مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۶ شماره ۲ صفحه‌های ۱۱۱ تا ۱۲۴ (۱۴۰۴)
مقاله پژوهشی

تاثیر 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

به‌دلیل 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 تاثیر کم‌آبیاری بر روی صفات رویشی و عملکردی و بیوشیمیایی، تحت سامانه آبیاری قطره‌ای و سیستم کاشت پشته‌ای دوردیفه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده برپایه طرح بلوک‌های کاملا 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 به‌شدت تحت تاثیر 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 نشان‌داد که مقدار عملکرد و تعداد میوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در مجموع رقم کوئین‌الیزا در شرایط تنش، مقاومت بیشتری نسبت به رقم پاروس از خود نشان‌داده و بیشترین مقدار وزن خشک شاخساره، وزن خشک طوقه، حجم ریشه و سطح‌برگ را از خود نشان‌داده است. بر اساس نتایج، به‌نظر می‌رسد که کم‌آبیاری ملایم در کشت‌های توت‌فرنگی، به‌عنوان 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 تاثیر 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 بر هم زدن تعادل فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاهان توت‌فرنگی و کاهش کیفیت و کمیت محصول می شوند (Jaleel *et al*., 2009). گیاهان نیز برای مقابله با خشکی، مکانیزم‌های متفاوت فنولوژیکی، مرفولوژیکی، 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 به‌زمان وقوع

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

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 بخش‌کشاورزی ایران بوده است. پیآمدهای تغییر اقلیم و شیب کاهنده بارش‌ها از سویی و گرم‌شدن هوا از سوی‌دیگر و هم‌زمانی تقاضای جمعیت برای تولید موادغذایی تا حدودی اوضاع را بحرانی‌تر نموده است.

توت‌فرنگی با نام علمی (*Fragaria x ananassa* Duch) یکی از مهم‌ترین ریزمیوه‌های معطر و خوش‌طعم در جهان است که از لحاظ اقتصادی نیز اهمیت فراوانی دارد (Natsheh *et al*., 2015). علاوه بر این، توت‌فرنگی به‌دلیل خصوصیات ویژه به‌صورت 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 زیرکشت ۴۴۷۵ هکتار، در لیست بیست کشور اول تولیدکننده توت‌فرنگی جهان قرار دارد (FAO, 2023). این گیاه در زمره 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 گیرند 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 می گردد 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 به‌دلیل داشتن سیستم ریشه سطحی، سطح برگ زیاد و آبدار بودن میوه به‌حجم 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 ایجادکرده و مقدار تولید را به‌شدت 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 به‌طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت می‌باشند و توانایی قابل‌قبولی در تولید محصول نشان می‌دهند (Ariza *et al*., 2021). کاهش رشد ناشی از تنش می‌تواند به‌علت کاهش توسعه سلول ناشی از کاهش فشار تورژسانس و تقسیم سلولی و کاهش فتوسنتز ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها باشد همچنین گاهی اوقات استفاده از تأثیر تنش کم‌آبی بر کمیت و کیفیت گیاه توت‌فرنگی به‌منظور 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 به‌کاهش 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 تنش‌خشکی، محتوای نسبی آب برگ، سطح پایداری غشا و میزان کلروفیل کاهش نشان دادند (Ghaderi *et al*., 2015). افزایش تنش‌خشکی 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 تنش‌خشکی در توت‌فرنگی افزایش می‌یابند(Gine- Bordonaba & Terry, 2016) تنش‌خشکی و شوری در توت‌فرنگی می‌تواند باعث تأخیر در توسعه اندام‌های زایشی آن و بنابراین منجر به‌کاهش 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 دسترس‌گیاه قرار می‌گیرد، و مکانیزم‌های متفاوتی که جهت مقابله با تنش از خود نشان می‌دهند، حائز اهمیت می‌باشد. هدف از مطالعه انجام‌شده، واکنش گیاه به تنش کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد در دو رقم مهم و تجاری توت‌فرنگی بر اساس شاخص‌های رویشی برگ و میوه بود.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

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 به‌مرکز 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 استان۴۵۰ 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 منشاء آمریکایی و پاروس (Paros) با منشاء ایتالیایی از بوته‌های دختری کلکسیون توت‌فرنگی، انتخاب و کاشته شدند. این ارقام روزکوتاه بوده و از ارقام سفت‌میوه با عملکرد بالا بوده که در دودهه اخیر معرفی شده‌اند (Sarsaifee, 2016).

آزمایش به‌صورت 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 (به‌ترتیب I_1 وI_2 و I_3) به ترتیب شاهد I_1 و کم‌آبیاری ملایم I_2 و کم‌آبیاری شدید I_3 به‌عنوان عامل اصلی و ارقام توت‌فرنگی کوئین‌الیزا و پاروس به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته‌شدند. در این آزمایش عرض پشته و فاصله بین پشته‌ها هرکدام ۸۰ سانتی‌متر، تراکم بوته در روی پشته ۴۰×۲۵ سانتی‌متر بود و در هر کرت آزمایشی تعداد ۳۰ نشاء کاشته شد. مبارزه با علف‌هرز به‌صورت مکانیکی و میزان مصرف کودکامل آلی و شیمیایی بر اساس آزمون خاک (مقدار سه کیلوگرم کود پوسیده حیوانی در مترمربع و کودهای شیمیایی به‌نسبت پتاس ۱۶/۶ درصد، فسفر ۸/۷ درصد و ازت۲۰ درصد، به‌صورت مصرف خاکی و کود میکرو کامل در غلظت ۲/۵ درهزار در پانزدهم ماه‌های اردیبهشت، خرداد و شهریور و کود کلسیم‌بور با غلظت ۳ درهزار در اواخر خرداد و نیمه مرداد به‌صورت محلولپاشی) انجام شد. اجرای آزمایش در طی دو سال (Y_1, Y_2) در یک مزرعه صورت گرفت. نمونه‌برداری جهت ثبت متغیرهای مورد بررسی درسه مرحله مختلف رویش بهاره، (گل‌دهی و میوه‌دهی) در اواخر اردیبهشت (T_1) ، رویش تابستانه (تولید ساقه‌های رونده) در اواخر مرداد (T2) و رویش پاییزه (آغاز رکود و گل‌انگیزی)، در اواخر مهر (T_3) صورت گرفت. داده‌های هر مرحله به‌صورت جداگانه مورد تجزیه آماری قرارگرفتند.

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 منفی۷۰ 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 به‌مدت ۴۸ ساعت در داخل آون و پس از آن‌که به‌وزن ثابتی رسیدند، بوسیله‌ی ترازوی دیجیتال، 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 به‌صورت 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 طول‌موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر برحسب 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 برحسب گرم بر بوته، تعدادمیوه در هر بوته به صورت

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

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 له‌کردن بافت در محیط خنک و کم نور انجام شد). مخلوط حاصل با آب مقطر به‌حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از مخلوط به‌دست آمده با ۴/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط و سپس به‌مدت 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 طول‌موج‌های ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و غلظت کلروفیل‌کل 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 نمونه ها در نیتروژن مایع منجمد شدند. در مرحله بعد بافت‌ها با کمک نیتروژن مایع به‌طورکامل پودر شدند. به ۱ گرم پودر برگ توت‌فرنگی ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیرشده اضافه شد. بعد از یکنواخت‌شدن توسط لوله‌های سانتریفیوژ مدل هیج آلمان با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ 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 به‌دستگاه HPLC[1]، 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 Rhoodyne پس از فیلترشدن نمونه‌های آماده‌شده با صافی‌های میلی‌پور ۰/۴۵ میکرون، تزریق یک میکرولیتر با دو تکرار با سرنگ ۱۰ میکرولیتری همیلتون (Hamilton syringe) به‌دستگاه، و سپس نتایج و اطلاعات به‌دست آمده مربوط به‌سطح 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 فسفریک‌اسید 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 به‌حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مخلوط حاصل از صافی ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد و پس از آن به‌دستگاه HPLC تزریق شد. اسیداسکوربیک با استفاده از ستون C (ابعاد ۲۵۰×۴/۶ 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 طول‌موج ۲۵۴ نانومتر انجام گرفت. برای تعیین اسید اسکوربیک غلظت‌های مختلف ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی ام ال اسکوربیک‌اسید (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 به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول شفاف بالایی، از صافی ۱۳۵ میکرون عبور داده شد و در ظرف نمونه شیشه‌ای گردآوری و از آن

۱- High Performance Liquid Chromatography

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

برای تزریق به‌دستگاه 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 تجزیهٔ 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 طول‌موج ۲۱۴ نانومتر، سامانه تزریق (Rheodyn) پس از استخراج اسیدهای آلی از هر نمونه توسط لوپ تزریق با سرنگ همیلتون مخصوص (HPLC)، ۲۰ میکرولیتر، دارای دو تکرار و نتایج و اطلاعات به‌دست آمده مربوط به‌سطح 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. غلظت های بکاربرده شده برای تهیه منحنی استاندارد بسته به‌مقدار 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 به‌صورت میلی‌گرم 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) ، به‌صورت کرت‌های خردشده 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]، درمحدوده 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 (۰/۴۵= ۰/۲۵× ۰/۶ × ۳) برابر ۰/۴۵ متر مکعب باشد، برای رسیدن به نقطه ظرفیت زراعی، مقدار ۶۷/۵ لیتر (۰/۰۶۷۵= ۰/۴۵× ۰/۱۵) آبیاری در هر کرت لازم است. برای تیمار(۳۰ درصد تخلیه‌رطوبتی) خاک، (یعنی تامین ۷۰ درصد رطوبت خاک)، درحدود ۴۷/۲۵ لیتر (۴۷/۲۵= ۶۷/۵×۰/۷۰) آبیاری نیاز است. همین‌طور برای (۶۵ درصد تخلیه‌رطوبتی) یعنی تامین ۳۵ درصد رطوبت خاک، به ۲۳/۶۲۵ لیتر آبیاری در هر کرت (۲۳/۶۲۵= ۶۷/۵×۰/۳۵) 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 تی‌دی‌آر TDR[3]، تعیین و نسبت به‌تیمار مربوطه، کسری آب جبران گردید. در واقع دورآبیاری تاثیرپذیر از رطوبت به‌دست آمده توسط روش تی‌دی‌آر 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 نشان‌داد که صفات رویشی و عملکردی در ارقام، به‌شدت تحت تاثیر تیمار کم‌آبیاری قرار گرفتند، به‌طوریکه صفات وزن خشک طوقه، تعداد طوقه ، قطر طوقه، کلروفیل کل، تعداد برگ و سطح برگ در تیمار کم‌آبیاری ملایم (۳۰ درصد تخلیه رطوبتی) و تیمار کم‌آبیاری شدید (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) و صفات وزن خشک شاخساره، وزن

۱- Irrigation Field Capacity ۲- Permanent Wilting Point ۳- Time-Domain Reflectometry

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

خشک ریشه و حجم ریشه فقط در تیمار کم‌آبیاری شدید، تغییرات معنی‌داردر سطح یک درصد نشان دادند (جدول۱ و ۲). وزن خشک شاخساره در تیمار کم‌آبیاری 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 کم‌آبیاری ملایم، نسبت به‌شاهد با آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (Shahnazari & Rezaiyan, 2016). با افزایش تنش خشکی، کاهش رشد سلولی به کاهش توسعهٔ برگ‌ها منجر شده، سطح برگ کمتر شده، جذب آب کمتری از خاک را به همراه داشته و میزان تعرق کم‌شده است. عملا 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 موئید تحمل ارقام، تحت تاثیر تیمار کم‌آبیاری ملایم است ولی تیمار کم‌آبیاری شدید در میزان وزن و حجم ریشه کاهش قابل ملاحظه ایجاد کرد. در گزارشات مشابه، تحت تیمار کم‌آبیاری شدید، وزن خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، تعداد طوقه، و تعداد برگ در طول تابستان، به‌دلیل 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 تیمارکم‌آبیاری، می‌توان به تاثیر منفی تنش در عمل فتوسنتز اشاره نمود محققین به‌خوبی 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 کم‌آبیاری (I; 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; T_1,T_2,T_3).

Table 1. Mean comparison of deficit irrigation (I; 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; T_1, T_2, T_3).

	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
Treatments	وزن خشک کل شاخساره گرم Total shoot dry weight (g)			وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)			وزن خشک طوقه (گرم) Crown dry weight (g)			تعداد برگ 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; 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; 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

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

در تیمار کم‌آبیاری شدید (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) در مرحله تابستانه (T_2) بیشترین حجم ریشه ۳۳/۹ و کمترین حجم ریشه ۱۸/۲ نسبت به شاهد ۴۶ درصد و تعداد طوقه از ۳۵/ ۴ 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 بهاره (T_1) از ۵۸۹ میلی‌مترمربع به ۳۲۲ میلی‌مترمربع رسید و نسبت به شاهد ۴۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). همچنین تغییرات کلروفیل کل در مرحله نمونه‌برداری پاییزه (T_3) تحت تاثیر تیمار کم‌آبیاری ملایم (I_2) شدیدتر از تغییرات صفات رویشی بود بیشترین میزان کلروفیل‌کل در تیمار شاهد (۱/۴۶ میلی‌گرم درگرم وزن خشک) و کمترین میزان آن (۱/۰۴ میلی‌گرم درگرم وزن خشک) در تیمار کم‌آبیاری 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 کم‌آبیاری، 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 کم‌آبیاری، با گرم‌شدن هوا در مراحل نمونه‌برداری تابستانه و اول پاییز (T_3 و T_2) نیز شدت پیدا کرد. این مطلب را می‌توان به افزایش دمای کانوپی برگ‌ها و کاهش فعالیت آنزیمی و پیآمد آن تخریب کلروفیل ربط داد. در آزمایشات مشابه با ایجاد تنش بر روی گیاه توت‌فرنگی، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش تبادلات گازی و کاهش محتوای نسبی آب برگ، اتفاق افتاده و دمای سطح برگ افزایش یافته و کارآیی فتوسنتزی و میزان کلروفیل تقلیل یافته است(Avestan *et al.*, 2019). همچنین بررسی اثرات تنش‌خشکی روی گیاه آفتاب‌گردان نشان‌داد که خشکی موجب کاهش قابل‌توجهی در میزان کلروفیل‌کل گردید (Manivannan *et al*., 2007).

جدول۲- مقایسه میانگین اثرات تیمار کم‌آبیاری (I; I_1, I_2, I_3) بر حجم ریشه، تعداد طوقه، قطر طوقه، کلروفیل کل و سطح برگ دو رقم توت‌فرنگی در مراحل مختلف رشدی.

Table 2. Mean comparison of deficit irrigation (I; I_1, I_2 and I_3) 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 Root volume (cm^3)			تعداد طوقه Crown number			قطر طوقه Crown Diameter (cm)			کلروفیل کل Total chlorophyll mg/g DW			سطح برگ (mm2)
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)sig	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون مقایسه میانگین LSD است. ns، * و ** به‌ترتیب 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.

کاهش و تغییر ساختار کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده‌است و به‌شدت و مدت‌تنش بستگی دارد که این کاهش کلروفیل در گیاهان تحت تنش خشکی می‌تواند یک علامت مشخصه‌ی تنش اکسیداتیو باشد (Anjum *et al*., 2011).

عملکرد تولید و تعداد میوه‌ها تحت تاثیر تیمار کم‌آبیاری ملایم و تیمار کم‌آبیاری شدید قرار گرفتند و تفاوت‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار شدند. میزان تغییرات کمی عملکرد تحت تنش کم‌آبیاری ملایم (۳۰ درصد تخلیه رطوبتی) از ۲۹۲ گرم به

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

ازای هربوته 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 کم‌کردن تخلیه رطوبتی به فاصله ۲۰ تا ۲۵ درصد می‌توان ضمن صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه 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 به‌طوری‌که در تنش کم‌آبیاری شدید (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی)، میزان سفتی میوه ۴/۵۲ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع 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 نشان‌داد. هرچه میوه درشت‌تر و رسیده‌تر شد میزان سفتی آن کمتر شد (Salamat, 2011). در بررسی حاضر میزان رنگدانه اندازه‌گیری‌شده تحت تنش کم‌آبیاری کاهش یافت، عدم رسیدگی میوه‌ها تحت تنش کم‌آبیاری، از پیامدهای موردانتظار 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; I_1, I_2, I_3) بر تعداد میوه، عملکرد و سفتی میوه، در میوه توت‌فرنگی.

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

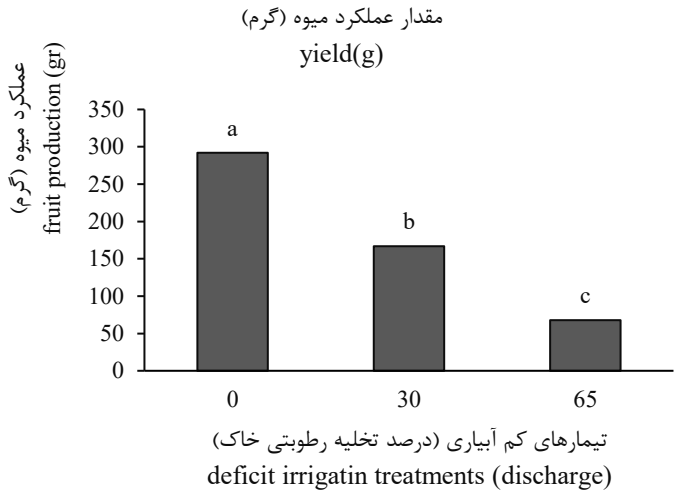
تیمار آبیاری Irrgation	تعداد میوه Fruit number (n)	عملکرد Yield (g)	سفتی میوه Fruit firmness (Kg/cm^2)
I_1	33.7a	292a	3.70a
I_2	23.2b	167b	3.95a
I_3	16.1c	68c	4.52a
Analysis of variance			
(I; I_1, I_2 and I_3)	**	**	ns

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 مقایسه‌میانگین‌ها حاکی است که اثر سال بر روی اکثر صفات مورد بررسی تاثیر معنی‌داری نداشت. ولی در بعضی صفات نظیر سطح برگ، کلروفیل‌کل و سفتی میوه تفاوت معنی‌دار نشان‌داد. عدم یکنواختی درجه حرارت در طول دو سال آزمایش از دلایل مهم این تفاوت بود (جدول ۴). نتایج مقایسه‌میانگین‌ها در مقایسه دو رقم توت‌فرنگی نشان‌داد که اثر رقم در طول فصل بهار، تابستان و پاییز برروی صفات رویشی موثر بود به‌طوریکه در صفاتی مانند وزن‌خشک کل شاخساره، سطح برگ، حجم ریشه، وزن‌خشک 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 به‌دلیل برخورداری بیشتر از مواد فتوسنتزی و سبزینگی باشد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]



شکل ۱- اثر تنش کم‌آبیاری برروی عملکرد میوه توت‌فرنگی. *وجود حروف مشابه در هر سری از میانگین‌ها، نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۱درصد 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.

جدول۴ -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 Leaf area (mm^2)	کلروفیل کل Total chlorophyll	سفتی میوه 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 ** به‌ترتیب 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

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 به‌رقم است. تفاوت ارقام ناشی از خصوصیات برگ و توزیع نامساوی مواد فتوسنتزی دراندام 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 رشدونمو 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).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات رقم (Paros و Queen Eliza) تحت تاثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر وزن خشک کل شاخساره، حجم ریشه و وزن خشک طوقه در مراحل مختلف رشد دو رقم توت‌فرنگی.

Table 5. Mean comparison cultivar (C; Queen and Paros) effects on Foliage dry weight, Root volume and Root dry weight in different stages of growth and development of two strawberry cultivars.

Different growth stages مراحل مختلف رشد								
	T1	**T2**	**T3**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**	**T3**
رقم cultivar	وزن خشک کل شاخساره Foliage dry weight (g)			حجم ریشه Root volume (cm3)		(گرم) وزن خشک طوقه Root dry weight (g)		
Paros	32.2a	28.0 b	31.7 b	20.9 a	25.4 a	10.2 a	10.6b	12.3a
Queen Eliza	28.4a	32.1 a	36.8 a	24.7 a	29.6 a	11.6	12.2a	14.8a
Analysis of variance								
(Paros, Queen Eliza)	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

مقایسه میانگین‌های برهمکنش تیمار آبیاری و سال نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین صفاتی مانند سطح برگ، تعداد برگ، تعداد میوه و عملکرد میوه وجود دارد و نشان داد که اثر تیمار کم‌آبیاری به‌شدت تحت تاثیر تغییرات آب‌وهوایی می‌باشد. رشد بوته‌های توت‌فرنگی در تیمار کم‌آبیاری یا تنش ملایم، در تابستان سال دوم کاهش کمتری را نسبت به‌شاهد نشان‌داد که می‌تواند به‌شرایط خنک تابستان در سال دوم مربوط باشد. اما در کم‌آبیاری شدید، گیاه نسبت به‌سال قبل ضعیف‌تر شد و محصول کمتری را تولید کرد (جدول۶). در توافق با یافته‌های این تحقیق، گزارش شده‌است کم‌آبیاری اندازه بری‌ها را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Terry *et al*., 2008; Terry *et al*., 2007).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش کم‌آبیاری (I; I_1, I_2, I_3) و سال (Y1 و Y_2) بر سطح برگ، تعداد برگ، تعداد میوه و عملکرد دو رقم توت‌فرنگی در سه مرحله رشدی مختلف (T; T1, T2,T3).

Table 6. Mean comparison interaction of deficit irrigation (I; I1, I2 and I3) and year (Y; Y1 and Y2) effects on leaf area, leaf numbers, Fruit numbers and Yield of strawberry at different growth stages of two strawberry cultivars. (T; T1, T2, T3)

مراحل مختلف رشد Different growth stages											صفات مربوط به میوه			
	T2		**T3**		**T1**		**T2**		**T3**					
تیمارها Treatments	(میلی‌متر مربع) سطح برگ Leaf area (mm2)				تعداد برگ Leaf numbers						تعداد میوه Fruit number		عملکرد (گرم) Yield (gr)	
سال	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
I_1	520c	638a	544bc	676a	42a	45a	48a	49a	50a	53a	33.3a	34.0a	292a	292a
I_2	469c	585b	498c	599b	40a	43a	36b	45a	38b	46b	18.8c	27.5b	133c	200b
I_3	232d	260d	298d	282d	33b	27b	23c	22b	30c	25c	18.2c	14.0c	74.6d	61.6d
Analysis of variance														
I*Y sig	*		**		**		**		**		**		*	
V*Y sig	ns		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

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

بررسی آنالیز سایر صفات در جدول تجزیه واریانس نشان‌داد که تیمار کم‌آبیاری تاثیر معنی‌داری بر روی صفات بیوشیمایی برگ شامل: مقدار فروکتوز، ساکاروز، گلوکز و اسیداسکوربیک داشت. اثر تنش کم‌آبیاری روی فروکتوز، ساکاروز و گلوکز در هر سه نوبت (T_1 , T_2 ,T_3) و روی اسکوربیک‌اسید در نوبت اول و سوم نمونه‌برداری (T_1 ,T_3) تاثیر معنی‌دار داشت. مقدار گلوکز تحت تیمار کم‌آبیاری ملایم و شدید بیشترین کاهش را نشان‌داده و از مقدار ۵۷ به‌ترتیب به ۳۶/۴ و ۳۲/۲ میلی‌گرم در گرم وزن‌خشک کاهش پیدا کرد. ساکاروز از ۷۳/۸ به ۶۶/۳ و ۶۸/۲ میلی‌گرم در گرم وزن‌خشک، فروکتوز از ۳۶/۷ به ۱۸/۵ و ۱۴/۳ میلی‌گرم در گرم وزن‌خشک 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) معنی‌داری شد. اثر سال فقط در مرحله نمونه‌برداری پاییز (T_3) بر روی مقدار ساکارز، معنی‌دار شد (جدول ۷). در دوسال آزمایش اثر متقابل سال و رقم به‌دلیل دو تابستان متفاوت اقلیمی در بیشتر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده، معنی‌دار نشدند.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات تیمار کم‌آبیاری (I_1, I_2, I_3) و سال (Y_1 و Y_2) روی مقدار فروکتوز، ساکارز، گلوکز و اسکوربیک اسید برگ 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 fructose, sucrose, glucose, and ascorbic at different growth stages 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
	صفات	فروکتوز fructose mg/g dw		ساکارز sucrose (mg/g dw)			گلوکز Glucose (mg/g dw)			اسکوربیک‌اسید 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 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.

در طول فصل رشد، به موازات افزایش تنش، اسکوربیک‌اسید، افزایش و مقدار گلوکز و ساکاروز و فروکتوز کاهش نشان‌دادند (جدول۷). در تحقیقات انجام‌شده توسط بعضی محققان، تیمارها فقط تغییراتی را در محتوای گلوکز نشان‌دادند و محتوای فروکتوز تحت تأثیر قرار نگرفت (Bordonaba & Terry, 2008; Terry *et al*., 2007). محققان دیگری نشان‌دادند که محتویات فروکتوز و گلوکز در میوه تحت شرایط تنش آبی افزایش یافت. غیر از تاثیر تیمار کم‌آبی، ارقام مختلف توت‌فرنگی نیز از نظر محتویات گلوکز و فروکتوز مقادیر متفاوتی نشان دادند (Ruan *et al*., 2009). بر اساس یافته‌های محققین تفاوت محتوای قند در ارقام روزخنثی گزارش شده و از نظر محتوای قندکل تفاوت معنی‌دار وجود داشته است.

در تحقیقات مشابهی فروکتوز و گلوکز در برگ‌های توت‌فرنگی تحت تاثیر تنش خشکی افزایش پیدا کرده‌اند (Giné-Bordonaba & Terry, 2016). از طرف دیگر کربوهیدرات‌ها، نقش منابع مهم انرژی ساز را در بافت‌های گیاهی بازی می‌کنند و نشان‌داده شده است که تنش خشکی باعث تجمع کربوهیدرات می‌شود (Holland *et al*., 2016).

تیمار کم‌آبیاری همچنین تاثیر معنی‌داری بر روی دیگر صفات بیوشیمایی برگ شامل: اسکوربیک اسید و مالیک اسید داشت(جدول ۸). اثر تنش کم‌آبیاری روی اسکوربیک اسید در نوبت اول و سوم نمونه‌برداری (T_1 ,T_3) و روی مالیک اسید در

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

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 وزن‌خشک 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 وزن‌خشک 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 وزن‌خشک افزایش و سپس به ۳۲/۸ کاهش پیدا کرد. اثر رقم روی مقدار اسید اسکوربیک در مرحله دوم نمونه‌برداری در تابستان (T_2) معنی‌دارشد و در برگ‌های رقم پاروس مقدار بیشتری اسکوربیک‌اسید نسبت به رقم کوئین‌الیزا 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 اسکوربیگ تحت تیمار متیل‌جاسمونات تغییرات قابل‌توجهی 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 قابل‌توجهی 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 متیل‌جاسمونات پیش از برداشت در مقایسه با میوه گیاهان تیمارنشده مانند تنش کم‌آبیاری منجر به‌تولید 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_2 , Y_1) 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.

	Different growth stages مراحل مختلف رشد								
	T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3
صفات	آسکوربیک اسید ascorbic (mg/g dw)			سیتریک اسید sitric (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

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های کیفی میوه نه‌تنها برای تولیدکننده بلکه برای مصـــرف‌کننده نیز بســـیار مهم اســـت ویژگی‌های کیفی تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرند. با توجه به پیآمدهای تغییراقلیم 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 کم‌آبیاری ملایم و کم‌آبیاری شـدید را بر خواص فیزیکی و بیوشـیمیایی دو رقم تجاری توت‌فرنگی در مزرعه بررسـی کردیم نتایج نشـان‌داد که بسـیاری از ویژگی‌های کمی و فیزیکی میوه در مقابل کم‌آبی، واکنش منفی نشـان‌داده و کاهش پیدا کردند همچنین برخی از ویژگی‌های بیوشیمایی برگ شامل: مقدار فروکتوز، ساکاروز و گلوکز کاهش پیدا کردند. مقدار گلوکز تحت تیمار کم‌آبیاری ملایم و شدید، بیشـــترین کاهش را نشـــان‌داد. تیمار کم‌آبیاری همچنین تاثیر معنی‌داری بر روی دیگر صـــفات بیوشـــیمایی برگ شـــامل: اسکوربیک‌اسید و مالیک‌اسید داشت. سیتریک‌اسید برگ نسبت به‌تنش کم‌آبیاری واکنشی نشان‌نداد اما مالیک‌اسید ابتدا تحت تنش کم‌آبیاری ملایم، افزایش و سپس تحت تنش کم‌آبیاری شدید، کاهش نشان داد. تحت تاثیر رقم، مقدار اسید اسکوربیک در برگ‌های رقم پاروس نسـبت به‌رقم کوئین‌الیزا از سـطح بالاتری برخوردار بود. در این بررسـی رقم کوئین‌الیزا به‌نسـبت رقم پاروس مقاومت نسبی بیشتری در شرایط تنش از خود نشان‌داد. مضافا از دیدگاه اقتصادی تولید میوه با شرایط کیفی مناسب و افت عملکرد جزئی در ازای صرفه‌جویی در مصرف آب، دارای توجیه است.

سپاسگزاری

از حمایت‌های علمی و مالی دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان، اداره کل هواشناسی کردستان ، اداره کل اســتاندارد کردســتان و موســســه تحقیقات علوم باغبانی کشــور نیز به‌جهت در اختیار قراردادن آزمایشــگاه و برخی از مواد شیمیایی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع References

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., Ooraikul, 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.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

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. *Intrrnational 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. *Agriculturae 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.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

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.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 26 (2): 110-124 (2025)
Research article

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

Mohammad Sarsaifee,[1] Ali Solamani,[1]Esmaail Amiri,[1] Naser Ghaderi[2]
1- Department of Horticultural Sciences, University of Zanjan, Zanjan, 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 (322mm^2), 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.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]