

**اثر سوپر جاذب و شرایط کم آبیاری تنظیم شده بر کیفیت انبارمانی میوه آلوئی ژاپنی (*Prunus salicina*)
رقم سانتاروزا**

یاسر خندان^۱، رضا فتوحی قزوینی^{۲*}، محمود قاسم‌نژاد^۳ و محمدرضا خالدیان^۳
 ۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
 (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۹)

چکیده

حدود ۷۵ درصد وسعت کشور ایران مناطق خشک و نیمه‌خشک است؛ بنابراین استفاده از روش‌های آبیاری با بازده بالا در بخش کشاورزی حائز اهمیت است. به منظور مطالعه اثر کم آبیاری تنظیم شده (RDI) و سوپر جاذب (SA) بر کیفیت انبارمانی میوه آلو ژاپنی (*Prunus salicina*) رقم سانتاروزا، درختان از مرحله سخت شدن هسته (۷ هفته بعد از تمام گل) در شرایط سه سطح آبیاری (۱۰۰٪ ETC، ۷۵٪ ETC و ۵۰٪ ETC) و چهار سطح سوپر جاذب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم، برای هر درخت)، در قالب طرح فاکتوریل (طرح پایه CRD) با سه تکرار قرار گرفتند. میوه‌ها پس از برداشت در مرحله رسیدن به مدت یک ماه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بالای ۸۰ درصد نگهداری شدند. سپس برخی ویژگی‌های کیفی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. کم آبیاری سبب افزایش سفتی بافت میوه گردید. فلاونوئیدهای میوه نیز تحت تأثیر کم آبیاری تنظیم شده افزایش معنی داری پیدا کرد. در حالیکه سطوح کم آبیاری و غلظت‌های مختلف سوپر جاذب تأثیر معنی داری بر میزان SSC، TA و SSC/TA میوه‌ها در مقایسه با شاهد نداشتند. برهمکنش اثر تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده و سوپر جاذب بر میزان آب میوه، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معنی دار بود. آب میوه در اثر تیمار کم آبیاری کاهش یافت؛ ولی تیمار سوپر جاذب به صورت معنی داری آب میوه را افزایش داد. فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه که در شرایط تنش ملایم کم آبیاری افزایش یافته بود با کاربرد سوپر جاذب به صورت معنی داری کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: پس از برداشت، تنش، سفتی بافت میوه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، مواد جامد محلول.

Effects of super absorbent and regulated deficit irrigation (RDI) condition on the storage quality of Japanese plum (*Prunus salicina* cv. Santarosa)

Yaser Khandani¹, Reza Fotouhi Ghazvini^{2*}, Mahmoud Ghasemnezhad³ and Mohamad Reza Khaledian³

1, 2, 3. Former M.Sc. Student, Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

(Received: Jan. 1, 2017 - Accepted: Sep. 20, 2017)

ABSTRACT

About 75 percent of Iran's land is arid and semi-arid. Hence, the use of high-efficiency irrigation methods in agriculture will be important. In order to study the effects of both regulated deficit irrigation (RDI) and super absorbent (SA) on the storage quality of Japanese plum fruits (*Prunus salicina* cv. Santarosa), an experiment was conducted under factorial design with three replicates. Plum trees from the pit-hardening period (seven weeks after full bloom) were exposed to RDI treatments; 100%, 75% and 50% of seasonal crop evapotranspiration (ETc) and four super absorbent treatments including 0, 100, 200 and 300 g (per tree). Harvested fruits at the ripening stage were stored at 4°C in 80% relative humidity for one month, then, some quality characteristics of fruits were evaluated. The firmness of fruits tissues and total flavonoids in RDI treated plants was higher than the control fruits. However, RDI levels and different concentrations of super absorbents did not show significant effects on the TA, SSC and SSC/TA when compared to controls. The interaction of treatments increased fruit juice, total phenol and antioxidant capacity significantly. Fruit juice decreased by RDI and increased due to SA, and while total phenol and antioxidant capacity of fruit under RDI was considerable, SA application could reduce both traits significantly.

Keywords: Antioxidant capacity, fruit firmness, post-harvest, soluble solid concentration, stress.

* Corresponding author E-mail: r.fotouhi@gmail.com

مقدمه

مصرف آب به لحاظ تقاضای روزافزون بشر به غذا در جهان به صورت قابل توجهی افزایش یافته است. کشاورزی یکی از بخش‌های مهم مصرف آب است (Tilman *et al.*, 2002). حدود نیمی از غذای بشر در کشت‌های آبی تولید می‌شود و میزان آبی که برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود بیش از سایر قسمت‌ها است (Letey *et al.*, 2011). امروزه مصرف آب در بخش کشاورزی نسبت به سال ۱۹۴۰ حدود ۵ برابر شده است (Ragab *et al.*, 2015). برای جمعیت در حال افزایش جهان که انتظار می‌رود به ۹ میلیارد نفر برسد افزایش تولید محصول باید تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شود؛ بنابراین با توجه به شرایط فعلی، بحران کم‌آبی در آینده برای تولید غذا جدی است (Ragab *et al.*, 2015).

ایران دارای شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۲ میلی‌متر در سال است که این مقدار کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی جهان است (Behzad & Mahmoudian Shoshtari, 1996). افزایش کارایی مصرف آب با برنامه‌ریزی صحیح و به‌کارگیری روش‌های مناسب آبیاری، دو راهکار استفاده بهینه از آب می‌باشند. قسمت عمده آب استحصال از منابع آبی کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد و کارایی مصرف آب در این بخش کمتر از ۴۰ درصد می‌باشد (Sedaghati *et al.*, 2011). فناوری کم‌آبیاری به مفهوم آبیاری محصولات با مقدار کمتر و ایجاد تنش جزئی گفته می‌شود (English & Raja, 1996). این فناوری سبب حفظ مقدار قابل توجهی آب می‌شود و با وارد کردن تنش ملایم آبیاری، رشد رویشی و زایشی را کنترل می‌کند (Belimov *et al.*, 2007). یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های آبیاری در درختان میوه، کم‌آبیاری تنظیم شده است که کاهش آبیاری در مواقعی که رشد میوه کمترین حساسیت را به کاهش آب خاک دارد اعمال می‌شود در حالی که در دیگر فصول رشد، نیاز آبی کامل درخت تأمین می‌شود (Buesa *et al.*, 2013). کم‌آبیاری سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب، کاهش انرژی‌های لازم جهت آبیاری (تنظیم تجهیزات آبیاری)، به حداکثر رسیدن رقابت در بخش‌های مختلف کشاورزی و بهبود کیفیت میوه و افزایش

ترکیبات فنلی میوه می‌شود (Falagan *et al.*, 2015). آلوی 'سانتاروزا' میوه‌ای فرازگرا (Zuzunaga *et al.*, 2001) و به شدت فاسد شدنی می‌باشد. آلو بسته به نوع رقم، اگر در دما و رطوبت مناسب نگهداری شود عمر تجاری بین ۶-۲ هفته دارد؛ زیرا بعد از این مدت، اختلالات فیزیولوژیکی نظیر قهوه‌ای شدن داخلی و تشکیل ژل ظاهر می‌شوند. پذیرش مصرف آلو توسط مصرف‌کنندگان و عمر بازاریابی آن به‌طور قابل توجهی به تاریخ برداشت آن مربوط می‌شود، بنابراین آلو باید در طول مراحل نگهداری، بازاریابی خود را حفظ کند (Guerra & Casquero, 2008).

در طی ده‌های گذشته، تأثیر کاهش سطح آبیاری بر انبارمانی میوه‌ها مورد تحقیق قرار گرفته است. Laribi *et al.* (2013) تأثیر کاهش میزان آبیاری بر کیفیت انبارمانی میوه انار را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که این کاهش سبب افزایش کیفیت انبارمانی میوه‌های انار در مقایسه با شاهد گردید. میوه‌های انگور رشد کرده در شرایط کم‌آبیاری پس از نگهداری در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد، سفتی مشابه میوه‌های شاهد داشتند ولی دارای محتوای پرولین، میزان مواد جامد و اسید بیشتر در مقایسه با میوه‌های شاهد بودند (Conesa *et al.*, 2013). نتایج Eibl & Probesting (1993) نشان داد که در دوره انبارمانی، میزان غلظت مواد جامد محلول سیب‌های تیمار شده با کم‌آبیاری بیشتر از شاهد، میزان اسید کمتر و میزان سفتی و رنگ میوه‌ها مشابه میوه‌های با آبیاری کامل بود. بهترین روش برای بهبود و حفظ کیفیت میوه شلیل که منجر به افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف آب شد ترکیب کم‌آبیاری تنظیم شده و تیمار پس از برداشت 1-MCP بود (Falagan *et al.*, 2015). در آزمایشی تأثیر RDI بر کیفیت انبارمانی میوه‌های هلو مطالعه و مشاهده شد که کیفیت میوه‌های هلو در شرایط کاهش سطح آبی در مقایسه با شاهد افزایش قابل توجهی پیدا کرد (Gelly *et al.*, 2004). بهبود خاصیت انبارمانی میوه‌ها در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Mpelasoka *et al.*, 2001; Garcia-Tejero *et al.*, 2009).

سوپر جاذب‌ها (هیدروژل‌ها) ترکیباتی هستند که با جذب آب متورم شده و اندازه و وزن‌شان بسیار بزرگ‌تر از حالت اولیه می‌شود و برای حفظ آب در نزدیک ناحیه

درختان هر تیمار قرار گرفت و با روش پنمن-مانتیت مقادیر ET_0 و K_c تعیین شد (Allen et al., 1998). نیاز آبی خالص در طول فصل بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

که در آن ET_c = تبخیر و تعرق گیاه اصلی در دوره زمانی مشخص، K_c = ضریب گیاهی در دوره زمانی مشخص و ET_0 = تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دوره زمانی مشخص می‌باشد.

سطوح مختلف کم‌آبیاری از اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ همزمان با مرحله‌ی سخت‌شدن هسته تا موقع برداشت (اواسط مرداد ۱۳۹۴) اعمال شدند. بر اساس یادداشت‌برداری‌های صورت‌گرفته، دوره سخت‌شدن هسته تقریباً ۷ هفته بعد از تمام گل شروع و حدود بیست و پنج روز ادامه پیدا کرد، که این دوره از نیمه دوم اردیبهشت تا اواسط خرداد به طول انجامید. این پژوهش با تیمار کم‌آبیاری در سه سطح ۱۰۰٪ (شاهد)، ۷۵٪ و ۵۰٪ ET_c و تیمار سوپرچاذب نیز در چهار سطح صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم برای هر درخت در قالب طرح فاکتوریل (طرح پایه‌ی CRD) با سه تکرار انجام شد. سطوح مختلف تیمار کم‌آبیاری شامل شاهد (تأمین ۱۰۰ درصد آب در طول فصل رشد و نمو میوه)، تأمین ۷۵ و ۵۰ درصد آب در زمان سخت‌شدن هسته تا زمان برداشت بود. تیمار سوپرچاذب همزمان با تیمار کم‌آبیاری اعمال شد. در این آزمایش ۵ ردیف درخت و در هر ردیف ۱۲ درخت انتخاب شد ردیف‌های اول، دوم و سوم جهت اجرای تیمارها و دو ردیف دیگر به‌عنوان حاشیه بین درختان مورد آزمایش در نظر گرفته شد. درختان شاهد در هر ساعت ۳۲ لیتر آب دریافت می‌کردند در حالی‌که برای درختان کم‌آبیاری ۷۵٪ و ۵۰٪، به‌ترتیب ۲۴ و ۱۶ لیتر آب در هر ساعت محاسبه شد. سوپرچاذب مورد استفاده هوربوزرب بود که پایه پتاسیمی دارد. سوپرچاذب‌ها مواد آلی‌اند که در شرایط یونی و میکروبی خاک، به آرامی تجزیه می‌شوند و سرانجام به آب، کربن‌دی‌اکسید و در مورد سوپرچاذب‌های کشاورزی به ترکیبات نیتروژن‌دار غیرسمی تبدیل و به مواد آلی خاک اضافه می‌شوند (Khayyeri Shalamzari et al., 2012). برخی خصوصیات سوپرچاذب مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

ریزوسفر اطراف ریشه به‌کار برده می‌شوند (Zohuriaan-Mehr & Kabiri, 2008). استفاده از هیدروژل میزان رطوبت در دسترس ناحیه‌ی ریشه را در فواصل طولانی‌تر بین آبیاری افزایش می‌دهد (Allahdadi et al., 2005). همچنین ظرفیت آبی که به آسانی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد به‌صورت معنی‌داری به‌وسیله هیدروژل بهبود می‌یابد (Narjary et al., 2012). کاربرد هیدروژل می‌تواند نیاز به تکرار آبیاری را کاهش دهد (Abedi-koupai et al., 2008) و حتی سبب افزایش میزان آب در دسترس نسبت به شاهد شود.

با توجه به محدودیت منابع آب، در این پژوهش بر اساس فیزیولوژی رشد و نمو میوه آلو، فناوری کم‌آبیاری تنظیم‌شده به‌منظور کاهش مصرف آب و افزایش کیفیت انبارمانی میوه‌های آلو سانتاروزا مورد استفاده قرار گرفت. از سوپرچاذب نیز برای جبران کاهش مصرف آب استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه اثر تیمارهای کم‌آبیاری و سوپرچاذب بر کیفیت انبارمانی میوه آلو ژاپنی (*Prunus salicina*) رقم سانتاروزا این پژوهش در یک باغ تجاری واقع در روستای کاظم‌آباد شهرستان نظرآباد استان البرز انجام شد. درختان شش ساله آلو 'سانتاروزا' روی پایه آلوچه با فاصله کاشت ۴/۵×۳/۵ متر در خاک رسی-لومی قرار داشتند. آبیاری درختان با چهار قطره‌چکان و با سیستم قطره‌ای دو ردیفه، موازی با ردیف درختان تأمین شد. تیمارهای کم‌آبیاری بر اساس ET_c (Crop Evapotranspiration) اعمال شدند. ET_c به مجموع میزان تبخیر و تعرق از سطح خاک و گیاه گفته می‌شود. برای آبیاری درختان، ابتدا براساس دوره آماری سی سال گذشته و با استفاده از روش پنمن-مانتیت و با به‌کارگیری نرم‌افزار کراپ‌وات (Crop Wat)، تبخیر-تعرق مرجع محاسبه شد و میانگین نرمال به‌دست آمد، سپس ضریب گیاهی از نشریه شماره ۵۶ فائو استخراج شده و نیاز آبی گیاه محاسبه گردید. در ادامه مقدار ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری محاسبه شده و به‌عنوان تیمارهای کم‌آبیاری برای گیاه در نظر گرفته شد. با استفاده از دو عامل زمان آبیاری و دبی قطره‌چکان‌ها، مقدار آب محاسبه‌شده در اختیار

جدول ۱. خصوصیات سوپر جاذب مورد استفاده

Table 1. Super absorbent properties used in the study

Water absorbing capacity (gr/gr)		Max. stability (year)	Size (mm)	pH	Density (g/cm ³)	Water content (%)
Water	Distilled water					
400	500	6	30-50	6-7	1.4-1.5	5-7

خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد ۲,۲- دی فنیل -۱- پیکریل هیدرازیل تعیین شد (Du et al., 2009). میزان ۵۰ میکرولیتر عصاره با ۹۵۰ میکرولیتر محلول ۰/۱ نرمال ۲,۲- دی فنیل -۱- پیکریل هیدرازیل مخلوط گردید. سپس محلول تا رسیدن به شرایط یکنواخت در دمای اتاق و در شرایط تاریکی قرار گرفت. کاهش میزان جذب در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV/VIS (مدل PG + T80 Instrument) قرائت شد. برای اندازه‌گیری فلاونوئیدها به هر ۱۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده به ترتیب ۱۷۰۰ میکرولیتر اتانول ۳۰ درصد، ۷۵ میکرولیتر نیتريت سدیم (NaNO₂) ۰/۵ مولار و ۷۵ میکرولیتر کلرید آلومینیوم (AlCl₃) ۰/۳ مولار اضافه شد. پس از ۵ دقیقه ۵۰۰ میکرولیتر محلول هیدروکسید سدیم (NaOH) یک مولار اضافه و ورنگس گردید. پس از ۱۵-۱۰ دقیقه قرار گرفتن در تاریکی، میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV/VIS (مدل PG Instrument +T80) در طول موج ۵۰۶ نانومتر قرائت شد و غلظت فلاونوئیدها بر حسب میلی‌گرم کاتچین در ۱۰۰ گرم وزن تر پوست و گوشت میوه محاسبه گردید (Du et al., 2009). در این بررسی تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها، برهمکنش اثر تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده و سوپر جاذب برای صفات میزان آب میوه، فنل‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود ولی در مورد صفات دیگر مورد بررسی معنی‌دار نبود. در بررسی اثر ساده تیمارهای کم آبیاری بر صفات مورد بررسی مشخص شد که کم آبیاری سبب افزایش سفتی بافت میوه گردید و بر صفات کیفی SSC، TA و شاخص طعم تأثیر معنی‌داری نداشت.

از هر درخت ۴ میوه برای نمونه برداری برداشت و جهت نگهداری به سردخانه منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بالای ۸۰ درصد به مدت یک ماه نگهداری شدند. پس از اتمام یک ماه نگهداری در سردخانه، برخی صفات فیزیولوژیک میوه‌ها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری سفتی بافت از دستگاه پنترومتر (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. میزان مواد جامد محلول (SSC) با استفاده از عصاره‌ی صاف شده میوه‌ها و دستگاه رفرکتومتر دیجیتالی (مدل Euromex RD635) اندازه‌گیری و بر حسب درجه بریکس بیان گردید. برای تعیین میزان اسید کل میوه (TA)، از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد. به علاوه نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل تیتراسیون تعیین گردید. حدود ۱۰ گرم از بافت تازه میوه وزن شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد جهت تعیین میزان آب میوه در داخل آن قرار داده شد. از اختلاف وزن بافت تر و خشک، میزان آب میوه محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری فنل‌های میوه مقدار ۷۰ میکرولیتر از عصاره‌های پوست و گوشت میوه را با ۱۳۰ میکرولیتر آب مقطر و یک میلی‌لیتر فولین^۱ ده درصد مخلوط و بعد از شش دقیقه ۸۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آنها اضافه شد. محلول آماده شده به مدت ۱/۵ ساعت در تاریکی و در دمای اتاق نگهداری شد و سپس میزان جذب آنها در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار فنل‌های نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد و بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم عصاره محاسبه شد (Du et al., 2009). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ی میوه از طریق مکانیزم

1. Folin

دارای میوه‌های با کمترین سفتی بافت بودند درحالی‌که اختلاف معنی‌داری بین دو غلظت دیگر سوپرجاذب با شاهد مشاهده نشد (جدول ۲). یافته‌های پژوهشی ما با نتایج Mpelasoka *et al.* (2001) مطابقت دارد ولی با نتایج Falagan *et al.* (2015) هم‌خوانی ندارد. به‌نظر می‌رسد که کاهش سفتی بافت آلو در اثر کاربرد سوپرجاذب به‌دلیل افزایش آب قابل دسترس به‌وسیله سوپرجاذب باشد و این‌که تیمار سوپرجاذب تا حدودی کاهش آبیاری درختان را جبران کرده است.

بیشترین میزان فلاونوئیدها به‌ترتیب پس از اعمال ۷۵٪ و ۵۰٪ کم‌آبیاری مشاهده شد و درختان شاهد حاوی کمترین میزان فلاونوئیدها بودند (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، تیمار ۱۰۰ گرم سوپرجاذب با ۱۰/۱۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه دارای بیشترین میزان فلاونوئیدها بود و غلظت ۳۰۰ گرم سوپرجاذب با ۹/۱۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه نیز کمترین میزان فلاونوئیدها را داشت (جدول ۳). افزایش میزان فلاونوئیدها در شرایط کم‌آبیاری تنظیم‌شده در پژوهش Romero *et al.* (2013) نیز مشاهده شد.

کاربرد هیدروژل در خاک‌های شنی می‌تواند باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و پتانسیل گیاه گردد (Abedi-koupai *et al.*, 2004)، درحالی‌که این تأثیر در خاک‌های رسی و لومی ناچیز است. به‌نظر می‌رسد که دلیل معنی‌دار نبودن اثرات برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و سوپرجاذب برای برخی از صفات مورد بررسی، رسی‌لومی بودن خاک باشد.

هر دو سطح کم‌آبیاری سبب افزایش معنی‌دار سفتی بافت میوه در مقایسه با شاهد شدند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که سفت‌ترین میوه‌ها از تیمار کم‌آبیاری ۷۵٪ که میزان سفتی آنها به‌طور متوسط ۴/۸۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بود، حاصل شد. در حالی‌که تیمار ۵۰٪ و شاهد (۱۰۰٪) به‌ترتیب با میزان ۳/۷۴ و ۴/۸۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، سفتی کمتری نسبت به تیمار ۷۵٪ داشتند. البته بین میوه‌های دو سطح ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی اختلافی از لحاظ میزان سفتی مشاهده نشد (جدول ۱). تیمار سوپرجاذب میزان سفتی بافت میوه را در مقایسه با شاهد کاهش داد و درختان با تیمار ۳۰۰ گرم سوپرجاذب با میزان ۳/۹۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر ساده کم‌آبیاری تنظیم‌شده بر میزان مواد جامد محلول (SSC)، اسید قابل تیتر (TA)، شاخص طعم (SSC/TA)، سفتی بافت و فلاونوئید کل میوه‌های درختان آلو رقم سانتاروزا

Table 2. Mean comparison of simple effects of regulated deficit irrigation (ET_c levels) on the soluble solid content (SSC),

titrable acidity (TA), SSC/TA, firmness and total flavonoid of plum fruits cv. Santa Rosa

Treatments	Traits				
	SSC (°Brix)	TA (%)	SSC/TA	Firmness (Kg/Cm ²)	Total flavonoid (mg/100g FW)
100% ET _c	19.82 ^a	6.64 ^a	2.99 ^a	3.74 ^b	8.81 ^c
75% ET _c	19.51 ^a	7.26 ^a	2.74 ^a	4.87 ^a	10.56 ^a
50% ET _c	19.21 ^a	7.17 ^a	2.67 ^a	4.80 ^a	9.09 ^b

حروف همسان در هر ستون نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (p<0.05) based on Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر ساده سوپرجاذب بر میزان مواد جامد محلول (SSC)، اسید قابل تیتر (TA)، شاخص طعم (SSC/TA)، سفتی بافت و فلاونوئید کل میوه‌های درختان آلو رقم سانتاروزا

Table 3. Mean comparison of simple effects of superabsorbent (SA) on the soluble solid content (SSC), titrable acidity (TA), SSC/TA, firmness and total flavonoid of plum fruits cv. Santa Rosa

Treatments	Traits				
	SSC (°Brix)	TA (%)	SSC/TA	Firmness (Kg/Cm ²)	Total flavonoid (mg/100g FW)
Control	20.40 ^b	7.04 ^a	2.89 ^a	4.94 ^{ab}	9.72 ^b
100 g SA	18.71 ^a	7.16 ^a	2.67 ^a	5.16 ^a	10.16 ^a
200 g SA	19.15 ^a	7.02 ^a	2.74 ^a	4.66 ^b	9.50 ^b
300 g SA	18.88 ^a	7.42 ^a	2.58 ^a	3.97 ^c	9.11 ^c

حروف همسان در هر ستون نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (p<0.05) based on Duncan's Multiple Range Test.

آزمایشی که تأثیر سوپر جاذب بر کیفیت میوه موز بررسی شد، کاهش میزان اسید میوه در اثر کاربرد سوپر جاذب مشاهده گردید که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر هماهنگی ندارد. به علاوه شاخص طعم میوه نارنگی با کاربرد ۶۰ گرم سوپر جاذب تغییر معنی داری نکرد که مشابه نتایج این پژوهش است (Pattanaaik et al., 2014).

اثر برهمکنش دو تیمار کم آبیاری تنظیم شده و سوپر جاذب بر میزان آب میوه در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۴). کم آبیاری تنظیم شده میزان آب میوه های آلو 'سانتاروزا' را پس از یک ماه نگهداری در سردخانه کاهش داد و سوپر جاذب نیز در جهت افزایش میزان آب میوه عمل کرد. کمترین میزان آب در میوه های با سطح ۵۰٪ نیاز آبی و صفر گرم سوپر جاذب با میزان ۳/۱۴ میلی لیتر آب مشاهده گردید و میوه های درختان تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی و صفر گرم سوپر جاذب با میزان ۶/۶۸ گرم آب، حاوی بیشترین میزان آب بودند (جدول ۴). هماهنگ با نتایج این پژوهش Dolati Bane & Nourjo (2011) گزارش دادند که میزان آب میوه انگور در شرایط کاهش سطح آبیاری کاهش معنی داری داشت، به علاوه کاربرد سوپر جاذب سبب افزایش معنی دار میزان آب میوه توت فرنگی گردید (Mikiciuk & Mikiciuk, 2010) که مشابه نتایج این پژوهش می باشد. اثر برهمکنش دو تیمار کم آبیاری تنظیم شده و سوپر جاذب بر میزان مواد فنلی میوه آلو پس از یک ماه نگهداری در سردخانه در سطح ۵ درصد معنی دار بود.

فلاونوئیدها فعالیت های بیولوژیکی همانند فعالیت های آنتی اکسیدانی دارند که در شرایط تنش در داخل گیاهان تجمع یافته و سبب کاهش اثرات مخرب تنش بر گیاهان می شوند. فلاونوئیدهای میوه که در شرایط تنش کم آبیاری افزایش معنی داری پیدا کرده بود با کاربرد سوپر جاذب به صورت قابل توجهی کاهش یافت که احتمالاً به دلیل کاهش میزان تنش آب به وسیله سوپر جاذب باشد.

برهمکنش میانگین داده های اثر تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده و سوپر جاذب بر میزان صفات کیفی مواد جامد محلول، اسید قابل تیتر و شاخص طعم میوه معنی دار نبود. اثر ساده تیمار کم آبیاری باعث ایجاد تغییر معنی دار در میزان TA، SSC و SSC/TA میوه های انبار شده نشدند (جدول ۲). تیمار سوپر جاذب نیز تأثیر معنی داری بر میزان SSC، TA و SSC/TA میوه های انبار شده نداشت (جدول ۳). Pinillos et al. (2015) مشابه بودن میزان SSC را در شرایط کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری کامل گزارش دادند. به علاوه Laribi et al. (2013) نیز نشان دادند که پس از ۸ هفته نگهداری در سردخانه میزان TA میوه های تیمار شده با RDI تفاوتی با میوه های درختان شاهد نداشت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارند. افزایش نسبت شاخص طعم هلو در شرایط کاهش سطح آبیاری گزارش شده است (Faci et al., 2014)، که با نتایج این پژوهش هماهنگ نیست. استفاده از سوپر جاذب در موز سبب کاهش معنی دار SSC در مقایسه با شاهد گردید (Barakat et al., 2015) و در

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش داده های اثرات کم آبیاری تنظیم شده و سوپر جاذب بر میزان آب میوه، فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه های درختان آلو رقم سانتاروزا

Table 4. Mean comparison of interaction effects of regulated deficit irrigation (ET_c levels) and superabsorbent (SA) treatments on the juice content, total phenol and antioxidant capacity in fruits of plum fruits cv. Santa Rosa

Treatments	Traits		
	Fruit juice (ml)	Total phenol (g/100g FW)	Antioxidant capacity (%)
100% ETC × 0 g SA	6.68 ^a	59.40 ^c	60.00 ^c
75% ETC × 0 g SA	4.42 ^b	64.79 ^b	64.57 ^b
75% ETC × 100 g SA	4.59 ^b	63.83 ^b	64.87 ^b
75% ETC × 200 g SA	5.00 ^b	63.55 ^b	65.55 ^b
75% ETC × 300 g SA	5.37 ^a	63.08 ^b	65.24 ^b
50% ETC × 0 g SA	3.14 ^c	67.74 ^a	68.91 ^a
50% ETC × 100 g SA	3.79 ^b	67.22 ^a	68.74 ^a
50% ETC × 200 g SA	4.17 ^{bc}	66.42 ^a	68.45 ^a
50% ETC × 300 g SA	4.71 ^b	65.83 ^{ab}	67.74 ^a

حروف همسان در هر ستون نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار در سطح احتمال خطای ۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه ای دانکن است. In each column, means followed by the same letters are not significantly different (p≤0.05) based on Duncan's Multiple Range Test.

میوه‌های درختان سطح ۵۰٪ نیاز آبی و صفر گرم سوپرجاذب بود (جدول ۴). Falagan *et al.* (2015) افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در سطوح مختلف کم‌آبایی هم‌سو با نتایج این پژوهش گزارش دادند. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه آلو در اثر کاربرد تیمار سوپرجاذب به صورت معنی‌داری کاهش یافت. شاید کاهش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به این دلیل باشد که تیمار سوپرجاذب با جذب آب آبیاری و پس دادن تدریجی آن به ریشه درختان آلو، سبب کاهش تنش کم‌آبی و کاهش سطح ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شده که در شرایط تنش تجمع می‌یابند.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های کیفی میوه‌های آلو شامل فنل‌ها، فلاونوئیدها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط کم-آبایی تنظیم شده پس از یک ماه انبارداری افزایش یافتند. به علاوه، سفتی بافت میوه‌ها هم که از مهم‌ترین ویژگی‌های بازارپسندی است و سبب افزایش عمر انبارمندی میوه‌ها می‌گردد نیز در این پژوهش افزایش چشمگیری پیدا کرد. تیمار سوپرجاذب با کاهش تنش ملایم کم‌آبایی سبب کاهش ترکیباتی نظیر فنل‌ها، فلاونوئیدها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها گردید که در شرایط تنش تجمع می‌یابند.

تیمارهای کم‌آبایی میزان فنل‌ها را بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها به صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش دادند و تیمارهای سوپرجاذب نیز در جهت کاهش فنل‌ها عمل کردند. بیشترین میزان فنل‌ها مربوط به تیمار ۵۰٪ نیاز آبی و صفر گرم سوپرجاذب با ۶۷/۷۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه بود، در حالی که میوه‌های درختانی که ۱۰۰٪ آبیاری شدند و سوپرجاذب دریافت نکردند با ۵۹/۴۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه حاوی کمترین میزان فنل‌ها بودند. Romero *et al.* (2013) نیز افزایش فنل‌ها را در شرایط RDI گزارش دادند که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. افزایش فنل‌ها در شرایط کم‌آبی به دلیل بیوسنتز و تجمع فنل است که در طول تنش‌های غیرزنده نظیر تنش خشکی افزایش می‌یابد (Tomas-Barberan & Espin, 2001). به نظر می‌رسد که تیمار سوپرجاذب با جبران کاهش میزان آب آبیاری، تا حدودی سبب کاهش تنش درختان آلو و به دنبال آن کاهش میزان فنل‌های میوه‌های آلو شده که در شرایط تنش زیاد می‌شود.

مقایسه میانگین برهمکنش متقابل کم‌آبایی تنظیم شده و سوپرجاذب نشان داد که کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی و صفر گرم سوپرجاذب با ۶۰ درصد بود و بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با ۶۸/۹۱ درصد هم مربوط به

REFERENCES

1. Abedi-Koupai, J., Eslamian, S. S. & Kazemi, A. J. (2008). Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. *Ecology and Hydrology*, 1, 67-75.
2. Abedi-Koupai, J. & Sohrab, F. (2004). Evaluating the application of superabsorbent polymers on soil water capacity and potential on three soil textures. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 17, 163-173.
3. Allahdadi, I., Moazzen-Ghamsari, B., Akbari, G. A. & Zohorianfar, M. J. (2005). Investigating the effect of different rates of superabsorbent polymer (Superab A200) and irrigation on the growth and yield of *Zea mays*. 3rd Specialized Training Course and Seminar on the Application of Superabsorbent Hydrogels in Agriculture. *Iran Polymer and Petrochemical Institute*, 7, 52-56.
4. Allen, R., L. S., Pereira Raes, D. & Smith, D. (1998). Crop evapotranspiration. FAO (N56), Rome, Italy.
5. Barakat, M. R., El-Kosary, S., Borham, T. I. & Abd-ElNafea, M. H. (2015). Effect of hydrogel soil addition under different irrigation levels on 'Grandnain' banana plants. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 7 (1), 19-28.
6. Behzad, M. & Mahmoudian Shoshtari, M. (1996). Study of inflow rate of water infiltration in the grooves. *Collection of articles of second national congress of soil and water issues*. 26-28 Oct., Tehran, Iran, pp. 15-29. (in Farsi)
7. Belimov, A., Dodd, I. C., Safronova, V., Hontzeas, N. & Davies, W. J. (2007). ABA signalling, grafting, irrigation scheduling, partial rootzone drying, tomato water use. *Journal of Experimental Botany*, 58, 1485-1495.
8. Buesa, I., Badal, E., Guerra, D., Ballester, C., Bonet, L. & Intrigliolo, D. S. (2013). Regulated deficit irrigation in persimmon trees (*Diospyros kaki*) cv Rojo Brillante. *Scientia Horticulturae*, 159, 134-142.

9. Chalmers, D. J., Mitchell, P. D. & Van Heek, L. (1981). Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106, 307-312.
10. Conesa, M. R., Falagan, N., Rosa, J. M. D., Aguayo, E., Domingo, R. & Pastor, A. P. (2013). Post-veraison deficit irrigation regimes enhance berry coloration and health-promoting bioactive compounds in 'Crimson Seedless' table grapes. *Agricultural Water Management*, 163, 9-18.
11. Dolati Bane, H. & Nourjo, A. (2011). Effect of deficit irrigation on quantitative and quality traits of fruit and water productivity of three grapevine cultivars. *Seed and Plant Production*, 27-2 (3), 435-450. (in Farsi).
12. Du, G., Li, M., Ma, F. & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry*, 113, 557-562.
13. Eibl, R. C. & Probesting, E. G. (1993). Regulated deficit irrigation may alter apple maturity, quality and storage life. *HortScience*, 28, 141-143.
14. English, M. J. & Raja, S. N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agriculture Water Management*, 32, 1-14.
15. Faci, J. M., Medina, E. T., Martinez-Cob, A. & Alonso, J. M. (2014). Fruit yield and quality response of a late season peach orchard to different irrigation regimes in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 143, 102-112.
16. Falagan, N., Artes, F., Artes-Hernandez, F., Gomez, P. A., Perez-Pastor, A. & Aguayo, E. (2015). Comparative study on postharvest performance of nectarines grown under regulated deficit irrigation. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 24-32.
17. Garcia-Tejero, I., Jimenez-Bocanegra, J. A., Martinez, G., Romero, R., Duran-Zuazo, V. H. & Muriel-Fernandez, J. L. (2009). Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. Salustiano]. *Agriculture Water Management*, 97, 614-622.
18. Gelly, M., Recasens, I., Girona, J., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J. & Marsal, J. (2004). Effects of stage II and postharvest deficit irrigation on peach quality during maturation and after cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 561-568.
19. Guerra, M. & Casquero, P. A. (2008). Effect of harvest date on cold storage and postharvest quality of plum cv. Green Gage. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 325-332.
20. Gu, S. L., Du, G. Q., Zoldoske, D., Hakim, A., Cochran, R., Fugelsang, K. & Jorgensen, G. (2004). Effects of irrigation amount on water relations, vegetative growth, yield, and fruit composition of 'Sauvignon Balance' grapevines under partial root zone drying and conventional irrigation in the San Joaquin Valley of California, USA. *Horticultural Science and Biotechnology*, 79, 26-33.
21. Khayyeri Shalamzari, K., Boroumand Nasab, S. & Alavi, S. M. R. (2012). Effect of a superabsorbent on saturated hydraulic conductivity, porosity and water retention curve in the agricultural soil. *Third National Conference on Integrated Water Resource Management*. 12-13 Sep. Mazandaran, Iran, pp. 1-9. (in Farsi).
22. Laribi, A. I., Palou, L., Intrigliolo, D. S., Nortes, P. A., Rojas-Argudo, C., Taberner, V., Bartual, J. & Perez-Gago, M. B. (2013). Effect of sustained and regulated deficit irrigation on fruit quality of pomegranate cv. Mollar de Elche at harvest and during cold storage. *Agricultural Water Management*, 125, 61-70.
23. Letey, J., Hoffman, G. J., Hopmans, J. W., Grattan, S. R., Suarez, D., Corwin, D. L., Oster, J. D., Wu, L. & Amrhein, C. (2011). Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. *Agriculture Water Management*, 98, 502-506.
24. Mikiciuk, G. & Mikiciuk, M. (2010). Evaluation of the direct and subsequent influence of a superabsorbent polymer on cropping and rate of gas exchange of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) 'Elsanta'. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 18(2), 93-108.
25. Mpelasoka, B. S., Behboudian, M. H. & Mills, T. M. (2001). Effects of deficit irrigation on fruit maturity and quality of 'Braeburn' apple. *Scientia Horticulturae*, 90, 279-290.
26. Narjary, B., Aggarwal, P., Singh, A., Chakraborty, D. & Singh, R. (2012). Water availability in different soils in relation to hydrogel application. *Geoderma*, 187-188, 94-101.
27. Pattanaik, S. K., Wangchu, L., Singh, B., Hazarika, B. N., Singh, S. M. & Pandey, A. K. (2014). Effect of hydrogel on water and nutrient management of *Citrus reticulata*. *Research on Crops*, 16(1), 98-103.
28. Pinillos, V., Chiamolera, F. M., Ortiz, J. F., Hueso, J. J. & Cuevas, J. (2015). Post-veraison regulated deficit irrigation in 'Crimson Seedless' table grape saves water and improves berry skin color. *Agriculture Water Management*, 165, 181-189.
29. Ragab, R., Battilani, A., Matovic, G., Stikic, R., Psarras, G. & Chartzoulakis, K. (2015). SALTMED model as an integrated management tool for water, crop, soil and N-fertilizer water management strategies and productivity: Field and simulation study. *Irrigation and Drainage*, 64, 13-28.

30. Romero, P., Gil-Munoz, R., Amor, F. M. D., Valdes, E., Fernandez, J. I. & Martinez-Cutillas, A. (2013). Regulated deficit Irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in 'Monastrell' grapes and wines. *Agriculture Water Management*, 121, 85-101.
31. Sedaghati, N., Hoseini-Fard, S. J. & Mohomad-Abadi, A. M. (2011). Comparison effects of two surface and subsurface drip irrigation systems on growth and yield of pistachio fertile trees. *Journal of Soil and Water*, 26(3), 575-585. (in Farsi)
32. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671-677.
33. Tomas-Barberan, F. A. & Espin, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 81, 853-876.
34. Zohuriaan-Mehr, M. J. & Kabiri, K. (2008). Superabsorbent polymer materials: A review. *Iranian Polymer Journal*, 17, 451-477.
35. Zuzunaga, M., Serrano, M., Martinez-Romero, D., Valero, D. & Riquelme, F. (2001). Comparative study of two plum (*Prunus salicina* Lindl.) cultivars during growth and ripening. *Food Science and Technology International*, 7, 123-130.