

Response of Yield and Yield Components of Table Grape cv. Yaghooti (*Vitis vinifera* L.) to Deficit Irrigation at Different Growth Stages

M. Fazeli Rostampour^{id 1*}

1- Horticultural Crops Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran

(*- Corresponding author's Email: M.fazeli@areeo.ac.ir)

Received: 11 October 2024

Revised: 26 January 2025

Accepted: 15 February 2025

Available Online: 15 February 2025

How to cite this article:

Fazeli Rostampour, M. (2025). Response of yield and yield components of table grape cv. Yaghooti (*Vitis vinifera* L.) to deficit irrigation at different growth stages. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 441-454. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90206.1382>

Introduction

Yaghooti grape is the oldest grape variety in Iran and is the most important horticultural product in the Sistan region, which is cultivated in more than 90% of the vineyards of this region. 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 as 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. The row spacing was three meters, and the vine spacing within rows was two meters. Irrigation scheduling was determined based on the treatments using a TDR moisture meter. After full maturity (uniform ruby color of the cluster with a Brix above 17), the trait of cluster length was measured using a ruler and the cluster width and berry diameter were measured using a caliper. The traits of cluster number and number of berries per cluster were counted and cluster axis weight (average weight of three cluster axes per plant), fresh berry weight (average weight of 10 berries per cluster), cluster weight (average weight of four clusters per plant) and yield (average yield of three plants per plot) were measured using an OHAUS digital scale with an accuracy of 0.01 g (Gatti *et al.*, 2012). For statistical analysis, after ensuring the normality of the data, analysis of variance was performed using SAS software version 9.4 and using the GLM procedure. Composite variance analysis related to the three years was performed when the Bartlett test confirmed the homogeneity of variances.



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90206.1382>

Results and Discussion

Deficit irrigation resulted in a reduction in cluster rachis weight, cluster length, cluster width, number of berries per cluster, berry diameter, berry weight, cluster weight, number of clusters per vine, and fruit yield, along with an increased rate of yield reduction. Reducing the water availability for grapevines led to a decrease in the traits affecting fruit yield. This reduction varied for each trait depending on the specific stage of deficit irrigation. For all traits, deficit irrigation applied during the flowering to veraison stage was the most sensitive to irrigation reduction. The highest (6500 kg) and lowest (1111 kg) fruit yields were obtained under full irrigation and irrigation after 70% depletion of available water during the flowering to veraison stage, respectively. The highest fruit yield under deficit irrigation was observed during the fruit harvest to leaf fall stage. Across all deficit irrigation regimes, the lowest fruit yield was associated with the flowering to veraison stage. Irrigation after 35% depletion of available water during the stages of bud break to flowering, flowering to veraison, veraison to fruit harvest, and fruit harvest to leaf fall resulted in yield reductions of 32.8%, 43.2%, 8.8%, and 5.6%, respectively, compared to full irrigation at the corresponding stages. Irrigation after 70% depletion of available water during the same stages caused yield reductions of 73.7%, 82.8%, 36%, and 24.5%, respectively, compared to full irrigation (Table 3). Although the effect of year on fruit yield was not significant, there was a reduction of 7.3% and 12% in the second and third years compared to the first year, respectively (Table 4). A multiple linear regression analysis was performed for the fruit yield of Yaghooti grape. The traits influencing the predictive equation for yield (Yield) included cluster length (CL), cluster width (CWi), cluster weight (CWe), and the number of clusters per vine (C/V), as shown in Model 1.

$$\text{Model 1) Yield} = 3481 + 126 \text{ CL} - 68 \text{ CWi} + 14 \text{ CWe} + 185 \text{ C/V}$$

The highest (82.7%) and lowest (4.8%) fruit yield reduction rates were observed under irrigation after 35% depletion of available water during the flowering to veraison stage and irrigation after 70% depletion of available water during the fruit harvest to leaf fall stage, respectively. The highest rate of fruit yield reduction occurred when deficit irrigation was applied during the flowering to veraison stage. Conversely, the lowest rate of fruit yield reduction was observed when deficit irrigation was applied during the fruit harvest to leaf fall stage.

Discussion

The results showed that fruit yield responded differently to deficit irrigation. Deficit irrigation during the bud break to flowering and flowering to veraison stages had the greatest impact on reducing fruit yield, with the effect being more pronounced during the flowering to veraison stage. However, the impact of deficit irrigation during the veraison to fruit harvest and fruit harvest to leaf fall stages on yield was less compared to the bud break to flowering and flowering to veraison stages. The lowest fruit yield and the highest rate of yield reduction were observed under irrigation after 70% depletion of available water during the flowering to veraison stage, amounting to 1111 kg.ha⁻¹ and a yield reduction rate of 82.7%, respectively. The results showed that irrigation after 35% soil moisture deficiency during the stages of bud burst to flowering, from flowering to fruit color change, from berry color variation to harvest and from harvest to leaf fall reduced fruit yield by 27.9, 38, 7.1, and 4.1 percent compared to full irrigation in the corresponding stages, respectively. In general, by reducing the irrigation rate in the stages from berry color variation to harvest by 35% soil moisture deficiency, water consumption can be saved and yield is not significantly reduced.

Keywords: Cluster length, Cluster/vine, Cluster weight, Cluster width

پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد انگور رقم 'یاقوتی' (*Vitis vinifera* L.) در مراحل رشد به کم آبیاری

منصور فاضلی رستم پور^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

چکیده

تنش کم آبی یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد کمی و کیفی انگور در منطقه سیستان است که سالانه منجر به از بین رفتن حداقل بیش از نیمی از محصول می‌شود. با هدف افزایش بهره‌وری منابع آب در تاکستان‌های سیستان، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده نواری در ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان زهک طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری شاهد (آبیاری کامل)، آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده تاک به کرت‌های افقی و مرحله آبیاری شامل مرحله شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ به کرت‌های عمودی اختصاص یافت. کم آبیاری باعث کاهش صفات وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد جبهه در خوشه، قطر جبهه، وزن جبهه، وزن خوشه، تعداد خوشه در تاک، عملکرد میوه و افزایش نرخ کاهش عملکرد میوه گردید. آنالیز رگرسیون چندگانه خطی نشان داد که صفات اثرگذار بر عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی' شامل طول خوشه، عرض خوشه، وزن خوشه و تعداد خوشه در تاک بود. کم‌ترین عملکرد میوه و همچنین افزایش نرخ کاهش عملکرد در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه مشاهده شد که به ترتیب به میزان ۱۱۱۱ کیلوگرم در هکتار و ۸۲/۷ بود. نتایج نشان داد که آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ جبهه 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. به طور کلی، با کاهش میزان آبیاری در مراحل تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه به میزان ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک، می‌توان باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و عدم کاهش معنی‌دار عملکرد گردید.

واژه‌های کلیدی: تعداد خوشه در تاک، طول خوشه، عرض خوشه، وزن خوشه

مقدمه

انگور رقم 'یاقوتی' یکی از مهم‌ترین ارقام انگور کشور است که بیش از ۹۰ درصد تاکستان‌های منطقه سیستان را به خود اختصاص داده است و به دلیل زودرسی و نوبرانه بودن آن، ارزش اقتصادی بالایی برای باغداران این منطقه دارد (Fazeli Rostampour & Mahmoudzadeh, 2023). این رقم علاوه بر توسعه کاشت در مناطق سردسیر و معتدل، در مناطق گرم و نیمه‌گرم نیز کاشته می‌شود و تنش کم آبی، شدت تشعشع بالا، تنش گرمایی و طوفان‌های شن منطقه سیستان را تحمل نموده و به دلیل نوبرانه بودن، محصول

اقتصادی مناسبی نصیب باغداران این منطقه می‌نماید (Shahrokhnya & Karami, 2016; Fazeli Rostampour, 2020).

آب عنصری حیاتی است که کمبود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گسترش کشت در اراضی مستعد را با محدودیت مواجه ساخته و محدودیت منابع آبی کشور ضرورت صرفه‌جویی در مصرف آن را روشن می‌سازد (Zokaee Khosroshahi & Parvizi, 2024). تنش کمبود آب نه تنها در ایران، حتی در کشورهای نسبتاً سردتر و مرطوب‌تر اروپایی مانند فرانسه، آلمان، ایتالیا، پرتغال و اسپانیا به یک مشکل تبدیل شده است (Santos et al., 2020). افزایش درجه حرارت در دهه‌های گذشته، همراه با رویدادهای آب‌وهوایی شدیدتر باعث افزایش تبخیر و تعرق گیاه و خاک شده و به طور فزاینده منجر به منفی شدن بیلان آب خاک شده است (Fraga et al., 2020).

۱- بخش باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، زاهدان، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: M.fazeli@areeo.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90206.1382>

آب ضروری‌ترین نهاده کشاورزی و دلیل تمام مشکلات اساسی و پایه‌ای منطقه سیستان است. دشت سیستان به مساحت ۲۰۳ هزار هکتار اراضی قابل کشت در بخش سفالی حوضه آبریز هیرمند 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. در سال‌های گذشته، کشور افغانستان با احداث سدهای مخزنی و انحراف مسیر آب، آورده این رودخانه به منطقه سیستان را کاهش داده و به دنبال آن مساحت دریاچه هامون، حجم آب در چاه نیمه‌ها به شدت کم شده که این پدیده منجر به بیکاری، مهاجرت، مشکلات زیست‌محیطی و کاهش سطح زیر کشت تک محصول باغی منطقه سیستان یعنی انگور و همچنین کاهش عملکرد در واحد سطح شده است. به همین دلیل، طرح ۴۶ هزار هکتاری پروژه انتقال آب سیستان اجرا گردید تا با تأمین آب مطمئن برای کشاورزان و باغداران این منطقه باعث اشتغال پایدار و افزایش درآمد گردد. اما ناپایداری آب در دسترس کشاورزان و باغداران این منطقه هنوز به قوت خود باقی است. در چنین شرایطی، وجود اطلاعات کامل از واکنش رقم 'یاقوتی' به شرایط اقلیمی و مدیریت بهینه آب ضروری به نظر می‌رسد، چرا که تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد کمی و کیفی انگور در منطقه سیستان است که سالانه منجر به از بین رفتن حداقل بیش از نیمی از محصول می‌شود. کاربرد مدیریت صحیح و به‌کارگیری فنون کم‌آبایی، از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب می‌باشد (Sun et al., 2023). کم‌آبایی به‌طور آگاهانه و با هدف آبیاری کمتر از نیاز تاک اعمال می‌گردد (Alatzas et al., 2023)، به‌طوری‌که میزان کاهش محصول نسبت به شاهد معنی‌دار نباشد (Tong et al., 2021). بنابراین آبیاری تاکستان انگور بر این اساس و با در نظر گرفتن مراحل فنولوژیکی، از جمله راهکارهای مهم مدیریتی تاکستان‌های انگور است (Zokaee Khosroshahi & Parvizi, 2024). بررسی‌ها نشان می‌دهد که آبیاری نامتناسب در مراحل مختلف رشد انگور، علاوه‌بر اینکه باعث عدم استفاده اثربخش از منابع آب می‌گردد، کاهش کمیت و کیفیت محصول انگور را نیز به دنبال دارد. کمبود آب همراه با درجه حرارت بالا در طول دوره رسیدن خوشه انگور رقم 'یاقوتی'، یک عامل محدودکننده اصلی برای تاکستان است (Chacon-Vozmediano et al., 2020). به‌طور کلی تخمین زده می‌شود که انگور برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک به ۲۸۰ تا ۵۰۰ لیتر آب نیاز دارد و اگر یک تاکستان بین ۱۳۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار ماده تر تولید کند، به عبارتی بین ۳۰۰۰ تا ۹۰۰۰ کیلوگرم در هکتار ماده خشک تولید نموده است. از این مقدار ماده خشک، ۲۰-۱۵

درصد به برگ‌ها، ۲۰-۱۵ درصد به شاخه‌ها، ۱۰-۵ درصد به تنه و ۳۵-۵۰ درصد به خوشه اختصاص می‌یابد (Chacon-Vozmediano et al., 2020).

تنش خشکی باعث کندی رشد، تأخیر در رسیدگی میوه، کاهش کیفیت میوه، به هم خوردن تناسب تعداد برگ و میوه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (Du et al., 2008). در پژوهشی، اثر مقادیر آبیاری در مراحل مختلف فنولوژیکی روی صفات کمی و کیفی انگور رقم 'پیکانی' بررسی گردید. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد میوه در تیمار آبیاری با فواصل منظم ۲۰ روز از زمان قبل از گل‌دهی تا پس از برداشت و کمترین عملکرد میوه در شرایط تنش آبی قبل و بعد از گل‌دهی بود (Zabihi & Azarpajouh, 2004). تنش‌های شدید کمبود آب می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه عملکرد انگور شود (Van Leeuwen et al., 2004).

اثر تنش خشکی بر شش رقم انگور نشان داد که بیشترین عملکرد میوه در تیمار آبیاری کامل و بیشترین وزن خوشه در تیمار تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده گردید (Doulati Baneh & Nourjou, 2012). گزارش شده است که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، وزن حبه، وزن خوشه و عملکرد میوه انگور در دو سال آزمایش کاهش یافت و این کاهش برای عملکرد میوه انگور نسبت به شاهد در سال اول و دوم به‌ترتیب ۴۲ و ۶۱ درصد بود (Chacon-Vozmediano et al., 2020). نتایج تحقیقات دیگری نشان داد که اعمال کم‌آبایی بعد از تشکیل میوه و بعد از تغییر رنگ حبه‌ها در انگور رقم 'تمپرانیلو'^۱ اگرچه باعث کاهش تعداد خوشه شد، اما تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (Santesteban et al., 2011). نتایج یک تحقیق نشان داد که آبیاری هفتگی براساس ۳۵ درصد تبخیر و تعرق انگور باعث کاهش قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه و عملکرد به‌ترتیب به‌میزان ۲۱، ۴۰، ۲۸ و ۳۸ درصد نسبت به شاهد گردید (Shellie, 2006). نتایج پژوهشی روی رقم 'کابرینت ساویگنون'^۲ نشان داد که کم‌آبایی باعث کاهش معنی‌دار وزن حبه و خوشه به‌ترتیب به‌میزان ۱۰ و ۱۹ درصد نسبت به شاهد گردید (Edwards & Clingeffer, 2013). همچنین گزارش شد که کمبود آب قبل از تغییر رنگ خوشه اثرات منفی قوی بر توسعه سطح برگ، رشد حبه و خوشه، وزن حبه و عملکرد میوه انگور دارد (Gambetta et al., 2012). مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، یک دوره حیاتی برای عملکرد انگور است که بیشترین پاسخ منفی را به تنش آبی نشان داده (Chacon-Vozmediano et al., 2020) و بیشترین نرخ کاهش وزن خوشه در همین مرحله رخ می‌دهد (Yang et al., 2022).

1- Tempranillo

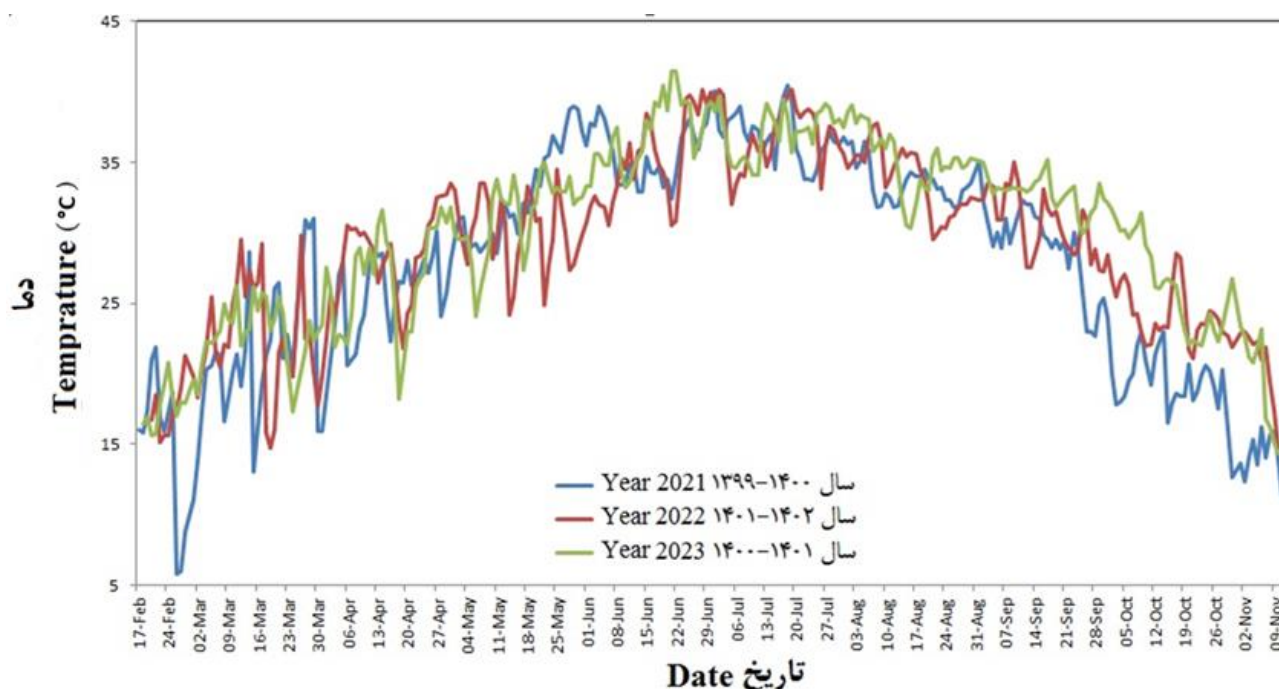
2- Cabernet Sauvignon

از سطح دریا طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ انجام شد. شهرستان زهک دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد که براساس طبقه‌بندی کوپن، جزء آب‌وهوای بیابانی خشک بسیار گرم است (Karimi et al., 2013). آمار ایستگاه سینوپتیک شهرستان زهک بیانگر آن است که گرم‌ترین ماه‌های سال، خردادماه و تیرماه با بیشینه دمای ۴۷/۴ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی ۵۷ میلی‌متر و بیشترین سرعت باد در مردادماه با ۵۹/۸۵ کیلومتر بر ساعت می‌باشد (Danesh Shahraki et al., 2017). حداکثر درجه حرارت روزانه طی مراحل شکفتن جوانه تا ریزش برگ طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین آزمون خاک به شرح جدول ۱ بود. کود پایه در همه تیمارها براساس آزمایش خاک و به‌روش چالکود (حفر دو چاله به قطر ۳۰ و عمق ۴۰ سانتی‌متر در قسمت انتهایی سایه‌انداز درخت و در مسیر عبور آب و کاربرد سه کیلوگرم کود حیوانی پوسیده، ۱۰۰ گرم آمونیوم سولفات، ۲۵۰ گرم پتاسیم سولفات، ۵۰ گرم سوپر فسفات تریپل، ۱۵ گرم مس سولفات، ۱۰۰ گرم منیزیم سولفات به‌ازای هر تاک) داده شد. مهار آفات و علف‌های هرز براساس عرف منطقه انجام گردید.

محدودیت‌های آبی منطقه سیستان و بارش‌های ناچیز در کنار گرمای شدید و تبخیر و تعرق بالا، باعث شده که سطح زیر کشت تاکستان‌ها طی سال‌های گذشته به‌شدت کاهش یابد. مساحت تاکستان‌های بارور منطقه سیستان در حال حاضر حدود ۱۱۰۰ هکتار است که از سال ۱۳۹۷ تاکنون به‌دلیل خشکسالی حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است. ضمن آنکه همان مقدار آب در دسترس نیز با کارآیی بالا استفاده نمی‌شود. بنابراین یکی از مهم‌ترین اهدافی که باید دنبال نمود، افزایش بهره‌وری منابع به‌ویژه آب با استفاده از روش‌ها و فنون مدیریتی است. با این هدف، پژوهشی جهت بررسی رفتار صفات عملکردی انگور رقم 'یاقوتی' در شرایط کم‌آبایی در مراحل مختلف رشد اجرا شد تا ضمن دستیابی به عملکرد بیشتر، استفاده بهینه از آب را به دنبال داشته باشد.

مواد و روش‌ها

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



شکل ۱- حداکثر درجه حرارت روزانه طی مراحل شکفتن جوانه تا ریزش برگ طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲
Figure 1 – Maximum daily temperature during the stages from bud burst to leaf fall over the years 2020 to 2023

افقی و مرحله آبیاری شامل ۱- مرحله شکفتن جوانه تا گل‌دهی ۲- گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه ۳- تغییر رنگ خوشه 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

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده نواری در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری شاهد (آبیاری کامل)، آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده تاک به کرت‌های

میزان آب آبیاری با استفاده از معادله ۱ محاسبه و از طریق کنترل حجمی برای هر یک از تیمارها اعمال گردید (Molavi et al., 2012).

انگور رقم 'یاقوتی' 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 روش نقصان رطوبتی خاک به طریق وزنی تعیین شد (Myburgh, 2003). در این روش،

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک تاکستان محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the soil

عمق Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS.cm ⁻³)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C (%)	نیترژن Total N (%)	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	آهن Fe
0-30	لوم-شنی Sandy-loam	3.17	7.74	0.25	0.07	6.4	120	0.78	3.5
30-60	لوم-رسی-شنی Sandy-clay-loam	3.65	7.87	0.26	0.05	6.2	115	0.56	3.2

مربوط به سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار نگرفت. مقایسه‌های میانگین نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. تجزیه رگرسیون چندگانه خطی براساس مدل زیر (معادله ۳) و با هدف بررسی میزان اثرگذاری صفات وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد حبه در خوشه، قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه و تعداد خوشه در تاک بر عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی' صورت گرفت.

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_kx_k + e \quad (3)$$

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

نتایج

وزن محور خوشه: اثر رژیم کم‌آبیاری، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر وزن محور خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۷/۵۰ گرم) و کم‌ترین (۳/۵۴ گرم) وزن محور خوشه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود که باعث کاهش ۵۲/۸ درصدی وزن محور خوشه گردید. بیش‌ترین وزن محور خوشه در شرایط کم‌آبیاری مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. همچنین کم‌ترین وزن محور خوشه در شرایط کم‌آبیاری مربوط به مرحله شکفتن جوانه تا گل‌دهی بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن محور خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۲۷، ۳۴، ۱۵ و ۹ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی،

$$SMD = (\theta_{FC} - \theta_{v0}) pb \times D / 100 \quad (1)$$

که در آن، 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)، bp : وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D : عمق توسعه ریشه (میلی‌متر) است. راندمان آبیاری برای جویچه‌ها ۵۰ درصد و عمق توسعه ریشه برای انگور یک متر در نظر گرفته شد.

پس از رسیدگی کامل (رنگ یاقوتی یکنواخت خوشه همراه با بریکس بالای ۱۷)، صفت طول خوشه با استفاده از خط‌کش و عرض خوشه و قطر حبه توسط کولیس اندازه‌گیری گردید. صفات تعداد خوشه و تعداد حبه در خوشه شمارش شده و وزن محور خوشه (میانگین وزن سه محور خوشه در هر بوته)، وزن تازه حبه‌ها (میانگین وزن ۱۰ حبه در هر خوشه)، وزن خوشه‌ها (میانگین وزن چهار خوشه از هر بوته) و عملکرد (میانگین عملکرد سه بوته در هر کرت) به وسیله ترازوی دیجیتالی OHAUS با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد (Gatti et al., 2012). نرخ کاهش عملکرد با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$(2)$$

$$100 \times (\text{عملکرد شاهد} / \text{عملکرد تنش} - 1) = \text{نرخ کاهش عملکرد}$$

جهت واکاوی آماری، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و با استفاده از رویه GLM انجام شد. تجزیه واریانس مرکب مربوط به سه سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰، ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ وقتی انجام شد که آزمون بارلت، همگنی واریانس‌ها را تأیید نمود. با توجه 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

گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش وزن محور خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به‌میزان ۴۶، ۵۲، ۲۹ و ۲۶ درصد گردید (جدول ۳).

طول خوشه: اثر رژیم کم‌آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر طول خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۱۸/۶۳ سانتی‌متر) و کم‌ترین (۹/۳۳ سانتی‌متر) طول خوشه به‌ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. بیش‌ترین طول خوشه در سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله شکفتن جوانه تا گل‌دهی بود. همچنین

کم‌ترین طول خوشه در سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش طول خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به‌میزان ۱۹، ۲۳، ۱۱ و ۷ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش طول خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به‌میزان ۴۳، ۵۰، ۲۳ و ۱۷ درصد گردید (جدول ۳). طول خوشه در سال دوم و سوم نسبت به سال اول به‌ترتیب ۴ و ۷/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد حبه در خوشه، قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه، تعداد خوشه در تاک و عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی' تحت تاثیر کم آبیاری در مراحل مختلف رشدی

Table 2- ANOVA for the cluster axes weight, cluster length, cluster width, berry number in cluster, berry diameter, berry weight, cluster weight, cluster number per vine, fruit yield and yield lose rate of grapevine cv. Yaghooti affected by deficit irrigation in different growth stages

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								عملکرد میوه Fruit yield
		وزن محور خوشه Cluster axes weight	طول خوشه Cluster length	عرض خوشه Cluster width	تعداد حبه در خوشه Berry No. per cluster	قطر حبه Berry diameter	وزن حبه Berry weight	وزن خوشه Cluster weight	تعداد خوشه در تاک Cluster No. per vine	
سال Year (Y)	2	0.41 ^{ns}	13.26 ^{**}	80.51 ^{**}	29078 [*]	0.61 ^{ns}	0.005 ^{ns}	18785 [*]	13.78 ^{ns}	3481955 ^{ns}
سال×تکرار Y×R	6	1.49	0.78	2.37	5162	2.62	0.03	3212	20.547	1453066
آبیاری Irrigation (I)	2	72.72 ^{**}	340.59 ^{**}	46.41 ^{**}	143215 ^{**}	23.98 ^{**}	0.24 ^{**}	156968 ^{**}	250.65 ^{**}	112454340 ^{**}
Y×I	4	0.41 ^{ns}	2.11 ^{ns}	0.91 ^{ns}	10887 ^{ns}	0.57 ^{ns}	0.03 ^{ns}	3551 ^{ns}	45.97 [*]	2849726 ^{ns}
Y×I(r)	12	0.65	1.81	1.00	3807	1.50	0.02	1137	12.72	956465
مرحله Stage (S)	3	10.67 ^{**}	57.58 ^{**}	11.58 ^{**}	38677 ^{**}	3.13 ^{**}	0.05 ^{**}	45790 ^{**}	73.74 ^{**}	27619913 ^{**}
Y×S	6	0.75 ^{ns}	1.06 ^{ns}	1.17 ^{ns}	2458 ^{**}	0.05 ^{ns}	0.004 ^{ns}	796 ^{ns}	21.64 [*]	673774 ^{ns}
Y×S(r)	18	0.30	1.43	0.59	860	0.25	0.003	179	8.91	270314
I×S	6	2.46 ^{**}	19.56 ^{**}	2.90 ^{**}	9550 ^{**}	0.81 ^{**}	0.01 ^{**}	15160 ^{**}	26.80 [*]	7875704 ^{**}
Y×I×S	12	0.71 ^{ns}	0.65 ^{ns}	2.04 ^{**}	682 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.002 ^{ns}	650 ^{ns}	11.28 ^{ns}	517360 ^{ns}
Y×I×S(r)	36	0.43	1.37	0.66	574	0.19	0.003	497	8.29	286212
ضریب تغییرات CV (%)	-	10.91	7.49	9.92	9.29	5.34	5.47	9.49	14.55	11.09
آزمون بارتلت Bartlett test		0.84	0.38	0.07	0.09	0.29	0.42	0.25	0.54	0.77

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and **: non-significant, and significant at 0.05 and 0.01 of probability levels; respectively

جدول ۳- برهم کنش رژیم کم آبیاری × مراحل اعمال رژیم آبیاری بر صفات وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد حبه در خوشه، قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه، تعداد خوشه در تاک و عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی'

Table 3- The interaction effect of deficit irrigation regime × application stages on the cluster axes weight, cluster length, cluster width, berry number in cluster, berry diameter, berry weight, cluster weight, cluster per vine, fruit yield and yield lose rate of grapevine cv. Yaghootti

رژیم آبیاری Irrigation regime	مرحله Stage	وزن محور خوشه Cluster axes weight (g)	طول خوشه Cluster length (cm)	عرض خوشه Cluster width (cm)	تعداد حبه در خوشه Berry No. per cluster	قطر حبه Berry diameter (mm)	وزن حبه Berry weight (g)	وزن خوشه Cluster weight (g)	تعداد خوشه در تاک Cluster No. per vine	عملکرد میوه Fruit yield (kg.ha ⁻¹)	نرخ کاهش عملکرد میوه Fruit yield lose rate
I ₁	S ₁	7.44 ^{a*}	18.61 ^a	9.31 ^a	325.23 ^a	8.92 ^a	1.08 ^a	295.91 ^a	22.25 ^a	6500 ^a	-
	S ₂	7.43 ^a	18.57 ^a	9.31 ^a	301.50 ^a	8.89 ^a	1.07 ^a	294.75 ^a	22.16 ^a	6467 ^a	-
	S ₃	7.49 ^a	18.59 ^a	9.40 ^a	307.35 ^a	8.90 ^a	1.06 ^a	295.31 ^a	22.25 ^a	6486 ^a	-
	S ₄	7.50 ^a	18.63 ^a	9.38 ^a	323.23 ^a	8.93 ^a	1.07 ^a	296.07 ^a	22.26 ^a	6492 ^a	-
I ₂	S ₁	5.42 ^c	15.06 ^c	7.84 ^{bc}	233.08 ^b	7.89 ^c	0.93 ^c	221.71 ^c	19.05 ^b	4371 ^d	32.47 ^d
	S ₂	4.93 ^c	14.25 ^c	7.30 ^{cd}	224.83 ^b	7.49 ^{cd}	0.88 ^c	196.88 ^d	18.60 ^{bc}	3670 ^e	43.46 ^c
	S ₃	6.34 ^b	16.58 ^b	8.67 ^{ab}	302.92 ^a	8.38 ^b	0.99 ^b	274.49 ^{ab}	21.62 ^{ab}	5915 ^b	8.86 ^f
	S ₄	6.83 ^{ab}	17.36 ^b	9.03 ^a	316.51 ^a	8.78 ^{ab}	1.04 ^{ab}	285.46 ^a	21.36 ^{ab}	6127 ^{ab}	4.85 ^f
I ₃	S ₁	4.03 ^d	10.58 ^d	6.54 ^d	141.21 ^c	6.99 ^e	0.89 ^c	100.61 ^e	16.15 ^c	1706 ^f	73.45 ^b
	S ₂	3.54 ^d	9.33 ^e	5.23 ^e	128.28 ^c	6.89 ^e	0.85 ^c	90.86 ^e	12.49 ^d	1111 ^g	82.66 ^a
	S ₃	5.35 ^c	14.52 ^c	8.06 ^{bc}	243.42 ^b	7.31 ^{de}	0.93 ^c	210.66 ^{cd}	19.72 ^{ab}	4152 ^{de}	35.35 ^{cd}
	S ₄	5.58 ^c	15.40 ^c	8.00 ^{bc}	246.17 ^b	7.91 ^c	1.01 ^b	255.99 ^b	19.60 ^{ab}	4903 ^c	23.56 ^e

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

* Means composed of same letters in each column are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)

I₁: شاهد یا تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی انگور، I₂: آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب و I₃: آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب

I₁: Control or full irrigation, I₂: Irrigation after 35% depletion of available water, and I₃: Irrigation after 70% depletion of available water

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

S₁: Bud break to flowering, S₂: Flowering to fruit color change, S₃: Fruit color change to harvest, and S₄: Harvest to leaf fall

جدول ۴- اثر سال بر برخی صفات و عملکرد انگور رقم 'یاقوتی'

Table 4- Effect of year on some traits and yield of grapevine cv. Yaghootti

سال Year	صفات Traits					نرخ کاهش عملکرد میوه Fruit yield lose rate
	طول خوشه Cluster length (cm)	عرض خوشه Cluster width (cm)	تعداد حبه در خوشه Berry No. per cluster	وزن خوشه Cluster weight (g)	عملکرد میوه Fruit yield (kg.vine ⁻¹)	
اول First	16.25 ^{a*}	9.81 ^a	280.35 ^a	259.02 ^a	5155.6 ^a	26.68 ^b
دوم Second	15.58 ^b	7.98 ^b	267.20 ^{ab}	232.06 ^{ab}	4780.7 ^a	38.809 ^{ab}
سوم Third	15.04 ^c	6.85 ^c	225.89 ^b	213.59 ^b	4538.3 ^a	48.76 ^a

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

* In each column means with same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)

رنگ خوشه بود. کم‌ترین عرض خوشه در سطوح کم آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش عرض خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۵/۷، ۲۱/۵۹، ۷/۸ و ۳/۷ درصد

عرض خوشه: اثر رژیم کم آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم آبیاری، برهم کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم آبیاری و سال در کم آبیاری در مراحل اعمال رژیم کم آبیاری بر عرض خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۹/۴۰ سانتی‌متر) و کم‌ترین (۵/۲۳ سانتی‌متر) عرض خوشه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر

گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش عرض خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۲۹/۸، ۴۳/۸، ۱۴/۲ و ۱۴/۷ درصد گردید (جدول ۳). عرض خوشه در سال دوم و سوم نسبت به سال اول به ترتیب ۱۸/۶ و ۳۰/۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

تعداد حبه در خوشه: اثر رژیم کم‌آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و همچنین برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر تعداد حبه در خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۱/۰۸ گرم) و کم‌ترین (۰/۸۰ گرم) وزن حبه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. بیش‌ترین وزن حبه در سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. کم‌ترین وزن حبه در تمام سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن حبه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۳/۹، ۱۷/۸، ۶/۶ و ۲/۸ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن حبه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۷/۶، ۱۷/۸، ۱۲/۳ و ۵/۶ درصد گردید (جدول ۳).

وزن خوشه: اثر رژیم کم‌آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری، برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و سال در مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر وزن خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۲۹۶/۰۷ گرم) و کم‌ترین (۹۰/۸۶ گرم) وزن خوشه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. بیش‌ترین وزن خوشه در سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. کم‌ترین وزن خوشه در سطوح کم‌آبیاری، مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۳۳/۲، ۲۵ و ۳/۶ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان

۴/۷ و ۱۹/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

قطر حبه: اثر رژیم کم‌آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر قطر حبه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۸/۹۳ میلی‌متر) و کم‌ترین (۶/۸۹ میلی‌متر) قطر حبه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. کم‌ترین قطر حبه در تمام سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش قطر حبه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۱/۵، ۱۵/۷، ۵/۸ و ۱/۷ درصد گردید.

در مراحل متناظر به میزان ۱۱/۵، ۱۵/۷، ۵/۸ و ۱/۷ درصد گردید.

باعث کاهش میزان عملکرد میوه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۷۳/۷، ۸۲/۸، ۳۶ و ۲۴/۵ درصد گردید (جدول ۳). اگرچه اثر سال بر عملکرد میوه معنی‌دار نبود، اما در سال دوم و سوم نسبت به سال اول به ترتیب ۷/۳ و ۱۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴). آنالیز رگرسیون چندگانه خطی برای عملکرد انگور رقم 'یاقوتی' انجام شد. صفات اثرگذار بر معادله پیش‌بینی‌کننده عملکرد میوه (Yield) عبارت بودند از طول خوشه (CL)، عرض خوشه (CW_i)، وزن خوشه (CW_e) و تعداد خوشه در تاک (C/V) به صورت مدل زیر (معادله ۴) بود.

$$\text{Yield} = 3481 + 126 \text{ CL} - 68 \text{ CW}_i + 14 \text{ CW}_e + 185 \text{ C/V} \quad (4)$$

نرخ کاهش عملکرد میوه: اثر رژیم کم‌آبیاری، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر نرخ کاهش عملکرد میوه معنی‌دار بود (جدول ۵). بیش‌ترین (۸۲/۷) و کم‌ترین (۴/۸) نرخ کاهش عملکرد میوه به ترتیب در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه و همچنین در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. بیش‌ترین نرخ کاهش عملکرد میوه در شرایط اعمال کم‌آبیاری در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه مشاهده شد. همچنین کم‌ترین نرخ کاهش عملکرد میوه در شرایط اعمال کم‌آبیاری در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ به دست آمد (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کم‌آبیاری باعث کاهش صفات وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد حبه در خوشه، قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه، تعداد خوشه در تاک، عملکرد میوه و افزایش نرخ کاهش عملکرد میوه گردید. کاهش آب مورد نیاز تاک انگور باعث کاهش صفات مؤثر بر عملکرد میوه شد. این کاهش برای هر صفت، در هر یک از مراحل اعمال کم‌آبیاری کاملاً متفاوت بود. برای تمامی صفات، اعمال کم‌آبیاری در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه حساس‌ترین مرحله به کاهش میزان آبیاری بود. به عبارت دیگر، بیش‌ترین تأثیر اعمال کم‌آبیاری به ترتیب در مراحل گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، شکستن جوانه تا گل‌دهی، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ بود.

۶۶، ۶۹/۱، ۲۸/۷ و ۱۳/۵ درصد گردید (جدول ۳). وزن خوشه در سال دوم و سوم نسبت به سال اول به ترتیب ۱۰/۴ و ۱۷/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

تعداد خوشه در تاک: اثر رژیم کم‌آبیاری، سال در رژیم کم‌آبیاری، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری، برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و سال در مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر تعداد خوشه در تاک معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۲۲/۲۶) و کم‌ترین (۱۲/۴۹) تعداد خوشه در تاک به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. کم‌ترین تعداد خوشه در تاک در شرایط کم‌آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکستن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش تعداد خوشه در تاک نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۴/۴، ۱۶/۱، ۲/۸ و ۴ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکستن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش تعداد خوشه در تاک نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۱/۹، ۴۳/۶، ۱۱/۴ و ۱۱/۹ درصد گردید (جدول ۳).

عملکرد میوه: اثر رژیم کم‌آبیاری، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر عملکرد میوه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۶۵۰۰ کیلوگرم) و کم‌ترین (۱۱۱۱ کیلوگرم) میزان عملکرد میوه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. بیش‌ترین میزان عملکرد میوه در شرایط کم‌آبیاری مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. همچنین در تمام سطوح رژیم کم‌آبیاری، کم‌ترین میزان عملکرد میوه مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکستن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه 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 ۳۲/۸، ۴۳/۲، ۸/۸ و ۵/۶ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکستن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب

جدول ۵ - تجزیه واریانس نرخ کاهش عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی'،
Table 2- ANOVA for the cluster axes weight, cluster length, cluster width, berry No. per cluster, berry diameter, berry weight, cluster weight, cluster No. per vine, fruit yield, and yield lose rate of grapevine cv. Yaghooti

منابع تغییرات S.O.V	سال Year (Y)	سال × تکرار Y×R	آبیاری Irrigation (I)	Y×I	Y×I(r)	مرحله (S) Stage (S)	Y×S	Y×S(r)	I×S	Y×I×S	Y×I×S(r)	ضریب تغییرات CV (%)	آزمون بارتلت Bartlett test
نرخ کاهش عملکرد میوه Fruit yield lose rate	2935*	350	17686**	129 ^{ns}	310	10025**	407**	124	506**	110 ^{ns}	80	23.54	0.06

^{ns}, * and **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively
و : به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

در این آزمایش از مرحله شکفتن جوانه، به تدریج دما افزایش یافته و حداکثر دما در نیمه اول تیرماه، تقریباً یک ماه پس از رسیدگی میوه انگور رقم 'یاقوتی' مشاهده گردید (شکل ۱). به عبارت دیگر، شرایط دمایی مناسب در مراحل اولیه رشد باعث کاهش اثرات منفی تنش کم آبی گردید. شاید یکی از دلایل تأثیر کمتر کاهش میزان آبیاری بر صفات اندازه گیری شده در مرحله شکفتن جوانه تا گل دهی نسبت به گل دهی تا تغییر رنگ خوشه همین عامل بود. اگرچه نباید از نظر دور داشت که اعمال کم آبیاری در مرحله شکفتن جوانه تا گل دهی از طریق کاهش رشد رویشی و گسترش سطح فتوسنتز کننده باعث کاهش عملکرد میوه انگور گردید. محققان دیگری نیز چنین نتایجی را گزارش کردند (Doulati Baneh & Noorjo, 2012). اعمال کم آبیاری در مرحله گل دهی تا تغییر رنگ خوشه که مقارن با افزایش دما نیز بود (شکل ۱) بر صفات زایشی و اجزای عملکرد انگور بیشترین تأثیر منفی را داشت و به همین دلیل نیز باعث کاهش بیشتر عملکرد شد. گزارش شده است که یکی از مهم ترین و حساس ترین مراحل رشد انگور به کم آبی، مرحله گل دهی تا تغییر رنگ خوشه بوده و بیشترین اثر کم آبیاری بر وزن خوشه و عملکرد میوه نیز مربوط به همین مرحله است (Ramos & Martinez de Toda, 2020). همچنین گزارش شد که قطع آبیاری از زمان گل دهی تا تغییر رنگ حبه ها موجب کاهش شدید عملکرد شده و مرحله رشد حبه حساس ترین مرحله به تنش آبی است (Coombe & McCarthy, 2000). کم آبیاری طی مرحله تغییر رنگ خوشه تا رسیدگی میوه، از طریق کاهش وزن و قطر حبه باعث کاهش عملکرد میوه گردید. نتایج یک تحقیق نشان داد که اگر محدودیت آب قبل از تغییر رنگ خوشه اتفاق بیفتد، عملکرد ۱۰ درصد بیشتر از زمانی که این کاهش بعد از تغییر رنگ خوشه رخ دهد، کاهش می یابد (Buesa et al., 2020). کم آبیاری در مرحله رسیدگی میوه تا ریزش برگ، کمترین اثر را بر عملکرد میوه و سایر صفات مؤثر بر آن داشت. احتمالاً کاهش

طول روز و همچنین دما باعث کاهش جذب و نیاز تاک به آب در راستای آماده شدن آن برای مرحله خواب زمستانه^۱ شده که به همین دلیل نیز کمترین تأثیر را بر عملکرد میوه داشت. محققان دیگری نیز چنین نتایجی را گزارش کردند (Gomez-Del-Campo et al., 2005). تمامی صفات مورد اندازه گیری در سال های دوم و سوم آزمایش کاهش یافت، به طوری که صفات اندازه گیری شده در سال دوم نسبت به سال اول و در سال سوم نسبت به سال دوم کمتر بود. میانگین حداکثر دما در طی مراحل شکفتن جوانه تا ریزش برگ در سال اول، دوم و سوم به ترتیب ۳۳/۱۴، ۳۴/۶۰ و ۳۵/۳۶ بود. بنابراین یکی از دلایل کاهش صفات اندازه گیری شده، افزایش دما طی سال های اول تا سوم آزمایش بود. دلیل دیگر این کاهش را نیز می توان به کاهش بنیه تاک و ضعیف شدن آن، در اثر اعمال تنش کم آبیاری طی سال های دوم و سوم دانست.

در مجموع، نتایج نشان داد که عملکرد میوه واکنش متفاوتی به کم آبیاری داشت. کم آبیاری در مراحل شکفتن جوانه تا گل دهی و گل دهی تا تغییر رنگ خوشه بیشترین تأثیر را بر کاهش عملکرد میوه داشت که در این میان، تأثیر مرحله گل دهی تا تغییر رنگ خوشه بیشتر بود. اما تأثیر رژیم کم آبیاری در مراحل تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و همچنین برداشت میوه تا ریزش برگ بر عملکرد نسبت به دو مرحله شکفتن جوانه تا گل دهی و گل دهی تا تغییر رنگ خوشه کمتر بود. کمترین عملکرد میوه و همچنین افزایش نرخ کاهش عملکرد در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل دهی تا تغییر رنگ خوشه مشاهده شد که به ترتیب به میزان ۱۱۱۱ کیلوگرم در هکتار و ۸۲/۷ بود. به طور کلی نتایج نشان داد که عملکرد میوه در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده تاک در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ مشابه آبیاری کامل بود و برای منطقه سیستان قابل توصیه است.

References

1. Alatzas, A., Theocharis, S., Miliordos, D.E., Kotseridis, Y., Koundouras, S., & Hatzopoulos, P. (2023). Leaf removal and deficit irrigation have diverse outcomes on composition and gene expression during berry development of *Vitis vinifera* L. cultivar Xinomavro. *Oeno One*, 57(1), 289-305. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.1.7191>
2. Buesa I., Ballester, C., Jose Manuel, M.A., & Intrigliolo, S. (2020). Effects of leaning grapevine canopy to the West on water use efficiency and yield under Mediterranean conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, 1-38. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108166>
3. Chacon-Vozmediano, J.L., Martinez-Gascuena, J., Francisco, J., Garcia-Navarro, J., & Jimenez-Ballesta, R. (2020). Effects of water stress on vegetative growth and 'Merlot' grapevine yield in a semi-arid mediterranean climate. *Horticulturae*, 6(95), 1-16. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040095>

4. Coombe, B.G., & McCarthy, E.M.G. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 131-135. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x>
5. Danesh Shahraki, M., Shahriari, A., Gangali, M., & 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. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/JWFST.2017.11530.2595>
6. Doulati Baneh, H., & Nourjou, A. (2012). Effect of deficit irrigation on quantitative and quality traits of fruit and water productivity of three grapevine cultivars. *Seed and Plant Production*, 2-27(4), 435-450. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110447>
7. Du, T.S., Kang, S.Z., Zhang, J.H., Li, F.S., & Yan, B.U. (2008). Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zo ne drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 95, 659-668. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.017>
8. Edwards, E.J., & Clingeleffer, P.R. (2013). Interseasonal 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. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12027>
9. 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. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i1.83688>
10. Fazeli Rostampour, M., & Mahmoudzadeh, H. (2023). Estimation of balance pruning and green pruning on quantitative tratis in table grape (*Vitis vinifera* L. cv. Yaghooti) in Sistan region. *Journal of Horticultural Science*, 37(1), 181-191. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.74552.1122>
11. Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L., & Santos, J.A. (2020). What is the impact of heat waves on European viticulture? A modelling assessment. *Applied Sciences*, 10(9), 3030. <https://doi.org/10.3390/app10093030>
12. Gambetta, G.A., Manuck, C.M., Drucker, S.T., Shaghasi, T., Fort, K., Matthews, M.A., & McElrone, A.J. (2012). The relationship between root hydraulics and scion vigour across *Vitis* rootstocks: What role do root aquaporins play?. *Journal of Experimental Botany*, 63(18), 6445-6455. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers312>
13. Gatti, M., Bernizzoni, F., Civardi, S., & 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. <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.11118>
14. Gomez-Del-Campo, M., Baeza, P., Ruiz C., & 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. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2005.39.1.905>
15. Karimi, M., Yazdani, M.H., & Naderi, A. (2013). The effect of 120-day winds on the safety of Sistan region. *Geography and Environmental Planning Journal*, 50(2), 111-128. (in Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1392.24.2.9.6>
16. Molavi, H., Mohammadi, M., & 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 with English abstract).
17. Myburgh, P.A. (2003). Responses of *Vilis vinifera* L. cv. Sultanina to level of soil water depletion under semi-arid conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 24, 16-24. <https://doi.org/10.21548/24-1-2146>
18. Ramos, M.C., & Martinez de Toda, F. (2020). Projecting changes in phenology and grape composition of “Tempranillo” and “Grenache” varieties under climate warming in Rioja DOCa. *Vitis Geilweilerhof*, 59, 181–190. <https://doi.org/10.5073/vitis.2020.59.181-190>
19. Santesteban, L.G., Miranda, C., & Royo, J.B. (2011). Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. ‘Tempranillo’. *Agricultural Water Management*, 98(7), 1171-1179. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.02.011>
20. Santos, J.A., Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L.T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., & Schultz, H.R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Science*, 10, 1-28. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
21. Shahrokhnya, M.A., & 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 with English abstract).
22. Shellie, K.C. (2006). Vine and berry response of Merlot (*Vitis vinifera* L.) to differential water stress. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(4), 514-518. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.4.514>

23. Sun, R., Ma, J., Sun, X., Zheng, L., & Guo, J. (2023). Responses of the leaf water physiology and yield of grapevine via different irrigation strategies in extremely arid areas. *Sustainability*, 15, 1-15. <https://doi.org/10.3390/su15042887>
24. Tong, X., Wu, P., Liu, X., Zhang, L., Zhou, W., & Wang, Z. (2021). A global meta-analysis of fruit tree yield and water use efficiency under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 260, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107321>
25. Van Leeuwen, C., Friant, P., Jaeck, M.E., Kuhn, S., & Lavialle, O. (2004). *Hierarchy of the role of climate, soil and cultivar in terroir effect can largely be explained by vine water status*. Joint International Conference on Viticultural Zoning, Gradignan, France, 433-439.
26. Yang C., Menz, C., Fraga, H., Costafreda-Aumedes, S., Leolini, L., Ramos, M.C., Molitor, D., Leeuwen, & C., Santos, J.A. (2022). Assessing the grapevine crop water stress indicator over the flowering-veraison phase and the potential yield lose rate in important European wine regions. *Agricultural Water Management*, 261, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107349>
27. Zabihi, H.R., & Azarpajouh, E. (2004). Grape response to different soil moisture regimes. *Journal of Soil and Water Science*, 18(10), 34-39. (in Persian with English abstract).
28. Zokaee Khosroshahi, M., & Parvizi, K. (2024). Effect of deficit irrigation on yield, fruit quality and water use efficiency of grapes cv. Turkmen-4. *Journal of Water and Soil*, 38(1-93), 37-49. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86374.1369>