تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۵، مرداد ماه ۱۳۹۹ (ص ۱۱۳۶-۱۱۲۷)
DOI: 10.22059/ijswr.2020.291010.668359

The Effect of Deficit Irrigation and Partial Root Zone Drying Irrigation on Tree and Fruit Growth Characteristics of Valencia Orange

MASOOMEH SOLGI[1], SEYYED EBRAHIM HASHEMI GARMDAREH[1*], HORMOZ EBADI[2]
1. Department of Irrigation and Drainage, Collage of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran
(Received: Nov. 19, 2019- Revised: Jan. 17, 2020- Accepted: Feb. 22, 2020)

ABSTRACT

Due to poor seasonal distribution of rainfall in Mazandaran province and shortage of water resources for citrus irrigation in recent years, these trees are generally subject to water stress in the warm seasons. In order to study water deficite stress on quantitative and qualitative yield of oranges, a completely randomized block design with four treatments and four replications was conducted at Ramsar citrus and subtropical fruits research center in 2018-2019. Experimental treatments included full irrigation (FI), deficite irigation (DI), partial rootzone drying irrigation (PRD) and fixed partial rootzone drying irrigation (FPRD) at 50% level of full irrigation. At the end of study, quantitative and qualitative characteristics of tree and fruit, including leaf relative swelling, leaf water potential, length and branch diameters, fruit diameter, relative growth rate of the fruit, leaf elements, weight of the shed fruits and width and thickness of skin and fruit volume, yield, vitamin C, soluble solids (TSS), titrable acidity (TA), color index (Chroma, CI, h, L) were measured and the comparisons between treatments were performed by SNK test at 5% level. The results showed that there was no significant differences between treatments in terms of shoot length and diameter, amount of leaf elements, relative water content of leaves, and fruit weight. Although, there was no significant difference among treatments in terms of fruit quality, but PRD, FPRD and DI treatments had good quality compared to FI treatment. Comparison of leaf water potential of relative growth rate and fruit diameter showed significant differences among treatments. FPRD, PRD and DI methods reduced water consumption and increased water use efficiency. Regarding to the fruit color index, the highest fruit market value was observed in DI method. The PRD method slightly reduced fruit weight but increased TSS and TA, which are important in fruit juice production.

Keywords: Soluble solid, valencia orange, deficite irrigation, partial rootzone drying

*Corresponding Author's Email: sehashemi@ut.ac.ir

تاثیر کم‌آبیاری و آبیاری بخشی ریشه بر خصوصیات رشدی درخت و میوه پرتقال والنسیا

معصومه سلگی[۱]، سید ابراهیم هاشمی گرمدره[۱*]،هرمز عبادی[۲]

۱. گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. پژوهشکده مرکبات و میوه های نیمه گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۲۸- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۲/۳)

چکیده

با توجه به پراکنش فصلی نامناسب بارش در استان مازندران و کمبود منابع آب برای آبیاری مرکبات در سالهای اخیر، عموماً این درختان در فصول گرم سال تحت تنش آبی قرار می‌گیرند. به منظور بررسی تنش آبی بر عملکرد کمی و کیفی پرتقال، پژوهشی در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با چهار تیمار و چهار تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری شهرستان رامسر در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری (DI) آبیاری بخشی ریشه (PRD) و آبیاری بخشی ریشه بدون جابجایی (FPRD) در سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل بودند. در پایان مطالعه خصوصیات کمی و کیفی درخت و میوه شامل آماس نسبی برگ، پتانسیل آب برگ، طول و قطر شاخه، قطر میوه، سرعت رشد نسبی میوه، عناصر موجود در برگ، وزن میوه‌های ریخته‌شده، طول و عرض و ضخامت پوست و حجم میوه، عملکرد، ویتامین C، مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، شاخص رنگ (L،h،CI،Chroma) اندازه‌گیری و مقایسه بین تیمارها براساس آزمون SNK در سطح پنج درصد انجام شد. نتایج نشان داد اختلاف بین طول و قطر شاخه، میزان عناصر موجود در برگ، محتوای نسبی آب برگ، وزن میوه‌های ریخته‌شده بین تیمارها معنی‌دار نبود. همچنین با توجه به اینکه بین تیمارها از نظر خصوصیات کیفی میوه تفاوت معنی‌دار نبود ولی هر سه تیمار PRD، FPRD و DI ازکیفیت خوبی نسبت به FI برخوردار بودند. مقایسه مقدار پتانسیل آب برگ، سرعت رشد نسبی و قطر میوه بین تیمارها، تفاوت معنی‌داری را نشان داد. روش‌های FPRD، PRD و DI سبب کاهش مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب شدند. با توجه به شاخص رنگ میوه، بیشترین میزان بازارپسندی میوه در روش DI مشاهده گردید. روش PRD باعث کاهش اندکی در وزن میوه شد ولی باعث افزایش میزان TSS وTA گردید که در تولید آب میوه بسیار مهم می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: مواد جامد محلول، پرتقال رقم والنسیا، کم‌آبیاری، آبیاری بخشی ریشه

مقدمه

مرکبات گیاهانی همیشه سبز هستند که در سراسر سال نیاز به آب دارند و به منظور افزایش تحمل به کم‌آبی، در زمان‌هایی اعمال تنش آبی به منظور برانگیختن واکنش‌های فیزیولوژیکی امری حیاتی بشمار می‌آید (Hutton *et al.*, 2007). مرکبات در ایران در مقایسه با سایر محصولات، بیشترین مقدار تولید را دارند. این محصولات با سهم ۱۰/۵ درصدی از سطح زیر کشت و ۲۶/۵ درصدی از تولید رتبه اول تولید را در بین محصولات باغی کشور دارا می‌باشند و استان مازندران بیشترین تولید آن را در بین استان‌های کشور دارا می‌باشد (Ministry of Agriculture-Jahad, 2016). با توجه به کاهش منابع آبی در اکثر مناطق کشور توجه به مدیریت بهینه نیاز آبی این محصول روز به روز حیاتی تر می‌شود. استان مازندران با دارا بودن میانگین بارشی در حدود ۵۷۰ میلی‌متر جزو استان‌های پرباران به شمار می‌آید (Masodian, 2009). با این حال پراکنش فصلی بارش در مازندران مناسب نیست و برای تولید اقتصادی نیاز به آبیاری تکمیلی گیاهان ضروری می‌باشد. ازطرف دیگر بدلیل توزیع نامناسب مکانی بارش در این استان، ذخیره، تامین و انتقال آب برای بسیاری از باغداران پرهزینه و غیرقابل اجرا است. خشکسالی‌های پیاپی، پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی و در نتیجه کاهش دسترسی به آب و افزایش هزینه آب سبب شده است که بهبود کارایی مصرف آب به عنوان یک هدف مهم در برنامه‌های تحقیقاتی و اجرایی در مازندران مد نظر قرار گیرد. پس از تبدیل روش‌های آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای در باغات مرکبات، راهکارهای کم‌آبیاری راه‌حل‌های موثر در ارتقای کارایی مصرف آب به حساب م آیند.

* نویسنده مسئول: sehashemi@ut.ac.ir

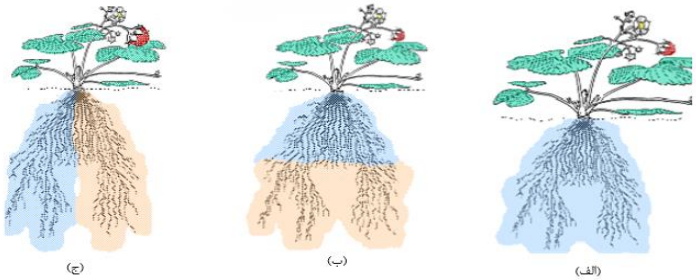
کم‌آبیاری از جمله راهکارهای سازگاری با مشکل کم‌آبی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید. کم‌آبیاری یک شیوه مدیریتی است که بر روی مجموعه سامانه آبیاری، الگوی کشت، نوع خاک، ابعاد کیفی و کمی منابع آب، مدیریت نیروی انسانی و ابعاد اقتصادی تاثیرپذیری و تاثیرگذاری گوناگونی دارد (Esmaili Dehkordi et al., 2011). هدف اساسی استفاده از کم‌آبیاری، افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه، از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر بار آبیاری یا حذف آبیاری‌هایی است که راندمان کمتری دارند (Kheirabi et al., 1996). آبیاری بخشی ناحیه ریشه (PRD) شکل بهبود یافته کم‌آبیاری است که در آن، منطقه ریشه به نواحی مختلف تقسیم شده و در هر بار آبیاری یک و یا چند ناحیه ریشه آبیاری شده و نواحی دیگر خشک رها می‌شود و این عمل به صورت تناوبی تکرار می‌شود (Shao *et al.*, 2008). در حقیقت PRD یک راهبرد نوین مدیریت آبیاری است که نیمی از ریشه در خاک خشک و نیمی دیگر در خاک آبیاری-شده قرار می‌گیرد (Ahmadi *et al.*, 2010). به این ترتیب علیرغم آبیاری کمتر و صرفه‌جویی در مصرف آب، گیاه در تمام فصل رشد خود قادر به جذب آب از ناحیه ریشه خواهد بود. PRD ابتدا در کشور استرالیا پایه‌گذاری و پس از آن تحقیقاتی در چین و دانمارک روی برخی گونه‌های سبزیجات از قبیل سیب‌زمینی و گوجه فرنگی و همینطور برخی درختان میوه همچون انگور انجام شد. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که در دوره‌های غیرحساس به خشکی، کم‌آبیاری با مصرف تنها ۷۰ تا ۹۰ درصد نیاز آبی می‌تواند باعث کاهش معنی‌دارمحصول نشود (Shahnazari *et al.*, 2005). آزمایش‌های PRD روی رشد برخی از انواع نهال‌های مرکبات در شرایط گلخانه بیانگر نتیجه‌ی متفاوت است. نتایج تحقیقات Melgar *et al.*, (2010) و Kusakabe *et al.* (2009) نشان دادند که بسیاری از پارامترهای رشد اندام هوایی و کارایی مصرف آب کل گیاه در PRD تفاوتی با آبیاری کامل نداشت ولی سبب افزایش رشد ریشه گردید.

شائو و همکاران Shao *et al.*, (2008) در بررسی اثر روش-های کم‌آبیاری معمولی و روش PRD روی فلفل قرمز، بیشترین کارایی مصرف آب را در روش PRD بدست آوردند. در بررسی انجام شده توسط Zegbe *et al.* (2004) روی تاثیر PRD بر عملکرد و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی کاهش معنی‌دار در نرخ فتوسنتز، وزن تر و خشک میوه نسبت به آبیاری کامل گزارش شده است. Hutton & Loveys (2011) در آزمایشی که بر روی مرکبات در استرالیا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که آبیاری بخشی ریشه علاوه بر افزایش کیفیت محصول کاهش جزیی در اندازه میوه دارد. در آزمایشی که توسط Dry *et al.* (1999) برای مقایسه دو تیمار کم‌آبیاری تنظیم‌شده و روش PRD بر روی انگور انجام شد، نشان دادند که کم‌آبیاری باعث کاهش وزن و اندازه حبه انگور شده و رسیدن میوه را به تاخیر می‌اندازد ولی آبیاری بخشی ریشه تاثیری بر این ویژگی‌ها و رسیدن محصول ندارد.

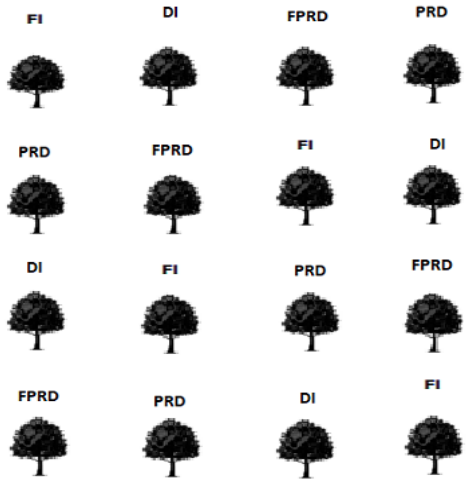
با توجه اهمیت مرکبات به خصوص محصول پرتقال در استان‌های شمالی و همچنین محدودیت منابع آبی استفاده از یک برنامه‌ریزی دقیق آبیاری برای بهبود وضعیت استفاده از آب لازم و ضروری می‌باشد. به همین منظور این پژوهش با هدف مقایسه اثر کم‌آبیاری و روش PRD به دو صورت با جابجایی متناوب و ثابت بر کمیت و کیفیت محصول وهمچنین تغییر برخی از خصوصیات گیاه، آماس و پتانسیل آب برگ اجرا شد.

مواد وروش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در پژوهشکده مرکبات و میوه-های نیمه گرمسیری واقع در رامسر با موقعیت جغرافیایی ۳۶,۹ درجه شمالی و ۵۰,۶۸ درجه شرقی اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک های کاملا تصادفی با ۴ تکرار و ۴ تیمار روی درختان پرتقال والنسیا بر پایه نارنج اعمال شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی (DI) که در همه دفعات آبیاری روی تمام ناحیه ریشه اعمال شد، آبیاری بخشی در سطح ۵۰ درصد که بصورت متناوب در یکی از دو طرف ریشه اعمال شد (PRD) و آبیاری بخشی ریشه بطور ثابت که فقط در یک سمت ناحیه ریشه درخت در سطح ۵۰ درصد (FPRD) بود (شکل ۱). بدین منظور در یک مزرعه تحقیقاتی درختان بالغ سالم که از نظر ظاهر و رشد دارای شرایط یکسان و مشابهی بودند برای این مطالعه انتخاب و تیمارها بر روی آنها اعمال شد. در شکل (۲) تیمارهای اجرا شده در این مطالعه بطور شماتیک نشان داه شد.



شکل ۱- شمای کلی الگوی (الف) آبیاری کامل (FI)، (ب) کم‌آبیاری (DI) و (ج) آبیاری بخشی ریشه بصورت متناوب و ثابت (PRD و FPRD)



شکل ۲- نمای شماتیک تیمار های اجرا شده در باغ

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پس از انتخاب درختان در مزرعه تحقیقاتی، خصوصیات خاک مزرعه، با نمونه برداری از خاک منطقه توسعه ریشه تعین شد. بافت خاک به روش هیدرومتری و نقاط پتانسیلی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم نمونه ها به وسیله دستگاه صفحات فشاری مشخص شد. جدول (۱) مشخصات فیزیکی خاک مزرعه تحقیقاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

عمق نمونه برداری (cm)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	رطوبت ظرفیت مزرعه (٪)	رطوبت نقطه پژمردگی دائم (٪)	EC (ds/m)	PH
۰-۳۰	۱/۵۸	۲۳/۶	۱۲/۷	۰/۵۷	۷
۶۰-۳۰	۱/۵۱	۲۵/۱	۱۳/۸	۰/۶۴	۷/۲
۹۰-۳۰	۱/۶۰	۲۴/۳	۱۳/۱	۰/۶۸	۷/۳

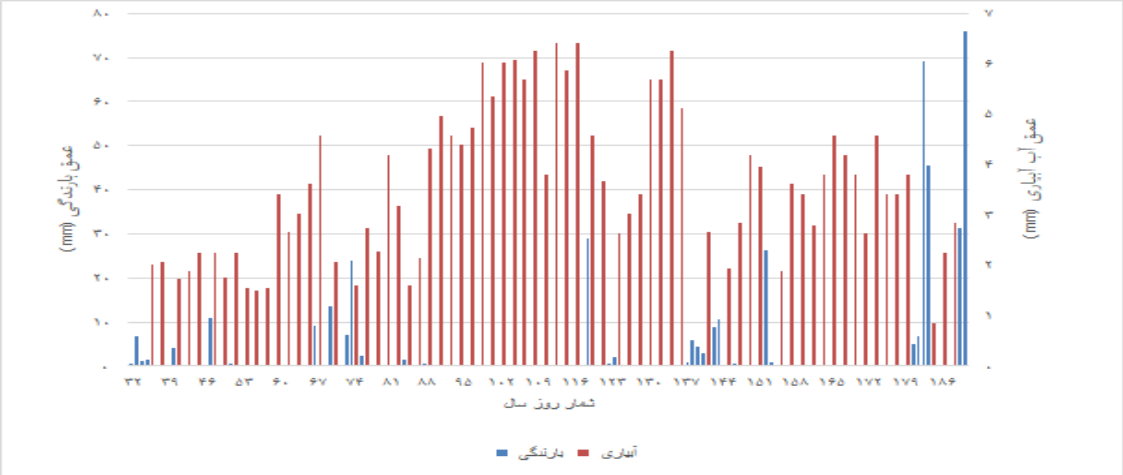
تیمارهای آبیاری

سیستم آبیاری مورد استفاده در این مطالعه از نوع قطره¬ای و تعداد قطره چکان‌های اختصاص داده شده به هر درخت برای آبیاری کامل شش قطره چکان با دبی ۴ لیتر بر ساعت بود که آبیاری تیمارهای آبیاری بخشی و کم‌آبیاری با تغییر در تعداد قطره‌چکان‌ها انجام شد. بر این اساس برای تیمارهای دیگر با ۵۰ درصد کم‌آبیاری سه قطره‌چکان در نظر گرفته شد.

تعیین نیازآبی با استفاده از پارمتر های هواشناسی و محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از روش پنمن مانتیث و اعمال ضریب گیاهی (kc) انجام شد. اولین و آخرین روز آبیاری بترتیب اول اردیبهشت و سوم مهر بود (شکل ۳). در دوره‌هایی که بارندگی رخ نداد، دور آبیاری برای تمامی تیمارها دو روز بود و مقدار آبیاری براساس جبران کمبود رطوبت خاک تا ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود. با توجه به حساسیت مرکبات به تنش کم‌آبی در دوره گل‌دهی و مرحله‌های رشد میوه اعمال تیمارهای آبیاری از اردیبهشت شروع شد. عملیات داشت (سم‌پاشی، کوددهی و مبارزه با علف-های هرز) به صورت یکسان برای همه تیمارها در زمان مورد نیاز انجام شد. با نصب جریان سنج حجمی (کنتور) در ابتدای هر مانیفلد، آب داده‌شده به تیمارها در هر بار آبیاری، اندازه‌گیری و ثبت می‌گردید. شکل (۳) میزان، بارندگی و آبیاری اعمال شده در طول دوره مطالعه را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری‌ها

در طول دوره مطالعاتی قطر و طول شاخه‌ها در دو مرحله ابتدا و انتهای فصل با استفاده از کولیس دیجیتالی و متر و گنجایش آماس نسبی و پتانسیل آب برگ در پایان فصل اندازه‌گیری شد. قطر میوه‌ها از زمان ریزش طبیعی تا پایان رشد سریع هر ۱۵ روز یکبار و پس از رنگ‌گیری هر ۳۰ روز یکبار اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن میوها و برداشت، به منظور تعیین طول و عرض میوه و ضخامت پوست با استفاده از کولیس دیجیتالی و حجم میوه با استفاده از روش غوطه‌وری در آب تعیین شد. میزان مواد جامد محلول (TSS) با قراردادن دو قطره از آب میوه در عدسی دستگاه رفراکتومتر چشمی و ویتامینC و میزان اسیدیته کل (TA) با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد.



شکل۳- تغییرات میزان عمق بارندگی و آبیاری در طول دوره مطالعاتی

آنالیز آماری

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون SNK با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۱ انجام شد.

نتایج و بحث

براساس مقادیر ثبت شده از جریان سنجهای حجمی، آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل، ۳۵۰ میلی‌متر و در تیمارهای PRD، FPRD و DI بترتیب ۱۷۵/۳، ۱۷۶/۷ و ۱۷۵/۸ میلی‌متر بود. نتایج مربوط به متغیرهای گیاهی در زیر بطور جداگانه ارائه می‌شود:

محتوی نسبی و پتانسیل آب برگ

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد بیشترین و کمترین محتوی نسبی آب برگ به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری کامل و آبیاری بخشی ریشه (PRD) بود، گرچه این تفاوتها معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مطالعه Xu *et al.* (2009) با کاربرد روش آبیاری PRD به صورت تناوبی بر روی تغییرات فیزولوژیکی گیاه گوجه فرنگی نشان داد که تغییرات پتانسیل اسمزی در طی استفاده از این روش آبیاری باعث شده است که آماس سلول¬های برگ بیشتر از مقدار معمولی باشد که باعث افزایش مقاومت گیاه به پژمردگی می‌گردد.

جدول ۲- اثر روش های آبیاری بر محتوی نسبی آب و پتانسیل آب برگ

تیمارها	محتوای نسبی آب برگ (%)	پتانسیل آب برگ (بار)
PRD	۷۸/۶۹ ^{a}	۲۰/۸^{ab}
DI	۸۲/۷۶^{a}	۲۲/۶۶^{a}
FPRD	۷۹/۱۷^{a}	۲۰/۱۶^{ab}
FI	۸۵/۶۵^{a}	۱۸/۷۵^{b}

از نظر پتانسیل آب برگ، تفاوت بین تیمار کم‌آبیاری (DI) و آبیاری کامل معنی دار بود و بیشترین میزان پتانسیل آب برگ در تیمار کم‌آبیاری و کم ترین آن در آبیاری کامل دیده شد. همچنین بین دو تیمار آبیاری بخشی ریشه (APRD, FPRD) تفاوتی معنی¬دار مشاهده نشد. در آزمایشی که توسط Abrisqueta *et al.* (2008) بر روی گیاه زیتون در مراکش انجام شد تفاوت معنی داری در پتانسیل آب برگ PRD100 با شاهد وجود نداشت در حالی که کاهش ۵۰ درصدی آب به نیمی از منطقه ریشه (PRD50) موجب کاهش معنی دار پتانسیل آب برگ در طی دوره می‌شود. Xu *et al.* (2009) با کاربرد آبیاری PRD به صورت تناوبی تغییرات فیزولوژیکی گوجه فرنگی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعات نشان داد که تغییرات پتانسیل اسمزی در طی استفاده از این روش آبیاری باعث شده آماس سلول های برگ بیشتر از مقدار معمولی باشد که باعث می‌شود گیاه به پژمردگی مقاومت بیشتری نشان دهد .تجزیه و تحلیل پتانسیل های آب برگ نشان می‌دهد که پتانسیل اسمزی آبیاری بخشی ریشه نسبت به آبیاری کامل مقدار بیشتری داشته که باعث می-شود پتانسیل آب برگ بیشتر شود. Du *et al.* (2010) استفاده از روشهای کم‌آبیاری کنترل شده و آبیاری بخشی ناحیه ریشه باعث ایجاد پتانسیل بیشتر برای ذخیره و نگهداشت آب و بهبود اقتصادی محصول وکارایی مصرف آب در گیاهان زراعی می‌شود.

طول و قطر شاخه

مقایسه میانگین طول و قطر شاخه‌ها در جدول (۳) نشان می‌دهد که روشهای آبیاری بخشی و کم‌آبیاری سبب کاهش طول و قطر شاخه نسبت به آبیاری کامل نشده است ولی تفاوت دو روش آبیاری بخشی (PRD, FPRD) با هم از نظر طول شاخه معنی‌دار بود. Taherkhani *et al.*, (2009) به این نتیجه رسیدند تاثیر روش

آبیاری PRD با آبیاری FPRD در درختان انگور بر طول شاخه‌های اصلی در سطح پنج درصد و در طول شاخه‌های فرعی در سطح یک درصد معنا دار بوده است و خشکاندن قسمتی ازمنطقه ریشه (FPRD) باعث کاهش رشد رویشی گیاه انگور گردید و رشد شاخه‌های اصلی به میزان ۸ درصد و رشد شاخه‌های فرعی به میزان ۳۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش پیدا کرد و باعث کاهش تراکم تاج و افزایش کیفیت میوه گردید. Kusakabe *et al.*, (2009) با آزمایش بر روی دانهال‌های کاریز و سیترنج در خاک اتوکلاو شده در گلخانه نشان داد که رشد شاخه‌ها در بین تیمارهای PRD و FPRD با آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری نداشتند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر روش آبیاری بر طول و قطر شاخه درختان پرتقال والنسیا

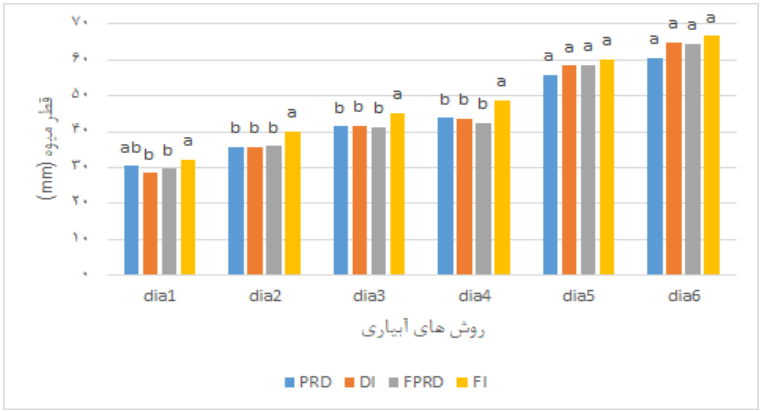
تیمارها	طول شاخه (cm)	قطر شاخه (mm)
PRD	۲۲/۳۲^{a}	۳/۳۵^{a}
DI	۱۸/۶۸^{ab}	۳/۳۷^{a}
FPRD	۱۵/۹۱^{b}	۳/۶۶^{a}
FI	۲۰/۴۱^{ab}	۳/۳۵^{a}

قطر میوه

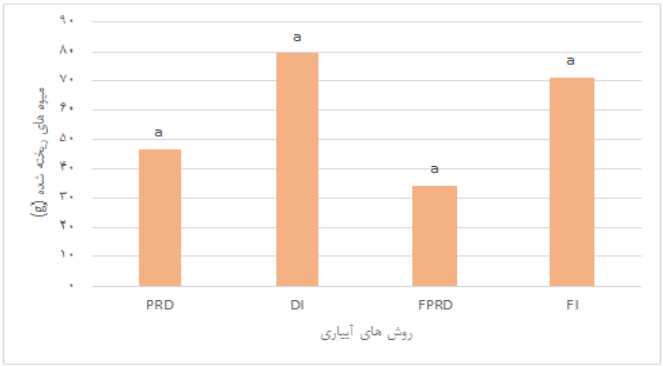
قطر میوه‌های تیمارها در شش مرحله و در طول دوره رشد اندازه‌گیری گردید (شکل ۴). مطابق شکل، قطر میوه‌ها در تیمار آبیاری کامل در تمامی مراحل دارای بیشترین مقدار بوده است. با توجه به شکل، میزان قطر میوه در آبیاری کامل در دوره اول با آبیاری PRD و DI و در مراحل دوم تا چهارم نمونه‌برداری با همه تیمارها اختلاف معنی‌داری دارد. با این حال در دو دوره پایانی نمونه‌برداری هیچ یک از تیمارها با یکدیگر اخلاف معنی‌داری ندارند. Sadatmiri *et al.*, (2014)) به نتیجه مشابهی در این خصوص دست یافتند که بین کم‌آبیاری و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری از لحاظ وزن و کوچک‌شدن میوه وجود دارد. از دلایل کاهش وزن میوه در این روش می‌توان به کاهش فتوسنتز و کاهش حجم سلول‌ها تحت شرایط کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل اشاره کرد، به صورتی که کمبود آب و خشکی موجب کاهش فعالیت بیوشیمیایی فتوسنتز درخت شده و با در اختیار گرفتن مقدار کربوهیدرات کمتر در اختیار میوه، حتی می‌تواند باعث توقف رشد میوه شود.

وزن میوه‌های ریخته‌شده

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها به ترتیب بیشترین و کمترین میزان ریزش میوه در تیمار DI و FPRD و به مقدار ۷۹/۴۳ و ۳۴/۴۸ گرم بوده است ولی بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی-داری وجود نداشته است (شکل ۵).



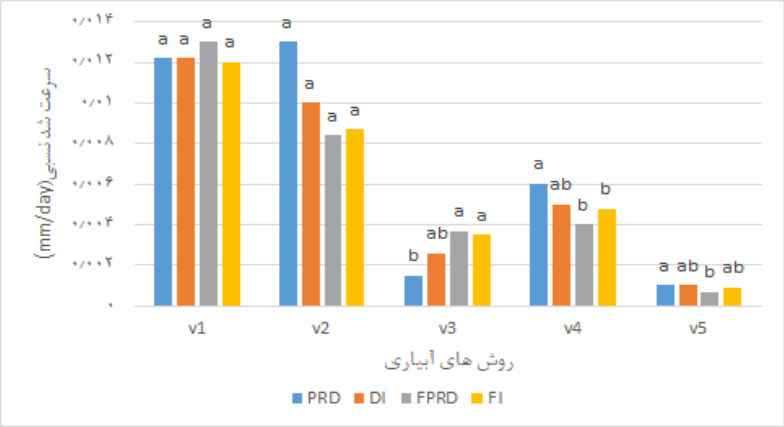
شکل ۴- اثر روش‌های آبیاری بر قطر میوه در طی اعمال تیمار



شکل ۵- اثر روش‌های آبیاری بر مقدار وزن میوه‌های ریخته‌شده در طی اعمال تیمار

سرعت رشد نسبی میوه

سرعت رشد نسبی میوه‌ها در ۵ مرحله در طول دوره رشد محاسبه گردید. مطابق شکل (۶) روش‌های آبیاری بر سرعت رشد نسبی میوه در دو مرحله اول با یکدیگر تفاوت معنی¬داری نداشته‌اند، ولی در سه مرحله دیگر بین تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌گردد. بطوریکه در مرسه سوم و چهارم و پنجم تیمار PRD با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری دارد. نتایج مچنین نشان داد در پایان دوره سرعت رشد تیمار PRD با بقیه تیمارها تفاوت معنی-داری دارد. (شکل ۵)



شکل ۶- اثر روش‌های آبیاری بر سرعت رشد نسبی میوه در طی اعمال تیمار

عناصر موجود در برگ

با اندازه‌گیری عناصر موجود در برگ تیمارها نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری روی سه عنصر فسفر و پتاسیم و نیتروژن موجود در برگ تیمارهای مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. Melgar *et al.*, (2010) با آزمایش بر روی دانهال‌های مرکبات به این نتیجه رسیدند که نیتروژن و پتاسیم موجود در برگ در دو تیمار کم‌آبیاری و شاهد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند وکم‌آبیاری باعث کاهش در میزان این دو عنصر شده درصورتی که PRD با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت.

خصوصیات کمی و کیفی میوه

تجزه واریانس خصوصیات کمی و کیفی شامل طول، عرض، ضخامت پوست، حجم میوه، وزن میوه، ویتامین C، مواد جامد محلول (TA) و شیرینی (TSS)، عملکرد و شاخص‌های رنگ (chroma, Cl, L and h) در جدول (۴) و مقایسه میانگین آنها در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس خصوصیات کمی و کیفی میوه و عملکرد در مرحله برداشت نشان داد که بین تیمار-ها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۴). باتوجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۵) هیچ اختلاف معنی‌داری بین پارامترهای کمی و کیفی گیاه با یکدیگر مشاهده نگردید. با این حال میانگین بیشترین مقادیر طول میوه، عرض میوه، حجم میوه، ضخامت پوست میوه، وزن میوه و ویتامین C در تیمار آبیاری FI مشاهده گردید و کمترین مقدار طول میوه، عرض میوه، حجم میوه، ضخامت پوست میوه، وزن میوه و ویتامین C به ترتیب در تیمارهای آبیاریPRD، FPRD، DI، FPRD، DI و DI مشاهده گردید (جدول ۵). همچنین مقادیر TSSو TA در تیمار PRD بیشترین و کمترین مقدار TA در DI و کمترین مقدار TSSدر تیمار FI مشاهده گردید.علاوه بر این مقادیر L، h و Chroma در تیمارهای FPRD و DI بیشتر از سایر تیمارها بود.

در مطالعه Hutton & Loveys (2011) استفاده از PRD به دو روش غرقابی و قطره‌ای به میزان حدود ۶۰ درصد آبیاری کامل روی درختان مرکبات سبب کاهش مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب مرکبات شد. این تکنیک سبب افزایش ریزش میوه نشد و بر عملکرد مرکبات تاثیر معنی¬دار نداشت. اندازه و درصد آب میوه کمی کاهش یافت ولی TSS و TA افزایش یافت. در این تحقیق PRD با مصرف آب کمتر، سبب افزایش کیفیت آب میوه شد ازاین رو می‌تواند در تولید آب میوه روش موثری باشد. تحقیقات Walid *et al.*, (2012)، Ginestar & Castel, (1996)، Pérez *et al.*,(2008) بر روی مرکبات نشان داد که با افزایش مقدار آبیاری، اندازه و وزن میوه افزایش و مواد جامد محلول و اسیدیته کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از آزمایش Sadatmiri et al. (2014) نشان داد که اعمال روش‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده وآبیاری بخشی ریشه علاوه بر صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی، باعث افزایش کیفیت میوه نسبت به تیمار آبیاری کامل می‌شود. به طور کلی آبیاری سبب کاهش مواد جامد محلول و افزایش رشد رویشی و عملکرد مرکبات می‌شود (Dasberg, 1992).

جدول ۴- تجزیه واریانس خصوصیات کمی و کیفی میوه پس از برداشت

منبع تغییرات	درجه آزادی	طول میوه (mm)	عرض میوه (mm)	حجم میوه (mm^3)	ضخامت پوست (mm)	وزن میوه (gr)	ویتامین (gr/100 gr)	TA (%)	TSS (%)	بهره وری (Kg/mm)	عملکرد (Kg)	Chroma	CI	L	H
تکرار	۳	۱۳/۰۲	۳/۵۷	۶۹۵/۹۸	۱/۲۶	۶/۹۲	۱۰	۰/۰۱۷	۰/۳۸	۰/۰۰۱	۲۲/۶۶	۱۱/۴۵	۱/۷۱	۱۲/۶۷	۱۲/۳۹
روش آبیاری	۳	ns۱۰/۴۷	ns۱۱/۹۶	ns۳۷۶/۲۳	ns۰/۱۱	ns۸/۳۷	ns۳/۵۵	ns۰/۰۱۴	ns۰/۲۷	$**$۰/۰۲	ns۵۱/۰۳	ns۱۰/۹۶	ns۰/۸۳	ns۸/۳۷	ns۹۶/۲
خطا	۹	۱۸/۷۱	۱۳۳/۴۷	۵۶۳/۵۵	۰/۳۲	۷/۷۹	۱۰/۹۹	۰/۰۱۴	۰/۳۸	۰/۰۰۲	۱۲۷	۷/۹۶	۰/۴۴	۵/۳۳	۳/۰۸

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات کمی و کیفی میوه پس از برداشت

تیمار	طول میوه (mm)	عرض میوه (mm)	حجم میوه (mm^3)	ضخامت پوست (mm)	وزن میوه (gr)	ویتامین (gr/100 gr)	TA (%)	TSS (%)	بهره وری (Kg/mm)	عملکرد (Kg)	Chroma	CI	L	H
PRD	a۶۰/۷۴	a۶۷/۳۰	a۱۴۳/۰۲	a۳/۳۰	a۶۵/۷۵	a۱۹/۴۳	a۱/۱۷	a۱۱/۷۰	a۰/۳۳	a۵۷/۸۷	a۷۵/۷۳	a۴/۶۸	a۶۲/۳۵	a۷۳/۸۴
DI	a۶۲/۴۵	a۶۴/۵۳	a۱۴۲/۵۶	a۳/۲۴	a۶۳/۲۸	a۱۹/۳۸	a۱/۰۴	a۱۱/۶۵	a۰/۳۳	a۵۹/۳۷	a۷۷/۸۱	a۳/۸۶	a۶۴/۵۱	a۷۶/۰۷
FPRD	a۶۳/۹۱	a۶۳/۴۲	a۱۴۹/۴۸	a۳/۱۲	a۶۴/۳۵	a۱۹/۶۲	a۱/۱۴	a۱۱/۲۵	a۰/۳۳	a۵۸/۱۷	a۷۷/۱۱	a۳/۹۴	a۶۴/۴۳	a۷۵/۹۵
FI	a۶۴/۳۸	a۶۶/۲۳	a۱۶۳/۳۶	a۳/۵۳	a۶۶/۵۳	a۲۱/۳۵	a۱/۱۶	a۱۱/۲۰	a۰/۱۸	a۶۵/۵۰	a۷۴/۰۶	a۴/۶۹	a۶۱/۶۷	a۷۳/۸۷

تجزیه واریانس بین تیمارهای مختلف بهره‌وری آب مصرفی دارای تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد بود (جدول ۴). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که آبیاری کامل نسبت به سه تیمار دیگر کمترین میزان بهره‌وری را داشته و سه تیمار دیگر تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۵). Sotiropoulos *et al.* (2010) در آزمایشی اثر کم‌آبیاری را در مرحله دوم رشد و پس از برداشت محصول بر روی درخت هلو در طی دو سال بررسی کردند و در این آزمایش کیفیت میوه، پتانسیل آب برگ، میزان فتوسنتز وبهره‌وری را اندازه گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که کم‌آبیاری در مرحله دوم از رشد بر روی بهره‌وری درخت هلو تاثیر نمی‌گذارد در صورتی که کم‌آبیاری باعث شد که وزن میوه تازه و خشک شده، اندازه و پتانسیل اب برگ کاهش یابد. در مقایسه با

تیمار شاهد میزان مواد جامد محلول و اسیدیته را افزایش داده ولی روی استحکام میوه تاثیری نداشت. همچنین Senyigit & Ozdemir (2011) برای آبیاری درختان سیب سرخ از دو تیمار شاهد وکم‌آبیاری و دو تیمار PRD شامل جابجایی جوی‌های مرطوب‌شده بعد از هر مرتبه آبیاری (PRDI) وجابجایی جوی‌های مرطوب شده بعد از هر دو مرحله از آبیاری (PRDII) استفاده کردند و نتایج نشان دادکه کارائی مصرف آب در تیمارها به صورت PRDII>PRDI>DI>CI بوده است و مقدار آب آبیاری کاربردی در DI، PRDI و PRDII به میزان ۵۰ درصد از آبیاری کامل بوده است. همچنین تیمارهای PRD کیفیت میوه را نسبت به کم-آبیاری تنظیم‌شده کاهش نمی‌دهد. سه آزمایش میدانی Nouna *et al.* (2016) در طی سه دوره فصل رشد در سال‌های ۲۰۰۹ ، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ برای ارزیابی اثر PRDهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد از FI بر ماده خشک و عملکرد، مصرف آب و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی انجام شد که نشان داد در FI و PRD60 تفاوت معنی-داری نسبت به عملکرد غده وجود ندارد و بیشترین کارایی مصرف آب در PRD60 و برابر با ۱۳/۴ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۲۰۱۰ و کمترین آن در PRD80 و برابر با ۶/۸ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۲۰۰۹ بدست آمد و از سوی دیگر نشان داد که بین کل ماده خشک انباشته شده و مقدار آب انباشته شده رابطه خطی برقرار است. Ravish Chandra *et a.* (2018) عملکرد محصول و بهره‌وری آب مصرفی ذرت را با استفاده از تیمارهای آبیاری FI، PRD،FPRD وDI را محاسبه نمودند. نتایج بدست آمده نشان داد که عملکرد دانه با افزایش سطح آبیاری افزایش یافت و کاهش عملکرد در تیمار PRD در مقایسه با تیمار شاهد ۹/۵ درصد بود و از نظر عملکرد تیمار PRD نسبت به تیمارهای DI و FPRD برتر است. این تیمار بالاترین میزان بهره‌وری آب را داشته است. تیمار PRD با ارزش ۲۸۹/۳۸ کیلوگرم هکتار در سانتیمتر بیشترین و تیمار FI با ارزش ۱۴۸/۸ کیلوگرم هکتار در سانتیمتر کمترین میزان بهره‌وری آب را داشته است. میزان عملکرد درتیمارهای آبیاری کامل بیشترین مقدار را دارا بودند.

نتیجه‌گیری

اثر روش‌های آبیاری بر خصوصیات کمی میوه (وزن، طول، عرض، ضخامت پوست حجم و عملکرد) وخصوصیات مربوط به درخت (محتوای نسبی، پتانسیل آب برگ، قطر میوه در چند مرحله، سرعت رشد میوه، طول و قطر شاخه‌ها، وزن میوه‌های ریخته شده و عناصر موجود در برگ درخت) نشان داد که دو تیمارPRD وFPRD دارای ارزش یکسانی بوده و نسبت به تیمار DI بهتر بودند ولی نسبت به آبیاری کامل در رده دوم قرار گرفتند. همچنین اثر روش‌های آبیاری بر روی خصوصیات کیفی (ویتامین C، TSS ، TA، Choroma، L، h، CI) نشان داد که سه تیمار PRD، FPRD و DI دارای اثرات یکسان و نسبت به تیمار FI از نظر کیفی عملکرد بهتری داشتند. با توجه به اینکه تیمارهای PRD باعث کاهش وزن میوه نسبت به تیمار آبیار کامل شده ولی میزان TSS و TA را افزایش داد که در تولید آب میوه امری مهم بشمار می‌آید. به طور کلی نتایج حاکی از آن است که اعمال تیمارهای PRD، FPRD و DI علاوه بر افزایش وکیفیت میوه، باعث صرفه جویی در میزان آب مصرفی و افزایش معنی‌داری در بهره‌وری آب نسبت به تیمار آبیاری کامل شدند.

REFERENCES

Abrisqueta, J., Mounzer, O., Álvarez, S., Conejero, W., García-Orellana, Y., Tapia, L., . . . Ruiz-Sánchez, M. (2008). Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. *Agricultural Water Management, 95*(8), 959-967.

Ahmadi, S. H., Andersen, M. N., Plauborg, F., Poulsen, R. T., Jensen, C. R., Sepaskhah, A. R., & Hansen, S. (2010). Effects of irrigation strategies and soils on field-grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. *Agricultural Water Management, 97*(10), 1486-1494.

Dasberg, S. (1992). Irrigation management and citrus production. *Proceedings of the international society of citriculture, Catnia, Italy*, 8-13.

Dry, P., Stoll, M., Mc Carthy, M., & Loveys, B. (1999). *Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops.* Paper presented at the III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 537.

Du, T., Kang, S., Sun, J., Zhang, X., & Zhang, J. (2010). An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. *Agricultural Water Management, 97*(1), 66-74.

Esmaili Dehkordi, M., Raeini Sarjaz, M., Ghatreh Samani, S. (2011). *The Effect of PRD and Full Irrigation on the Efficiency of Almond Tree Juice Consumption in Saman City*. Paper presented at the 4th Iranian Water Resources Management Conference, Tehran, Iran.

Ginestar, C., & Castel, J. (1996). Responses of young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. *Journal of Horticultural Science, 71*(4), 551-559.

Hutton, R., Landsberg, J., & Sutton, B. (2007). Timing irrigation to suit citrus phenology: a means of reducing water use without compromising fruit yield and quality? *Australian Journal of Experimental Agriculture, 47*(1), 71-80.

Hutton, R., & Loveys, B. (2011). A partial root zone drying irrigation strategy for citrus—effects on

water use efficiency and fruit characteristics. *Agricultural Water Management, 98*(10), 1485-1496.

Kheirabi, J., Tavakoli, A. R., Entesari, M. R., Salamat, A. R.,. (1996). *Low Irrigation Guidelines*: Iranian National Committee on Irrigation and Drainage

Kusakabe, A., Melgar, J. C., Dunlop, J., & Syvertsen, J. P. (2009). *Alternate and Fixed Partial Rootzone Drying Save Water in Citrus.* Paper presented at the HORTSCIENCE.

Masodian, s. (2009). Precipitation Regions of Iran. *Geography And Development Iranian Journal, 7*(13), 79-91. doi:10.22111/gdij.2009.1230

Melgar, J., Dunlop, J., & Syvertsen, J. (2010). Growth and physiological responses of the citrus rootstock Swingle citrumelo seedlings to partial rootzone drying and deficit irrigation. *The Journal of Agricultural Science, 148*(5), 593-602.

Ministry of Agriculture-Jahad, 2016. Agricultural Statistics, Volume 3: Horticultural products. Information and communication technology center, Ministry of Agriculture-Jahad, Tehran, 240

Nouna, B. B., Rezig, M., Bahrouni, H., & Ammar, H. B. (2016). Effect of partial root-zone drying irrigation technique (PRD) on the total dry matter, yield and water use efficiency of potato under tunisian semi-arid conditions. *Journal of Agricultural Science, 8*(7), 129-141.

Pérez-Pérez, J., Romero, P., Navarro, J., & Botía, P. (2008). Response of sweet orange cv 'Lane late'to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science, 26*(6), 519.

Ravish Chandra, S. K. J., Mukesh Kumar, A.K. Singh and Vinod Kumar. (2018). Comparative Effects of Deficit Irrigation and Partial Root Zone Drying (PRD) on Growth, Yield and Wateruse Efficiency of Rabi Maize. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7*(2), 1073-1080.

Sadatmiri, F., Shahnazari, A., Zia Tebar Ahmadi, M. Kh., Zebardast Rostami, H.,. (2014). The effect of regulated deficit irrigation and incomplete root irrigation on the quantitative and qualitative yield of orange fruit. *Journal of Horticultural Science, 28*(1), 80-86. Retrieved from https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=223636

Senyigit, U., & Ozdemir, F. O. (2011). Effects of partial rootzone drying and conventional deficit irrigation on yield and quality parameters of Williams Pride apple cultivar drafted on M9 rootstock. *Scientific Research and Essays, 6*(17), 3776-3783.

Shahnazari, A., Jensen, C. R., Liu, F., Jacobsen, S., & Andersen, M. N. (2005). *Partial root zone drying for water saving*. Paper presented at the Partial root zone drying for water saving.

Shao, G.-C., Zhang, Z.-Y., Liu, N., Yu, S.-E., & Xing, W.-G. (2008). Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper. *Scientia Horticulturae, 119*(1), 11-16.

Sotiropoulos, T., Kalfountzos, D., Aleksiou, I., Kotsopoulos, S., & Koutinas, N. (2010). Response of a clingstone peach cultivar to regulated deficit irrigation. *Scientia Agricola, 67*(2), 164-169.

Taherkhani, A., Golchin, A., Javid, F. (2009). *The effect of deficiite irrigation by drying part of root zone on yield and quality of grapes*. Paper presented at the National Conference on Sustainable Development Patterns in Water Management, Mashhad, Iran.

Walid, M. M. A. R., Radwan, Y. A., Malak, M. A., Tareq, O., & Nabeel, M. B. H. (2012). Impact of different irrigation levels and harvesting periods on the quantity and quality of Navel oranges (Citrus sinensis) and fruit juice. *Journal of Food, Agriculture and Environment, 10*(2), 115-119. Retrieved from https://www.wflpublisher.com/Abstract/2903

Xu, H. L., Qin, F. F., Du, F. L., Xu, Q. C., Wang, R., Shah, R. P., Li, F. M. (2009). Applications of xerophytophysiology in plant production – Partial root drying improves tomato crops. *Journal of Food, Agriculture and Environment, 7*(3&4), 981-988. Retrieved from https://www.wflpublisher.com/Abstract/2855

Zegbe, J., Behboudian, M., & Clothier, B. (2004). Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. *Agricultural Water Management, 68*(3), 195-206.