

The effect of bio-fertilizer, organic fertilizer and potassium silicate on morphological and physiological traits of tomato

Fatemeh Bayat¹, Zahra Movahedi^{*1}, Majid Rostami¹, Mohammad Dashti Marvili²

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

2. Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

*Corresponding Author Email: zahra.movahedi@malayeru.ac.ir

Abstract

Introduction: Nowadays, organic fertilizers with biological source are widely used to improve the quantity and quality of agricultural products by having plant growth stimulants, organic and mineral nutrients. Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) has a special place in human nutrition all over the world. this plant, as one of the important horticultural crops in Iran, plays a major role in meeting food and economic needs. In this research the effects of humic acid, amino acid, seaweed extract, and potassium silicate on quantity and quality characteristics of tomato were investigated under greenhouse conditions.

Materials and Methods: In this research, the experimental treatments included a control group, as well as humic acid, amino acid, seaweed extract, and potassium silicate, all applied at a concentration of 3 parts per thousand, in both soil and foliar application. The experiment was conducted based on a completely randomized design with nine treatments and three replications in 2023. The measured traits included plant height, number of flowers, number of fruits, fruit weight and volume, photosynthetic pigments, relative water content of leaves, soluble sugar and protein.

Results: The results of data variance analysis showed that the application of treatments improved the morphological, physiological characteristics and quality of tomato fruit. Based on the means comparison, humic acid, either as foliar application or soil application, along with soil application of potassium silicate, caused the highest plant height in tomato. Among the test treatments, amino acid foliar spray caused the highest and the control treatment caused the lowest number of flowers per plant. By using seaweed as soil application, the highest relative water content of leaves was observed in tomato plants. The highest concentration of chlorophyll a belonged to the treatment of humic acid fertilizer applied on soil, while seaweed foliar application caused the highest concentration of chlorophyll b in tomatoes without statistically significant difference with soil application of humic acid. The highest number of fruits in tomato was obtained from the amino acid foliar treatment, however, in terms of fruit weight and volume, humic acid foliar application caused in the highest values. The use of potassium silicate in the soil caused a significant increase in soluble sugar. In this experiment, the positive and significant effect of organic fertilizers on the studied traits of tomato was clarified, however, depending on the trait, the effect of the treatments was different.

Conclusion: Finally, the results showed that the use of organic and biological fertilizers, especially humic acid, potassium silicate, seaweed and amino acid, can improve the qualitative and quantitative characteristics of tomatoes and be effective in sustainable agriculture.

Keywords: Amino acid, Foliar application, Greenhouse, Humic acid, Seaweed extract

Received: 24-11-2025

Accepted: 24-01-2026

Citation: Bayat, F., Movahedi, Z., Rostami, M., & Dashti Marvili, M. (2025). The effect of bio-fertilizer, organic fertilizer and potassium silicate on morphological and physiological traits of tomato. *Plant Production and Genetics*, 6(2), 287-300. <https://doi.org/10.22034/plant.2026.144874.1179>

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



تولید و ژنتیک گیاهی

<https://doi.org/10.22034/plant.2026.144874.1179>

اثر کودهای زیستی، آلی و سیلیکات پتاسیم بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گوجه‌فرنگی

فاطمه بیات^۱، زهرا موحدی^{۱*}، مجید رستمی^۱، محمد دشتی مرویلی^۲

۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲. گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: zahra.movahedi@malayeru.ac.ir

چکیده

مقدمه: امروزه کودهای آلی با منشاء زیستی با دارا بودن محرک‌های رشد گیاه، عناصر غذایی و مواد آلی به‌طور وسیعی برای بهبود کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی به کار برده می‌شوند. از طرفی گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) جایگاه ویژه‌ای در تغذیه بشر در سرتاسر جهان دارد. این گیاه، به‌عنوان یکی از محصولات مهم کشاورزی در ایران، نقش عمده‌ای در تأمین نیازهای غذایی و اقتصادی ایفا می‌کند. در این پژوهش، اثرات برخی کودهای آلی و زیستی روی ویژگی‌های رشدی و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی در شرایط کشت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تیمارهای آزمایشی شامل اسید آمینه، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و سیلیکات پتاسیم با غلظت ۳ در هزار به‌صورت کاربرد خاکی و محلول‌پاشی برگ‌ی بود که به همراه تیمار شاهد (بدون کاربرد کود)، به تعداد ۹ تیمار مورد بررسی قرار گرفتند. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار روی گیاه گوجه‌فرنگی در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. در این پژوهش صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد، وزن و حجم میوه، رنگی‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، قند محلول و پروتئین مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کاربرد تیمارها سبب بهبود خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی شد. براساس مقایسه میانگین‌ها اسید هیومیک چه به‌صورت محلول‌پاشی و چه مصرف در خاک به همراه مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم بالاترین ارتفاع بوته در گوجه‌فرنگی را موجب شد. در بین تیمارهای آزمایش، محلول‌پاشی اسید آمینه بالاترین و تیمار شاهد کمترین تعداد گل در بوته را موجب شدند. با کاربرد در خاک جلبک دریایی، بالاترین محتوای نسبی آب برگ در گیاه گوجه‌فرنگی مشاهده شد. بیشترین غلظت کلروفیل a متعلق به تیمار کودی اسید هیومیک به‌صورت کاربرد در خاک بود، در حالی که محلول‌پاشی جلبک دریایی بدون تفاوت معنی‌دار آماری با کاربرد در خاک اسید هیومیک بالاترین غلظت کلروفیل b در گوجه‌فرنگی را موجب شدند. بیشترین تعداد میوه در گوجه‌فرنگی از تیمار محلول‌پاشی اسید آمینه به دست آمد، با این حال به لحاظ وزن و حجم میوه، محلول‌پاشی با اسید هیومیک، بیشترین مقادیر را موجب شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم در خاک باعث افزایش معنی‌دار قند محلول گردید. در این آزمایش اثر مثبت و معنی‌دار کودهای آلی روی صفات مورد بررسی گوجه‌فرنگی محرز شد، با این حال بسته به صفت، اثر تیمارها متفاوت بود.

نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج نشان داد که استفاده از کودهای آلی و زیستی، به‌ویژه اسید هیومیک، سیلیکات پتاسیم، جلبک دریایی و اسید آمینه، می‌تواند به بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گوجه‌فرنگی کمک کرده و در جهت کشاورزی پایدار مؤثر باشد.

کلید واژگان: اسید آمینه، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی، گلخانه، محلول‌پاشی برگ

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۳

منبع: بیات، ف.، موحدی، ز.، رستمی، م. و دشتی مرویلی، م. (۱۴۰۴). اثر کودهای زیستی، آلی و سیلیکات پتاسیم بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گوجه‌فرنگی،

مجله تولید و ژنتیک گیاهی، ۶ (۲)، ۲۸۷-۳۰۰. <https://doi.org/10.22034/plant.2026.144874.1179>



مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) یکی از گیاهان مهم خانواده Solanaceae است که به دلیل ویژگی‌های خاص خود در سراسر جهان کشت می‌شود. این گیاه به عنوان یک محصول مهم کشاورزی در تأمین نیازهای غذایی و اقتصادی نقش عمده‌ای دارد. با توجه به شرایط آب و هوایی مناسب در بسیاری از مناطق ایران، گوجه‌فرنگی در کشور به طور وسیعی کشت می‌شود و ایران در میان تولیدکنندگان جهانی این محصول جایگاه قابل توجهی دارد. براساس آمارهای جهانی، چین (۷۰ میلیون تن)، هند (۲۰ میلیون تن)، ترکیه (۱۳ میلیون تن) و آمریکا (۱۲ میلیون تن)، از تولیدکنندگان عمده این محصول بوده و ایران با تولید حدود ۳/۴ میلیون تن گوجه‌فرنگی در سال، رتبه سوم قاره آسیا و رتبه یازدهم جهان را در این زمینه به خود اختصاص داده است (FAO, 2023). این تولید گسترده در کشور، نشان‌دهنده اهمیت استراتژیک گوجه‌فرنگی در بخش کشاورزی ایران است.

یکی از عوامل اساسی در بهبود عملکرد و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی، تغذیه مناسب گیاه است. در سال‌های اخیر، استفاده از انواع کودهای شیمیایی، زیستی و آلی برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان مورد توجه ویژه قرار گرفته است. در میان این کودها، سیلیکات پتاسیم به عنوان یکی از مهم‌ترین محرک‌های زیستی برای گیاهان شناخته شده است. سیلیکات پتاسیم (K_2SiO_3) علاوه بر تأمین پتاسیم و سیلیکون، می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه مانند ساختار ریشه، رشد گیاه و فتوسنتز تأثیر مثبت بگذارد (Elakiya et al., 2025). همچنین کاربرد این ترکیب باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزیستی و بهبود جذب عناصر غذایی می‌شود (Devi et al., 2025). با این حال، تأثیرات مختلف سیلیکات پتاسیم بر روی عملکرد گوجه‌فرنگی نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد تا اثرات آن در شرایط مختلف محیطی و شیوه‌های کاربرد متفاوت مشخص شود.

در کنار سیلیکات پتاسیم، استفاده از کودهای طبیعی و آلی مانند اسید هیومیک و اسیدهای آمینه نیز تأثیرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد. اسید هیومیک که حاصل تجزیه مواد آلی است، به بهبود ساختار خاک و افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی کمک می‌کند (Ampong et al., 2022). مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از اسید

هیومیک می‌تواند باعث افزایش وزن تر ریشه و ساقه گیاه و بهبود جذب نیتروژن در گیاهان مختلف شود (Song et al., 2022). همچنین اسیدهای آمینه که به عنوان منابع نیتروژن برای گیاهان عمل می‌کنند، می‌توانند به طور مستقیم بر فعالیت‌های متابولیکی گیاه تأثیر گذاشته و بهبود عملکرد گیاه را در شرایط مختلف فراهم آورند (Najafi et al., 2022).

عصاره جلبک‌های دریایی نیز به عنوان یکی دیگر از مواد طبیعی مهم، تأثیرات مثبتی بر رشد گیاهان دارند. این عصاره‌ها حاوی ترکیباتی همچون اسید ایندول استیک (IAA) و اسید جیبرلیک (GA) هستند که می‌توانند بر رشد ریشه، ساقه و افزایش کارایی فتوسنتز تأثیر مثبت بگذارند (Shukla et al., 2018). تحقیقات نشان داده است که استفاده از عصاره جلبک دریایی باعث بهبود مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی و افزایش تولید فتوسنتز می‌شود (Ali et al., 2021). با وجود مطالعات متعدد در زمینه اثرات مثبت این کودها بر رشد گیاهان، هنوز شکاف‌های دانشی زیادی در مورد مقایسه اثرات این کودها به صورت مجزا یا ترکیبی و همچنین تأثیر روش‌های مختلف کاربرد آن‌ها وجود دارد. در بسیاری از مطالعات قبلی، این ترکیبات به صورت جداگانه بررسی شده‌اند و مقایسه بین روش‌های مختلف محلول‌پاشی برگ و تیمار ریشه‌ای هنوز در بسیاری از موارد به طور دقیق انجام نشده است.

این پژوهش با هدف بررسی اثرات ترکیبی عصاره جلبک دریایی، اسید آمینه، اسید هیومیک و سیلیکات پتاسیم به صورت محلول‌پاشی برگ و تیمار ریشه‌ای بر برخی شاخص‌های رشدی و صفات مورفولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کشت گلخانه‌ای انجام شده است. فرضیه‌های این تحقیق شامل بررسی اثرات ترکیبی این کودها بر رشد گیاه، مقایسه روش‌های مختلف کاربرد آن‌ها و ارزیابی تأثیرات این ترکیبات بر شاخص‌های رشدی و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرایط گلخانه به صورت کشت خاکی (مشخصات خاک گلخانه در جدول ۱، آمده است) با پوشش پلاستیک با یو وی ده درصد، دمای حدود $30^{\circ}C$ روز و $18^{\circ}C$ شب، دوره نوری ۱۵ ساعت روشنایی و رطوبت حدود ۶۰-۵۵ درصد (به علت نوسانات دمایی روز و شب)، در سال ۱۴۰۲ به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شهرک

۱۵ مردادماه همان سال، پس از انجام عملیات کربندی و آماده‌سازی ردیف‌های کشت، در مرحله شش‌برگی به گلخانه اصلی منتقل گردیدند. سالن انتخاب‌شده برای اجرای آزمایش، یکی از سالن‌های میانی گلخانه با دهانه ۹ متر بود. به‌منظور کاهش اثرات حاشیه‌ای، علاوه بر انتخاب سالن میانی، از میان شش ردیف کشت، تنها ردیف مرکزی برای اجرای تیمارها مورد استفاده قرار گرفت. طول هر کرت ۲۸ متر در نظر گرفته شد و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۱۵۰ سانتی‌متر تنظیم گردید. پس از استقرار اولیه گیاهان و در مرحله پیش از ظهور اولین کلاستر (خوشه گل)، نخستین مرحله اعمال تیمارها انجام شد. برای اعمال تیمار ریشه‌ای، محلول سه در هزار از هر یک از ترکیبات کودی به‌صورت جداگانه تهیه شد (۱۲ گرم یا ۱۲ سی‌سی از کود مورد نظر در ۴ لیتر آب) و به‌طور یکنواخت، به مقدار حدود یک لیتر، در پای هر بوته در کرت‌های مربوطه تزریق گردید. در مورد تیمار محلول‌پاشی برگ‌ها نیز، محلول سه در هزار (۱۲ گرم یا ۱۲ سی‌سی در ۴ لیتر آب) تهیه و در کرت‌های مربوطه به‌صورت اسپری یکنواخت و کاملاً مه‌پاشی‌شده بر روی اندام هوایی گیاهان اعمال شد. همچنین اعمال تیمارها دو روز بعد از آبیاری گلخانه در تاریخ ۱۴۰۲/۰۵/۲۶ و ۱۴۰۲/۰۵/۲۷ در دو روز متوالی ساعت هشت صبح انجام شد. مرحله بعدی اعمال تیمارها به فاصله ۲۷ روز (تاریخ ۱۴۰۲/۰۶/۲۳)، در شهریور ماه و به تعداد دو بار در طول دوره رشد گیاه انجام گرفت.

گلخانه‌ای شهرستان ملایر، استان همدان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (بدون اعمال تیمارها)، اسید آمینه، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و سیلیکات پتاسیم با غلظت ۳ در هزار (۳۰۰ گرم در ۱۰۰ لیتر آب) و به‌صورت دو روش تیمار ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگ‌ها، که در مجموع شامل ۹ تیمار بودند. اسید آمینه شامل اسید آمینه کل (Total Amino Acid: 80%) و اسید آمینه آزاد (Free Amino Acid: 60%) از شرکت توسعه و بهبود نهاده‌های کشاورزی پارس یزد، اسید هیومیک حاوی ترکیبات پتاسیم محلول در آب (K₂O 12%)، اسید هیومیک (Humic Acid 43%)، اسید فولویک (Fulvic Acid 7%) از شرکت توسعه و بهبود نهاده‌های کشاورزی پارس یزد، عصاره جلبک دریایی حاوی ترکیبات نیتروژن کل (N 1.5%)، فسفر قابل استفاده (P₂O₅ 3.5%)، پتاسیم محلول در آب (K₂O 18.5%)، کلسیم محلول (Ca 1.2%)، بر محلول (B 0.03%)، آلژینیک اسید (Alginic Acid 16%)، اسید آمینه آزاد (Free Amino Acid 2%)، بتائین (Betaine 0.0042%)، گوگرد محلول (S 1.5%)، منیزیم محلول (Mg 0.4%)، مانیتول (Mannitol 0.5%) و ماده آلی (O.M 45%) از شرکت توسکا زراعت گلدیس و سیلیکات پتاسیم (K₂SiO₃) حاوی ترکیبات سیلیس محلول در آب ۲۲ درصد، پتاسیم محلول در آب ۱۱ درصد، عصاره جلبک ۲۰ درصد، آمینو اسید ۲۰ درصد، فولویک اسید ۰/۵ درصد و اسید هیومیک ۰/۵ درصد از شرکت صنایع شیمیایی کرمان زمین خریداری شد.

به‌منظور اجرای آزمایش، نشاهای گوجه‌فرنگی رقم ۴۱۲۹ در تاریخ ۱۵ تیرماه ۱۴۰۲ در خزانه کشت شدند و در تاریخ

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	ماده آلی (%)	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)
۶/۸	۲/۲	۷۴	۱۱	۱۵	۱/۲	۰/۰۹۳	۰/۰۲۱	۰/۰۶۴

صفات مورد ارزیابی

صفات مورفولوژیک

تعداد گل در بوته در مرحله ۶-۸ برگ و در طول دوره رشد ثبت شد. در پایان آزمایش (۱۴۰۲/۰۹/۲۳) صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد، وزن و حجم میوه) و همچنین صفات فیزیولوژیک (رنگیزه‌های

فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، قند و پروتئین) مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتفاع کل بوته درگلخانه به وسیله متر نواری بر حسب سانتی‌متر و تعداد میوه در بوته و حجم میوه اندازه‌گیری شد. قطر میوه و قطر ساقه به وسیله کولیس-ورنیه مدل Acco با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر و وزن میوه به وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ در پایان آزمایش اندازه‌گیری گردید.

با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه) و پس از جداسازی فاز مایع بالایی، عصاره به دست آمده جهت اندازه گیری قند محلول مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور، ۱/۰ میلی لیتر از عصاره نگهداری شده در یخچال با میکروپیپت برداشت شده و با ۳ میلی لیتر محلول تازه آنترون (۱۵۰ میلی گرم آنترون به علاوه ۱۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد W/W) مخلوط گردید. لوله های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفتند و پس از خنک شدن، میزان جذب نوری نمونه ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. برای تهیه منحنی استاندارد قند، محلول های گلوکز با غلظت های ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی گرم در لیتر تهیه و کلیه مراحل فوق بر روی آن ها انجام شد. در نهایت، میزان قند محلول بر اساس میلی گرم در گرم وزن تازه برگ گیاه محاسبه گردید (Grandy et al., 2000).

پروتئین

به منظور اندازه گیری پروتئین های محلول، روش برادفورد (۱۹۷۶) به کار گرفته شد. ابتدا محلول بافر استخراج Tris-HCl تهیه گردید؛ بدین ترتیب که ۱۲۱/۴ گرم تریس در یک لیتر آب مقطر حل شده و اسیدیته محلول با استفاده از اسید کلریدریک نرمال به ۸/۶ تنظیم شد. همچنین معرف برادفورد تهیه شد: ۱۰۰ میلی گرم کوماسی آبی درخشان (Coomassie Brilliant Blue G250) در ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد حل گردید و سپس ۱۰۰ میلی لیتر اسید فسفریک ۸۵ درصد به صورت قطره قطره به محلول اضافه شد. حجم نهایی محلول با آب مقطر به یک لیتر رسانده و پس از عبور از کاغذ صافی واتمن آماده شد. سپس ۰/۵ گرم از نمونه های تازه برگ وزن شده و با ازت مایع به صورت پودر در آمدند. مقدار ۶/۲۵ میلی لیتر از بافر استخراج در چند مرحله به نمونه اضافه شد و محلول به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در مرحله بعد، ۵ میلی لیتر از محلول آبی رنگ رقیق به نمونه اضافه و پس از ۵ تا ۳۰ دقیقه، میزان جذب نوری محلول در طول موج ۵۹۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد.

ابتدا توزیع داده های صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov مورد ارزیابی قرار گرفت تا نرمال بودن خطاهای آزمایشی بررسی شود. نتایج آزمون نشان داد که همه صفات بررسی شده از توزیع نرمال پیروی می کنند،

رنگیزه های فتوسنتزی

سنجش کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها براساس روش Arnon (۱۹۶۷) انجام شد. بدین منظور، ابتدا حدود ۰/۵ تا ۱/۰ گرم از برگ تازه گیاه گوجه فرنگی در استون ۸۰ درصد کاملاً همگن گردید. سپس محلول حاصل به بالن ژوژه ۱۵ میلی لیتری منتقل و حجم آن با استون ۸۰ درصد به ۱۵ میلی لیتر رسانده شد. در مرحله بعد، محلول تهیه شده سانتریفیوژ شد و جذب نوری محلول شفاف رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spekol 2000، ساخت آلمان) در طول موج های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به ترتیب برای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها اندازه گیری گردید. در نهایت، مقادیر رنگیزه ها با استفاده از روابط زیر محاسبه شد که در آنها متغیرهای W و V در روابط به صورت V به عنوان حجم نهایی عصاره (میلی لیتر) و W به عنوان وزن نمونه برگ تازه (گرم) تعریف شدند:

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a (mg/g)} &= ((12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})) \times V/1000 \times W \\ \text{Chlorophyll b (mg/g)} &= ((22.9 \times A_{645}) - (4.69 \times A_{663})) \times V/1000 \times W \\ \text{carotenoid (mg/g)} &= (100 (A_{470}) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b}))/227 \end{aligned}$$

محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، ابتدا وزن تر نمونه اندازه گیری شد، سپس نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده و وزن برگ اشباع شده اندازه گیری شد. پس از آن برگ ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک آن اندازه گیری و محتوای نسبی آب برگ براساس معادله زیر محاسبه گردید (Ritchie & Nguyen, 1990):

$$RWC = [(Fw - Dw) / (Sw - Dw)] \times 100$$

که در این رابطه Fw = وزن تر برگ، Dw = وزن خشک برگ و Sw = وزن اشباع برگ می باشد.

قند محلول

جهت سنجش قندهای محلول، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ گیاه با ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد همگن شد و محلول بالایی جدا گردید. به منظور استخراج کامل، این فرایند دو بار دیگر و هر بار با ۵ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد. سپس محلول حاصل سانتریفیوژ شد (۱۵ دقیقه

نتایج و بحث

باتوجه به نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس برای تمامی صفات انجام شد. نتایج نشان داد که اثر تیمار بر تمام صفات مورد بررسی به غیر از کاروتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳). ضرایب تغییرات (CV) برای برخی صفات مانند پروتئین (۱۷،۲ درصد) و کاروتنوئید (۱۲،۱۵ درصد) نسبتاً بالا بودند که نشان‌دهنده تغییرپذیری درون تیماری و احتمالاً خطاهای اندازه‌گیری است.

و لذا اعمال تبدیل داده (مانند تبدیل لگاریتمی یا ریشه دوم) نیاز نبود. آنالیز واریانس (ANOVA) داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چندمقایسه‌ای دانکن (Duncan's Multiple Range Test) انجام گرفت و سطح معنی‌داری آزمون‌ها ۰/۰۱ در نظر گرفته شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر اسید آمینه، جلبک دریایی، سیلیکات پتاسیم و اسید هیومیک به‌صورت تیمار ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگ‌ی برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی

میانگین مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای آب نسبی	پروتئین	قند محلول	کاروتنوئید	کلروفیل b	کلروفیل a
تیمار	۸	۱۶۷/۳۸**	۰/۰۱۱**	۰/۰۸۳**	۰/۰۲۵ ^{ns}	۱/۶۹**	۱۰/۴۸**
خطا	۱۸	۱۳/۳۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۶	۰/۰۹	۱/۳۲
ضریب تغییرات	-	۵/۳۲	۱۷/۲	۴/۳۳	۱۲/۱۵	۴/۹	۳/۷۱

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر اسید آمینه، جلبک دریایی، سیلیکات پتاسیم و اسید هیومیک به‌صورت تیمار ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگ‌ی برخی صفات مورفولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی

میانگین مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد گل	تعداد میوه	قطر میوه	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	وزن میوه
تیمار	۸	۴/۵۱**	۱/۲۵**	۱۱۳/۷۹**	۸۱/۸۳**	۸/۰۹**	۱۷۵۶/۶**
خطا	۱۸	۰/۰۸۹	۰/۰۱۳	۱۱/۲	۵/۹	۰/۱۰۹	۱۸/۰۳
ضریب تغییرات	-	۸/۷۴	۷/۶۷	۸/۰۴	۱/۷۲	۲/۵	۸/۰۲

در حالی که کمترین مقادیر مربوط به تیمار شاهد بود. مطالعات پیشین نیز افزایش رنگی‌های فتوسنتزی تحت تأثیر کاربرد اسید هیومیک (Heidari et al., 2020; Mostafanezhad Neshel, 2025)، جلبک دریایی (Mohammadi et al., 2023; Rashnoo et al., 2020)، اسید آمینه (Khalesi et al., 2023) و سیلیکات پتاسیم (Niazbal et al., 2023; Hassanvand & Rezaei Nejad, 2018) را گزارش کرده‌اند که با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش مطابقت دارد. نیتروژن یکی از اجزای اصلی مولکول کلروفیل است و یکی از دلایل اصلی افزایش محتوای کلروفیل گیاه در اثر کاربرد کودهای آلی، تأمین نیتروژن کافی و در نتیجه افزایش سنتز کلروفیل می‌باشد (Vojodimehrabani & Valizadeh Kamran, 2022). اسید هیومیک از اجزای مواد آلی خاک بوده و به‌طور طبیعی در خاک‌های غنی از مواد آلی، وجود داشته و با ویژگی‌های منحصر به‌فرد خود، یک اصلاح‌کننده خاک است، لذا افزودن

رنگی‌های فتوسنتزی

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برای رنگی‌های فتوسنتزی، اثر تیمار بر میزان کلروفیل a و کلروفیل b معنی‌دار بود، اما برای میزان کاروتنوئید تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کلروفیل a (شکل ۱) و کلروفیل b به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار گرفتند (جدول ۴)، به‌طوری‌که تمامی تیمارها، چه به‌صورت تیمار ریشه‌ای و چه محلول‌پاشی برگ‌ی، منجر به افزایش مقادیر این دو صفت در مقایسه با شاهد شدند. بیشترین مقدار کلروفیل a با میانگین ۱۰/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و بیشترین مقدار کلروفیل b با میانگین ۳/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار اسید هیومیک به‌صورت تیمار ریشه‌ای به‌دست آمد،

آن به خاک‌های فقیر از مواد آلی می‌تواند، تولیدکنندگان را از نقش مثبت خود بهره‌مند سازد.

قند محلول

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارهای مختلف بر قند محلول در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار آماری بوده است (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین بالاترین قند محلول در کاربرد سیلیکات پتاسیم به‌صورت تیمار ریشه‌ای حاصل شد. همچنین کاربرد اسید آمینه، جلبک دریایی و اسید هیومیک نیز تأثیر مثبتی بر میزان قند محلول داشته و در مقایسه با شاهد میزان آن را افزایش دادند (جدول ۴). نتایج مطالعات نشان می‌دهد کاربرد کودهای زیستی و آلی موجب تحریک افزایش کلروفیل و فتوسنتز و در نتیجه قند بیشتر می‌شوند، همچنین این کودها با تغییر در سطح هورمون‌های گیاهی و میزان جذب عناصر غذایی در سنتز و تولید کربوهیدرات‌ها تأثیر دارند (Abdoli et al., 2025). سیلیسیم می‌تواند با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل، تعداد و سطح برگ، و همچنین تقویت فعالیت آنزیم‌های کلیدی فتوسنتزی مانند روبیسکو، به‌طور مستقیم بر افزایش نرخ فتوسنتز تأثیر بگذارد. علاوه بر این، سیلیسیم می‌تواند با کاهش تنش اکسیداتیو و حفاظت از ماکرومولکول‌هایی مانند پروتئین‌ها و غشاهای سلولی و کلروپلاستی، به گیاه کمک کند تا بهتر با شرایط تنش مقابله کرده، و همراه با بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش تولید قندهای محلول در گیاه می‌شود که بهبود کیفیت محصول را به دنبال دارد (Pereira et al., 2024; Khani et al., 2025). نتایج مشابهی در خصوص افزایش قند محلول در اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم در گیاه کلزا و رز گزارش شده است (Jalilzadeh et al., 2018; Khayat Moghadam et al., 2021). همچنین نتایج مطالعه‌ای در گیاه گل میخک نیز نشان داد که کاربرد کودهای آلی موجب افزایش قند محلول در این گیاه شده است (Moltallebi & Burbur, 2020).

محتوای نسبی آب برگ

با توجه به نتایج آزمایش، تمام تیمارها باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب در مقایسه با شاهد گردید به‌طوری‌که بوته‌هایی با محلول‌پاشی برگ با اسید آمینه و همچنین جلبک دریایی و اسید هیومیک به‌صورت تیمار ریشه‌ای حاوی بیشترین محتوای نسبی آب بود (شکل ۲). مطابق با نتایج بدست آمده در این پژوهش، کاربرد عصاره جلبک دریایی در ریحان نیز محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (Esmailpour et al., 2020). نتایج یک پژوهش در پنبه نشان داد که در اثر کاربرد اسید هیومیک محتوای نسبی برگ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Moosavi, 2020). به‌دلیل اینکه اسید هیومیک خاصیت شبه هورمونی داشته و باعث افزایش ریشه‌زایی می‌شود، می‌توان چنین نتیجه گرفت که با کاربرد اسید هیومیک، ظرفیت ریشه‌ها برای جذب آب و مواد مغذی افزایش می‌یابد. این امر نه تنها به تقویت رشد گیاه کمک می‌کند، بلکه باعث بهبود کارایی جذب آب توسط گیاه می‌گردد (Nabi et al., 2025).

پروتئین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بین تیمارهای مختلف از نظر صفت میزان پروتئین تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. جدول ۴ نشان می‌دهد که محلول‌پاشی برگ با اسید آمینه باعث افزایش پروتئین برگ گردید ولی بین تیمارهای دیگر با شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. محلول‌پاشی برگ با کودهای حاوی اسید آمینه موجب افزایش میزان پروتئین در برنج گردید زیرا اسیدهای آمینه به‌عنوان منابع اصلی نیتروژن برای گیاهان عمل کرده و تأمین نیتروژن از طریق اسیدهای آمینه می‌تواند به تقویت فعالیت‌های آنزیمی و متابولیسم گیاه، در نتیجه افزایش میزان پروتئین در بافت‌های گیاهی منجر شود (Mirtaleb et al., 2021)، که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش همخوانی دارد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر صفات فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی

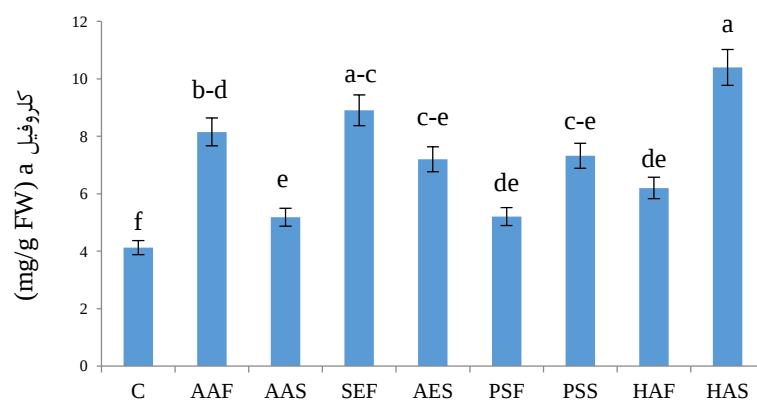
تیمارها	کلروفیل b (mg/g FW)	قند محلول (mg/g FW)	پروتئین (mg/g FW)
شاهد	$1/32 \pm 0/066^f$	$0/5187 \pm 0/025^e$	$0/2686 \pm 0/013^{bc}$
اسید آمینه (محلول پاشی)	$2/54 \pm 0/127^b$	$0/8209 \pm 0/041^b$	$0/3128 \pm 0/016^a$
اسید آمینه (خاک)	$1/56 \pm 0/078^e$	$0/8122 \pm 0/040^b$	$0/261 \pm 0/013^{bc}$
جلبک دریایی (محلول پاشی)	$3/01 \pm 0/150^a$	$0/7068 \pm 0/035^c$	$0/249 \pm 0/012^c$
جلبک دریایی (خاک)	$2/3 \pm 0/115^c$	$0/6338 \pm 0/031^d$	$0/242 \pm 0/012^c$
سیلیکات پتاسیم (محلول پاشی)	$1/45 \pm 0/072^e$	$0/6722 \pm 0/033^c$	$0/251 \pm 0/013^{bc}$
سیلیکات پتاسیم (خاک)	$1/55 \pm 0/077^e$	$1/056 \pm 0/051^a$	$0/244 \pm 0/014^c$
اسید هیومیک (محلول پاشی)	$1/92 \pm 0/096^d$	$0/6154 \pm 0/038^d$	$0/261 \pm 0/013^{bc}$
اسید هیومیک (خاک)	$3/22 \pm 0/161^a$	$0/5378 \pm 0/027^e$	$0/257 \pm 0/013^{bc}$

حروف متفاوت در ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P < 0.01$ می‌باشد.

تعداد گل

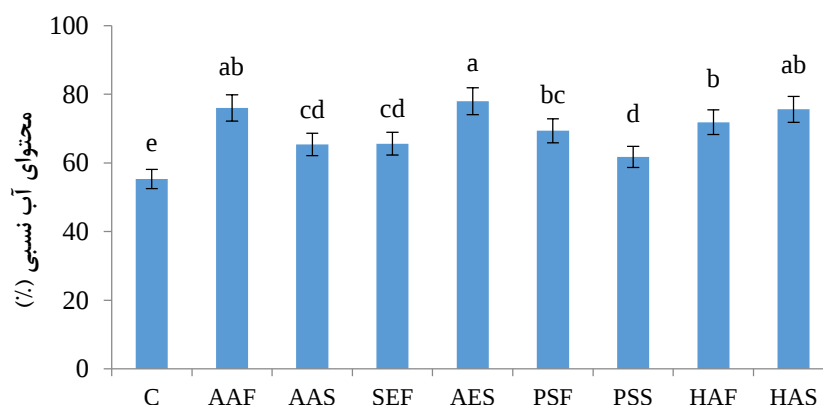
همانطور که نتایج تجزیه واریانس نشان داد تعداد گل در گیاه گوجه‌فرنگی در این آزمایش تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای اعمال شده قرار گرفت (جدول ۳). بررسی نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد بیشترین تعداد گل (۷/۲۶ عدد) با محلول پاشی برگ‌های اسید آمینه به‌دست آمد اگرچه کاربرد سیلیکات پتاسیم، جلبک دریایی و اسید هیومیک چه به‌صورت تیمار ریشه‌ای و چه به‌صورت محلول پاشی برگ‌های نیز باعث افزایش تعداد گل شده و با شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. در تحقیقی که در گیاه زعفران انجام شد، نتایج نشان داد که محلول پاشی برگ‌های اسیدهای آمینه موجب افزایش تعداد گل در بوته‌ها در مقایسه با شاهد شده و این افزایش می‌تواند به اثرات مثبت اسیدهای آمینه در تحریک فعالیت‌های متابولیکی گیاه و

بهبود فرآیندهای گلدهی نسبت داده شود (Ahmadi et al., 2025). نتایج مطالعه‌ای در گیاه چای ترش نشان داد که کاربرد جلبک دریایی موجب افزایش تعداد گل شد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Ghayoumi-Mohammadi & Asadi-Gharneh, 2019). وجود عناصر ماکرو و میکرو، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه، و همچنین تنظیم‌کننده‌های رشد مانند سیتوکینین در جلبک‌ها می‌تواند موجب افزایش گل‌دهی و رشد در گیاهان شود (Prasad et al., 2010; Shukla et al., 2018). همچنین، نتایج گزارش دیگری نشان داد که مصرف اسید هیومیک تعداد گل در گیاه زعفران را افزایش می‌دهد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد گل در تیمار اسید هیومیک و کمترین تعداد در شرایط عدم استفاده از این کود به‌دست آمد (Aminifard & Ahmadi, 2018).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر میزان کلروفیل a گیاه گوجه‌فرنگی

C: شاهد، AAF: اسید آمینه محلول پاشی، AAS: اسید آمینه خاک، SEF: جلبک دریایی محلول پاشی، SES: جلبک دریایی خاک، PSF: سیلیکات پتاسیم محلول پاشی، PSS: سیلیکات پتاسیم خاک، HAF: اسید هیومیک محلول پاشی، HAS: اسید هیومیک خاک



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر میزان گیاه گوجه‌فرنگی

C: شاهد، AAF: اسید آمینه محلول پاشی، AAS: اسید آمینه خاک، SEF: جلبک دریایی محلول پاشی، SES: جلبک دریایی خاک، PSF: سیلیکات پتاسیم محلول پاشی، PSS: سیلیکات پتاسیم خاک، HAF: اسید هیومیک محلول پاشی، HAS: اسید هیومیک خاک

قطر میوه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) بین تیمارهای مختلف برای صفت قطر میوه تفاوت معنی‌دار وجود داشت. طبق نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) تمام تیمارهای بکار برده شده در این آزمایش تأثیر مثبتی بر قطر میوه داشتند. بیشترین میزان برای صفت فوق، در کاربرد جلبک دریایی به صورت تیمار ریشه‌ای، به مقدار ۵۱/۳ میلی‌متر مشاهده شد. مشابه نتایج این آزمایش، محلول پاشی برگ با عصاره جلبک دریایی، قطر میوه را در کودی تلخ در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (Aminifard & Khandan, 2019). قطر میوه در طالبی محلی نیز به عصاره جلبک دریایی واکنش مثبتی از خود نشان داد (Rahimi & Asadi-Gharneh, 2019). افزایش در اندازه و عملکرد میوه در اثر کاربرد جلبک دریایی به دلیل حضور تنظیم‌کننده‌های رشد طبیعی مانند اکسین، جیبرلین، کینیتین و زآتین است. این ترکیبات هورمونی قادرند فرآیندهای مختلف رشدی مانند تقسیم سلولی، توسعه ریشه و رشد میوه‌ها را تحریک کنند. اکسین و جیبرلین در تسریع رشد میوه و بهبود کیفیت آن نقش داشته، در حالی که کینیتین و زآتین می‌توانند به افزایش گلدی و تعداد میوه‌ها کمک کنند (Mughunth et al., 2024). همچنین نتایج این پژوهش اثر مثبت کاربرد اسید هیومیک و اسید آمینه بر قطر میوه را نشان داد. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج Haghighi و Najafi (۲۰۲۰) همخوانی داشت که نشان دادند کاربرد اسید آمینه و اسید هیومیک باعث افزایش قطر میوه در گیاه گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شده است. دلیل افزایش قطر میوه در اثر کاربرد اسید آمینه در مقایسه با شاهد، می‌تواند به نقش اسیدهای

تعداد میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که کودهای مورد استفاده در این آزمایش بر تعداد میوه اثر معنی‌دار داشتند. براساس نتایج به دست آمده (شکل ۳)، بیشترین تعداد میوه در تیمارهای محلول پاشی برگ با اسید آمینه، جلبک دریایی و سیلیکات پتاسیم و همچنین در تیمار ریشه‌ای با اسید هیومیک مشاهده شد. رابطه بین تعداد گل، تعداد میوه و درصد تبدیل گل به میوه بررسی شد و نشان داد که افزایش تعداد گل با افزایش تعداد میوه مرتبط است. با این حال، تبدیل کامل گل‌ها به میوه‌ها تحت تأثیر نوع تیمار و شرایط محیطی قرار دارد و نمی‌توان آن را به طور کامل تضمین کرد. علاوه بر این، الگوی تفاوت بین روش‌های محلول پاشی برگ و تیمار ریشه‌ای برای کودهای مختلف نیز مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر روش کاربرد بر کارایی تیمارها متغیر است و به نوع کود وابسته می‌باشد؛ به طوری که برخی کودها در کاربرد ریشه‌ای مؤثرتر و برخی دیگر در محلول پاشی برگ کارایی بیشتری نشان دادند. مطالعات پیشین نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند؛ برای مثال، تغذیه با سیلیکات پتاسیم تعداد میوه در گوجه‌فرنگی را به طور معنی‌دار افزایش داد (Shokri et al., 2022). و کاربرد عصاره جلبک دریایی باعث افزایش تعداد میوه در گیاه کدو شد (Vojodimehrabani & Valizadeh Kamran, 2022). همچنین، اثر مثبت اسید هیومیک بر افزایش تعداد میوه در خیار گلخانه‌ای گزارش شده است (Seilsepour, 2022).

آمین به عنوان منبع نیتروژن نسبت داده شود. نیتروژن یکی از اجزای اصلی ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها است که نقش مهمی در رشد و تقسیم سلولی دارد. با تأمین نیتروژن به مقدار کافی از طریق اسید آمینه‌ها، گیاه قادر به بهبود فرآیندهای متابولیکی و سلولی خود می‌شود، که در نتیجه به افزایش قطر میوه و بهبود کیفیت آن منجر می‌گردد (Shah et al., 2024). در مورد اسید هیومیک نیز، با توجه به تأثیر آن در بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، این ترکیب می‌تواند به‌طور مستقیم بر رشد گیاه، عملکرد آن و نفوذپذیری غشاهای سلولی تأثیر مثبت بگذارد، بنابراین، انتظار می‌رود استفاده از اسید هیومیک باعث بهبود کیفیت میوه‌ها و افزایش عملکرد محصول شود (de Moura et al., 2023).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر تیمارهای مختلف در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اعمال تمام تیمارها چه به‌صورت محلول‌پاشی برگ‌ی و چه تیمار ریشه‌ای سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۵). Rahghoshahi و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک و جلبک دریایی موجب افزایش ارتفاع گیاه زیره سبز شدند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. کودهای آلی و زیستی از طریق اثرهای هورمونی و با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (Areche et al., 2023). در پژوهشی روی گیاه نخود، محلول‌پاشی برگ‌ی با اسید

آمین به موجب افزایش ارتفاع بوته شد. با توجه به نیتروژن موجود در اسید آمینه افزایش ارتفاع بوته قابل توجیه است (Khalesi et al., 2023). افزایش ارتفاع بوته تحت تأثیر سیلیکات پتاسیم در گیاه آلترنانترا گزارش شده که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (Mehregan et al., 2018). به نظر می‌رسد افزایش ارتفاع بوته به‌طور عمده به بهبود توانایی برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه مربوط باشد و این فرایندها تحت تأثیر سیلیسیم، به‌ویژه از طریق افزایش میزان کلروفیل و بهبود کارایی فتوسنتزی، تقویت می‌شوند. به‌علاوه، سیلیسیم با تقویت ساختار سلولی و افزایش مقاومت گیاه به استرس‌های محیطی، رشد و توسعه گیاه را تسهیل کرده و موجب افزایش عملکرد آن می‌شود (Shen, et al., 2022; Wan, et al., 2025).

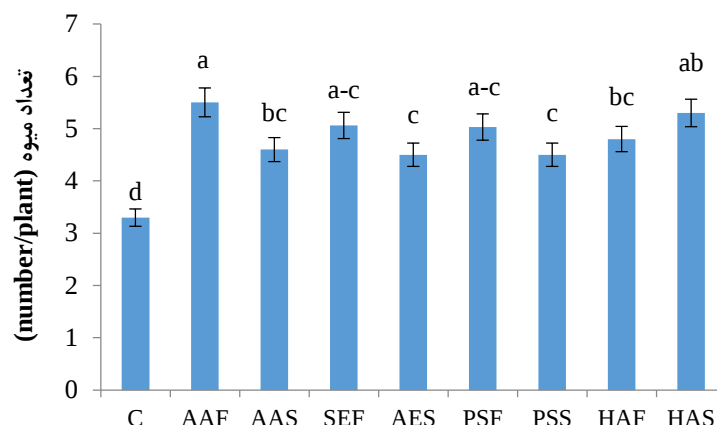
قطر ساقه

کاربرد اسید آمینه، جلبک دریایی، اسید هیومیک و سیلیکات پتاسیم چه به‌صورت محلول‌پاشی برگ‌ی و چه تیمار ریشه‌ای موجب افزایش قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۵). براساس گزارش Mohammadi و همکاران (۲۰۲۳) محلول‌پاشی برگ‌ی با عصاره جلبک سبب افزایش قطر ساقه در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون محلول‌پاشی برگ‌ی با عصاره جلبک) در گیاه بامیه شد. با کاربرد اسید هیومیک در فیلودندرون، (El-Shawa et al., 2022) و با کاربرد سیلیکات پتاسیم در گیاه آلترنانترا (Mehregan et al., 2018) قطر ساقه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر صفات فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی

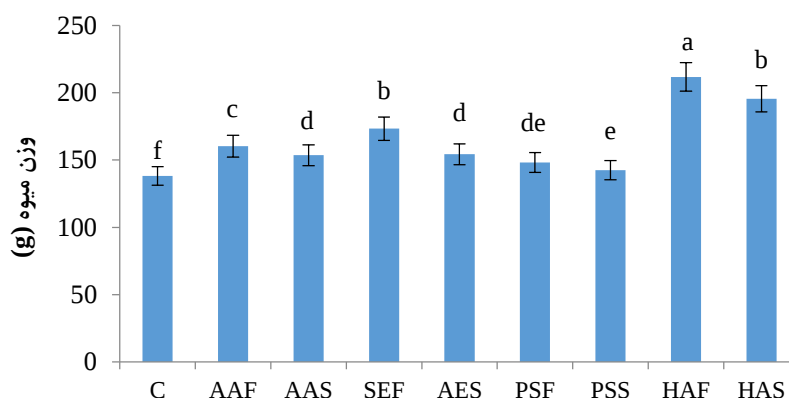
تیمارها	تعداد گل	قطر میوه (mm)	ارتفاع گیاه (cm)	قطر ساقه (mm)	حجم میوه (cm ³)
شاهد	۳/۳ ± ۰/۱۶ ^f	۳/۰۹ ± ۱/۵۴ ^e	۱۳۹/۱ ± ۶/۹ ^c	۹/۲ ± ۰/۴۶ ^d	۱۱۱/۱ ± ۵/۵ ^f
اسید آمینه (محلول‌پاشی)	۷/۳ ± ۰/۳۶ ^a	۴۰/۳ ± ۲/۰۱ ^c	۱۵۳/۵ ± ۷/۶ ^{ab}	۱۴/۱ ± ۰/۷۱ ^a	۱۶۲/۴ ± ۸/۱ ^c
اسید آمینه (خاک)	۵/۶ ± ۰/۲۸ ^c	۴۶/۸ ± ۲/۳۴ ^b	۱۵۱/۱ ± ۷/۵ ^b	۱۲/۲ ± ۰/۶۱ ^a	۱۳۷/۵ ± ۶/۸ ^d
جلبک دریایی (محلول‌پاشی)	۵/۳ ± ۰/۲۶ ^{cd}	۴۷/۱ ± ۲/۳۵ ^b	۱۵۲/۹ ± ۷/۶ ^{ab}	۱۴/۱ ± ۰/۷۱ ^a	۱۶۵/۱ ± ۸/۲ ^c
جلبک دریایی (خاک)	۴/۳ ± ۰/۲۱ ^e	۵۱/۳ ± ۲/۵۶ ^a	۱۵۳/۲ ± ۷/۷ ^{ab}	۱۴/۱ ± ۰/۷۱ ^a	۱۳۸/۲ ± ۶/۹ ^c
سیلیکات پتاسیم (محلول‌پاشی)	۴/۳ ± ۰/۲۱ ^e	۴۰/۱ ± ۲/۰۵ ^c	۱۵۴/۴ ± ۷/۷ ^{ab}	۱۴/۱ ± ۰/۷۱ ^a	۱۲۵/۳ ± ۶/۲ ^e
سیلیکات پتاسیم (خاک)	۶/۴ ± ۰/۳۲ ^b	۳۶/۲ ± ۱/۱۸ ^d	۱۵۵/۹ ± ۷/۸ ^b	۱۴/۰۳ ± ۰/۷۳ ^a	۱۲۱/۲ ± ۶/۱ ^e
اسید هیومیک (محلول‌پاشی)	۴/۸ ± ۰/۲۴ ^{de}	۳۹/۷ ± ۱/۹۸ ^c	۱۵۵/۵ ± ۷/۸ ^b	۱۴/۳ ± ۰/۷۳ ^a	۱۹۰/۲ ± ۹/۵ ^a
اسید هیومیک (خاک)	۵/۳ ± ۰/۲۶ ^d	۴۲/۳ ± ۲/۱۳ ^c	۱۵۵/۹ ± ۷/۸ ^b	۱۳/۲ ± ۰/۶۶ ^b	۱۷۲/۲ ± ۸/۶ ^b

حروف متفاوت در ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P < 0.01$ می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر تعداد میوه گیاه گوجه‌فرنگی

C: شاهد، AAF: اسید آمینه محلول‌پاشی، AAS: اسید آمینه خاک، SEF: جلبک دریایی محلول‌پاشی، SES: جلبک دریایی خاک، PSF: سیلیکات پتاسیم محلول‌پاشی، PSS: سیلیکات پتاسیم خاک، HAF: اسید هیومیک محلول‌پاشی، HAS: اسید هیومیک خاک



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر وزن میوه گیاه گوجه‌فرنگی

C: شاهد، AAF: اسید آمینه محلول‌پاشی، AAS: اسید آمینه خاک، SEF: جلبک دریایی محلول‌پاشی، SES: جلبک دریایی خاک، PSF: سیلیکات پتاسیم محلول‌پاشی، PSS: سیلیکات پتاسیم خاک، HAF: اسید هیومیک محلول‌پاشی، HAS: اسید هیومیک خاک

غشاهای سلولی و بهبود جذب عناصر غذایی شده و مواد هیومیکی با ویژگی‌های شبه هورمونی خویش، می‌توانند به تحریک رشد و بهبود عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی کمک نموده که این اثرات باعث بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و در نتیجه افزایش کیفیت و کمیت محصول می‌شود (Galambos et al., 2020).

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از تیمارهای کودی با منشأ آلی و زیستی، به‌ویژه اسید هیومیک، سیلیکات پتاسیم، جلبک دریایی و اسید آمینه، تأثیرات مثبتی بر ویژگی‌های رشدی و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی دارد. این

وزن و حجم میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمارهای اعمال شده تأثیر معنی‌داری بر وزن و حجم میوه داشت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین بیشترین وزن میوه با کاربرد اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی برگی و کمترین وزن میوه در گیاهان شاهد حاصل شد (شکل ۴). حجم میوه نیز تحت تأثیر تیمارهای مختلف افزایش داشت و بیشترین تأثیر مربوط به اسید هیومیک بود (جدول ۵). نتایج مطالعه‌ای در گیاه گوجه‌فرنگی نشان داد که کاربرد اسید هیومیک میزان عملکرد را در این گیاه افزایش داده است که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه مطابقت دارد (Aslani et al., 2019). کاربرد اسید هیومیک می‌تواند باعث افزایش تراوایی

یک ایده مناسب برای ایجاد کشاورزی پایدار با محصولات کم خطر و حتی بی خطر برای سلامت بشر مورد توجه قرار گیرد.

سیاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه ملایر جهت انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

تیمارها موجب افزایش تعداد میوه، قطر میوه، وزن میوه، و محتوای کلروفیل گیاه شدند. همچنین، افزایش قند محلول و محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تیمار شده مشاهده شد. بنابراین، استفاده از این ترکیبات می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود کیفیت و عملکرد گوجه‌فرنگی در کشاورزی پایدار و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی مطرح گردد. با این حال در راستای پیشگیری از آلودگی محیط زیست، کاهش مخاطرات ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و به منظور بهبود خصوصیات کیفی و کمی در گوجه‌فرنگی، کاربرد کودهای آلی و زیستی می‌تواند

منابع

- Abdoli, H., Nasiri, Y., Janmohammadi, M., & Nouraein, M. (2025). Effect of biological and chemical fertilizers and seaweed extract application on yield, yield components and some physiological traits of rainfed chickpea (Saeed cv.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 35(1), 1-24. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2024.56629.3046>
- Ahmadi, E., Sahabi, H., Fallahi, H. R., & Feizi, H. (2025). Nutrients can be effectively absorbed by saffron (*Crocus sativus* L.) leaves and affect positively the vegetative growth and flowering. *Journal of Medicinal plants and By-products*, 4, 345-356. <https://doi.org/10.22034/jmpb.2025.366770.1744>
- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Aminifard, M.H., & Ahmadi, F. (2018). Study on effects of foliar spraying and soil split application of humic acid on vegetative characteristics and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Crop Production*, 11(2), 123-132. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2018.12689.1992>
- Aminifard, M.H., & Khandan, S. (2019). The effect of different levels of seaweed extract on the growth, yield and biochemical characteristics of bitter squash (*Momordica charantia* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 13(52), 56-66. (In Persian)
- Ampong, K., Thilakarathna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Areche, F., Aguilar, S. V., More López, J. M., Castañeda Chirre, E. T., Sumarriva-Bustinza, L. A., Pacovilca-Alejo, O. V., & Salas-Contreras, W. H. (2023). Recent and historical developments in chelated fertilizers as plant nutritional sources, their usage efficiency, and application methods. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e271055. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.271055>
- Arnon, D. I. (1967). Photosynthetic activity of isolated chloroplasts. *Physiological Reviews*, 47(3), 317-358. <https://doi.org/10.1152/physrev.1967.47.3.31>
- Aslani, S., Barzegar, T., & Nikbakht, J. (2019). Effect of humic acid on physiological and biochemical indices and yield of tomato under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement*, 21(2), 221-232. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2019.272278.2137>
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- de Moura, O. V. T., Berbara, R. L. L., de Oliveira Torchia, D. F., Da Silva, H. F. O., de Castro, T. A. V. T., Tavares, O. C. H., & García, A. C. (2023). Humic foliar application as sustainable technology for improving the growth, yield, and abiotic stress protection of agricultural crops. A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(8), 493-513. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.05.001>
- Devi, L. A., Saravanan, K., Desai, D., Arun, M., Senthilkumar, N., Bremkumar, S., & Selvam, I. K. (2025). Exogenous supplementation of potassium silicate (K_2SiO_3) enhances growth and productivity of Okra (*Abelmoschus Esculentus*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02745-w>
- Elakiya, A., Jerlin, R., Sundaralingam, K., Gnanachitra, M., Maruthasalam, S., & Sathyamoorthy, P. (2025). Exploring Crop Stress Alleviation: A Potassium Silicate Perspective. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02423-x>

- El-Shawa, G. M., Alharbi, K., AlKahtani, M., AlHusnain, L., Attia, K. A., & Abdelaal, K. (2022). Improving the quality and production of philodendron plants using nanoparticles and humic acid. *Horticulturae*, 8(8), 678. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080678>
- Esmailpour, B., Fatemi, H., & Moradi, M. (2020). Effects of Seaweed Extract on Physiological and Biochemical Characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water-Deficit Stress Conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 11(1), 59-69. (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jspi.11.1.10288>
- FAO. (2020). Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. Verified at 12.24.2025.
- Galambos, N., Compant, S., Moretto, M., Sicher, C., Puopolo, G., Wäckers, F., & Perazzolli, M. (2020). Humic acid enhances the growth of tomato promoted by endophytic bacterial strains through the activation of hormone-, growth-, and transcription-related processes. *Frontiers in Plant Science*, 11, 582267. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.582267>
- Ghayoumi-Mohammadi, N., & Asadi-Gharneh, H. (2019). Effects of foliar application and use of vermicompost on quantitative and qualitative characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(6), 871-887. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.115698.2152> (In Persian)
- Grandy, A. S., Erich, M. S., & Porter, G. A. (2000). Suitability of the anthrone-sulfuric acid reagent for determining water soluble carbohydrates in soil water extracts. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(5), 725-727. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00203-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00203-5)
- Haghighi, M., & Najafi, H. (2020). The Effect of Humic Acid and Amino Acid Organic Fertilizers on Growth of Greenhouse Tomato Fruits Harvested at Four Growth Stages. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 11(2), 11-27. (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jspi.11.1.14917>
- Hassanvand, F., & Rezaei Nejad, A. (2018). Effect of potassium silicate on growth, physiological and biochemical characteristics of *Pelargonium graveolens* under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(4), 743-752. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.210950.104>
- Heidari, M., Paydar, A., Baradarn Firozabad, M., & Abedinin Esfalati, M. (2020). The Effect of drought stress and application of humic on quantitative yield, photosynthetic pigments, and mineral nutrients content in sunflower seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 51-62. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.253008.654448>
- Jalilzadeh, E., Jabbarzadeh, Z., & Norouzi, P. (2018). Effect of foliar spray of different sources and concentrations of silicon on some morphological and physiological characteristics of Rose cv. Beverly Watson. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 9(3), 65-78. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.20089082.1397.9.3.7.1>
- Khalesi, A., Mousavi Mirkalaeia, S. A., Modares Sanavi, S. A. M., Eftekhari, A., & Nashaeai Moghadam, M. (2023). Effect of foliar application of some amino acids on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(1), 27-40. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.339351.654902>
- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & 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(3), 675. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030675>
- Khayat Moghadam, M. S., Gholami, A., Shirani rad, A. H., BaradaranFiroozabadi, M., & Abbasdokht, H. (2021). The effect of Potassium Silicate and Late-Season Drought Stress on the Physiological Characters of Canola. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), 776-761. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.306872.2424>
- Mehregan, B., Mousavi Fard, S., & Rezaei Nezhad, A. (2018). Effect of foliar application of potassium silicate on some morphological, physiological and biochemical characteristics of *Alternanthera repens* L. under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 20(1), 299-314. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.228467.1682>
- Mirtaleb, S. H., Niknejad, Y., & Fallah, H. (2021). Foliar spray of amino acids and potassic fertilizer improves the nutritional quality of rice. *Journal of Plant Nutrition*, 44(14), 2029-2041. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1889588>
- Mohammadi, N., Rasoli, F., Behtash, F., Aazami, M. A., and Panahi Tajaragh, R. (2023). The influence of arbuscular mycorrhiza fungi and seaweed extract application on some of morpho-physiological characteristics and nutrient content of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) transplants. *Journal of Vegetables Sciences*, 7(13), 44-60. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.559507.1228>
- Moltallebi, E., & Burbur, R. (2020). Investigation of the effect of organic fertilizers on the amount of chlorophyll and sugar dissolved in Carnation and its comparison with chemical fertilizers. *The Iranian Journal of Plant and Biotechnology*, 15(3), 61-68. (In Persian).
- Moosavi, S. G. (2020). Effect of mycorrhiza and humic acid application on physiological traits, yield and water use efficiency of cotton under water deficit stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 22(1), 43-55. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2019.282993.2228>
- Mostafanezhad Nesheli, Z., Karimi, M., & Chalavi, V. (2025). Morphological and Physiological Response of gladiolus (*Gladiolus grandiflora*) to the Application of humic acid and amino acid. *Journal of Agricultural*

- Science and Sustainable Production*, 34(4), 125-137. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2023.55629.3009>
- Mughunth, R. J., Velmurugan, S., Mohanalakshmi, M., & Vanitha, K. (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*, 334, 113312. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113312>
- Nabi, F., Sarfaraz, A., Kama, R., Kanwal, R., & Li, H. (2025). Structure-Based Function of Humic Acid in Abiotic Stress Alleviation in Plants: A Review. *Plants*, 14(13), 1916. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.015>
- Najafi, M., Arouiee, H., & Aminifard, M. H. (2022). Effects of humic acid and amino acid on some growth traits on super Daminus cucumber (*Cucumis sativus* L.) under drought stress. *Journal OF Horticultural Science*, 35(4), 521-533. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61892.0>
- Niazbal, M., Kalatejari, S., Fatehi, F., & Diyanat, M. (2023). Effects of potassium silicate on some morphological and physiological traits of dichondra (*Dichondra repens*) cover plant grown under water deficit. *Plant Productions*, 45(4), 505-517. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2023.38291.2061>
- Pereira, S., Monteiro, A., Moutinho-Pereira, J., & Dinis, L. T. (2024). Silicon, an emergent strategy to lighten the effects of (a) biotic stresses on crops: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 210(6), e12762. <https://doi.org/10.1111/jac.12762>
- Prasad, K., Das, A. K., Oza, M. D., Brahmabhatt, H., Siddhanta, A. K., Meena, R., Eswaran, K., Rajyaguru, M., & Ghosh, P. K. (2010). Detection and quantification of some plant growth regulators in a seaweedbased foliar spray employing a mass spectrometric technique sanschromatographic separation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 4594-4601. <https://doi.org/10.1021/jf904500e>
- Rahghoshahi, M., Panahi Kord Laghari, K., & Rahimi, M. (2022). Study on humic acid and algae effects on grain yield and agronomical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(2), 286-300. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.356393.3079>
- Rahimi, M., & Asadi-Gharneh, H. (2019). Effect of foliar application of zinc sulfate and seaweed on qualitative and quantitative characteristics of local Kermanshah cantaloupe (Kalak). *Journal of Crop Production and Processing*, 8 (4), 17-28. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcpp.8.4.17>
- Rashnoo, A., Movahedi, Z., Rostami, M., and Ghabooli, M. (2020). *Piriformospora indica* Culture Filtrate and Biofertilizer (Nitrokara) Promote Chicory (*Cichorium intybus* L.) Growth and Morpho-physiological Traits in an Aeroponic System and Soil Culture. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 7(4), 353-363. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.292414.324>
- Ritchie, S. W., & Nguyen, H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
- Seilsepour, M. (2022). Study of the effect of different methods of application of humic acid and aminchelate on growth characteristics, yield, and concentration of nutrients in greenhouses Cucumber var. Supersultan. *Journal of Crops Improvement*, 24(2), 673-684. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.317591.2506>
- Shah, I. H., Jinhui, W., Li, X., Hameed, M. K., Manzoor, M. A., Li, P., & Chang, L. (2024). Exploring the role of nitrogen and potassium in photosynthesis implications for sugar: Accumulation and translocation in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 327, 112832. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112832>
- Shen, Z., Cheng, X., Li, X., Deng, X., Dong, X., Wang, S., & Pu, X. (2022). Effects of silicon application on leaf structure and physiological characteristics of Glycyrrhiza uralensis Fisch. and Glycyrrhiza inflata Bat. under salt treatment. *BMC Plant Biology*, 22(1), 390. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03783-7>
- Shokri Fomeshkenari, M., Ghasemi, K., & Emadi, S. M. (2022). Effect of various concentrations of potassium silicate on biomass, yield and silicon distribution in tomato plants. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(12), 33-46. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.543981.1187>
- Shukla, P. S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2018). Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AoB Plants*, 10, 1-8. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plx051>
- Song, X., Guo, W., Xu, L., & Shi, L. (2022). Beneficial effect of humic acid urea on improving physiological characteristics and yield of maize (*Zea mays* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 44(7), 72. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03401-x>
- Vojodimehrabani, L., & Valizadeh Kamran, R. (2022). In-soil organic fertilizer and foliar use of salicylic acid and sea algae extract (*Ascophyllum nodosum*) on the growth and yield of two native pumpkin clones (*Cucurbita pep*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(3), 115-132. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.46415.2688>
- Wan, Z., Gu, R., Liang, Y., Chun, X., Zhou, H., & Zhang, W. (2025). height and light-obtaining ability of *Leymus chinensis* increased after a decade of warming in the typical steppe of inner Mongolia, China. *Plants*, 14(11), 1702. <https://doi.org/10.3390/plants14111702>