LAVPD (۰/۳ تا ۵/۴ کیلوپاسکال)، ۰/۷ تا ۳/۳ بار کم‌تر از دیگر تیمارها بود. حداکثر اختلاف پتانسیل آب بین دو تیمار SHPRD75 و آبیاری کامل در سراسر بازه یادشده، کم (۰/۷ بار) بود ولی حداکثر اختلاف ایندو با PRD75 به‌ترتیب ۱/۴ و ۱/۱ بار بود که در LAVPD پایین‌تر از ۳/۲ و ۳/۹ کیلوپاسکال رخ داد.

ب) پیش از آبیاری: در این شرایط، پتانسیل آب تیمار پاره خشکیدگی ۷۵ درصد با سایه‌اندازی (SHPRD75) در همه دوره‌های اندازه‌گیری سال اول و در دو دور از سه دور اندازه‌گیری سال دوم بیش از PRD50 بود. افزون‌براین، این تیمار (SHPRD75) در دو دور سال اول و یک دور سال دوم به‌ترتیب بر SHPRD50 و PRD75 برتری داشت. پتانسیل آب تیمارهای پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد (PRD50 و SHPRD50) به‌ترتیب در همه دوره‌های سال ۱۳۹۴ و دور سوم سال ۱۳۹۳ کم‌تر از آبیاری کامل بود. بر اساس روابط رگرسیونی شرایط پیش از آبیاری (جدول ۴)، پتانسیل آب در تیمار SHPRD75 در همه مقادیر اندازه‌گیری شده LAVPD (۲/۷ تا ۸ کیلوپاسکال)، بیشتر از آبیاری کامل و SHPRD50 بود. حداکثر مقدار این اختلاف به ترتیب ۱/۶ و ۳/۶ بار بود. این تیمار در LAVPD کم‌تر از ۵/۸

ب) پیش از آبیاری: در این شرایط، رسانایی روزنه درختان در تیمارهای SHPRD75 و آبیاری کامل نسبت به تیمار PRD50 چهار روز و SHPRD50، سه روز بیش‌تر بود. هم‌چنین تیمار PRD75 در مقایسه با آبیاری کامل در دوره‌های دو و سوم سال ۱۳۹۴ و با SHPRD75 در دور دوم ۱۳۹۳، رسانایی روزنه کمتری داشت (جدول ۲). بر مبنای روابط رگرسیونی (جدول ۴)، در همه مقادیر اندازه‌گیری شده LAVPD (۲/۷ تا ۱۰/۲ کیلوپاسکال)، رسانایی روزنه در تیمار SHPRD75 بیش از دیگر تیمارها، غیر از آبیاری کامل بود و در تیمار PRD75 نیز بیش از تیمارهای پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد بود. رسانایی روزنه در تیمارهای SHPRD75، PRD75، SHPRD50 و PRD50 به ترتیب تا مرز ۵/۶، ۷/۶، ۸/۸ و ۹/۴ کیلو پاسکال LAVPD کم‌تر از آبیاری کامل بود ولی پس از آن بیش‌تر شد. میانگین رسانایی روزنه این چهار تیمار براساس روابط رگرسیونی مربوطه (جدول ۴) و با مقادیر اندازه‌گیری شده LAVPD، به‌ترتیب ۱۱۹/۴، ۹۸/۷، ۶۲/۳ و ۷۲/۱ میلی‌مول بر مترمربع ثانیه و در تیمار آبیاری کامل ۱۱۳/۵ میلی‌مول بر مترمربع ثانیه به دست آمد.

در این آزمایش، کاهش رسانایی روزنه در دو تیمار پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد نسبت به آبیاری کامل به‌ویژه در روزهای پیش از آبیاری با یافته‌های برخی محققان (Romero-*et al.*, 2011; Hutton and Loveys, 2013; Conde *et al.*, 2013) مشابهت داشت ولی با نتایج برخی پژوهشگران (Shahabian *et al.*, 2011; Kusakabe, 2011; Contreras-Barragan *et al.*, 2013) هم‌خوانی ندارد علت آن را می‌توان تفاوت در شرایط انجام آزمایش (باغ در مقابل گلخانه) و تفاوت در پایه و رقم مرکبات دانست. بالاتر بودن رسانایی روزنه در تیمار با سایه‌اندازی پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد با نتایج (Raveh *et al.*, 2003) و Cohen *et al.* (1997) مطابقت دارد و علت آن را می‌توان به تأثیر سایه‌اندازی بر کاهش آشفستگی جریان هوای روی آسمانه درخت (Allen, 1975) و نیز کاهش دمای برگ جستجو کرد.

پتانسیل آب گیاه

تجزیه واریانس داده‌های پتانسیل آب ساقه در اندازه‌گیری‌های پس از آبیاری نشان داد که تیمارها، جز در دور اول و دوم سال ۱۳۹۳، اثر معنی‌داری بر آن ندارند ولی در شرایط پس از آبیاری، غالباً اثرات بسیار معنی‌دار ($p < 0.01$) داشتند (جدول ۵). رابطه بین پتانسیل آب و LAVPD در دو شرایط پس و پیش از آبیاری (جدول ۲) و (۳) نشان می‌دهد که در همه تیمارها با افزایش تفاوت فشار بخار برگ به هوا، پتانسیل آب درختان کاهش یافت (منفی‌تر شد) و شیب تغییرات آن در تیمارهای مختلف، به جز تیمار PRD75 در روز پیش از آبیاری،

درصد با آبیاری کامل پس از ۸۰ روز از شروع آزمایش معنی‌دار شد (Wahbi et al., 2005). مقایسه پتانسیل آب تیمار SHPRD75 با PRD75 و نیز SHPRD50 با PRD50 در هر دو شرایط پیش و پس از آبیاری (جدول ۵) نشان می‌دهد که سایه‌اندازی به‌تنهایی، جز در یک دور پیش از آبیاری (در مورد تیمارهای پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد)، سبب افزایش معنی‌دار پتانسیل آب نمی‌شود. این یافته با نتایج Cohen et al., 1997 مشابه است و با توجه به نتایج مربوط به رسانایی روزنه (جدول ۲) نیز قابل توجیه است. زیرا پتانسیل آب در مرکبات معمولاً همبستگی مثبت با رسانایی روزنه دارد (Sdoodee and Somjun, 2008; Cohen and Cohen, 1983; Gomes et al., 2004; Ortuna et al., 2004) و در این آزمایش نیز سایه‌اندازی به‌تنهایی تأثیر قابل توجهی بر رسانایی روزنه نداشت (جدول ۲).

کیلوپاسکال نیز دارای پتانسیل آب بیشتر از PRD50 و PRD75 است.

کاهش پتانسیل آب در تیمارهای پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد (به‌ویژه PRD50 در پیش از آبیاری سال دوم) در مقایسه با آبیاری کامل با یافته‌های به‌دست‌آمده روی دیگر ارقام و پایه‌های مرکبات (Kusakabe, 2011; Ortuna et al., 2004; Pérez-Pérez et al., 2012) همخوانی دارد. با افزایش مقدار آبیاری (تیمار PRD75) تفاوت PRD و آبیاری کامل غالباً معنی‌دار نبود. در پاره‌خشکیدگی ریشه با مقدار آبیاری ۶۰ درصد نیز پتانسیل آب درختان پرتقال تفاوت اندکی (نامعنی‌دار) با آبیاری کامل داشت (Hutton and Loveys, 2011). علاوه بر مقدار آبیاری، مدت اجرای PRD نیز می‌تواند بر پتانسیل آب درختان مؤثر باشد زیرا در زیتون که واکنش مشابه با مرکبات نسبت به تنش آبی دارد، تفاوت تیمارهای پاره‌خشکیدگی ۵۰

جدول ۵. میانگین پتانسیل آب ساقه (بار، SE±) میانه‌روز در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه بی‌سایه‌انداز (PRD50:PRD75) و با سایه‌انداز (SHPRD50:SHPRD75) در سه دور آبیاری برای هر سال

سال	تیمار	دور آبیاری اول		دور آبیاری دوم		دور آبیاری سوم	
		پیش از آبیاری	پس از آبیاری	پیش از آبیاری	پس از آبیاری	پیش از آبیاری	پس از آبیاری
۱۳۹۳	FI	-۲۲/۳±۲/۳ ^{ab}	-۱۴±۰/۶ ^{ab}	-۱۲/۸±۱/۹ ^a	-۲۲/۳±۰/۹ ^{ab}	-۲۳/۷±۰/۲ ^{ab}	-۱۲±۱/۷
	PRD75	-۱۹/۷±۰/۹ ^{ab}	-۱۲/۷±۰/۷ ^{ab}	-۱۴/۷±۰/۹ ^{ab}	-۲۱/۷±۰/۹ ^{ab}	-۲۴±۰/۶ ^{abc}	-۸/۷±۰/۹
	PRD50	-۲۶/۲±۱/۶ ^b	-۱۶/۲±۰/۴ ^b	-۱۷±۱/۸ ^{ab}	-۲۴±۰/۶ ^b	-۲۵/۶±۰/۳ ^{bc}	-۱۵/۳±۲/۷
	SHPRD75	-۱۶/۷±۰/۷ ^a	-۱۲/۳±۱/۲ ^a	-۱۵/۵±۱/۳ ^{ab}	-۱۸±۱/۷ ^a	-۲۱/۹±۰/۶ ^a	-۱۲/۲±۰/۷
	SHPRD50	-۲۶/۲±۱/۳ ^b	-۱۶/۱±۰/۶ ^b	-۱۸/۸±۰/۷ ^b	-۲۲/۵±۰/۸ ^{ab}	-۲۶±۰/۳ ^c	-۱۵/۸±۲
	تفاوت معنی‌داری	**	*	*	*	**	ns
۱۳۹۴	FI	-۱۱/۵±۰/۹ ^a	-۸/۳±۰/۹	-۱۰/۸±۰/۳	-۱۵/۳±۰/۹ ^a	-۱۷/۳±۲/۳ ^a	-۱۲/۷±۱/۲
	PRD75	-۱۶±۰/۳ ^c	-۱۱/۵±۱/۸	-۱۰/۳±۱/۲	-۲۰/۳±۲ ^{ab}	-۲۱±۱ ^{ab}	-۱۴/۵±۱/۳
	PRD50	-۱۴/۴±۰/۵ ^{bc}	-۱۲/۳±۱/۶	-۱۲/۵±۰/۲	-۲۶/۷±۱/۵ ^b	-۲۳/۵±۱/۸ ^b	-۱۳/۷±۱/۲
	SHPRD75	-۱۲/۲±۰/۳ ^{ab}	-۸±۰/۶	-۱۰/۷±۲	-۱۵/۷±۰/۹ ^a	-۱۷/۳±۳/۳ ^a	-۱۴±۱/۷
	SHPRD50	-۱۳/۷±۰/۶ ^{abc}	-۱۲/۲±۱/۹	-۱۱/۱±۱/۱	-۲۲/۷±۲/۶ ^{ab}	۱۸/۳±۰/۸ ^{ab}	-۱۵/۱±۱/۱
	تفاوت معنی‌داری	**	ns	ns	**	*	ns

میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌دار باهم ندارند.

ns، * و ** به ترتیب بدون تفاوت معنی‌دار و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح پنج (p<۰/۰۵) و یک (p<۰/۰۱) درصد بین تیمارها.

گنجایش نسبی آب

تجزیه واریانس اثر تیمارهای این آزمایش بر گنجایش نسبی آب برگ نشان داد که در شرایط پس از آبیاری، تیمارها در نیمی از اندازه‌گیری‌های دو سال مطالعه (دور دوم ۱۳۹۳ و دورهای دوم و سوم ۱۳۹۴) تأثیر معنی‌داری بر RWC داشتند و در همه دوره‌های پیش از آبیاری اثر تیمارها غالباً بسیار معنی‌دار (p < 0.01) بود (جدول ۶). نتایج تجزیه رگرسیون بیانگر وجود رابطه خطی معکوس بین گنجایش نسبی آب و LAVPD در همه

تیمارها، غیر از تیمار SHPRD50 در شرایط روز پس از آبیاری است (جدول ۳ و ۴).

الف) پس از آبیاری: مقایسه میانگین‌ها در شرایط روز پس از آبیاری (جدول ۶) نشان می‌دهد که گنجایش نسبی آب در دو تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه ۷۵ درصد هیچ‌گاه تفاوتی با هم نداشتند ولی این دو تیمار در دور دوم سال ۱۳۹۴ بر PRD50 و در دور دوم ۱۳۹۳ و دور سوم ۱۳۹۴ بر هر دو تیمار PRD50 و SHPRD50 برتری معنی‌دار داشتند. گنجایش نسبی آب در دو

SHPRD75 تقریباً در همه مقادیر اندازه‌گیری شده LAVPD بیش از PRD75 (حداکثر ۳ درصد) است. همچنین، این سه تیمار (پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد و آبیاری کامل) در همه مقادیر اندازه‌گیری شده دارای RWC بیش‌تر از PRD50 و SHPRD50 است.

تیمار پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند ولی در دوره‌های دوم و سوم ۱۳۹۴ کم‌تر از آبیاری کامل بود. بررسی روابط LAVPD با RWC برای روز پس از آبیاری (جدول ۳) نشان می‌دهد که در بازه اندازه‌گیری شده LAVPD (۰/۲ تا ۴/۶ کیلوپاسکال)، گنجایش نسبی آب در PRD75 تفاوت کمی (حداکثر ۱/۶ درصد) با آبیاری کامل دارد ولی در

جدول ۶. میانگین گنجایش نسبی آب (درصد، $\pm SE$) در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه بی‌سایه‌انداز (PRD75:PRD50) و با سایه‌انداز (SHPRD75:SHPRD50) در سه دور آبیاری برای هر سال

سال	تیمار	دور آبیاری اول		دور آبیاری دوم		دور آبیاری سوم	
		پیش از آبیاری	پس از آبیاری	پیش از آبیاری	پس از آبیاری	پیش از آبیاری	پس از آبیاری
۱۳۹۳	FI	۷۰/۷±۰/۹ ^a	۸۰/۳±۰/۸	۷۴/۷±۰/۷ ^b	۶۶/۹±۰/۵ ^b	۶۵/۱±۰/۹ ^b	۷۴/۳±۲/۵
	PRD75	۶۷/۲±۲/۵ ^{ab}	۷۷/۶±۴/۳	۸۱/۹±۱/۱ ^a	۷۵/۸±۱/۸ ^a	۶۷/۳±۱/۹ ^{ab}	۷۳/۳±۱/۷
	PRD50	۶۸±۰/۹ ^{ab}	۷۳/۶±۳/۴	۷۰/۴±۱ ^b	۶۱/۲±۰/۴ ^b	۵۹/۸±۱/۷ ^c	۷۱/۷±۱/۸
	SHPRD75	۷۰/۷±۱ ^a	۷۹/۹±۲/۱	۸۲/۵±۰/۸ ^a	۷۶/۵±۲/۵ ^a	۶۹/۹±۱/۳ ^a	۷۷±۱/۱
	SHPRD50	۶۴/۵±۱/۹ ^b	۷۴/۷±۱/۳	۷۴/۹±۱/۳ ^b	۶۶/۲±۲/۵ ^b	۵۹/۴±۱/۴ ^c	۷۰/۵±۰/۹
	تفاوت معنی‌داری	*	ns	**	**	**	ns
۱۳۹۴	FI	۷۳/۵±۱/۱ ^a	۸۲/۶±۱/۲	۷۴/۲±۰/۶ ^a	۷۴/۲±۰/۶ ^a	۷۰/۲±۱ ^a	۸۲/۷±۱/۳ ^a
	PRD75	۷۳/۳±۱/۵ ^a	۸۰/۷±۱/۳	۷۳/۲±۰/۲ ^a	۷۳/۲±۰/۲ ^a	۷۸/۱±۱/۵ ^{ab}	۷۹/۹±۱/۲ ^a
	PRD50	۶۵/۴±۰/۶ ^b	۷۴/۱±۲/۱	۶۷/۷±۰/۶ ^b	۶۷/۷±۰/۶ ^b	۷۰±۰/۹ ^c	۷۱/۹±۰/۹ ^b
	SHPRD75	۷۴/۵±۱/۸ ^a	۸۳/۷±۳/۱	۷۶/۱±۱/۱ ^a	۷۶/۱±۱/۱ ^a	۷۳/۷±۰/۷ ^a	۸۲/۱±۱ ^a
	SHPRD50	۶۸/۸±۱/۳ ^{ab}	۸۰/۹±۲/۷	۶۴/۷±۰/۴ ^b	۶۴/۷±۰/۴ ^b	۶۶±۰/۸ ^b	۷۱±۰/۷ ^b
	تفاوت معنی‌داری	**	ns	**	**	**	**

میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌دار باهم ندارند.

ns، * و ** به ترتیب بدون تفاوت معنی‌دار و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح پنج ($p < 0.05$) و یک ($p < 0.01$) درصد بین تیمارها.

LAVPD (۲/۱ تا ۶/۴ کیلوپاسکال) است. همچنین در این آنالیز تیمار آبیاری کامل در همه مقادیر LAVPD و تیمار PRD75 در مقادیر بالاتر از ۲/۵ کیلوپاسکال دارای گنجایش نسبی آب کم‌تر از SHPRD75 بود. برخلاف این نتایج، آبیاری به‌روش PRD در زیتون (Wahbi et al., 2005) و گوجه‌فرنگی (Tahi et al., 2007) تأثیری بر گنجایش نسبی آب نداشت. به نظر می‌رسد این تناقض نمی‌تواند به متفاوت بودن نوع گیاه ارتباط داشته باشد و کاهش RWC در دو تیمار دارای پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد قابل‌قبول‌تر است. زیرا با توجه به یافته‌های پژوهشگران یادشده (Wahbi et al., 2005 و Tahi et al., 2007) رابطه خطی مستقیم بین پتانسیل آب گیاه و RWC وجود دارد و در این پژوهش، پتانسیل آب هم‌سو با RWC در درختان آبیاری شده به روش PRD50 کاهش یافت.

دمای برگ

تیمارهای آزمایش در بیشتر اندازه‌گیری‌های سال ۱۳۹۳ (دو

ب) پیش از آبیاری: در شرایط روز پیش از آبیاری (جدول ۶)، گنجایش نسبی آب در دو تیمار پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد در هیچ‌یک از دوره‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند. دو تیمار پاره‌خشکیدگی ۵۰ درصد نیز تفاوتی باهم نداشتند ولی نسبت به دو تیمار پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد دارای RWC کم‌تری، حداقل در دو دور هر یک از سال‌های آزمایش، بودند. این دو تیمار (PRD50 و SHPRD50) همچنین دارای گنجایش نسبی آب کم‌تر از آبیاری کامل در بیشتر دوره‌های آبیاری (PRD50) در دور سوم ۱۳۹۳ و همه دوره‌های ۱۳۹۴ و SHPRD50 در دوره‌های اول و سوم ۱۳۹۳ و دوم و سوم (۱۳۹۴) بودند. تفاوت دو تیمار پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد با آبیاری کامل جز در یک دور آبیاری سال ۱۳۹۳، معنی‌دار نبود. آنالیز رگرسیونی مربوطه (جدول ۴)، بیانگر برتری گنجایش نسبی آب در سه تیمار آبیاری کامل، SHPRD75 و PRD75 بر دو تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد در همه مقادیر اندازه‌گیری شده

آبیاری کامل و SHPRD50 بیش از SHPRD75 بود (جدول ۷). آنالیز رگرسیون برای شرایط پیش از آبیاری (۳) نشان داد که تیمارهای PRD50 و SHPRD75 با اختلاف ۰/۵ تا ۰/۷ درجه سانتی‌گراد در همه مقادیر اندازه‌گیری شده کمبود فشار بخار (۱/۲ تا ۳/۲ کیلوپاسکال) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین دمای برگ را داشتند و تیمارهای آبیاری کامل، PRD75 و SHPRD50 به ترتیب به‌طور میانگین ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد دمای برگ کم‌تر از PRD50 داشتند.

بر اساس مقایسه میانگین‌های PRD50 و PRD75 با آبیاری کامل و آنالیز رگرسیون آن‌ها در هر دو شرایط پس و پیش از آبیاری، نمی‌توان با اعتماد کافی نتیجه گرفت که پاره‌خشکیدگی ریشه سبب افزایش دمای برگ شده است. در درختان زیتون تیمارهای کم‌آبیاری و بدون آبیاری سبب افزایش تفاوت دمای برگ و هوا شد (Camoglu, 2013; Akkuzu et al., 2010; Jimenez-Berni et al., 2007) ولی در مرکبات تیمارهای کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ریشه و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند (Pérez-Pérez et al., 2012). نتایج این پژوهش از نظر اثر پاره‌خشکیدگی ریشه بر دمای برگ منافاتی با یافته‌های دیگران ندارد. آنالیز رگرسیون در هر دو شرایط پس‌وپیش از آبیاری (جدول‌های ۳ و ۴) نشان داد که سایه‌اندازی در تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد، دمای برگ را کاهش می‌دهد و در شرایط پیش از آبیاری (جدول ۴)، سایه‌اندازی در پاره‌خشکیدگی ریشه ۷۵ و ۵۰ درصد سبب کاهش دمای برگ به ترتیب به میزان ۰/۲ تا ۰/۴ و ۰/۴ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد شد. البته براساس آزمون مقایسه میانگین‌ها نمی‌توان با اعتماد کافی بر تفاوت تیمارها تأکید داشت (جدول ۷). این نتایج را می‌توان همسو با یافته‌های برخی از پژوهشگران (Cohen et al., 1997; Jifon ad Syvertsen, 2003) دانست که کاهش دمای برگ مرکبات به ترتیب ۱/۶ تا ۲/۷ و یک تا دو درجه سانتی‌گراد در اثر سایه‌اندازی بود. به‌طورکلی عدم تفاوت معنی‌دار از نظر دمای برگ بین تیمارها به‌ویژه در مقایسه با آبیاری کامل در این آزمایش، می‌تواند به تأثیرپذیری بالای دمای برگ به VPD در قیاس با شرایط دسترسی به آب در خاک دانست زیرا مرکبات برخلاف برخی محصولات نظیر خرمالو به VPD بالا حساس‌اند و دمای برگ آن‌ها در VPD بالا (معمولاً ظهر هنگام) حتی در درختان بدون تنش افزایش می‌یابد (Gonzalez-Dugo et al., 2012).

دور در هر یک از شرایط پس و پیش از آبیاری) تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ نداشتند ولی در سال ۱۳۹۴، تیمارها در شرایط پس از آبیاری تفاوت بسیار معنی‌دار ($p < 0/01$) در دوره‌های اول و دوم و معنی‌دار ($p < 0/05$) در دور سوم داشتند (جدول ۷). آنالیز رگرسیون داده‌های کمبود فشار بخار هوا و دمای برگ نشان داد که در شرایط پس از آبیاری برای بیش‌تر تیمارها رابطه خطی معنی‌داری بین این دو متغیر برقرار نیست و در هر دو شرایط پس‌وپیش از آبیاری رابطه توانی دارای ضریب تبیین بیش‌تری نسبت به رابطه خطی است. از این‌رو روابط توانی میان VPD و دمای برگ برگ‌گزیده شد (جدول‌های ۳ و ۴). نتایج مقایسه میانگین تیمارها و آنالیز رگرسیون میان دو متغیر یادشده در تیمارهای مختلف به تفکیک شرایط روز پس‌وپیش از آبیاری ارائه می‌شود.

الف) پس از آبیاری: مقایسه میانگین تیمارها از نظر دمای برگ در روز پس از آبیاری نشان می‌دهد که در سال اول آزمایش تنها تیمار SHPRD50 دارای دمای برگ بیش از آبیاری کامل و PRD75 بود و دیگر تیمارها باهم تفاوت معنی‌دار نداشتند. در سال دوم، دمای برگ PRD75 در دور اول و دوم بیش از آبیاری کامل و در دور دوم و سوم بیش از دو تیمار با سایه‌اندازی (SHPRD50 و SHPRD75) بود. ولی دمای برگ تیمار PRD50 تنها در دور اول بیش از دو تیمار با سایه‌اندازی و آبیاری کامل بود. همچنین، تنها در دور دوم، دمای برگ تیمارهای آبیاری کامل و SHPRD50 بیش از SHPRD75 و دمای برگ PRD75 بیش از آبیاری کامل بود (جدول ۷). آنالیز رگرسیون در شرایط پس از آبیاری (جدول ۳) به روشنی نشان می‌دهد که تیمارهای با سایه‌اندازی به‌ازای همه مقادیر اندازه‌گیری شده کمبود فشار بخار (یک تا ۲/۵ کیلوپاسکال) دارای دمای برگ کم‌تر از آبیاری کامل و تیمارهای بی‌سایه‌اندازی هستند. دمای برگ PRD75 جز در مقادیر پایین VPD (کم‌تر از ۱/۵ کیلوپاسکال) کم‌تر از PRD50 بود. همچنین تیمارهای بدون سایه‌اندازی (PRD50 و PRD75) به ترتیب در VPD بیش از ۱/۹ و ۳ کیلوپاسکال در قیاس با آبیاری کامل افزایش دمای برگ داشتند.

ب) پیش از آبیاری: در شرایط پیش از آبیاری سال اول، تیمار PRD50 تنها در یک دور (دور اول) سبب افزایش دمای برگ نسبت به آبیاری کامل شد. در سال دوم نیز تنها در یک دور تفاوت تیمارها معنی‌دار بود. یعنی، در دور سوم دمای برگ PRD75 بیش از دیگر تیمارها بود و نیز دمای برگ تیمارهای

جدول ۷. میانگین دمای برگ (درجه سانتی‌گراد، \pm SE) در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه بی‌سایه‌انداز (PRD50:PRD75) و با سایه‌انداز (SHPRD50:SHPRD75) در سه دور آبیاری برای هر سال

سال	تیمار	دور آبیاری اول		دور آبیاری دوم		دور آبیاری سوم	
		پیش از آبیاری	پس از آبیاری	پیش از آبیاری	پس از آبیاری	پیش از آبیاری	پس از آبیاری
۱۳۹۳	FI	۳۲±۰/۱۸ ^b	۳۰/۳±۰/۲۱	۳۶/۳±۰/۱۵	۳۴/۲±۰/۱۱	۳۵/۳±۰/۰۹	۳۳/۷±۰/۲۰ ^b
	PRD75	۳۲/۲±۰/۳۱ ^{ab}	۲۹/۹±۰/۱۵	۳۶/۵±۰/۰۷	۳۴/۱±۰/۱۳	۳۴/۹±۰/۲۸	۳۳/۶±۰/۱۰ ^b
	PRD50	۳۳/۱±۰/۱۵ ^a	۲۹/۸±۰/۱۲	۳۶/۶±۰/۰۹	۳۴/۳±۰/۲۰	۳۵/۶±۰/۱۵	۳۴/۲±۰/۱۱ ^{ab}
	SHPRD75	۳۳±۰/۱۵ ^{ab}	۲۹/۹±۰/۲۶	۳۶/۲±۰/۰۳	۳۴/۳±۰/۲۴	۳۵/۲±۰/۳۵	۳۴/۱±۰/۰۳ ^{ab}
	SHPRD50	۳۲/۷±۰/۱۵ ^{ab}	۲۹/۸±۰/۱۵	۳۶/۳±۰/۰۶	۳۴/۵±۰/۲۷	۳۵/۶±۰/۱۷	۳۴/۸±۰/۲۰ ^a
	تفاوت معنی‌داری	*	ns	ns	ns	ns	**
۱۳۹۴	FI	۲۸/۲±۰/۰۷	۲۵/۲±۰/۰۳ ^c	۳۱/۶±۰/۲۶	۳۲/۷±۰/۴۴ ^b	۳۴/۹±۰/۰۶ ^b	۳۴/۶±۰/۱۲ ^{ab}
	PRD75	۲۸/۲±۰/۰۳	۲۵/۷±۰/۱۰ ^{ab}	۳۲±۰/۴۰	۳۴/۶±۰/۶۱ ^a	۳۶±۰/۰۷ ^a	۳۴/۹±۰/۱۹ ^a
	PRD50	۲۸/۷±۰/۲۳	۲۶±۰/۰۳ ^a	۳۲/۳±۰/۳۱	۳۳/۸±۰/۸۸ ^{ab}	۳۴/۷±۰/۰۳ ^{bc}	۳۴/۷±۰/۱۵ ^{ab}
	SHPRD75	۲۸/۳±۰/۰۷	۲۵/۴±۰/۰۱ ^{bc}	۳۱/۵±۰/۳۱	۳۲/۱±۰/۴۲ ^b	۳۴/۴±۰/۱۳ ^c	۳۴/۳±۰/۰۲ ^b
	SHPRD50	۲۸/۴±۰/۲۶	۲۵/۵±۰/۰۷ ^{bc}	۳۱/۸±۰/۳۲	۳۲/۳±۰/۳۵ ^b	۳۴/۹±۰/۰۹ ^b	۳۴/۳±۰/۰۶ ^b
	تفاوت معنی‌داری	ns	**	ns	**	**	*

میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌دار باهم ندارند.

ns، * و ** به ترتیب بدون تفاوت معنی‌دار و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح پنج ($p < 0.05$) و یک ($p < 0.01$) درصد بین تیمارها.

عملکرد و کیفیت میوه

تفاوت تیمارها از نظر عملکرد، قطر میوه و مواد جامد محلول، در یکی از دو سال آزمایش معنی‌دار شده است ولی از نظر وزن میوه، ضخامت پوست و اسیدیته کل عصاره میوه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۸). کاهش عملکرد درختان در تیمارهای PRD75، PRD50 و SHPRD50 نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۲/۸، ۲۲/۱ و ۱۶ درصد در سال اول آزمایش و ۱۶/۲، ۴۳/۴ و ۲۲/۲ درصد در سال دوم بود. همچنین عملکرد تیمار SHPRD75 نسبت به آبیاری کامل در سال اول ۲/۳ درصد افزایش و در سال دوم ۱۴/۷ درصد کاهش داشت. از میان این تفاوت‌ها تنها تفاوت عملکرد دو تیمار آبیاری کامل و PRD50 در سال دوم آزمایش معنی‌دار بود که با یافته‌های Lovatt et al. (2011) مشابه است. برخلاف آن در دیگر گزارش‌های بررسی شده (Hutton and Loveys, 2011; Kirda et al., 2007; Perez-Perez et al., 2012; Shahabian et al., 2011)، تفاوت عملکرد میان آبیاری کامل و پاره‌خشکیدگی ۵۰ تا ۶۰ درصد معنی‌دار نبوده است. سایه‌اندازی در آزمایش (Cohen et al., 2005) نیز همانند این آزمایش، تأثیری بر عملکرد نداشت. گرچه در هر دو سال این آزمایش وزن و قطر میوه در تیمارهای بی‌سایه‌اندازی بیش از تیمارهای پاره‌خشکیدگی بی‌سایه‌اندازی بود ولی تنها، تفاوت میان تیمار پاره‌خشکیدگی ۷۵ درصد با سایه‌اندازی و PRD50 از نظر قطر میوه در سال ۱۳۹۳ معنی‌دار بود. مشابه این یافته، سایه‌اندازی

همراه با ۵۰ درصد کم‌آبیاری معمولی اندازه میوه را نسبت به آبیاری کامل افزایش داد (Abouattallah et al., 2012). اثر PRD بر وزن و قطر میوه در آزمایش‌های Miri et al. (2014) و Shahabian et al. (2011) معنی‌دار نبود ولی در شرایط آزمایشی دیگر، PRD سبب کاهش وزن یا اندازه میوه شد (Hutton and Loveys, 2011; Lovatt et al., 2011 and Kirda et al., 2007). از نظر مواد جامد محلول، تیمارهای پاره‌خشکیدگی بی‌سایه‌اندازی در سال اول سبب افزایش معنی‌دار آن در مقایسه با آبیاری کامل شد ولی هم‌سو با یافته‌های Cohen et al. (2005)، تیمارهای بی‌سایه‌اندازی تفاوتی با سایر تیمارها در هر دو سال نداشتند (جدول ۸). پاره‌خشکیدگی ریشه در مناطق خشک مواد جامد محلول میوه را افزایش داد (Lovatt et al., 2011) ولی در مناطق نیمه‌مرطوب تأثیر معنی‌داری نداشت (Shahabian et al., 2011). بیشتر اندازه‌گیری‌های رسانایی روزنه در این آزمایش بیانگر پایین بودن آن در تیمارهای PRD بی‌سایه‌اندازی (به‌ویژه PRD50) و بالابودن آن در تیمارهای دارای سایه‌اندازی است (جدول ۲). عملکرد کمی و کیفی میوه درختان به فتوسنتز و تبادلات گازی در مراحل رشد میوه بسیار وابسته است. در پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه حساسیت روزنه به کمبود فشار بخار افزایش می‌یابد و امکان کاهش فتوسنتز در رسانایی کم روزنه وجود دارد (Hutton and Loveys, 2011). براین پایه یافته‌های مربوط به عملکرد کمی و کیفی میوه در تیمارهای PRD

شرایط اقلیمی از جمله کمبود فشار بخار هوا، ناهم‌سویی برخی از این یافته‌ها با یافته‌های دیگران را می‌توان به متفاوت بودن شرایط آزمایش‌ها از نظر عوامل یاد شده مربوط دانست.

بی‌سایه‌اندازی قابل توجه است. همچنین با بالابودن رسانایی روزنه در تیمارهای دارای سایه‌اندازی می‌توان انتظار داشت که فتوسنتز و در پی آن عملکرد و رشد میوه بهبود یابد. با توجه به وابستگی رسانایی روزنه و فتوسنتز به نوع پایه و رقم گیاهی و

جدول ۸. میانگین عملکرد کمی و کیفی میوه ($SE \pm$) درختان پرتقال والنسیا در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و پاره‌خشکیدگی ناحیه‌ری‌شه بی‌سایه‌انداز (PRD50:PRD75) و با سایه‌انداز (SHPRD50:SHPRD75) برای سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴.

سال	تیمار	عملکرد درخت (کیلوگرم)	وزن میوه (گرم)	قطر میوه (میلی‌متر)	ضخامت پوست (میلی‌متر)	مواد جامد محلول (/)	اسیدیته کل (/)
۱۳۹۳	FI	۲۱/۳±۳	۱۱۵±۵/۴	۵۸/۶±۰/۹ ^{ab}	۲/۸۵±۰/۱۲	۱۰/۸۳±۰/۵۱ ^b	۱/۱۵±۰/۰۴
	PRD75	۲۰/۷±۳	۱۱۱/۹±۴/۷	۵۷/۹±۱/۱ ^{ab}	۲/۷۰±۰/۱۳	۱۳/۲۸±۰/۴۸ ^a	۱/۳۵±۰/۰۸
	PRD50	۱۶/۶±۱/۲	۱۰۵/۴±۸/۳	۵۶/۸±۱/۵ ^b	۳/۲۴±۰/۲۱	۱۳/۵۸±۰/۸۲ ^a	۱/۳۰±۰/۰۴
	SHPRD75	۲۱/۸±۲/۴	۱۲۴/۸±۳	۶۰/۳±۰/۴ ^a	۲/۹۷±۰/۰۶	۱۲/۰۵±۰/۰۵ ^{ab}	۱/۲۰±۰/۰۶
	SHPRD50	۱۷/۹±۱/۲	۱۱۳/۳±۷	۵۸/۴±۱/۱ ^{ab}	۳/۱۹±۰/۲۳	۱۲/۷۳±۰/۲۳ ^{ab}	۱/۲۲±۰/۰۹
تفاوت معنی‌داری	ns	ns	*	ns	*	ns	ns
۱۳۹۴	FI	۵۸/۲±۳ ^a	۱۴۵/۳±۸/۶	۶۴/۱±۱/۶	۳/۳۶±۰/۲۸	۱۰/۸۵±۰/۴۷	۱/۳۰±۰/۰۸
	PRD75	۴۸/۸±۳ ^{ab}	۱۴۰±۵/۲	۶۳±۰/۷۱	۳/۳۸±۰/۱۲	۱۰/۸۰±۰/۲۷	۱/۴۳±۰/۱۰
	PRD50	۳۲/۹±۱/۳ ^b	۱۳۵±۴/۹	۶۳/۲±۱/۳۰	۳/۳۹±۰/۳۴	۱۱/۶۵±۰/۵۹	۱/۵۵±۰/۰۶
	SHPRD75	۴۹/۷±۶/۵ ^{ab}	۱۴۳/۳±۴/۷	۶۳/۳±۰/۷۳	۳/۱۲±۰/۳۱	۱۰/۳۰±۰/۴۸	۱/۴۱±۰/۰۴
	SHPRD50	۴۵/۳±۷/۸ ^{ab}	۱۴۷/۴±۵/۱	۶۴/۱±۰/۷۳	۳/۱۶±۰/۲۴	۱۰/۵۰±۰/۳۵	۱/۴۷±۰/۰۹
تفاوت معنی‌داری	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌دار باهم ندارند.

ns، * و ** به ترتیب بدون تفاوت معنی‌دار و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح پنج ($p < 0.05$) و یک ($p < 0.01$) درصد بین تیمارها.

نتیجه‌گیری

روابط، در هر دو شرایط پس و پیش از آبیاری، سایه‌اندازی در تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد، دمای برگ را کاهش می‌دهد. سایه‌اندازی در پاره‌خشکیدگی ریشه ۷۵ درصد در شرایط پس از آبیاری، دمای برگ را تنها در VPD کم‌تر از ۲/۵ کیلوپاسکال کم می‌کند ولی در شرایط پیش از آبیاری همواره سبب کاهش دمای برگ (۰/۲ تا ۰/۴ درجه سانتی‌گراد) می‌شود. البته آزمون مقایسه میانگین‌ها در دوره‌های آبیاری کمی اختلاف تیمارها از نظر دمای برگ را معنی‌دار نشان داده است. میانگین دوساله کاهش عملکرد در تیمارهای پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه ۵۰ و ۷۵ درصد بی‌سایه‌اندازی، به ترتیب ۳۲/۸ و ۹/۵ درصد و در با سایه‌اندازی ۱۹/۱ و ۶/۲ درصد بود. در تیمار PRD50 عملکرد سال دوم و قطر میوه سال اول نسبت به آبیاری کامل کاهش معنی‌دار داشت. همچنین افزایش مواد جامد محلول در دو تیمار پاره‌خشکیدگی بی‌سایه‌اندازی سال اول معنی‌دار شد.

سپاسگزاری

بخش زیادی از امکانات اجرای این پژوهش به‌وسیله پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری فراهم شد که به این وسیله سپاسگزاری می‌شود.

این مطالعه به‌منظور بررسی اثرات تیمارهای پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ و ۷۵ درصد و کاربرد هم‌زمان آن‌ها با سایه‌اندازی روی برخی روابط آبی درختان مرکبات انجام شد. در مجموع براساس نتایج این آزمایش، از نظر رسانایی روزنه و RWC تیمارهای SHPRD75، PRD75 و آبیاری کامل واکنش مشابهی دارند و بر دو تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه ۵۰ درصد (SHPRD50 و PRD50) برتری دارند. از نظر پتانسیل آب ساقه، تنها برتری تیمار SHPRD75 بر PRD50 نتیجه داده است. روابط خطی معکوس بین تفاوت فشار بخار برگ نسبت به هوا (LAVPD) و هریک از متغیرهای یاد شده در بالا در همه تیمارها (به‌جز تیمار SHPRD50 برای RWC در شرایط پس از آبیاری) معنی‌دار شده است. ضرایب تبیین مربوط به رسانایی روزنه، پتانسیل آب برگ و RWC در شرایط پیش از آبیاری به ترتیب حدود ۳۸ تا ۷۰، ۳۵ تا ۶۷ و ۲۶ تا ۵۵ درصد به دست آمد که در همه تیمارها بالاتر از شرایط پس از آبیاری بود. رابطه بین کمبود فشار بخار هوا و دمای برگ از نوع توانی با ضرایب تبیین بالاتر از نوع خطی، ۶۲ تا ۸۳ درصد در شرایط پس از آبیاری و ۸۴ تا ۹۱ درصد در شرایط پیش از آبیاری به دست آمد. براساس این

REFERENCES

- Abouatallah, A., Salghi, R., Elfadl, A., Hammouti, B., Zarrouk, A., Atroui, A., and Ghnizar, Y. (2012). Shading nets usefulness for water saving on citrus orchards under different Irrigation doses. *Current World Environment*, 7(1), 13-22.
- Akkuzu, E., Camoglu, G., and Kaya, U. (2010). Diurnal variation of canopy temperature differences and leaf water potential of field-grown olive trees (*Olea europaea* L. cv. Memecik). *The Philippine Agricultural Scientist*, 93 (4), 399-405.
- Allen, L. H. (1975). Shade-cloth microclimate of soybean. *Agronomy Journal*, 67 (2), 175-181.
- Angelocci, L. R., Marin, F. R., de Oliveira, R. F., and Righi, E. Z. (2004). Transpiration, leaf diffusive conductance, and atmospheric water demand relationship in an irrigated acid lime orchard. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16(1), 53-64.
- Azarakhshi, M., Farzad Mehr, J., Eslah, M., and Sahabi, H. (2013). An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature in different climatologically regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 66(1), 1-16. (In Farsi)
- Ballester Lurbe, C. (2013). *Regulated deficit irrigation in citrus: agronomic response and water stress indicators*. Ph. D. dissertation, Universidad Politécnic de Valencia, Spain.
- Camoglu, G. (2013). The effects of water stress on evapotranspiration and leaf temperatures of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*, 100 (1), 91-98
- Cohen, S.H., Moreshet, S., Guillou, L. L., Simon, J. C., and Cohen, M. (1997). Response of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. *Journal of Experimental Botany*, 48(306), 35-44.
- Cohen, S., Raveh, E., Goldschmidt, E.E. (2005). Physiological responses of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shade screens. *Scientia Horticulturae*, 107(1), 25-35.
- Cohen, S., and Cohen, Y. (1983). Field studies of leaf conductance to environmental variables in citrus. *Journal of Applied. Ecology*, 20(2), 561-570.
- Contreras-Barragan, B. A., Kusakabe, A., and Melgar, J. C. (2013). Response of Mexican Lime to Partial Rootzone-drying: a water-saving strategy. In: *proceedings of ASHS Annual Conference*, July 24-28, Palm Desert, California, USA, 257-258
- Gomes, M. D. M. D. A., Lagôa, A. M. M. A., Medina, C. L., Machado, E. C. and Machado, M. A. (2004). Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16(3), 155-161.
- Gonzalez-Altazano, P., and Castel, J. R. (1999). Regulated deficit irrigation in 'Clementina del Nules' citrus trees I: Yeild and fruit quality effects. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(6), 706-713.
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Berni, J. A. J., Suarez, L., Goldhamer, D., and Fereres, E. (2012). Almond tree canopy temperature reveals intra-crown variability that is water stress-dependent. *Agricultural and Forest Meteorology*, 15415, 156-165.
- Hutton, R. J., and Loveys, B. R. (2011). A partial root zone drying irrigation strategy for citrus—Effects on water use efficiency and fruit characteristics. *Agricultural Water Management*, 98, 1485-1496.
- Iran's Ministry of Agriculture-Jahad (2014). *Orchard crops statistics in 2012*. Tehran: Information and communications technology center. (In Farsi).
- Jifon, J. L., and Syvertsen, J. P. (2003). Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. *Tree Physiology*, 23, 119-127.
- Jimenez-Berni, J. A., Zarco-Tejada, P. J., Fereres, E., Sepulcre- Canto, G., Testi, L., Iniesta, F., Villalobos, F. J., Orgaz, F., Goldhamer, D. A., and Salinas, M. (2007). Estimation of ET on discontinuous crop canopies using high resolution thermal imagery. In: *proceeding of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, July 23-28, Barcelona, Spain, 3249-3252
- Jones, H. G. (1999). Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant, Cell and Environment*, 22, 1043-1055.
- Jones, H. G. (2014). *Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Khairi, M. M. A., and Hall, A. E. (1976). Temperature and humidity effects on net photosynthesis and transpiration of citrus. *Plant Physiology*, 36, 29-34.
- Kirda, C., Topaloglu, F., Topcu, S., and Kaman, H. (2012). Mandarin yield response to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 1-10.
- Kriedemann, P.E., and Barrs, H.D. (1981). Citrus orchards. In: Kozlowski T. T. (ed), *Water deficits and plant growth: woody plant communities* (Vol. VII), Academic Press, New York, USA, 325-418.
- Kriedemann, P. E., and Goodwin, I. (2003). *Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying* (Irrigation insights No. 4). Canberra: Land and Water Australia.
- Kusakabe, A. (2011). *Partial rootzone drying in Florida Citrus: Physiological Responses*. Master Of Science Degree Thesis, University of Florida, Gainesville.
- Lovatt, C.J., Faber, B., Cockerham, S., and Roberts,

- P.A. (2011). Citrus yield and fruit size can be sustained for trees irrigated with 25% or 50% less water by supplementing tree nutrition with foliar fertilization. In: Lewis, E.A., and Hard, E.J.(eds.).*19th Annual Fertilizer Research and Education Program Conference Proceedings*, Nov. 16–17,Tulare, California, USA, 86-93.
- Maroco, J. P., Pereira, J. S., and Chaves, M. M. (1997). Stomatal responses to leaf-to-air vapour pressure deficit in sahelian species. *Australian Journal of Plant Physiology*, 24, 381–387.
- Masoudian, S. A. A. F. (2009). Precipitation regions of Iran. *Journal of Jeograohic and Development*, 13, 79-91. (In Farsi)
- Miri, F. S., Shahnazari, A. Ziatabar-Ahmadi, M. Kh., and Zabardast-Rostami, H. A.(2014). Effect of regulated deficit irrigation and partial root-zone drying on Orange fruit yield and quality. *Journal of Horticultural Science*, 28(1), 80-86. (In Farsi)
- Modarres, R., and Sarhadi, A. (2009). Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century. *Journal of Geophysical Research*, 114(D3), 1-9.
- Monteith, J. L. (1995). A reinterpretation of stomatal responses to humidity. *Plant, Cell and Environment*, 18, 357–364.
- Nicolas, E., Barradas, V. L., Ortuno, M. F., Navarro, A., Torrecillas, A., and Alarcon, J. J. (2008). Environmental and stomatal control of transpiration, canopy conductance and decoupling coefficient in young lemon trees under shading net . *Environmental and Experimental Botany*, 63, 200–206.
- Ortuna, M. F., Alarcon, J. J., Nicolas, E., and Torrecillas, A. (2004). Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. *Plant Science*, 167, 275-280.
- Ortuno, M. F., Garcia-Orellana, Y., Conejero, W., Ruiz-Sanchez, M. C., Mounzer, O., Alarcon, J. J., and Torrecillas, A. (2006). Relationships between climatic variables and sap flow, stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. *Plant and Soil*, 279, 229–242.
- Pérez-Pérez, J. G, Dodd, I. C., and Botia, P. (2012). Partial rootzone drying increases water-use efficiency of lemon Fino 49 trees independently of root-to-shoot ABA signaling. *Functional Plant Biology*, 39, 366–378.
- Raveh, E., Cohen, S., Yakir, T. R. D., Grava, A., and Goldschmidt, E. E. (2003). Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. *Journal of Experimental Botany*, 54(381), 365-373,
- Romero-Conde, A., Kusakabe, A., and Melgar, J. C.(2013). Physiological Responses of Citrus to Partial Rootzone Drying Irrigation Strategies. In: proceedings of *ASHS Annual Conference* , July 24–28, Palm Desert, California, USA, 250
- Sdoodee, S, and Somjun, J. (2008). Measurement of stem water potential as a sensitive indicator of water stress in neck orange (*Citrus reticulata* Blanco). *Songklanakarin Journal of. Science and Technology*, 30 (5), 561-564.
- Shahabian, M., Samar, S. M., Talaie, A., and Emdad, M. R. (2011). Response of orange trees to deficit irrigation strategies in the north of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Retrieved July 10, 2011, from <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2010.517198>
- Stoll, M., Loveys, B., and Dry, P. (2000). Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 5, 1627-1634.
- Syvvertsen, J. P., and Lloyd, J. (1994). Citrus. InB. Schaffer and P. C. Andersen (Eds), *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops: Sub-Tropical and Tropical Crops (Vol. II)*,CRC Press,Boca Raton, Florida, 65–101
- Tahi, H., Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchich, B., Serraj, R., and Centritto, M. (2007). Water relations, photosynthesis, growth and water-use efficiency in tomato plants subjected to partial rootzone drying and regulated deficit irrigation. *Plant Biosystems*, 141(2), 265– 274.
- Turner, N.C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58, 339-366.
- Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchich, B., Tahi, H., and Serraj, R. (2005). Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate; I. Physiological and agronomic responses. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, 289–301.