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

Research Article
Vol. 1, No. 1, Autumn and Winter 2026, p. 111-123

The impact of foliar humic acid application on yield, quality traits, and antioxidant properties of summer squash *(Cucurbita pepo* L.*)* under deficit irrigation

Jaefar Nikbakht [1*], Elham Ghadimi [2]

1 - Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2 - 2- Department of Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

(*- Corresponding author's Email: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir)

Received: 15 July 2026
Received in revised form: 08 August 2026
Accepted: 26 August 2026

How to cite this article:
Nikbakht, J. & Ghadimi, E. (2026). The impact of foliar humic acid application on yield, quality traits, and antioxidant properties of summer squash (*Cucurbita pepo* L.) under deficit irrigation. *Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops*, 1(1), 111-123. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742864

Introduction

Summer squash (*Cucurbita pepo* L.) is a globally significant vegetable crop, highly valued for its nutritional profile, which includes essential carbohydrates, proteins, vitamins, and minerals. However, its cultivation is increasingly threatened by global climate change and the resultant environmental stresses, particularly water scarcity. Drought stress acts as a primary limiting factor for horticultural productivity in arid and semi-arid regions, such as Iran, negatively impacting yield components, and fruit quality. Previous research consistently demonstrates that severe water deficit leads to significant reductions in biomass accumulation, fruit set, and overall marketable yield. To mitigate the adverse effects of drought, sustainable agronomic strategies, particularly the use of natural biostimulants, have gained prominence. Foliar application of humic acid, a complex organic polymer, is a recognized strategy to enhance plant resilience by improving soil structure, increasing nutrient uptake, and modulating plant morphological and biochemical pathways. This study was conducted to evaluate the efficacy of foliar-applied humic acid in mitigating the negative impacts of deficit irrigation on the yield and quality of summer squash.

Materials and Methods

The research was conducted at the Agricultural Research Farm of the University of Zanjan in 2019 using the Cucurbita pepo cv. "Zucchino tondo chiaro di Nizza." The experiment was structured as a split-plot arrangement within a randomized complete block design with three replications. The main plots consisted of three irrigation regimes: 100%, 80%, and 60% of the crop water requirement (ETc). The subplots involved three levels of humic acid foliar spray: 0 (control), 150, and 300 mg L^{-1}. The humic acid used was a commercial formulation (Humex, Biotak Gh, USA) containing 79% humic acid, 12% potassium oxide, and 12% fulvic acid. Planting occurred on 6 June 2019, with a spacing of 80 cm between plants and 100 cm between rows. Irrigation was managed via a drip tape system with an interval of three days. Following plant establishment and the onset of the first female flowers, the humic acid treatments were applied in two stages at 10-day intervals, ensuring saturation of both leaves and stems. Experimental units consisted of six plants each, and standard weed management practices were implemented throughout the growing season to ensure consistency in performance assessment.

Results and Discussion

The results showed that water deficit stress significantly reduced fruit number, yield per plant, vitamin C content, and fruit firmness, whereas it increased total soluble solids (TSS), flavor index, total phenolic content, and antioxidant capacity. Foliar application of humic acid improved fruit yield and quality under both well-watered and water-deficit conditions. The highest fruit number per plant (8.1), yield (2636 g $plant^{-1}$), fruit firmness (7.2 kg cm^{-2}), and vitamin C content (38.2 mg 100 mL^{-1}) were obtained from plants treated with 300 mg L^{-1} humic acid under full irrigation (100 %ETc). In contrast, the highest TSS (3.46 °Brix), flavor index

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.2026.742864

(4.63), total phenolic content (36.2 mgGAL 100 g-1 FW), and antioxidant capacity (79.6%) were recorded in plants receiving 300 mg L^{-1} humic acid under irrigation 60 %ETc. The integration of deficit irrigation and biostimulant application represents a crucial frontier in sustainable horticultural management. Under water-deficient conditions, the plant's inability to maintain turgor pressure typically hampers cell expansion and division, leading to the observed reductions in fruit size and number. Humic acid potentially alleviates this by enhancing the plant's metabolic activity, acting as a hormone-like agent that stimulates root growth and optimizes ion transport, thereby maintaining better water relations within the plant tissue even under limited water availability. By improving the efficiency of photosynthesis and promoting enzymatic activity related to the antioxidant defense system, humic acid may allow the plant to withstand oxidative stress more effectively. Furthermore, the application of humic acid acts as a protective buffer, reducing the degree of yield loss normally attributed to water stress.

Conclusions

This suggests that humic acid could serve as a valuable tool for producers aiming to maximize the nutraceutical value of summer squash in regions where water is increasingly scarce. Overall, foliar application of 300 mg L^{-1} humic acid proved to be an effective strategy for improving fruit yield and quality of summer squash, particularly under water-deficit conditions.

Keywords: Deficit irrigation, Flavor index, Total soluble solids, Fruit number.

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۵، ص. ۱۱۱– ۱۲۳

تأثیر محلول‌پاشی اسیدهیومیک بر عملکرد، صفات کیفی و خواص آنتی‌اکسیدانی میوه کدوی تابستانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری

جعفر نیکبخت* ، الهام قدیمی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۷

چکیده

به¬منظور مطالعه اثر اسیدهیومیک بر رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و پاسخ¬های فیزیولوژیکی کدوی تابستانه دلمه-ای تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی به¬صورت کرت¬های خردشده در قالب طرح بلوک¬های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و اسیدهیومیک در سه سطح (صفر (شاهد)، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد تنش کم‌آبی به¬طور معنی¬داری تعداد میوه، عملکرد بوته، محتوای ویتامین ث و سفتی بافت میوه را کاهش داد، در حالی¬ که موجب افزایش مقدار مواد جامد محلول کل، شاخص طعم، ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی¬اکسیدانی میوه شد. کاربرد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی، عملکرد و ویژگی‌های کیفی میوه را بهبود بخشید. بیشترین تعداد میوه (۸/۱ عدد در بوته)، عملکرد (۲۶۳۶ گرم در بوته)، سفتی بافت میوه (۲/۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) و مقدار ویتامین ث (۲/۳۸ میلی¬گرم در ۱۰۰ میلی¬لیتر) در تیمار محلول¬پاشی ۳۰۰ میلی¬گرم در لیتر اسیدهیومیک تحت آبیاری کامل حاصل شد. همچنین حداکثر مقدار مواد جامد محلول (۳/۴۶ درجه بریکس)، شاخص طعم میوه (۴/۶۳)، میزان فنل کل (۲/۳۶ میلی¬گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و ظرفیت آنتی¬اکسیدانی (۷۹/۶ درصد) میوه در گیاهان تیمار ۳۰۰ میلی¬گرم بر لیتر اسیدهیومیک ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک می‌تواند راهکاری مؤثر برای بهبود عملکرد و کیفیت میوه کدوی تابستانه، به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی باشد.

کلمات کلیدی: تنش کم‌آبیاری، تعداد میوه، شاخص طعم، مواد جامد محلول کل.

مقدمه

کدو (*Cucurbita pepo* L.) یکی از محبوب‌ترین و پرکشت‌ترین محصولات سبزی‌کاری در جهان است. میوه‌های نارس آن به‌صورت آب‌پز، پخته یا شکم‌پر مصرف می‌شوند. این گیاه دارای فواید متعدد تغذیه‌ای و دارویی برای انسان است. میوه‌های آن حاوی مقادیر قابل توجهی از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، مواد معدنی و ویتامین‌ها هستند (Rashad *et al*., 2019).

تغییرات اقلیمی جهانی موجب نوسانات قابل توجهی در متغیرهای مختلف، به‌ویژه دما و بارش شده است. این تغییرات به‌طور ذاتی باعث افزایش مواجهه گیاهان با تنش‌های محیطی می‌شوند. خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی و از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان، به‌ویژه در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک، به‌شمار می‌رود (Kamara *et al*., 2021). این تنش به‌طور مخرب بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، اجزای عملکرد و صفات کیفی محصولات باغبانی مانند کدوها تأثیر می‌گذارد و در نهایت، امنیت غذایی را تهدید می‌کند. واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی به مراحل رشد، طول و شدت تنش بستگی دارد (Vaishya *et al*., 2026). هرگونه کمبود مقدار مورد نیاز آب آبیاری، به‌ویژه در مرحله بحرانی رشد محصول، می‌تواند باعث کاهش شدید عملکرد شود (Bharambe *et al*., 2023). در حالی که گیاهانی که تحت کم‌آبیاری قرار می‌گیرند، با تنش آبی مواجه می‌شوند که می‌تواند بر رشد و عملکرد آن‌ها تأثیر منفی بگذارد، این روش می‌تواند به‌طور مؤثر مصرف آب را کاهش دهد. با وجود این، این واکنش‌های تنشی ممکن است تولید گیاه را از نظر مدت و شدت آن به خطر بیندازد و چالش مهمی را در حفظ عملکرد گیاه در چنین شرایطی ایجاد کند (Anjum *et al*., 2017). مطالعات قبلی روی فیسالیس (*Physalis peruviana*) نشان داد که در پاسخ به تنش کم‌آبیاری، افزایش ناگهانی در pH، مواد جامد محلول کل، ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه رخ داد. برعکس، تجمع زیست‌توده، تعداد میوه و عملکرد فیسالیس به دلیل غلظت‌های بالاتر مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن کاهش یافت (Mousavi *et al*., 2023). وایشیا و همکاران (Vaishya *et al*., 2026) با بررسی اثر تنش کم‌آبی (۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه) در چند گونه کدو گزارش کردند که کاهش شدید رشد و عملکرد فیزیولوژیکی در ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه رخ داد که نشان‌دهنده تنش شدید کمبود آب است. اعمال تنش کم-آبیاری در گیاه بامیه، رشد و عملکرد میوه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Barzegar *et al*., 2016).

به‌طور کلی، حفظ تغذیه مناسب گیاه برای کاهش اثرات مضر محدودیت آب بر عملکرد محصول ضروری است. امروزه استفاده از زیست‌محرک‌های طبیعی (Mahmood *et al*., 2017)، تغذیه برگی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سال‌های اخیر به‌منظور بهبود کیفیت محصولات سبزی و صیفی مورد توجه قرار گرفته است. تغذیه برگی راهبرد رایج مدیریت زراعی برای حداکثرسازی عملکرد و کیفیت میوه به‌شمار می‌رود و به گیاهان کمک می‌کند محدودیت‌های حاصلخیزی پایین خاک، محدودیت جذب عناصر غذایی و تثبیت عناصر غذایی در خاک را جبران کنند (Dada and Ogunsesu, 2016). استفاده از ترکیبات آلی مانند اسیدهیومیک می‌تواند بسیاری از فرایندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و منجر به بهبود رشد گیاهان شود (Ozfidan-Konakci *et al*., 2018).

اسیدهیومیک ترکیب پلیمری طبیعی آلی با وزن مولکولی بالا است که تحت تأثیر کاتالیزورهای غیرزیستی بر ترکیبات آلی مانند لیگنین‌ها به وجود می‌آید. در ساختار مولکولی این ترکیب آروماتیک، چند زنجیره اسیدکربوکسیلیک و حلقه فنلی دارای گروه هیدروکسیل وجود دارد (Maffia *et al*., 2025). اسیدهیومیک نقش بسیار مهمی در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ایفا می‌کند. این مواد هم از طریق کاربرد در خاک و هم به‌صورت محلول‌پاشی برگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسیدهیومیک می‌تواند با بهبود ساختمان خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک به نگهداری آب در خاک کمک کند و سبب بهبود جذب آب توسط گیاهان شود. این ویژگی سبب شده است تا کاربرد اسیدهیومیک در شرایط تنش کم‌آبی مورد توجه قرار بگیرد (Ozfidan-Konakci *et al*., 2018).

نتایج مطالعات نشان داده است که کاربرد اسیدهیومیک، اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی را در گیاه فیسالیس کاهش داد و رشد و عملکرد میوه را در شرایط تنش کم‌آبی بهبود بخشید (Mousavi *et al*., 2023). گزارش شد کاربرد برگی اسیدهیومیک، عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی را در شرایط تنش کم‌آبی و آبیاری نرمال بهبود بخشید (Aslani *et al*., 2019). ابراهیم و همکاران (Ibrahim *et al*., 2024) گزارش کردند که کاربرد اسیدهیومیک با آب آبیاری موجب بهبود عملکرد کلم بروکلی در شرایط تنش کمبود آب گردید.

با توجه به محدودیت روزافزون منابع آب و غلبه شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در بسیاری از مناطق ایران، توسعه راهکارهای پایدار برای کاهش خسارات ناشی از کم‌آبی و افزایش بهره‌وری مصرف آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثربخشی محلول‌پاشی اسیدهیومیک در تعدیل اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی بر عملکرد، شاخص‌های کیفی و آنتی‌اکسیدانی میوه کدوی تابستانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و روش اجرای آزمایش

به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی اسیدهیومیک بر صفات عملکردی و کیفی میوه کدوی تابستانه دلمه‌ای رقم Zucchino tondo chiaro di Nizza (شکل ۱)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (۶ بوته در هر واحد آزمایشی) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (۱۰۰،۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان عامل اصلی و تیمار محلول‌پاشی اسیدهیومیک در سه سطح صفر (شاهد)، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. اسیدهیومیک مورد استفاده با نام تجاری هیومکس از شرکت Biotak Gh آمریکا حاوی ۷۹ درصد اسیدهیومیک، ۱۲ درصد اکسید پتاسیم و ۱۲ درصد اسیدفولویک بود. مشخصات خاک محل آزمایش و آمار هواشناسی در طی فصل رشد به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the experimental site

EC(dS m^{-1})	pH	N(%)	P(ppm)	K(ppm)	Fe(ppm)	O.M.(%)	$CaCO_3$ (%)	Soil texture
1.12	7.27	0.8	4.6	154	1.8	1.11	14.09	Sandy clay loam

جدول ۲. متوسط پارامترهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دانشگاه زنجان در فصل زراعی ۹۷-۹۸

Table 2- Average climatic parameters of Zanjan university synoptic station during the growth season (2018-2019)

Climatic parameters	June	July	August	September
Average relative humidity (%)	33.2	34.2	34.4	40.5
Rainfall (mm)	6.2	0.0	0.1	0.5
Minimum temperature (˚C)	11.8	15.3	16.1	12.2
Maximum temperature (˚C)	29.7	35	34.5	30



شکل ۱. کدوی تابستانه دلمه‌ای رقم Zucchino tondo chiaro di Nizza

Figure 1. Summer squash CV. Zucchino tondo chiaro di Nizza

بذر کدو از شرکت فردین‌کشت کرج خریداری شد. کشت به‌صورت مستقیم در زمین اصلی انجام گرفت. برای این کار، زمین پس از شخم زدن، بلوک‌بندی شد. بذرها به‌صورت هیروم‌کاری با فاصله ۸۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها و فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها در عمق ۳ سانتی‌متری در تاریخ ۶ خرداد ماه سال ۱۳۹۸ کشت شدند. آبیاری گیاهان به روش قطره‌ای نواری با توجه به شرایط آب‌وهوایی با دور آبیاری ۳ روز یک بار انجام شد. در طول فصل رشد، عمل وجین علف‌های هرز صورت گرفت.

پس از استقرار اولیه گیاهان، با ظهور اولین گل‌های ماده در بوته‌ها، محلول‌پاشی برگی اسیدهیومیک شروع شد و محلول‌پاشی‌های بعدی در دو مرحله با فاصله ۱۰ روز یک بار در طول دوره رشد گیاه انجام گرفت. مقدار محلول‌پاشی روی برگ‌ها و ساقه به اندازه‌ای بود که به حد ریزش قطره‌های محلول بعد از خیس شدن کامل برگ‌ها نرسد. اعمال تیمارهای تنش کم‌آبیاری پس از محلول‌پاشی نوبت اول اسیدهیومیک شروع شد. مقدار نیاز آب آبیاری تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) با استفاده از داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دانشگاه زنجان و رابطه استاندارد فائو-پنتمن محاسبه گردید (Vaziri *et al.*, 2008). نیاز آبی

سایر تیمارها (تیمارهای تنش کم‌آبیاری) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی در نظر گرفته‌شده (۸۰ و ۶۰ درصد) محاسبه شد. پس از محاسبه مقادیر ET_c، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه کدو بر اساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای - نواری یا تیپ) و دور آبیاری برآورد شد (Keller and Bliesner, 1990) و سپس در هر نوبت، آبیاری می‌شد. در این پژوهش از نوارهای آبیاری با فاصله بین خروجی‌های ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. در انتهای دوره رشد، مجموع آب داده‌شده به هرکدام از تیمارهای آبیاری، به‌ترتیب ۴۰۳۰/۵، ۳۲۸۴/۴ و ۲۵۳۸/۳ مترمکعب بر هکتار (به‌ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) بود.

صفات مورد ارزیابی

در طول فصل رشد، میوه‌های هر بوته برداشت و با ترازوی دیجیتال وزن شدند و عملکرد میوه به‌صورت گرم در بوته برآورد شد. سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج دستی مدل Mc cormic-FT 327 با نوک و قطر ۸ میلی‌متری و پس از حذف پوست دو طرف میوه برحسب کیلوگرم در سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل از قسمت مزوکارپ میوه با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دستی مدل ATAGO Brixo-32 بر اساس درصد بریکس صورت گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری اسید کل، از روش تیتراسیون با سدیم هیدروکسید استفاده گردید. در نهایت، حجم هیدروکسید مصرفی ثبت شد (AOAC, 2000). مقدار اسید کل به‌صورت درصد اسیدمالیک (رابطه ۱) محاسبه گردید.

رابطه (۱):

(اسید قابل تیتراسیون%) = [E×N×S×F/C] × 100

E: اکی والان اسید مورد نظر، N: نرمالیته محلول سدیم هیدروکسید، S: مقدار سدیم هیدروکسید مصرف‌شده (میلی‌لیتر)، F: فاکتور NaOH و C: مقدار عصاره.

شاخص طعم میوه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

رابطه (۲)

شاخص طعم میوه = میزان اسید قابل تیتراسیون میوه /مجموع مواد جامد محلول

مقدار اسیدآسکوربیک (ویتامین ث) میوه با استفاده از منحنی استاندارد تهیه‌شده از غلظت‌های مختلف اسیدآسکوربیک در حضور دی‌کلرواینودوفنل محاسبه شد (AOAC, 2000). غلظت اسیدآسکوربیک برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر ثبت گردید. محتوای فنل کل میوه با استفاده از معرف فولین سیوکالتو (Folin Ciocalteau) اندازه‌گیری شد. مقدار فنل کل بر اساس منحنی استاندارد تهیه‌شده با اسیدگالیک محاسبه شد و به‌صورت میلی‌گرم معادل اسیدگالیک (GAE) در ۱۰۰ گرم وزن تازه (FW) بیان گردید (Singleton and Rossi, 1965). میزان فلاونوئید عصاره‌ها با روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. میزان فلاونوئید با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم کوئرستین (QE) در ۱۰۰ گرم وزن تر ارزیابی شد (Kaijv *et al.*, 2006). به‌منظور اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه، از رادیکال آزاد DPPH (2,2-Dphenyl- Picryl-Hydrazyl) استفاده شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها از رابطه ۳ به دست آمد (Dehghan and Khoshkam, 2012).

رابطه (۳)

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی = (DPPH جذب نمونه – جذب DPPH)/ DPPH جذب × ۱۰۰

برای تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه، از روش DPPH مطابق با روش ارائه‌شده توسط Sun و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد. کاهش جذب محلول حاصل (AS) در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (Specorp 250 Jena-History) اندازه‌گیری شد. جذب محلول شاهد حاوی ۲ میلی‌لیتر محلول DPPH (AC) به‌عنوان کنترل آزمایش در نظر گرفته شد. درصد فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (RSA/) عصاره‌های میوه کدو بر اساس رابطه ۴ محاسبه گردید.

رابطه (۴)

$$RSA\% = (Ac - As)/ Ac \times 100$$

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS V9 و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح یک و پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تعداد میوه و عملکرد بوته

اعمال تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری تعداد میوه در بوته و عملکرد میوه در بوته را کاهش داد. محلول‌پاشی اسیدهیومیک در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و تنش کم‌آبیاری، تعداد میوه و عملکرد میوه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳ و ۴). اثر متقابل اسیدهیومیک در سطوح مختلف آبیاری بر تعداد میوه و عملکرد بوته معنی‌دار بود. بیشترین تعداد میوه (۸/۱) و عملکرد میوه (۲۶۳۶ گرم در بوته) در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد با کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک حاصل شد و کمترین تعداد میوه و عملکرد میوه در بوته در سطح شاهد اسیدهیومیک تحت تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد (جدول ۴). همسو با نتایج این پژوهش، برزگر و همکاران (Barzegar *et al.*, 2024) گزارش کردند که اعمال تنش کم‌آبیاری در گیاه خیار پیوندی و غیرپیوندی با کاهش تعداد میوه منجر به کاهش عملکرد شد. تنش کم‌آبی با کاهش تعداد میوه به دلیل ریزش گل‌ها و میوه‌های تازه تشکیل‌شده، باعث کاهش عملکرد خربزه شد (Sharma *et al.*, 2014). همچنین نتایج پژوهش حاضر با نتایج خانی و همکاران (Khani *et al.*, 2025) همخوانی دارد که گزارش کردند کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه باعث کاهش ۳۹ درصدی عملکرد میوه فیسالیس شد.

تنش ناشی از کمبود آب، محتوای رطوبت خاک را در ناحیه ریشه کاهش می‌دهد که باعث کاهش جذب مواد مغذی توسط گیاهان می‌شود و در نتیجه، رشد گیاه و تولید محصول کاهش می‌یابد. همچنین مشابه نتایج پژوهش حاضر، گزارش شد که اعمال تنش کم‌آبیاری (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) باعث کاهش معنی‌دار طول میوه، وزن میوه، عملکرد تک‌بوته، عملکرد زودرس و عملکرد کل کدوی تابستانه در مقایسه با آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) گردید (Falah and Nasser, 2025). ال-زباری و شرحان (Al-Zebari and Sharhan, 2019) نشان دادند که کاربرد اسیدهیومیک در آب آبیاری، تعداد میوه در هر بوته، میانگین وزن و طول میوه و عملکرد کل کدوی تابستانه را افزایش داد. همچنین مطالعه دیگری نشان داد که کاربرد برگی اسیدهیومیک باعث افزایش عملکرد، تعداد میوه و طول میوه در سه رقم فلفل دلمه‌ای قرمز گردید (Ibrahim *et al.*, 2019). یکی از مهم‌ترین اثرات بیولوژیکی اسیدهیومیک، تغییر در تخصیص زیست‌توده در گیاهان است؛ علاوه بر این، اسیدهیومیک با بهبود جذب مواد مغذی و محتوای کلروفیل برگ، راندمان فتوسنتز را افزایش می‌دهد (Khoshmaram and Arshad, 2016)؛ به این ترتیب، تولید و تجمع کربوهیدرات‌ها را افزایش می‌دهد و تأثیر مثبتی بر گل‌دهی و تشکیل میوه می‌گذارد. نتایج این پژوهش با نتایج کاربرد اسیدهیومیک در گیاه فیسالیس (Mousavi *et al.*, 2023) و بامیه (Barzegar *et al.*, 2016) همخوانی دارد که گزارش شد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری، عملکرد و اجزای عملکرد میوه را افزایش داد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی سطوح آبیاری، محلول‌پاشی اسیدهیومیک و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد و صفات کیفی میوه کدوی تابستانه

Table 3. Analysis of variance for the effects of irrigation levels, humic acid foliar application, and their interaction on yield and qualitative traits of summer squash fruit

S.O.V.	Df	Fruit number per plant	Yield	Fruit firmness	Total soluble solids	Titratable acidity
Replication	2	0.007	6446.4	0.001	0.021	0.001
Irrigation	2	25.17**	386753.41**	0.51**	4.19**	0.108**
Main plot error	4	0.056	8045.06	0.03	0.19	0.001
Humic Acid	2	5.13**	367524.3*	0.06*	1.63*	0.008**
Irrigation×HumicAcid	4	0.249**	33417.17**	0.04^{ns}	0.114**	0.013**
Subplot error	12	0.072	5121.7	0.01	0.006	0.001
C.V(%)	-	8.38	9.6	5.48	4.9	7.76

***، ** به‌ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و ns عدم تفاوت معنی‌داری است.**

ns, ** and *: non-significant, and significant at p≤0.01 and p≤0.05, respectively

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار اسیدهیومیک بر صفات کمی و کیفی میوه کدوی تابستانه تحت سطوح مختلف آبیاری

Table 4. Mean comparison of the interaction effects of humic acid application and irrigation regimes on fruit quantitative and qualitative characteristics of summer squash

Experimental treatments		Fruit number per plant	Yield (g per plant)	Fruit firmness (kg cm^{-2})	Total soluble solids (°Brix)	Titratable acidity (%)
Irrigation levels (ETc%)	Humic Acid (mg L^{-1})					
100	0	6.3 ^{c}	2159.5 ^{c}	2.33 ^{bcd}	1.31 ^{g}	0.434 ^{g}
	150	6.8 ^{b}	2352.8 ^{b}	2.56 ^{ab}	1.53 ^{f}	0.578 ^{f}
	300	8.1 ^{a}	2636.0 ^{a}	2.7 ^{a}	1.76 ^{e}	0.619 ^{e}
80	0	4.5 ^{e}	1158.6 ^{e}	2.13 ^{de}	1.83 ^{e}	0.678 ^{d}
	150	5.2 ^{d}	1289.8 ^{e}	2.3 ^{cd}	2.53 ^{c}	0.690 ^{d}
	300	6.2 ^{c}	1495.1 ^{d}	2.4 ^{bc}	2.80 ^{b}	0.720 ^{c}
60	0	3.3 ^{g}	969.2 ^{g}	2.03 ^{e}	2.33 ^{d}	0.796 ^{a}
	150	3.8 ^{f}	1147.0 ^{f}	2.03 ^{e}	2.86 ^{b}	0.728 ^{bc}
	300	4.1 ^{f}	1158.6 ^{f}	2.1 ^{de}	3.46 ^{a}	0.747 ^{b}

میانگین صفاتی که حروف مشترک دارند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

The means of the traits that have common letters do not have a significant difference at the 5% level of Duncan's test.

سفتی بافت میوه

تنش کم‌آبیاری باعث کاهش سفتی بافت میوه شد و کاربرد برگی اسیدهیومیک، سفتی بافت میوه کدوی تابستانه را در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری بهبود بخشید. حداکثر سفتی بافت میوه (۲/۷ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد با کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک حاصل شد (جدول ۴). نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات پیشین تطابق دارد. در آزمایشی روی گیاه خیار گزارش شد که تنش کمبود آب (۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) تأثیر منفی بر سفتی بافت میوه داشت و میوه‌های با بافت سفت‌تر در تیمار آبیاری شاهد به دست آمد (Barzegar *et al.*, 2024).

سفتی بافت میوه، عاملی تعیین‌کننده در ماندگاری میوه است. تنش کم‌آبی باعث تسریع مسیر سنتز اتیلن از طریق افزایش میزان فعالیت mRNA مربوط به ACC سنتتاز می‌شود و اتیلن تولیدشده بر ژن‌های کدکننده آنزیم سلولاز تأثیر می‌گذارد و باعث افزایش تولید آن می‌شود. افزایش سنتز آنزیم سلولاز منجر به کاهش سفتی بافت می‌گردد (Amin *et al.*, 2009).

صادقی چاه‌نصیر و همکاران (Sadeghi Chah-Nasir *et al.*, 2023) گزارش کردند محلول‌پاشی تیمارهای مختلف اسیدهیومیک به‌طور معنی‌داری بر سفتی بافت میوه گوجه-فرنگی تأثیر گذاشت. بر این اساس، حداکثر و حداقل مقادیر سفتی میوه به‌ترتیب مربوط به تیمارهای ۳ گرم در لیتر اسیدهیومیک (۴/۴۶ کیلوگرم در سانتی‌مترمربع) و شاهد (۳/۲۱ کیلوگرم در سانتی‌مترمربع) بود. احتمالاً نقش اسیدهای آلی در بهبود ویژگی‌های کیفی میوه‌ها ناشی از اثرات مثبت آن‌ها بر جذب و انتقال مواد مغذی مانند کلسیم و پتاسیم و همچنین افزایش محتوای کلروفیل و راندمان فتوسنتز است.

مواد جامد محلول کل، اسید کل و شاخص طعم

نتایج آزمایش نشان داد که تنش کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر افزایش مواد جامد محلول کل و اسید کل میوه داشت؛ به‌طوری که میزان مواد جامد محلول کل از ۱/۳۱ درجه بریکس در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد به ۲/۳۳ درجه بریکس در آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش یافت (جدول‌های ۳ و ۴). اثر متقابل محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سطوح مختلف آبیاری نیز بر میزان مواد جامد محلول و اسید کل میوه معنی‌دار بود؛ به‌طوری که بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۳/۴۶ درجه بریکس) با کاربرد اسیدهیومیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، در تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های مالولکه و همکاران (Maluleke *et al.*, 2021) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که محتوای کل قندهای محلول در میوه خیار شاخ‌دار آفریقایی تحت شرایط تنش آبی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین گزارش شد که میزان مواد جامد محلول کل در میوه گوجه‌فرنگی با افزایش شدت تنش آبی به‌صورت خطی افزایش یافت (Alordzinu *et al.*, 2022).

با توجه به نتایج (جدول ۵)، تیمارهای آبیاری و اسیدهیومیک و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد

($P\leq0.01$) تأثیر معنی‌داری بر شاخص طعم میوه داشتند. تنش کم‌آبیاری باعث افزایش قابل توجه شاخص طعم میوه شد. کاربرد برگی اسیدهیومیک در شرایط تنش کم‌آبیاری، شاخص طعم میوه را بهبود بخشید. حداکثر شاخص طعم میوه (۴/۶۳) در میوه‌های حاصل از گیاهان تیمارشده با ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک تحت شرایط تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ۶).

اسیدها جزو ترکیبات مهم در ایجاد طعم میوه‌ها محسوب می‌شوند. مقادیر مواد جامد محلول کل نیز به‌عنوان درصدی از وزن تر، ارتباط بسیار نزدیکی با مقادیر قند کل نشان می‌دهد و به‌عنوان مشخصه کیفی مهمی در نظر گرفته می‌شود. گزارش شده است که اعمال تنش کم‌آبیاری در گیاه فیسالیس به‌طور معنی‌داری اسید کل میوه را کاهش و مواد جامد محلول کل را افزایش داد و کاربرد خاکی اسیدهیومیک منجر به افزایش هر دو صفت کیفی میوه شد (Mousavi *et al.*, 2023). کاربرد اسیدهیومیک، محتوای ویتامین ث، اسید قابل تیتراسیون و مواد جامد کل را در میوه فلفل افزایش داد (Ibrahim *et al.*, 2019). همچنین گزارش شد که محلول‌پاشی برگی اسیدهیومیک در مقایسه با تیمار شاهد، محتوای کل قند میوه فلفل سبز را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Denre *et al.*, 2013). به نظر می‌رسد اسیدهیومیک از طریق افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی ضروری و ارتقای مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، نقش مؤثری در بهبود ویژگی‌های کیفی محصولات باغی و زراعی ایفا می‌کند. کاربرد اسیدهیومیک به دلیل افزایش فتوسنتز و تولید هیدرات‌های کربن، تحمل گیاه را به شرایط تنش افزایش می‌دهد (Haghighi *et al.*, 2012). با توجه به اینکه فعالیت فتوسنتزی با کاربرد مواد هیومیکی افزایش می‌یابد، فعالیت فتوسنتزی بیشتر می‌تواند سبب افزایش مقدار مواد جامد محلول میوه شود. توزیع مواد هیدروکربنی به‌طور مستقیم تحت تأثیر تنش‌هایی نظیر کمبود آب و به‌طور غیرمستقیم تحت تأثیر هورمون‌های گیاهی قرار می‌گیرد. این احتمال وجود دارد که زمان استفاده از کودهای آلی مانند اسیدهیومیک برای حفظ نسبت کربن به نیتروژن در گیاهان، کربن اضافی برای تولید اسیدهای آلی مانند اسیدسیتریک و اسیدمالیک که مسئول اسیدیته میوه هستند، استفاده شده باشد (Ibrahim *et al.*, 2019).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی سطوح آبیاری، محلول‌پاشی اسیدهیومیک و اثر متقابل آن‌ها بر صفات کیفی میوه کدوی تابستانه

Table 5. Analysis of variance for the effects of irrigation levels, humic acid foliar application, and their interaction on qualitative traits of summer squash fruit

S.O.V.	Df	Taste index	Vitamin C	Total phenol	Flavonoid	Antioxidant capacity
Replication	2	0.006	0.007	0.007	0.02	13.62
Irrigation	2	2.19**	2.23**	0.38**	2.13**	1084.4**
Main plot error	4	0.07	0.008	0.01	0.02	4.13
Humic Acid	2	1.84**	1.88**	0.59**	1.01**	220.8**
Irrigation×HumicAcid	4	0.83**	0.33*	0.07**	0.12**	57.2**
Subplot error	12	0.02	0.006	0.002	0.02	1.62
C.V(%)	-	9.6	8.7	2.8	9.4	9.44

***، ** به‌ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و ns عدم تفاوت معنی‌داری است.**

ns, ** and *: non-significant, and significant at p≤0.01 and p≤0.05, respectively

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر تیمار اسیدهیومیک بر صفات کیفی میوه کدوی تحت سطوح مختلف آبیاری

Table 6. Mean comparison of the interaction effects of humic acid application on qualitative characteristics of summer squash fruit under different irrigation regimes

Experimental treatments		Taste index	Vitamin C (mg 100ml^{-1})	Total phenol (mg GAE 100g^{-1} FW)	Flavonoid (mg QE 100g^{-1} FW)	Antioxidant capacity (%)
Irrigation levels (ETc%)	Humic Acid (mg.L^{-1})					
100	0	3.04 ^{c}	0.78 ^{c}	1.66 ^{e}	0.66 ^{e}	43.4 ^{g}
	150	2.66 ^{d}	1.19 ^{b}	1.83 ^{d}	1.03 ^{d}	57.8 ^{f}
	300	2.85 ^{cd}	2.38 ^{a}	1.83 ^{d}	1.33 ^{c}	61.9 ^{e}

Experimental treatments		Taste index	Vitamin C (mg 100ml^{-1})	Total phenol (mg GAE 100g^{-1} FW)	Flavonoid (mg QE 100g^{-1} FW)	Antioxidant capacity (%)
Irrigation levels (ETc%)	Humic Acid (mg.L^{-1})					
80	0	2.7 ^{cd}	0.49 ^{c}	1.83 ^{d}	1.53 ^{c}	67.8 ^{d}
	150	3.66 ^{b}	0.9 ^{c}	2.03 ^{c}	1.8 ^{c}	69.06 ^{d}
	300	3.88 ^{b}	1.09 ^{b}	2.03 ^{c}	1.83 ^{b}	72 ^{c}
60	0	2.933 ^{cd}	0.23 ^{c}	1.95 ^{cd}	1.4 ^{c}	72.8 ^{bc}
	150	3.93 ^{b}	0.42 ^{c}	2.23 ^{b}	1.96 ^{b}	74.7 ^{b}
	300	4.63 ^{a}	1.34 ^{b}	2.36 ^{a}	2.06 ^{a}	79.6 ^{a}

میانگین صفاتی که حروف مشترک دارند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

The means of the traits that have common letters do not have a significant difference at the 5% level of Duncan's test.

ویتامین ث

در اثر تنش کم‌آبیاری، محتوای ویتامین ث میوه کدو کاهش یافت و برعکس، کاربرد برگی اسیدهیومیک، به‌خصوص در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، محتوای ویتامین ث میوه را در شرایط آبیاری نرمال و شرایط تنش کم‌آبی بهبود بخشید. با توجه به نتایج اثرات متقابل (جدول ۶)، حداکثر مقدار ویتامین ث (۲/۳۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک تحت آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد. نتایج مطالعات پیشین نشان داد که با کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، میزان اسیدآسکوربیک در میوه فیسالیس به میزان ۳۶/۱ درصد کاهش یافت (Khani *et al.*, 2025). نتایج پژوهش‌های انجام‌شده روی فیسالیس (Mousavi *et al.*, 2023) و خربزه (Sharma *et al.*, 2014) نشان داد که کم‌آبیاری سبب کاهش قابل توجه غلظت ویتامین ث می‌شود. این کاهش را می‌توان به افزایش شدت تنفس در اثر تنش کم‌آبی نسبت داد؛ به‌طوری که با افزایش دمای بافت و نیاز متابولیکی گیاه، اسیدهای آلی به‌عنوان سوبستراهای تنفسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نتیجه، کاهش ذخایر اسیدهای آلی موجب افت اسیدیته کل و در نهایت، کاهش محتوای ویتامین ث میوه می‌شود (Sharma *et al.*, 2014). محتوای ویتامین ث در غلظت بالای اسیدهیومیک بالاترین مقدار را داشت که با مشاهدات ابراهیم و همکاران (Ibrahim *et al.*, 2019) که گزارش دادند استفاده از مواد هیومیکی باعث بهبود محتوای ویتامین ث میوه فلفل دلمه‌ای می‌شود، مطابقت دارد. همچنین گزارش شد محتوای ویتامین ث میوه گوجه-فرنگی در اثر محلول‌پاشی اسیدهیومیک و اسیدهای آمینه، افزایش معنی‌داری نشان داد (Sadeghi Chah-Nasir *et al.*, 2023). احتمالاً نقش اسیدهای آلی در بهبود ویژگی‌های کیفی میوه‌ها ناشی از اثرات مثبت آن‌ها بر جذب و انتقال مواد مغذی و همچنین افزایش محتوای کلروفیل و راندمان فتوسنتز است. همچنین اسیدهیومیک باعث افزایش جذب و راندمان مواد مغذی و جذب پتاسیم، نیتروژن، منیزیم، کلسیم و فسفر شده است. گزارش شد کاربرد اسیدهیومیک، محتوای میوه فیسالیس را در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری بهبود بخشید؛ به‌طوری که بیشترین مقدار ویتامین ث (۱۹/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در میوه گیاهان تیمارشده با اسیدهیومیک ۳ کیلوگرم در هکتار، تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (Mousavi *et al.*, 2023).

محتوای فنل کل و فلاونوئید

اعمال تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری میزان فنل کل و فلانوئید میوه را افزایش داد و بیشترین مقدار فنل کل و فلاونوئید در تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول ۶). محلول‌پاشی اسیدهیومیک نیز بر میزان فنل کل و فلاونوئید تأثیر معنی‌داری داشت و باعث بهبود محتوای فنل و فلاونوئید میوه در شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری شد (جدول ۶). اثر متقابل آبیاری و اسیدهیومیک نیز بر این صفات معنی‌دار بود و بیشترین میزان فنل کل (۲/۳۶ میلی‌گرم گالیک‌اسید در ۱۰۰ گرم وزن تر) و فلاونوئید (۲/۰۶ میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر) در آبیاری ۶۰ درصد و محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک یافت شد (جدول ۶). مشابه نتایج پژوهش حاضر، افزایش محتوای فنل کل و فلاونوئید در میوه خیار در اثر تنش کم‌آبیاری گزارش شد (Barzegar *et al.*, 2024). به‌طور مشابه، گزارش شد محتوای فنل کل در کدو (*Cucurbita pepo* L.) تحت شرایط تنش آبی افزایش یافت (Vaishya *et al.*, 2026).

تنش کم‌آبی با برهم زدن تعادل متابولیکی سلول، موجب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، ازجمله آنیون

سوپراکسید و رادیکال هیدروکسیل می‌شود. تجمع این ترکیبات می‌تواند منجر به تنش اکسیداتیو و آسیب به اجزای سلولی شود. در پاسخ به این شرایط، گیاهان با فعال‌سازی سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی خود، شامل ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی، از سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Bernstein *et al.*, 2010). ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی از مهم‌ترین اجزای غیرآنزیمی این سیستم دفاعی هستند که سنتز آن‌ها معمولاً در شرایط تنش افزایش می‌یابد؛ بنابراین، افزایش محتوای فنل کل و فلاونوئیدها در شرایط تنش کم‌آبی را می‌توان به‌عنوان سازوکار دفاعی گیاه برای مقابله با تنش اکسیداتیو تفسیر کرد (Barbagallo *et al.*, 2012). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که اسیدهیومیک محتوای ترکیبات فنلی میوه کدو را در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری افزایش داد که با نتایج حاصل در میوه فیسالیس (Mousavi *et al.*, 2023) همخوانی دارد. ترکیباتی که مرتبط با مسیر شیکمیک هستند (آلکالوئیدها، فنل‌ها و توکوفرول‌ها)، به‌وسیله مواد هیومیکی تحریک می‌شوند (Schiavon *et al.*, 2010). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که مواد هیومیکی باعث بیان ژن‌های مربوط به آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز می‌شود که آنزیمی کلیدی در بیوسنتز ترکیبات فنلی است (Canellas *et al.*, 2015).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه

سطوح آبیاری به‌طور معنی‌داری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تأثیرگذار بود و با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه افزایش یافت (جدول‌های ۵ و ۶). محلول‌پاشی اسیدهیومیک نیز بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر معنی‌داری داشت. حداکثر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۷۹/۶ درصد) در محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک تحت تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ۶).

به‌خوبی مشخص شده است که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط نزدیکی با حضور ترکیبات مؤثر در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن، ازجمله ترکیبات فنلی، اسیدآسکوربیک (ویتامین ث)، کاروتنوئیدها و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز دارد (Martinez *et al.*, 2021). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای فنل کل و فلاونوئیدها با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گزارش شده است که نشان‌دهنده نقش مؤثر این ترکیبات در افزایش توان آنتی‌اکسیدانی گیاهان است (Barbagallo *et al.*, 2012). در پژوهش حاضر، کاربرد اسیدهیومیک موجب افزایش محتوای ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و ویتامین ث شد که در نتیجه آن، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه نیز افزایش یافت. این اثر احتمالاً ناشی از نقش اسیدهیومیک در بهبود جذب عناصر غذایی، تحریک فعالیت‌های متابولیکی و تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه است. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های برزگر و همکاران (Barzegar et al, 2016) در بامیه و موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2023) در فیسالیس مطابقت دارد. این پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد اسیدهیومیک، چه در شرایط آبیاری مطلوب و چه تحت تنش خشکی، با افزایش تجمع ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی، ازجمله ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و اسیدآسکوربیک، موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه و کاهش آثار تنش اکسیداتیو گردید.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش تعداد میوه، عملکرد و برخی شاخص‌های کیفی نظیر ویتامین ث و سفتی بافت میوه کدوی تابستانه شد؛ اما باعث افزایش برخی ویژگی‌های کیفی شامل مواد جامد محلول، شاخص طعم، ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گردید. محلول‌پاشی اسیدهیومیک، به‌ویژه در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، توانست اثرات نامطلوب تنش کم‌آبیاری را تا حد زیادی کاهش و با بهبود عملکرد و کیفیت میوه، تحمل گیاه به شرایط محدودیت رطوبتی را افزایش دهد. به نظر می‌رسد اسیدهیومیک از طریق بهبود وضعیت تغذیه‌ای، افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، نقش مؤثری در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی ایفا می‌کند؛ بنابراین، محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک را می‌توان به‌عنوان راهکار مدیریتی مؤثر، اقتصادی و سازگار با محیط‌زیست برای بهبود عملکرد و کیفیت میوه در کشت کدوی تابستانه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، توصیه کرد. با این حال، انجام پژوهش‌های تکمیلی در شرایط اقلیمی مختلف و بررسی سازوکارهای فیزیولوژیکی و مولکولی اثر اسیدهیومیک می‌تواند به درک بهتر نحوه عملکرد این ترکیب و بهینه‌سازی کاربرد آن در تولید پایدار کدوی تابستانه کمک کند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

References

Alordzinu, K. E., Appiah, S.A., Al Aasmi, A., Darko, R.O., Li, J., Lan, Y., Adjibolosoo, D., Lian, C., Wang, H., Qiao, S., and Liao, J., 2022. Evaluating the influence of deficit irrigation on fruit yield and quality indices of tomatoes grown in sandy loam and silty loam soils. Water. 14, 1753. https://doi.org/10.3390/w14111753

Al-Zebari, P.J., and Sarhan, T.Z., 2019. Effect of licorice root extract and humic acid on yield characters of summer squash (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Duhok University. 22(2), 49-60.

Amin, B., Mahleghah, G., Mahmood, H.M.R., and Hossein, M., 2009. Evaluation of interaction effect of drought stress with ascorbate and salicylic acid on some of physiological and biochemical parameters in okra (*Hibiscus esculentus* L.). Research Journal of Biological Sciences. 4(4), 380-387.

Anjum, S.A., Ashraf, U., Zohaib, A., Tanveer, M., Naeem, M., Ali I., Nazir U., and Tabassum T., 2017. Growth and developmental responses of crop plants under drought stress: a review. Zemdirbyste-Agriculture. 104(3), 267–276. DOI: 10.13080/z-a.2017.104.034

AOAC. 2000. Official method of analysis of the association of official analytical chemists. Washington D.C. 12, 377-378.

Aslani, S., Barzegar, T., and Nikbakht, J. 2019. Effect of foliar application of humic acid on growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon pimpinellifolium* (L.) Mill) under deficit irrigation stress. Plant Process and Function. 8 (32), 69-84 http://jispp.iut.ac.ir/article-1-851-fa.html [In Persian with English Abstract].

Barbagallo, R.N., Chisari, M., and Patane, C., 2012. Polyphenol oxidase total phenolics and ascorbic acid changes during storage of minimally processed 'California Wonder' and 'Quadrato d'Asti' sweet peppers. LWT-Food Science and Technology. 49(2), 192-196.

Barzegar, T., Ghoreyshi, S.M., Nekounam, F., Nikbakht, J., and Ghashghaie J., 2024. Growth, yield, and physiological responses of cucumber (Kish F1 Hybrid) grafted onto African horned cucumber (*Cucumis metuliferus* L.) rootstock under deficit irrigation stress. Russian Journal of Plant Physiology. 71, 141. https://doi.org/10.1134/S1021443724607092

Barzegar, T., Moradi, P., Nikbakht, J., and Ghahremani, Z., 2016. Physiological response of okra cv. Kano to foliar application of putrescine and humic acid under water deficit stress. International Journal of Horticultural Science and Technology. 3(2), 187-197. https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.213448.147

Bernstein, N., Shoresh, M., Xu, Y., and Huang, B., 2010. Involvement of the plant antioxidative response in the differential growth sensitivity to salinity of leaves vs roots during cell development. Free Radical Biology and Medicine. 49(7), 1161-1171. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.06.032

Bharambe, K.P., Shimizu, Y., Kantoush, S.A., Sumi, T., and Saber, M., 2023. Impacts of climate change on drought and its consequences on the agricultural crop under worst-case scenario over the Godavari River Basin, India. Climate Services. 32, 100415. https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100415

Canellas, L.P., Silva, S.F., Olk, D.C., and Olivares, F.L., 2015. Foliar application of plant growth-promoting bacteria and humic acid increase maize yields. Journal of Food, Agriculture and Environment. 13, 131-138.

Dada, O.A., and Ogunsesu, Y.O., 2016. Growth analysis and fruit yield of Capsicum chinense, Jacquin as influenced by compost applied as foliar spray and soil augmentation in Ibadan, southwestern Nigeria. Journal of Agriculture and Sustainability. 9(1), 83-103.

Dehghan, G. and Khoshkam, Z., 2012. Tin (II)-quercetin complex: Synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. Food Chemistry. 131, 422-427.

Denre, M., Bandopadhyay, P.K., Chakravarty, A., Pal, S., and Bhattacharya, A., 2013. Changes in some biochemical characteristics in response to foliar applications of chelator and micronutrients in green pungent pepper. Global Journal of Biotechnology and Biochemistry Research. 1(1), 71–81.

Falah, K.N.A., and Nasser, J.R.A., 2025. Response of growth, yield and quality indicators of three zucchini hybrids to bentonite amendment under irrigation regimes. Plant Science Today. 12(4), 1-6. https://doi.org/10.14719/pst.10355

Haghighi, M., Kafi, M., Fang, P., and Gui-Xiao, L., 2012. Humic acid decreased hazardous of cadmium toxicity on lettuce (*Lactuca sativa* L.). Vegetable Crops Research Bulletin. 72(1), 49-61. https://doi.org/10.2478/v10032-010-0005-z

Ibrahim, A., Abdel-Razzak, H., Wahb-Allah, M., Alenazi, M., Alsadon, A., and Dewir, Y.H., 2019. Improvement in growth, yield, and fruit quality of three red sweet pepper cultivars by foliar application of humic and salicylic acids. HortTechnology. 29(2), 170–178. https://doi.org/10.21273/HORTTECH04263-18

Ibrahim, E.A., Ebrahim, N.E.S., and Mohamed, G.Z. 2024. Mitigation of water stress in broccoli by soil application of humic acid. Scientific Reports. 14(1), 2765. https://doi.org/10.1038/s41598-024-53012-4.

Kaijv, M., Sheng, L., and Chao, C., 2006. Antioxidantion of flavonoids of Green Rhizome. Food Science. 27, 110-115.

Kamara, M.M., Ibrahim, K.M., Mansour, E., Kheir, A.M.S., Germoush, M.O., Abd El-Moneim, D., Motawei, M.I., Alhusays, A.Y., Farid, M.A., and Rehan, M., 2021. Combining ability and gene action controlling grain yield and its related traits in bread wheat under heat stress and normal conditions. Agronomy. 11, 1450.

Keller, J., and Bliesner, D., 1990. Sprinkler and trickle irrigation. Avi book, Co. Ltd., New York, USA.

Khani, A., Baezegar, T., Nikbakht, J., and Sabatino, L., 2025. Foliar application of K-silicate and L-cysteine enhances production, quality, and antioxidant activities of cape gooseberry fruits under drought conditions. Agronomy. 15, 675. https://doi.org/10.3390/agronomy15030675

Khoshmaram, F., and Arshad, M. 2016. Effect of foliar application of humic acid and zinc on yield of Early CH tomato cultivar. Proceeding of 9th Iranian Congress of Horticultural Sciences 25-28 January 2016, Shahid Chamran University Ahvaz, Iran, 1-4. [In Persian].

Maffia, A., Oliva, M., Marra, F., Mallamaci, C., Nardi, S., and Muscolo, A., 2025. Humic substances: Bridging ecology and agriculture for a greener future. Agronomy. 15, 410. https://doi.org/10.3390/agronomy15020410

Mahmood, N., Abbasi, N.A., Hafiz, I.A., Ali, I., and Zakia, S., 2017. Effect of bio stimulants on growth, yield and quality of bell pepper cv. Yolo Wonder. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 54(2), 311–317.

Maluleke, M.K., Moja, S.J., Nyathi, M., and Modise, D.M., 2021. Nutrient concentration of African horned cucumber (*Cucumis metuliferus* L.) fruit under different soil types, environments, and varying irrigation water levels. Horticulturae. 7, 76. https://doi.org/10.3390/horticulturae7040076

Martinez, C., Valenzuel, J.L., and Jamilena, M., 2021. Genetic and pre- and postharvest factors influencing the content of antioxidants in Cucurbit crops. Antioxidants. 10(6), 894. https://doi.org/10.3390/antiox10060894

Mousavi, S.A.H., Barzegar, T., Nekounam, F., Ghahremani, Z., and Nikbakht, J., 2023. Assessments of humic acid soil application and deficit irrigation on growth, fruit quality and water use efficiency of *physalis peruviana* L. Journal of Horticultural Science, 12(54), 1-11. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80428.1226. [In Persian].

Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., Bahtiyar, M., and Kucukoduk, M., 2018. The humic acid-induced changes in the water status, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense systems of wheat leaves with cadmium stress. Ecotoxicology and Environmental Safety. 155, 66–75. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.071

Rashad, A., Fekry, W.A., Wahdan, H., 2019. Influence of some squash cultivars and growth stimulants on flowering, yield and fruit quality at autumn–winter season under open field conditions. Journal of Productivity and Development. 24, 433–460.

Sadeghi Chah-Nasir, A., Aboutalebi Jahromi, A., Behrooznam, B., Hassanzadeh Khankahdani, H., and Ejraei, A. 2023. Effect of humic acid and amino acid foliar applications on the growth characteristics, yield, and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicom* L.). International Journal of Horticultural Science and Technology. 10(3), 309-318.

Schiavon, M., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vaccaro, S., Francioso, O., and Nardi, S., 2010. High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). Journal of Chemical Ecology. 36(6), 662-669.

Sharma S.P., Leskovar D.I., Crosby K.M., Volder A., and Ibrahim A.M.H., 2014. Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. Agricultural Water Management. 136, 75-85.

Singleton, V.L., and Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture. 16(3), 144-158.

Vaishya, S.K.U., Singh, D., Kumar, R., Panwar, S., Singh, P., Bahadur, A., Krishna, H., and Kumar, R., 2026. Effect of moisture stress on different cucurbits: a morpho physiological and biochemical perspective. Scientific Reports. 16, 7905. https://doi.org/10.1038/s41598-026-39230-y

Vaziri, Z.H., Salamat, A., Ansari, M., Masihi, M., Heydari, N., and Dehghani sanich, H., 2008. Evapotranspiration plant (water consumption guidelines for plants) (Translation). Publications of the National Committee of Irrigation and Drainage, printing, Tehran. [In Persian].