

اثر همزمان کم آبیاری تنظیم شده و سوپرجاذب بر رشد رویشی، عملکرد و کیفیت میوه آلودی ژاپنی رقم سانتاروزا^۱

Effects of Both Regulated Deficit Irrigation and Super Absorbent on the Vegetative Growth, Yield and Fruit Quality of Japanese Plum 'Santarosa'

یاسر خندان^{*}، رضا فتوحی قزوینی، محمود قاسم‌نژاد و محمدرضا خالدیان^۲

چکیده

در آبیاری درخت‌های میوه، استفاده از روش کم آبیاری تنظیم شده و نیز بهبود شرایط نگهداری آب خاک مهم است. به همین منظور در آزمایشی اثرهای هر دو کم آبیاری تنظیم شده و سوپرجاذب همزمان بر رشد رویشی، عملکرد، مقدار میوه بازارپسند و برخی ویژگی‌های کیفی میوه درخت‌های آلودی ژاپنی (*Prunus salicina*) رقم سانتاروزا بررسی شد. در مرحله سخت شدن هسته، درخت‌ها با سه سطح کم آبیاری شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰٪ تبخیر و تعرق گیاه (ETc) و چهار سطح سوپرجاذب صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم (برای هر درخت) تیمار شدند. در کم آبیاری تنظیم شده تفاوت رشد رویشی درخت‌ها در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود و مقدارهای مصرفی سوپرجاذب هم مانع از کاهش رشد رویشی نبود. مقدار عملکرد، پس از کم آبیاری تنظیم شده ۷۵٪ کاهش معنی‌داری پیدا نکرد ولی در سطح ۵۰٪ به صورت معنی‌داری کاهش یافت. مقدار عملکرد در تیمارهای ۷۵٪ و ۵۰٪ به ترتیب ۴۷ و ۴۶/۱۵ و ۳۵/۵۰ کیلوگرم در هر درخت بود. در حالی که مقدار میوه بازارپسند در تیمار کم آبیاری تنظیم شده ۷۵٪ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. تیمار کم آبیاری تنظیم شده تأثیر معنی‌داری روی اسید قابل تیتراسیون و ماده‌های جامد محلول، نسبت ماده‌های جامد محلول به اسیدیته و منیزیم در مقایسه با شاهد نداشت. مقدار کلسیم به دنبال کم آبیاری تنظیم شده افزایش محسوسی پیدا کرد و بیشترین مقدار کلسیم میوه‌های آلودی در کم آبیاری تنظیم شده ۵۰٪ مشاهده شد. به علاوه، مقدار فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و سفتی میوه‌های کم آبیاری در مقایسه با میوه‌های درخت‌های شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. در این پژوهش، برهمکنش اثرهای تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده و سوپرجاذب فقط برای فنل کل معنی‌دار بود. **واژه‌های کلیدی:** آلودی، سوپرجاذب، کم آبیاری، ویژگی‌های فیزیولوژیک.

مقدمه

ایران شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالانه ۲۵۲ میلی‌متر در سال دارد که این مقدار کم‌تر از یک سوم متوسط بارندگی جهان است (۱). افزایش کارایی مصرف آب با برنامه‌ریزی صحیح و به کارگیری روش‌های مناسب آبیاری دو راهکار استفاده بهینه از آب می‌باشند. قسمت بیشتر آب تجدیدپذیر کشور از در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و راندمان آبیاری در این بخش کم‌تر از ۴۰٪ می‌باشد (۲). کم آبیاری تنظیم شده در سال ۱۹۸۰ به عنوان فناوری کاهش قدرت رشد درخت و حفظ آب توسعه پیدا کرد (۶، ۷). محدودیت آب در مرحله پدیدشناسی که رشد میوه نسبت به کمبود آب خاک حساسیت کمی دارد اعمال می‌شود؛ در حالی که در دیگر زمان‌های فصل، آبیاری به صورت کامل انجام می‌شود. اگر کم آبیاری تنظیم شده به صورت صحیح به کار برده شود سبب کاهش مقدار آب مورد استفاده، کاهش رشد رویشی و هزینه‌های مربوط

۱- تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۴

۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار علوم باغبانی و دانشیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (ykhandany@yahoo.com)

به هرس، کاهش آبشویی آفتکش‌ها به داخل آب‌های زیرزمینی و بهبود کیفیت میوه می‌شود (۶). همچنین کاهش دوره‌ای آبیاری هزینه‌های تولید و آبشویی ماده‌های غذایی و قارچکش‌ها را به داخل آب‌های زیرزمینی کاهش می‌دهد (۱۴). یکی از هدف‌های عمده کم‌آبیاری تنظیم شده، محدود کردن بیشتر رشد شاخه‌ها است تا کربن بیشتری در اختیار مصرف‌کننده‌های زایشی مانند گل و میوه قرار گیرد (۱۵). کم‌آبیاری در میوه‌های هسته‌دار برای کنترل رشد رویشی و کاهش رقابت بین رشد رویشی و رشد میوه به کار برده می‌شود (۲۶). در بیشتر درخت‌های میوه دو لپه، رشد رویشی حساس‌ترین ویژگی به کاهش نیاز آبی می‌باشد (۱۷). دریک و همکاران (۸) ثابت کردند که اختلافی در مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون سیب در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده در طول فصل وجود ندارد، ولی در پژوهشی دیگر کاهش مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون در میوه‌های سیب در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده مشاهده شد (۱۰).

در میوه‌های هسته‌دار مرحله دوم رشد میوه (سخت شدن هسته) به عنوان مرحله مناسب اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده تعیین شده است (۱۹). در طول این مرحله رشد میوه به کمینه رسیده و در کل از کم‌آبیاری اثر نمی‌گیرد، ولی رشد شاخه‌ها می‌تواند کاهش یابد (۷). در رقم‌های زودرس، این مرحله (سخت شدن هسته) بسیار کوتاه است. در این رقم‌ها مرحله پس از برداشت طولانی است بنابراین این مرحله برای محدودیت آبیاری می‌تواند مناسب باشد ولی باید به اثرهای منفی احتمالی کم‌آبیاری پس از برداشت بر نمو جوانه گل (۱۲) و نگهداری ماده‌های ذخیره‌ای درخت توجه داشت. تنش آبی شدید در طول دوره پس از برداشت می‌تواند در رشد میوه در سال بعد اختلال ایجاد کند (۲۰).

در طول ۲۰ سال گذشته، آزمایش‌هایی مربوط به کم‌آبیاری تنظیم شده روی درخت‌های میوه انجام شده که برخی از آنها با نتیجه‌های نامطلوبی همراه بوده است (۶، ۱۹). واکنش‌های مختلف درخت‌های میوه به کم‌آبیاری تنظیم شده به برهمکنش بین محدودیت آب با عامل‌های خارجی (خاک و عامل‌های اقلیمی) و عامل‌های داخلی (وضعیت غذایی درخت، مقدار محصول و سامانه هرس) وابسته است (۶). استفاده از هیدروژل، مقدار رطوبت در دسترس ناحیه ریشه را در فاصله‌های طولانی‌تر بین آبیاری افزایش می‌دهد (۳)، همچنین مقدار آبی که به آسانی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، به صورت معنی‌داری به وسیله ژل بهبود می‌یابد (۲۱). کاربرد هیدروژل می‌تواند به صورت معنی‌داری نیاز به تکرار آبیاری را کاهش دهد (۴) و حتی سبب افزایش مقدار آب در دسترس نسبت به شاهد شود.

با توجه به کمبود آب به وجود آمده در کشور و اینکه بیشتر هدررفت آب در حوزه کشاورزی می‌باشد، راه حل‌های مختلفی برای مدیریت آب در کشاورزی مطرح شده است. یکی از این راه‌های مدیریتی، کاهش مصرف آب درخت‌های میوه است. این پژوهش نیز در همین راستا به منظور بررسی اثر کاهش مقدار بر رشد رویشی، عملکرد و ویژگی‌های کیفی میوه آلو انجام شد. همچنین از مقدار مختلف سوپرجاذب با فرض جبران کاهش مقدار آبیاری، استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در یک باغ تجاری آلوئی ژاپنی (*Prunus salicina*) رقم سانتاروزا روی پایه‌ی آلوچه، واقع در روستای کاظم‌آباد شهرستان نظرآباد استان البرز انجام شد. درخت‌ها شش ساله و با فاصله $4/5 \times 3/5$ متر بودند و با سیستم آبیاری قطره‌ای دو ردیفه، موازی با ردیف درخت‌ها و هر درخت با چهار قطره‌چکان آبیاری می‌شدند. برای آبیاری درخت‌ها، ابتدا بر اساس دوره آماری سی سال گذشته و با استفاده از روش پنمن-مانتیث، تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) محاسبه شد و میانگین نرمال به دست آمد؛ سپس ضریب گیاهی (K_c) از نشریه شماره ۵۶ فائو استخراج و نیاز آبی گیاه محاسبه شد. در ادامه مقدار ۷۵ و ۵۰٪ آبیاری محاسبه و به‌عنوان تیمارهای کم‌آبیاری برای گیاه مدنظر قرار گرفته شد. با استفاده از دو عامل زمان آبیاری و دبی قطره‌چکان‌ها

مقدار آب محاسبه شده در اختیار درخت‌های هر تیمار قرار گرفت و با روش پنمن-مانتیث مقادیرهای ET_0 و Kc تعیین شد (۵). درخت‌های مورد آزمایش هر ۷۲ ساعت یک نوبت آبیاری شدند و مقدار آبی که در هر نوبت آبیاری دریافت می‌کردند، بر اساس شرایط محیطی و بررسی‌های صورت گرفته متغیر بود. در این مطالعه خاک باغ محل آزمایش رسی-لومی بود و علف‌های هرز کف باغ با علف‌زن موتوری (Hitachi Petrol Brush Cutter Model CG24EAS) کف‌بر می‌شدند. میانگین سی ساله داده‌های هواشناسی، برخی عامل‌های اقلیمی منطقه و همچنین میانگین تبخیر و تعرق گیاه اصلی و ضریب گیاهی در دوره زمانی مشخص و مجموع بارندگی مؤثر و آبیاری مورد نیاز در طول دوره رشد آلو به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- میانگین ماهانه عامل‌های اقلیمی بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۳ شهرستان نظرآباد استان البرز.

Table 1. The monthly average of climatic factors between 1985 to 2014 in Nazar Abad, Alborz.

ماه Month	سرعت باد Wind speed ($m s^{-1}$)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	مجموع ساعات‌های آفتابی ماهانه The total of monthly sunshine hours	بارندگی ماهانه Monthly rainfall (mm)	میانگین ماهانه دما Average of monthly temperature ($^{\circ}C$)
فروردین April	2.5	55	389	39.1	14.2
اردیبهشت May	3.3	49	493	19.5	19.2
خرداد June	3.0	35	642	2.7	24.6
تیر July	3.5	22	680	3	27.1
مرداد August	3.9	19	674	1.2	26.8
شهریور September	3.4	24	603	1.6	22.9
مهر October	3.2	30	340	15.1	17.1
آبان November	3.1	42	160	27.7	9.9
آذر December	3.8	54	158	33.5	4.6
دی January	3.6	68	125	30.8	1.8
بهمن February	2.7	61	132	32.1	4.1
اسفند March	2.6	58	240	45.4	8.7

جدول ۲- میانگین تبخیر و تعرق گیاه اصلی، ضریب گیاهی در دوره زمانی مشخص، مجموع بارندگی مؤثر و آبیاری مورد نیاز در طول دوره رشد میوه آلو.

Table 2. The average of evapotranspiration (ETc) of the main plant, the crop coefficient (Kc) in a specified period, the total effective rainfall and the required irrigation during the growing season of plum fruit.

دوره رشد Growth period	مجموع تبخیر و تعرق Crop Evapotranspiration (mm dec ⁻¹)	ضریب گیاهی Crop coefficient (Coeff)	مجموع بارندگی مؤثر Total of effective rainfall (mm dec ⁻¹)	آبیاری مورد نیاز Requirement irrigation (mm dec ⁻¹)
اولیه Primary	28.15	0.8	25.2	29.8
توسعه Development	60.59	1	34.5	389.6
میانی Middle	66.67	1.2	10.7	522.7
انتهای Terminal	22.65	1.04	55.2	42.8

نیاز آبی خالص درخت‌های آلو در طول ماه‌های آزمایش از رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

ET_c = تبخیر و تعرق گیاه اصلی در دوره زمانی مشخص

K_c = ضریب گیاهی در دوره زمانی مشخص

ET_o = تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دوره زمانی مشخص

تیمارهای کم‌آبیاری از اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ همزمان با مرحله سخت شدن هسته تا موقع برداشت (میان‌مرداد ۱۳۹۴) اعمال شد. این پژوهش با تیمارهای کم‌آبیاری در سه سطح ۱۰۰٪ (شاهد)، ۷۵٪ و ۵۰٪ ET_c و تیمارهای سوپرچاد نیز در چهار سطح صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم برای هر درخت به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطح‌های تیمارهای کم‌آبیاری شامل شاهد (تأمین ۱۰۰٪ آب در طول فصل رشد و نمو میوه)، تأمین ۷۵٪ و ۵۰٪ آب در زمان سخت شدن هسته تا زمان برداشت بود. تیمارهای سوپرچاد همزمان با تیمارهای کم‌آبیاری اعمال شد. درخت‌های شاهد در هر ساعت ۳۲ لیتر آب دریافت می‌کردند؛ در حالی‌که درخت‌های کم‌آبیاری ۷۵٪ و ۵۰٪، به ترتیب ۲۴ و ۱۶ لیتر آب در هر ساعت دریافت می‌کردند. در این آزمایش ۵ ردیف درخت و در هر ردیف ۱۲ درخت انتخاب شد. ردیف‌های اول و دوم و سوم جهت اجرای تیمارها و دو ردیف دیگر به عنوان حاشیه بین درخت‌های مورد آزمایش در نظر گرفته شد. برای نمونه‌برداری، میوه‌ها از چهار جهت درخت انتخاب و جهت انجام اندازه‌گیری‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند. در ضمن برای اندازه‌گیری رشد شاخه‌های سال جاری از شاخه‌های هر چهار جهت درخت استفاده شد.

همزمان با برداشت میوه‌ها از چهار جهت درخت، شاخه‌هایی که در ظاهر طول و قطر مساوی داشتند انتخاب و طول آنها اندازه‌گیری شد. میوه‌هایی که اندازه بزرگ‌تر، شکل خوشایندتر، رنگ‌گیری بهتر، سفتی بافت بیشتر داشتند و بدون بیماری و آسیب پوستی بودند جدا و به عنوان میوه‌های بازارپسند وزن شدند. برای اندازه‌گیری سفتی بافت از دستگاه سفتی‌سنج (مدل Reign Instrument GY-2) استفاده شد. سفتی بافت بر اساس بیشترین نیروی لازم برای نفوذ میله در میوه بر حسب کیلوگرم در سانتی‌متر مربع محاسبه شد. مقدار ماده‌های جامد محلول با استفاده از عصاره‌ی صاف شده میوه‌ها و دستگاه قندسنج دیجیتالی (مدل Euromex RD635 Euromex Microscopen bv- Netherland) اندازه‌گیری و بر حسب درصد (درجه بریکس) بیان شد. برای

تعیین مقدار اسیدیته کل میوه، از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد (۲۷). به علاوه نسبت قند جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون محاسبه شد. اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسی‌متری انجام شد (۱۳).

ویژگی‌های زیست‌شیمیایی فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فنل کل مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصاره‌های پوست و گوشت با ۱۳۰ میکرولیتر آب مقطر و یک میلی‌لیتر فولین ۱۰٪ مخلوط و بعد از پنج دقیقه ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵٪ به آنها اضافه شد. محلول آماده شده به مدت ۱/۵ ساعت در تاریکی و در دمای اتاق نگهداری شد و سپس مقدار جذب آن در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار فنل کل نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد و بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید در گرم عصاره محاسبه شد (۹). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه از روش خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد ۲-۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل تعیین شد (۹). به طور خلاصه مقدار ۵۰ میکرولیتر عصاره با ۹۵۰ میکرولیتر محلول ۲-۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل مخلوط و سپس محلول تا رسیدن به شرایط یکنواخت در دمای اتاق و در شرایط تاریکی قرار داده شد. کاهش مقدار جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS مدل PG Instrument +T80) خوانده شد. در این بررسی تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتیجه‌های جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش اثر تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و سوپرچازب فقط برای ویژگی فنل کل معنی‌دار بود و در مورد ویژگی‌های دیگر معنی‌دار نبود. در بررسی اثرهای ساده تیمارهای کم‌آبیاری بر ویژگی‌های مورد بررسی مشخص شد که کم‌آبیاری سبب کاهش رشد شاخه‌های سال جاری و عملکرد شد. تیمارهای ۵۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی به ترتیب سبب کاهش ۲۰ و ۱۱ درصدی رشد شاخه‌های سال جاری در مقایسه با شاهد شدند؛ همچنین با تأمین ۵۰٪ نیاز آبی مقدار عملکرد در مقایسه با شاهد ۲۴٪ کاهش پیدا کرد. افزایش سفتی بافت میوه، مقدار کلسیم، فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار میوه قابل عرضه به بازار از نتیجه‌های دیگر این پژوهش بود. سطح‌های مختلف کم‌آبیاری بر ویژگی‌های کیفی ماده‌های جامد محلول، مقدار اسیدیته قابل تیتراژ و نسبت ماده‌های جامد محلول به اسیدیته و همین‌بر مقدار عنصر منیزیم تأثیر معنی‌داری نداشت.

با کاهش ۲۵ درصدی مقدار آب، رشد شاخه‌های سال جاری به صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت. تیمار ۵۰٪ نیز مقدار رشد شاخه‌ها را به صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش داد (جدول ۳) که با نتیجه‌های رمر و همکاران (۲۵) در کاهش قدرت و رشد انگور در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده مشابه است. کم‌آبیاری تنظیم شده بر اساس شدت و طول کاربرد و همچنین بسته به شرایط پدیدشناسی، رشد رویشی درخت‌ها را کاهش داد که قسمت قابل توجهی از این کاهش مربوط به کاهش طول و قطر شاخه‌ها بود (۲۳). استفاده از سوپرچازب، رشد شاخه‌های سال جاری را بهبود بخشید ولی این افزایش فقط در تیمار ۳۰۰ گرم سوپرچازب معنی‌دار بود و تیمارهای صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم اثری بر افزایش طول شاخه‌ها نداشتند (جدول ۴).

جدول ۳- اثر ساده کم آبیاری تنظیم شده (RDI) بر مقدار رشد شاخه‌های سال جاری، سفتی بافت میوه، ماده‌های جامد محلول (SSC)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، SSC/TA، کلسیم، منیزیم، فنل، عملکرد، ظرفیت آنتی اکسیدانی و مقدار میوه بازارپسند درخت‌های آلو رقم سانتاروزا.

Table 1. Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on the current season shoots growth, firmness of fruit tissue, solid soluble content (SSC), titrable acidity (TA), SSC/TA, calcium, magnesium, total phenol, yield, antioxidant and marketable fruits of plum fruits Santa Rosa cultivar.

ویژگی‌ها Traits	تیمارهای کم آبیاری RDI Treatments		
	شاهد 100% ETc	۷۵٪ نیاز آبی 75% ETc	۵۰٪ نیاز آبی 50% ETc
رشد شاخه Shoot growth (cm)	74.46 a†	66.43 b	59.57 c
سفتی Firmness (kg cm ⁻²)	3.03 b	4.05 b	4.98 a
مقدار قند SSC (Brix)	20.42 a	20.25 a	20.20a
اسید TA (%)	10.57 a	10.46 a	10.45 a
SSC/TA (Brix %)	1.97 a	1.94 a	1.92 a
کلسیم Calcium (%)	5.17 c	6.01 b	6.58 a
منیزیم Magnesium (%)	6.47 a	6.01 a	5.87 a
عملکرد Yield (kg)	47.00 a	46.15 a	35.50 b
ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity (%)	35.50 b	66.84 b	69.51 a
میوه بازارپسند Marketable fruits (kg)	32.33 b	35.50 a	33.08 b

† Means followed by similar letters in each column are not significantly different according to Duncan multiple range test.

‡ در هر ستون میانگین‌های بدون حرف مشابه، اختلاف معنی‌دار در آزمون چنددامنه ای دانکن دارند.

سفتی یکی از ویژگی‌های کیفی مهم میوه‌ی آلو است که مصرف کنندگان هنگام خرید به آن توجه زیادی می‌کنند. همچنین سفتی بیشتر باعث افزایش عمر انبارداری میوه‌ها می‌شود. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است تیمار کم آبیاری به صورت معنی‌داری باعث افزایش مقدار سفتی میوه‌های آلو در مقایسه با شاهد شد. سفت‌ترین میوه‌ها در تیمار کم آبیاری ۵۰٪ با سفتی به طور متوسط ۴/۹۸ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع، حاصل شد. در حالی‌که تیمار ۷۵٪ و شاهد (۱۰۰٪) به ترتیب با مقدار ۴/۰۵ و ۳/۰۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، سفتی کمتری نسبت به تیمار ۵۰٪ داشتند. یافته‌های پژوهشی ما با نتیجه‌های پلاسوکا و همکاران (۱۸) مطابقت دارد که بیانگر افزایش سفتی در تمام تیمارهای کم آبیاری بود. تیمارهای سوپر جاذب باعث کاهش معنی‌دار سفتی بافت میوه‌های آلو در مقایسه با شاهد شدند. به نظر می‌رسد که کاهش سفتی بافت به دلیل جذب آب آبیاری به وسیله سوپر جاذب باشد و اینکه تیمار سوپر جاذب تا حدودی کاهش آبیاری درخت‌ها را جبران کرد و میوه‌های آلو با جذب آب بیشتر در مقایسه با میوه‌های درخت‌های شاهد سفتی کمتری داشتند. کاهش مقدار کلسیم میوه در اثر سوپر جاذب، به احتمال از دیگر دلایل کاهش سفتی بافت میوه آلو باشد (جدول ۴).

کم‌آبیاری ۷۵٪ تأثیر معنی‌داری بر مقدار عملکرد نداشت ولی تیمار ۵۰٪ موجب کاهش معنی‌دار عملکرد در مقایسه با شاهد شد. این در حالی است که تیمار ۷۵٪ نیاز آبی سبب افزایش معنی‌دار مقدار میوه‌های بازارپسند در مقایسه با شاهد شد. کاهش عملکرد ناشی از کم‌آبیاری تنظیم شده فقط برای این آزمایش نیست. در آزمایشی که به مدت پنج سال روی درخت‌های هلو انجام شد، مقدار عملکرد کل و تعداد میوه در هر درخت در دو سال اول در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده کمتر از درخت‌های شاهد بود (۲۴). در آزمایشی دیگر نیز فناوری کم‌آبیاری، سبب کاهش معنی‌دار عملکرد شد (۱۷). سطح‌های مختلف سوپرچاذب برای جبران کاهش عملکرد مؤثر نبود.

جدول ۴- اثرهای سوپرچاذب بر مقدار رشد شاخه‌های سال جاری، سفتی بافت میوه، ماده‌های جامد محلول (SSC)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، SSC/TA، کلسیم، منیزیم، فنل، عملکرد، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار میوه بازارپسند درختان آلو رقم سانتاروزا.

Table 2. Effects of superabsorbent on the current season shoots growth, firmness of fruit tissue, solid soluble content (SSC), titrable acidity (TA), SSC/TA, Calcium, Magnesium, total phenol, antioxidant, yield and marketable fruits of plum fruits Santa Rosa cultivar.

ویژگی‌ها Traits	تیمارهای سوپرچاذب Superabsorbent treatments			
	شاهد Control	100 g	200 g	300 g
Shoot growth (cm) رشد شاخه	65.21 a†	62.70 b	63.52 b	65.20a
سفتی Firmness (kg cm ⁻²)	4.50 b	4.74 a	4.33 b	3.73 c
مقدار قند SSC (Brix)	21.49 a	19.26 a	20.37 a	19.57 a
اسید TA (%)	10.31 ab	9.78 b	10.74 ab	11.30 a
SSC/TA (Brix/%)	2.07 a	1.98 a	1.92 a	1.75 a
کلسیم Calcium (%)	6.06 c	6.49 b	6.27 b	6.92 a
منیزیم Magnesium (%)	6.13 a	6.02 a	5.87 a	5.92 a
عملکرد Yield (kg)	46.22 a	45.92 ab	45.18 b	45.60 ab
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity (%)	68.09 ab	68.32 a	67.59 ab	67.10 b
میوه بازارپسند Marketable fruits (kg)	35.11 a	34.83 ab	32.83 b	33.00 ab

† Means followed by similar letters in each column are not significantly different according to Duncan multiple range test.

‡ در هر ستون میانگین‌های بدون حرف مشابه، اختلاف معنی‌دار در آزمون چنددامنه ای دانکن دارند.

ویژگی‌های کیفی ماده‌های جامد محلول، اسیدیته قابل تیتر و نسبت ماده‌های جامد محلول به اسیدیته در تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده نسبت به شاهد تغییری نکردند. غلظت‌های سوپرچاذب بر مقدار اسیدیته و مقدار ماده‌های جامد محلول تأثیری نداشتند و فقط تیمار ۳۰۰ گرم به صورت معنی‌داری باعث افزایش مقدار اسیدیته قابل تیتر شد (جدول ۴). در یک پژوهش، درخت‌های هلو در سه تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ثابت قرار گرفتند که مشخص شد مقدار ماده‌های جامد محلول در کم‌آبیاری ثابت به صورت معنی‌داری بیشتر از دو تیمار دیگر بود در صورتی که اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم شده وجود نداشت و از نظر مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون نیز تفاوتی با شاهد نداشتند، که در نهایت منجر به افزایش نسبت

ماده‌های جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون شد (۱۱). نتیجه‌های حاصل از پژوهش پینیلوس و همکاران (۲۴) نیز که مشابه بودن مقدار ماده‌های جامد محلول میوه انگور را در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری کامل گزارش دادند با نتیجه‌های پژوهش ما مطابقت دارد.

کلسیم مهم‌ترین عنصری است که باعث سفت شدن میوه‌ها می‌شود و کاهش آن منجر به کاهش طول زندگی میوه‌ها می‌شود. کم‌آبیاری تنظیم شده سبب افزایش محسوس عنصر کلسیم شد. میوه‌های درخت‌ها در برابر تیمارهای ۵۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی، کلسیم بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد (۱۰۰٪) داشتند. یکی از وظیفه‌های عنصر کلسیم در میوه‌ها و سبزی‌ها، استحکام بخشیدن به آنها در برابر آسیب‌های خارجی است که سبب سفت شدن بیشتر میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شود. نتیجه‌های حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که کلسیم در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده، افزایش یافته است. در این پژوهش ثابت شد که میوه‌های حاصل از کم‌آبیاری تنظیم شده سفت‌تر از میوه‌های با آبیاری کامل بودند که به نظر می‌رسد افزایش کلسیم یکی از دلایل-های سفت‌تر شدن میوه‌ها باشد. برخلاف کلسیم، کم‌آبیاری بر سطح عنصر منیزیم تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳) که به احتمال دلیل آن بی‌تأثیر بودن کم‌آبیاری بر کلروفیل و اجزای فتوسنتز باشد. تیمارهای سوپرجاذب موجب افزایش کلسیم میوه‌ها شدند و سطح ۳۰۰ گرم سوپرجاذب بیشترین مقدار کلسیم را داشت (جدول ۴). با توجه به این که جذب کلسیم توسط گیاهان با مقدار آب در دسترس ارتباط نزدیکی دارد، به نظر می‌رسد که تیمار سوپرجاذب با حفظ آب آبیاری، شرایط را برای جذب هر چه بیشتر کلسیم فراهم کرده است. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر برهمکنش دو تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده و سوپرجاذب بر مقدار فنل کل میوه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود و بیشترین مقدار فنل کل در تیمار ۵۰٪ کم‌آبیاری و صفر گرم سوپرجاذب با ۱۹/۶۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه مشاهده شد (جدول ۵). نتیجه‌های پژوهش ما با بررسی-های رومرو و همکاران (۲۵) هماهنگی دارد که گزارش دادند کم‌آبیاری تنظیم شده باعث افزایش ترکیب‌های فنلی می‌شود. افزایش فنل کل در شرایط کاهش نیاز آبی به دلیل تولید زیستی و تجمع فنل است که در طول تنش‌های غیر زنده نظیر تنش خشکی افزایش می‌یابد (۲۸). تیمار سوپرجاذب در جهت کاهش مقدار فنل کل عمل کرد و شاید با جبران کاهش مقدار آب آبیاری، تا حدودی سبب کاهش تنش درخت‌های آلو و به دنبال آن کاهش مقدار فنل کل میوه شد که در شرایط تنش زیاد می‌شود.

جدول ۵- برهمکنش اثر کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI) و سوپرجاذب (SA) بر مقدار فنل میوه‌های درخت‌های آلو رقم سانتاروزا.

Table 5. Interaction of regulated deficit irrigation (RDI) and superabsorbent (SA) treatments affected on the total phenol of plum fruits Santa Rosa cultivar.

تیمارها Treatments	فنل کل Total phenol (mg 100g ⁻¹ F.w.)
100% RDI × 0 g SA	15.50 c†
75% RDI × 0 g SA	18.59 ab
75% RDI × 100 g SA	18.13 ab
75% RDI × 200 g SA	17.69 b
75% RDI × 300 g SA	17.30 b
50% RDI × 0 g SA	19.68 a
50% RDI × 100 g SA	19.34 a
50% RDI × 200 g SA	18.31 ab
50% RDI × 300 g SA	17.69 b

† Means followed by similar letters in each column are not significantly different according to Duncan multiple range test.

‡ در هر ستون میانگین‌های بدون حرف مشابه، اختلاف معنی‌دار در آزمون چند دامنه ای دانکن دارند.

در بررسی اثر ساده تیمارهای کم‌آبیاری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری مشاهده شد و در تیمار ۵۰٪ کم‌آبیاری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به کم‌آبیاری ۷۵٪ دیده شد (جدول ۳). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از مهم‌ترین سازوکارهای سازگاری با شرایط تنش خشکی است (۲۲). این گزارش به همراه پژوهش‌های بسیار دیگر، نتیجه‌های حاصل از این آزمایش را که مبنی بر افزایش فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی است، تأیید می‌کند. سطح‌های مختلف سوپرچاذب بر مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر معنی‌داری داشتند و سطح ۳۰۰ گرم سوپرچاذب ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به صورت معنی‌داری کاهش داد. شاید کاهش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به این دلیل باشد که تیمار سوپرچاذب با جذب آب آبیاری و پس دادن تدریجی آن به ریشه درخت‌های آلو سبب کاهش تنش کم‌آبی و کاهش تولید ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شده که در شرایط تنش تجمع می‌یابند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ویژگی‌های کیفی میوه مانند فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، سفتی بافت و مقدار کلسیم در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده افزایش پیدا کردند ولی ویژگی‌های ماده‌های جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و نسبت ماده‌های جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون در مقایسه با شاهد تغییری نکردند. اگرچه مقدار عملکرد کل با کاهش آبیاری کاهش یافت ولی در مقدار میوه‌های بازارپسند افزایش قابل توجهی مشاهده شد.

References

منابع

۱. بهزاد، م. و م. محمودیان شوشتری. ۱۳۷۵. مطالعه رابطه شدت جریان ورودی با نفوذ آب در شیارها، مجموعه مقالات دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک کشور، تهران. ۲۹-۱۵.
۲. صداقتی، ن.، س.ج. حسینی فرد و ا.م. محمدآبادی. ۱۳۹۰. مقایسه اثرات دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. مجله آب و خاک. ۵۷۵-۵۸۵: ۲۶.
3. Abedi-Koupai, J. and F. Sohrab. 2004. Evaluating the application of superabsorbent polymers on soil water capacity and potential on three soil textures. Iran. J. Poly. Sci. Technol. 17:163-173.
4. Abedi-Koupai, J., S.S. Eslamian and J.A. Kazemi. 2008. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. Ecol. Hydrol. 1:67-75.
5. Allen, R., L.S. Pereira, D. Raes and D. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration. FAO (N56), Rome, Italy. 300 p.
6. Behboudian, M.H. and T.M. Mills. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. Hortic. Rev. 21:125-131.
7. Chalmers, D.J., P.D. Mitchell and L. Van Heek. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 106:307-312.
8. Drake, S.R., E.L. Proebsting, M.O. Mahan and J.B. Thompson. 1981. Influence of trickle and sprinkle irrigation on 'Golden Delicious' apple quality. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 106:255-258.
9. Du, G., M. Li, F. Ma and D. Liang. 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. Food Chem. 113:557-562.
10. Ebel, R.C., E.L. Proebsting and M.E. Patterson. 1993. Regulated deficit irrigation may alter apple maturity, quality and storage life. HortScience 28:141-143.
11. Faci, J.M., E.T. Medina, A. Martinez-Cob and J.M. Alonso. 2014. Fruit yield and quality response of a late season peach orchard to different irrigation regims in a semi-arid environment. Agric. Water Manage. 143:102-112.

12. Johnson, R.S. and D.F. Handley. 2000. Using water stress to control vegetative growth and productivity of temperate fruit trees. *HortScience* 35:1048-1050.
13. Jones, J.J.B. and V.W. Case. 1990. Sample, handling, and analyzing plant tissue samples. *Soil Test. Plant. Anal.* 6:389-427.
14. Kabashima, J.N. 1993. Innovative irrigation techniques in nursery production to reduce water usage. *HortScience* 28:291-293.
15. Kili, A.W., M.H. Behboudian and T.M. Mills. 1996. Composition and quality of 'Braeburn' apples under reduced irrigation. *Sci. Hort.* 67:1-11.
16. Leib, B.G., H.W. Caspari, P.K. Andrews, C.A. Reduina, J.D. Jabro and D. Strausz. 2006. Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. *Irrig. Sci.* 24:85-99.
17. Marsal, J., G. Lopez and J. Girona. 2008. Recent advances in regulated deficit irrigation (RDI) in woody perennials and future perspectives. *Acta Hort.* 792:429-439.
18. Mpelasoka, B.S., M.H. Behboudian and T.M. Mills. 2001. Effects of deficit irrigation on fruit maturity and quality of "Braeburn" apple. *Sci. Hort.* 90:279-290.
19. Naor, A. 2006. Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. *Hort. Rev.* 32:111-166.
20. Naor, A., R. Stern, M. Peres, Y. Greenblat, Y. Gal and M.A. Flaishman. 2005. Timing and severity of postharvest water stress affect following year productivity and fruit quality of field-grown 'Snow queen' nectarine. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:806-812.
21. Narjary, B., P. Aggarwal, A. Singh, D. Chakraborty and R. Singh. 2012. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. *Geoderma* 187-188:94-101.
22. Osman, H.S. 2015. Enhancing antioxidant-yield relationship of pea plant under drought at different growth stages by exogenously applied glycine betaine and proline. *Annal. Agr. Sci.* 60:389-402.
23. Perez-Pastor, A., M.C. Ruiz-Sanchez and R. Domingo. 2014. Effects of timing and intensity of deficit irrigation on vegetative and fruit growth of apricot trees. *Agric. Water. Manage.* 134:110-118.
24. Pinillos, V., F.M. Chiamolera, J.F. Ortiz, J.J. Hueso and J. Cuevas. 2015. Post-veraison regulated deficit irrigation in 'Crimson Seedless' table grape saves water and improves berry skin color. *Agric. Water. Manage.* 165:181-189.
25. Romero, P., R. Gil-Munoz, F.M.D. Amor, E. Valdes, J.I. Fernandez and A. Martinez-Cutillas. 2013. Regulated deficit Irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and wines. *Agric. Water. Manage.* 121:85-101.
26. Ruiz-Sanchez, M., R. Domingo and J. Castel. 2010. Review: deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Span. J. Agric. Res.* 8:5-20.
27. Teixeira, G.H.A., J.F. Durigan, R.E. Alves and T.J. O'Hare. 2008. Response of minimally processed carambola to chemical treatments and low-oxygen atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 415-421.
28. Tomas-Barberan, F.A. and J.C. Espin. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food. Agr.* 81:853-876.
31. Van Schilfgarde, J. 1994. Irrigation a blessing or a curse. *Agric. Water Manage.* 25:203-219.

Effects of Both Regulated Deficit Irrigation and Super Absorbent on the Vegetative Growth, Yield and Fruit Quality of Japanese Plum ‘Santarosa’

Y. Khandani*, R. Fotouhi Ghazvini, M. Ghasem Nezhad and M.R. Khaledian¹

Using of Regulated Deficit Irrigation (RDI) and improved water holding of soil are very important in irrigation of fruit trees. For this purpose, the effects of both RDI and super-absorbent (SA) were studied on the vegetative growth, yield and amount of marketable fruit and some quality characteristics of Japanese plum (*Prunus salicina* cv. ‘Santarosa’). The trees were exposed to three RDI levels including 100% ETc, 75% ETc, 50% ETc and four super-absorbent levels of zero, 100, 200, and 300 grams/tree at the pit hardening stage. In RDI, the difference of vegetative growth compared to control trees was significant and the SA treatments could not compensate for the decrease of vegetative growth. The amount of yield was not affected under the influence of 75% ETc, but at the 50% ETc level, it decreased significantly. The yield of control, 75% ETc and 50% ETc treatments were 47, 46.15 and 35.50 kg/tree respectively. However, comparing between control and other levels of RDI showed that the amount of marketable fruit increased in 75% Etc. In addition, the irrigation levels were not effective on soluble solid content (SSC), titrable acidity (TA), SSC/TA and the magnesium (Mg) concentration. While, the concentration of fruit calcium increased considerably under RDI and the highest amount of Ca was observed at 50% Etc. The quality characteristics such as total phenol, firmness and antioxidant potential of fruits increased by lower irrigation than the control fruits. In this study, the interaction effects of RDI and SA treatments were significant only for total phenol trait.

Key Words: Plum, Super absorbente, Deficit irrigation, Physiological characteristics.

1. M.Sc. Student, Professor and Associate Professor of Horticulture and Associate Professor of Water Engineering, College of Agriculture, University of Guilan, Rasht. I.R.Iran, respectively.

* Corresponding author, Email: (ykhandany@yahoo.com)