Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops
https://jabssh.znu.ac.ir

Research Article
Vol. 1, No. 1, Autumn and Winter 2026, p. 139-152

Evaluation of autumn irrigation cessation and foliar nutrient application on late spring frost resistance in Qvami apricot *(Prunus armeniaca* L.*)*

Azadeh Musaeinejad [1&2], Hassan Khoshghalb [3], Mahdi Rezaei [4*]

1 - Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
2 - Department of Agriculture, Shahrood Women's Technical and Vocational Training Center, Shahrood, Iran.
3 - Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
4 - Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
(*- Corresponding author's Email: mhrezaei@shahroodut.ac.ir)

Received: 28 June 2026
Received in revised form: 09 August 2026
Accepted: 26 August 2026

How to cite this article:
Musaeinejad, A., Khoshghalb, H. & Rezaei, M. (2026). Evaluation of autumn irrigation cessation and foliar nutrient application on late spring frost resistance in Qvami apricot *(Prunus armeniaca* L.*). Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops*, *1*(1), 139-152. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742866

Introduction

Apricot (Prunus armeniaca L.) is one of the most important stone fruit trees in temperate regions, with Iran ranking second globally in production. Semnan province, particularly Shahrood city, is the main production hub in the country. However, late spring frost is the most critical limiting factor in apricot production, as apricot trees bloom earlier than other stone fruits, making flowers and young fruitlets highly susceptible to frost damage. The critical lethal temperature for fully open apricot flowers is -2°C for three hours. In recent years, climate change has intensified frost damage, with losses exceeding 90% in some years in the Shahrood region.

Materials and Methods

This research was conducted over two growing seasons (2021-2023) in a Qavami apricot orchard in Dehomla village, Shahrood. The experiment was arranged as a split-plot based on RCBD with four replications. The main factor included two irrigation levels: normal irrigation and autumn irrigation cessation (from early September). The sub-factor comprised eight foliar spray treatments: potassium, zinc+boron, amino acid, humic acid, ethephon (200 mg/L), amino acid+zinc+boron combination, complete element combination+ethephon, and control. Measured traits included flower number, initial and secondary fruit set percentage, frost damage percentage, fruit weight, stone weight, flesh-to-stone ratio, and fruit dimensions. Data were analyzed using combined ANOVA in SAS 9.1.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that the effects of year, irrigation cessation, nutrition, and their interactions were significant ($P<0.01$) for all reproductive traits. The highest flower number (214 per branch) was observed in the potassium treatment under normal irrigation, while the lowest (90) was in the humic acid treatment under irrigation cessation. Autumn irrigation cessation significantly reduced flower number but decreased frost damage percentage. The highest initial fruit set (49.1%) was recorded in the complete element combination under normal irrigation. The lowest frost damage (36.5%) was observed in the complete element combination under irrigation cessation, while the highest (57.3%) was in the control under normal irrigation. For fruit quantitative traits, the highest fruit weight (32.7 g) was obtained in the complete element combination, not significantly different from potassium (32.1 g). The lowest fruit weight (21.7 g) was in the control under irrigation cessation. Ethephon delayed flowering by approximately one week. The superior performance of potassium and complete element combination in reducing frost damage and increasing fruit weight can be attributed to multiple mechanisms: potassium increases soluble sugars and ABA, zinc and boron enhance membrane stability, and amino acids and humic acid reduce oxidative stress.

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742866

Conclusions

Integrated management of autumn irrigation cessation combined with foliar application of complete nutrient elements (especially potassium) is an effective strategy for reducing late spring frost damage in Qavami apricot. Autumn irrigation cessation decreased frost damage and increased post-frost fruit survival. The complete element combination and potassium alone showed the best performance in reducing frost damage (less than 38%) and increasing fruit weight (over 32 g). Ethephon delayed flowering by approximately one week. The synergistic effect of irrigation cessation and foliar nutrition improved frost resistance through complementary mechanisms. Given the severe frost damage in the Shahrood region, the combination of autumn irrigation cessation with potassium and micronutrient application is recommended for Qavami apricot growers.

Keywords: Apricot, Spring frost, Irrigation cessation, Potassium, Ethephon, Foliar nutrition.

نشریه تنش‌های غیر زیستی در محصولات باغبانی
https://jabssh.znu.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۵، ص. ۱۳۹ – ۱۵۲

ارزیابی تأثیر قطع آبیاری پاییزه و محلول‌پاشی اتفن و عناصر غذایی بر مقاومت به سرمازدگی دیررس بهاره در درختان زردآلوی قوامی (*Prunus armeniaca L. cv. Ghavami*)

آزاده موسایی‌نژاد، حسن خوش‌قلب، مهدی رضایی*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۴

چکیده

سرمازدگی دیررس بهاره یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی تولید زردآلو در ایران است که سالانه خسارت‌های سنگینی به باغداران وارد می‌سازد. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر قطع آبیاری پاییزه و محلول‌پاشی عناصر غذایی بر مقاومت به سرمازدگی بهاره در زردآلوی رقم قوامی، طی دو سال زراعی در قالب آزمایش اسپلیت‌پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. فاکتور اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری معمولی و قطع آبیاری از پانزده شهریور) و فاکتور فرعی شامل هشت تیمار محلول‌پاشی (پتاسیم، روی + بور، اسیدآمینه، هیومیک‌اسید، اتفن ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ترکیب اسیدآمینه + روی + بور، ترکیب کامل عناصر + اتفن و شاهد) بود. صفات زایشی (تعداد گل، درصد تشکیل میوه اولیه و ثانویه و درصد سرمازدگی) و صفات کمی میوه (وزن میوه، وزن هسته، نسبت گوشت به هسته، طول و عرض میوه) اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، قطع آبیاری، تغذیه و اثرات متقابل آن‌ها بر تمامی صفات زایشی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. قطع آبیاری پاییزه با وجود کاهش تعداد گل، درصد سرمازدگی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. محلول‌پاشی ترکیب کامل عناصر غذایی و پتاسیم به‌تنهایی، بیشترین تأثیر را در کاهش سرمازدگی (کمتر از ۳۸٪) و افزایش وزن میوه (بیش از ۳۲ گرم) نشان دادند. اتفن با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر گل‌دهی را حدود یک هفته به تأخیر انداخت. همچنین اثر هم‌افزایی قطع آبیاری و تغذیه برگی موجب بهبود مقاومت به سرما شد. بر اساس نتایج، مدیریت تلفیقی قطع آبیاری پاییزه با محلول‌پاشی ترکیب کامل عناصر غذایی (به‌ویژه پتاسیم) راهکاری مؤثر و اقتصادی در کاهش خسارت سرمازدگی بهاره و بهبود عملکرد کمی میوه در زردآلوی رقم قوامی منطقه شاهرود محسوب می‌شود.

کلمات کلیدی: زردآلو، تغذیه برگی، سرمازدگی بهاره، قطع آبیاری، پتاسیم، اتفن.

مقدمه

زردآلو (*Prunus armeniaca* L.) از تیره Rosaceae، زیرتیره Prunoideae و جنس Prunus است که با آلو در زیرجنس Prunphora طبقه‌بندی می‌شود. این گونه دارای عدد کروموزومی 2n = 16 است و به‌صورت درختی خزان‌کننده، بدون خار، با ارتفاع هشت تا دوازده متر و قطر تنه تا ۴۰ سانتی‌متر رشد می‌کند. برگ‌ها ساده، متناوب، با دمبرگ به طول ۲۰ تا ۴۵ میلی‌متر هستند. پهنک برگ به‌طور گسترده تخم‌مرغی تا تقریباً گرد، به طول سه تا ده سانتی‌متر و عرض سه تا هشت سانتی‌متر، با قاعده گرد تا نیمه‌قلبی، حاشیه دندانه‌دار مضاعف و نوک کوتاه است. سطح زیرین برگ در محور رگبرگ‌ها دارای تارهای ابریشمی است و سطح رویی معمولاً بدون کرک است. گل‌ها منفرد، بدون دمگل یا با دمگل کوتاه تا سه میلی‌متر، پیش از ظهور برگ‌ها در اوایل بهار شکوفا می‌شوند. گل‌ها به‌صورت دوجنسی، با پنج کاسبرگ واژگون، پنج گلبرگ سفید تا صورتی، تعداد زیادی پرچم و یک مادگی با تخمدان کرک‌دار هستند. میوه شفت با رنگ زرد تا نارنجی، گاه با ته‌رنگ قرمز، به طول ۲۵ تا ۶۰ میلی‌متر، با سطح مخملی و گوشت آبدار و هسته‌ای صاف، به‌شدت فشرده و بیضوی تا کروی است (Rezaei *et al*., 2020). بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، تولید جهانی زردآلو سالانه بیش از ۱/۴ میلیون تن است و ایران با تولید بالغ بر ۴۳۰ هزار تن در سال، یکی از کشورهای پیشرو در این حوزه محسوب می‌شود (FAO, 2023). استان سمنان و به‌ویژه شهرستان شاهرود به‌عنوان قطب اصلی تولید زردآلو در کشور، سهم عمده‌ای از درآمد و اشتغال منطقه را تأمین می‌کنند (Khabargozari-e-Mehr, 2022). با این حال، تولید پایدار زردآلو با چالش‌های اقلیمی متعددی مواجه است که در این میان، سرمازدگی دیررس بهاره به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده غیرزیستی در مقیاس جهانی شناخته می‌شود. ویژگی فنولوژیک زردآلو که به‌عنوان یکی از زودگل‌ترین درختان میوه هسته‌دار، جوانه‌های گل خود را زودتر از سایر گونه‌ها در بهار شکوفا می‌کند، این محصول را به‌شدت در معرض آسیب ناشی از سرمای بهاره قرار داده است. مطالعات متعدد نشان داده است که مادگی گل زردآلو حساس‌ترین اندام در برابر سرما است و دمای ۲- درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت می‌تواند منجر به سقط کامل جوانه گل در مرحله بالونی شود (Proebsting and Mills, 1978; Szalay *et al*., 2021). طی سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و افزایش نوسانات دمایی، شدت و فراوانی این خسارات را تشدید کرده است؛ به‌طوری که در طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ در منطقه شاهرود، بیش از ۹۰ درصد محصولات زردآلو از بین رفته است (Abedini Esfahlani *et al*., 2021).

از منظر فیزیولوژیکی، آسیب سرمازدگی زمانی رخ می‌دهد که دما به زیر نقطه انجماد آب سلولی کاهش یابد و بلورهای یخ ابتدا در فضاهای خارج سلولی تشکیل شوند. با ادامه کاهش دما، آب از پروتوپلاست خارج می‌شود و کریستال‌های یخ درون‌سلولی شکل می‌شوند که برای سلول کشنده هستند (Arora, 2018). اثر عمده تنش سرما بر گیاهان، خسارت به غشاهای سلولی است. غشاهای پلاسمایی از لیپیدها و پروتئین‌ها ساخته شده‌اند و نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع در لیپیدهای غشا، میزان سیالیت غشا را تعیین می‌کند. گیاهان مقاوم به سرما نسبت بالاتری از اسیدهای چرب غیراشباع دارند و از این رو، انتقال دما در آن‌ها کمتر است (Jantizadeh *et al*., 2013; Yordanov *et al*., 2013). در این میان، اسید آبسیزیک (ABA) به‌عنوان هورمون کلیدی در پاسخ به تنش سرما، نقش محوری دارد. تحقیقات جدید نشان داده است که افزایش غلظت ABA در بافت‌های گیاهی، از طریق القای تجمع اسمولیت‌هایی مانند قندهای محلول، پرولین و پلی‌آمین‌ها و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مقاومت به سرما را بهبود می‌بخشد (Bartoli *et al*., 2018)؛ به‌ویژه نتایج پژوهش‌های اخیر روی گیاهان چوبی نشان داده است که تنش خشکی ملایم از طریق افزایش غلظت ABA درون‌سلولی می‌تواند تحمل به یخ‌زدگی را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (Melgar *et al*., 2016). همچنین مطالعات ژنومی جدید، ژن‌های کلیدی مانند HSFA1d را در پاسخ به سرمای طولانی‌مدت در زردآلو شناسایی کرده‌اند که نشان‌دهنده وجود مکانیسم‌های ژنتیکی قابل توجه برای سازگاری با سرما در این گونه است (Wang *et al*., 2024). میان راهکارهای غیرفعال مقابله با سرمازدگی که اقتصادی‌تر و عملی‌تر از روش‌های فعال هستند (Izadinia, 2019)، مدیریت آبیاری پاییزه و تغذیه برگی از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. قطع آبیاری کنترل‌شده در پاییز، با القای تنش خشکی ملایم، از طریق افزایش غلظت ABA و به دنبال آن، تجمع قندهای محلول و سایر مواد محافظ، نقطه انجماد شیره سلولی را کاهش می‌دهد و دوره رکود جوانه‌ها را طولانی‌تر می‌کند (During and Broguedis, 2003). پی‌ری‌پیرایوانلو و همکاران (Piripiraivanlou *et al*., 2008) نشان دادند که قطع آبیاری پاییزه در زردآلو با افزایش ABA و

کاهش نشت یون از جوانه‌های گل، مقاومت به سرما را افزایش می‌دهد. پتاسیم در تمامی فرایندهایی که برای حفظ رشد و تولیدمثل گیاه انجام می‌شود، نقش اساسی دارد و کمبود آن موجب کاهش مقاومت گیاه به خشکی، غرقابی و دماهای بالا و پایین می‌شود (Moradi *et al*., 2016). تحقیقات جدید نشان داده است که محلول‌پاشی پتاسیم نه‌تنها از طریق افزایش قندهای محلول و پلی‌آمین‌ها، بلکه از طریق افزایش غلظت ABA درون‌سلولی، مقاومت به یخ‌زدگی را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشد (Karimi and Ershadi, 2017). این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم (۳٪)، دمای کشنده ۵۰ درصد بافت (LT_{50}) را از ۲۰- درجه سانتی‌گراد به حدود ۲۶- درجه سانتی‌گراد کاهش داد و این بهبود با افزایش غلظت ABA و قندهای محلول همراه بود (Karimi and Ershadi, 2017). به‌تازگی پژوهشی روی زردآلوی رقم Canino نشان داد که محلول‌پاشی منابع مختلف پتاسیم (نیترات پتاسیم، سیترات پتاسیم، سولفات پتاسیم) می‌تواند وزن میوه را از ۲۸/۴۵ گرم در شاهد به بیش از ۴۳ گرم در تیمار نیترات پتاسیم افزایش دهد و همچنین ضخامت کوتیکول و دیواره سلولی را بهبود بخشد که خود عاملی در افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی محسوب می‌شود (Okba *et al*., 2021). عناصر ریزمغذی روی و بور نیز با فعال‌سازی آنزیم‌های دفاعی، تثبیت غشای سلولی و بهبود فرایند گرده‌افشانی در شرایط تنش، نقش تکمیلی مؤثری ایفا می‌کنند (Davarpanah *et al*., 2016). اسیدهای آمینه نیز به‌عنوان محرک‌های زیستی، با تأثیر بر افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی، افزایش غلظت کلروفیل و در نتیجه، تأثیر در فتوسنتز، بر رشد و عملکرد گیاهان بسیار مؤثر هستند (Rademacher, 2015). اتفن به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد آزادکننده اتیلن می‌تواند با افزایش نیاز سرمایی جوانه‌های گل، گل‌دهی را به تأخیر بیندازد و از برخورد مراحل حساس فنولوژیک با سرمای بهاره جلوگیری کند. دهنوی و همکاران (Dehnavi *et al*., 2016) در مطالعه‌ای روی اثرات اتفن و روغن سویا بر زمان گل‌دهی دو رقم زردآلوی ایرانی گزارش نمودند که اثر متقابل روغن سویا ۱۵ درصد و اتفن ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، آغاز و پایان گل‌دهی را هفت روز نسبت به شاهد در هر دو رقم به تأخیر می‌اندازد. مدیریت کم‌آبیاری تنظیم‌شونده (RDI) در درختان میوه بر پایه کاهش آبیاری در دوره‌های مشخصی از مراحل نمو میوه استوار است که به دنبال آن، کاهش مصرف آب و افزایش مقاومت به سرما را در پی خواهد داشت. در ارقام زودرس زردآلو، انجام آبیاری کامل از زمان تشکیل میوه تا زمان برداشت ضروری است؛ اما در دوره بعد از برداشت، با مدیریت صحیح و آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز درختان می‌توان در مصرف آب و مقاومت به سرمای زودرس بهاره صرفه‌جویی نمود (Tatari, 2023).

با وجود پژوهش‌های متعدد در خصوص هریک از این عوامل به‌طور مجزا، اطلاعات جامعی درمورد اثر تلفیقی مدیریت قطع آبیاری پاییزه و محلول‌پاشی هم‌زمان چند عنصر غذایی بر مقاومت به سرمازدگی و عملکرد رقم قوامی در شرایط خاص اقلیمی شاهرود در دسترس نیست؛ لذا هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی کمّی تأثیر تلفیقی قطع آبیاری پاییزه و محلول‌پاشی ترکیبات مختلف عناصر غذایی (پتاسیم، روی، بور، اسیدآمینه، هیومیک‌اسید و اتفن) بر کاهش خسارت سرمازدگی دیررس بهاره در درختان زردآلوی رقم قوامی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در باغی از زردآلوی رقم قوامی (*Prunus armeniaca* L. cv Ghavami) در روستای دهملا، در فاصله ۲۵ کیلومتری شهر شاهرود، استان سمنان، انجام شد. منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی، در ارتفاع ۱۳۶۶ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه منطقه بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر بوده و دارای زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های معتدل است. درختان مورد مطالعه، ۸ ساله با دوره آبیاری ۱۵ روزه بودند. داده‌های هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک شاهرود دریافت شد که بر اساس آن، سرمازدگی بهاره در سال اول آزمایش در تاریخ ۲۷ اسفند ۱۴۰۰ با دمای ۰/۸- درجه سانتی‌گراد هم‌زمان با تشکیل میوه اولیه (حساس‌ترین مرحله فنولوژیکی زردآلو با سرما) و در سال دوم در تاریخ ۴ فروردین ۱۴۰۲ با دمای ۴- درجه سانتی‌گراد هم‌زمان با مرحله شکوفه کامل تا اوایل تشکیل میوه رخ داد.

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در چهار تکرار و مجموعاً ۶۴ کرت آزمایشی اجرا شد. هر کرت آزمایشی شامل یک درخت بود و از هر درخت، چهار شاخه یک ساله با طول تقریبی ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر از چهار جهت جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق و غرب) به‌عنوان نمونه انتخاب گردید و میانگین داده‌های چهار شاخه به‌عنوان مقدار مربوط به هر کرت ثبت شد. فاکتور اصلی شامل دو سطح آبیاری بود: آبیاری معمولی (انجام ۷ نوبت

آبیاری در پاییز تا زمان ریزش برگ) و قطع آبیاری پاییزه (اعمال تنش خشکی با قطع آبیاری از ۱۵ شهریور ماه). فاکتور فرعی نیز شامل هشت تیمار محلول‌پاشی بود که در تاریخ ۱۵ شهریور ماه هر دو سال اعمال گردید. این تیمارها عبارت بودند از: پتاسیم (سولفات پتاسیم ۵۲ درصد یا غلظت ۱۰ گرم در لیتر)، روی و بور (سولفات روی و بوریک‌اسید با غلظت ۱۵ گرم در لیتر)، کود اسیدآمینه (برند Acoua pharma با خلوص ۹۹ درصد با غلظت ۱۰ گرم در لیتر)، هیومیک‌اسید (هیومیک‌اسید ۱۴ درصد با غلظت ۲۰ گرم در لیتر)، اتفن (با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر که در آبان ماه و هم‌زمان با ۸۰ درصد ریزش برگ محلول‌پاشی شد)، ترکیب اسیدآمینه و روی و بور (با غلظت ۱۰ گرم در لیتر)، ترکیب کامل کلیه عناصر غذایی به همراه اتفن (با غلظت ۱۵ گرم در لیتر) و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی). کلیه درختان مورد پژوهش با نوارهای رنگی علامت‌گذاری شدند.

صفات اندازه‌گیری‌شده

صفات زایشی

از هر درخت، چهار شاخه یک ساله با طول تقریبی ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر از چهار جهت اصلی درخت انتخاب گردید و شمارش گل‌های کاملاً بازشده روی این شاخه‌ها در زمان شکوفایی کامل (۱۰ تا ۱۵ اسفند ماه) انجام گرفت. شایان ذکر است که با توجه به تأخیر یک هفته‌ای گل‌دهی در تیمار اتفن، شمارش گل‌ها در این تیمار به‌صورت جداگانه و یک هفته دیرتر انجام شد. درصد تشکیل میوه اولیه، پس از تشکیل میوه اولیه (چغاله) اندازه‌گیری شد. تعداد میوه‌های تشکیل‌شده روی شاخه‌های نمونه (همان شاخه‌های ۵۰ سانتی‌متری انتخاب‌شده) شمارش گردید. سپس درصد تشکیل میوه اولیه با استفاده از رابطه (۱) زیر محاسبه شد:

(رابطه ۱):

۱۰۰× (تعداد گل /تعداد میوه‌های تشکیل‌شده اولیه) = درصد تشکیل میوه اولیه

درصد تشکیل میوه ثانویه (نهایی) نیز با تعداد میوه‌های باقی‌مانده در مرحله رسیدگی روی همان شاخه‌های نمونه طبق رابطه ۲ ثبت گردید:

(رابطه ۲):

۱۰۰× (تعداد گل /تعداد میوه‌ها) = درصد تشکیل میوه نهایی

درصد سرمازدگی چهار روز پس از بروز سرمازدگی روی شاخه نمونه با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید:

(رابطه ۳)

۱۰۰ × (تعداد تشکیل میوه اولیه /(تعداد تشکیل میوه اولیه - تعداد میوه‌های باقی‌مانده از سرما)) = درصد سرمازدگی

صفات کمّی میوه

پس از رسیدن کامل میوه‌ها در تیر ماه و برداشت محصول، از هر کرت آزمایشی تعداد ۲۰ میوه (۵ میوه از هر شاخه نمونه) به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین وزن میوه، وزن هسته، طول و عرض میوه اندازه‌گیری شد. میانگین وزن میوه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن تک‌میوه‌ها اندازه‌گیری و میانگین آن برای هر کرت محاسبه گردید. پس از جداسازی دقیق هسته از گوشت میوه، وزن هسته‌ها با همان ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها محاسبه شد. نسبت گوشت میوه به هسته با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید:

(رابطه ۴)

وزن هسته /(وزن میوه - وزن هسته) = نسبت گوشت میوه به هسته

طول میوه با استفاده از خط‌کش معمولی (با دقت ۱ میلی‌متر) و عرض میوه (بزرگ‌ترین قطر میوه) با استفاده از کولیس دیجیتال (برند ورنیه با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری و میانگین برای هر کرت استفاده شد. نسبت طول به عرض میوه نیز از طریق تقسیم طول میوه بر عرض میوه محاسبه گردید.

آنالیز آماری

داده‌های پژوهش پس از ثبت، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1مورد تجزیه واریانس مرکب دو ساله قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین نمودارها با نرم‌افزار Excel 2010 رسم شدند.

نتایج

صفات زایشی

جدول ۱، نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات زایشی را نشان می‌دهد. اثر سال، تیمار آبیاری، تغذیه و تمامی اثرات

متقابل آن‌ها بر تعداد گل، درصد تشکیل میوه اولیه، ثانویه و درصد سرمازدگی در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

تعداد گل در شاخه

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه سال، تیمار آبیاری و تغذیه (شکل ۱ و ۲) نشان داد که بیشترین تعداد گل در شاخه (با طول تقریبی ۵۰ سانتی‌متر) به میزان ۲۱۴ عدد در شاخه در تیمار محلول‌پاشی پتاسیم با آبیاری معمولی در سال دوم مشاهده شد که از لحاظ آماری با تیمار هیومیک‌اسید در آبیاری معمولی (۲۰۹ عدد) و تیمار ترکیب کامل عناصر در آبیاری معمولی (۲۰۵ عدد) در سال دوم در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین میزان گل نیز به تعداد ۹۰ عدد در شاخه در تیمار قطع آبیاری و محلول‌پاشی هیومیک‌اسید در سال دوم مشاهده گردید که با تیمار شاهد در شرایط قطع آبیاری (۱۰۵ عدد) در یک گروه آماری قرار داشت.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی و تنش قطع آبیاری در پاییز و در دو سال بر صفات زایشی درختان زردآلوی رقم قوامی

Table 1. Analysis of variance of the effect of foliar application of nutrients and autumn irrigation cessation on reproductive traits of Qavami apricot trees

S.O.V.	df	Flower number	Early F.S.	Final F.S.	Frost damage
Year	1	7274. 03**	5673.4**	20878.8**	64912.7**
Error(a)	6	229.04 ns	147.76 ns	69.42 ns	117.28 ns
Irrigation interruption (I)	1	5805.05**	662.63**	925.02**	804.85**
(I × Year)	1	4441.53**	253.01*	104.13**	519.47**
Error(b)	6	349.34 ns	123.5 ns	21.48 ns	48.19 ns
Nutrients (N)	7	3497.9**	4147.65**	459.66**	1453.78**
N ×I	7	3054.8**	4047.76**	159.52**	189.85 ns
N ×Year	7	4031.78**	1098.55**	803.74**	2301.15**
N×I×Year	7	3302.2**	3122.00**	256.41**	345.99**
Total Error	84	57.44	4825.01	4514.69	93.56
CV (%)	—	11.86	11.31	19.35	13.84

*** و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد؛ ns: عدم معنی‌داری**

*** and ** Significant at 5% and 1% levels, respectively. ns = not significant**



تیمارمحلول پاشی



شاهد

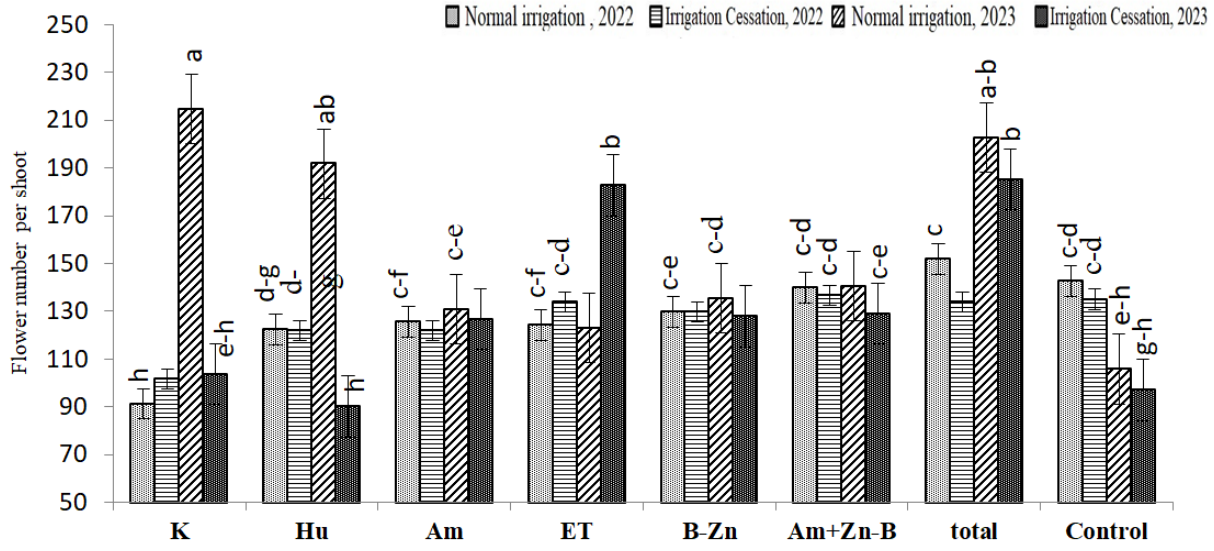
شکل ۱. اثر محلول‌پاشی پاییزه هیومیک‌اسید، روی و بور و پتاسیم بر تعداد گل درختان زردآلوی رقم قوامی در فصل بهار ۱۴۰۲

Figure 1. Effect of autumn foliar application of humic acid, zinc, boron, and potassium on flower number per tree in 'Qavami' apricot (*Prunus armeniaca* L.) during the spring of 2023.

بررسی اثر قطع آبیاری نشان داد که قطع آبیاری پاییزه در اغلب تیمارها باعث کاهش معنی‌دار تعداد گل تشکیل‌شده در شاخه گردید؛ به‌طوری که در تیمار پتاسیم، تعداد گل از ۲۱۴ عدد در شرایط آبیاری معمولی به ۱۶۳ عدد در شرایط قطع آبیاری کاهش یافت. تنها تیمار اتفن در زمان قطع آبیاری باعث افزایش معنی‌دار تعداد گل (۱۷۵ عدد) نسبت به سایر تیمارهای قطع آبیاری گردید. همچنین اثر سال نیز معنی‌دار بود؛ به‌طوری که تعداد گل در سال دوم در اغلب تیمارها بیشتر از سال اول بود که احتمالاً به دلیل دمای مطلوب‌تر در فصل زمستان سال دوم و کاهش خسارت‌های زمستانه بوده است.

درصد تشکیل میوه

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری، تغذیه و سال (شکل ۳) نشان داد که قطع آبیاری پاییزه در تیمارهای شاهد، پتاسیم و هیومیک‌اسید بر درصد تشکیل میوه اولیه تأثیر مثبت داشت؛ اما در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری بین دو سطح آبیاری مشاهده نشد. بیشترین درصد تشکیل میوه اولیه (۱/۴۹ درصد) در تیمار ترکیب کامل عناصر غذایی در شرایط آبیاری معمولی و در سال دوم مشاهده گردید که با تیمار پتاسیم در شرایط آبیاری معمولی (۴۸/۲ درصد) و ترکیب اسیدآمینه با روی و بور (۴۷/۳ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان تشکیل میوه اولیه (۳۱/۲ درصد) مربوط به تیمار هیومیک‌اسید در شرایط قطع آبیاری و در سال دوم بود که با تیمار شاهد در شرایط قطع آبیاری (۳۳/۸ درصد) در یک گروه آماری قرار گرفت. بررسی اثر سال نشان داد که درصد تشکیل میوه اولیه در سال اول به‌طور معنی‌داری کمتر از سال دوم بود که این موضوع به دلیل وقوع سرمازدگی شدیدتر در سال اول و آسیب به گل‌های در حال شکوفایی بوده است. همچنین در سال اول، تیمارهای قطع آبیاری حاوی پتاسیم، روی و بور، اسیدآمینه و ترکیب کامل عناصر، بیشترین درصد تشکیل میوه اولیه را داشتند که نشان‌دهنده نقش محافظتی این عناصر در شرایط تنش یخزدگی است.



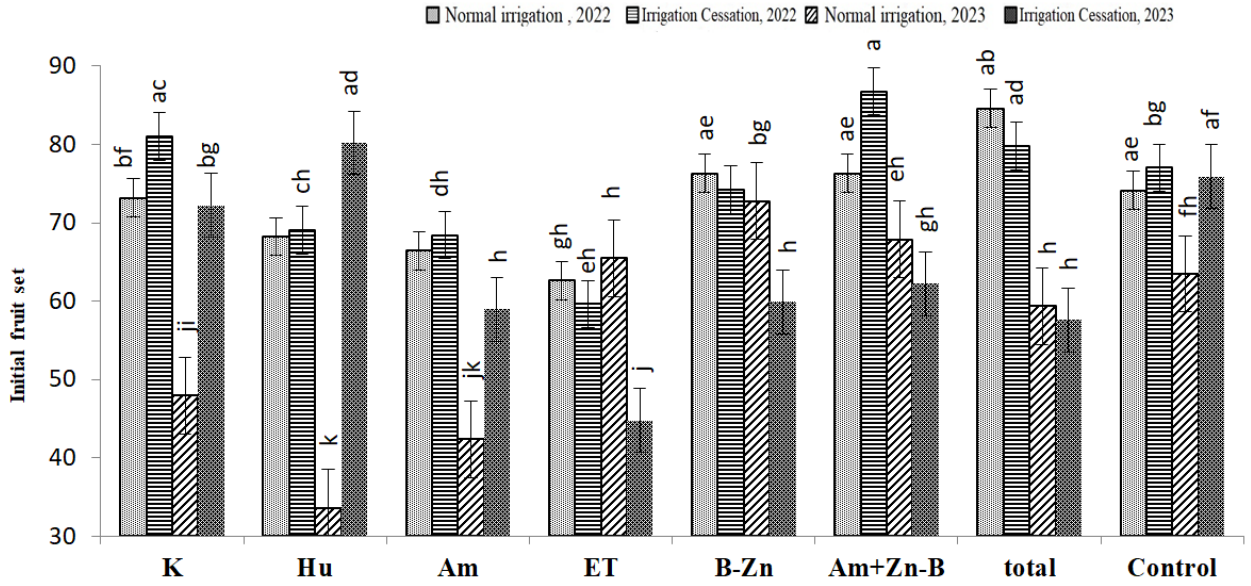
شکل ۲. اثر متقابل تیمار آبیاری، تغذیه و سال بر تعداد گل در شاخه (۵۰ سانتی‌متر) درختان زردآلوی رقم قوامی.

K: پتاسیم، **Hu**: هیومیک‌اسید، **Am**: اسیدآمینه، **ET**: اتفن، **B-Zn**: بور و روی، **Am+Zn-B**: اسیدآمینه به همراه بور و روی، **total**: کلیه عناصر پتاسیم و هیومیک‌اسید، اسیدآمینه، بور و روی به همراه اتفن، **Control**: شاهد. حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن است.

Figure 2. Interaction effect of irrigation cessation, nutrition and year on flower number per branch (50 cm) of Qavami apricot trees. k: potassium, Hu: humic acid, Am: amino acid, ET: ethephon, B-ZN: boron and zinc, Am+Zn-B: amino acid with boron and zinc, total: all elements of potassium and humic acid, amino acid, boron and zinc with ethephon. Common letters within each column indicate that the means are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (شکل ۴) نشان داد که بیشترین درصد تشکیل میوه نهایی (میوه‌های باقی‌مانده پس از سرمازدگی) در سال اول به میزان ۱۸/۳ درصد در تیمار قطع آبیاری همراه با محلول‌پاشی ترکیب اسیدآمینه، روی و بور مشاهده گردید که با تیمار روی و بور به‌تنهایی (۱۷/۴ درصد) و اسیدآمینه به‌تنهایی (۱۶/۸ درصد) در شرایط قطع آبیاری در یک گروه آماری قرار گرفتند. در سال دوم، بیشترین درصد تشکیل میوه نهایی (۳۶/۲ درصد) در تیمار ترکیب کامل عناصر غذایی در شرایط آبیاری معمولی مشاهده شد که با تیمار پتاسیم در شرایط آبیاری معمولی (۳۵/۴ درصد) و ترکیب اسیدآمینه با روی و بور (۳۴/۲ درصد) در شرایط قطع آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت. قطع آبیاری پاییزه در هر دو سال تأثیر مثبتی بر افزایش درصد تشکیل میوه نهایی داشت؛ به‌طوری که در تیمارهای مختلف، درصد میوه باقی‌مانده پس از

سرما در شرایط قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط آبیاری معمولی بود. این موضوع نشان‌دهنده نقش مؤثر قطع آبیاری در کاهش خسارت سرمازدگی بر میوه‌های تازه تشکیل‌شده است. همچنین در سال دوم که سرمازدگی با شدت کمتری رخ داد (دمای ۴- درجه سانتی‌گراد در مقایسه با ۰/۸- درجه در سال اول)، درصد تشکیل میوه ثانویه به‌طور معنی‌داری بالاتر از سال اول بود (شکل ۴).

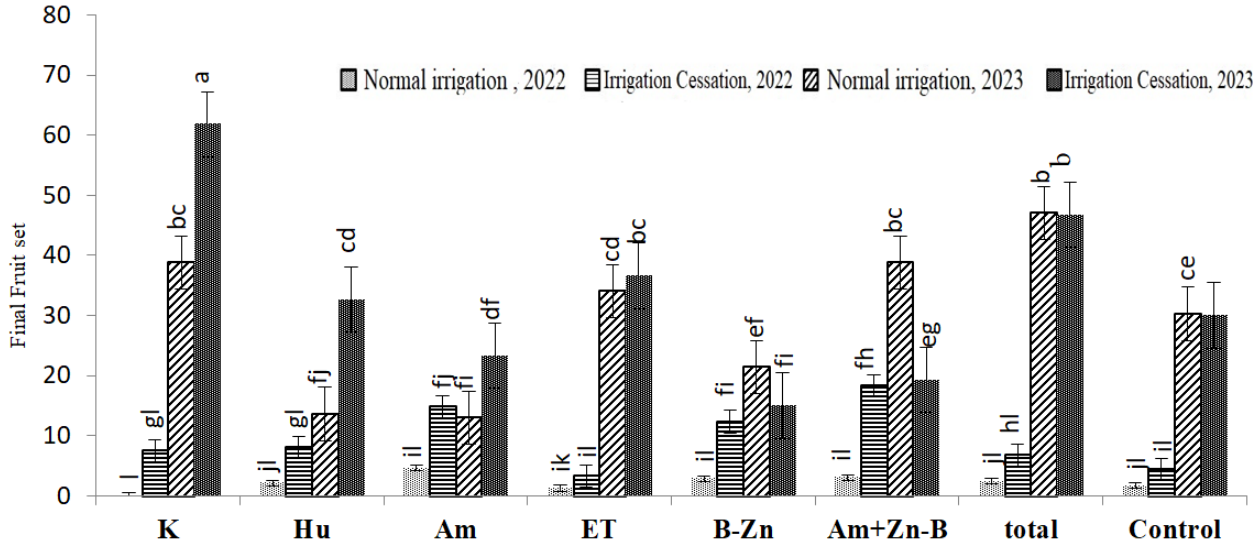


شکل ۳. اثر متقابل محلول‌پاشی و قطع آبیاری پاییزه بر درصد تشکیل میوه اولیه زردآلوی رقم قوامی در دو سال متوالی.

k: پتاسیم، **Hu:** هیومیک‌اسید، **Am:** اسیدآمینه، **ET:** اتفن، **B-ZN:** بور و روی، **Am+Zn-B:** اسیدآمینه به همراه بور و روی، **total:** کلیه عناصر پتاسیم و هیومیک‌اسید، اسیدآمینه، بور و روی به همراه اتفن، **control:** شاهد. حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن است.

Figure 3. Interaction effect of foliar application and autumn irrigation cessation on initial fruit set (%) of Qavami apricot over two consecutive years.

k: potassium, Hu: humic acid, Am: amino acid, ET: ethephon, B-ZN: boron and zinc, Am+Zn-B: amino acid with boron and zinc, total: all elements of potassium and humic acid, amino acid, boron and zinc with ethephon. Common letters within each column indicate that the means are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.



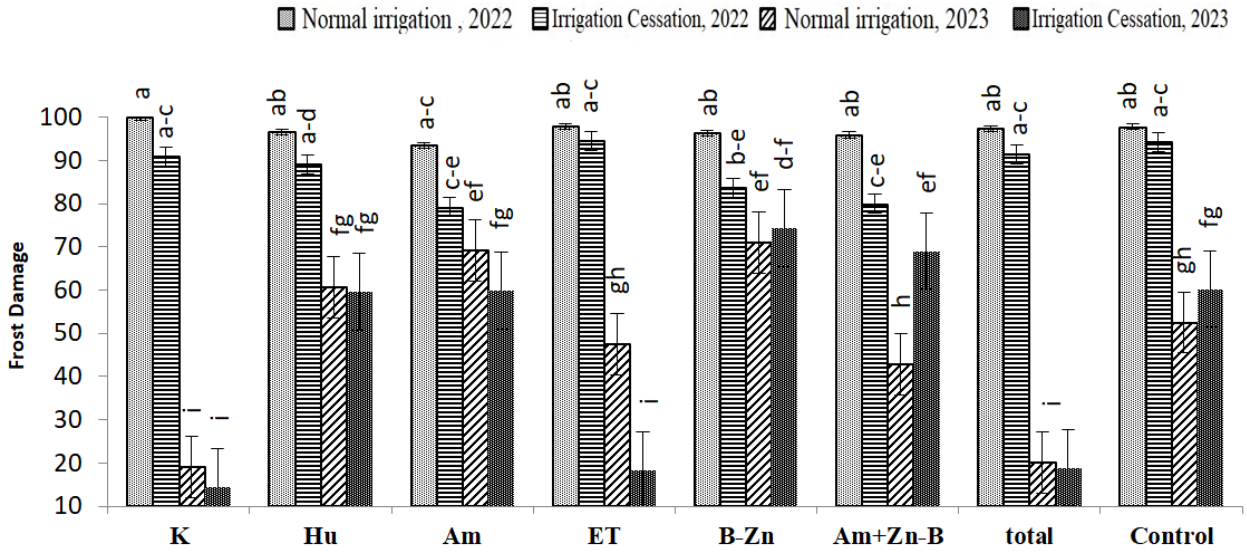
شکل ۴. اثر متقابل محلول‌پاشی و قطع آبیاری پاییزه بر درصد تشکیل میوه نهایی زردآلوی رقم قوامی.

k: پتاسیم، **Hu:** هیومیک‌اسید، **Am:** اسیدآمینه، **ET:** اتفن،**B-ZN:** بور و روی، **Am+Zn-B:** اسیدآمینه به همراه بور و روی، **total:** کلیه عناصر پتاسیم و هیومیک‌اسید، اسیدآمینه، بور و روی به همراه اتفن، **control:** شاهد. حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن است.

Figure 4. Interaction effect of foliar application and autumn irrigation cessation on final fruit set (%) (after frost) of Qavami apricot
k: potassium, Hu: humic acid, Am: amino acid, ET: ethephon, B-ZN: boron and zinc, Am+Zn-B: amino acid with boron and zinc, total: all elements of potassium and humic acid, amino acid, boron and zinc with ethephon. Common letters within each column indicate that the means are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

درصد سرمازدگی

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه سال، قطع آبیاری و تغذیه (شکل ۵) نشان داد که درصد سرمازدگی در سال اول به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال دوم بود که به دلیل شدت بیشتر سرمازدگی در سال اول (دمای ۰/۸- درجه سانتی‌گراد در مقایسه با ۴- درجه در سال دوم) و مصادف شدن آن با مرحله حساس تشکیل میوه اولیه بوده است. کمترین درصد سرمازدگی در سال دوم و در تیمار ترکیب کامل عناصر غذایی (۳۶/۵ درصد) و پتاسیم (۳۶/۲ درصد) در شرایط قطع آبیاری مشاهده گردید که با تیمار اتفن (۴۳/۱ درصد) و روی و بور (۳۸/۵ درصد) در شرایط قطع آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت. در سال اول که سرمازدگی شدیدتری رخ داد، کمترین درصد سرمازدگی (۴۲/۷ درصد) در تیمار قطع آبیاری همراه با محلول‌پاشی اسیدآمینه، روی و بور مشاهده شد و پس از آن، تیمارهای ترکیب کامل عناصر (۴۳/۵ درصد) و پتاسیم (۴۴/۸ درصد) در شرایط قطع آبیاری قرار داشتند. بیشترین درصد سرمازدگی در سال اول (۶۲/۴ درصد) مربوط به تیمار شاهد در شرایط آبیاری معمولی بود که با تیمار هیومیک‌اسید در شرایط آبیاری معمولی (۵۹ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. قطع آبیاری پاییزه در هر دو سال تأثیر مثبتی در کاهش درصد سرمازدگی نشان داد؛ به‌طوری که در تیمار شاهد، درصد سرمازدگی از ۵۷ درصد در شرایط آبیاری معمولی به ۵۲ درصد در شرایط قطع آبیاری کاهش یافت (کاهش حدود ۵ درصدی). این کاهش در تیمارهای تغذیه‌ای نیز مشاهده شد؛ هرچند میزان کاهش بسته به نوع تیمار متفاوت بود؛ برای مثال، در تیمار پتاسیم، درصد سرمازدگی از ۳۸/۵ درصد در شرایط آبیاری معمولی به ۳۶/۲ درصد در شرایط قطع آبیاری کاهش یافت. این نتایج نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی تغذیه مناسب و قطع آبیاری در کاهش خسارت سرمازدگی است.



شکل ۵. اثر تیمار محلول‌پاشی برگی و قطع آبیاری پاییزه بر درصد سرمازدگی بر شاخه نمونه طی دو سال.

k: پتاسیم، **Hu**: هیومیک‌اسید، **Am**: اسیدآمینه، **ET**: اتفن، **B-ZN**: بور و روی، **Am+Zn-B**: اسیدآمینه به همراه بور و روی، **total**: کلیه عناصر پتاسیم و هیومیک‌اسید، اسیدآمینه، بور و روی به همراه اتفن، **control**: شاهد. حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ٪۵ بر اساس آزمون دانکن است.

Figure 5- Effect of foliar spray treatment and autumn irrigation interruption on the percentage of frost damage on the sample branch over two years

k: potassium, Hu: humic acid, Am: amino acid, ET: ethephon, B-ZN: boron and zinc, Am+Zn-B: amino acid with boron and zinc, total: all elements of potassium and humic acid, amino acid, boron and zinc with ethephon. Common letters within each column indicate that the means are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

صفات کمی میوه

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله (جدول ۲) نشان داد که اثر سال بر وزن میوه، وزن هسته و نسبت گوشت به هسته معنی‌دار نبود؛ اما اثر قطع آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای بر تمامی صفات کمی میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تغذیه و قطع آبیاری بر وزن میوه، وزن هسته و نسبت گوشت به هسته، به‌ترتیب در سطوح یک و پنج درصد معنی‌دار گردید. بیشترین میانگین وزن میوه (۳۲/۷ گرم) در تیمار ترکیب کامل عناصر غذایی در هر دو سطح آبیاری مشاهده شد که با تیمار پتاسیم در آبیاری معمولی (۳۲/۱ گرم)، ترکیب اسیدآمینه با روی و بور در شرایط قطع آبیاری (۳۲/۳ گرم) و پتاسیم در شرایط قطع آبیاری (۳۱/۴

گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میانگین وزن میوه مربوط به تیمار شاهد در شرایط قطع آبیاری (۲۱/۷ گرم) و هیومیک‌اسید در شرایط قطع آبیاری (۲۲/۵ گرم) بود. اثر مثبت قطع آبیاری بر افزایش وزن میوه را می‌توان به کاهش تعداد گل در این تیمارها نسبت داد که نوعی تنک طبیعی محسوب شده و منجر به افزایش وزن نهایی میوه گردیده است (جدول ۳).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی و قطع آبیاری بر صفات کمی میوه درختان زردآلوی رقم قوامی

Table 2. Analysis of variance of the effect of foliar application of nutrients and irrigation cessation on fruit quantitative traits of Qavami apricot trees.

S.O.V	df	Fruit weight	Stone weight	Pulp/stone Ratio	Fruit length	Fruit width	Length/width ratio
Year(Y)	1	0.007 ns	0.003 ns	2.029 ns	0.20 ns	0.51 ns	0.23 ns
Error(a)	6	179.57**	1.029**	269.01**	—	—	—
Irrigation interruption (I)	1	327.04**	2.125**	448.02**	1.19 ns	2.42 ns	2.05**
Y*I	1	20.32 ns	0.003 ns	15.96 ns	—	—	—
Error(b)	6	17.49 ns	0.60**	228.43**	—	—	—
Nutrient treatments (N)	7	129.16**	1.044**	172.44**	1.96**	0.77 ns	0.17 ns
N * I	7	113.0**	0.25*	110.88*	1.06 ns	0.12 ns	0.29*
Y*I	7	55*	0.003ns	32.65ns	—	—	—
Y*I*N	7	25.32ns	0.003ns	9.21ns	—	—	—
Error	84	25.63	0.103	57.44	0.58	0.20	0.12
CV (%)	—	17.52	16.59	11.86	15.67	16.0	19.86

*** و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد؛ ns: عدم معنی‌داری**

*** and ** Significant at 5% and 1% levels, respectively. ns = not significant.**

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات کمی میوه زردآلوی رقم قوامی (میانگین دو سال)

Table 3. Mean comparison of the interaction effect of irrigation cessation and foliar application on fruit quantitative traits of Qavami apricot (mean of two years)

	Treatments	Fruit weight (g)	Stone weight (g)	Pulp/ Stone	Fruit lenght (mm)	Fruit width (mm)	Lenght/ width
Regular Irrigation	K	32.1 a	4.12 ab	45.3 a	35.8 ab	32.3 ab	1.11 a
	Hu	29.8 ab	3.89 bc	43.7 ab	34.7 bc	31.5 bcd	1.10 ab
	Am	28.5 bc	3.75 cd	42.1 bc	35.5 ab	32.8 ab	1.08 ab
	ET	27.2 bcd	3.68 cd	41.5 bc	35.0 abc	31.8 abc	1.10 ab
	B+_Zn	29.1 abc	3.82 cd	43.2 ab	36.2 a	33.5 a	1.08 ab
	Am+Zn-B	30.4 ab	4.02 ab	44.1 ab	35.7 ab	32.7 ab	1.09 ab
	Total	32.7 a	4.24 a	46.2 a	36.4 a	33.1 a	1.10 ab
	Control	24.8 d	3.54 de	38.5 d	33.6 c	30.8 d	1.09 ab
Irrigation interruption	K	31.4 a	3.95 bc	39.1 cd	35.1 abc	31.0 cd	1.13 a
	Hu	22.5 d	3.21 f	35.8 e	33.0 c	29.5 e	1.12 a
	Am	27.8 bcd	3.57 d	38.4 d	35.4 ab	31.2 cd	1.13 a
	ET	28.9 abc	3.68 cd	39.7 cd	35.0 abc	31.7 abcd	1.10 ab
	B+_Zn	30.8 ab	3.74 cd	40.2 cd	35.8 ab	32.5 ab	1.10 ab
	Am+Zn-B	32.3 a	3.92 bc	41.8 bc	36.0 a	32.8 ab	1.10 ab
	Total	32.7 a	4.15 a	42.1 bc	36.5 a	33.2 a	1.10 ab
	Control	21.7 d	3.04 f	33.6 f	32.5 c	28.9 e	1.12 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح ٪۵ با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

*** and ** Significant at 5% and 1% levels, respectively. ns = not significant.**

بیشترین میانگین وزن هسته در تیمار ترکیب کامل عناصر در شرایط آبیاری معمولی (۴/۲۴ گرم) و قطع آبیاری (۴/۱۵ گرم) مشاهده شد که با تیمار پتاسیم در آبیاری معمولی (۴/۱۲ گرم) و ترکیب اسیدآمینه با روی و بور (۴/۰۲ گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین وزن هسته مربوط به تیمار شاهد در شرایط قطع آبیاری (۳/۰۴ گرم) و هیومیک‌اسید در شرایط قطع آبیاری (۳/۲۱ گرم) بود (جدول ۳). بیشترین نسبت گوشت به هسته در تیمار ترکیب کامل عناصر در شرایط آبیاری معمولی (۴۶ درصد) مشاهده شد که با تیمار پتاسیم در آبیاری معمولی (۴۵ درصد) و ترکیب اسیدآمینه با روی و بور در آبیاری معمولی (۴۴ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. قطع آبیاری پاییزه به‌طور معنی‌داری باعث کاهش نسبت گوشت به هسته گردید؛ به‌طوری که در تیمار ترکیب کامل عناصر، این نسبت از ۴۶ درصد در آبیاری معمولی به ۴۲ درصد در شرایط قطع آبیاری کاهش یافت. کمترین نسبت گوشت به هسته در تیمار شاهد در شرایط قطع آبیاری (۳۳/۶ درصد) و هیومیک‌اسید در شرایط قطع آبیاری (۳۵/۸ درصد) مشاهده گردید (جدول ۳). بیشترین طول میوه در تیمار ترکیب کامل عناصر در شرایط قطع آبیاری (۳۶/۵ میلی‌متر) و ترکیب اسیدآمینه با روی و بور در شرایط قطع آبیاری (۳۶ میلی‌متر) مشاهده شد که با تیمار روی و بور در آبیاری معمولی (۳۶/۲ میلی‌متر) و ترکیب کامل در آبیاری معمولی (۳۶/۴ میلی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین طول میوه در تیمار شاهد در شرایط قطع آبیاری (۳۲/۵ میلی‌متر) و هیومیک‌اسید در شرایط قطع آبیاری (۳۳ میلی‌متر) بود (جدول ۳). بیشترین عرض میوه در تیمار روی و بور در آبیاری معمولی (۳۳/۵ میلی‌متر) و ترکیب کامل در قطع آبیاری (۳۳/۲ میلی‌متر) مشاهده شد. کمترین عرض میوه مربوط به تیمار شاهد در شرایط قطع آبیاری (۲۸/۹ میلی‌متر) و هیومیک‌اسید در شرایط قطع آبیاری (۲۹/۵ میلی‌متر) بود. نسبت طول به عرض میوه در اکثر تیمارها حدود ۱/۱ تا ۱/۱۳ بود و تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد؛ هرچند اثر متقابل تغذیه و قطع آبیاری بر این صفت در سطح ٪۵ معنی‌دار بود (جدول ۳).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت تلفیقی قطع آبیاری پاییزه و محلول‌پاشی عناصر غذایی، به‌ویژه پتاسیم، روی، بور، اسیدآمینه و هیومیک‌اسید، می‌تواند به‌طور معنی‌داری خسارت سرمازدگی دیررس بهاره را در زردآلوی رقم قوامی کاهش دهد و بهبود عملکرد کمی میوه را به همراه داشته باشد. یافته‌های این تحقیق با مطالعات پیشین در زمینه نقش پتاسیم در افزایش مقاومت به سرما همسو است. تیمارهای حاوی پتاسیم در کاهش درصد سرمازدگی (از ۵۷ درصد در شاهد به ۳۸ درصد در تیمار پتاسیم) و افزایش وزن میوه (از ۲۴/۸ گرم در شاهد به ۳۲/۱ گرم در تیمار پتاسیم) را می‌توان به مکانیسم‌های متعدد فیزیولوژیکی نسبت داد. پتاسیم به‌عنوان فراوان‌ترین کاتیون سلولی، از طریق افزایش غلظت قندهای محلول و کاهش پتانسیل اسمزی سلول، نقطه انجماد شیره سلولی را کاهش می‌دهد (Karimi and Ershadi, 2017). همچنین تحقیقات نشان داده است که محلول‌پاشی پتاسیم می‌تواند غلظت اسیدآبسیزیک درون‌سلولی را افزایش دهد که این هورمون نقش کلیدی در القای تحمل به سرما از طریق افزایش تجمع پروتئین‌های محافظ نظیر RAB18 و LTI78ایفا می‌کند (Mäntylä *et al*., 1995). یافته‌های مربوط به تأثیر مثبت قطع آبیاری پاییزه در کاهش سرمازدگی نیز با مکانیسم مشابهی قابل تبیین است. تنش خشکی ملایم از طریق افزایش اسیدآبسیزیک و اسمولیت‌ها، دوره رکود جوانه‌ها را طولانی‌تر می‌کند و مقاومت به سرما را بهبود می‌بخشد (Mäntylä *et al*., 1995).

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ترکیبی روی و بور، به‌ویژه در شرایط قطع آبیاری، تأثیر قابل توجهی در کاهش خسارت سرمازدگی (۳۸/۵ درصد در مقایسه با ۵۷/۳ درصد شاهد) و افزایش وزن میوه (۳۰/۸ گرم در مقایسه با ۲۴/۸ گرم شاهد) داشته است. این یافته با پژوهش‌های جدید بر درختان عناب در مناطق خشک همخوانی دارد که نشان داد محلول‌پاشی روی و بور می‌تواند طول و قطر میوه را به‌ترتیب ۳۳ و ۲/۲۸ درصد افزایش دهد و عملکرد را تا ۱۷ درصد بهبود بخشد (Tao *et al*., 2024). این تأثیرات مثبت را می‌توان به نقش بور در استحکام دیواره سلولی و نقش روی در فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تثبیت غشای سلولی نسبت داد (Davarpanah *et al*., 2016). تأخیر یک هفته‌ای گل‌دهی ناشی از کاربرد اتفن با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، با یافته‌های پیشین همسو است. همچنین پژوهش‌های انجام‌شده در زردآلو نشان داد که ترکیب اتفن ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر با روغن سویا، گل‌دهی رقم رجب‌علی را هشت تا نه روز به تأخیر می‌اندازد (Dehnavi *et al*., 2017). با این حال، پژوهش‌های جدیدتر نشان داده است که فقط کاربرد اتفن ممکن است تأثیر محدودی در تأخیر گل‌دهی (۱ تا ۳ روز) داشته باشد و ترکیب آن با سایر روش‌های مدیریتی، مانند رنگ‌آمیزی تنه درختان،

می‌تواند تأخیر بیشتری ایجاد کند (Scháňková *et al*., 2022). قطع آبیاری پاییزه از طریق افزایش غلظت اسیدآبسیزیک و تجمع اسمولیت‌های محافظ نظیر قندهای محلول و پرولین، دوره رکود جوانه‌ها را طولانی‌تر می‌کند و مقاومت به یخزدگی را بهبود می‌بخشد. پتاسیم به‌عنوان فراوان‌ترین کاتیون سلولی، با کاهش نقطه انجماد شیره سلولی و تنظیم پتانسیل اسمزی، تحمل به سرما را افزایش می‌دهد (Karimi and Ershadi, 2017). عناصر روی و بور نیز از طریق تثبیت غشای سلولی، فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود فرایند گرده‌افشانی در شرایط تنش، نقش تکمیلی مؤثری ایفا می‌کنند (Davarpanah *et al*., 2016). در نهایت، اسیدآمینه و هیومیک‌اسید با بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی و کاهش تنش اکسیداتیو، به‌طور هم‌افزا در کنار سایر مکانیسم‌ها، مقاومت گیاه به یخزدگی بهاره را افزایش می‌دهند (Rademacher, 2015; Chen *et al*., 2004). تحقیق انجام‌شده روی انگور رقم سلطانی نیز نشان داد که محلول‌پاشی ۳ درصد سولفات پتاسیم، LT_{50} را از ۲۰/۱۶- به ۲۵/۹۷- درجه سانتی‌گراد کاهش داد که این بهبود با افزایش اسیدآبسیزیک، پلی‌آمین‌ها و قندهای محلول همراه بود (Karimi and Ershadi, 2017). در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت تلفیقی تغذیه برگی و تنظیم آبیاری پاییزه، راهکاری مؤثر و اقتصادی برای کاهش خسارت سرمازدگی بهاره در زردآلوی رقم قوامی است و می‌تواند به‌عنوان استراتژی عملیاتی برای باغداران منطقه شاهرود توصیه شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش، مدیریت تلفیقی قطع آبیاری پاییزه و محلول‌پاشی عناصر غذایی می‌تواند به‌طور معنی‌داری خسارت سرمازدگی دیررس بهاره را در زردآلوی رقم قوامی کاهش دهد. قطع آبیاری پاییزه با وجود کاهش تعداد گل، از طریق افزایش مقاومت فیزیولوژیکی بافت‌ها، درصد سرمازدگی را کاهش و بقای میوه‌ها را پس از سرما افزایش داد. در تیمارهای تغذیه‌ای، محلول‌پاشی ترکیب کامل عناصر غذایی (پتاسیم، روی، بور، اسیدآمینه و هیومیک‌اسید) و همچنین پتاسیم به‌تنهایی، بیشترین تأثیر را در کاهش سرمازدگی (کمتر از ۳۸ درصد) و افزایش وزن میوه (بیش از ۳۲ گرم) داشتند. اتفن با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز گل‌دهی را حدود یک هفته به تأخیر انداخت. اثر هم‌افزایی قطع آبیاری و تغذیه برگی از طریق مکانیسم‌های تکمیلی شامل افزایش اسیدآبسیزیک و اسمولیت‌ها، کاهش نقطه انجماد شیره سلولی، تثبیت غشا و کاهش تنش اکسیداتیو، موجب بهبود مقاومت به سرما گردید. با توجه به صرفه اقتصادی و خسارت‌های سنگین سرمازدگی در منطقه شاهرود، ترکیب قطع آبیاری پاییزه با محلول‌پاشی پتاسیم و عناصر ریزمغذی به‌عنوان راهکاری عملیاتی و مؤثر به باغداران رقم قوامی توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از دانشگاه صنعتی شاهرود به دلیل حمایت مالی و تأمین امکانات لازم برای اجرای این پژوهش ابراز می‌دارند. همچنین از کشاورز محترم روستای دهملا که با اهدای باغ خود و همکاری صمیمانه در طول دو سال اجرای طرح، امکان انجام این پژوهش را فراهم نمودند، کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید. همچنین از تمامی عزیزانی که به‌نحوی در به ثمر رسیدن این تحقیق نقش داشتند، قدردانی می‌گردد.

References

Abedini Esfahlani, M., Dezianian, A., and Akhyani, A., 2021. Strategies to Reduce Late Spring Frost Damage in Apricot Product. Horticultural Sciences Research Institute, Temperate and Cold Fruits Research Institute, Karaj, 2-15. [In Persian].

Arora, R., 2018. Mechanism of freeze-thaw injury and recovery: a cool retrospective and warming up to new ideas. Plant Science, 270, 310.

Bartoli, C.G., Casalongué, C.A., Simontacchi, M., Marquez-Garcia, B., and Foyer, C.H., 2018. Interactions between hormone and redox signalling pathways in the control of growth and cross tolerance to stress. Environmental and Experimental Botany, 94, 73-88.

Chen, X.S., Shen, H.B., and Zhang, Y.M., 2012. Freezing injury investigation of apricot sweet cherry flowers. Acta Horticulturae Sinica, 28, 373.

Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G.H., Abadia, J., and Khorasani, R., 2016. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. Scientia Horticulturae, 210, 5.

Dehnavi, A., Rezaei, M., Hokmabadi, H., and Gharani Ghouzhdi, H., 2017. Effect of ethephon and soybean oil on flowering time of two apricot cultivars. Journal of Crop Production and Processing, 7(1), 32-41. [In Persian with English summary].

During, H., and Broguedis, M., 2003. Effects of abscisic acid and benzyladenin on irrigated and non-irrigated grapevines. Scientia Horticulturae, 3(3), 256.

FAO, 2023. FAOSTAT Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Haciseferogullari, H., Ozcan, M., Sonmete, M.H., and Ozbek, O., 2005. Some physical and chemical parameters of wild medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit grown in Turkey. Journal of Food Engineering, 69(1), 1-4.

Izadinia, Y., 2019. Recognition and Application of Active Frost Protection Methods in Agriculture. Agricultural Extension Coordination Management of Alborz Province, Alborz, 35. [In Persian].

Jantizadeh, A., Fattahi Moghaddam, A., Zamani, M.R., Babalar, Z.A., Abbasi, M., and Abedini, M., 2013. Investigation of supercooling temperatures in apricot flowers. Iranian Journal of Horticultural Science, 11(4), 10. [In Persian].

Karimi, R., and Ershadi, A., 2017. Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. Scientia Horticulturae, 215, 184-194.

Khabargozari-e-Mehr, 2022. Semnan province is the hub of apricot production in Iran. Available at: www.mehrnews.com (Accessed: 15 June 2023). [In Persian].

Mäntylä, E., Lång, V., and Palva, E.T., 1995. Role of abscisic acid in drought-induced freezing tolerance, cold acclimation, and accumulation of LT178 and RAB18 proteins in *Arabidopsis thaliana*. Plant Physiology, 107(1), 141-148.

Melgar, J.C., Dunlop, J., and Syvertsen, J.P., 2016. Tree Water Status and Exogenous Abscisic Acid Affect Freeze Tolerance in 'Valencia' Trees. Proceedings of the Florida State Horticultural Society.

Moradi, F., Rasouli, M., and Karimi, R., 2016. Effect of foliar application of potassium sulfate and zinc sulfate on cold tolerance of strawberry cv. 'Selva' and 'Paros'. Second National Congress of Agricultural Engineering and Soil Sciences, Tehran, 878. [In Persian].

Okba, S.K., Mazrou, Y., Elmenofy, H.M., et al., 2021. New insights of potassium sources impacts as foliar

Piripiraivanlou, S., Khalighi, A., Talaie, A., and Arzani, K., 2008. Effect of autumn irrigation cessation stress on abscisic acid content and ion leakage in apricot cultivars. Journal of Agricultural Research, 1(1), 27-35. [In Persian].

Proebsting, E.L., and Mills, H.H., 1978. Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. Journal of the American Society for Horticultural Science, 103, 192-198.

Rademacher, W., 2015. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. Journal of Plant Growth Regulation, 34, 845-872.

Rezaei, M., P. Heidari, and A. Khadivi. 2020. Identification of superior apricot (Prunus armeniaca L.) genotypes among seedling origin trees. Scientia Horticulturae 262, 109062.

SAS Institute, 2009. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Scháňková, K., Laňar, L., and Náměstek, J., 2022. Is it possible to delay bloom of apricots by soybean oil application? Vědecké Práce Ovocnářské, 28(1), 47-56.

Szalay, L., Bakos, J., Tosaki, A., Teweldemedhim Keleta, B., Froemel-Hajnal, V., and Karsai, I., 2021. A 15-year long assessment of cold hardiness of apricot flower buds and flowers during the blooming period. Scientia Horticulturae, 290, 110520.

Tao, S., et al., 2024. Effects of zinc and boron foliar application on fruit quality and yield of Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) in arid regions. Journal of Plant Nutrition, 47(5), 789-802.

Tatari, M., 2023. Delaying flowering time to deal with spring frost in temperate fruit trees. National Symposium on Frost and Its Management in Agriculture, Isfahan, 3-5. [In Persian].

Wang, L., et al., 2024. Haplotype-resolved genome of *Prunus zhengheensis* provides insight into its evolution and low temperature adaptation in apricot. Horticulture Research, 11(4).

Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T., 2013. Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 187-206.