

اثر کم آبیاری بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی توت‌فرنگی (*Fragaria×ananassa* Duch.)

مهین رفیعی پور، منصور غلامی* و حسن ساری خانی

همدان، دانشگاه بوعلی سینا دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی

تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۴

چکیده

خشکی یکی از تنش‌های محیطی عمده است که فتوسنتز، رشد و تولید گیاه را کاهش می‌دهد. کم آبیاری که در آن کمتر از ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه توسط آبیاری جایگزین می‌شود، می‌تواند برای کاهش نیاز آب آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. توت‌فرنگی گیاهی گلدار، نهانده، دولپه‌ای و متعلق به تیره گل‌سرخیان است که به دلیل مقدار زیاد مواد شیمیایی گیاهی و فعالیت بیولوژیکی آن‌ها نقش مهمی در سلامتی انسان دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر سه تیمار آبیاری (آبیاری کامل، کم آبیاری ملایم و کم آبیاری شدید) روی سه رقم توت‌فرنگی (دارسلکت، السانتا و سوناتا) انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تکرار صورت گرفت. نتایج نشان داد که رقم السانتا سطح و وزن برگ بیشتر و سوناتا سطح و وزن برگ کمتری داشت. السانتا راندمان تعرق بالا ولی کمترین راندمان مصرف آب را نشان داد. سوناتا راندمان تعرق کم و راندمان مصرف آب بالایی داشت. السانتا و سوناتا به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد را داشتند. میوه‌های السانتا بالاترین شاخص طعم را داشتند. همبستگی منفی معنی‌داری بین وزن تر برگ با عملکرد میوه وجود داشت. همچنین راندمان مصرف آب با سطح و وزن تر برگ و وزن خشک کل در پایان آزمایش همبستگی منفی و با عملکرد همبستگی مثبت داشت. بر اساس نتایج به دست آمده تنش اثرات منفی روی سطح برگ، وزن خشک کل و عملکرد میوه داشت و در کل پاسخ سوناتا به دلیل عملکرد بیشتر، مطلوبتر از دو رقم دیگر بود.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، توت‌فرنگی، راندمان تعرق، راندمان مصرف آب، عملکرد

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۸۱۳۴۴۲۵۴۰۰، پست الکترونیکی: mgholami@basu.ac.ir

مقدمه

در آن کمتر از ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق محصول توسط آبیاری جایگزین می‌شود، می‌تواند به عنوان یک جایگزین بالقوه برای کاهش آب آبیاری در سیستم‌های کشت مورد استفاده قرار گیرد (۶ و ۸). کم آبیاری می‌تواند مصرف آب را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و راندمان مصرف آب را در محصولات کشاورزی مختلف افزایش دهد (۲۵).

خشکی یکی از تنش‌های محیطی عمده است که فتوسنتز، رشد و نمو و تولید طبیعی گیاه را کاهش می‌دهد. در سراسر جهان تولید محصول بیشتر از هر تنش محیطی دیگر توسط تنش خشکی محدود شده است (۲). یکی از روش‌های مدیریت آب، مصرف آب در حد نیاز گیاه است (۱۰) که لازمه آن زمانبندی علمی با توجه به تبخیر و تعرق یا نیاز گیاه است (۳ و ۹ و ۱۴). کم آبیاری نیز که

این پژوهش با هدف مشخص کردن تاثیر سه رژیم آبیاری (آبیاری کامل، کم آبیاری ملایم و کم آبیاری شدید) روی سه رقم توت‌فرنگی (Elsanta و Sonata) و مقایسه پاسخ‌های این ارقام تجاری انجام شده است.

مواد و روشها

این پژوهش در سال ۲۰۱۵ در گلخانه رزمانت دانشکده کشاورزی دانشگاه دوبلین، ایرلند جنوبی انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با ۱۰ تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل سه رقم توت‌فرنگی (دارسلکت، السانتا و سوناتا) و فاکتور دوم شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری کامل، کم آبیاری ملایم و کم آبیاری شدید) بود. با توجه به نتایج تحقیق قبلی گرت و همکاران (۲۰۱۲) (۱۱) ۱۱۰ درصد تبخیر و تعرق برای آبیاری کامل (با خروج آب از ته گلدان‌ها اطمینان حاصل شد که حالت غرقابی وجود ندارد)، ۸۵ درصد تبخیر و تعرق برای کم آبیاری ملایم و ۶۵ درصد تبخیر و تعرق برای کم آبیاری شدید در نظر گرفته شد. آبیاری به صورت قطره‌ای و برای هر تیمار آبیاری به صورت جداگانه اعمال شد.

نشاهای ریشه‌لخت در کمپوست چندمنظوره حاوی سه گرم در کیلوگرم کود پتاس آهسته‌رهش در گلدان‌های پلی‌اتیلنی سیاه دو لیتری در اوایل فروردین کشت شدند. گیاهان قبل از شروع آزمایش رشد کافی کردند. گل‌ها هفته ای دو بار با قلم‌موی نقاشی گرده‌افشانی شدند. وقتی تقریباً ۵۰ درصد گیاهان (در مجموع ۱۳۰ گیاه تهیه شد که شامل ۵۰ السانتا، ۵۰ سوناتا و ۳۰ دارسلکت بود) گل دادند، ۱۰ گیاه از هر یک از دو رقم السانتا و سوناتا برای محاسبه افزایش در زیست توده در پایان آزمایش و در نتیجه به‌دست آوردن راندمان تعرق، به‌طور تخریبی

توت‌فرنگی تجاری (*Fragaria×ananassa* Duch.) یک محصول میوه‌ای مهم با محبوبیت زیاد در سطح جهانی است. سیستم ریشه سطحی، سطح برگ وسیع و محتوای آب بالای میوه‌های توت‌فرنگی به معنای این است که توت‌فرنگی مقادیر زیادی آب مصرف می‌کند (۱۵). توت‌فرنگی یکی از محصولات است که به‌طور کلی برای تولید مطلوب به آبیاری نیاز دارد. گیاه توت‌فرنگی در حین گلدهی و رسیدن میوه به تنش خشکی بسیار حساس است. در مناطقی با باران تابستانی کم و منابع آبی محدود برای آبیاری، توت‌فرنگی ممکن است کم آبیاری را تجربه کند. این مشکل ممکن است کشت توت‌فرنگی را محدود کند. پژوهش‌های مختلفی روی تغییر فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی توت‌فرنگی در پاسخ به تنش آبی وجود دارد. در توت‌فرنگی کم آبیاری به‌طور کلی با کاهش اندازه میوه و عملکرد همراه است (۱۸). با این وجود، پژوهش‌ها نشان داده‌اند کم آبیاری توت‌فرنگی می‌تواند غلظت برخی مواد مرتبط با طعم از جمله قندها و اسیدهای آلی را به‌طور قابل توجهی در میوه‌های رسیده افزایش دهد (۲۴ و ۲۷). در واقع، اندازه میوه توسط کم آبیاری کاهش و منوساکاریدها و نسبت قند به اسید در میوه‌های تیمار شده با کم آبیاری افزایش یافته بود (۷). در این بین ژنوتیپ گیاه و شدت تنش عوامل مهمی هستند که در پاسخ گیاه به تنش خشکی نقش بازی می‌کنند (۴ و ۱۶). بیشتر مطالعات انجام شده تاکنون برای تشخیص اثر کم آبیاری روی میوه توت‌فرنگی، به جای بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف، روی یک رقم متمرکز شده‌اند (۷). علاقه به شناسایی ژنوتیپ‌های توت‌فرنگی متحمل خشکی که قادرند از خشکی اجتناب کنند یا راندمان مصرف آب را بهینه سازند، رو به افزایش است، به‌ویژه در مناطقی که آب آبیاری کم است.

همخوانی با تبخیر و تعرق در ساعت ۱۱ صبح اعمال می‌شد. به منظور به‌حداقل رساندن تبخیر از سطح بستر، روی بستر کشت (اطراف طوقه گیاه) با پوشش‌های پلاستیکی پوشانده شد. بنابراین تبخیر و تعرق تقریباً برابر با تعرق کل گیاه محاسبه شد. بدین ترتیب میزان تعرق برای هر گیاه هر هفته اندازه‌گیری شد.

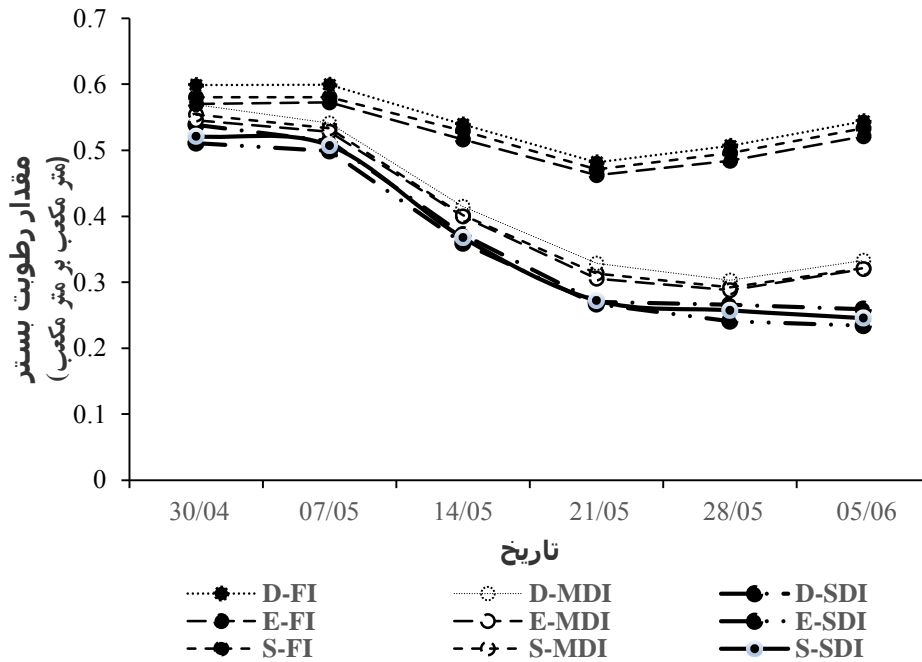
درجه حرارت، رطوبت نسبی و تابش فعال فتوسنتزی در ارتفاع تاج پوشش گیاهی در فواصل زمانی نیم ساعت با استفاده از یک ایستگاه هواشناسی کوچک (Mini-Meteorological Station, Pariva Controller) ثبت شد. میانگین درجه حرارت و رطوبت نسبی هوای روزانه در گلخانه به ترتیب ۲۲-۱۸ درجه سانتی‌گراد و ۷۲-۴۷ درصد بود. میانگین تابش کل بین ساعات ۱۸-۶ نیز ۹۱ وات بر متر مربع ثانیه بود. گیاهان در برابر پشه قارچ (*Sciara hemeroboid*) و مگس سفید *Pyrethrum 5 ecli* سمپاشی شدند. از تابلوهای چسبناک زردرنگ نیز برای جذب مگس سفید استفاده شد. رطوبت بستر هر گلدان هر هفته در یک روز ثابت و در ساعت ۱۲ با یک گیرنده رطوبت خاک دستی مدل HH2 اندازه‌گیری شد. پس از شروع تیمارهای آبیاری، رطوبت بستر به‌ترتیب در کم آبیاری ملایم و شدید کاهش یافت (شکل ۱).

روی هر گیاه یک گل‌آذین با اولین میوه و دو میوه ثانویه نگهداری شد. برداشت میوه‌ها در مرحله قرمز کامل و به صورت روزانه انجام شد. سپس وزن، طول و قطر آن‌ها اندازه‌گیری شد و شکل آن‌ها بر اساس طبیعی یا غیر طبیعی (بدشکل) بودن ثبت شد. مواد جامد محلول کل در هر میوه با رفاکتومتر و pH و اسید قابل تیتر اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش سطح برگ، وزن تر و خشک برگ تعیین شد. دمبرگ‌ها، طوقه‌ها و ریشه‌ها نیز خشک و

برداشت شد و سطح برگ با دستگاه سنجش سطح برگ مدل LI-cor 3000 اندازه‌گیری شد. وزن تر برگ‌ها اندازه‌گیری شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و وزن خشک آن‌ها نیز تعیین شد. دمبرگ‌ها، طوقه‌ها و ریشه‌ها (بعد از شستشو) خشک و توزین شدند. وزن خشک اندام هوایی رویشی، وزن خشک کل و نسبت وزن ریشه به اندام هوایی برای هر گیاه محاسبه شد. ۹۰ گلدان بقیه به‌طور تصادفی روی میزها قرار گرفته و تیمارهای آبیاری شروع شدند.

زمان‌بندی آبیاری بر اساس نیاز آبی السانتا انجام شد. تبخیر و تعرق هر گیاه هفته‌ای یک بار با توزین گلدان‌ها پس از آبیاری (پس از خروج آب اضافی از ته گلدان‌ها) و روز بعد، قبل از آبیاری بعدی تعیین شد. دستگاه سنجش تبخیر مدل Skye برای تعیین درجه ساعت تجمعی (° C h) در فواصل زمانی توزین گلدان‌ها به صورت روزانه قرائت شد. یک درجه ساعت یعنی اختلاف درجه حرارت یک درجه سانتی‌گراد برای یک دوره یک ساعتی بین برگ‌های مصنوعی تر و خشک روی دستگاه سنجش تبخیر. مخزن آب دستگاه سنجش تبخیر هر روز با آب دیونیزه پر می‌شد تا فتیله روی گیرنده برگ تر همواره خیس بماند. درجه ساعت تجمعی میزان نیاز تبخیر است. بنابراین تبخیر و تعرق در هر درجه ساعت برای هر گیاه محاسبه شد. برای گیاهان با آبیاری کامل میانگین تبخیر و تعرق در هر درجه ساعت برای هر رقم محاسبه شد. برای تعیین نیاز آبی ارقام، درجه ساعت تجمعی دوره‌های ۲۴ ساعتی هر روز قرائت شد و در میانگین تبخیر و تعرق در هر درجه ساعت ضرب شد و سپس به وسیله تایمر مدل Hunter X-Core برای تنظیم طول زمان آبیاری برای هر رژیم آبیاری استفاده شد. آبیاری هر روز تنظیم و برای

توزین شدند. وزن خشک اندام هوایی رویشی، وزن خشک کل و نسبت وزن ریشه به اندام هوایی برای هر گیاه محاسبه شد.



شکل ۱- میزان رطوبت بستر گلدان‌های توت‌فرنگی تحت رژیم‌های آبیاری به صورت هفتگی در فاصله زمانی ۳۰ آوریل تا ۵ ژوئن. D: دارسلکت، E: السانتا، S: سوناتا، FI: آبیاری کامل، MDI: کم آبیاری ملایم، SDI: کم آبیاری شدید.

زمانی که گیاهان با کم آبیاری تیمار شدند، سطح برگ به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. کمتر بودن سطح برگ در تیمارهای کم آبیاری را می‌توان به کاهش در میزان رشد برگ‌ها در نتیجه ارسال علائم (مانند آبسازیک اسید) از ریشه به برگ‌ها نسبت داد. به‌نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش خشکی، ممانعت از رشد سلولی به کاهش توسعه برگ‌ها منجر می‌شود. سطح برگ کمتر موجب جذب آب کمتری از خاک و کاهش تعرق می‌شود. در واقع، محدودیت سطح برگ می‌تواند اولین رفتار دفاعی برای مقابله با خشکی باشد. کاهش سطح برگ در توت‌فرنگی یک روش مقاومت در برابر خشکی است و می‌تواند مزیتی برای انتخاب رقم باشد (۱۰). در تنش خشکی برای به دست آمدن یک تعادل بین وضعیت

اختلاف بین ارقام، تیمارهای آبیاری و برهمکنش آن‌ها به‌روش تجزیه واریانس به‌کمک نسخه ۹/۳ نرم‌افزار SAS تعیین شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد.

نتایج و بحث

سطح برگ، وزن تر برگ و وزن خشک برگ: اثر رقم و رژیم آبیاری در سطح یک درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح پنج درصد بر سطح برگ، وزن تر برگ و وزن خشک برگ معنی‌دار شد (جدول ۱). رقم السانتا در تیمار آبیاری کامل بیشترین سطح برگ و وزن تر و خشک برگ و رقم دارسلکت در تیمار کم آبیاری شدید کمترین سطح برگ و وزن تر و خشک برگ را تولید کرد (جدول ۵).

را در هر سه رقم السانتا، الکات و سالوت کاهش داد (۱۶). همچنین Treder (۲۰۱۵) مشاهده کرد تنش خشکی سطح برگ را در ارقام مختلف توت‌فرنگی کاهش داد (۲۶). تعداد برگ در هر گیاه و اندازه برگ نیز با تنش آبی کاهش یافت (۲۳). Grant و همکاران (۲۰۱۰)، Passioura (۱۹۹۶) و Rizza و همکاران (۲۰۰۴) نیز نتایج مشابه با آنچه در این پژوهش و بررسی به دست آمده است را گزارش کردند (۱۰، ۱۹، ۲۱). همچنین Klamkowski و Treder (۲۰۰۸) دریافتند سه رقم توت‌فرنگی کاهش سطح برگ را در شرایط خشکی نشان می‌دهند (۱۶).

آب بافت محصول و آب جذب شده توسط ریشه‌ها، توسعه برگ‌ها محدود می‌شود (۱۹). به عقیده Rucker و همکاران (۱۹۹۵) خشکی می‌تواند سطح برگ را کاهش دهد که به کاهش بیشتر فتوسنتز منجر می‌شود (۲۲). تغییر تخصیص مواد فتوسنتزی و بنابراین تعدیل رشد به‌عنوان یک پاسخ سازگاری عمده به محدودیت آب قابل دسترس مشاهده شده است (۱۳). Rucker و همکاران (۱۹۹۵) نیز کاهش سطح برگ در تنش خشکی را مشاهده کرده بودند (۲۲). در طول غربالگری سه رقم توت‌فرنگی در برابر تنش خشکی Klamkowski و Treder (۲۰۰۸) مشاهده کردند تنش خشکی سطح برگ

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های برگ سه رقم توت‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک دم‌برگ
رقم	۲	۲۹۷۴۲۲۳/۰۷۸**	۱۸۱۵/۹۶۸**	۲۰/۲۱۴**
آبیاری	۲	۶۴۲۷۰۶/۰۳۹**	۴۵۹/۳۱۷**	۳/۴۸۶**
رقم × آبیاری	۴	۱۱۶۰۵۹/۳۱۷*	۶۹/۳۰۱*	۰/۸۵۷ ^{ns}
خطا	۸۱	۴۲۲۳۰/۹۹۰	۲۱/۵۸۵	۰/۴۲۰
ضریب تغییر (درصد)	-	۲۲/۵۰	۲۳/۹۸	۲۴/۰۲
^{ns} غیر معنی‌دار،	* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد،	** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد		

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های وزنی سه رقم توت‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک طوقه	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام رویشی هوایی	نسبت ریشه به وزن خشک اندام رویشی هوایی
رقم	۲	۰/۲۴۹ ^{ns}	۳۱/۹۱۶**	۲۹۵/۰۹۵**	۱/۸۰۸*
آبیاری	۲	۰/۰۷۸ ^{ns}	۰/۴۲۹ ^{ns}	۲۵/۰۵۰**	۴/۱۲۳**
رقم × آبیاری	۴	۰/۵۲۱ ^{ns}	۰/۵۴۹ ^{ns}	۱۶/۴۵۰*	۰/۶۱۲ ^{ns}
خطا	۸۱	۰/۲۱۷	۱/۴۶۸	۴/۸۹۵	۰/۴۶۴
ضریب تغییر (درصد)	-	۲۹/۸۰	۲۹/۹۶	۲۲/۴۵	۲۷/۲۵
^{ns} غیر معنی‌دار،	* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد،	** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد			

اثر رقم، رژیم آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک طوقه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

وزن خشک ریشه: اثر رقم بر وزن خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر آبیاری و برهمکنش رقم و آبیاری بر وزن خشک ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۲). السانتا و دارسلکت به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه را تولید کردند (جدول ۳). عدم تاثیر آبیاری نشان‌دهنده رشد نسبتاً کم ریشه در طول آزمایش بود. Klamkowski و Treder (۲۰۰۸) بین سه رقم توت‌فرنگی از نظر رشد ریشه و عملکرد در تنش خشکی اختلاف معنی‌دار پیدا کردند (۱۶). Grant و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند پاسخ به کم آبیاری در میان ارقام یکنواخت نبود و تعداد توت‌فرنگی‌ها، سطح برگ جدید و وزن خشک برگ و ریشه به طور معنی‌دار در تیمار کم آبیاری کاهش یافت (۱۰).

آن‌ها مانند این تحقیق بین ارقام تحت تنش خشکی، در صفات مختلف اختلاف معنی‌دار پیدا کردند. Rizza و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیان کردند صفات زیادی وجود دارند که با تنش آبی مرتبط هستند؛ مانند کوچکی گیاه و کاهش سطح برگ (۲۱).

وزن خشک دمبرگ: اثر رقم و رژیم آبیاری بر وزن خشک دمبرگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر برهمکنش رقم و آبیاری بر وزن خشک دمبرگ معنی‌دار نبود (جدول ۱). السانتا و دارسلکت به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک دمبرگ را تولید کردند (جدول ۳). کمترین وزن خشک دمبرگ در کم آبیاری شدید تولید شد (جدول ۴). Heschel و Rigions (۲۰۰۵) تصریح کرده‌اند که ارتفاع گیاه به مقدار فتوسنتز بسیار بستگی دارد و به شرایط محیطی بسیار حساس می‌باشد (۱۲).

جدول ۳ - مقایسه میانگین وزن خشک دمبرگ، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل و نسبت ریشه به وزن خشک اندام رویشی هوایی سه رقم توت‌فرنگی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

رقم	وزن خشک دمبرگ (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک کل (گرم)	نسبت ریشه به وزن خشک اندام رویشی هوایی
السانتا	۳/۴۹a	۵/۰۰a	۱۸/۰۴a	۲/۷۸a
سوناتا	۲/۷۶b	۴/۱۸b	۱۳/۹۵b	۲/۴۳ab
دارسلکت	۱/۸۵c	۲/۹۵c	۹/۷۲c	۲/۳۰b

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

جدول ۴ - مقایسه میانگین ویژگی‌های وزن خشک دمبرگ، وزن خشک کل و نسبت ریشه به وزن خشک اندام رویشی هوایی سه رقم توت‌فرنگی در سه رژیم آبیاری

تیمار آبیاری	وزن خشک دمبرگ (گرم)	وزن خشک کل (گرم)	نسبت ریشه به وزن خشک اندام رویشی هوایی
آبیاری کامل	۲/۹۷a	۱۴/۹۵a	۲/۷۳a
کم آبیاری ملایم	۲/۸۱a	۱۴/۲۸ab	۲/۷۰a
کم آبیاری شدید	۲/۳۲b	۱۲/۴۶b	۲/۰۷b

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

جدول ۵- مقایسه میانگین ویژگی‌های ریخت‌شناسی سه رقم توت‌فرنگی در سه رژیم آبیاری

وزن خشک اندام رویشی هوایی (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	وزن تر برگ (گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	تیمار آبیاری	رقم
۱۵/۵۳a	۹/۹۹a	۲۶/۱۳a	۱۴۵۸/۷۵a	آبیاری کامل	السانتا
۱۲/۲۳b	۷/۹۰b	۲۸/۱۰b	۱۱۴۸/۲۴b	کم آبیاری ملایم	
۱۱/۳۵b	۷/۰۸b	۲۴/۳۲b	۱۰۴۶/۴۲b	کم آبیاری شدید	
۹/۸۰bc	۶/۰۲bc	۲۱/۹۹bc	۱۰۱۰/۳۱b	آبیاری کامل	سوناتا
۱۱/۳۹b	۶/۸۷b	۲۳/۲۲b	۱۰۷۴/۶۹b	کم آبیاری ملایم	
۸/۱۱cd	۴/۶۷cd	۱۵/۸۹cd	۷۱۶/۶۹c	کم آبیاری شدید	
۷/۲۶cd	۴/۲۶cd	۱۵/۷۷cd	۶۵۷/۹۲c	آبیاری کامل	دارسلکت
۷/۵۱cd	۴/۳۳cd	۱۵/۵۸cd	۶۳۴/۴۵c	کم آبیاری ملایم	
۵/۵۳d	۳/۰۲d	۱۰/۷۸d	۴۷۴/۸۰c	کم آبیاری شدید	

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

بیشترین وزن خشک کل در آبیاری کامل تولید شد (جدول ۴). وزن زیست‌توده گیاه بیانگر این است که گیاه چه مقدار فتوسنتز حقیقی خود را قادر است به صورت فتوسنتز خالص درآورد. افزایش مقاومت مزوفیلی و روزنه‌ای در شرایط تنش آبی، سبب کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به درون گیاه می‌شود و تحت تأثیر این حالت، فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین وزن زیست‌توده در اثر تنش آبی کاهش پیدا می‌کند.

نسبت وزن خشک ریشه به اندام رویشی هوایی: اثر رقم بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام رویشی هوایی در سطح پنج درصد و اثر آبیاری بر آن در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر برهمکنش رقم و آبیاری بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام رویشی هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۲). این نسبت در السانتا بیشترین مقدار (جدول ۳) و در کم آبیاری شدید کمترین مقدار را داشت (جدول ۴). همچنین Razavi و همکاران (۲۰۰۸) کاهش در سطح و وزن برگ را در نتیجه تنش آبی تشخیص

وزن خشک اندام رویشی هوایی: اثر رقم و رژیم آبیاری بر وزن خشک اندام رویشی هوایی در سطح یک درصد و اثر برهمکنش رقم و آبیاری بر وزن خشک اندام رویشی هوایی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام رویشی هوایی در السانتا با آبیاری کامل دیده شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش خشکی، مقدار موادی مانند سایتوکینین کاهش می‌یابد و این کاهش نسبی، نسبت مستقیمی با رشد و وزن تر اندام‌های رویشی دارد. Grant و همکاران (۲۰۱۰) و Li و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که کمبود رطوبت خاک به کاهش زیست‌توده و برای بسیاری از ارقام به کاهش عملکرد منتج شد، حتی زمانی که تنش خشکی نسبتاً ملایم بود (۱۰، ۱۷).

وزن خشک کل: اثر رقم و رژیم آبیاری بر وزن خشک کل در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر برهمکنش رقم و آبیاری بر وزن خشک کل معنی‌دار نبود (جدول ۲). رقم‌های السانتا و دارسلکت به ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک کل را تولید کردند (جدول ۳).

به‌عبارتی از وزن تر میوه‌ها کاسته می‌شود. Grant و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند پاسخ به کمبود آب در میان ارقام یکنواخت نبود و اثر متقابل معنی‌دار بین رقم و آبیاری برای عملکرد قابل فروش و وزن میوه وجود داشت (۱۰). تحت شرایط مزرعه‌ای عملکرد توت‌فرنگی در اثر کمبود رطوبت خاک کاهش یافت (۱۷). این پژوهشگران دریافتند اختلاف در توپوگرافی در مزرعه توت‌فرنگی منجر به پیدایش نواحی می‌شود که گیاهان در آن‌ها در معرض تابش خورشیدی نسبتاً بالا و رطوبت خاک پایین قرار می‌گیرند و در این نواحی عملکرد کاهش می‌یابد. کاهش در سطح برگ و عملکرد میوه برای رقم هونوی در مزرعه تحت شرایط کم آبیاری کمی شدیدتر نیز توسط Liu و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است (۱۸). آن‌ها نشان دادند کم آبیاری در مزرعه تعداد میوه در رقم هونوی را کاهش نداد اما میانگین وزن میوه و عملکرد کل را کاهش داد. همچنین Liu و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند عملکرد رقم چندلر در پتانسیل ماتریک کم خاک تا حد زیادی کاهش یافت (۱۸). تحقیقات قبلی نیز نشان داد میوه توت‌فرنگی‌هایی که آبیاری کامل دریافت کرده بودند، وزن تر میوه بیشتری نسبت به آن‌هایی که تحت کم آبیاری رشد کرده بودند، داشتند (۱۸ و ۲۴). اخیراً Grant و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کرده‌اند بین ۱۰ رقم توت‌فرنگی از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی اختلاف قابل توجهی وجود دارد؛ هم زمانی که این ارقام کاملاً آبیاری شدند و هم زمانی که در معرض کم آبیاری قرار گرفتند و به آن پاسخ دادند (۱۰).

صفات بیوشیمیایی میوه‌ها: اثر رقم و رژیم آبیاری بر صفات بیوشیمیایی میوه‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر برهمکنش رقم و آبیاری بر این صفات

دادند که وزن ریشه کمتر از وزن اندام هوایی، کاهش یافته بود (۲۰).

طول و قطر میوه: اثر رقم بر طول و قطر میوه در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اثر رژیم آبیاری بر طول میوه در سطح پنج درصد و بر قطر میوه در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر برهمکنش رقم و آبیاری بر طول و قطر میوه معنی‌دار نبود (جدول ۶). السانتا کوچکترین میوه‌ها را تولید کرد (جدول ۷). کوچکترین میوه‌ها در کم آبیاری شدید تولید شد (جدول ۸). پایین بودن رطوبت در تیمارهای کم آبیاری می‌تواند تورژانس و تقسیم سلولی در میوه را کاهش داده و طول میوه را تحت تاثیر قرار دهد.

شکل میوه: اثر رقم بر شکل میوه در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر رژیم آبیاری و برهمکنش رقم و آبیاری بر شکل میوه معنی‌دار نبود (جدول ۶). السانتا بیشترین میوه‌های بدشکل را تولید کرد (جدول ۷).

عملکرد: اثر رقم و رژیم آبیاری بر عملکرد (قابل فروش و غیر قابل فروش) در سطح یک درصد و اثر برهمکنش رقم و آبیاری بر عملکرد در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). عملکرد سوناتا با آب قابل دسترس بیشتر، افزایش یافت. سوناتا و السانتا به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را داشتند (جدول ۹). احتمال می‌رود عملکرد کم در السانتا به‌علت تولید اندام‌های رویشی بیشتر باشد. کاهش عملکرد در تیمارهای کم آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل را می‌توان به کاهش تبخیر و تعرق گیاه در نتیجه کمبود رطوبت خاک در تیمارهای کم آبیاری نسبت داد. با اعمال تنش، پتانسیل آب در آوندهای چوبی کاهش پیدا می‌کند و به‌دنبال آن حرکت آب به درون میوه‌ها دچار اختلال می‌شود و

از آن نسبت قند به اسید به‌طور کلی در میوه‌های تیمار شده با کم آبیاری بیشتر بود (۷). اگرچه طعم در میوه‌های توت‌فرنگی فقط توسط قندها و اسیدها تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد و ترکیبات فرار نیز نقش مهمی در طعم و عطر توت‌فرنگی دارند. اسید سیتریک عمده‌ترین اسید یافت شده در ارقام مختلف است. در یک تحقیق کم آبیاری باعث کمتر شدن مقدار اسید در رقم السانتا شد (۲۴). این پژوهشگران مشاهده کردند که نسبت قند به اسید در گیاهان تیمار شده با کم آبیاری نسبت به گیاهان بدون تنش آبی به‌طور معنی‌دار بیشتر بود.

معنی‌دار نبود (جدول ۶). میوه‌های السانتا بیشترین مواد جامد محلول کل، pH و شاخص طعم و میوه‌های دارسلکت بیشترین اسید قابل تیتر را داشتند (جدول ۷). در مورد اثر کم آبیاری بر صفات مربوط به طعم (از جمله قندها و اسیدهای آلی) توت‌فرنگی اطلاعات کمی در دست است. پژوهش‌های قبلی نشان داده‌اند کم آبیاری در رقم السانتا به‌طور قابل توجهی سبب افزایش غلظت برخی از پارامترهای مربوط به طعم در میوه‌های رسیده می‌شود (۲۴). در واقع، با این‌که اندازه میوه به‌طور منفی تحت تأثیر کم آبیاری قرار گرفت، منوساکاریدها و مهمتر

جدول ۶ - تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکرد و بیوشیمیایی میوه سه رقم توت‌فرنگی

میانگین مربعات									
منابع تغییر	درجه آزادی	طول میوه	قطر میوه	شکل طبیعی میوه	عملکرد میوه	مواد جامد محلول کل	pH	اسید قابل تیتر	شاخص طعم
رقم	۲	۷۹۶/۴۳**	۴۰۸/۶۱**	۴۰۳۸/۷۴**	۳۵۶/۶۰**	۳۰/۴۱**	۰/۲۶**	۰/۴۰**	۵۴/۹۷**
آبیاری	۲	۴۷/۷۵*	۶۶/۸۲**	۹۶/۱۹ ^{ns}	۲۳/۴۰**	۸/۱۹ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۱/۳۹ ^{ns}
رقم x آبیاری	۴	۴/۲۹ ^{ns}	۱۰/۰۰ ^{ns}	۲۷۲/۰۴ ^{ns}	۱۰/۹۳*	۲/۸۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۲/۷۰ ^{ns}
خطا	۸۱	۱۱/۰۳	۸/۹۴	۶۹۱/۵۴	۴/۲۳	۴/۳۷	۰/۰۱	۰/۰۴	۲/۸۷
ضریب تغییر (درصد)	-	۱۲/۹۸	۱۱/۸۲	۲۹/۷۹	۲۶/۶۹	۲۱/۸۵	۲/۳۱	۱۳/۳۹	۲۴/۱۴
^{ns} غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد									

جدول ۷ - مقایسه میانگین ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی میوه سه رقم توت‌فرنگی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

رقم	طول میوه (میلی‌متر)	قطر میوه (میلی‌متر)	شکل طبیعی میوه (درصد)	مواد جامد محلول کل (درجه بریکس)	pH	اسید قابل تیتر (درصد)	شاخص طعم
السانتا	۱۹/۷۲b	۲۱/۷۱c	۲۹b	۱۰/۸a	۳/۶۴a	۱/۳۰۲b	۸/۴۷a
سوناتا	۲۹/۲۴a	۲۹/۰۹a	۹۶a	۹/۴b	۳/۵۰b	۱/۳۹۳b	۶/۸۲b
دارسلکت	۲۷/۸۹a	۲۵/۱۳b	۸۹a	۸/۸b	۳/۴۶b	۱/۵۳۴a	۵/۷۸b

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

جدول ۸ - مقایسه میانگین ویژگی‌های ریخت‌شناسی میوه سه رقم توت‌فرنگی در سه رژیم آبیاری

تیمار آبیاری	طول میوه (میلی‌متر)	قطر میوه (میلی‌متر)
آبیاری کامل	۲۶/۵۵a	۲۶/۲۶a
کم آبیاری ملایم	۲۶/۱۲ab	۲۶/۰۸a
کم آبیاری شدید	۲۴/۱۸b	۲۳/۵۹b

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

کمترین مقدار آب مصرفی کل را داشت (شکل ۲). راندمان مصرف آب به عنوان عملکرد در هر لیتر آب مصرف شده برای گیاه تعریف می‌شود. اثر رقم بر راندمان مصرف آب نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر آبیاری و برهمکنش رقم و آبیاری بر راندمان مصرف آب معنی‌دار نبود (جدول ۱۰). راندمان مصرف آب در السانتا کمترین مقدار را داشت (شکل ۲). راندمان مصرف آب بالا، توانایی مقاومت بیشتر در برابر خشکی را نشان می‌دهد (۱).

راندمان تعرق: اثر رقم و برهمکنش رقم و آبیاری بر راندمان تعرق در سطح یک درصد و اثر رژیم آبیاری بر راندمان تعرق در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۱). السانتا در تیمار آبیاری کامل بیشترین راندمان تعرق را نشان داد (شکل ۴). Grant و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند تنوع ارقام از نظر ساختار تاج گیاه، رشد و راندمان تعرق به‌طور معنی‌دار تحت تاثیر آبیاری قرار نگرفت (۱۰).

با توجه به نتایج این پژوهش توت‌فرنگی به کم آبیاری با کاهش در سطح برگ، وزن خشک اندام رویشی هوایی، وزن خشک کل و عملکرد پاسخ داد. لذا با وجود فواید مقاومت به خشکی به‌جهت بقای گیاه، پتانسیل عملکرد محدود می‌شود.

جدول ۹ - مقایسه میانگین عملکرد سه رقم توت‌فرنگی در سه رژیم آبیاری

رقم	تیمار آبیاری	عملکرد میوه (گرم)
السانتا	آبیاری کامل	۴/۳۷d
	کم آبیاری ملایم	۴/۳۳d
	کم آبیاری شدید	۳/۸۲d
سوناتا	آبیاری کامل	۱۲/۶۷a
	کم آبیاری ملایم	۱۱/۶۰ab
	کم آبیاری شدید	۸/۹۱bc
دارسلکت	آبیاری کامل	۷/۴۸c
	کم آبیاری ملایم	۸/۸۳bc
	کم آبیاری شدید	۷/۳۲c

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

Cordenunsi و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند کیفیت خوب میوه‌های توت‌فرنگی مربوط به آن‌هایی بود که این نسبت در آن‌ها بزرگتر از ۵/۳ بود (۵). اگرچه چنین اطلاعاتی باید با احتیاط پذیرفته شود، زیرا مستقیماً به ماهیت اندازه‌گیری بستگی دارند (۷).

کل آب مصرفی و راندمان مصرف آب: کل آب مصرفی مجموع آب مصرف شده توسط گیاه در طول آزمایش است. اثر رقم و رژیم آبیاری بر کل آب مصرفی در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر برهمکنش رقم و آبیاری بر کل آب مصرفی معنی‌دار نبود (جدول ۱۰). دارسلکت

جدول ۱۰- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری بر کل آب مصرفی و راندمان مصرف آب ارقام توت‌فرنگی

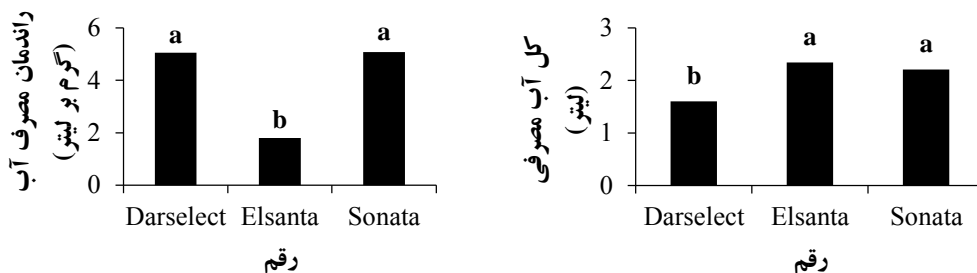
میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
راندمان مصرف آب	کل آب مصرفی		
۰/۰۰۰۱۱**	۴/۶۷۱**	۲	رقم
۰/۰۰۰۰۰ ^{ns}	۱/۱۲۷**	۲	آبیاری
۰/۰۰۰۰۰ ^{ns}	۰/۱۴۳ ^{ns}	۴	رقم × آبیاری
۰/۰۰۰۰۰	۰/۱۲۰	۸۱	خطا
۲۵/۲۶	۱۶/۹۳	-	ضریب تغییر (درصد)

^{ns} غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۱۱- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری بر راندمان تعرق ارقام توت‌فرنگی

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
راندمان تعرق	راندمان تعرق		
۷/۸۶۲**	۷/۸۶۲**	۱	رقم
۱/۸۵۳*	۱/۸۵۳*	۲	آبیاری
۳/۳۸۳**	۳/۳۸۳**	۲	رقم × آبیاری
/۵۱۳	/۵۱۳	۵۴	خطا
۲۱/۴۱	۲۱/۴۱	-	ضریب تغییر (درصد)

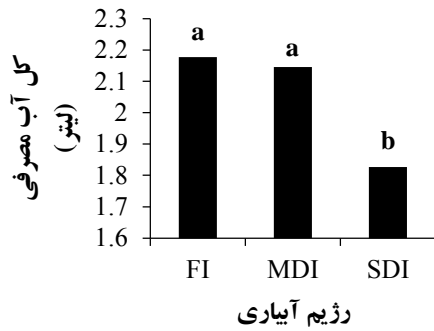
^{ns} غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۲- اثر سه رقم توت‌فرنگی بر کل آب مصرفی (چپ) و راندمان مصرف آب (راست). حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

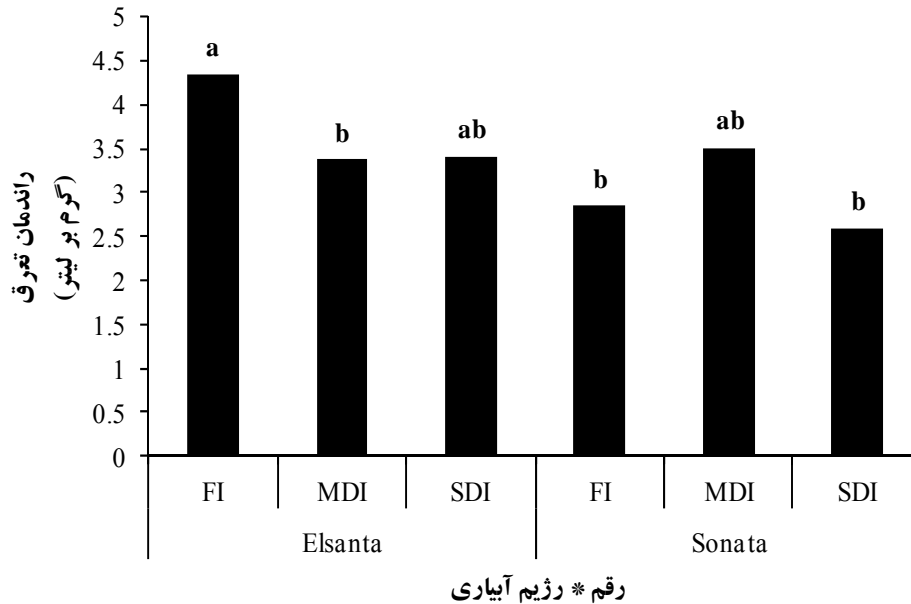
فتوسنتزی را به میوه اختصاص دهد، عملکرد بالاتری به دست می‌آید. چنانچه ذکر شد، سوناتا بیشترین عملکرد ولی سطح و وزن برگ کمی داشت. همچنین راندمان تعرق کم ولی راندمان مصرف آب بالایی داشت. السانتا

به نظر می‌رسد یک مبادله بین تخصیص مواد فتوسنتزی به دست آمده در هر واحد آب انتقال یافته به سوی میوه یا اندام‌های رویشی وجود دارد که در تنش خشکی برجسته‌تر می‌شود (۱۰)؛ اگر رقمی بخش بیشتری از مواد



شکل ۳ - اثر سه رژیم آبیاری بر کل آب مصرفی. FI: آبیاری کامل، MDI: کم آبیاری ملایم، SDI: کم آبیاری شدید. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

راندمان تعرق بالا ولی کمترین راندمان مصرف آب را نشان داد. لذا در پژوهش حاضر راندمان مصرف آب بیشتر، با عملکرد بالا همراه بود. این نتایج نشان می‌دهد در شرایط محدودیت آب، انتخاب برای پتانسیل عملکرد بالا، ممکن است به‌طور غیر مستقیم منجر به افزایش راندمان مصرف آب و عملکرد نسبتاً بالا شود. تقسیم‌بندی ارقام به تولید اندام رویشی بیشتر یا تولید میوه بیشتر، پیچیده است با این واقعیت که حتی مواد فتوسنتزی رویشی نیز به‌طور متفاوت تخصیص داده شده بودند؛ برای مثال السانتا در مقایسه با ارقام دیگر نسبت بالایی از وزن ریشه به وزن خشک اندام رویشی هوایی را نشان داد (۱۰).



شکل ۴ - برهمکنش اثر رقم و رژیم آبیاری بر راندمان تعرق دو رقم توت‌فرنگی. FI: آبیاری کامل، MDI: کم آبیاری ملایم، SDI: کم آبیاری شدید. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با هم در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون توکی است.

در السانتا مشاهده شد. همچنین راندمان مصرف آب با سطح برگ، وزن تر برگ، وزن خشک اندام رویشی هوایی و وزن خشک کل در پایان آزمایش همبستگی منفی داشت. زیرا با افزایش در سطح رویشی، کل آب

همبستگی بین صفات: همبستگی منفی معنی‌داری بین وزن تر برگ و وزن خشک کل با طول و عملکرد میوه وجود داشت (جدول ۱۲) که در نتیجه آن، بیشترین وزن تر برگ و وزن خشک کل و کمترین طول و عملکرد میوه

برگ، وزن خشک کل و عملکرد میوه داشت. در این پژوهش به‌طور کلی سوناتا بیشترین عملکرد ولی سطح و وزن برگ کمی داشت. همچنین راندمان تعرق کم ولی راندمان مصرف آب بالایی نشان داد. لذا و با توجه به بالاترین عملکرد آن در دو تیمار کم آبیاری، پاسخ آن مطلوبتر از دو رقم دیگر بود. برعکس این موارد در السانتا مشاهده شد. پیشنهاد می‌شود به منظور افزایش دقت و صحت تحقیق، زمانبندی آبیاری هر رقم بر اساس نیاز آبی آن رقم به‌طور جداگانه انجام شود. همچنین آبیاری مورد نیاز به علت احتمال مصرف سریع آب پس از آبیاری، به دو بار در روز تقسیم شود. مراحل رشدی متفاوت و انواع مختلف ژنوتیپ‌های گیاهی شامل حساس و متحمل نیز انتخاب شوند و کارایی آن‌ها در محدودیت‌های تنش آبی مشاهده شود.

مصرفی افزایش می‌یابد. بنابراین همبستگی مثبت معنی‌داری بین کل آب مصرفی با سطح و وزن تر برگ مشاهده شد. عملکرد با راندمان مصرف آب همبستگی مثبت داشت که در نتیجه آن، کمترین راندمان مصرف آب و عملکرد در السانتا مشاهده شد. شکل طبیعی میوه با طول، قطر و عملکرد میوه همبستگی مثبت داشت. زیرا میوه‌های طبیعی بزرگتر از میوه‌های غیر طبیعی بودند. ارتباط منفی معنی‌داری بین طول میوه و مواد جامد محلول کل وجود داشت. به همین دلیل میوه‌های کوچکتر طعم شیرینتری دارند.

نتیجه نهایی

در این تحقیق سعی شد اثرات مختلف رژیم‌های تنش خشکی برای به دست آوردن پاسخ‌های مناسب گیاهان توت‌فرنگی به این عامل محدودکننده بررسی شود. بر اساس نتایج مشاهده شده، کم آبیاری اثر منفی روی سطح

جدول ۱۲- همبستگی بین ویژگی‌های مختلف در سه رقم توت‌فرنگی و سه تیمار آبیاری

پارامتر	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۰/۹۷۱ ^{**}	۰/۹۶۱ ^{**}	۰/۵۷۲ ^{**}	۰/۹۵۴ ^{**}	۰/۹۱۸ ^{**}	-۰/۲۹۶ ^{**}	-۰/۰۱۰	-۰/۱۳۱	-۰/۴۸۵ ^{**}	۰/۲۴۱ [°]	۰/۵۲۸ ^{**}	-۰/۵۲۶ ^{**}	۰/۸۳۸ ^{**}	-۰/۵۹۴ ^{**}
۲	۱/۰۰۰	۰/۹۸۵ ^{**}	۰/۵۵۲ ^{**}	۰/۹۶۶ ^{**}	۰/۹۲۱ ^{**}	-۰/۳۷۸ ^{**}	-۰/۱۱۱	-۰/۲۳۵ [°]	-۰/۵۵۲ ^{**}	۰/۲۰۹ [°]	۰/۵۶۹ ^{**}	-۰/۵۳۴ ^{**}	۰/۸۲۵ ^{**}	-۰/۶۷۰ ^{**}
۳		۱/۰۰۰	۰/۵۷۳ ^{**}	۰/۹۸۶ ^{**}	۰/۹۴۳ ^{**}	-۰/۳۷۸ ^{**}	-۰/۱۰۳	-۰/۲۲۲ [°]	-۰/۵۴۹ ^{**}	۰/۲۸۴ ^{**}	۰/۵۶۲ ^{**}	-۰/۵۱۵ ^{**}	۰/۸۶۱ ^{**}	-۰/۶۷۷ ^{**}
۴			۱/۰۰۰	۰/۶۲۵ ^{**}	۰/۷۹۶ ^{**}	-۰/۳۹۴ ^{**}	-۰/۱۵۸	-۰/۲۵۶ [°]	-۰/۵۲۸ ^{**}	۰/۳۲۶ ^{**}	۰/۴۵۴ ^{**}	-۰/۲۹۳ ^{**}	۰/۵۹۶ ^{**}	-۰/۵۶۱ ^{**}
۵				۱/۰۰۰	۰/۹۷۰ ^{**}	-۰/۳۴۷ ^{**}	-۰/۰۸۴	-۰/۲۰۷	-۰/۵۳۰ ^{**}	۰/۳۰۳ ^{**}	۰/۵۶۱ ^{**}	-۰/۵۰۲ ^{**}	۰/۸۸۴ ^{**}	-۰/۶۷۷ ^{**}
۶					۱/۰۰۰	-۰/۳۹۲ ^{**}	-۰/۱۱۴	-۰/۲۴۰ [°]	-۰/۵۷۵ ^{**}	۰/۳۳۶ ^{**}	۰/۵۷۶ ^{**}	-۰/۴۸۰ ^{**}	۰/۸۷۱ ^{**}	-۰/۶۹۹ ^{**}
۷						۱/۰۰۰	۰/۸۴۰ ^{**}	۰/۸۶۹ ^{**}	۰/۷۱۸ ^{**}	-۰/۳۳۲ ^{**}	-۰/۴۹۰ ^{**}	۰/۰۴۶	-۰/۰۷۴	۰/۷۸۲ ^{**}
۸							۱/۰۰۰	۰/۹۲۷ ^{**}	۰/۵۶۲ ^{**}	-۰/۱۴۲	-۰/۳۴۱ ^{**}	-۰/۰۴۰	۰/۲۱۳ [°]	۰/۶۶۴ ^{**}
۹								۱/۰۰۰	۰/۶۷۲ ^{**}	-۰/۱۷۸	-۰/۴۵۳ ^{**}	۰/۰۴۰	۰/۱۰۷	۰/۷۹۴ ^{**}
۱۰									۱/۰۰۰	-۰/۳۱۰ ^{**}	-۰/۶۰۶ ^{**}	۰/۴۴۳ ^{**}	-۰/۳۴۰ ^{**}	۰/۷۶۶ ^{**}
۱۱										۱/۰۰۰	۰/۲۳۱ [°]	-۰/۰۲۷	۰/۲۷۴ ^{**}	-۰/۳۰۵ ^{**}
۱۲											۱/۰۰۰	-۰/۴۹۷ ^{**}	۰/۴۵۶ ^{**}	-۰/۶۴۲ ^{**}
۱۳												۱/۰۰۰	-۰/۴۷۱ ^{**}	۰/۲۹۸ ^{**}
۱۴													۱/۰۰۰	-۰/۴۸۴ ^{**}
۱۵														۱/۰۰۰

۱: سطح برگ ۲: وزن تر برگ ۳: وزن خشک برگ ۴: وزن خشک ریشه ۵: وزن خشک اندام رویشی هوایی ۶: وزن خشک کل ۷: طول میوه ۸: قطر میوه ۹: عملکرد میوه ۱۰: شکل طبیعی میوه ۱۱: مواد جامد محلول کل ۱۲: pH ۱۳: اسید قابل تیتر ۱۴: کل آب مصرفی ۱۵: راندمان مصرف آب * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

منابع

- 1- Bota, J., Flexas, J., Medrano, H., 2001. Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Annals of Applied Biology*, 138: 353-361.
- 2- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, E.M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A., Stanca, A.M., 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105: 1-14.
- 3- Charlesworth, P.B., 2005. *Irrigation Insights No. 1-Soil Water Monitoring*, 2nd ed. National Program for Irrigation Research and Development CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.
- 4- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J., 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239-264
- 5- Cordenunsi, B.R., Do Nascimento, J.R.O., Genovese, M.I., Lajolo, F.M., 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(9): 2581-2586.
- 6- dos Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., de Souza, C.R., Maroco, J.P., Pereira, J.S., Silva, J.R., Chaves, M.M., 2003. Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field-grown grapevines (*Vitis vinifera*). *Functional Plant Biology*, 30: 663-671.
- 7- Giné Bordonaba, J. Terry, L.A., 2010. Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (*Fragaria×ananassa*) from different cultivars using deficit irrigation. *Food Chemistry*, 122: 1020-1026.
- 8- Grant, O.M., Stoll, M., Jones, H.G., 2004. Partial rootzone drying does not affect fruit yields of raspberries. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79: 125-130.
- 9- Grant, O.M., Davies, M.J., Longbottom, H., Atkinson, C.J., 2009. Irrigation scheduling and irrigation systems: optimising irrigation efficiency for container ornamental shrubs. *Irrigation Science*, 27: 139-153.
- 10- Grant, O.M., Johnson, A.W., Davies, M.J., James, C.M., Simpson, D.W., 2010. Physiological and morphological diversity of cultivated strawberry (*Fragaria×ananassa*) in response to water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 264-272.
- 11- Grant, O.M., Davies, M.J., Johnson, A.W., Simpson, D.W., 2012. Physiological and growth responses to water deficits in cultivated strawberry (*Fragaria×ananassa*) and in one of its progenitors, *Fragaria chiloensis*. *Environmental and Experimental Botany*, 83: 23-32.
- 12- Heschel, M.S., Riginos, C., 2005. Mechanism of selection for drought stress tolerance and avoidance in *Impatiens capensis* (Balsaminaceae). *American Journal of Botany*, 92: 37-44.
- 13- Hsiao, T.C., Xu, L.K., 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, 51: 1595-1616.
- 14- Jones, H.G., 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2427-2436.
- 15- Klamkowski, K., Treder, W., 2006. Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 71: 159-165.
- 16- Klamkowski, K., Treder, W., 2008. Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16: 179-188.
- 17- Li, H., Li, T., Gordon, R.J., Asiedu, S.K., Hu, K., 2010. Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index

- variation. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 165-174.
- 18- Liu, F., Savi, S., Jensen, C.R., Shahnazari, A., Jacobsen, S.E., Stikić, R., Andersen, M. N., 2007. Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation. *Scientia Horticulturae*, 111(2): 128-132.
- 19- Passioura, J.B., 1996. Drought and drought tolerance. In: E. Belhassen (ed.), *Drought tolerance in higher plants: Genetical, physiological and molecular biological analysis*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 3-12.
- 20- Razavi, F., Pollet, B., Steppe, K., Van Labeke, M.C., 2008. Chlorophyll fluorescence as a tool for evaluation of drought stress in strawberry. *Photosynthetica*, 46: 631-633.
- 21- Rizza, F., Badeck, F.W., Cattivelli, L., Lidestri, O., Fonzo, D.N., Stanca, A.M., 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science*, 44: 2127-2137.
- 22- Rucker, K.S., Kevin, C.K., Holbrook, C.C., Hook, J.F., 1995. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. *Peanut Science*, 22: 14-18.
- 23- Shao, H.B., Li, Y., Chu, C., Abdul Jaleel, Zhao, C.X., 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 215-225.
- 24- Terry, L.A., Choje, G.A., Giné Bordonaba, J., 2007. Effect of water deficit irrigation and inoculation with *Botrytis cinerea* on strawberry (*Fragaria×ananassa*) fruit quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26): 10812-10819.
- 25- Topcu, S., Kirda, C., Dasgan, Y., Kaman, H., Cetin, M., Yazici, A., Bacon, M.A., 2007. Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. *European Journal of Agronomy*, 26(1): 64-70.
- 26- Treder W., Tryngiel-Gać A., Klamkowski K., 2015. Development of greenhouse soilless system for production of strawberry potted plantlets. *Horticultural Science*, 42: 29-36.
- 27- Watson, R., Wright, C.J., McBurney, T., Taylor, A.J., Linforth, R.S.T., 2002. Influence of harvest date and light integral on the development of strawberry flavour compounds. *Journal of Experimental Botany*, 53: 2121-2129.

The effect of water deficits on some morphological and physiological characteristics of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.)

Rafeiee pour M., Gholami M. and Sarikhani H.

Dept. of Horticultural Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I.R. of Iran

Abstract

Drought is one of the major environmental stresses decreasing plant photosynthesis, growth and production. Deficit irrigation, where less than 100% crop evapotranspiration is replaced by irrigation, can also be used to reduce the demand for irrigation water. The objectives of this study were to characterize the impact of three irrigation treatments (full irrigation, mild deficit irrigation and severe deficit irrigation) on three different strawberry cultivars (namely Darselect, Elsanta and Sonata). A factorial experiment was performed based on completely randomized design with 10 replications. Results showed Elsanta and Sonata developed more and less leaf area and mass, respectively. Elsanta showed more transpiration efficiency and the least water use efficiency. Sonata had less transpiration efficiency and more water use efficiency. Elsanta and Sonata had the lowest and highest yield, respectively. Elsanta fruits had the most flavor index. There was a negative significant correlation between leaf fresh mass and fruit yield. Also water use efficiency was negatively correlated with leaf area and fresh mass and total dry mass at the end of experiment. Water use efficiency was correlated positively with yield. According to the results, stress had negative effects on leaf area, total dry mass and yield and generally, Sonata for more yields was better than the other two cultivars.

Key words: Water deficits, Strawberry, Transpiration efficiency, Water use efficiency, Yield