

تأثیر کم‌آبیاری بر ویژگی‌های رویشی و صفات کیفی میوه توت‌فرنگی

Effect of Deficit Irrigation on Some Vegetative Characteristics and Quality Traits of Strawberry Fruits

محمد سرسیفی^۱، علی سلیمانی^{۱*}، ناصر قادری^۲، اسماعیل امیری^۱

۱- گروه علوم باغبانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

*نویسنده مسئول، پست الکترونیک: asoleimani@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۱۳

چکیده

به دلیل افزایش جمعیت، پیامدهای تغییر اقلیم و کمبود منابع آبی، استفاده از روش کم‌آبیاری بدون کاهش معنی‌دار عملکرد محصول و حفظ پاره‌ای خصوصیات کیفی، امری بدیهی می‌باشد. در این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری بر روی صفات رویشی و عملکردی و بیوشیمیایی، تحت سامانه آبیاری قطره‌ای و سیستم کاشت پشته‌ای دوردیفه، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده برپایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه سطح آبیاری براساس درصدهای مختلف تخلیه رطوبتی خاک شامل (۰٪، ۳۰٪، ۶۵٪) با دو رقم توت‌فرنگی و سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه واقع در شهرستان سنندج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، که اعمال تنش ملایم آبیاری (I_2) باعث کاهش رشد رویشی در بعضی صفات مانند وزن خشک شاخساره و ریشه، تعداد و وزن خشک طوقه، حجم ریشه و سطح و تعداد برگ، اما معنی‌دار نگردید. با افزایش شدت تنش (I_3)، رشد رویشی و زایشی گیاه توت‌فرنگی به شدت تحت تأثیر قرار گرفت و کاهش یافت. کم‌ترین میزان سطح برگ (۳۲۲ میلی‌متر مربع)، تعداد برگ (۲۷/۲ عدد)، وزن خشک شاخساره (۱۷/۷ گرم) و ریشه (۴/۳۸ گرم) و همچنین تعداد میوه (۱۶/۱ عدد) و عملکرد میوه (۶۸ گرم) در شدت تنش ۶۵ درصد مشاهده شد. محتوای قندهای گلوکز و فروکتوز و ساکارز نیز با اعمال تنش کم‌آبی کاهش نشان دادند، اسیدسیتریک تغییرات خاصی نشان نداد و تغییرات اسکوربیک اسید و مالیک اسید از نظم خاصی برخوردار نبودند. مقایسه میانگین بین دو رقم نشان داد که مقدار عملکرد و تعداد میوه به طور معنی‌داری کاهش یافت. در مجموع رقم کوئین‌الیزا در شرایط تنش، مقاومت بیشتری نسبت به رقم پاروس از خود نشان داده و بیشترین مقدار وزن خشک شاخساره، وزن خشک طوقه، حجم ریشه و سطح برگ را از خود نشان داده است. بر اساس نتایج، به نظر می‌رسد که کم‌آبیاری ملایم در کشت‌های توت‌فرنگی، به عنوان راهکاری موثر در مصرف کمتر آب و حفظ قابل قبول عملکرد رویشی و زایشی مطرح است.

واژه‌های کلیدی: توت‌فرنگی، کم‌آبیاری، قند، اسید آلی و عملکرد.

مقدمه

گیاهان در طول دوره رشد خود پیوسته بوسیله تنش‌های محیطی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. تنش خشکی، از عوامل نامساعدی است که رشد و نمو و عملکرد گیاهان را محدود می‌کند (Azizinya *et al.*, 2005). تنش خشکی سبب برهم زدن تعادل فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاهان توت‌فرنگی و کاهش کیفیت و کمیت محصول می‌شوند (Jaleel *et al.*, 2009). گیاهان نیز برای مقابله با خشکی، مکانیزم‌های متفاوت فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و یا تلفیقی از آنها را از خود نشان می‌دهند (Aghaiee *et al.*, 2019; Mozafari *et al.*, 2018). شناخت عکس‌العمل‌های گیاه در مقابل رژیم‌های مختلف آبی و مقدار آبی که در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (Farooq *et al.*, 2014) و مکانیزم‌های متفاوتی که جهت مقابله با تنش با توجه به زمان وقوع

و طول مدت زمان تنش خشکی از خود نشان می‌دهند مهم است (Gilbert & Medina, 2016). تولید محصول قابل قبول در مزرعه توت‌فرنگی، نیازمند آبیاری کافی و مناسب است. ریشه‌های سطحی و کم عمق، سطح برگ زیاد و میوه آبدار توت‌فرنگی، حجم بالایی از آب را در طول فصل رشد طلب می‌کنند (Martínez-Ferri *et al.*, 2016). در سال‌های اخیر کمبود منابع آب از مهم‌ترین دغدغه‌های بخش کشاورزی ایران بوده است. پیامدهای تغییر اقلیم و شیب کاهنده بارش‌ها از سویی و گرم شدن هوا از سوی دیگر و هم‌زمانی تقاضای جمعیت برای تولید مواد غذایی تا حدودی اوضاع را بحرانی‌تر نموده است.

توت‌فرنگی با نام علمی (*Fragaria x ananassa* Duch) یکی از مهم‌ترین ریزمیوه‌های معطر و خوش طعم در جهان است که از لحاظ اقتصادی نیز اهمیت فراوانی دارد (Natsheh *et al.*, 2015). علاوه بر این، توت‌فرنگی به دلیل خصوصیات ویژه به صورت گیاه مدلی برای مطالعه خصوصیات ژنتیکی و رفتار فیزیولوژیکی گیاهان خانواده رزاسه نیز محسوب می‌شود (Rousseau-Gueutin *et al.*, 2008). جمهوری اسلامی ایران با تولید ۶۴۹۰۶ تن توت‌فرنگی و سطح زیر کشت ۴۴۷۵ هکتار، در لیست بیست کشور اول تولیدکننده توت‌فرنگی جهان قرار دارد (FAO, 2023). این گیاه در مزره گیاهان با نیازمندی بالا به آب طبقه‌بندی شده و میزان آب و مدیریت آبیاری در تولید محصول نقش مهمی دارند. نیاز توت‌فرنگی به آب زیاد است زیرا گیاهان دارای ریشه‌های کم عمق، سطح برگ زیاد و محتوای آب میوه زیاد هستند (Ariza *et al.*, 2021). صفات رشد رویشی عمده که در گیاه توت‌فرنگی می‌تواند تحت تاثیر کمبود آب قرار گیرد شامل تولید و رشد و نمو برگ، تولید ساقه رونده، گسترش ریشه، وزن و تعداد میوه‌ها هستند. میزان صدماتی که در اثر کمبود آب وارد می‌گردد به مرحله رشد و نمو گیاه و رقم بستگی دارد. توت‌فرنگی جهت تولید محصول کافی به آبیاری مناسب نیاز دارد. در مناطقی که دارای تابستان گرم و خشک بوده و محدودیت منابع آب وجود دارد، توت‌فرنگی می‌تواند تحت تنش خشکی مدیریت شده، قرار گیرد. این گیاه به دلیل داشتن سیستم ریشه سطحی، سطح برگ زیاد و آبدار بودن میوه به حجم آب بالایی نیازمند است (Klamkowski & Treder, 2006). تنش کم‌آبی تابستانه، به علت گرما و نور زیاد آفتاب در مزرعه می‌تواند در رشد و نمو توت‌فرنگی اختلال مضاعفی ایجاد کرده و مقدار تولید را به شدت تحت تاثیر قرار دهد (Liu *et al.*, 2007). میزان تنظیم اسمزی، گستردگی سطح برگ و مقدار تعرق از شاخص‌های مورد توجه جهت انتخاب ارقام مختلف توت‌فرنگی از نظر تحمل به تنش خشکی می‌باشند (Grant *et al.*, 2010). ارقام متحمل، از نظر عملکرد و کارایی مصرف آب به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت می‌باشند و توانایی قابل قبولی در تولید محصول نشان می‌دهند (Ariza *et al.*, 2021). کاهش رشد ناشی از تنش می‌تواند به علت کاهش توسعه سلول ناشی از کاهش فشار تورژسانس و تقسیم سلولی و کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها باشد همچنین گاهی اوقات استفاده از تأثیر تنش کم‌آبی بر کمیت و کیفیت گیاه توت‌فرنگی به منظور مدیریت آبیاری و محصول ضروری است (Shahnazari & Rezaiyan, 2016). قسمت‌های مختلف گیاه مانند رشد و نمو برگ، تولید ساقه رونده، گسترش ریشه، وزن و تعداد میوه‌ها می‌تواند تحت تأثیر کمبود آب قرار گیرد. گیاهان با افزایش پتانسیل آب بافتی از اثرات مضر خشکی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دوری می‌کنند (Khan & Iqbal, 2011). بررسی‌ها نشان می‌دهد خشکی شدید بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام مختلف توت‌فرنگی از جمله کوئین‌الیزا و کردستان اثر گذاشته و منجر به کاهش در سطح برگ، وزن خشک برگ و ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن خشک کل، محتوای نسبی آب و عملکرد می‌شود (Ghaderi *et al.*, 2015). بر اساس گزارش محققان در ارقام مختلف توت‌فرنگی با کاهش محتوای آب خاک و افزایش شدت تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ، سطح پایداری غشا و میزان کلروفیل کاهش نشان دادند (Ghaderi *et al.*, 2015). افزایش تنش خشکی در توت‌فرنگی باعث افزایش غلظت ترکیباتی چون آنتوسیانین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش در اندازه میوه و عملکرد میوه شده و فروکتوز و گلوکز تحت تأثیر تنش خشکی در توت‌فرنگی افزایش می‌یابند (Gine-Bordonaba & Terry, 2016). تنش خشکی و شوری در توت‌فرنگی می‌تواند باعث تأخیر در توسعه اندام‌های زایشی آن و بنابراین منجر به کاهش تولید گل‌ها و میوه‌ها شود (Li *et al.*, 2002). بنابراین شناخت تغییرات رویشی گیاه و صفات کیفی میوه در مقابل تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و مقدار آبی که در دسترس گیاه قرار می‌گیرد، و مکانیزم‌های متفاوتی که جهت مقابله با تنش از خود نشان می‌دهند، حائز اهمیت می‌باشد. هدف از مطالعه انجام شده، واکنش گیاه به تنش کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد در دو رقم مهم و تجاری توت‌فرنگی بر اساس شاخص‌های رویشی برگ و میوه بود.

مواد و روش‌ها

مکان، زمان و نوع طرح آزمایشی

این آزمایش در مزرعه پژوهشی ایستگاه گریزه، در مختصات جغرافیایی یوتی‌ام شرقی ۶۸۴۵۱۷ و شمالی ۳۹۰۵۰۵۳ (UTM)، Universal Transverse Mercator) متعلق به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان واقع در شهر سنندج انجام گرفت. آمار هواشناسی چهل‌ساله منطقه، حداقل مطلق منفی ۳۱ و حداکثر مطلق مثبت ۴۴ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. متوسط بارندگی استان ۴۵۰ میلی‌متر است که در مقایسه با متوسط بارندگی ایران (۲۵۰ میلی‌متر) در شرایط بهتر و در مقایسه با متوسط بارندگی جهان (۹۰۰ میلی‌متر) در شرایط نامساعدتری قرار دارد. در سیستم کاشت جوی‌پشته دوردیفه در بستر خاک با بافت رسی‌شنی، تحت آبیاری قطره‌ای سطحی، از منبع چاه‌های ایستگاه و متکی به آب رودخانه فصلی، نشاهای دو رقم تجاری توت‌فرنگی کوئین‌الیزا (Queen Eliza) با منشأ آمریکایی و پاروس (Paros) با منشأ ایتالیایی از بوته‌های دختری کلکسیون توت‌فرنگی، انتخاب و کاشته شدند. این ارقام روز کوتاه بوده و از ارقام سفت‌میوه با عملکرد بالا بوده که در دوده‌ها اخیر معرفی شده‌اند (Sarsaifee, 2016).

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح آبیاری براساس درصدهای مختلف تخلیه رطوبتی خاک شامل ۰، ۳۰ و ۶۵ (به ترتیب I_1 و I_2 و I_3) به ترتیب شاهد I_1 و کم‌آبیاری ملایم I_2 و کم‌آبیاری شدید I_3 به عنوان عامل اصلی و ارقام توت‌فرنگی کوئین‌الیزا و پاروس به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. در این آزمایش عرض پشته و فاصله بین پشته‌ها هر کدام ۸۰ سانتی‌متر، تراکم بوته در روی پشته ۲۵×۴۰ سانتی‌متر بود و در هر کرت آزمایشی تعداد ۳۰ نشاء کاشته شد. مبارزه با علف‌هرز به صورت مکانیکی و میزان مصرف کود کامل آلی و شیمیایی بر اساس آزمون خاک (مقدار سه کیلوگرم کود پوسیده حیوانی در مترمربع و کودهای شیمیایی به نسبت پتاس ۱۶/۶ درصد، فسفر ۸/۷ درصد و ازت ۲۰ درصد، به صورت مصرف خاکی و کود میکرو کامل در غلظت ۲/۵ در هزار در پانزدهم ماه‌های اردیبهشت، خرداد و شهریور و کود کلسیم‌بور با غلظت ۳ در هزار در اواخر خرداد و نیمه مرداد به صورت محلولپاشی) انجام شد. اجرای آزمایش در طی دو سال (Y_1 , Y_2) در یک مزرعه صورت گرفت. نمونه‌برداری جهت ثبت متغیرهای مورد بررسی در سه مرحله مختلف رویش بهار، (گل‌دهی و میوه‌دهی) در اواخر اردیبهشت (T_1)، رویش تابستانه (تولید ساقه‌های رونده) در اواخر مرداد (T_2) و رویش پاییزه (آغاز رکود و گل‌انگیزی)، در اواخر مهر (T_3) صورت گرفت. داده‌های هر مرحله به صورت جداگانه مورد تجزیه آماری قرار گرفتند.

ارزیابی صفات

در فصل بهار و در زمان رسیدن میوه‌ها (رنگ‌گیری ۷۰ درصد از بافت ظاهری میوه)، نمونه میوه به‌هنگام صبح و از میوه‌های برداشت‌شده سری دوم گل‌آذین توت‌فرنگی تهیه شد. ارزیابی خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی با روش تهیه عصاره فریزشده در منفی ۷۰ درجه سلسیوس در دو سال متوالی انجام شد. شاخص‌های رشدرویشی در سه مرحله از فصل‌رشد در اردیبهشت ماه، در تیرماه و در اواخر مهرماه، یادداشت برداری شدند. وزن خشک شاخساره، ریشه و طوقه بعد از قراردادن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون و پس از آن که به وزن ثابتی رسیدند، بوسیله ترازوی دیجیتالی، بر حسب گرم اندازه‌گیری شدند (Pan et al., 2006). سطح پهنک برگ‌ها بر حسب میلی‌مترمربع با دستگاه سطح‌سنج برگ آزمایشگاهی (Leaf Area Meter stable) اندازه‌گیری شدند. تعداد برگ، تعداد میوه و تعداد طوقه به صورت شمارشی و مقدار میوه برداشت شده بوسیله ترازوی دیجیتالی بر حسب گرم اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری حجم ریشه، از استوانه مدرج حاوی آب و تعیین تغییر حجم آب با غوطه‌ورکردن کامل ریشه بر حسب سانتی‌متر مکعب استفاده شد (روش مرسوم اختلاف حجم آب). هم‌چنین اندازه‌گیری رنگدانه کلروفیل کل به روش (Lichtenthaler & Buschaman, 2001) استخراج و میزان جذب نور توسط عصاره استخراج شده با اسپکتروفتومتر مدل (Jenway) در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ تعیین گردید. در فصل بهار در زمان رسیدن میوه‌ها (رنگ‌گیری ۷۰ درصد از بافت ظاهری میوه)، به‌هنگام صبح و از میوه‌های سری دوم گل‌آذین نمونه میوه تهیه شد و صفاتی نظیر عملکرد میوه بر حسب گرم بر بوته، تعداد میوه در هر بوته به صورت

شمارشی انجام شد. و از مجموع برداشت‌ها، عملکرد کل محاسبه شد. هم‌چنین در زمان میوه‌دهی تعداد میوه، میانگین وزن میوه و سفتی میوه بوسیله پنترومتر مدل (FG-5020)، بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری کلروفیل کل

مقدار ۰/۲۵ گرم از برگ هر نمونه در یک هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر ساییده شد و به‌صورت توده همگنی درآمد (عمل ساییدن و له کردن بافت در محیط خنک و کم نور انجام شد). مخلوط حاصل با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از مخلوط به‌دست آمده با ۴/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط و سپس به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس محلول رویی برداشته شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب آن در طول موج‌های ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و غلظت کلروفیل کل برحسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ با استفاده از رابطه موجود محاسبه گردید (Gross, 2012).

اندازه‌گیری قندهای محلول با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با بازدهی بالا (HPLC)

برای استخراج قندهای محلول (گلوکز، فروکتوز و ساکاروز) در ابتدا نمونه‌ها در نیتروژن مایع منجمد شدند. در مرحله بعد بافت‌ها با کمک نیتروژن مایع به‌طور کامل پودر شدند. به ۱ گرم پودر برگ توت‌فرنگی ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیرشده اضافه شد. بعد از یکنواخت شدن توسط لوله‌های سانتریفیوژ مدل هیچ آلمان با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول شفاف فوقانی از صافی میلی‌پور ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد و در ظرف نمونه شیشه‌ای میلی‌لیتری جمع‌آوری گردید و از آن برای تزریق به دستگاه HPLC^۱، استفاده و مقداری هم در فریزر منفی ۱۸ جهت آزمایش‌های بعدی نگهداری گردید (Shin et al., 2002). دستگاه مدل شیمادزو ژاپن برای اندازه‌گیری قندهای اصلی از سیستم مربوطه با مشخصات زیر بهره‌گیری شد. ستون جداکننده به ابعاد ۷/۹ در ۳۰۰ میلی‌متر از نوع SCR-101N، مخصوص تجزیه قندها با مکانیزم غربالی یونی (Ion Exclusion)، گارد یا محافظ ستون SCR(N) به ابعاد ۷/۹ در ۴۰ میلی‌متر، سیستم فاز متحرک ایزوکراتیک (Isocratic)، فاز متحرک آب دوبار تقطیرشده، پمپ HPLC مدل IC-6A، سرعت جریان فاز متحرک ۰/۷ میلی‌لیتر در دقیقه، دمای ستون جداکننده ۶۰ درجه سلسیوس با آون مدل CTO68، شناساگر ضریب انکسارسنجی RID مدل شیمادزو ژاپن مخصوص شناسایی قندها، حساسیت (Attenuation) سیستم برابر ۴، سرعت چارت برابر ۵ میلی‌متر در دقیقه، سیستم تزریق Rhodyne پس از فیلتر شدن نمونه‌های آماده‌شده با صافی‌های میلی‌پور ۰/۴۵ میکرون، تزریق یک میکرولیتر با دو تکرار با سرنگ ۱۰ میکرولیتری همیلتون (Hamilton syringe) به دستگاه، و سپس نتایج و اطلاعات به‌دست آمده مربوط به سطح زیر منحنی‌های هر نمونه ثبت شد. هم‌چنین نوع و غلظت قندهای اصلی موجود در نمونه با توجه به منحنی‌های استاندارد هر قند خاص مشخص و محاسبه گردید.

اندازه‌گیری اسیدهای آلی با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با بازدهی بالا (HPLC)

آسکوربیک اسید (ویتامین ث): مقدار ۵ گرم نمونه پودر برگ توت‌فرنگی در لوله آزمایش با ۵ میلی‌لیتر محلول فسفریک اسید ۲/۵ درصد مخلوط شد. مخلوط حاصل با سرعت ۶۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ده دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از بخش شفاف رویی لوله برداشته شد و با محلول اسید فسفریک ۲/۵ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مخلوط حاصل از صافی ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد و پس از آن به دستگاه HPLC تزریق شد. اسیداسکوربیک با استفاده از ستون C (ابعاد ۴/۶×۲۵۰ میلی‌متر) دستگاه HPLC آشکار شد. آب دوبار تقطیر شده به عنوان فاز متحرک با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد و pH با استفاده از اسیدسولفوریک معادل ۲/۲ تنظیم شد. خواندن با آشکارساز DAD با طول موج ۲۵۴ نانومتر انجام گرفت. برای تعیین اسید اسکوربیک غلظت‌های مختلف ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام ال اسکوربیک اسید (سیگما) استفاده شد (Serio et al., 2014).

اسیداستیک و اسید مالیک: به ۱ گرم پودر برگ توت‌فرنگی ۱۵ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده و ۴ میلی‌لیتر محلول بافر اضافه شد. پس از یکنواخت کردن محلول را به‌درون لوله‌های سانتریفیوژ ریخته و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول شفاف بالایی، از صافی ۱۳۵ میکرون عبور داده شد و در ظرف نمونه شیشه‌ای گردآوری و از آن

برای تزریق به دستگاه HPLC استفاده شد دستگاه مدل شیمادزو، برای اندازه‌گیری اسیدهای آلی با مشخصات زیر بهره‌گیری شد. ستون جداکننده به ابعاد ۹/۷ در ۳۰۰ میلی‌متر از نوع SCR-101H مخصوص تجزیه اسیدهای آلی، محافظ ستون-SCR H به ابعاد ۹/۷ در ۴۰ میلی‌متر، سامانه فاز متحرک ایزوکراتیک، فاز متحرک آب اسیدی شده با اسید سولفوریک (pH=2.1) و (N=0.009) سرعت جریان فاز متحرک ۰/۷ میلی‌لیتر در دقیقه، حساسیت سیستم برابر ۳، دمای ستون جدا کننده ۷۵ درجه سلسیوس، سرعت چارت برابر ۵ میلی‌متر در دقیقه، شناساگر طیف سنج نوری مخصوص شناسایی اسیدهای آلی، در ناحیه مرئی فرابنفش مدل (SPD-AV) در طول موج ۲۱۴ نانومتر، سامانه تزریق (Rheodyn) پس از استخراج اسیدهای آلی از هر نمونه توسط لوپ تزریق با سرنگ همپلتون مخصوص (HPLC)، ۲۰ میکرولیتر، دارای دو تکرار و نتایج و اطلاعات به دست آمده مربوط به سطح زیرمنحنی‌های نمونه هر یک ثبت شد. نوع و غلظت اسیدهای آلی موجود در نمونه با توجه به منحنی‌های استاندارد هر اسید خالص، مشخص و محاسبه شد. غلظت‌های بکاربرده شده برای تهیه منحنی استاندارد بسته به مقدار اسیدهای آلی موجود در نمونه متفاوت بود به این دلیل غلظت‌های ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۲۵ (درصد وزنی، حجمی) برای اسید مالیک و غلظت‌های ۰/۰۱، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۲۵ و ۰/۰۰۱۲۵ (درصد وزنی، حجمی) برای اسید سیتریک تهیه شد برای هر غلظتی از اسید مالیک سه تزریق به حجم ۱/۵ میکرولیتر و از اسید سیتریک سه تزریق به حجم ۳ میکرولیتر انجام و اطلاعات مربوط به آنها ثبت و برای تهیه نمودار استاندارد مربوط به هر اسید آلی استفاده شد. مقادیر به صورت میلی گرم در گرم وزن خشک نمونه بیان شد (Dokhani et al., 1988).

واکاوی داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS^{9.1}، (Statistical Analysis System)، به صورت کرت‌های خرد شده انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون آماری حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD, Least Significant Difference)، صورت گرفت.

نحوه محاسبه تیمارهای تخلیه رطوبت

نقطه ظرفیت نگهداری آب مزرعه IFC^1 ، در محدوده خاک کرت‌های آزمایشی مورد استفاده، مقدار ۰/۲۸ رطوبت حجمی خاک محاسبه شد و نقطه پژمردگی در مزرعه PWP^2 ، در همان محدوده ۰/۱۳ رطوبت حجمی خاک بدست آمد. در فاصله بین این دو نقطه، یعنی در محدوده ۲۸-۱۳ درصد رطوبت حجمی خاک، تنش مورد نظر اعمال شد. براین اساس در نقطه شاهد یا صفر، رطوبت حجمی ۰/۱۵ را برای خاک تامین و به آستانه ۰/۲۸ رطوبت حجمی خاک یا همان ظرفیت نگهداری خاک، رسانده شد. برای این منظور اگر حجم خاک هر تیمار در طول، عرض و عمق خاک بر حسب متر $(0.45 = 0.25 \times 0.6 \times 3)$ برابر ۰/۴۵ متر مکعب باشد، برای رسیدن به نقطه ظرفیت زراعی، مقدار ۶۷/۵ لیتر $(0.675 = 0.45 \times 0.15)$ آبیاری در هر کرت لازم است. برای تیمار (۳۰ درصد تخلیه رطوبتی) خاک، (یعنی تامین ۷۰ درصد رطوبت خاک)، در حدود ۴۷/۲۵ لیتر $(47.25 = 0.70 \times 67.5)$ آبیاری نیاز است. همین‌طور برای (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) یعنی تامین ۳۵ درصد رطوبت خاک، به ۲۳/۶۲۵ لیتر آبیاری در هر کرت $(23.625 = 0.35 \times 67.5)$ نیاز است. با توجه به سیستم آبیاری قطره‌ای، هر دو و یا سه روز در میان آبیاری انجام شد و هر بار رطوبت پشته‌ها با استفاده از روش تی‌دی آر TDR^3 ، تعیین و نسبت به تیمار مربوطه، کسری آب جبران گردید. در واقع دورآبیاری تأثیرپذیر از رطوبت به دست آمده توسط روش تی‌دی آر بود در فروردین و اردیبهشت‌ماه تیمارهای تحت تنش در روزهای بارانی به‌طور موقت با نایلون پوشانده شدند به‌طوری‌که راه نفوذ آب باران در این تیمارها بسته شدند.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک و عملکردی

نتایج جداول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که صفات رویشی و عملکردی در ارقام، به شدت تحت تأثیر تیمار کم آبیاری قرار گرفتند، به‌طوری‌که صفات وزن خشک طوقه، تعداد طوقه، قطر طوقه، کلروفیل کل، تعداد برگ و سطح برگ در تیمار کم آبیاری ملایم (۳۰ درصد تخلیه رطوبتی) و تیمار کم آبیاری شدید (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) و صفات وزن خشک شاخساره، وزن

خشک ریشه و حجم ریشه فقط در تیمار کم آبیاری شدید، تغییرات معنی‌دار در سطح یک درصد نشان دادند (جدول ۱ و ۲). وزن خشک شاخساره در تیمار کم آبیاری شدید (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) در مرحله تابستان با وزن ۱۷/۷ گرم، ۵۴ درصد نسبت به شاهد و وزن خشک ریشه با وزن ۴/۳۸ نسبت به شاهد، ۴۹ درصد و وزن خشک طوقه با ۷/۰۷ گرم نسبت به شاهد، ۵۰ درصد و تعداد برگ با رسیدن به ۲۲/۶ عدد، نسبت به شاهد ۵۳ درصد کاهش وزن نشان دادند (جدول ۱). در گزارشات مشابهی، میزان وزن تر و خشک شاخساره، سطح برگ، شاخص سطح برگ و عملکرد در شرایط کم آبیاری ملایم، نسبت به شاهد با آبیاری کامل به طور معنی‌داری کاهش یافته است (Shahnazari & Rezaian, 2016). با افزایش تنش خشکی، کاهش رشد سلولی به کاهش توسعه برگ‌ها منجر شده، سطح برگ کمتر شده، جذب آب کمتری از خاک را به همراه داشته و میزان تعرق کم شده است. عملاً کاهش سطح برگ از اولین نشانه‌های رفتار دفاعی برای مقابله با خشکی است. کاهش سطح برگ در توت‌فرنگی یک روش مقاومت در برابر خشکی است و می‌تواند مزیتی برای انتخاب رقم باشد (Grant et al., 2010). تغییرات اندک وزن و حجم ریشه در مراحل نمونه‌برداری در این بررسی مؤید تحمل ارقام، تحت تاثیر تیمار کم آبیاری ملایم است ولی تیمار کم آبیاری شدید در میزان وزن و حجم ریشه کاهش قابل ملاحظه ایجاد کرد. در گزارشات مشابه، تحت تیمار کم آبیاری شدید، وزن خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، تعداد طوقه، و تعداد برگ در طول تابستان، به دلیل گرمای تابستان و تعرق بیشتر گیاه و نیاز به مقدار آب بیشتر با کاهش رشد و نمو روبه‌رو شده و روند رشد ثابتی را نداشته‌اند (Grant et al., 2010). از مهم‌ترین علل تغییر و کاهش صفات مرفولوژی و رویشی تحت تاثیر تیمار کم آبیاری، می‌توان به تاثیر منفی تنش در عمل فتوسنتز اشاره نمود محققین به خوبی متوجه اختلال در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در انجام مراحل مختلف فتوسنتز و تاثیر آن در کاهش رشد شاخساره شده‌اند (Ghaderi & Siosemardeh, 2011). در مقایسه سه رقم توت‌فرنگی در برابر تنش خشکی، سطح برگ در هر سه رقم در سطح یک درصد کاهش نشان دادند (Klamkowski & Treder, 2008).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرات کم آبیاری (I_1, I_2, I_3)، بر وزن خشک شاخساره، ریشه و طوقه، و تعداد برگ دو رقم توت‌فرنگی در سه مرحله رشدی مختلف (T_1, T_2, T_3).

Table 1. Mean comparison of deficit irrigation (I_1, I_2 and I_3), effects on leaf shoot, root and crown dry weight, and leaf numbers of two strawberry cultivars at different growth stages (T_1, T_2, T_3).

Treatments	Different growth stages رشد مختلف مراحل											
	T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3
	وزن خشک کل شاخساره گرم			وزن خشک ریشه (گرم)			وزن خشک طوقه (گرم)			تعداد برگ		
	Total shoot dry weight (g)			Root dry weight (g)			Crown dry weight (g)			Leaf number		
I_1	36.4a	38.2a	42.4a	8.39a	8.50a	9.90a	13.0a	13.9a	16.4a	43.6a	48.2a	51.8a
I_2	33.6a	34.3a	38.6a	7.74a	7.67a	9.44a	12.1a	13.2a	15.2b	41.3a	40.5b	42.2b
I_3	20.9b	17.7b	21.7b	4.99b	4.38b	5.24b	07.6b	7.07b	09.0b	29.9b	22.6c	27.2c
(I; I_1, I_2, I_3) Analysis of variance												
(I_1, I_2, I_3)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
V_1 , Paros	32.2a	28.0b	31.7b	6.53a	6.34a	7.78a	10.2a	10.5b	12.3a	38.2a	36.8a	40.5a
V_2 , Queen Eliza	28.4a	32.1a	36.8a	7.54a	7.36a	8.61a	11.6a	12.2a	14.8a	38.3a	37.3a	40.3a
(V; V_1, V_2) Analysis of variance												
(V_1, V_2)	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون مقایسه میانگین LSD است. ns. * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

Different letters in each column indicate significant differences based on LSD analysis. 'ns' = non-significant, '*' = significant at 5% probability, '**' = significant at 1% probability

در تیمار کم آبیاری شدید (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) در مرحله تابستانه (T₂) بیشترین حجم ریشه ۳۳/۹ و کمترین حجم ریشه ۱۸/۲ نسبت به شاهد ۴۶ درصد و تعداد طوقه از ۴/۳۵ عدد به ۱/۵۳ عدد رسید و نسبت به شاهد ۶۴ درصد و قطر طوقه از ۱/۴۶ سانتیمتر به ۰/۴۴ سانتیمتر رسید و نسبت به شاهد ۶۹ درصد کاهش نشان دادند و سطح برگ در مرحله بهار (T₁) از ۵۸۹ میلی مترمربع به ۳۲۲ میلی مترمربع رسید و نسبت به شاهد ۴۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). همچنین تغییرات کلروفیل کل در مرحله نمونه برداری پاییزه (T₃) تحت تاثیر تیمار کم آبیاری ملایم (I₂) شدیدتر از تغییرات صفات رویشی بود بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد (۱/۴۶ میلی گرم در گرم وزن خشک) و کمترین میزان آن (۱/۰۴ میلی گرم در گرم وزن خشک) در تیمار کم آبیاری شدید (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) مشاهده شد که نسبت به شاهد ۲۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). در گزارشات مشابه، یکی از اثرهای تنش کم آبیاری، کاهش اندازه سلول و کاهش تقسیم سلولی است در نتیجه تعداد کلروپلاست در واحد سطح تغییر کرده و میزان رنگدانه کلروفیل دچار تغییرات کاهشی و افزایشی شده است (Rahman *et al.*, 2014). در این بررسی سیر نزولی میزان کلروفیل کل، همزمان، علاوه بر تنش کم آبیاری، با گرم شدن هوا در مراحل نمونه برداری تابستانه و اول پاییز (T₂ و T₃) نیز شدت پیدا کرد. این مطلب را می توان به افزایش دمای کانوپی برگ ها و کاهش فعالیت آنزیمی و پیامد آن تخریب کلروفیل ربط داد. در آزمایشات مشابه با ایجاد تنش بر روی گیاه توت فرنگی، بسته شدن روزنه ها، کاهش تبادلات گازی و کاهش محتوای نسبی آب برگ، اتفاق افتاده و دمای سطح برگ افزایش یافته و کارایی فتوسنتزی و میزان کلروفیل تقلیل یافته است (Avestan *et al.*, 2019). همچنین بررسی اثرات تنش خشکی روی گیاه آفتاب گردان نشان داد که خشکی موجب کاهش قابل توجهی در میزان کلروفیل کل گردید (Manivannan *et al.*, 2007).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات تیمار کم آبیاری (I; I₁, I₂, I₃) بر حجم ریشه، تعداد طوقه، قطر طوقه، کلروفیل کل و سطح برگ دو رقم توت فرنگی در مراحل مختلف رشدی.

Table 2. Mean comparison of deficit irrigation (I; I₁, I₂ and I₃) effects on, root volume, crown number, crown diameter, Total chlorophyll and strawberry leaf area in different stage of growth and development of two strawberry cultivars.

Different growth stages مراحل مختلف رشد													
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁
صفات	حجم ریشه			تعداد طوقه			قطر طوقه			کلروفیل کل			سطح برگ
	Root volume (cm ³)			Crown number			Crown Diameter (cm)			Total chlorophyll mg/g DW			(mm ²)
I ₁	27.6 a	33.9 a	38.1 a	4.43 a	4.35 a	4.83 a	1.49 a	1.46 a	1.55 a	1.55 a	1.44 a	1.46 a	589a
I ₂	25.0 a	30.4 a	35.2 a	3.50 b	3.58 b	3.93 b	1.38 a	1.29 b	1.36 b	1.48 a	1.31 a	1.35 b	574a
I ₃	15.8 b	18.2 b	18.5 b	1.85 c	1.53 c	1.73 c	0.75 b	0.44 c	0.54 c	1.37 b	1.05 b	1.04 c	322b
Analysis of variance													
(I;I ₁ ...I ₃)si g	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین میانگین ها بر اساس آزمون مقایسه میانگین LSD است. ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

Different letters in each column indicate significant differences based on LSD analysis. 'ns' = non-significant, '*' = significant at 5% probability, '**' = significant at 1% probability.

کاهش و تغییر ساختار کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی در بسیاری از گونه های گیاهی گزارش شده است و به شدت و مدت تنش بستگی دارد که این کاهش کلروفیل در گیاهان تحت تنش خشکی می تواند یک علامت مشخصه ی تنش اکسیداتیو باشد (Anjum *et al.*, 2011).

عملکرد تولید و تعداد میوه ها تحت تاثیر تیمار کم آبیاری ملایم و تیمار کم آبیاری شدید قرار گرفتند و تفاوت ها در سطح ۱ درصد معنی دار شدند. میزان تغییرات کمی عملکرد تحت تنش کم آبیاری ملایم (۳۰ درصد تخلیه رطوبتی) از ۲۹۲ گرم به

ازای هر بوته به ۱۶۷ گرم در هر بوته رسید و نسبت به شاهد ۴۳ درصد کاهش نشان داد. تعداد میوه از ۳۳/۷ عدد در بوته به ۲۳/۲ عدد رسید و نسبت به شاهد ۳۱ درصد کاهش نشان داد. این تغییرات در شرایطی که ۳۰ درصد آب مصرفی صرفه جویی می‌شود و در مقابل بعضی از صفات کیفی افزایش نشان داده‌اند، قابل قبول است چون در تیمار کم‌آبیاری ملایم، بسیاری از فاکتورهای رویشی بدون تغییر یا با حداقل تغییر باقی ماندند. این مطلب بیانگر آنست که با کم کردن تخلیه رطوبتی به فاصله ۲۰ تا ۲۵ درصد می‌توان ضمن صرفه‌جویی قابل ملاحظه در مصرف آب، به عملکردهای مورد انتظار نیز دست یافت (جدول ۳ و نمودار ۱). در تحقیقات مشابهی محققان، تغییرات کاهشی عملکرد محصول توت‌فرنگی را تحت تنش‌های خشکی از ۲۰ تا ۴۵ درصد گزارش کرده‌اند (Aghaee et al., 2019).

سفتی میوه توت‌فرنگی تحت تنش کم‌آبیاری افزایش نشان داد اما تغییرات معنی‌دار نشدند و با افزایش تنش میزان سفتی بیشتر شد به طوری که در تنش کم‌آبیاری شدید (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی)، میزان سفتی میوه ۴/۵۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ثبت گردید. لازم به یادآوریست که صفت سفتی، در زمان رسیدگی و میانگینی از نمونه‌های ریز و درشت و با رنگ‌گیری متفاوت ثبت گردید. در تحقیقات مشابه، صفت سفتی توت‌فرنگی با میزان رسیدگی و درشتی میوه رابطه خطی نشان داد. هرچه میوه درشت‌تر و رسیده‌تر شد میزان سفتی آن کمتر شد (Salamat, 2011). در بررسی حاضر میزان رنگدانه اندازه‌گیری شده تحت تنش کم‌آبیاری کاهش یافت، عدم رسیدگی میوه‌ها تحت تنش کم‌آبیاری، از پیامدهای مورد انتظار تحت شرایط کاهش رنگدانه‌های کلروفیلی و آنتوسیانینی است. در بررسی‌های سایر محققان، رسیدگی میوه توت‌فرنگی، با کاهش محتوای کلروفیل و کاهش سفتی میوه همراه بوده‌است (Kader, 1991).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات تیمار کم‌آبیاری (I_1, I_2, I_3) بر تعداد میوه، عملکرد و سفتی میوه، در میوه توت‌فرنگی.

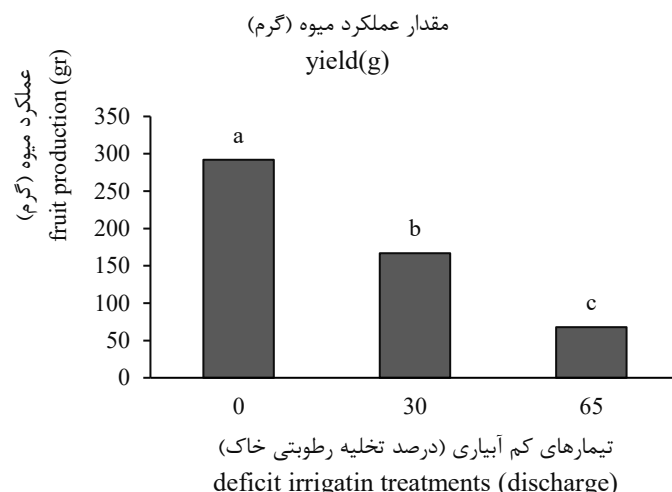
Table 3. Mean comparison of deficit irrigation (I_1, I_2 and I_3) effects on, Fruit number, yield and Fruit firmness, of strawberry fruit.

تیمار آبیاری Irrigation	تعداد میوه Fruit number (n)	عملکرد Yield (g)	سفتی میوه Fruit firmness (Kg/cm ²)
I_1	33.7a	292a	3.70a
I_2	23.2b	167b	3.95a
I_3	16.1c	68c	4.52a
Analysis of variance			
(I_1, I_2 and I_3)	**	**	ns

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون مقایسه میانگین LSD است. ns. * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

Different letters in each column indicate significant differences based on LSD analysis. 'ns' = non-significant, '*' = significant at 5% probability, '**' = significant at 1% probability.

ادامه نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها حاکی است که اثر سال بر روی اکثر صفات مورد بررسی تاثیر معنی‌داری نداشت. ولی در بعضی صفات نظیر سطح برگ، کلروفیل کل و سفتی میوه تفاوت معنی‌دار نشان داد. عدم یکنواختی درجه حرارت در طول دو سال آزمایش از دلایل مهم این تفاوت بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها در مقایسه دو رقم توت‌فرنگی نشان داد که اثر رقم در طول فصل بهار، تابستان و پاییز بر روی صفات رویشی موثر بود به طوری که در صفاتی مانند وزن خشک کل شاخساره، سطح برگ، حجم ریشه، وزن خشک طوقه، تاثیر معنی‌داری داشتند. در کل رقم کوئین‌الیزا در شرایط تنش نسبت به رقم پاروس از قدرت رشد و نمو بیشتری برخوردار بود. این برتری می‌تواند به دلیل برخورداری بیشتر از مواد فتوسنتزی و سبزیگی باشد.



شکل ۱- اثر تنش کم آبیاری بر روی عملکرد میوه توت‌فرنگی. *وجود حروف مشابه در هر سری از میانگین‌ها، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون مقایسه میانگین LSD است.

Fig. 1. Effect of water deficit on total fruit weight of strawberry. *The presence of the same letters in each series of averages indicates a significant difference at 1% probability level with LSD (Least Significant Difference) test.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات تیمار سال (Y_1 و Y_2) روی سطح برگ، کلروفیل کل و سفتی میوه دو رقم توت‌فرنگی.
Table 4. Mean comparison of year (Y; Y_1 and Y_2) effects on, leaf area, total chlorophyll and fruit firmness in two cultivars of two strawberry cultivars.

سال	سطح برگ	کلروفیل کل	سفتی میوه
	Leaf area (mm ²)	Total chlorophyll	Fruit firmness
Y_1	469b	1.20b	3.67a
Y_2	497a	1.34a	5.45a
Analysis of variance			
Y_1 و Y_2	*	**	ns

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون مقایسه میانگین LSD است. ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

Different letters in each column indicate significant differences based on LSD analysis. 'ns' = non-significant, '*' = significant at 5% probability, '**' = significant at 1% probability

رقم پاروس در شرایط بدون تنش، وضعیت خوبی داشت ولی طبق یافته‌ها رقم کوئین‌الیزا در شرایط تنش، از تحمل بالاتری برخوردار بود (جدول ۵). مطابق یافته‌های دیگری، مقاومت گیاه توت‌فرنگی، کاملاً وابسته به رقم است. تفاوت ارقام ناشی از خصوصیات برگ و توزیع نامساوی مواد فتوسنتزی در اندام میوه و برگ و ریشه است. که به نوبه خود، نیاز و عملکرد گیاه را تعیین می‌کنند. ژنوتیپ‌هایی که سیستم ریشه‌ای عمیق‌تری دارند می‌توانند آب را از لایه‌های پایین‌تر خاک جذب کنند. به‌دست آوردن آب از لایه‌های عمیق خاک مزیت مهمی محسوب می‌شود (Martínez-Ferri et al., 2016). این قابلیت موجب رشد و نمو بیشتر سطح برگ شده و ظرفیت فتوسنتز و جذب کربن در کل سطح گیاه بالاتر رفته و در نتیجه رشد و تولید میوه بیشتر می‌شود (Long et al., 2006). ارقام مختلف از نظر عملکرد و توان مقابله در برابر کم‌آبی به‌طور قابل ملاحظه‌ای با هم تفاوت دارند (Ariza et al., 2021). مقایسه ارقام الکت (Elkat)، السانتا (Elsanta) و سالوت (Salot) تحت تنش خشکی نشان‌دادند که سطح برگ در رقم الکت در مقایسه با شاهد ۳۴ درصد و در رقم سالوت تقریباً ۱۹ درصد کاهش داشته‌اند و از نظر حجم ریشه در ارقام السانتا و سالوت تفاوت معنی‌داری در مقایسه با شاهد مشاهده نشده است. در حالیکه در رقم الکت رشد ریشه کاهش داشته است (Klamkowski & Treder, 2008).

بررسی آنالیز سایر صفات در جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمار کم آبیاری تاثیر معنی داری بر روی صفات بیوشیمیایی برگ شامل: مقدار فروکتوز، ساکاروز، گلوکز و اسیداسکوربیک داشت. اثر تنش کم آبیاری روی فروکتوز، ساکاروز و گلوکز در هر سه نوبت (T_1 , T_2 , T_3) و روی اسکوربیک اسید در نوبت اول و سوم نمونه برداری (T_1 , T_3) تاثیر معنی دار داشت. مقدار گلوکز تحت تیمار کم آبیاری ملایم و شدید بیشترین کاهش را نشان داده و از مقدار ۵۷ به ترتیب به ۳۶/۴ و ۳۲/۲ میلی گرم در گرم وزن خشک کاهش پیدا کرد. ساکاروز از ۷۳/۸ به ۶۶/۳ و ۶۸/۲ میلی گرم در گرم وزن خشک، فروکتوز از ۳۶/۷ به ۱۸/۵ و ۱۴/۳ میلی گرم در گرم وزن خشک کاهش پیدا کردند. اثر رقم روی مقدار ساکاروز در دو نوبت تابستان و پاییز (T_2 , T_3) و روی اسیداسکوربیک در مرحله دوم و در تابستان (T_2) معنی داری شد. اثر سال فقط در مرحله نمونه برداری پاییز (T_3) بر روی مقدار ساکارز، معنی دار شد (جدول ۷). در دو سال آزمایش اثر متقابل سال و رقم به دلیل دو تابستان متفاوت اقلیمی در بیشتر پارامترهای اندازه گیری شده، معنی دار نشدند.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات تیمار کم آبیاری (I_1 , I_2 , I_3) و سال (Y_1 و Y_2) روی مقدار فروکتوز، ساکارز، گلوکز و اسکوربیک اسید برگ دو رقم توت فرنگی در مراحل مختلف رشدی.

Table 7. Mean comparison of deficit irrigation (I ; I_1 , I_2 and I_3) and year (Y ; Y_1 and Y_2) effects on fructose, sucrose, glucose, and ascorbic at different growth stages of two strawberry cultivars.

مراحل مختلف رشد Different growth stages												
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
صفات	فروکتوز fructose mg/g dw			ساکارز sucrose (mg/g dw)			گلوکز Glucose (mg/g dw)			اسکوربیک اسید ascorbic (mg/g dw)		
I ₁	35.6a	36.7a	37.2a	77.4a	73.8a	74.2a	54.1a	57.0a	53.0a	1.35b	1.32a	1.34b
I ₂	25.3b	18.5b	24.1b	63.7b	66.3b	64.8b	42.8b	36.4b	42.0b	1.58ab	1.60a	1.57a
I ₃	28.3b	14.3b	17.0c	67.3b	68.2b	69.6ab	38.9b	32.2b	31.0c	1.76a	1.73a	1.71a
V ₁	30.0a	23.6a	26.7a	64.1a	65.3b	64.9b	41.8a	43.2a	42.1a	1.68a	1.72a	1.62a
V ₂	29.4a	22.7a	25.5a	74.8a	73.6a	74.2a	48.8a	40.5a	41.8a	1.43a	1.39b	1.45a
Y ₁	28.7a	22.2a	23.1a	67.5a	67.4a	70.2a	45.8a	44.1a	40.8a	1.54a	1.54a	1.62a
Y ₂	30.4a	24.3a	29.2a	71.4a	71.4a	68.9b	44.8a	39.7a	43.2a	1.58a	1.56a	1.46a
Analysis of variance												
I	*	**	**	*	**	**	**	**	**	*	ns	**
C×V	ns	ns	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns	**	ns
Y	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین میانگین ها بر اساس آزمون مقایسه میانگین LSD است. ns و * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

Different letters in each column indicate significant differences based on LSD analysis. 'ns' = non-significant, '*' = significant at 5% probability, '**' = significant at 1% probability.

در طول فصل رشد، به موازات افزایش تنش، اسکوربیک اسید، افزایش و مقدار گلوکز و ساکاروز و فروکتوز کاهش نشان دادند (جدول ۷). در تحقیقات انجام شده توسط بعضی محققان، تیمارها فقط تغییراتی را در محتوای گلوکز نشان دادند و محتوای فروکتوز تحت تاثیر قرار نگرفت (Bordonaba & Terry, 2008; Terry *et al.*, 2007). محققان دیگری نشان دادند که محتویات فروکتوز و گلوکز در میوه تحت شرایط تنش آبی افزایش یافت. غیر از تاثیر تیمار کم آبی، ارقام مختلف توت فرنگی نیز از نظر محتویات گلوکز و فروکتوز مقادیر متفاوتی نشان دادند (Ruan *et al.*, 2009). بر اساس یافته های محققین تفاوت محتوای قند در ارقام روزخنی گزارش شده و از نظر محتوای قند کل تفاوت معنی دار وجود داشته است.

در تحقیقات مشابهی فروکتوز و گلوکز در برگ های توت فرنگی تحت تاثیر تنش خشکی افزایش پیدا کرده اند (Giné- Bordonaba & Terry, 2016). از طرف دیگر کربوهیدرات ها، نقش منابع مهم انرژی ساز را در بافت های گیاهی بازی می کنند و نشان داده شده است که تنش خشکی باعث تجمع کربوهیدرات می شود (Holland *et al.*, 2016).

تیمار کم آبیاری هم چنین تاثیر معنی داری بر روی دیگر صفات بیوشیمیایی برگ شامل: اسکوربیک اسید و مالیک اسید داشت (جدول ۸). اثر تنش کم آبیاری روی اسکوربیک اسید در نوبت اول و سوم نمونه برداری (T_1 , T_3) و روی مالیک اسید در

هر سه نوبت (T_1 , T_2 , T_3) تاثیر معنی‌دار داشت. مقدار اسکوربیک اسید تحت تنش کم‌آبیاری ملایم و شدید افزایش نشان داد و به‌ترتیب از ۱/۳۴ به ۱/۵۷ و به ۱/۷۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک رسید. سیتریک‌اسید برگ نسبت به تنش کم‌آبیاری واکنشی نشان نداد اما مالیک‌اسید ابتدا تحت تنش کم‌آبیاری ملایم از ۲۶/۳۲ به ۳۶/۴۰ میلی‌گرم در گرم وزن خشک افزایش و سپس تحت تنش کم‌آبیاری شدید از ۳۶/۴۰ به ۳۱/۰۸ کاهش نشان داد. در نوبت نمونه‌برداری پاییز (T_3) نیز مقدار مالیک اسید به‌ترتیب از ۲۵/۹ به ۳۶/۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک افزایش و سپس به ۳۲/۸ کاهش پیدا کرد. اثر رقم روی مقدار اسکوربیک در مرحله دوم نمونه‌برداری در تابستان (T_2) معنی‌دار شد و در برگ‌های رقم پاروس مقدار بیشتری اسکوربیک‌اسید نسبت به رقم کوبین‌الیزا اندازه‌گیری شد (جدول ۸).

محققان قبلی نشان دادند که تغییرات محتوای اسیداسکوربیک در گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار دارند بسته به رقم، تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند (Giné-Bordonaba & Terry, 2010). علاوه بر این، اختلاف زیاد در محتوای اسیداسکوربیک در بین ارقام مختلف توت‌فرنگی دیده شده است (Giné-Bordonaba & Terry, 2009).

غلظت اسید اسکوربیک تحت تیمار متیل جاسمونات تغییرات قابل توجهی در میوه ایجاد نکرد و از این رو با مطالعات انجام‌شده بر روی سایر محصولات باغی مطابقت دارد (Pérez-Balibrea *et al.*, 2011). تغییرات اسید سیتریک هم در بین ارقام یکنواخت بود اما به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار گرفت. گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار گرفتند، سیتریک اسید بالاتر یا پایین‌تری نشان دادند نوع رقم و واکنش خاص ژنوتیپ‌های مختلف در نوسان میزان اسید سیتریک موثر بودند (Giné-Bordonaba & Terry, 2011). در آزمایشات دیگری برای مقابله با تنش، محلول پاشی بوته‌ها با تیمار هورمون متیل جاسمونات پیش از برداشت در مقایسه با میوه گیاهان تیمارنشده مانند تنش کم‌آبیاری منجر به تولید اسیدسیتریک بیشتر شد (Giné-Bordonaba & Terry, 2011). نتایج متضادی توسط سایر محققان در سال ۲۰۰۵ در تمشک مشاهده شد (Wang & Zheng, 2005). غلظت اسیدمالیک تحت تأثیر اختلاف در ژنوتیپ‌ها و همچنین اثر متقابل بین تیمار آبیاری و رقم و یا اختلاف بین تیمارهای قبل از برداشت میوه، قرار گرفت. درخصوص تغییرات اسیدمالیک هنوز نمی‌توان نتیجه‌گیری روشنی ارائه کرد (Giné-Bordonaba & Terry, 2016).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات تیمار کم‌آبیاری (I_1 , I_2 , I_3) و سال (Y_1 , Y_2) روی مقدار اسکوربیک اسید، سیتریک اسید و مالیک اسید دو رقم توت‌فرنگی در مراحل مختلف رشدی.

Table 7. Mean comparison of deficit irrigation (I; I_1 , I_2 and I_3) and year (Y; Y_1 and Y_2) effects on ascorbic, citric and malic acid at different growth stages of two strawberry cultivars.

صفات	مراحل مختلف رشد Different growth stages								
	T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3
	آسکوربیک اسید ascorbic (mg/g dw)			سیتریک اسید citric (mg/g dw)			مالیک اسید malic (mg/g dw)		
I_1	1.35b	1.32a	1.34b	8.53a	9.00a	8.68a	26.32c	27.15b	25.9b
I_2	1.58ab	1.60a	1.57a	8.85a	10.7a	9.13a	36.40a	38.27a	36.7a
I_3	1.76a	1.73a	1.71a	10.5a	11.9a	10.5a	31.08b	35.17ab	32.8a
V_1	1.68a	1.72a	1.62a	9.26a	10.7a	9.51a	31.20a	32.85a	30.8a
V_2	1.43a	1.39b	1.45a	9.37a	10.4a	9.33a	31.32a	34.19a	32.9a
Y_1	1.54a	1.54a	1.62a	8.30a	8.76a	8.39a	30.22a	31.43a	30.8a
Y_2	1.58a	1.56a	1.46a	10.3a	12.4a	10.5a	32.18a	35.63a	32.9a
Analysis of variance									
I	*	ns	**	ns	ns		**	*	**
C×V	ns	**	ns	ns	**	**	ns	ns	ns

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون مقایسه میانگین LSD است. ns. * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

Different letters in each column indicate significant differences based on LSD analysis. 'ns' = non-significant, '*' = significant at 5% probability, '**' = significant at 1% probability

نتیجه گیری

ویژگی‌های کیفی میوه نه تنها برای تولیدکننده بلکه برای مصرف کننده نیز بسیار مهم است ویژگی‌های کیفی تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می گیرند. با توجه به پیامدهای تغییر اقلیم و افزایش گرما، شناسایی ارقام مقاوم و متحمل به تنش برای برنامه‌های اصلاحی آینده بسیار مهم است. در این مطالعه اثر دو دوز مختلف تنش کم آبیاری ملایم و کم آبیاری شدید را بر خواص فیزیکی و بیوشیمیایی دو رقم تجاری توت فرنگی در مزرعه بررسی کردیم نتایج نشان داد که بسیاری از ویژگی‌های کمی و فیزیکی میوه در مقابل کم آبی، واکنش منفی نشان داده و کاهش پیدا کردند همچنین برخی از ویژگی‌های بیوشیمیایی برگ شامل: مقدار فروکتوز، ساکاروز و گلوکز کاهش پیدا کردند. مقدار گلوکز تحت تیمار کم آبیاری ملایم و شدید، بیشترین کاهش را نشان داد. تیمار کم آبیاری همچنین تأثیر معنی داری بر روی دیگر صفات بیوشیمیایی برگ شامل: اسکوربیک اسید و مالیک اسید داشت. سیتریک اسید برگ نسبت به تنش کم آبیاری واکنشی نشان نداد اما مالیک اسید ابتدا تحت تنش کم آبیاری ملایم، افزایش و سپس تحت تنش کم آبیاری شدید، کاهش نشان داد. تحت تأثیر رقم، مقدار اسید اسکوربیک در برگ‌های رقم پاروس نسبت به رقم کوبین الیزا از سطح بالاتری برخوردار بود. در این بررسی رقم کوئین الیزا به نسبت رقم پاروس مقاومت نسبی بیشتری در شرایط تنش از خود نشان داد. مضافاً از دیدگاه اقتصادی تولید میوه با شرایط کیفی مناسب و افت عملکرد جزئی در ازای صرفه جویی در مصرف آب، دارای توجیه است.

سپاسگزاری

از حمایت‌های علمی و مالی دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان، اداره کل هواشناسی کردستان، اداره کل استاندارد کردستان و موسسه تحقیقات علوم باغبانی کشور نیز به جهت در اختیار قراردادن آزمایشگاه و برخی از مواد شیمیایی تشکر و قدردانی می گردد.

References

منابع

- Aghaiee, N., Zarei, L., & Cheghamirza, K. (2019). Evaluation of some morpho-physiological characteristics in strawberry under different moisture stress regimes. *Journal of Berry Research*, 9(1), 83-93.
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., & Zou, C. M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(3), 177-185.
- Ariza, M. T., Miranda, L., Gómez-Mora, J. A., Medina, J. J., Lozano, D., Gavilán, P., ... & Martínez-Ferri, E. (2021). Yield and fruit quality of strawberry cultivars under different irrigation regimes. *Agronomy*, 11(2), 261.
- Avestan, S., Ghasemnezhad, M., Esfahani, M., & Byrt, C. S. (2019). Application of nano-silicon dioxide improves salt stress tolerance in strawberry plants. *Agronomy*, 9(5), 246.
- Azizinya, S., Ghanadha, M. R., Zali, A. A., Samadi, B. Y., & Ahmadi, A. (2005). An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic wheat genotypes in stress and non-stress conditions.
- Bordonaba, J. G., & Terry, L. A. (2010). Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.) from different cultivars using deficit irrigation. *Food Chemistry*, 122(4), 1020-1026.
- Dokhani, S., Oraikul, B., Palcic, M., & Hadziyev, D. (1988). High performance liquid chromatographic analysis of sugars in raw and processed potatoes. *Iran Agricultural Research*, 7(1), 23-36. (In Persian)
- Farooq, M., Hussain, M., & Siddique, K. H. (2014). Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 331-349.

- Ghaderi, N., & Siosemardeh, A. (2011). Response to drought stress of two strawberry cultivars (cv. Kurdistan and Selva). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 52, 6-12.
- Ghaderi, N., Nourmohammadi, S. and Javadi, T. (2015) Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 167-178.
- Gilbert, M. E., & Medina, V. (2016). Drought adaptation mechanisms should guide experimental design. *Trends in Plant Science*, 21(8), 639-647.
- Gomis, D. B., Tamayo, D. M., & Alonso, J. M. (2001). Determination of monosaccharides in cider by reversed-phase liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 436(1), 173-180.
- Giné Bordonaba, J., & Terry, L. A. (2009). Development of a glucose biosensor for rapid assessment of strawberry quality: relationship between biosensor response and fruit composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8220-8226.
- Giné-Bordonaba, J., & Terry, L. A. (2016). Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit and leaves. *Scientia Horticulturae*, 199, 63-70.
- Grant, O. M., Johnson, A. W., Davies, M. J., James, C. M., & Simpson, D. W. (2010). Physiological and morphological diversity of cultivated strawberry (*Fragaria x ananassa*) in response to water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 68(3), 264-272.
- Gross, J. (2012). Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids. *Springer Science & Business Media*.
- Holland, V., Koller, S., Lukas, S., & Brüggemann, W. (2016). Drought-and frost-induced accumulation of soluble carbohydrates during accelerated senescence in *Quercus pubescens*. *Trees*, 30, 215-226.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P. A. R. A. M. A. S. I. V. A. M., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. A. M. A. M. U. R. T. H. Y., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biotechnology*, 11(1), 100-105.
- Johnson, A. W., & Simpson, D. W. (2012, February). The Effect of Deficit Irrigation on the Flowering Behaviour of Two Day-Neutral and One Everbearing Strawberry Cultivar. In VII *International Strawberry Symposium*, 1049 (pp. 435-438).
- Kader, A. A. (1991). Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry. The Strawberry into the 21st Century. In Proceedings of the Third North American Strawberry Conference. Houston, TX. Edited by: Dale, A. and Luby, JJ (pp. 145-152).
- Khan, M. A., & Iqbal, M. (2011). Breeding for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.): constraints and future prospects. *Frontiers of Agriculture in China*, 5, 31-34.
- Klamkowski, K., & Treder, W. (2006). Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agriculae Conspectus Scientificus*, 71, 159-165.
- 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.

- Lichtenthaler, H. K. & Buschmann, C. (2001). Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. *Food Analytical Chemistry*, F4.2.1-F4.2.6.
- Liu, F., Savić, S., Jensen, C., Shahnazari, A., Jacobsen, S., Stikić, R., and Andersen, M. (2007). Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation. *Scientia Horticulturae*, 111, 128-132.

Effect of Deficit Irrigation on Some Vegetative Characteristics and Quality Traits of Strawberry Fruits

Mohammad Sarsaifee,¹ Ali Solamani,¹ Esmaail Amiri,¹ Naser Ghaderi²

1- Department of Horticultural Sciences, University of Zanzan, Zanzan, Iran.

2- Department of Horticultural Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

* corresponding Author: E-mail: (asoleimani@znu.ac.ir)

The current study aimed to investigate the impact of water deficit treatment on some vegetative characteristics, quality and biochemical traits of the fruits and leaves of two strawberry cultivars, namely *Fragaria x ananassa* Duch. 'Paros' and 'Queen Eliza'. The study was conducted over two consecutive years (2019-2020) and across different growing seasons, including spring, summer, and autumn, to gain a comprehensive understanding of the plant's response to water stress. The experiment was carried out in a split-plot design in a completely randomized block layout at the agricultural research station in Graze, Sanandaj city. The study included three levels of irrigation: 0%, 30%, and 65% soil moisture depletion, applied in a hilling planting system with drip irrigation in a soil bed. The results showed that the mild water stress did not have a significant effect on some traits such as dry weight of shoot and root, number of crowns, dry weight of crown, volume of root, surface of leaves, and number of leaves, but it caused a decrease in vegetative growth. With increasing stress intensity, vegetative and reproductive growth of strawberry plant was strongly affected and decreased. The lowest amount of leaf area (322mm²), number of leaves (27.2n), dry weight of shoots (17.7g) and roots (4.38g), as well as the number of fruits (16.1n) and fruit yield (68g) were observed at 65% stress intensity. The content of sugars glucose, fructose and sucrose also decreased with the application of water stress, citric acid did not show any particular changes, and the changes of ascorbic acid and malic acid did not have any particular order. Comparison of the average between two cultivars showed that the amount of yield and the number of fruits decreased significantly. In general, the Queen Eliza variety showed more resistance than the Paros variety under stress conditions and showed the highest amount of shoot dry weight, crown dry weight, root volume and leaf surface. It seems that mild irrigation in strawberry cultivation can be considered as an effective solution for less consumption of irrigation water and acceptable maintenance of vegetative and reproductive performance.

Keywords: deficit irrigation, strawberry, sugars, organic acid, yield.