

Studying the effect of deficit irrigation during the growth stages of table grape cv., Yaghooti (*Vitis vinifera* L.) on physiological traits and fruit yield

ABSTRACT

This experiment was conducted using a strip-split plot design based on randomized complete block design with three replications at the Zahak Research Station from 2019 to 2023. The treatments included three irrigation regimes: control, irrigation after 35% soil moisture deficiency, and irrigation after 70% soil moisture deficiency. These treatments were applied to horizontal plots, while the irrigation stages including from bud burst to flowering, from flowering to berry color variation, from berry color variation to harvest, and from harvest to leaf fall, were assigned to vertical plots. Deficit irrigation resulted in a decrease in traits such as relative leaf water content, leaf area, chlorophyll index, and fruit yield, while it increased traits like proline content, soluble sugars, relative membrane permeability, and canopy temperature. A multiple linear regression analysis was conducted for the Yaghooti grape cultivar yield. The key predictors influencing the fruit yield equation were relative leaf water content, proline, and relative membrane permeability of leaf cells. Fruit yield decreased by 7.1% and 4.1% during the stages from berry color variation to harvest, and from harvest to leaf fall, respectively, compared to control treatment. Overall, the results showed that fruit yield under irrigation regime of 35% soil moisture deficiency during the stages from berry color variation to harvest, and from harvest to leaf fall was comparable to the yield under full irrigation conditions.

Keywords: Chlorophyll index, compatible osmolytes, relative leaf water content, relative membrane permeability.

بررسی تاثیر کم آبیاری در مراحل رشد انگور رقم یاقوتی (*Vitis vinifera* L.) بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد میوه

چکیده

این آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده نواری با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات زهک طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از سه رژیم آبیاری شامل: کنترل، آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک و آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک به کرت‌های افقی و مرحله آبیاری شامل مرحله تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ میوه، تغییر رنگ جبه تا برداشت میوه و مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ به کرت‌های عمودی اختصاص یافت. آبیاری پس از ۳۵ و ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک باعث کاهش صفات محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل و عملکرد و افزایش صفات پرولین، قندهای محلول، نفوذ پذیری نسبی غشای سلول و دمای تاج پوشش گردید. آنالیز رگرسیون چندگانه خطی برای عملکرد انگور رقم یاقوتی انجام شد. صفات اثرگذار بر معادله پیش‌بینی شده‌ی عملکرد، عبارت از محتوای نسبی آب برگ، پرولین و نفوذ پذیری نسبی غشای سلول‌های برگ بود. عملکرد میوه در مراحل تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب ۷/۱ و ۴/۱ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. بطور کلی نتایج نشان داد که عملکرد میوه در شرایط آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ مشابه آبیاری کامل بود.

کلیدواژه‌ها: اسمولیت‌های سازگار، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، نفوذ پذیری نسبی غشاء.

ویژگی‌های انتشاری

مقدمه

کمبود بارش و افزایش دما در بسیاری از مناطق باعث بروز مشکلاتی در کشت و کار محصولات کشاورزی شده است (Fahim et al., 2021). آب یکی از محدودترین منابع طبیعی برای تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک است. به همین دلیل استفاده از روش‌های علمی آبیاری در چنین مناطقی جهت مدیریت مصرف آب با کارایی بالا بسیار مهم است. کاهش میزان آبیاری تا حد معینی باعث افزایش یا عدم تغییر خصوصیات کمی و کیفی انگور شده و پس از آن اثر منفی خواهد داشت (Shahrokhnia & Karami, 2016). از جمله روش‌هایی که در زمینه کاهش مصرف آب جهت رشد محصولات کشاورزی استفاده می‌شود، کم‌آبیاری است که در آن، میزان آبی که تاثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد گیاه ندارد، حذف می‌شود. این روش، علاوه بر استفاده بهینه از منابع آب، کمک می‌کند تا گیاه کیفیت قابل قبول خود را حفظ کند. ارزش آبی که در این روش ذخیره می‌شود در برابر کاهش اندک عملکرد محصول قابل قیاس نیست (Dolati baneh & Noorjo, 2009). با استفاده از روش کم‌آبیاری بین ۲۰ تا ۳۰ درصد در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی شده و در عین حال کمترین تاثیر را بر عملکرد محصول ایجاد خواهد کرد (Chaves et al., 2007).

انگور یاقوتی رقم غالب تاکستان‌های سیستان و جزء انگورهای بی‌دانه است (Fazeli Rostampour, 2023a). این رقم مناسب تازه‌خوری، زودرس و نوبر است که نقش مهمی در اقتصاد کشاورزی معیشتی این منطقه دارد (Fazeli Rostampour, 2020). سطح زیر کشت انگور رقم یاقوتی در سیستان ۱۱۰۰ هکتار و متوسط عملکرد آن در این منطقه ۵ تن در هکتار بوده اما پتانسیل تولید این رقم در شرایط مناسب اقلیمی و مدیریتی ۱۸ تن در هکتار می‌باشد (Mahmoudzadeh & Fanaei, 2019). برداشت انگور رقم یاقوتی در این استان از اواخر اردیبهشت آغاز و تا پایان خرداد ادامه می‌یابد. باتوجه به حساسیت‌های مناطق مرزی و اهمیت تولید و درآمدزایی در پایداری و در نتیجه عدم مهاجرت، تولید انگور نوبرانه رقم یاقوتی می‌تواند در منطقه سیستان سود قابل توجهی نصیب باغداران منطقه نموده و از نظر اقتصادی بر معیشت آنان موثر باشد (Fazeli Rostampour, 2023b). دشت سیستان به مساحت ۲۰۳ هزار هکتار اراضی قابل کشت در بخش سفلی حوضه آبریز هیرمند قرار دارد. مساحت حوضه آبریز هیرمند ۱۵۰۰۰۰ کیلومترمربع است که ۱۸۲۰۰ کیلومتر آن که تشکیل دهنده دلتای رودخانه هیرمند است در ایران قرار دارد. مهم‌ترین منبع تأمین آب در این حوضه، رودخانه هیرمند به طول ۱۰۵۰ کیلومتر است که برای کشاورزی، حفظ محیط زیست و شرب استفاده می‌شود. زندگی در سیستان و منابع ذخیره آب چاه نیمه‌ها به آب این رودخانه وابستگی شدید دارد. این در حالی است که طی صد سال گذشته کشور افغانستان با احداث سدهای مخزنی و انحرافی متعدد، آورده آب این رودخانه را کاهش داده و بدنبال آن مساحت دریاچه هامون، حجم آب در چاه نیمه‌ها و سطح زمین‌های کشاورزی به شدت کم شده که این پدیده منجر به چالش‌های بزرگی در این منطقه شده است. مشکل کم‌آبی سیستان در چند سال اخیر به تهدید جدی برای تولید انگور در این منطقه تبدیل شده است، به‌طوری که انگورکاران منطقه ناگزیرند با کاهش حجم و دفعات آبیاری این مشکل را مدیریت نمایند. کاهش شدید میزان آب در دسترس باغداران و طوفان‌های شدید شن که ناشی از کاهش شدید سطح زیر کشت و خشک شدن دریاچه هامون است، مستلزم تغییر رویه در روش‌های مرسوم آبیاری و تعیین میزان آبیاری با توجه به اهمیت هر مرحله از رشد انگور است که با افزایش دانش فنی تولید و انتقال آن به کارشناسان، مروجان و تولیدکنندگان میسر خواهد شد. لذا هدف از این پژوهش بررسی واکنش فیزیولوژیک انگور رقم یاقوتی به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد جهت دستیابی به بیشترین میزان عملکرد و همچنین افزایش تولید و درآمد باغداران این منطقه است.

پیشینه پژوهش

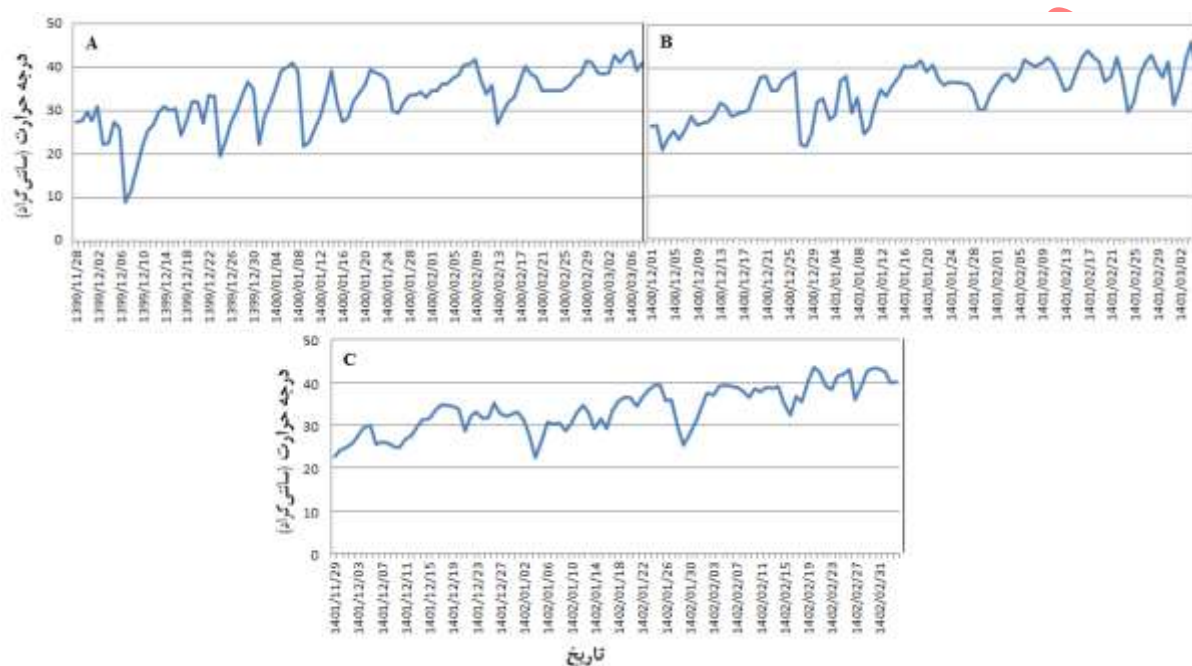
گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی ناشی از آن در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، اثرات قابل ملاحظه‌ای بر سیستم‌های تولید کشاورزی به همراه دارد. در این شرایط راهکارهای مدیریتی نقش مهمی در توانایی خاک برای نگهداری عناصر غذایی و آب داشته و تاکید بر استفاده بهینه از آب دارد تا با تأمین حداقل آب، بیشترین عملکرد را تولید نماید (Xoconostle-Cazares, 2010). کم آبیاری یا تأمین آب به میزان کمتر از تبخیر و تعرق گیاه، به‌عنوان یک ابزار مناسب برای استفاده کارآمدتر از آب در تاکستان‌ها و با احتمال اثر مثبت در عملکرد کمی و کیفی میوه انگور است (Asadi et al., 2018; Dolati baneh & Noorjo, 2009). در این شرایط

باید آبیاری با مدیریت صحیح در زمان‌های حساس انگور صورت گیرد. در این صورت در مقدار مصرف آب صرفه جویی شده، رشد رویشی گیاه کنترل و کیفیت میوه افزایش می‌یابد زیرا آبیاری زیاد باعث افزایش رشد سبزینه‌ای، کاهش ضخامت کوتیکول و عدم تعادل مواد غذایی شده و بر کیفیت میوه اثر منفی داشته و ماده خشک میوه را کاهش می‌دهد (Fahim; Fazeli Rostampour, 2020). *et al.*, 2021). ریشه انگور نسبتاً عمیق است و به همین دلیل در برابر کم‌آبی مقاوم است (Mirfatah *et al.*, 2024a). آب و مواد محلولی که از طریق ریشه‌های تاک جذب می‌شود در اثر ایجاد کشش ناشی از تعرق حاصل از برگ‌های آن است (Edwards and Clingeleffer, 2013). تنش کم‌آبی باعث کاهش گسترش برگ، روزنه‌ها و سرعت فتوسنتز می‌شود (Tardieu *et al.*, 2014). سازوکارهای مقاومت به خشکی در انگور شامل کاهش سطح برگ، افزایش اندام‌های ذخیره‌ای گوشتی، توانایی بالای حفظ و نگهداری آب، تراکم روزنه بالا، کاهش هدایت روزنه‌ای، تنظیم اسمزی و استفاده از منابع آبی موجود در آپوپلاست برای حفظ فعالیت‌های متابولیکی است (Doulati Baneh *et al.*, 2019; Dolati baneh & Noorjo, 2009). تحت تنش خشکی پتانسیل آب برگ به طور شدید کاهش یافته که برای سازگاری با این شرایط اسمولیت‌هایی از جمله پرولین در برگ تجمع می‌یابند (Gholizadeh *et al.*, 2024). افزایش و تجمع پرولین در برگ‌های تحت تنش به علت افزایش سنتز و کاهش اکسیداسیون است. در گیاهان تجمع اسمولیت‌هایی همچون پرولین و قندهای محلول باعث پایداری غشاء سلولی و جلوگیری از غیر فعال شدن آنزیم‌ها می‌گردد (Jimenez *et al.*, 2013). افزایش قندهای محلول در سلول‌های گیاهی سبب کاهش پتانسیل اسمزی و متعاقباً پتانسیل آبی شده و جذب آب به درون سلول‌ها را آسان می‌سازد (Oliviera-Neto *et al.*, 2009). کاهش آب در بافت‌های گیاهی سبب تغییر در فرایندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌گردد. محدودیت آبی موجب کاهش تقسیم و انبساط سلول‌ها می‌شود به گونه‌ای که با افزایش شدت تنش خشکی وزن تر و خشک برگ انگور و عملکرد کاهش می‌یابد (Edwards and Clingeleffer, 2013). در اثر تنش آبی تولید تنظیم کننده رشد اسید آسازیک افزایش یافته و در نتیجه هدایت روزنه‌ای برگ با هدف کاهش میزان تعرق محدود می‌شود که در نتیجه آن دمای برگ افزایش یافته و منجر به تنش گرمایی در گیاه می‌شود (Hutton & Loveys, 2011). محتوای نسبی آب برگ جزء صفات مناسب برای نشان دادن الگوی پاسخ فتوسنتزی گیاهان به کم آبی است. با بروز تنش خشکی، پتانسیل اسمزی در برگ انگور کاهش یافته و محتوای نسبی آب برگ کم می‌شود (Bota *et al.*, 2004). کاهش پتانسیل آب گیاه مانع از تقسیم سلولی، رشد اندام‌های گیاه، فتوسنتز خالص و سنتز پروتئین می‌شود (Lawlor, 2002). گزارش شده که در دور آبیاری ۳ و ۱۵ روز میزان محتوای نسبی آب برگ انگور رقم یاقوتی به ترتیب برابر با ۸۵/۸ و ۶۶/۱ غلظت پرولین برابر با ۴۷/۰۷ و ۱۳۴/۳۹ میکرومول بر گرم وزن تر، غلظت قندهای محلول به ترتیب برابر با ۳/۸ و ۴/۰۹ و غلظت کلروفیل کل به ترتیب برابر با ۱۰/۹۶ و ۸/۶۶ بود (Esmaeilizadeh *et al.*, 2018). در تنش خشکی نفوذپذیری نسبی غشاء افزایش می‌یابد و برای پی بردن به میزان خسارت اکسایشی وارد شده به فسفولیپیدهای غشای پلاسمایی بر اثر پراکسیداسیون ناشی از رادیکال‌های آزاد، اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها یکی از بهترین روش‌ها می‌باشد (Bota *et al.*, 2004). نتایج یک آزمایش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ، پایداری غشاء و محتوای رطوبت نسبی آب برگ و افزایش معنی‌دار در میزان پرولین و مالون دی آلدئید و همچنین فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان کاتالاز انگور گردید (Mehri *et al.*, 2015). تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و از جمله دمای تاج پوشه را بوسیله دماسنج مادون قرمز در تعدادی از ارقام تجاری داخلی و خارجی انگور بررسی کردند، نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری کامل دمای تاج پوشه با اختلاف معنی‌داری افزایش یافت (Karami *et al.*, 2017). با اعمال کم آبیاری در انگور می‌توان بدون کاهش معنی‌دار عملکرد، ضمن بهبود صفات کیفی میوه مصرف آب را کاهش داد (Chaves *et al.*, 2007). اثر کم آبیاری بر روی رقم کابرنه سووینون بررسی شد و نشان داد که کم آبیاری در مقایسه با شاهد منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد میوه گردید و هرچه میزان کاهش آبیاری بیشتر شد عملکرد تاک کاهش بیشتری نشان داد (Edwards and Clingeleffer, 2013).

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان زهک با عرض جغرافیایی ۳۸° ۵۳' ۳۰" درجه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹° ۴۰' ۶۱" درجه شرقی و ارتفاع ۴۹۵ متر از سطح دریا طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ انجام شد.

شهرستان زهک دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد که بر اساس طبقه‌بندی کوپن، جزو آب و هوای بیابانی خشک بسیار گرم است (Karimi et al., 2013). آمار ایستگاه سینوپتیک شهرستان زهک بیان گر آن است که گرم‌ترین ماه‌های سال، خردادماه و تیرماه با بیشینه دمای $47/4^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی 57 میلی‌متر و بیشترین سرعت باد در مردادماه با $59/85$ کیلومتر بر ساعت می‌باشد (Danesh Shahraki et al., 2017). حداکثر درجه حرارت روزانه مربوط به مرحله تورم جوانه تا برداشت طی سال‌های $1399-1400$ ، $1400-1401$ و $1401-1402$ از اداره کل هواشناسی اخذ شد که در شکل یک نشان داده شده است. همچنین نتایج آزمون خاک در جدول یک ارائه شده است. بافت خاک، شوری و اسیدیته از سطح خاک تا عمق 30 سانتی‌متری به ترتیب لوم-شنی، $3/17$ دسیزی‌منس بر متر و $7/74$ بود. همچنین بافت خاک، شوری و اسیدیته از عمق 30 تا 60 سانتی‌متری به ترتیب لوم-رسی-شنی، $3/65$ دسیزی‌منس بر متر و $7/87$ بود.



شکل ۱- حداکثر درجه حرارت روزانه، مرحله تورم جوانه تا برداشت طی سال‌های آزمایش A: سال $1399-1400$ ، B: سال $1400-1401$ و C: سال $1401-1402$

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک تاکستان محل آزمایش							
عمق (سانتی‌متر)	بافت	شوری (دسیزی‌منس بر متر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر	پتاسیم
							رومی
							میلی گرم بر کیلوگرم
۰-۳۰	لوم-شنی	۳/۱۷	۷/۷۴	۰/۲۵	۰/۰۷	۶/۴	۱۲۰
۳۰-۶۰	لوم-رسی-شنی	۳/۶۵	۷/۸۷	۰/۲۶	۰/۰۵	۶/۲	۱۱۵

آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده نواری با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم آبیاری کنترل (آبیاری کامل)، آبیاری پس از 35 درصد کمبود رطوبت خاک و آبیاری پس از 70 درصد کمبود رطوبت خاک به کرت‌های افقی و مرحله آبیاری شامل ۱- مرحله تورم جوانه تا گل‌دهی ۲- گل‌دهی تا تغییر رنگ جبه ۳- تغییر رنگ جبه تا برداشت میوه و ۴- مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ به کرت‌های عمودی اختصاص یافت. این پژوهش در ایستگاه تحقیقات زهک روی تاک‌های ۱۵ ساله انگور رقم رقم یاقوتی-غیر پیوندی انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها سه متر و فاصله روی ردیف‌ها دو

متر بود. تاک‌ها به شکل خزنده و کوتاه تربیت شده بودند. آبیاری با توجه به تیمارها، با استفاده از دستگاه رطوبت سنج^۱ و از روش نقصان رطوبتی خاک^۲ به طریق وزنی تعیین شد (Myburgh, 2003). در این روش میزان آب آبیاری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه و از طریق کنتور حجمی برای هر یک از تیمارها اعمال گردید (Molavi et al., 2012).

$$SMD = (\theta_{FC} - \theta_{v0}) \rho_b \times D / 100$$

رابطه ۱)

SMD: کمبود رطوبت خاک (میلی‌متر)

θ_{FC} : رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)

θ_{v0} : رطوبت حجمی خاک یک روز قبل از آبیاری (درصد)

ρ_b : وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

D: عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)

راندمان آبیاری برای جویچه‌ها ۵۰ درصد و عمق توسعه ریشه برای انگور یک متر در نظر گرفته شد.

کنترل آفات و علف‌های هرز براساس عرف منطقه انجام گردید.

صفات محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، پرولین، قندهای محلول، نفوذ پذیری نسبی غشای سلول‌های برگ، دمای برگ و شاخص کلروفیل یک هفته قبل از مراحل گل‌دهی، تغییر رنگ خوشه، برداشت میوه و تغییر رنگ برگ اندازه‌گیری گردید.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)، نمونه‌گیری از برگ‌های انتهایی کامل شده بین ساعت ۸ تا ۹ صبح انجام و بلافاصله نمونه‌ها در کلمن حاوی یخ قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس نمونه‌ها وزن شده (Wf) و به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شده و توزن گردید (Wt). در مرحله بعد به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن شد (Wd). سپس محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۲ اندازه‌گیری شد (Schlemmer et al., 2005):

$$RWC = (Wf - Wd / Wt - Wd) \times 100$$

رابطه ۲)

برای اندازه‌گیری سطح برگ از گره‌های ۴-۵ و ۷-۸ چهار برگ تاک انتخاب شده و با کمک دستگاه سنجش سطح برگ مدل AM 200-ADC ساخت شرکت ADC Bioscientific انگلستان، سطح برگ‌ها اندازه‌گیری و میانگین سطح برگ در هر تاک تعیین گردید. لازم به ذکر است که برای برگ‌های از دست رفته گره‌های مذکور عدد صفر در نظر گرفته شد (Bybordi, 2012). شاخص کلروفیل در برگ‌های موقعیت گره ۳، ۶ و نوک شاخساره با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Minolta SPAD-502) تعیین شد (Fazeli Rostampour et al., 2013).

پروولین و قندهای محلول در برگ‌های انتهایی کامل شده اندازه‌گیری شد (Irigoyen et al., 1992). در ابتدا برگ‌های گیاه با استفاده از آسیاب کاملاً خرد شده و سپس ۰/۵ گرم از پودر برگ‌ها در داخل هاون چینی با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ کاملاً له گردید. پنج میلی‌لیتر معرف نین هیدرین به نمونه‌ها اضافه شد سپس جهت اندازه‌گیری پروولین، فاز بالایی که محتوی بنزن و پروولین می‌باشد جدا شده و شدت جذب آن با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد و جهت اندازه‌گیری قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده با ۳ میلی‌لیتر آنترون مخلوط شد. پس از آن میزان جذب با اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت گردید.

برای تعیین میزان نفوذ نسبی غشای سلول‌های برگ (RMP^3) از روش باجی و همکاران (Bajji et al., 2001) استفاده شد. بدین صورت که از برگ انتهایی کامل شده هر گیاه سه دیسک با قطر ۱ سانتی‌متر جدا گردید. بلافاصله دیسک‌ها درون لوله‌های

^۱TDR

^۲The soil moisture deficit

^۳Relative membrane permeability

آزمایش حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه قرار داده شد. پس از قراردادن نمونه‌ها به مدت ۳ ثانیه در شیکر، هدایت الکتریکی اولیه هر نمونه اندازه‌گیری شد (EC0). نمونه‌ها سپس به مدت ۲۴ ساعت در ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده و مجدداً هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد (EC1). در مرحله بعد نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و پس از خنک شدن در دمای اتاق هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد (EC2). سپس نفوذپذیری نسبی غشا با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{RMP (\%)} = [(EC1-EC0)/(EC2-EC0)]*100 \quad \text{رابطه ۳}$$

اندازه‌گیری دمای برگ بین ساعات ۱۳ تا ۱۴ توسط دماسنج مادون قرمز و از چهار برگ بالای تاک از فاصله ۱۰ سانتی‌متری انجام شد (حامد دولتی بانه، جمال احمدآلی و موسی رسولی ۱۳۹۸). پس از رسیدگی کامل (رنگ یاقوتی یکنواخت خوشه همراه با بریکس بالای ۱۷)، عملکرد میوه انگور رقم یاقوتی (میانگین عملکرد سه تاک) به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد (Gatti et al., 2012). جهت واکاوی آماری، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ و با استفاده از رویه GLM انجام شد. تجزیه واریانس مرکب مربوط به سه سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱، ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ وقتی انجام شد که آزمون بارتلت همگنی واریانس‌ها را تایید نمود. باتوجه به این‌که اثر تیمار رژیم آبیاری در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بر برخی صفات مانند عملکرد، در سال بعد مشخص می‌شود، بنابراین نتایج مربوط به سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار نگرفت. مقایسات میانگین نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. تجزیه رگرسیون چندگانه خطی براساس مدل آماری زیر و با هدف بررسی میزان اثرگذاری صفات محتوی نسبی آب برگ (RWC)، سطح برگ (LA)، شاخص کلروفیل (CI)، پرولین (Pr)، قندهای محلول (SS)، نفوذپذیری نسبی غشای سلول‌های برگ (RMP)، دمای برگ (LT) بر عملکرد (Yield) برای هر سطح آبیاری جداگانه انجام شد.

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_kx_k + e \quad \text{مدل ۱}$$

y متغیر وابسته، b متغیرهای مستقل از ۱ تا k و e خطا یا باقیمانده است.

یافته‌های پژوهش

محتوای نسبی آب برگ: اثر رژیم آبیاری، سال در رژیم آبیاری، مراحل اعمال رژیم آبیاری و برهمکنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۸۷/۹۶ درصد) و کم‌ترین (۴۱/۵۰ درصد) میزان محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب در تیمار آبیاری کامل در مرحله تورم جوانه تا گل‌دهی و تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. در تمام سطوح رژیم آبیاری بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ مربوط به مرحله تورم جوانه تا گل‌دهی بود. همچنین در تمام سطوح رژیم آبیاری کم‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۳/۳، ۱۵/۱، ۳۶/۳ و ۲۶/۳ درصد گردید. تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۲۸/۸، ۳۱/۴، ۲۰/۵ و ۴۲ درصد گردید (جدول ۳).

سطح برگ: اثر رژیم آبیاری، مراحل اعمال رژیم آبیاری و برهمکنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم آبیاری بر سطح برگ

معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۱۲/۶۷ سانتی‌متر مربع) و کم‌ترین (۳/۵۱ سانتی‌متر مربع) میزان سطح برگ به‌ترتیب در تیمار آبیاری کامل در مرحله تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مرحله برداشت تا ریزش برگ بود. در تمام سطوح رژیم آبیاری بیش‌ترین میزان سطح برگ مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ حبه بود. همچنین در تمام سطوح رژیم آبیاری کم‌ترین میزان سطح برگ مربوط به مرحله برداشت تا ریزش برگ بود. آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش میزان سطح برگ نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۲۵/۲، ۲۴، ۲۶/۵ و ۵۴/۴ درصد گردید. آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش میزان سطح برگ نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۴۹/۸، ۴۰/۴، ۴۴/۴ و ۷۱ درصد گردید (جدول ۳). بین سطح برگ با محتوای نسبی آب برگ همبستگی معنی‌دار ۰/۷۷ وجود داشت (جدول ۴).

شاخص کلروفیل برگ: اثر رژیم آبیاری، سال در رژیم آبیاری، مراحل اعمال رژیم آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم آبیاری، برهمکنش رژیم آبیاری در مراحل اعمال رژیم آبیاری و سال در رژیم آبیاری در مراحل اعمال رژیم آبیاری بر شاخص کلروفیل معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۳۶/۵۲) و کم‌ترین (۲۳/۵۳) شاخص کلروفیل به‌ترتیب در تیمار آبیاری کامل در مرحله تورم جوانه تا گل‌دهی و تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مرحله برداشت تا ریزش برگ بود. در تمام سطوح رژیم آبیاری بیش‌ترین شاخص کلروفیل مربوط به مرحله تورم جوانه تا گل‌دهی بود. همچنین در تمام سطوح رژیم آبیاری کم‌ترین شاخص کلروفیل مربوط به مرحله برداشت تا ریزش برگ بود. آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش میزان شاخص کلروفیل نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۴/۸، ۷/۸، ۱۱/۷ و ۱۴/۶ درصد گردید. تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش شاخص کلروفیل نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۷/۵، ۲۴/۳، ۲۹ و ۳۲/۱ درصد گردید (جدول ۳). بین شاخص کلروفیل با محتوای نسبی آب برگ و سطح برگ همبستگی معنی‌دار ۰/۷۵ و ۰/۶۳ وجود داشت (جدول ۴).

پرولین برگ: اثر رژیم آبیاری، مراحل اعمال رژیم آبیاری، سال در رژیم آبیاری و برهمکنش رژیم آبیاری در مراحل اعمال رژیم آبیاری بر میزان پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۹/۴۹ میکرومول بر گرم وزن تر) و کم‌ترین (۴/۵۴ میکرومول بر گرم وزن تر) میزان پرولین به‌ترتیب در تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مرحله تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و آبیاری کامل در مرحله تورم جوانه تا گل‌دهی بود. بیش‌ترین میزان پرولین در بین تمام سطوح رژیم آبیاری، مربوط به مرحله تغییر رنگ حبه تا برداشت بود. آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث افزایش میزان پرولین نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۵۰/۹، ۴۵/۳، ۴۳/۵ و ۳۷/۴ درصد گردید. آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث افزایش میزان پرولین نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۷۹/۹، ۷۸/۴، ۷۱/۹ و ۶۵/۶ درصد گردید (جدول ۳). بین میزان پرولین با محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ و شاخص کلروفیل همبستگی معنی‌دار ۰/۶۴، ۰/۵۳ و ۰/۶۱ وجود داشت (جدول ۴).

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل، پرولین، قندهای محلول، نفوذپذیری نسبی غشاء، دمای تاج پوشش و عملکرد میوه انگور رقم یاقوتی طی سه سال

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد میوه	دمای تاج پوشش	نفوذپذیری نسبی غشاء	قندهای محلول	پرولین	شاخص کلروفیل	سطح برگ	محتوای نسبی آب برگ		
۲۱۴۱۱۴. ^{ns}	۱۴/۷۷ ^{ns}	۵۳/۱۶ ^{ns}	۱۰/۵۶ ^{ns}	۱/۱۹ ^{ns}	۱۰۳/۸۵ ^{ns}	۴/۱۶ ^{ns}	۷۷/۷۹ ^{ns}	۲	سال (Y)
۱۲۹۸۶۵۹	۳/۶۰	۱۶/۲۶	۱۶/۳۵	۰/۶۶	۲۵/۹۱	۱۱/۰۵	۳۵/۰۸	۶	سال در تکرار Y(r)
۱۰۸۴۳۴۵۸۸ ^{**}	۳۷۶/۵۸ ^{**}	۲۳۱۳/۰۵ ^{**}	۱۴۴/۶۷ ^{**}	۱۲۰/۲۱ ^{**}	۸۳۴/۹۴ ^{**}	۲۸۷/۵۲ ^{**}	۷۱۹۶/۳۶ ^{**}	۲	رژیم آبیاری (I)
۲۲۸۹۴۰۸ ^{ns}	۸/۷۷ ^{ns}	۹/۷۰ ^{ns}	۸/۴۲ ^{ns}	۰/۵۴ ^{ns}	۱۲۴/۵۳ [*]	۶/۵۱ ^{ns}	۶۲/۸۲ ^{**}	۴	Y×I
۹۱۲۸۲۸	۳/۲۱	۷/۳۹	۴/۴۵	۰/۵۶	۲۳/۶۶	۵/۴۹	۶/۲۰	۱۲	Y×I(r)
۲۷۰۰۷۳۴۳ ^{**}	۱۵۷۴/۵۲ ^{**}	۱۴۲/۵۶ ^{**}	۳۱۴/۳۷ ^{**}	۱۰/۷۲ ^{**}	۸۶/۵۸ ^{**}	۷۲/۷۱ ^{**}	۲۲۰۶/۶۸ ^{**}	۳	مرحله (S)
۶۶۷۹۸۸ [*]	۱۷۸/۱۷ ^{**}	۱۳/۰۱ ^{**}	۴/۳۰ ^{**}	۰/۴۷ [*]	۸/۳۰ ^{**}	۵/۵۱ ^{ns}	۶/۳۰ ^{ns}	۶	Y×S
۳۸۳۱۶۵	۲/۱۵	۱/۴۱	۲/۱۶	۰/۲۳	۳/۵۶	۳/۴۱	۸/۹۴	۱۸	Y×S(r)
۷۹۳۶۷۰۶ ^{**}	۸/۵۴ [*]	۶/۲۲ [*]	۴۵/۱۶ ^{**}	۰/۴۶ ^{**}	۶/۴۴ [*]	۴/۲۲ [*]	۲۷/۹۴ ^{**}	۶	I×S
۵۵۰۳۹۲ [*]	۲/۳۰ ^{ns}	۷/۶۵ ^{**}	۲/۳۶ ^{ns}	۰/۳۰ ^{ns}	۵/۵۷ [*]	۲/۲۸ ^{ns}	۸/۲۲ ^{ns}	۱۲	Y×I×S
۲۵۱۵۳۹	۳/۵۱	۲/۱۵	۱/۲۰	۰/۱۵	۲/۴۷	۱/۷۲	۷/۹۳	۳۶	Y×I×S(r)
۸/۹۰	۵/۴۰	۵/۰۶	۹/۳۰	۵/۶۳	۵/۰۱	۱۶/۳۸	۴/۱۵	-	ضریب تغییرات (درصد)
۰/۸۹	۰/۸	۰/۸۱	۰/۰۸	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۳۸	۰/۷۱	-	آزمون بارتلت

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳: برهمکنش رژیم آبیاری و مرحله آبیاری بر صفات محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل، پرولین، قندهای محلول، نفوذپذیری نسبی غشاء، دمای تاج پوشش و عملکرد انگور رقم یاقوتی

تیماها								
صفات								
رژیم آبیاری	مرحله	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	سطح برگ (سانتی متر مربع)	شاخص کلروفیل	پروлін (میکرومول بر گرم وزن تر)	قندهای محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر)	نفوذپذیری نسبی غشاء (درصد)	دمای تاج پوشش (درجه سانتی گراد)
عملکرد میوه (کیلوگرم در هکتار)								
I ₁	S ₁	۸۷/۸۹ ^a	۱۰/۶ ^{bc}	۳۶/۵۲ ^a	۴/۵۴ ^j	۹/۳۹ ^f	۱۸/۷۷ ⁱ	۲۹/۵۶ ^e
	S ₂	۸۶/۶۱ ^a	۱۲/۳۷ ^a	۳۶/۱۹ ^{ab}	۴/۹۹ ⁱ	۱۰/۳۴ ^{ef}	۱۹/۵۰ ^{ij}	۳۵/۱۱ ^d
	S ₃	۸۳/۵۶ ^b	۱۱/۲۳ ^{ab}	۳۵/۵۵ ^{ab}	۵/۵۳ ^h	۱۰/۹۶ ^e	۲۰/۴۵ ⁱ	۳۸/۹۹ ^c
	S ₄	۷۱/۶۱ ^d	۹/۹۷ ^{bc}	۳۴/۶۴ ^{bc}	۴/۶۳ ^j	۸/۱۳ ^g	۲۴/۱۸ ^h	۲۱/۵۴ ^h
I ₂	S ₁	۷۶/۲۳ ^c	۷/۹۴ ^e	۳۴/۷۷ ^{bc}	۶/۸۵ ^f	۱۲/۸۹ ^d	۲۷/۸۹ ^g	۳۴/۰۳ ^d
	S ₂	۷۳/۴۹ ^d	۹/۴۰ ^{cd}	۳۳/۳۸ ^c	۷/۲۵ ^e	۱۳/۴۱ ^d	۲۸/۶۳ ^{fg}	۳۸/۶۷ ^c
	S ₃	۶۶/۳۹ ^e	۸/۲۵ ^{de}	۳۱/۴۰ ^d	۷/۹۳ ^{cd}	۱۴/۶۳ ^c	۲۹/۵۲ ^f	۴۲/۶۷ ^b
	S ₄	۵۲/۷۸ ^h	۴/۵۵ ^h	۲۹/۵۹ ^e	۶/۳۵ ^g	۶/۸۳ ^h	۳۱/۶۳ ^e	۲۴/۵۶ ^g
I ₃	S ₁	۶۲/۵۶ ^f	۵/۳۰ ^{gh}	۲۸/۶۸ ^{ef}	۸/۱۷ ^c	۱۵/۱۱ ^c	۳۳/۵۵ ^d	۳۸/۰۳ ^c
	S ₂	۵۹/۳۹ ^g	۷/۳۷ ^{ef}	۲۷/۴۰ ^f	۸/۹۰ ^b	۱۶/۵۰ ^b	۳۵/۱۶ ^c	۴۱/۰۷ ^b
	S ₃	۵۳/۲۲ ^h	۶/۲۴ ^{fg}	۲۵/۲۵ ^g	۹/۴۹ ^a	۱۷/۷۶ ^a	۳۷/۹۸ ^b	۴۴/۷۸ ^a
	S ₄	۴۱/۵۰ ⁱ	۲/۸۹ ⁱ	۲۳/۵۳ ^h	۷/۶۵ ^d	۵/۴۷ ⁱ	۴۰/۲۵ ^a	۲۷/۱۱ ^f

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشابه می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند

I₁: کنترل، I₂: آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک، I₃: آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک

S₁: تورم جوانه تا گل‌دهی، S₂: گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، S₃: تغییر رنگ حبه تا برداشت، S₄: برداشت میوه تا ریزش برگ

جدول ۴: همبستگی پیرسون بین صفات محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل، پرولین، قندهای محلول، نفوذپذیری نسبی غشاء، دمای تاج پوشش و عملکرد انگور رقم یاقوتی

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
							۱-محتوای نسبی آب برگ
						۱	۲-سطح برگ
					۱	۰/۶۳**	۳-شاخص کلروفیل
			۱	۰/۵۹**	۰/۶۱**	۰/۵۳**	۴-پروکلین
				۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۵-قندهای محلول
		۱	۰/۲۷**	۰/۷۹**	۰/۷۴**	۰/۷۵**	۶-نفوذپذیری نسبی غشاء
	۱	۰/۴۷**	۰/۵۴**	۰/۷۰**	۰/۲۲*	۰/۲۴*	۷-دمای تاج پوشش
۱	۰/۵۵**	۰/۸۳**	۰/۴۹**	۰/۸۳**	۰/۶۳**	۰/۶۱**	۸-عملکرد میوه

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

قندهای محلول برگ: اثر رژیم آبیاری، مراحل اعمال رژیم آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم آبیاری و برهمکنش رژیم آبیاری در مراحل اعمال رژیم آبیاری بر میزان قندهای محلول معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین (۱۷/۷۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کمترین (۵/۴۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) میزان قندهای محلول به ترتیب در تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ بود. بیشترین میزان قندهای محلول در بین تمام سطوح رژیم آبیاری، مربوط به مرحله تغییر رنگ حبه تا برداشت بود. آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل دهی، گل دهی تا تغییر رنگ حبه و تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه به ترتیب باعث افزایش میزان قندهای محلول نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۳۷/۳، ۲۹/۷ و ۳۳/۵ و در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ باعث کاهش قندهای محلول به میزان ۱۵/۹ درصد گردید. همچنین آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل دهی، گل دهی تا تغییر رنگ حبه و تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه به ترتیب باعث افزایش میزان قندهای محلول نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۶۰/۹، ۵۹/۶ و ۶۲ و در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ باعث کاهش قندهای محلول به میزان ۳۲/۷۲ درصد گردید (جدول ۳). بین میزان قندهای محلول با پرولین همبستگی معنی دار ۰/۵۹ وجود داشت (جدول ۴).

نفوذپذیری نسبی غشاء: اثر رژیم آبیاری، مراحل اعمال رژیم آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم آبیاری، برهمکنش رژیم آبیاری در مراحل اعمال رژیم آبیاری و سال در رژیم آبیاری در مراحل اعمال رژیم آبیاری بر نفوذپذیری نسبی غشاء معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین (۴۰/۲۵ درصد) و کمترین (۱۸/۷۷ درصد) میزان نفوذپذیری نسبی غشاء به ترتیب در تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ و آبیاری کامل در مرحله تورم جوانه تا گل دهی بود. بیشترین میزان نفوذپذیری نسبی غشاء در بین تمام سطوح رژیم آبیاری، مربوط به مرحله برداشت تا ریزش برگ بود. آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل دهی، گل دهی تا تغییر رنگ حبه و تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث افزایش میزان نفوذپذیری نسبی غشاء نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۵/۱، ۴۶/۸ و ۴۴/۳ درصد گردید. همچنین آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل دهی، گل دهی تا تغییر رنگ حبه و تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث افزایش میزان نفوذپذیری نسبی غشاء نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۷۸/۷، ۸۰/۳ و ۸۵/۷ و ۶۶/۵ درصد گردید (جدول ۳). بین نفوذپذیری نسبی غشاء با محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل، پرولین و قندهای محلول به ترتیب همبستگی معنی دار ۰/۸۹-

، ۰/۷۵، -۰/۷۴، ۰/۷۹ و ۰/۲۷ وجود داشت (جدول ۴).

دمای تاج پوشش: اثر رژیم آبیاری، مراحل اعمال رژیم آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم آبیاری و برهمکنش رژیم آبیاری در مراحل اعمال رژیم آبیاری بر دمای تاج پوشش معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین (۴۴/۷۸) درجه سانتی گراد) و کمترین (۲۱/۵۴) درجه سانتی گراد) دمای تاج پوشش به ترتیب در تیمار آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مرحله تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و آبیاری کامل در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. بیشترین دمای تاج پوشش در بین تمام سطوح رژیم آبیاری، مربوط به مرحله تغییر رنگ حبه تا برداشت بود. همچنین در تمام سطوح رژیم آبیاری کمترین دمای تاج پوشش مربوط به مرحله برداشت تا ریزش برگ بود. آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل دهی، گل دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث افزایش دمای تاج پوشش نسبت به آبیاری کامل به میزان ۱۵/۱، ۱۰/۱، ۹/۴ و ۳۰/۱ درصد گردید. همچنین آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل دهی، گل دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث افزایش دمای تاج پوشش نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۷۸/۷، ۸۰/۳، ۸۵/۷ و ۶۶/۵ درصد گردید (جدول ۳). بین دمای تاج پوشش با محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل، پرولین، قندهای محلول و نفوذپذیری نسبی غشاء به ترتیب همبستگی معنی دار ۰/۳۰، -۰/۲۴، -۰/۲۲، ۰/۷۰، ۰/۵۴ و ۰/۴۷ وجود داشت (جدول ۴).

عملکرد میوه: اثر رژیم آبیاری، مراحل اعمال رژیم آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم آبیاری، برهمکنش رژیم آبیاری در مراحل و سال در رژیم آبیاری در مراحل اعمال رژیم آبیاری بر عملکرد میوه معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد میوه به میزان ۷۲۷۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری کامل و کمترین عملکرد میوه به میزان ۱۹۸۱ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مرحله گل دهی تا تغییر رنگ حبه مشاهده گردید. بیشترین عملکرد میوه در شرایط آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود و بیشترین عملکرد میوه در شرایط آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک مربوط به مرحله تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه بود. همچنین کمترین عملکرد میوه در سطوح تنش کم آبیاری مربوط به مرحله گل دهی تا تغییر رنگ حبه بود. آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل دهی، گل دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش میزان عملکرد میوه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۲۷/۹، ۳۸، ۷/۱ و ۴/۱ درصد گردید. آبیاری پس از ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل دهی، گل دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش عملکرد میوه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۶۵/۲، ۷۲/۷، ۲۱ و ۳۱/۲ درصد گردید (جدول ۳). بین عملکرد میوه با محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل، پرولین، قندهای محلول، نفوذپذیری نسبی غشاء و دمای تاج پوشش به ترتیب همبستگی معنی دار ۰/۷۱، ۰/۶۱، ۰/۶۳، ۰/۸۳، -۰/۴۹، -۰/۸۳، ۰-۰/۵۵ و وجود داشت (جدول ۴). آنالیز رگرسیون چندگانه خطی برای عملکرد انگور رقم یاقوتی انجام شد. صفات اثرگذار بر معادله پیش بینی شده عملکرد (Yield) عبارت از محتوای نسبی آب برگ (RWC)، پرولین (Pr) و نفوذپذیری نسبی غشای سلول های برگ (RMP) بصورت مدل ۲ بود.

$$\text{Yield} = 170.87 - 52.4 \text{ RWC} - 496.4 \text{ Pr} - 155.1 \text{ RMP}$$

(مدل ۲)

بحث

در این پژوهش رژیم کم آبیاری باعث کاهش صفات محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل و عملکرد و افزایش صفات پرولین، قندهای محلول، نفوذپذیری نسبی غشای سلول، دمای تاج پوشش گردید. محتوای نسبی آب برگ در تمام سطوح

آبیاری از مرحله تورم جوانه به تدریج کاهش یافت. با افزایش دما و گسترش سطح برگ در مراحل گل‌دهی تا تغییر رنگ حبه و تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه، به تدریج محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته و هرچه تاک انگور رقم یاقوتی به انتهای فصل رشد نزدیک‌تر شد، به دلیل کاهش طول روز و دما و آماده شدن تاک برای مرحله خواب زمستانه^۱ محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. از طرف دیگر کاهش آبیاری در تمام مراحل رشد انگور رقم یاقوتی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ گردید. در این شرایط جذب آب از ریشه نسبت به تبخیر و تعرق تاک کم‌تر شده و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته و علائم تنش بروز کرد. پاسخ‌های دفاعی گیاه بسته به مدت و شدت تنش پیچیده و در سطح مولکولی و سلولی اتفاق می‌افتد. یکی از اولین واکنش‌های گیاه به تنش کم‌آبی، بستن روزنه‌ها جهت جلوگیری از تعرق است که بدنال این امر فتوسنتز کاهش یافته و در ادامه رشد رویشی بوئیه سطح برگ کاهش می‌یابد (Cramer et al., 2011). در این پژوهش سطح برگ تاک انگور رقم یاقوتی از مرحله تورم جوانه تا تغییر رنگ حبه به تدریج گسترش یافته و سپس تا انتهای فصل رشد کاهش یافت. کاهش آبیاری از مرحله تورم جوانه تا تغییر رنگ خوشه، اثر منفی بر گسترش برگ‌ها و رشد زایشی انگور رقم یاقوتی داشت و باعث کاهش سطح برگ و کوچک شدن برگ‌ها شد. از طرف دیگر اگرچه در تیمارهای آبیاری پس از ۳۵ و ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک، تاک انگور با سطح برگ مناسبی وارد مرحله تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه گردید اما کاهش محتوای نسبی آب برگ احتمالاً به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، باعث کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید کربوهیدرات شده و همچنین در اثر انتقال مجدد مواد^۲ از برگ‌ها به مقصد میوه، سطح برگ کاهش یافت. نتایج این پژوهش منطبق بر یافته‌های سایر پژوهشگران است (Munitz et al., 2016; Chacon-Vozmediano et al., 2020). شاخص کلروفیل در طی فصل رشد و همچنین در اثر اعمال تیمارهای کم‌آبیاری کاهش و نفوذپذیری نسبی غشاء سلولی افزایش یافت. مسدود شدن روزنه‌ها در اثر کاهش پتانسیل آب برگ، منجر به تولید گونه‌های اکسیژن فعال در تاک انگور گردیده که یکی از اثرات آن تخریب کلروفیل و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاءها است (Arora et al., 2002). این امر ساختمان کلروفیل و غشاءهای سلولی را دچار اختلال کرده و نشت الکترولیت ناشی از نفوذپذیری نسبی غشاء سلولی را بدنال دارد که نتیجه آن مرگ سلول است (Blokina et al., 2003; Gholizadeh et al., 2024). به همین دلیل در این پژوهش کم‌ترین شاخص کلروفیل و بیش‌ترین نفوذپذیری نسبی غشاء سلولی در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ مشاهده شد. با کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش دمای تاج در طی فصل رشد و همچنین در اثر اعمال تیمارهای کم‌آبیاری، میزان پرولین و قندهای محلول در تاک انگور یاقوتی افزایش یافت. در شرایط کاهش پتانسیل آب، گیاه از طریق افزایش مواد تنظیم‌کننده سازگار مانند پرولین و قندهای محلول بدنال تنظیم اسمزی است (Gambetta et al., 2020; Hutton & Loveys, 2011). در پژوهش حاضر کم‌ترین پرولین و قندهای محلول مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود که با اعمال رژیم کم‌آبیاری در این مرحله بیشتر کاهش یافت. احتمالاً کاهش فتوسنتز در اثر کوتاه شدن طول روز و تجزیه کلروفیل، انتقال مجدد مواد از برگ‌ها به سمت ریشه و آمادگی برای مرحله خواب زمستانه از جمله دلایل آن است (Gomez-Del-Campo et al., 2005). عملکرد میوه واکنش متفاوتی به رژیم کم‌آبیاری داشت. اعمال رژیم کم‌آبیاری در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی و گل‌دهی تا تغییر رنگ حبه بیشترین تاثیر را بر کاهش عملکرد میوه داشت که در این میان تاثیر مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ حبه بیشتر بود. اما تاثیر رژیم کم‌آبیاری در مراحل تغییر رنگ حبه تا برداشت میوه و همچنین برداشت میوه تا ریزش برگ بر عملکرد نسبت به دو مرحله تورم جوانه تا گل‌دهی و گل‌دهی تا تغییر رنگ حبه کم‌تر بود. گزارش شده که قطع آبیاری از زمان تورم جوانه تاک انگور تا تغییر رنگ حبه‌ها موجب کاهش شدید عملکرد شده و مرحله رشد حبه حساس‌ترین مرحله به تنش آبی است (McCarthy, 2000). کم‌آبیاری در مراحل اولیه رشد تاک باعث کاهش تقسیم سلولی و حجم سلول‌ها و در نتیجه رشد رویشی و سطح برگ تاک کاهش یافته و مقدار مواد فتوسنتزی کمتر یکی از دلایل کاهش عملکرد میوه در شرایط تنش کم‌آبی است (Dolati baneh & Noorjo, 2009; Mirfatah et al., 2024b). نتایج یک تحقیق نشان داد که اگر محدودیت آب قبل از تغییر رنگ حبه اتفاق بیفتد، عملکرد ۱۰ درصد بیشتر از زمانی که این کاهش بعد از تغییر

رنگ حبه رخ دهد کاهش می‌یابد (Buesa et al., 2017).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که آبیاری پس از ۳۵ و ۷۰ درصد کمبود رطوبت خاک باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، غلظت کلروفیل و سطح برگ تاک گردید. همچنین باعث افزایش نفوذپذیری نسبی غشاء سلولی گردید. تاک انگور یاقوتی از طریق تجمع اسمولیت های سازگاری نظیر پرولین و همچنین قندهای محلول سعی بر مقابله با این تغییرات داشت که تا اندازه‌ای در شرایط آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تغییر رنگ حبه تا برداشت و ریزش برگ، عملکرد میوه به‌ترتیب ۷/۱ و ۴/۱ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. بطور کلی نتایج نشان داد که عملکرد میوه در شرایط آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تغییر رنگ حبه تا برداشت و برداشت تا ریزش برگ مشابه آبیاری کامل بود.

منابع

- اسدی وهب؛ رسولی، موسی؛ غلامی، منصور و معصومه، ملکی (۱۳۹۶). بررسی برخی ویژگی‌های ریخت شناختی و فیزیولوژیک چهار رقم انگور (*Vitis vinifera* L.) در شرایط تنش خشکی. علوم باغبانی ایران. ۴۸ (۴)، ۹۷۷-۹۹۰.
- اسماعیلی زاده، مجید؛ لطفی، اعظم؛ میردهقان، سیدحسین و شمشیری محمد حسین (۱۳۹۷). اثر دور آبیاری بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چهار رقم انگور ایرانی. نشریه به‌زراعی، ۲۰، ۱۵-۱.
- دانش شهرکی، مهدی؛ شهریاری، علی؛ گنجعلی، مجتبی و بامری، ابوالفضل (۱۳۹۵). تغییرات فصلی و مکانی نرخ گرد و غبار حمل شده از روی شهرهای دشت سیستان و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳ (۶)، ۲۱۵-۱۹۹.
- دولتی بانه، حامد و نورجو، امیر (۱۳۹۰). اثر کم آبیاری بر کمیت، کیفیت میوه و بهره‌وری مصرف آب سه رقم انگور. مجله به‌زراعی نهال و بذر. ۲۷-۲ (۴)، ۴۳۵-۴۵۰.
- رضوی، رقیه؛ مختاری، داریوش و نوروزی آذر، محمدرضا (۱۳۹۶). بررسی تأثیر مدیریت کم آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه (PRD) بر عملکرد کمی و کیفی انگور در ارومیه. نشریه موسسه تحقیقات خاک و آب. ۳۷ صفحه.
- فاضلی رستم‌پور، منصور (۱۳۹۹). تأثیر رژیم آبیاری و هرس سبز بر برخی صفات کیفی، فیزیولوژیک و عملکرد انگور رقم یاقوتی. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۴ (۱)، ۱۹۶-۱۸۵.
- فاضلی رستم‌پور، منصور (۱۴۰۱). اثر شدت هرس تعادلی و هرس سبز بر برخی صفات فیزیولوژیکی، کیفی و عملکرد انگور یاقوتی (*Vitis vinifera* L.) در منطقه سیستان. علوم باغبانی ایران، ۵۳ (۴)، ۱۰۳۱-۱۰۲۱.
- فاضلی رستم‌پور، منصور (۱۴۰۲). بررسی اثر روش و مرحله کاربرد ریزمغذی‌های روی و آهن بر ویژگی‌های خوشه و عملکرد میوه انگور یاقوتی. علوم باغبانی ایران، ۵۴ (۳)، ۴۵۷-۴۷۳.
- فهمیم، سمیه؛ قنبری، علیرضا؛ ناجی، امیرمحمد؛ شکوهیان علی‌اکبر و حسن ملکی لجایی (۱۴۰۱). تأثیر تنش خشکی روی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در برخی ارقام انگور ایرانی. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۱ (۴۷)، ۲۱-۱۰.
- قلی‌زاده، مجتبی؛ حدادی‌نژاد، مهدی؛ عبادی، علی و علی محمدی‌ترکاشوند. (۱۴۰۳). مطالعه اثر تنش خشکی بر سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی برخی ارقام انگور (*Vitis vinifera* L.). مجله گیاه و زیست فناوری ایران، ۱۹ (۲)، ۲۶۶-۲۴۹.
- کرمی، محمد جواد؛ عشقی، سعید و عنایت‌اله تفضلی (۱۳۹۶). بررسی واکنشهای فیزیولوژیک و سازگاری برخی رقم‌های انگور به گرمای شدید جنوب فارس. علوم باغبانی ایران، ۴۸ (۱)، ۱۷۴-۱۶۱.
- کریمی، مرتضی؛ یزدانی، محمدحامد و نادری، افشین (۱۳۹۲). تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه بر امنیت منطقه سیستان. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، ۲۴ (۲)، ۱۲۸-۱۱۱.
- شاهرخ‌نیا، محمدعلی و کرمی، محمدجواد (۱۳۹۹). برنامه آبیاری تاکستان‌های یاقوتی در خاک‌های با بافت متوسط تا سبک در استان فارس. مجله ترویجی انگور، ۲ (۱)، ۱۳-۷.
- محمودزاده، حسن و فنایی، حمید (۱۳۹۸). ترویج کلون‌های برتر انگور یاقوتی برای احداث باغات جدید و سرشاخه‌کاری در منطقه زابل. مجله ترویجی انگور، ۱، ۴۸-۴۴.

مهری، حمیدرضا؛ قبادی، سیروس؛ بانی نسب، بهرام؛ احسان‌زاده، پرویز و غلامی، مهدیه (۱۳۹۳). بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک به تنش خشکی در (*Vitis vinifera* L.) چهار رقم انگور ایرانی شرایط درون شیشه‌ای. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۳ (۱۰)، ۱۱۵-۱۲۶.

مولوی، حسین؛ محمدی، مسعود و لیاقت، عبدالمجید (۱۳۹۰). اثر آبیاری کامل و یک در میان جویچه‌ای بر عملکرد، اجزای عملکردی و کارایی مصرف آب گوجه فرنگی (*Super Strain B*). نشریه دانش آب و خاک، ۲۱ (۳)، ۱۱۵-۱۲۶.

REFERENCES

- Arora, A., Sairam, R.K., and Srivastava, G.C. (2002). Oxidative stress and antioxidative systems in plants. *Current Science*, 82:1227–1238. doi.org/10.3389/fpls.2020.552969.
- Asadi, W., Rasouli, M., Gholami, M., Maleki, M. (2018). Study of some morphological and physiological traits of four varieties grapes (*Vitis vinifera* L.) under water stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(4), pp. 977-990. doi: 10.22059/ijhs.2017.237072.1279. (In Persian)
- Bajji, M., Kinet, J.M., and Lutts, S. (2001). The use of electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance in durum wheat. *Plant Growth Regulation*, 1: 1-10. doi.org/10.1023/A:1014732714549.
- Blokhina, O., Virolainen, E., and Fagerstedt, K.V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annal Botany*, 91(2), 179–194. doi.org/ 10.1093/aob/mcf118.
- Bota, J., Stasyk, O., Flexas, J., and Medrano, H. (2004). Effect of water stress on partitioning of 14C-labelled photosynthates in *Vitis vinifera*. *Functional Plant Biology*, 31(7), 697–708.
- Bybord, A. (2012). Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Science Journal*, 9 (4), 1092-1101.
- Buesa, I.; Perez, D.; Castel, J.; Intrigliolo, D.S.; Castel, J.R. (2017). Effect of deficit irrigation on vine performance and grape composition of *Vitis vinifera* L. cv. Muscat of Alexandria. *Australian Journal Grape Wine Research*, 23, 251–259.
- Cramer, G.R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M., Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: A systems biology perspective. *BMC Plant Biol*, 11(163), 2-14. doi.org/10.1186/1471-2229-11-163.
- Chacon-Vozmediano, J., Martinez-Gascuena, L. Francisco, J., Garcia-Navarro, J., and R, Jimenez-Ballesta. 2020. Effects of water stress on vegetative growth and 'Merlot' grapevine yield in a semi-arid mediterranean climate. *Horticulturae*, 6(95), 1-16. doi.org/10.3390/horticulturae6040095.
- Chaves, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., Ortun, M.F., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Maroco, J.P., and Pereira, J.S. (2007). Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annual Applied Biology*, 150, 237–252.
- Danesh Shahraki, M., Shahriari, A., Gangali, M., and Bameri, A. (2017). Seasonal and spatial variability of airborne dust loading rate over the Sistan plain cities and its relationship with some climatic parameters. *Journal of Water and Soil Conservatio*, 23(6), 199-215. Doi: 10.22069/JWFST.2017.11530.2595. (in Persian)
- Doulati Baneh, H., Ahmadali, J., Rasouli, M. (2019). Effects of drought stress on some morphophysiological traits of some Iranian and foreign commercial grape varieties. *Research in Pomology*, 4(2), pp. 127-142. (in Persian)
- Dolati Baneh, H., and Noorjo, A. (2009). Effect of different levels of irrigation and quantitative traits on three grape cultivar Information. *Journal of Pajouhesh-va-Sazandegi*, 21: 43-51.
- Edwards, E.J. and Clingeleffer, P.R. (2013). Inter seasonal effects of regulated deficit irrigation on growth, yield,

water use, berry composition and wine attributes of Cabernet Sauvignon grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19: 261-276. doi.org/10.1111/ajgw.12027.

Esmaeilzadeh, M., Lotfi, A., Mirdehghan, S.H., and Shamshiri, M.H. (2018). Effects of irrigation intervals on some physiological and biochemical characteristics in four Iranian grapevine cultivars. *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)*, 20(1), 1-15. (In Persian)

Fahim, Somayyeh., Ghanbari, Alireza., Naji, A.M. Shokohian, A.A., and Maleki Lajayer, H. (2021). Impact of drought stress on morphological and physiological traits in some Iranian grape cultivars. *Plant Process and Function*, 11 (47) : 249-266. Doi:20.1001.1.23222727.1401.11.47.11.0. (In Persian)

Fazeli Rostampour, M. (2020). The effect of irrigation regime and green pruning on some physiologic traits and yield of Yaghooti grape. *Journal of Horticultural Science*, 34(1), 185-196. Doi:10.22067/jhorts4.v34i1.83688. (In Persian)

Fazeli Rostampour, M. (2023a). The Effect of the method and stage of zinc and iron micronutrients application on bunch characteristics and fruit yield of Yaghouti grapes. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54(3), 457-473. DOI: 10.22059/IJHS.2023.356518.2097. (In Persian)

Fazeli Rostampour, M. (2023b). Effect of severity of balance pruning and green pruning on some physiological, qualitative and yield traits of table grape (*Vitis vinifera* L. cv. Yaghouti) in the Sistan region. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 53(4), 1021-1031. DOI: 10.22059/ijhs.2022.335563.1991. (In Persian)

Fazeli Rostampour, M., Yarnia, M., Farokhzadeh, Khoee R., Seghatoleslami, M.J., and Moosavi, G.R. (2013). Physiological response of forage sorghum to polymer under water deficit conditions. *Agronomy Journal*. 105(4), 1- 9. doi.org/10.2134/agronj2012.0071.

Gambetta, G.A., Herrera, J.C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., and Castellarin, S.D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 71(16), 4658–4676. doi.org/10.1093/jxb/eraa245.

Gatti, M., Bernizzoni, F., Civardi, S., and Poni, S. (2012). Effects of cluster thinning and preflowering leaf removal on growth and grape composition in cv. Sangiovese. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(3), 325-332. DOI: 10.5344/ajev.2012.11118.

Gholizadeh, M., Hadadinezhad, Mehdi ., Ebadi, A., and Torkashvand A.M. (2024). Studying the effect of drought stress on enzymatic and non-enzymatic antioxidant system of some grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Iranian Journal of Plant & Biotechnology*, 19(2), 10-21. (In Persian)

Gomez-Del-Campo, M., Baeza, P., Ruiz C., and Lissarrague, J.R.(2005). Effects of water stress on dry matter content and partitioning in for grapevine cultivars (*Vitis Vinifera* L.), *Journal International des Sciences*. 39(1), 1–10. doi.org/10.20870/oeno-one.2005.39.1.905.

Hutton, R.J., Loveys, B.R. (2011). A partial root zone drying irrigation strategy for citrus effects on water use efficiency and fruit characteristics. *Agriculture Water Management*, 98, 1485–1496. doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.010.

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., and Sanchez, D.M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84: 55-60. doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x.

Karami, M.J., Eshghi, S., and Tafazoli, E. (2017). Study on physiological responses and adaptation of some grapevine cultivars against sever heat stress condition in south of Fars province. *Iranian Journal of Horticultural*

Science, 48(1), 161-174. doi.org/10.22059/ijhs.2017.133133.845. (In Persian)

Karimi, M., Yazdani, M.H., and Naderi, A. (2013). The effect of 120-day winds on the safety of Sistan region. *Geography and Environmental Planning Journal*, 50(2), 111-128. doi: 20.1001.1.20085362.1392.24.2.9.6. (In Persian)

Lawlor, D. W. 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany* 89(7): 871-885. doi.org/10.1093/aob/mcf110.

Mahmoudzadeh, H. and Fanaei, H.R. (2019). Promoting the best clones of Yaghoti grape for the construction of new orchards and top working method in Zabol region. *Grape Extension Magazine*. 1: 48-44. (In Persian)

McCarthy, M.G. (2000). Developmental variation in sensitivity of *Vitis Vinifera* L. (Shiraz) berries to soil water deficit. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 136-140. doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00172.x.

Mehri, H., Ghobadi, C., Baninasab, B., and Ehsanzadeh, P. (2015). Mahdijeh Gholami Evaluation of some physiological and morphological responses of four Iranian grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars to drought stress under in vitro conditions. *Journal of Plant Process and Function. Iranin Society Of Plant Physiology*, 3(10), 115-126. doi.org/20.1001.1.23222727.1393.3.10.11.0. (In Persian)

Mirfatah, S.M.M., Rasouli, M., Gholami, M. and Mirzakhani, A. (2024a). Phenotypic diversity of some Iranian grape cultivars and genotypes (*Vitis vinifera* L.) using morpho-phenological, bunch and berry traits. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 7(2), 115-140. doi.org/10.22077/jhpr.2024.7165.1355.

Mirfatah, S.M.M., Rasouli, M., Gholami, M. and Mirzakhani, A. (2024b). Physiochemical and Molecular Response of the Grafted 'Bidaneh Ghermez' Grape Cultivar on Native Rootstocks to Identify Tolerant Combination to Drought Stress in Vineyard Conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 71:124, 1-13. doi.org/10.1134/S1021443724605688

Molavi, H., Mohammadi, M., and Liaghat, A.M. (2012). Effect of full irrigation and alternative furrow irrigation on yield, yield components and water use efficiency of tomato (Super Strain B). *Journal of Water and Soil Science*, 21(3), 115-126. (In Persian)

Munitz, S., Netzer, Y., and Schwartz, A. (2016). Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Australian Journal Grape Wine Research*, 23, 87–94. doi.org/10.1111/ajgw.12241.

Myburgh P.A. (2003). Responses of *Vitis vinifera* L. cv. Sultanina to level of soil water depletion under semiarid conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 24(1):16-24.

Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J.F., and Schepers, J.S. (2005). Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal*, 97,106–112. doi.org/10.2134/agronj2005.0106.

Shahrokhnya, M.A. and Karami, M.J. (2016). Investigation of the effect of different amounts of irrigation water on the yield of Yaghouti grape. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 28(7), 122-108. (In Persian)

Tardieu, F., Parent, B., Caldeira, C.F., and Welcker, C. (2014). Genetic and physiological controls of growth under water deficit. *Plant Physiology*, 164(4), 1628-1635. doi.org/10.1104/pp.113.233353.

Xoconostle-Cazares, B., Ramirez-Ortega, F.A. Flores-Elenes, L., and Ruiz-Medrano, R. (2010). Drought tolerance in crop plants. *American Journal Plant Physiology*, 5(5), 1-16. doi.org/10.3923/ajpp.2010.241.256.

Extended Abstract

Introduction

The issue of water scarcity in Sistan has become a serious threat to grape production in recent years, forcing local grape growers to manage this problem by reducing the volume and frequency of irrigation. Proper irrigation management, which involves determining the optimal timing and the required amount of irrigation for grapevines, is of particular importance. Therefore, the purpose of this research is to investigate the physiological response of Yaghooti grapes to lack of water in different stages of growth in order to achieve the highest yield and also increase the production and income of gardeners in Sistan region.

Materials and methods

This experiment was conducted in strip-split plot design based on randomized complete block design with three replications at the Zahak Research Station from 2019 to 2023. The experimental treatments included an irrigation regime of control (full irrigation), irrigation after 35% soil moisture deficiency, and irrigation after 70% soil moisture deficiency. These treatments were applied to horizontal plots and while the irrigation stages including from bud burst to flowering, from flowering to fruit color change, from berry color variation to harvest, and from harvest to leaf fall, were assigned to vertical plots. The traits including the relative leaf water content, leaf area, proline, soluble sugars, relative permeability of leaf cell membrane, canopy temperature and chlorophyll index were measured one week before flowering, cluster color change, fruit harvest and leaf color change. For statistical analysis, after ensuring the normality of the data, analysis of variance was performed using SAS software version 4.9 and using the GLM procedure. Composite variance analysis related to the three years was performed when the Bartlett test confirmed the homogeneity of variances.

Results and discussion

Deficit irrigation resulted in a reduction in traits such as relative leaf water content, leaf area, chlorophyll index, and yield, while it increased traits like proline content, soluble sugars, relative membrane permeability, and canopy temperature. The relative water content of leaves decreased gradually at all irrigation levels from the bud burst stage. With the increase in temperature and the expansion of the leaf area in the stages of flowering until the berry color variation and the berry color variation until the fruit harvest, the relative water content of the leaf gradually decreased. The leaf area gradually expanded from the budding stage until the berry color variation and then decreased until the end of the growing season. The chlorophyll index decreased during the growing season due to the application of low water treatments, and in this situation, the relative permeability of the cell membrane increased. With the decrease in the relative content of leaf water during the growing season, the canopy temperature increased, as well as due to the application of low irrigation treatments, the amount of proline and soluble sugars increased in the grape vine. Fruit yield had different response to low irrigation regime. Applying the low irrigation regime in the stages of bud burst to flowering and flowering to the berry color variation had the greatest effect on the decrease of the fruit yield, among which the effect of the stage of flowering to the berry color variation was greater. However, the effect of the low irrigation regime in the stages of berry color variation until fruit harvest and also fruit harvest until leaf fall on the yield was less than the two stages of bud burst to flowering and flowering to the berry color variation. There was a significant correlation between fruit yield and relative leaf water content (0.71), leaf area (0.61), chlorophyll index (0.63), proline (-0.83), soluble sugars (-0.49), relative membrane permeability (-0.83), and canopy temperature (-0.55). A multiple linear regression analysis was conducted for the Yaghooti grape yield, and the traits influencing the predicted yield equation were relative leaf water content, proline, and relative membrane permeability of leaf cells. Fruit yield decreased by 7.1% and 4.1% in the stages

from berry color variation to harvest, and from harvest to leaf fall, respectively, compared to control. Multiple linear regression analysis was performed for the yield of Yaghooti grape. The traits affecting the predicted yield equation were relative leaf water content (RWC), proline (Pr) and relative permeability of leaf cell membrane (RMP) as model 1.

model 1)

$$\text{Yield} = 17087 - 52/4 \text{ RWC} - 496/4 \text{ Pr} - 155/1 \text{ RMP}$$

Conclusion

The results showed that irrigation after 35 and 70% of depletion of available water, decreased the relative water content and consequently the leaf area of the vine, and also increased the relative permeability of the cell membrane and decreased the amount of chlorophyll index. The vine tried to adapt with these changes through the accumulation of compatible osmolytes such as proline as well as soluble sugars, which was successful to some extent in irrigation conditions after draining 35% soil moisture deficiency in the stages of the berry color variation until harvest and leaf fall. For this reason, in the stages of berry color variation to harvest, and from harvest to leaf fall, the fruit yield decreased by 7.1% and 4.1%, respectively, compared to control. In general, the results showed that the fruit yield under irrigation regime of 35% soil moisture deficiency during the stages from berry color variation to harvest, and from harvest to leaf fall was comparable to the yield under full irrigation conditions.