تأثیر اسید هیومیک بر رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و پاسخ‌های فیزیولوژیکی کدو تابستانه در شرایط تنش کم‌آبی

الهام قدیمی[۱]، طاهر برزگر[۱*]، جعفر نیکبخت[۲]، زهرا قهرمانی[۱]

[۱].گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

[۲].گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

[*]مسئول مکاتبه، رایانامه: tbarzegar@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۲

DOI: 10.30470/jsp.2026.2091395.1034

چکیده

تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین تهدیدها برای تولید جهانی محصولات کشاورزی و امنیت غذایی به شمار می‌رود، به‌ویژه در مورد محصولاتی مانند کدو تابستانه که نسبت به گرما، خشکی و سایر تنش‌های محیطی حساس هستند. این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و پاسخ‌های فیزیولوژیکی کدو تابستانه (*Cucurbita pepo* L.) تحت تنش کم‌آبی به‌صورت آزمایش مزرعه‌ای انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و سه غلظت اسید هیومیک (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری رشد رویشی، عملکرد کل میوه و کارایی مصرف آب را کاهش داد، در حالی که موجب افزایش تجمع پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد. محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌ویژه در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، اثرات منفی تنش خشکی را تعدیل کرده و موجب بهبود رشد، عملکرد و صفات فیزیولوژیکی گیاه شد. بیشترین سطح برگ (۹۶۹/۷۸ سانتی‌متر مربع)، عملکرد کل میوه (۳۲,۹۵۰ کیلوگرم در هکتار)، محتوای کلروفیل (۲/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کارایی مصرف آب (۸/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و شاخص پایداری غشاء (۸۴/۵ درصد) در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) همراه با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به دست آمد. در مقابل، بیشترین میزان پرولین (۹/۶۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و بالاترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در گیاهان تیمار شده با ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند راهکاری مؤثر برای بهبود رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و افزایش تحمل کدو تابستانه به تنش کم‌آبی باشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش کم آبی، عملکرد میوه، کارآیی مصرف آب

Effect of humic acid on growth, yield, water use efficiency and physiological responses of summer squash under water deficit stress

E. Ghadimi[1], T. Barzegar*[1], J. Nikbakht[2], Z. Ghahremani[1]

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
*Corresponding Author, Email: tbarzegar@znu.ac.ir
Received: June 2026 Accepted: Julay 2026
DOI: 10.30470/jsp.2026.2091395.1034

Extended Abstract

Aim

Summer squash (*Cucurbita pepo* L.) is a valuable vegetable crop, but its production is severely threatened by water deficit stress, particularly in arid and semi-arid regions like Iran. This stress disrupts various physiological and biochemical processes, leading to reduced growth and yield. The application of organic compounds, such as humic acid, has emerged as a promising strategy to mitigate the adverse effects of drought stress. Humic acid can improve soil structure, enhance water retention, and stimulate plant antioxidant defense systems. This study was therefore conducted to investigate the effects of foliar-applied humic acid on the growth, yield, water use efficiency (WUE), and physiological responses of summer squash (cv. Zucchino tondo chiaro di Nizza) under different levels of water deficit stress.

Materials and methods

The field experiment was carried out during the spring and summer of 2019 at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran. The study was conducted using a split-plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. Each experimental unit consisted of 6 plants. The main factor was irrigation level, which comprised three treatments: 100% (well-watered control), 80%, and 60% of the crop's water requirement (ETc). The sub-factor was the foliar application of humic acid (trade name Humax, containing 79% humic acid, 12% K_2O, and 12% fulvic acid) at three concentrations: 0 (control), 150, and 300 mg L^{-1}. Plants were grown using a drip-tape irrigation system, and the amount of water applied to each treatment was calculated based on the reference evapotranspiration (ET_0) using the FAO-Penman-Monteith equation, adjusted for crop coefficients and irrigation interval. The total water applied to the 100%, 80%, and 60% ETc treatments over the growing season was 4030, 3284, and 2583 m^3 ha^{-1}, respectively. Foliar humic acid applications were initiated with the appearance of the first female flowers and repeated twice more at 10-day intervals. At mid-season, leaf area was measured using a leaf area meter. At the end of the growing season, plant height and total fruit yield (kg ha^{-1}) were recorded. Water use efficiency (WUE) was calculated as the ratio of total fruit yield to total water applied. For physiological and biochemical analyses, leaf samples were collected to determine total chlorophyll content, leaf proline content, membrane stability index (MSI), and the activities of the antioxidant enzymes catalase (CAT) and peroxidase (POX). Total chlorophyll was extracted using 80% acetone and measured spectrophotometrically. Proline content was determined using the ninhydrin method. The membrane stability index was calculated based on electrolyte leakage measurements. Antioxidant enzyme activities were assayed using standard spectrophotometric methods. All collected data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS software, and mean comparisons were performed using Duncan's multiple range test at a 1% or 5% significance level.

Results

The results demonstrated that water deficit stress significantly affected all evaluated traits. Compared to the well-watered control (100% ETc), the 60% ETc treatment resulted in a significant reduction in plant height (by 22.9%) and leaf area

(by 51.8%). Conversely, leaf dry matter percentage increased under severe drought stress. The application of humic acid, particularly at 300 mg L^{-1}, significantly ameliorated these negative effects, leading to the highest single leaf area (969.78 cm^2) under well-watered conditions. Foliar humic acid application, however, did not significantly affect plant height. Fruit yield was severely reduced by water deficit. The 60% ETc treatment led to a 58% reduction in total yield compared to the 100% ETc treatment. However, humic acid application significantly enhanced yield across all irrigation levels. The maximum fruit yield (32950 kg ha^{-1}) was recorded for plants treated with 300 mg L^{-1} humic acid and irrigated at 100% ETc, while the minimum (12114.9 kg ha^{-1}) was observed in the 60% ETc treatment with no humic acid. Under the 80% and 60% ETc stress conditions, the application of 300 mg L^{-1} humic acid increased fruit yield by 27.2% and 33.3%, respectively, compared to the non-treated stressed plants. Water use efficiency followed a similar pattern, with the highest value (8.17 kg m^{-3}) observed in the 100% ETc + 300 mg L^{-1} humic acid treatment and the lowest (4.77 kg m^{-3}) in the 60% ETc + 0 mg L^{-1} humic acid treatment. Physiological and biochemical parameters also showed marked responses to both drought stress and humic acid application. Total chlorophyll content declined under drought stress, with the 60% ETc treatment showing a decrease compared to the control. However, humic acid application significantly increased chlorophyll content, especially under well-watered and moderate stress conditions. The maximum chlorophyll content (2.27 mg $100g^{-1}$ FW) was obtained with 300 mg L^{-1} humic acid under 100% ETc. Drought stress led to a significant accumulation of proline, an important osmotic regulator. Proline content increased by 45.5% under severe water deficit (60% ETc) compared to the control. Foliar application of humic acid further enhanced proline accumulation, with the highest level (9.68 mg g^{-1} FW) recorded in the 60% ETc + 300 mg L^{-1} humic acid treatment. Similarly, the membrane stability index (MSI) was significantly reduced by drought stress, decreasing from 77.05% in the control to 53.47% under 60% ETc. However, humic acid application, especially at 300 mg L^{-1}, effectively improved MSI under all irrigation levels, suggesting better membrane integrity and reduced electrolyte leakage. The activities of antioxidant enzymes, catalase (CAT) and peroxidase (POX), were significantly increased under drought stress, indicating an active plant defense response against oxidative damage. The application of humic acid further boosted the activities of these enzymes, particularly under severe stress conditions. The highest CAT activity (10.93 µmol H_2O_2 g^{-1} FW.Min^{-1}) was recorded in the 60% ETc + 300 mg L^{-1} humic acid treatment, while maximum POX activity was observed in plants treated with 300 mg L^{-1} humic acid under 60% and 80% ETc.

Conclusion

Based on the results of this study, it can be concluded that water deficit stress significantly impairs the vegetative growth and fruit yield of summer squash by disrupting key physiological processes such as chlorophyll synthesis and membrane stability. However, the foliar application of humic acid proved to be an effective strategy for mitigating the adverse effects of drought stress. The application of 300 mg L^{-1} humic acid was particularly effective. It enhanced the plant's antioxidant defense system (by increasing CAT and POX activity), improved osmotic adjustment (by increasing proline accumulation), and protected cellular membranes (by increasing MSI). These physiological improvements led to better leaf area maintenance, higher chlorophyll content, and ultimately, significantly improved fruit yield and water use efficiency under both moderate and severe water deficit conditions. Therefore, we recommend foliar application of 300 mg L^{-1} humic acid as a viable management practice to enhance the resilience, productivity, and water productivity of summer squash in regions facing water scarcity.

Keywords: Fruit yield, Proline, Water use efficiency, Water deficit

مقدمه

کدو تابستانه (*Cucurbita pepo* L.) که با نام کدو سبز نیز شناخته می‌شود، یکی از محصولات مهم سبزی‌های تابستانی متعلق به خانواده کدوییان است. این گیاه، چه به‌صورت پخته و چه تازه، برای مصرف‌کنندگان یک سبزی مطلوب محسوب می‌شود. حدود ۱۰۰ گرم از قسمت خوراکی آن حاوی مقدار مناسبی از ۳٤۰ میلی‌گرم پتاسیم، ۱۸ میلی‌گرم ویتامین ث، ۱۷ میلی‌گرم کلسیم، ۳۸ میلی‌گرم فسفر، ۱٤۰ واحد بین‌المللی ویتامین آ، ۱/٤ گرم پروتئین و ۳/۹ گرم کربوهیدرات است (Muthoni et al., 2025).

محصولات کدوها در طول رشد و نمو خود با تنش‌های غیرزیستی و زیستی متعددی مواجه می‌شوند. در میان تنش‌های غیرزیستی، کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل است که به شدت بر رشد و بهره‌وری گیاه تأثیر می‌گذارد. واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی به مراحل رشد و طول و شدت تنش بستگی دارد (Vaishya et al., 2026). هرگونه کمبود مقدار مورد نیاز آب آبیاری، به ویژه در مرحله بحرانی رشد محصول، می‌تواند باعث کاهش شدید عملکرد شود، حتی اگر سایر مواد مغذی مورد نیاز در مقادیر بهینه باقی بمانند. تنش‌های آبی طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های گیاهی را از مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گرفته تا تغییر بیان ژن، ایجاد می‌کنند که به نوبه خود منجر به کاهش رشد و بهره‌وری گیاه می‌شود (Bharambe et al., 2023). تنش کمبود آب با افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال در اندامک‌های مختلف سلولی باعث تنش اکسیداتیو می‌شود که بر پایداری غشاء و پراکسیداسیون لیپیدی تأثیر می‌گذارد و درنتیجه باعث افزایش نفوذپذیری غشاء و نشت یونی می‌شود. همچنین بر فرآیندهای مختلف بیولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند سنتز کلروفیل، فتوسنتز و متابولیسم کربن تأثیر منفی می‌گذارد (Sachdev et al., 2021). تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری میزان پرولین، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را افزایش و شاخص پایداری غشاء، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کاهو را کاهش داد (Khani et al., 2020). با بررسی اثر تنش کم‌آبی (۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه) در چند گونه کدو گزارش شد که کاهش شدید رشد و عملکرد فیزیولوژیکی در ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه رخ داد که نشان دهنده تنش شدید کمبود آب است (Vaishya et al., 2026). اعمال تنش کم‌آبیاری در گیاه بامیه، رشد و عملکرد میوه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Barzegar et al., 2016). در پژوهشی مشاهده شد که تنش کم‌آبیاری در هندوانه رقم چارلستون‌گری به‌طور معنی‌داری رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب را کاهش و درصد نشت یونی و محتوای پرولین را افزایش داد (Parkhideh et al., 2018).

استفاده از ترکیبات آلی مانند اسید هیومیک می‌تواند بسیاری از فرآیندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و منجر به بهبود رشد گیاهان شود. کاربرد اسید هیومیک برای افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته است (Ozfidan-Konakci et al., 2018). اسید هیومیک یک ترکیب پلیمری طبیعی آلی با وزن مولکولی بالا است که تحت تأثیر کاتالیزورهای غیرزیستی بر ترکیبات آلی مانند لیگنین‌ها به‌وجود می‌آید. در ساختار مولکولی این ترکیب آروماتیک، چند زنجیره اسید کربوکسیلیک و حلقه فنلی دارای گروه هیدروکسیل وجود دارد (Maffia et al., 2025). این ترکیب آلی دارای اثرات شبه هورمونی بر رشد و متابولیسم گیاهان است و استفاده از آن می‌تواند با افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدان و نیز افزایش فتوسنتز و تنفس، موجب افزایش رشد و همچنین، مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی گردد (Maffia et al., 2025). اسید هیومیک می تواند با بهبود ساختمان خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک به نگهداری آب در خاک کمک نموده و سبب بهبود جذب آب توسط گیاهان شود. این ویژگی سبب شده تا کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش کم‌آبی مورد توجه قرار بگیرد

(Ozfidan-Konakci et al., 2018). نتایج مطالعات نشان داده است که کاربرد اسید هیومیک، اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی را در گیاه فیسالیس کاهش داده و رشد و عملکرد میوه را در شرایط تنش کم‌آبی بهبود بخشید (Mousavi et al., 2023).

اسید هیومیک می‌تواند به‌طور مستقیم اثرات مثبتی بر رشد گیاه، افزایش رشد شاخه‌ها، افزایش رشد ریشه‌ها و جذب عناصر توسط گیاه داشته باشد. همچنین سازگار با طبیعت بوده، برای گیاه و محیط زیست خطرناک نیست (Haghighi et al., 2012). علی و همکاران (Ali et al., 2019) تأثیر مواد هیومیک و سطوح مختلف آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) را بر کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که بالاترین راندمان مصرف آب در گیاهان تحت تیمار مواد هیومیک و سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد.

با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک و بحران کمبود آب در ایران، مدیریت آبیاری در جهت استفاده بهینه از آب برای تولید محصولات کشاورزی ضروری است. از سوی دیگر قابلیت دسترسی به آب کافی از عوامل کلیدی تأثیرگذار در تولیدات گیاهان می‌باشد، این تغییرات به‌طور مستقیم رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر اسید هیومیک بر رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه کدو تابستانه دلمه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و روش اجرای آزمایش

این پژوهش در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (شش بوته در هر واحد آزمایشی) در بهار و تابستان 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 اسید هیومیک در سه سطح صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. اسید هیومیک مورد استفاده با نام تجاری هیومکس از شرکت Biotak Gh آمریکا حاوی ۷۹ درصد اسید هیومیک، ۱۲ درصد اکسید پتاسیم و ۱۲ درصد اسید فولویک بود. ویژگی‌های خاک محل آزمایش و آمار هواشناسی در طی فصل رشد به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	ماده آلی	کربنات کلسیم	نوع بافت
دسی‌زیمنس بر متر	-	درصد	میلی‌گرم بر کیلوگرم			درصد		-
۱/۱۲	۷/۲۷	۰/۸	٤/٦	۱٥٤	۱/۸	۱/۱۱	۱٤/۰۹	لوم‌رسی‌شنی

جدول ۲- مقادیر متوسط پارامترهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی کشاورزی دانشگاه زنجان در فصل زراعی ۹۸-۹۷

پارامترهای هواشناسی	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
رطوبت نسبی (درصد)	۳۳/۲	۳٤/۲	۳٤/٤	٤۰/٥
بارندگی (میلی‌متر)	٦/۲	۰/۰	۰/۱	۰/٥
درجه حرارت حداقل (°C)	۱۱/۸	۱٥/۳	۱٦/۱	۱۲/۲
درجه حرارت حداکثر (°C)	۲۹/۷	۳٥/۰	۳٤/٥	۳۰/۰

بذر کدو تابستانه دلمه‌ای رقم *Zucchino tondo chiaro di Nizza* (شکل ۱) از شرکت فردین کشت کرج خریداری شد. کشت به‌صورت مستقیم در زمین اصلی انجام گرفت. برای این کار زمین پس از شخم زدن، بلوک‌بندی شد. بذرها به‌صورت هیرم‌کاری با فاصله ۸۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها و فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر بین

ردیف‌ها در عمق سه سانتی‌متری در تاریخ شش خرداد ماه سال ۱۳۹۸ کشت شدند. آبیاری گیاهان به روش آبیاری قطره‌ای – نواری با توجه به شرایط آب و هوایی با دور آبیاری سه روز یک‌بار انجام شد. در طول فصل رشد عمل وجین علف‌های هرز به صورت دستی صورت گرفت.



شکل ۱- کدو تابستانه دلمه‌ای رقم *Zucchino tondo chiaro di Nizza*

اولین محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک با ظهور اولین گل‌های ماده در بوته‌ها، صورت گرفت و محلول‌پاشی‌های بعدی در دو مرحله با فاصله ۱۰ روز یک بار در طول دوره‌ی رشد گیاه انجام گرفت. تیمار گیاهان همزمان و در ساعات ۱۸ تا ۲۱ بعد از ظهر 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 آبیاری (تنش کم آبی) پس از اولین محلول‌پاشی آغاز شد. مقدار نیاز آب آبیاری تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) با استفاده از میانگین داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کشاورزی دانشگاه زنجان و رابطه‌ی استاندارد فائو-پنتمن محاسبه گردید (Vaziri et al., 2008). نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش کم‌آبی) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی در نظر گرفته شده (۸۰ و ۶۰ درصد) محاسبه گردید. پس از محاسبه مقادیر ET_c، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه کدو بر اساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (آبیاری قطره‌ای-نواری یا تیپ با فاصله خروجی‌های ۲۰ سانتی‌متر) و دور آبیاری برآورد شده (Keller and Bliesner, 1990) و سپس در هر نوبت آبیاری گیاه انجام گردید. در پایان آزمایش، مجموع آب داده شده به تیمارهای شاهد، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری به‌ترتیب ۴۰۳۰، ۳۲۸۴ و ۲۵۸۳ مترمکعب در هکتار بود.

صفات مورد ارزیابی

در اواسط فصل رشد به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ، از هر کرت پنج بوته را انتخاب نموده و از هر بوته برگ گره‌های پنج، شش و هفتم انتخاب و سطح برگ توسط دستگاه سنجش سطح برگ (مدل VM-900E/K) اندازه‌گیری و میانگین سطح تک برگ بر حسب سانتی‌متر مربع ثبت شد. در پایان فصل رشد، طول بوته برحسب سانتی‌متر برای هر واحد آزمایشی مشخص شد. در طول فصل رشد میوه‌های هر بوته برداشت و با ترازوی دیجیتال وزن شدند و عملکرد کل میوه به‌صورت کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

جهت محاسبه کارایی مصرف آب از رابطه ۱ استفاده شد. در این رابطه WUE کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار و W میزان آب مصرفی بر حسب مترمکعب است.

$$WUE=Y/W \quad \text{رابطه۱}$$

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل کل، ۰/۱ گرم از برگ وزن شد. سپس در یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس مخلوط حاصل در ۵۰۰۰ دور به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول روشناور با استون ۸۰ درصد رقیق شد و با استفاده از

دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SAFAS MONACO (RS 232) میزان جذب نمونه در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a و b قرائت گردید و در نهایت غلظت کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر از رابطه ۲ محاسبه گردید (Arnon, 1967). در این رابطه (V) بیانگر حجم نهایی عصاره کلروفیل در استون ۸۰ درصد، (W) وزن‌تر نمونه برحسب گرم و (A) جذب در طول‌موج مشخص می‌باشد.

رابطه۲
$$\text{کلروفیل کل} = [20.2(A645)+8.02(A63)] \times V/(W \times 1000)$$

محتوای پرولین برگ با استفاده از روش نین‌هیدرین اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1973). ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ تازه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد، همگن شده و عصاره به دست آمده صاف شد. دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر نین‌هیدرین به دو میلی‌لیتر از این عصاره صاف شده، اضافه شد. محلول به دست آمده به مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش درون یک بستر یخی قرار گرفتند و چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد. جذب محلول رویی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص پایداری غشای سلول، ۰/۱ گرم برگ با آب مقطر شسته شد و در لوله‌های حاوی ۲۰ میلی لیتر آب مقطر قرار داده شدند. لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ٤٠ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن با دستگاه هدایت سنج قرائت شد (EC_1). سپس لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن قرائت شد (EC_2). شاخص پایداری غشای سلولی با استفاده از رابطه‌ی ۳ به صورت درصد محاسبه شد (Sairam et al., 2002).

رابطه۳
$$MSI= (1-EC_1/EC_2)\times 100$$

برای تهیه عصاره آنزیمی، یک گرم نمونه گیاهی در پنج میلی‌لیتر بافر استخراج پتاسیم فسفات ۲۰۰ میلی‌مولار (pH=7) در هاون سابیده شد. تمام مراحل استخراج در یخ انجام گرفت. سپس عصاره‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. قسمت روشناور محلول به‌عنوان عصاره آنزیمی جدا و در فریز با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX) با استفاده از پیش ماده گایاکول اندازه‌گیری شد. افزایش جذب بر اساس میزان اکسید شدن گایاکول در طول‌موج ٤٧٠ نانومتر به مدت ۳ دقیقه بر حسب ($units.\ g^{-1}\ FW.min^{-1}$) به روش اسپکتروفتومتری (اسپکتروفتومتر JENWAY مدل UV-6505) در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (Chance and Maehly, 1955). برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) ابتدا دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول‌موج ٢٤٠ نانومتر و مدت زمان یک دقیقه و با فاصله زمانی پنج ثانیه تنظیم شد. برای قرائت نمونه‌ها از مخلوط واکنش با حجم نهایی ۲۹۳۰ میکرولیتر حاوی ۲۹۰۰ میکرولیتر بافر سدیم پتاسیم فسفات، ۱۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن و ۱۵ میکرولیتر عصاره آنزیمی برگ استفاده شد. تجزیه آب اکسیژنه با کاهش جذب در طول‌موج ٢٤٠ نانومتر تعیین و به ازای هر گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد (Cakmak and Horst, 1991).

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

نتایج و بحث

طول بوته، سطح برگ و وزن خشک برگ

تنش کم آبی به‌طور معنی‌داری طول بوته و سطح برگ را کاهش و وزن خشک برگ را افزایش داد. با توجه به نتایج، طول بوته در سطح آبیاری ٦٠ درصد، ٤٥ سانتی متر بود که نسبت به آبیاری ١٠٠ درصد، ٢٢/٩ درصد کاهش نشان داد. تیمارهای اسید هیومیک و اثر متقابل اسید هیومیک با سطوح آبیاری تأثیری بر طول بوته نداشت (جدول های ٣ و ٤).

اعمال تنش کم‌آبی شدید (٦٠ درصد نیاز آبی گیاه) سطح برگ گیاه را در مقاسه با آبیاری نرمال، ٥١/٨ درصد کاهش داد (جدول ٤). کاربرد اسید هیومیک سطح برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، به‌طوری که بیشترین میزان سطح برگ (٩٦٩/٧ سانتی متر مربع) در گیاهان تیمار شده با ٣٠٠ میلی گرم بر لیتر اسید هیومیک تحت آبیاری ١٠٠ درصد حاصل شد (جدول٤). تنش کم‌آبی و کاربرد اسید هیومیک، درصد وزن خشک برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. اثر متقابل اسید هیومیک و آبیاری نیز بر صفت درصد وزن خشک برگ معنی‌دار بود و بیشترین مقدار وزن خشک (٢٢/٨ درصد) در سطح تنش آبیاری ٦٠ درصد و تیمار ٣٠٠ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک مشاهده شد (جدول ٣ و ٤).

آب یکی از اجزای اصلی سلول‌های گیاهی است و کمبود آن تأثیر منفی بر رشد و بهره‌وری گیاه دارد و منجر به کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود، در نتیجه رشد گیاه و بهره‌وری کاهش می‌یابد (Khanna, 2024). در شرایط تنش کم آبی به‌علت کاهش آب قابل دسترس در ناحیه‌ی فعال ریشه، فرآیندهای فعال فیزیولوژیکی مرتبط با رشد دچار اختلال شده و در نتیجه طول بوته و سطح برگ کاهش می‌یابد (Mirabad et al., 2013). نتایج پژوهش حاضر با نتایج پرخیده و همکاران (Parkhide et al., 2018)، در گیاه هندوانه همخوانی دارد که با بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری (١٠٠، ٧٥ و ٥٠ درصد نیاز آبی گیاه) گزارش کردند تنش کم‌آبیاری سطح برگ و طول بوته را به‌طور معنی‌داری کاهش داد و کمترین سطح برگ و طول بوته در تنش کم‌آبیاری ٥٠ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. یکی از پاسخ‌های مهم گیاه به تنش خشکی، کاهش سطح برگ است. طویل شدن برگ‌ها به‌طور ویژه‌ای وابسته به تأمین رطوبت برای گیاه است و چون برگ اولین مکان تهیه‌ی منبع کربن و تولیدات فتوسنتز است و تأثیر قوی و مثبتی بر رشد و تجمع ماده خشک دارد، کمبود آب مانع از آن می‌شود که عملکرد بیولوژیک گیاه به حداکثر خود برسد. به عبارتی تنش کم آبی با کاهش سرعت رشد و سطح برگ و اثر منفی بر جذب دی اکسید کربن، سرعت فتوسنتز و در نهایت تجمع ماده خشک در واحد سطح را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (Anjum et al., 2017).

در گیاه خیار کاربرد مواد هیومیکی سطح برگ را افزایش داد (Boogar, 2014). افزایش سطح برگ در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک را می‌توان به نقش این ترکیب در تحریک رشد سلولی و بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نسبت داد. اسید هیومیک با داشتن اثرات شبه‌هورمونی، به‌ویژه مشابه اکسین، موجب تحریک تقسیم و طویل شدن سلول‌ها شده و در نتیجه گسترش سطح برگ را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری غشای سلولی، بهبود جذب و انتقال عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن، پتاسیم و منیزیم، و افزایش سنتز کلروفیل، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را ارتقا می‌دهد. افزایش تولید فتوسنتزکننده‌ها و تأمین بهتر انرژی مورد نیاز رشد، توسعه سطح برگ را تسهیل می‌کند. همچنین، در شرایط تنش کم‌آبی، اسید هیومیک از طریق بهبود وضعیت آبی گیاه، افزایش تنظیم اسمزی، حفظ تورژسانس سلولی و کاهش اثرات تنش اکسیداتیو، رشد برگ‌ها را حفظ کرده و از محدود شدن توسعه سطح برگ جلوگیری می‌کند (Farooq et al., 2012).

گیاهان تحت تنش کم‌آبیاری درصد ماده خشک بیشتری داشتند که احتمالاً این افزایش به‌علت تفاوت در ضخامت برگ یا ترکیب بافت برگ است. مطالعات نشان داده‌اند که با کاهش دسترسی گیاه به آب، میزان آب آزاد در بافت‌ها کاهش یافته و نسبت آب پیوندی افزایش

می‌یابد که در نهایت به افزایش درصد ماده خشک منجر می‌شود. از سوی دیگر، افزایش رطوبت نسبی موجب افزایش محتوای آب بافت‌ها می‌شود. این پاسخ احتمالاً ناشی از سازوکار تنظیم اسمزی و افزایش توان گیاه در حفظ وضعیت آبی سلول‌ها تحت شرایط تنش است (Farooq et al., 2012). همچنین، محلول‌پاشی گیاهان با اسید هیومیک می‌تواند با افزایش ترشح هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و جیبرلین، موجب افزایش رشد گیاه شده و با تعدیل اثرات منفی تنش‌های محیطی، موجب افزایش بیشتر شاخص‌های رویشی گردد (Jindo et al., 2020).

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار اسید هیومیک بر صفات رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب کدو تحت سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		طول بوته	سطح برگ	درصد وزن خشک برگ	عملکرد کل	کارایی مصرف آب
تکرار	۲	۳۳/۳۳	۸۹۰/۳۳	۰/۳۵	۱۰۰۷۲۲۵۸/۱	۰/۱۳۷
آبیاری	۲	۳۰۸/۳۳**	۸۲۷۹۶۴۷/۳۶**	۱۵/۷۹**	۶۰۴۳۰۲۷۰۶/۱**	۹/۹۴**
خطای کرت اصلی	٤	۱۶/۶۶	۵۵۱۷۲/۹۱	۰/۵۶	۱۲۵۷۰۴۱/۵	۰/۱۲۸
اسید هیومیک	۲	۳۶/۱۱^{ns}	۲۳۲۰۶۸۳**	۰/۲۱ *	۵۷۴۲۵۶۵۷/۹**	۵/۰۳۹**
آبیاری×اسید هیومیک	٤	۲/۷۷ ^{ns}	۲۵۲۱۷۳/۱۰**	۶/۱۹*	۵۲۲۱۴۳۳/۰۳**	۰/۳۷۳**
خطای کرت فرعی	۱۲	۱۸/۰۵	۲۵۹۲۰/۷۸	۱/۲۸	۸۰۰۲۶۶/۸	۰/۰۷۶
ضریب تغییرات	–	۷/۹	۶/۰۸	۵/۶	۹/۶	۸/۸

*,** به‌ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و ^{ns} عدم تفاوت معنی‌داری است.

جدول۴- مقایسه میانگین اثر تیمار اسید هیومیک بر صفات رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب کدو تحت سطوح مختلف آبیاری

تیمارهای آزمایشی		طول بوته	میانگین سطح تک برگ	وزن خشک برگ	عملکرد کل	کارایی مصرف آب
سطوح آبیاری (ETc %)	اسید هیومیک (میلی‌گرم بر لیتر)	سانتی‌متر	سانتی‌متر مربع	درصد	کیلوگرم بر هکتار	کیلوگرم بر مترمکعب
۱۰۰	۰	۵۸/۳^{a}	٦٤١/٤٠^{d}	۱۷/۳۰^{d}	۲٦۹۹٤/۷ ^{c}	٦/٦۹^{c}
	۱۵۰	٦۰^{a}	۸۲۹/۹٤^{b}	۱۹/۰۱^{cd}	۲۹٤۱۰/۷ ^{b}	۷/۲۹^{b}
	۳۰۰	٦۰^{a}	۹٦۹/۷۸ ^{a}	۲۰/۵۸^{bc}	۳۲۹۵۰ ^{a}	۸/۱۷^{a}
۸۰	۰	۵۰^{bc}	٤۷۲/۰۸^{ef}	۱۹/٤۵^{c}	۱٦۱۲۲/۸ ^{f}	٤/۹^{e}
	۱۵۰	۵۳/۳^{b}	۷۱۳/٦۱^{c}	۲۰/۲۲^{bc}	۱۸٦۸۹/۱ ^{e}	۵/٦۹^{d}
	۳۰۰	۵۵ ^{ab}	۵۳۹/۲٤^{e}	۲۰/۵۹^{bc}	۲۲۹٤۹/۵ ^{d}	٦/۹۸^{bc}
٦۰	۰	٤۵ ^{c}	۳۰۹/٤۱^{g}	۲۰/۸۱^{bc}	۱۲۱۱٤/۹ ^{g}	٤/۷۷^{e}
	۱۵۰	٤۸/۳^{bc}	٤۱۹/٦۲^{f}	۲۱/۱٦^{b}	۱٤۳۳۷/۵ ^{f}	۵/٦٤^{d}
	۳۰۰	۵۰^{bc}	٤۲۸/۱۳^{f}	۲۲/۸٤^{a}	۱٤٤۸۲/۹ ^{ef}	۵/۷^{d}

میانگین صفاتی که دارای حروف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن می‌باشند.

عملکرد کل میوه

اعمال تنش کم آبی به‌طور معنی‌داری عملکرد کل میوه را کاهش داد. با افزایش سطح محلول‌پاشی اسید هیومیک در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و تنش کم‌آبی، عملکرد کل میوه افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳ و ٤). اثر متقابل اسید هیومیک در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد کل معنی‌دار بود. بیشترین میزان عملکرد (۳۲۹۵۰ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد با کاربرد ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد و کمترین مقدار عملکرد (۱۲۱۱٤/۹ کیلوگرم در هکتار) در سطح صفر اسید هیومیک تحت تنش کم آبیاری ٦۰ درصد حاصل شد (جدول ٤). نتایج حاصل با نتایج برزگر و همکاران (Barzegar et al., 2024) همخوانی دارد. ایشان با بررسی تنش کم‌آبیاری (٦۰ درصد نیاز آبی گیاه) در گیاهان خیار پیوندی و غیرپیوندی گزارش کردند که تنش کم‌آبیاری با کاهش تعداد میوه منجر به

کاهش عملکرد بوته گردید. تنش ناشی از کمبود آب با کاهش رطوبت خاک در ناحیه ریشه، انتقال و جذب عناصر غذایی را محدود کرده و در نتیجه موجب کاهش رشد، توسعه اندام‌های هوایی و عملکرد گیاه می‌شود (Seleiman et al., 2021). همچنین مشابه نتایج پژوهش حاضر گزارش شد که اعمال تنش کم‌آبیاری (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) باعث کاهش معنی‌دار طول میوه، وزن میوه، عملکرد تک بوته، عملکرد زودرس و عملکرد کل کدو تابستانه در مقایسه با آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) گردید (Falah and Nasser, 2025). از آنجا که برای انجام فتوسنتز و تبادلات گازی، باز بودن روزنه‌ها ضروری است بنابراین در اثر کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها تبادلات گازی کاهش یافته، دی اکسیدکربن کمتری در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و شدت فتوسنتز کاهش می‌یابد. کاهش فتوسنتز منجر به کاهش رشد و عملکرد تولیدی در گیاه خواهد شد (Reddy et al., 2004). ال-زباری و شرحان (Al-Zebari and Sharhan, 2019) نشان دادند که کاربرد اسید هیومیک با آب آبیاری، تعداد میوه در هر بوته، میانگین وزن و طول میوه و عملکرد کل کدو تابستانه را افزایش داد. همچنین مطالعه دیگری نشان داد که افزودن اسید هیومیک باعث افزایش وزن تازه و خشک میوه‌های کدو و تعداد گل‌های ماده می‌شود (Esho and Saeed, 2017). بر اساس یک فرضیه اسید هیومیک، نفوذپذیری غشاهای سلولی را افزایش داده و از این طریق ورود پتاسیم را تسهیل می‌کند که نتیجه‌ی آن افزایش فشار داخلی سلول و تقسیم سلول است. از طرف دیگر افزایش انرژی در داخل سلول منجر به افزایش تولید کلروفیل و میزان فتوسنتز خواهد شد. به دنبال آن یک عامل مهم در رشد یعنی جذب نیتروژن به وسیله آنتی‌اکسیدان‌ها به درون سلول تشدید می‌شود و تولید رادیکال آزاد اکسیژن کاهش می‌یابد و این اثرات در نهایت منجر به افزایش تولید محصول می‌شود (Nurdin et al., 2014).

کارایی مصرف آب

با اعمال تنش کم آبی، کارایی مصرف آب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری که مقدار آن از ٦/٦٩ کیلوگرم بر متر مکعب در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به ٤/٧٧ کیلوگرم بر متر مکعب در سطح آبیاری ٦٠ درصد رسید (جدول٤). کاربرد برگی اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر کارآیی مصرف آب در کدو داشت (جدول ۳). با توجه به نتایج اثرات متقابل، بیشترین کارایی مصرف آب (۸/۱۷ کیلوگرم بر متر مکعب) در شرایط کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تحت آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد (جدول ٤).

صفت کارایی مصرف آب یکی از شاخص‌های کلیدی بوده که استفاده بهینه از آب برای تولید محصول را نشان می‌دهد. گیاهانی که با تنش خشکی روبه رو می‌شوند، قابلیت هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهند تا مانع از تلفات اساسی رطوبت از طریق تعرق شوند که در نتیجه فتوسنتز خالص را محدود می کند و این واکنش ممکن است منجر به بهبود راندمان مصرف آب شود (Nar et al., 2009). همسو با نتایج پژوهش حاضر، پرخیده و همکاران (Parkhide et al., 2018) گزارش کردند که اعمال تنش کم‌آبی (۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) در گیاهان هندوانه، کارایی مصرف آب را کاهش دادند. روشنیان و همکاران (Roshaniyan et al., 2025) گزارش کردند که با افزایش غلظت اسید هیومیک مصرفی، عملکرد فلفل دلمه‌ای افزایش و میزان آب مصرفی کاهش یافت و در نتیجه کارآیی مصرف آب افزایش یافت. استفاده از مواد آلی مانند اسید هیومیک یک راهبرد مهم در افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب گیاهان است. به نظر می‌رسد مقادیر مختلف اسید هیومیک، با بهبود رشد ریشه منجر به کاهش تلفات آب شده و موجب بهبود کارایی سطوح آبیاری مورد بررسی گردید (Kulkarni et al., 2014).

محتوای کلروفیل کل

با اعمال تنش کم آبی مقدار کلروفیل کل برگ کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌طوری که مقدار آن از ۱/۸۸

میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر برگ در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به۱/٦۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ در سطح آبیاری ٦۰ درصد کاهش یافت (جدول ٥ و ٦). کاربرد اسید هیومیک در شرایط سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد به‌طور معنی‌داری محتوای کلروفیل برگ را افزایش داد. با توجه به نتایج اثرات متقابل، بیشترین محتوای کلروفیل (۲/۲۷ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) با کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمد (جدول ٦).

میزان کلروفیل برگ در گیاهان حساس به تنش آبی یک شاخص مهم تنش است. رشد گیاهان کدو تابستانه تحت تنش کم‌آبی منجر به تأثیر منفی قابل توجهی بر صفات فیزیولوژیکی گیاه شد. مشخص شد که کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت تنش کم‌آبی با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مانند افزایش اکسیداسیون نوری کلروفیل و فعالیت آنزیم کلروفیلاز و همچنین مهار بیوسنتز کلروفیل، منجر به کاهش میزان کلروفیل می‌شود (Kapoor et al., 2020). کاهش مقدار کلروفیل در اثر تنش کم‌آبی در گیاهان خیار (Barzegar et al., 2024)، خربزه (Ansari et al., 2024) و کدوتنبل (Yasar et al., 2014) گزارش شده است.

مهم‌ترین آثار بیولوژیک اسید هیومیک بر گیاه شامل تحریک تجمع زیست توده در گیاهان، تحریک تجمع نیتروژن و جذب عناصر غذایی معدنی می‌باشد. افزایش محتوای کلروفیل کل برگ وابسته به تسریع جذب نیتروژن، افزایش متابولیسم نیتروژن و تولید پروتئین به وسیله اسید هیومیک می‌باشد (Haghigh et al., 2012). در بین عناصر غذایی، نیتروژن سهم مهمی در افزایش سبزینه گیاه دارد. با فعال شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، کلروفیل‌سازی افزایش یافته و در پی آن بهبود فرآیند فتوسنتز در مقایسه با شاهد اتفاق می‌افتد (Ebrahimi and Karbask, 2016). روشنیان و همکاران (Roshaniyan et al., 2025) همسو با نتایج پژوهش حاضر گزارش کردند که محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ گیاه فلفل دلمه‌ای با افزایش مقدار اسید هیومیک مصرفی و سطوح آبیاری به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت و تنش کم‌آبی باعث کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. همچنین گزارش شد که کاربرد اسید هیومیک در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری، محتوای کلروفیل برگ را بهبود بخشید (Mousavi et al., 2023).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار اسید هیومیک بر صفات رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب کدو تحت سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل کل	پرولین	شاخص پایداری غشاء	پراکسیداز	کاتالاز
تکرار	۲	۰/۰۰۱	۰/۲۹	۱۵/۸۲	۱/۲۰	۱/۷٦
آبیاری	۲	۰/٤۸**	۳۰/٦۷**	۷۹٦/۳۳**	۰/۵۷*	۵۸/۷۵**
خطای کرت اصلی	٤	۰/۰۰٤	۰/۷۱	٤۰/۰۸	۱/۳۰	۰/۸۹
اسید هیومیک	۲	۰/۰۰۷*	۷/۰۲**	۲۰/۷۱*	۱/۵۹^{ns}	۱۰/۵۱^{ns}
آبیاری × اسید هیومیک	٤	۰/۰٦**	٤/۰۳**	۱۳۲/۳۵**	۱/۳۳*	۲۰/٦۷**
خطای کرت فرعی	۱۲	۰/۰۰۳	۰/٦۰	٤/۵۷	۱/۳۲	۳/۱٤
ضریب تغییرات	-	۳/۲	۱۳/۳	۳/۱	٤/۹	۳/٦

*، ** به‌ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و ^{ns} عدم تفاوت معنی‌داری است

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تیمار اسید هیومیک بر صفات رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب کدو تحت سطوح مختلف آبیاری

تیمارهای آزمایشی	کلروفیل	پرولین	شاخص پایداری غشاء	پراکسیداز	کاتالاز

سطح آبیاری (ETc %)	اسید هیومیک (میلی‌گرم بر لیتر)					
	۰	۱/۸۸^{c}	۳/٤٦^{e}	۷۷/۰۵^{b}	۰/۳۵^{c}	۲/۳۰^{d}
۱۰۰	۱۵۰	۲/۰۱^{b}	۳/۷۹^{e}	۷۸/٦۹^{b}	۰/۳۱^{c}	۱/۹۱^{d}
	۳۰۰	۲/۲۷^{a}	٤/٤۲^{de}	۸٤/۵۲^{a}	۰/۳۸^{c}	۱/۸٤^{d}
	۰	۱/٦۵^{ef}	۵/۲٦^{cd}	٦۳/۹٤^{cd}	۰/۵۱^{b}	٤/۰٦ ^{cd}
۸۰	۱۵۰	۱/۷۵^{d}	۵/۳۷^{cd}	٦۵/۲۸^{cd}	۰/٦۵^{ab}	٤/۰۹ ^{cd}
	۳۰۰	۱/۷۷^{d}	۷/۳۸^{b}	۷۰/٤۰^{bc}	۰/۷۵^{a}	۷/۸۱^{b}
	۰	۱/۵۵^{f}	٦/۳۵^{bc}	۵۳/٤۷^{e}	۰/۵٤^{b}	۵/۳۳^{c}
٦۰	۱۵۰	۱/٦۳^{ef}	٦/٦۷^{bc}	٦۰/۸۸^{d}	۰/۷۱^{a}	٦/٤۲^{bc}
	۳۰۰	۱/٦٤^{ef}	۹/٦۸^{a}	٦۳/۲۹^{cd}	۰/۷۵^{a}	۱۰/۹۳^{a}

کلروفیل: (mg 100g^{-1} FW)، پرولین: (mg g^{-1} FW)، شاخص پایداری غشاء: درصد، پراکسیداز: (units.g^{-1} FW.Min^{-1})، کاتالاز: (μmol H_2O_2 g^{-1} FW.Min^{-1}). (میانگین صفاتی که دارای حروف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن می‌باشند).

محتوای پرولین برگ

با افزایش تنش کم آبی، مقدار پرولین برگ افزایش یافت. به‌طوریکه تنش آبیاری ٦۰ درصد در مقایسه با آبیاری شاهد، موجب افزایش ٤۵/۵ درصدی محتوای پرولین برگ شد. همچنین کاربرد اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری مقدار پرولین برگ را افزایش داد. با توجه به نتایج اثرات متقابل، بیشترین مقدار پرولین (mg g^{-1} FW ۹/٦۸) در گیاهان تحت تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط آبیاری ٦۰ درصد حاصل شد (جدول ۵ و ٦).

پرولین آزاد یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌ها است که تجمع آن یک پاسخ فیزیولوژیکی رایج به تنش خشکی در گیاهان عالی است و احتمالاً با تنظیم اسمزی و پایداری غشا در شرایط تنش مرتبط است (Peer *et al*., 2016). پرولین اسیدآمینه آنتی‌اکسیدانی است که می‌تواند بدون آسیب به ساختار یا اختلال در متابولیسم سلولی، در مقادیر بالایی در سلول‌های گیاهی تجمع یابد و به ایجاد تعادل اسمزی، پایداری غشاء و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد کمک کند (Demiralay et al., 2013). مطابق با نتایج این پژوهش، تنش کم‌آبی در گیاهان هندوانه (Parkhide et al., 2018) و خیار (Barzegar et al., 2024) باعث افزایش معنی‌دار مقدار پرولین برگ شد. همچنین موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2023) با کاربرد اسید هیومیک همراه آبیاری در گیاه فیسالیس تحت تنش کم‌آبی گزارش کردند که حداکثر محتوای پرولین برگ در گیاهان تیمار شده با بالاترین غلظت اسید هیومیک در شرایط تنش کم‌آبی ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. افزایش پرولین در طول دوره تنش کم‌آبی ممکن است نتیجه تجزیه پروتئین‌ها و نیز کاهش استفاده از آنها به‌دلیل کاهش رشد گیاه باشد. استفاده از ترکیبات آلی و نیز مواد معدنی مورد نیاز رشد می‌تواند تا حدودی بر بهبود سیستم‌های مقاومتی گیاهان موثر باشد. اسید هیومیک با افزایش در میزان جذب و انتقال نیتروژن و همچنین افزایش میزان سنتز ترکیبات آلی نیتروژن‌دار مانند پروتئین و اسیدهای آمینه، با تجمع بیشتر پرولین در گیاه سبب حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و افزایش تحمل به کم‌آبی می‌گردد (Ali et al., 2019).

شاخص پایداری غشاء

تنش کم آبی به‌طور معنی‌داری شاخص پایداری غشاء را کاهش داد و با افزایش سطح تنش مقدار آن از ۷۷/۰۵ درصد در شاهد به ۵۳/٤۷ درصد در سطح آبیاری ٦۰ درصد رسید، به عبارتی تنش کم آبی منجر به کاهش ۳۰/٦ درصدی شاخص پایداری غشاء کدو گردید (جدول ۵ و ٦). محلول‌پاشی اسید هیومیک در همه سطوح

آبیاری باعث بهبود شاخص پایداری غشاء گردید. بیشترین مقدار (۸٤/٥۲ درصد) شاخص پایداری غشاء در گیاهان محلول‌پاشی شده با ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید هیومیک تحت تیماری آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد و کمترین میزان آن (٥۳/٤۷ درصد) در تیمار صفر اسید هیومیک و تنش کم‌آبی ٦۰ درصد مشاهده شد (جدول ٦).

نشت یونی شاخصی برای استحکام غشاها می‌باشد. حفظ پایداری غشاها در شرایط تنش، نشان‌دهنده سازوکارهای کنترلی در تحمل به تنش خشکی است در شرایط کمبود آب رادیکال‌های آزاد مانند گروه هیدروکسیل و پراکسید تولید می‌شوند که برای گیاه سمی بوده و موجب آسیب به غشای سلولی و در نتیجه نشت یونی می‌شوند (Hong and Jj-Yun, 2007). نتایج مطالعه حاضر با نتایج پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد. وایشیا و همکاران (Vaishya et al., 2026) با مطالعه اثر تنش‌کم‌آبی بر شاخص پایداری غشاء در چند گونه کدوها گزارش کردند که شاخص پایداری غشاء در شرایط آبیاری شاهد از ۸۰/۳ تا ۹۲/٦ درصد با میانگین ۸٦/۷ درصد متغیر بود. در سطح آبیاری ۷٥ درصد ظرفیت زراعی، شاخص پایداری غشاء از ٦۰/۳ تا ۸۱ درصد با میانگین ۷۰/٥ درصد متغیر بود، در حالی‌که در سطح تنش کم‌آبیاری ٥۰ درصد ظرفیت زراعی، این درصد از ٤۲/۳ تا ٦۹/۳ درصد با میانگین ٥٦/٥ درصد متغیر بود. تنش کم‌آبی باعث افزایش معنی‌دار نشت یونی برگ‌ها در گیاهان پیوندی و غیرپیوندی خیار شد (Barzegar et al., 2024). تنش خشکی با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، تنش اکسیداتیو را القا می‌کند که باعث افزایش پراکسیداسیون اسیدهای چرب در غشاهای سلولی و متعاقباً افزایش نفوذپذیری غشا و نشت یونی می‌شود. به عبارت دیگر، تنش خشکی فعالیت‌های غشای سلولی را مختل می‌کند که باعث کاهش شاخص‌های پایداری غشای سلولی می‌شود و در نتیجه منجر به نشت یونی از سلول‌های برگ می‌شود (Sachdev et al., 2021).

در صورتی‌که استفاده از اسید هیومیک به‌خصوص غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با افزایش محتوای نسبی آب برگ، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز، به‌طورقابل توجهی میزان نشت یونی را کاهش داد و به‌طورمؤثری سبب افزایش در پایداری غشاء و کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی گردید. همچنین گزارش شد که اعمال تنش کم‌آبیاری در گیاه فیسالیس به‌طور معنی‌داری میزان نشت یونی برگ را افزایش داد و کاربرد اسید هیومیک باعث کاهش نشت یونی و افزایش پایداری غشاء در برگ فیسالیس گردید (Mousavi et al., 2023).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

اعمال تنش کم آبی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. کاربرد برگی اسید هیومیک در شرایط تنش کم‌آبی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۰/۹۳ $\mu mol\ H_2O_2\ g^{-1}\ FW.Min^{-1}$) در گیاهان تیمار شده با ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تحت تنش کم آبیاری ٦۰ درصد حاصل شد (جدول‌های ٥ و ٦). همچنین حداکثر فعالیت آنزیم پراکسیداز به ترتیب در گیاهان تیمار شده با اسید هیومیک ۳۰۰ و ۱٥۰ میلی‌گرم در لیتر تحت تنش کم‌آبی ٦۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ٦).

کمبود آب باعث آسیب اکسیداتیو می‌شود، که عمدتاً از طریق بیوسنتز گونه‌های فعال اکسیژن رخ می‌دهد. با این حال، گیاهان با القای پاسخ‌های دفاعی و تغییر متابولیسم سلولی به عنوان یک مکانیسم ذاتی، تنش آبی را تحمل می‌کنند (Gill and Tuteja, 2010). سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی در این مکانیسم‌ها برای محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو نقش دارند (Conti et al., 2019). نتایج پژوهش حاضر با نتایج وایشیا و همکاران (Vaishya et al., 2026) همخوانی دارد که افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز

برگ در شرایط تنش کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه در چند گونه کدوئیان در مقایسه با تیمار آبیاری شاهد گزارش کردند. در پژوهشی با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ در گیاه فیسالیس دریافتند که تنش کم‌آبیاری سبب افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز گردید. همچنین کاربرد اسید هیومیک بر روی گیاهان باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد (Mousavi et al., 2023). در پژوهش حاضر، کاربرد اسید هیومیک و تنش کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی داشت که این افزایش بیانگر فعال شدن سیستم آنتی‌اکسیدانی برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در مقابله با تنش کم‌آبیاری است. از اثرات بیوشیمیایی اسید هیومیک، می‌توان به نقش مهم آن در افزایش سنتز پروتئین‌هایی مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Cimrin et al., 2010).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان بیان کرد که تنش کم‌آبی باعث کاهش رشد رویشی و عملکرد میوه شد. به‌طوری که تنش کم‌آبی ۶۰ درصد با کاهش معنی‌دار سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ منجر به کاهش ۵۸ درصدی عملکرد میوه در مقایسه با آبیاری ۱۰۰ درصد شد. کاربرد برگی اسید هیومیک در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی، رشد رویشی و عملکرد میوه کدو تابستانه دلمه‌ای را افزایش داد. کاربرد اسید هیومیک بخصوص در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با افزایش محتوای پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز و کاتالاز و شاخص پایداری غشاء موجب افزایش سطح برگ و محتوای کلروفیل و وضعیت آب برگ شد، به‌طوری که با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در مقایسه با گیاهان شاهد فاقد تیمار اسید هیومیک در شرایط کم‌آبی ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، عملکرد میوه به ترتیب ۲۷/۲ و ۳۳/۳ درصد افزایش یافت که منجر به افزایش کارایی مصرف آب شد. در راستای افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب و کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی، تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک را پیشنهاد کرد.

تضاد منافع

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

REFERENCES

Ali, R. A. M., Attia, M. M. & Abd El-All, A. E. (2019). Influence of irrigation treatments and humic Acid (HA) application on vegetative growth, yield, tuber quality water requirements and water utilization efficiency (WUE) of potato plants. *Journal of Plant Production*, *10*(9), 793-798. https://doi.org/10.21608/jpp.2019.60026

Al-Zebari, P. J., & 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.

Anjum, S. A., Ashraf, U., Zohaib, A., Tanveer, M., Naeem, M., Ali, I., Tabassum, T., & Nazir, U. (2017).Growth and development responses of crop plants under drought stress: A review. *University of Tasmania Journal of Contribution*, 104, 267–276. https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.034

Ansari W. A., Krishna R., Yadav P. S., Chaubey T., Behera T. K., Bhat K. V., & Pandey S. (2024). Alteration in physio-chemical properties and gene expression pattern of snapmelon (*Cucumis melo* var. momordica) genotypes against drought stress. *Plant Genetic Researches*, *22*, 87–96. https://doi.org/10.1017/S1479262124000066

Arnon A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.

Barzegar, T., Moradi, P., Nikbakht, J., & 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

Barzegar, T., Ghoreyshi, S.M., Nekounam, F., Nikbakht, J., & 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

Bates, L. S., Waldern, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207.

Bharambe, K. P., Shimizu, Y., Kantoush, S.A., Sumi, T., & 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

Boogar, A. R., Shirmohammadi, E., & Geikloo, A. (2014). Effect of humic acid application on qualitative characteristic and micronutrient status in *Petunia hybrid* L. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, *3*, 15-19. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.05.001

Cakmak, I., and Horst, W. J. (1991). Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum*, *83*(3), 463-468.

Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, *2*, 764-775.

Cimrin, K. M., Turkmen, O., Turan, M. & Tuncer, B. (2010). Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology*, *9*, 5845-5851. https://doi.org/10.5897/AJB10.384

Conti, V., Mareri, L., Faleri, C., Nepi, M., Romi, M., Cai, G., & Cantini, C. (2019). Drought stress affects the response of italian local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) varieties in a genotype-dependent manner. *Plants*, 8, 336. https://doi.org/10.3390/plants8090336.

Demiralay, M., Sağlam, A., & Kadioğlu, A. (2013). Salicylic acid delays leaf rolling by inducing antioxidant enzymes and modulating osmoprotectant content in Ctenanthe setosa under osmotic stress. *Turkish Journal of Biology*, *37*(1), 49-59. https://doi.org/10.3906/biy-1205-16

Ebrahimi, M., & Miri Karbask, E. (2016). Investigation of the effect of humic acid on germination, seedling growth and photosynthetic pigments of Asparagus (*Plantago ovata* Forssk). *Iranian Seed Science and Research*, *3* (3), 35- 46. https://doi.org/20.1001.1.24763780.1395.3.3.4.2 (In Persian with English abstract)

Esho, K. B., & Saeed, S. H. (2017). Effect of humic acid on growth and yield of three cultivars of summer squash (*Cucurbita pepo* L.). *The Egyptian Journal of Experimental Biology* (Botany). *13*(2):167-171. https://doi.org/10.5455/egyjebb.20170521065315

Falah K. N. A., & 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

Farooq, M., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2012). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *11*, 100-105.

Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48(12), 909–930 https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Haghighi, M., Kafi, M., Fang, P. & 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

Hong, W., & Jj-yun, J. (2007). Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Sciences in China*, *6*, 988-995. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60138-2

Jindo, K., Canellas, L. P., Albacete, A., Figueiredo dos Santos, L., Frinhani Rocha, R. L., Carvalho Baia, D., Oliveira Aguiar Canellas, N., Goron, T. L. & Olivares, F. L. (2020). Interaction between humic substances and plant hormones for phosphorous acquisition. *Agronomy*, *10* (5), 640. https://doi.org/10.3390/agronomy10050640

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ra makrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, *10*, 5692. https://doi.org/10.3390/app10165692

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

Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science*, *34*(1), 11-24. https://doi.org/10.13128/ahsc-8252

Khanna SM. 2024. Plant metabolism during water deficit stress: A review. *Agricultural Revolution*, *45*(3), 448-55. https://doi.org/10.18805/ag.R-2381

Kulkarni, V. V., Sivakumar, K., Singh, A.P., & Visha, P. (2014). Yield and quality characteristics of rendered chicken oil for biodiesel production. *Journal Oil Chemistry Sociality*, *91*, 133- 141. https://doi.org/10.1007/s11746-013-2346-5

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

Mirabad, A. A., Lotfi, M., & Roozban, M. R. (2013). Impact of water-deficit stress on growth, yield and sugar content of cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6, 605.

Mousavi S A H, Barzegar T, Nekounam F, Ghahremani Z, & Khani A. (2023). The effect of humic acid on physiological characteristics, antioxidant activity and yield of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) under deficit irrigation. *Plant Process and Function*, *12* (54), 1- 11. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1795-fa.html (In Persian with English abstract)

Muthoni, J., & Shimelis, H. (2025). Pumpkin (*Cucurbita* spp): A neglected and Sci. underutilized crop with potential for production in Africa. *Australian Journal of Crop Science*, *19* (2), 152-60. https://doi.org/10.21475/ajcs.25.19.02.p212

Nar, H., Saglam, A., Terzi, R., Varkonyi, Z., & Kadioglu, A. (2009). Leaf rolling and photosystem II efficiency in Ctenanthe setosa exposed to drought stress. *Photosynthetica*, *47*, 429–36.

Nurdin, S., Misebah, F. A., Haron, S. F., Ghazali, N. S., & Gimbun, J. (2014). A cost effective catalyst for biodiesel synthesis from Rubber and Jatropha curcas seeds oil. *Chemical Engineering and Applications*, *5*(6), 483-488. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.536

Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., Bahtiyar, M., & 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

Parkhideh, J., Barzegar, T., & Nekonam, F. (2018). Growth, yield and physiological responses of watermelon cv. Charleston Gray grafted on bitter apple (*Citrullus colocynthis* L.) rootstock under deficit irrigation stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *49* (2), 539-550. https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.233823.1258. (In Persian with English abstract)

Peer, J., Yao, X., Yang, R., Zhao, F., Wang, S., Li, C., & Zhao, A. (2016). An analysis of physiological index of differences in drought tolerance of tomato rootstock seed lings. *Journal of Plant Biology*, *59*, 321. https://doi.org/10.1007/s12374-016-0071-y

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161 (11), 1189-1202.

Roshaniyan, M., Alinejadian-Bidabadi, A., Maleki, A., & Lakzian, A. (2025). Investigating the effect of humic acid on the water use efficiency, yield, and some physiological characteristics of bell pepper plants under different water levels. *Journal of Vegetables Sciences*, *9*, (17), 179-200. https://doi.org/10.22034/iuvs.2023.2012442.1319. (In Persian with English abstract)

Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms, *Antioxidants* (Basel), *10*, 277. https://doi.org/10.3390/antiox10020277

Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, *163*(5), 1037-1046.

Seleiman, M. F., & Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants, *10*, 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259

Vaishya, S. K. U., Singh, D., Kumar, R., Panwar, S., Singh, P., Bahadur, A., Krishna, H., & 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., & 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)

Yasar, F., Uzal, O., Kose, S., Yasar, O. & Ellialtioglu, S. (2014). Enzyme activities of certain pumpkin (*Cucurbita* spp) species under drought stress. *Fresenius Environmental Bulletion*, *23*(4), 1093-1099.