

Improving the Characteristics of Tomato Seedlings by Integrated Application of Humic Acid, Auxin, and Phosphoric Acid

Mehdi Bayat¹, Akbar Hassani², Mehdi Nourzadeh Hadad³

1-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

E-mail: mahdibt5751@gmail.com

2-Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: akbar.hassani@znu.ac.ir

3- Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Karaj, Iran.

E-mail: m.nourzade@gmail.com

Received: March 12, 2025

Revised: May 12, 2025

Accepted: May 13, 2025

Published: May 29, 2025

Extended Abstracts

Background and Objectives

The use of growth stimulants and chemical fertilizers in agricultural production has been common for many years, and the number of these compounds is increasing every day. Transparency in costs, efficiency, effects, and how to apply them can encourage farmers to use these compounds. These compounds can be organic, chemical, or hormonal, and accordingly affect one or more plant growth factors. Some of these compounds are applied under specific conditions or by a specific method, and in addition to the plant, they also affect the characteristics of the soil as a growth medium. Therefore, different compounds and their effects on the soil, plant, and final product can be examined to determine the possibility of using the optimal combination to achieve better and more yield and improve soil quality. Accordingly, in this study, the effects of humic acid, phosphoric acid, and indole butyric acid (as a hormone) on tomato plants (*Solanum lycopersicum* L. cv. 83-20) were investigated.

Methodology

The experimental substrate contained 70% cocopeat and 30% perlite (V/V), and the study was conducted as a completely randomized design with 3 replications. The experimental treatments in this study included: T0-control, T1- humic acid (0.25 g/L), T2- phosphoric acid (0.25 g/L), T3- indole butyric acid dissolved in 0.01 M sodium hydroxide (5 mg/L), T4- humic acid (0.125 g/L) + indole butyric acid (2.5 mg/L), T5- humic acid (0.125 g/L) + phosphoric acid (0.125 g/L), T6- phosphoric acid (0.125 g/L) + indole butyric acid (2.5 mg/L), T7- humic acid (0.125 g/L) + phosphoric acid (0.125 g/L) + indole butyric acid (2.5 mg/L). The height, fresh and dry weights of shoot, fresh and dry weights of root, volume of root, number of leaves, diameter of stem, as well as the plant characteristics such as relative water content (RWC), chlorophyll concentration, and phosphorus percentage were measured.

Results

By statistical analysis of the measured data, it was found that the compounds used had significant effects on the measured plant parameters. The results showed that applying the aforementioned compounds in this experiment significantly increased the height of tomato plants. In a way, T7 had the greatest effect and the height of the plant in this treatment reached 9.9 cm. This was while in the control treatment, the height of the plant was measured as 4.04 cm and no significant differences were observed between the treatments of T2,

T3, T4, T5, and T6. Although all applied compounds increased the stem diameter and the maximum increase was in the T7 with 2.49 mm and the lowest was in the control treatment with 0.73 mm. The results also showed that the highest fresh and dry weights of plant root (1.03 and 0.10 g, respectively) were observed in the T7, which was a combination of auxin hormone + humic acid + phosphoric acid. In addition, the fresh weight of the aerial parts of tomato plants was the highest with T7, which increased about 6 times compared to the control treatment. While the lowest fresh and dry weights of plant root (0.15 and 0.02 g, respectively) were measured in the control treatment. The results showed that the treatments had a significant effect on the dry weight of the aerial parts, so that the highest dry weight of the aerial parts (0.25 g) was observed in the T7 and the lowest (0.04 g) was in the control treatment. The highest amount of chlorophyll concentration (34.46 mg/100 g of fresh weight) was measured in the T7 and the lowest of that (7.23 mg/100 g of fresh weight) was in the control treatment. However, no significant differences were observed between the treatments of T5, T6, and T7 (Figure 8). Also, the highest amount of phosphorus concentrations in the plant root and shoot were in the T7 and T5, respectively. In addition, applying hormones alone (T3) reduced the amount of phosphorus concentration in the plant root.

Conclusion

According to the final results of this study, the integrated treatment of auxin hormone + humic acid + phosphoric acid can be introduced as a useful and effective growth stimulant in tomato plant growth. Furthermore, it seems necessary to investigate more about the effect of this combination on quantity and quality of final product.

Keywords: Chemical fertilizers, Growth stimulants, Hormone, Indole butyric acid, Integrated plant nutrition management.

Author Contributions

Conceptualization, M.B. and A.H.; methodology, M.B. and M.N.H.; software, M.N.H.; validation, M.N.H.; formal analysis, M.B. and M.N.H.; investigation, M.B., M.N.H., and A.H.; resources, M.N.H. and A.H.; data curation, M.B. and M.N.H.; writing—original draft preparation, M.N.H. and A.H.; writing—review and editing, M.N.H. and A.H.; visualization, M.N.H.; supervision, A.H.; project administration, A.H.; funding acquisition, A.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

This paper is published as a part of a Master's thesis supported by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Zanjan, Zanjan, Iran. The authors are thankful to the University of Zanjan for financial supports.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Cite this article: Bayat, M., Hassani, A. & Nourzadeh Hadad, M. (2025). Improving the characteristics of tomato seedlings by integrated application of humic acid, auxin, and phosphoric acid. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(1), 51–66.

<https://doi.org/10.22034/sps.2025.66358.1003>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Copyright © 2025 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz

OPEN ACCESS
JOURNALS



مقاله پژوهشی

بهبود ویژگی‌های نشای گوجه فرنگی با مصرف تلفیقی هیومیک اسید، اکسین و فسفریک اسید

مهدی بیات^۱، اکبر حسنی^۲، مهدی نورزاده حداد^۳

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: mahdibt5751@gmail.com

۲- نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

رایانامه: akbar.hassani@znu.ac.ir

۳- پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران.

رایانامه: m.nourzade@gmail.com

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲ | تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۲ |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۰۸ |

چکیده

تولید نشای قوی و سالم، در تولید بوته‌های قوی گوجه فرنگی در مزرعه تأثیر زیادی دارد و در نهایت سبب تولید محصول بیشتر خواهد شد. تولید نشای سالم به نوع تیمار آن در مرحله جوانه‌زنی و کشت در سینی نشا بستگی دارد. بنابراین، آزمایشی با ۸ تیمار و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار برای بررسی تأثیر مجزا و هم‌زمان هیومیک اسید (۲۵۰ گرم بر لیتر)، هورمون اکسین (۵ میلی‌گرم بر لیتر) و فسفریک اسید (۲۵۰ گرم بر لیتر) در طول مرحله تولید نشای گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L. cv. 83-20) با تمرکز بر بهبود ریشه‌زایی و رشد گیاه طراحی و اجرا شد. در تیمارهای تلفیقی از نصف غلظت هر یک از ترکیب‌های مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع نشا (۹/۹ سانتی‌متر) در تیمار تلفیقی اکسین + هیومیک اسید + فسفریک اسید و کمترین آن (۴/۰۴ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین افزایش قطر ساقه نشای گوجه فرنگی (۲/۴۹ میلی‌متر) در تیمار اکسین + هیومیک اسید + فسفریک اسید و کمترین آن (۰/۷۳ میلی‌متر) در تیمار شاهد بودند. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک ریشه نشای گوجه فرنگی (به ترتیب ۱/۰۳ و ۰/۱۰ گرم) در تیمار تلفیقی اکسین + هیومیک اسید + فسفریک اسید بودند. این در حالی است که کمترین مقدار آن‌ها (به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۰۲ گرم) در تیمار شاهد مشاهده شد. علاوه بر این، بیشترین وزن تر اندام‌های هوایی نشای گوجه فرنگی با اعمال تیمار تلفیقی اکسین + هیومیک اسید + فسفریک اسید حاصل شد. نتایج نشان داد که اعمال تیمارها بر وزن خشک اندام‌های هوایی تأثیر معنادار داشت به طوری که بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی (۰/۲۵ گرم) در تیمار تلفیقی اکسین + هیومیک اسید + فسفریک اسید و کمترین آن (۰/۰۴ گرم) در تیمار شاهد حاصل شد. بیشترین غلظت کلروفیل (۳۴/۴۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار تلفیقی اکسین + هیومیک اسید + فسفریک اسید و کمترین آن (۷/۲۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار شاهد بودند. با توجه به نتایج نهایی این تحقیق می‌توان تیمار تلفیقی اکسین + هیومیک اسید + فسفریک اسید را به‌عنوان یک محرک رشد مفید و مؤثر بر رشد گیاه گوجه فرنگی معرفی نمود.

کلمات کلیدی: ایندول بوتیریک اسید، فسفریک اسید، محرک‌های رشد، ریشه‌زایی، مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه

استناد به این مقاله: بیات، م.، حسنی، ا. و نورزاده حداد، م. (۱۴۰۴). بهبود ویژگی‌های نشای گوجه فرنگی با مصرف تلفیقی هیومیک اسید، اکسین و فسفریک اسید. نشریه دانش خاک و گیاه، ۳۵(۱)، ۵۱-۶۶.

مقدمه

یک نشای قوی و سالم تضمین کننده یک گیاه قوی و سالم در مزرعه خواهد بود و در نهایت سبب تولید محصول بیشتر خواهد شد. در گذشته تولید نشا بدون توجه به مواد تغذیه‌ای انجام می‌شد اما اکنون تغذیه گیاه در مرحله تولید نشا اهمیت بسیار زیادی دارد. مطالعات انجام شده در زمینه تغذیه گیاهان در مرحله نشا اندک است و نیاز به تحقیقات بیشتری برای تولید نشای سالم وجود دارد. استفاده از کودها و مواد محرک رشد می‌تواند راه حلی برای تولید نشای سالم باشد. با این حال، استفاده از کودهای شیمیایی می‌بایست به نحوی باشد که نه تنها منجر به ایجاد معضلات محیط‌زیستی نشود بلکه باعث بهبود معنادار کمیت و کیفیت محصول شود (Lesk et al., 2016, Nourzadeh Hadad et al., 2017).

اکسین به عنوان یک هورمون رشد و ریشه‌زای قوی، هیومیک اسید به عنوان یک کود آلی و فسفریک اسید به عنوان یک ترکیب شیمیایی دارای فسفر محلول از انواع ترکیباتی هستند که به شکل گسترده‌ای در تولید نشا و با تمرکز بر بهبود ریشه نشای انواع سبزی و صیفی‌جات استفاده می‌شوند (Zhang et al., 2003, Etemadian et al., 2017, Hussain et al., 2021). اکسین‌ها از گروه هورمون‌های گیاهی هستند و محلول‌پاشی اکسین در گیاهان غیرلگوم موجب رشد بیشتر ریشه و افزایش جذب آب و عنصرهای غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و افزایش رشد گیاه می‌شود (Kravchenko et al., 1994). در مطالعه‌ای اثرات مثبت اعمال هورمون اکسین بر عملکرد گوجه فرنگی را گزارش نمودند (Javanpour et al., 2014).

هیومیک اسید به‌طور مستقیم بر تعدادی از مسیرهای رشدی در گیاهان اثر مثبت دارد و رشد نشا، تشکیل و رشد ریشه، توسعه شاخه و جذب عنصرهای غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم) و عنصرهای غذایی کم‌مصرف (آهن، روی و منگنز) را در گیاهان افزایش می‌دهد و سبب بهبود رشد گیاه می‌شود. همچنین بر ویژگی‌های خاک از جمله تراکم، تهویه، نفوذپذیری، قابلیت نگهداری آب و انتقال و زیست‌فراهمی عنصرهای غذایی تأثیر مثبتی دارد (Tomehzadeh et al., 2021). هیومیک اسید می‌تواند به‌طور مستقیم اثرهای مثبتی بر رشد گیاه بگذارد به نحوی که رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه توسط هیومیک اسید تحریک می‌شود ولی اثر آن بر ریشه برجسته‌تر است و سبب افزایش حجم ریشه و بهبود سیستم ریشه می‌شود. شماری از تحقیقات نشان داده‌اند که توانایی هیومیک اسید در تأثیر بر رشد و مورفولوژی ریشه می‌تواند به دلیل تأثیرات شبه‌هورمونی مانند اکسین و نیتریک اکسید باشد (Dobbss et al., 2010, Zandonadi et al., 2007).

محققان (Habibi Sharafabad et al., 2018) با انجام آزمایش‌های متعدد گزارش نمودند که استفاده همزمان از سالیسیک اسید و هیومیک اسید بیشترین تأثیر مثبت را در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گوجه فرنگی داشت. در تحقیقی دیگر محققان اذعان داشتند که استفاده از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هیومیک اسید نه تنها منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی محصول گوجه فرنگی شد، مقاومت گیاه را به تنش خشکی نیز افزایش داد (Aslani et al., 2019). در مطالعه‌ای مشابه اثر مثبت بهبود ویژگی‌های ریشه گیاه گوجه فرنگی بر اثر استفاده از هیومیک اسید و افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش خشکی با استفاده از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشخص شد (Haghighi and Najafi, 2020). در این مورد، Yildirim, 2007 در تحقیقات خود نتیجه گرفت که بهترین مقدار مصرف هیومیک اسید برای دستیابی به بیشینه محصول گوجه فرنگی، ۲۰ میلی‌لیتر بر لیتر آب آبیاری بود.

فسفریک اسید یکی از منابع مهم فسفر است که برای رشد و توسعه گیاهان ضروری است. با بهبود وضعیت ریشه‌ها و جذب بهتر عنصرهای غذایی، کیفیت میوه‌ها و سبزی‌های تولید شده افزایش می‌یابد (Zhang et al., 2019). فسفریک اسید یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده کودهای فسفاتی مانند سوپرفسفات تریپل و دی‌آمونیم فسفات است. همچنین، فسفریک اسید به تنهایی نیز به عنوان یک کود فسفاتی قابل استفاده است. فسفریک اسید یک اسید ضعیف است و تمام فسفر موجود در آن به شکل فسفاتی و محلول در آب و قابل جذب گیاهان است. کاربرد این ترکیب در خاک‌های آهکی افزون بر تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان (Hashmied et al., 2017) به دلیل خاصیت اسیدی سبب اصلاح خاک آهکی نیز می‌شود (Naeem et al., 2013). به دلیل خاصیت اسیدی ضعیف فسفریک اسید، مخاطرات اسیدهای قوی مثل سولفوریک اسید را ندارد و سبب سوزاندن پوست انسان و ریشه گیاهان نیز نمی‌شود. همچنین محققان (Etemadian et al., 2017) گزارش نمودند که کاربرد فسفریک اسید در یک خاک آهکی سبب کاهش pH خاک شد و همچنین کاربرد آن در کشت ذرت به شکل بسیار قابل توجهی باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه گردید و با تیمار شاهد تفاوت معنادار داشت.

کاربرد فسفریک اسید در کشاورزی توسط برخی پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهشی (Hashmi et al., 2017) نشان دادند که کاربرد فسفریک اسید در خاک‌های آهکی نسبت به دی‌آمونیم فسفات منبع بهتری از فسفر بود و محصول بیشتری تولید کرد. آنان گزارش نمودند که بیشترین کارایی مصرف فسفر در تیمار فسفریک اسید (۲۳/۴ درصد) و کمترین کارایی مصرف (۱۷/۱ درصد) نیز در تیمار دی‌آمونیم فسفات به دست آمد. همچنین، (Naeem et al., 2013) در پژوهشی اعلام نمودند که جذب سطحی فسفر در خاک از منبع فسفریک اسید کمتر از دی‌آمونیم فسفات بود. همچنین آنان گزارش نمودند که مقدار فسفریک اسید مورد نیاز برای رسیدن به غلظت مطلوب فسفر در محلول خاک کمتر از دی‌آمونیم فسفات بود. در یک نمونه خاک با ۲۰ درصد آهک مقدار دی‌آمونیم فسفات مورد نیاز برای رسیدن به حد مطلوب فسفر در محلول خاک، ۱۱۳ کیلوگرم بود در حالی که در همان خاک با ۹۸ کیلوگرم فسفریک اسید این نیاز برطرف شد.

در مطالعه‌ای دیگر (Akhtar et al., 2016) نیز با مقایسه کاربرد سه منبع کود فسفری دی‌آمونیم فسفات، سوپرفسفات تریپل و فسفریک اسید در مزرعه گندم گزارش نمودند که بیشترین عملکرد با مصرف فسفریک اسید به دست آمد. با توجه به اثرات هیومیک اسید به عنوان کود آلی، فسفریک اسید به عنوان کود شیمیایی و اکسین به عنوان محرک رشد طبیعی بر رشد ریشه و شاخساره نشای گوجه فرنگی و در نهایت جذب عنصرهای غذایی، در این تحقیق کارایی استفاده از هر یک از مواد مذکور به طور جداگانه و هم‌زمان بر نشای گوجه فرنگی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۴۰۲ آغاز و به مدت چهار ماه در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. برای انجام این پژوهش، بذر گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) رقم ۲۰-۸۳ از سازمان جهادکشاورزی استان زنجان تهیه شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی در این پژوهش شامل T0- شاهد، T1- هیومیک اسید (۰/۲۵ گرم بر لیتر)، T2- فسفریک اسید (۰/۲۵ گرم بر لیتر) و T3- هورمون ایندول بوتیریک اسید حل شده در هیدروکسید سدیم ۰/۰۱ مولار (۵ میلی‌گرم بر لیتر)، T4- هیومیک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + هورمون ایندول بوتیریک اسید (۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر)، T5- هیومیک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + فسفریک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) T6- فسفریک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + هورمون

ایندول بوتیریک اسید (۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر)، T8- هیومیک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + فسفریک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + هورمون ایندول بوتیریک اسید (۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر).

جدول ۱ نام و ترکیب تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. در این پژوهش فسفریک اسید مورد استفاده از یک فسفریک اسید چینی گرید خوراکی ۸۵ درصد جرمی استفاده شد. هیومیک اسید از بخش تحقیقاتی شرکت دانش بنیان زیست نهاده پویا تأمین شد. هورمون ایندول بوتیریک اسید نیز از شرکت مرک آلمان تهیه شد. کاشت بذور، درون سینی‌های استریل شده و حاوی بستر کوکوپیت (۷۰ درصد حجمی) و پرلیت (۳۰ درصد حجمی) انجام شد. هر سینی دارای ۶۰ خانه بود و در هر خانه ۱ بذر کشت شد (جمعاً ۶۰ بذر). هر تکرار شامل یک سینی کشت نشا استاندارد ۶۰ خانه‌ای (ابعاد ۳۰ در ۴۰ سانتی‌متر) بود. پس از کشت، سینی‌ها با یک ورقه نایلون پوشانده شدند تا تبخیر نشود. هوای زیر نایلون بین ۲۸ تا ۳۲ درجه سلسیوس بود. این شرایط باعث می‌شود که همه بذرها به‌طور یکنواخت سبز شوند و جوانه‌زنی آن‌ها تسریع شوند.

پس از ظهور اولین جوانه‌زنی بذرها، نایلون‌ها برداشته شده و آبیاری روزانه با آب با شوری ۳۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر انجام شد. متوسط دمای گلخانه ۳۰ درجه سلسیوس و شدت نور ۲۵۰۰۰ لوکس بود. اولین مرحله اعمال تیمارها در روز شانزدهم پس از سبز شدن و سه مرحله بعدی نیز در ۲۱، ۳۱ و ۴۱ روز پس از جوانه‌زنی انجام شد. ترکیبات مورد نیاز تیمارها همراه با آب آبیاری به بستر کشت اضافه شد. برای حفظ کیفیت نشاها در روزهای ۲۵ و ۳۵، ترکیب پتاسیم نترات + عنصرهای غذایی کم‌مصرف به همه تیمارها اعمال شد. در پایان آزمایش و ۴۵ روز پس از جوانه‌زنی، نمونه‌برداری از نشاها انجام شد. ارتفاع، وزن تر اندام‌های هوایی، وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه، وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه، تعداد برگ، قطر ساقه و نیز صفاتی مانند مقدار نسبی آب، غلظت کلروفیل و درصد فسفر ریشه و اندام‌های هوایی، ویژگی‌هایی از گیاه بودند که اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- توصیف تیمارهای اعمال شده

| تیمار | ترکیب تیمار |
|-------|---|
| T0 | شاهد |
| T1 | هیومیک اسید (۰/۲۵ گرم بر لیتر) |
| T2 | فسفریک اسید (۰/۲۵ گرم بر لیتر) |
| T3 | هورمون ایندول بوتیریک اسید حل شده در هیدروکسید سدیم ۰/۰۱ مولار (۵ میلی‌گرم بر لیتر) |
| T4 | هیومیک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + هورمون ایندول بوتیریک اسید (۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) |
| T5 | هیومیک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + فسفریک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) |
| T6 | فسفریک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + هورمون ایندول بوتیریک اسید (۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) |
| T7 | هیومیک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + فسفریک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + هورمون ایندول بوتیریک اسید (۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) |

۴۵ روز پس از جوانه‌زنی، سینی‌های کشت نشاهای گوجه فرنگی برای بررسی اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات رشدی نشاها مورد بررسی قرار گرفتند. در پایان دوره این پژوهش، پارامترهای رشدی نشاهای گوجه فرنگی از قبیل ارتفاع گیاه، وزن تر اندام‌های هوایی، وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه، تعداد برگ و قطر ساقه و نیز صفاتی مانند مقدار نسبی آب، غلظت کلروفیل و درصد فسفر اندازه‌گیری شد. قطر ساقه

گیاه در محل طوقه گیاه به کمک کولیس دیجیتال مدل (Mitutoyo 0.05 mm) اندازه‌گیری شد. از هر گلدان تعداد برگ‌های پنج بوته به‌طور جداگانه شمارش و سپس میانگین تعداد برگ در هر بوته محاسبه شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه بر حسب سانتی‌متر از هر تیمار پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و با کمک خط‌کش طول ساقه اصلی سنجش و میانگین‌گیری گردید. همچنین اندازه‌گیری فسفر به روش اسپکتروفتومتر و با کمپلکس زرد مولیبدات-وانادات انجام شد (Karla, 1997).

برای سنجش غلظت کلروفیل کل از بافت تازه برگ استفاده شد. ۰/۱ گرم از نمونه‌ها در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس با دور ۵۰۰۰ به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب محلول روشن‌آور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (SAFAS MONACO- RS 232) در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل قرائت شد. در نهایت غلظت آن‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید. V ، بیانگر حجم نهایی عصاره کلروفیل در استون ۸۰ درصد، W ، وزن تازه بافت استخراج شده، A ، جذب در طول موج مشخص می‌باشد (Arnon, 1967).

$$\text{رابطه (۱)} = [20.2 (A645) + 8.02 (A663)] \times V / (W \times 1000) = \text{غلظت کلروفیل کل}$$

همچنین، وزن تر اندام‌های هوایی (برگ‌ها و ساقه‌ها) و وزن تر ریشه نشاها اندازه‌گیری شدند. سپس، اندام‌های هوایی و ریشه در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت نگهداری تا خشک شدند. این مرحله برای به دست آوردن وزن خشک اندام‌ها نیاز است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

جدول ۲ تجزیه واریانس فاکتورهای مورد اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ترکیبات مورد استفاده بر تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده گیاه در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنادار داشتند. همانطور که در شکل ۱ مشخص است اعمال ترکیبات مذکور در این آزمایش تأثیر معناداری در افزایش ارتفاع نشای گوجه فرنگی داشت؛ به نحوی که تیمار TV بیشترین تأثیر را داشت و ارتفاع نشا در این تیمار به ۹/۹ سانتی‌متر رسید. این در حالی است که در تیمار شاهد ارتفاع نشا ۴/۰۳ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و بین تیمارهای T_2 ، T_3 ، T_4 ، T_5 و T_6 تفاوت معناداری مشاهده نشد. نتایج سایر مطالعات نیز بیانگر تأثیر مثبت محلول‌پاشی هیومیک اسید بر تولید هورمون سیتوکینین و اکسین و کاهش غلظت هورمون آبسزیک اسید در اندام‌های هوایی و در نتیجه افزایش رشد اندام‌های هوایی نشا گوجه فرنگی بوده است (De Hita et al., 2020, Olaetxea et al., 2019). این محلول‌پاشی می‌تواند در محدوده ریشه نیز مؤثر باشد به نحوی که محققان ادعان داشتند که محلول‌پاشی هیومیک اسید در محیط ریشه از طریق افزایش زیست‌فراهمی عنصرهای غذایی در گیاهان باعث بهبود رشد و افزایش ارتفاع گوجه فرنگی شد (Osman and Rady, 2014). (Mirzaei Varoei et al. (2023). افزایش ارتفاع گیاه مرزه را با مصرف هر سه سطح هیومیک اسید گزارش کردند.

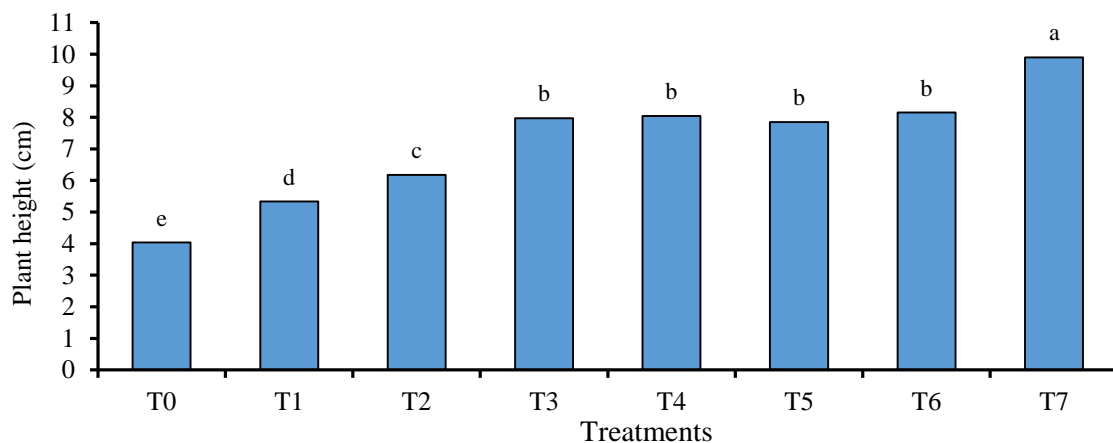
نمودار ستونی اثر ترکیبات مورد آزمایش بر قطر ساقه در شکل ۲ نشان داده شده است. علیرغم اینکه همه ترکیبات اعمال شده باعث افزایش قطر ساقه شدند، بیشترین افزایش مربوط به تیمار ۷ با ۲/۴۹ میلی‌متر و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد با ۰/۷۲ میلی‌متر بود. همچنین، نتایج نشان داد که ترکیبات مورد آزمایش در این تحقیق بر وزن تر ریشه تأثیر معناداری داشتند. همانطور که در شکل ۳ مشخص است بیشترین وزن تر ریشه در

تیمار TV که ترکیبی از هورمون اکسین + هیومیک اسید + فسفریک اسید است ۱/۰۳ گرم اندازه‌گیری شد. این در حالی است که کمترین مقدار آن در تیمار شاهد با ۰/۱۴۵ گرم تعیین شد. محققان (Haghighi and Najafi, 2020) نیز گزارش نمودند که مصرف هیومیک اسید موجب تقویت ریشه بوته گوجه فرنگی شد و بر اثر آن، جذب عنصرهای غذایی بهبود یافت. (Mirzaei Varoei et al. (2023) افزایش قطر ساقه گیاه مرزه را با مصرف سوم هیومیک اسید گزارش کردند. بر اساس نتایج به دست آمده کلیه تیمارهای استفاده شده در این آزمایش بر افزایش وزن خشک ریشه تأثیر معناداری معنادار داشتند. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه در تیمار T۰ و T۷ به ترتیب ۰/۰۹۵ و ۰/۰۲۰ اندازه‌گیری شد. (Mirzaei Varoei et al. (2023) افزایش ماده خشک ریشه گیاه مرزه را با مصرف سطوح دوم و سوم هیومیک اسید گزارش کردند.

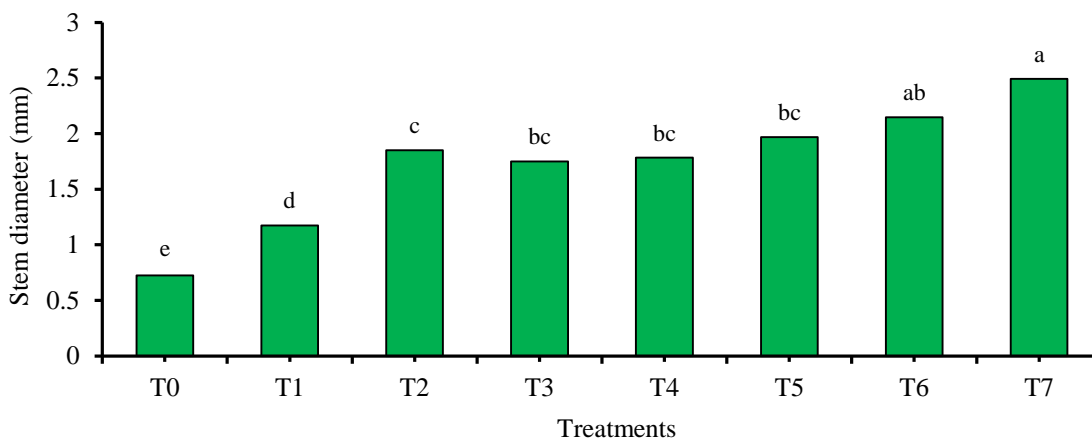
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه فرنگی

| میانگین مربعات | | | | | | | | | | | منبع تغییر | |
|------------------|-------------|------------------|-------------------|-------------|--------------|-----------|----------|---------------|--------------|----------------|------------|---------------------|
| درجه آزادی | ارتفاع بوته | وزن تر بخش هوایی | وزن خشک بخش هوایی | وزن تر ریشه | وزن خشک ریشه | تعداد برگ | قطر ساقه | مقدار نسبی آب | غلظت کلروفیل | غلظت فسفر ریشه | | غلظت فسفر بخش هوایی |
| ۷ | ۱۱/۷۲۱** | ۱/۷۳۱** | ۰/۰۱۳** | ۰/۲۱۳** | ۰/۰۰۱** | ۱۰۴/۹** | ۰/۹۱۹** | ۷۸۱/۱** | ۲۱۲/۸** | ۰/۲۲۱** | ۰/۵۱۹** | تیمارها |
| ۱۴ | ۰/۱۸۸ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۴/۳۱۴ | ۰/۰۰۳۹ | ۱/۳۱۱ | ۲/۶۸۵ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۸ | خطا |
| ضریب تغییرات (%) | ۵/۹۹ | ۳/۳۵ | ۱۸/۳۴ | ۵/۱۰ | ۹/۴۰۶ | ۹/۶۴ | ۱۱/۳۷ | ۲ | ۸/۲۷ | ۷/۸۳ | ۶/۷۵ | |

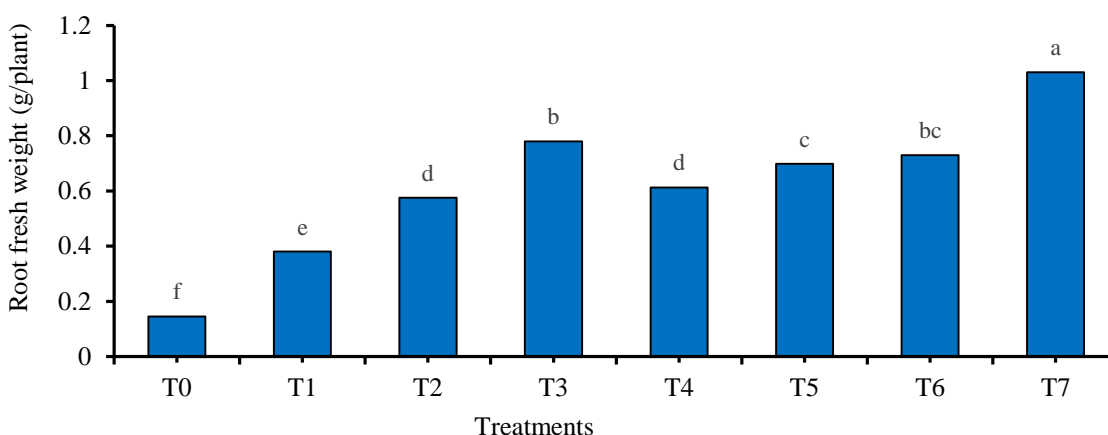
** معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.



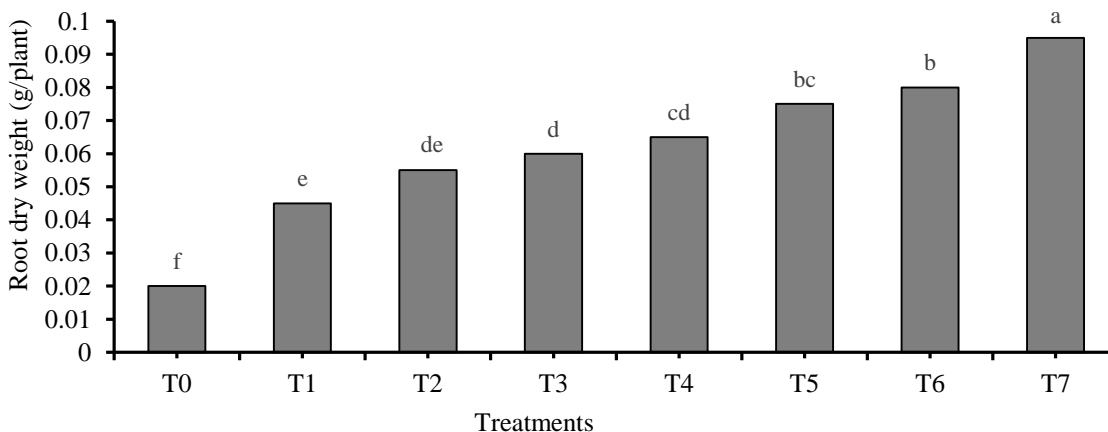
شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف بر ارتفاع نشای گوجه فرنگی (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف بر قطر ساقه (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف بر وزن تر ریشه (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)

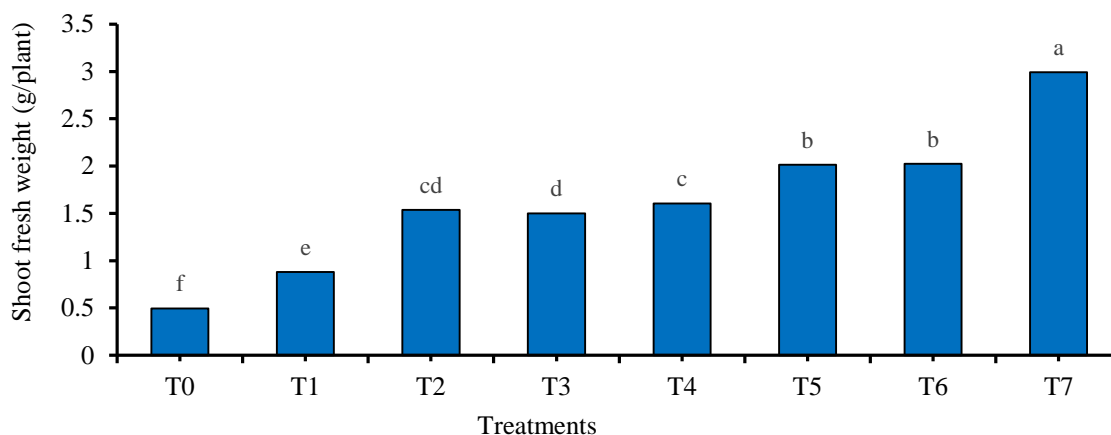


شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک ریشه (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)

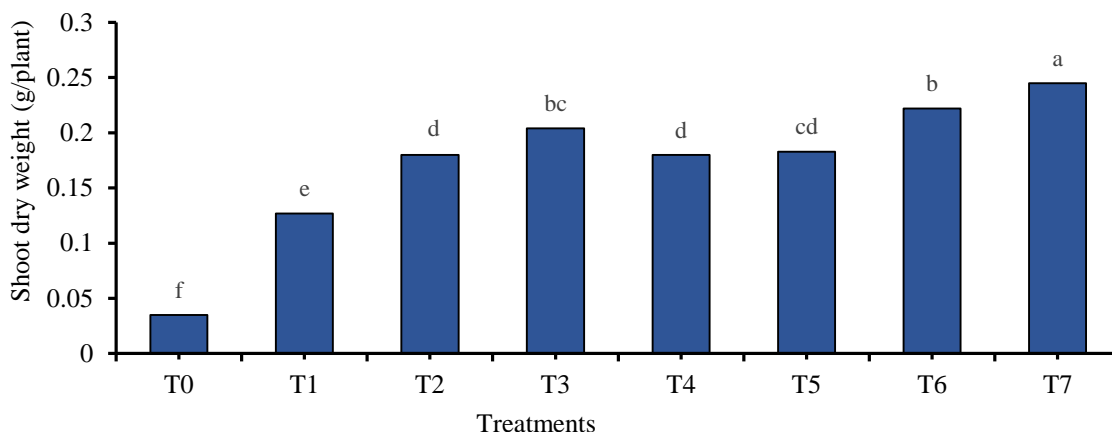
شکل ۵ تغییرات وزن تر اندام‌های هوایی بوته گوجه فرنگی را نشان می‌دهد. در این بخش نیز تیمار ۷ بیشترین تأثیر را داشته است. این تأثیر به نحوی بوده است که با اعمال تیمار T۷ وزن تر اندام‌های هوایی بوته گوجه فرنگی نسبت به تیمار شاهد، حدود ۶ برابر افزایش یافته است. محققان (Habibi Sharafabad et al., 2018) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابه دست یافتند. (Mirzaei Varoei et al. (2023) افزایش وزن تر شاخساره گیاه مرزه را با مصرف

سطوح دوم و سوم هیومیک اسید گزارش کردند. همچنین، نتایج نشان داد اعمال تیمارها بر وزن خشک اندام‌های هوایی دارای تأثیر معنادار بود. بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی در تیمار TV ۰/۲۴۵ گرم و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد ۰/۰۳۵ گرم اندازه‌گیری شد. شکل ۶ نمودار ستونی تأثیر ترکیبات ریشه‌زا بر وزن خشک اندام‌های هوایی را نمایش داده است. (Mirzaei Varoei et al. (2023) افزایش ماده خشک شاخساره گیاه مرزه را با مصرف سطوح دوم و سوم هیومیک اسید مشاهده کردند. (Mirzaei Varoei et al. (2024) افزایش ماده خشک شاخساره گیاه ذرت را با مصرف هیومیک اسید مشاهده کردند.

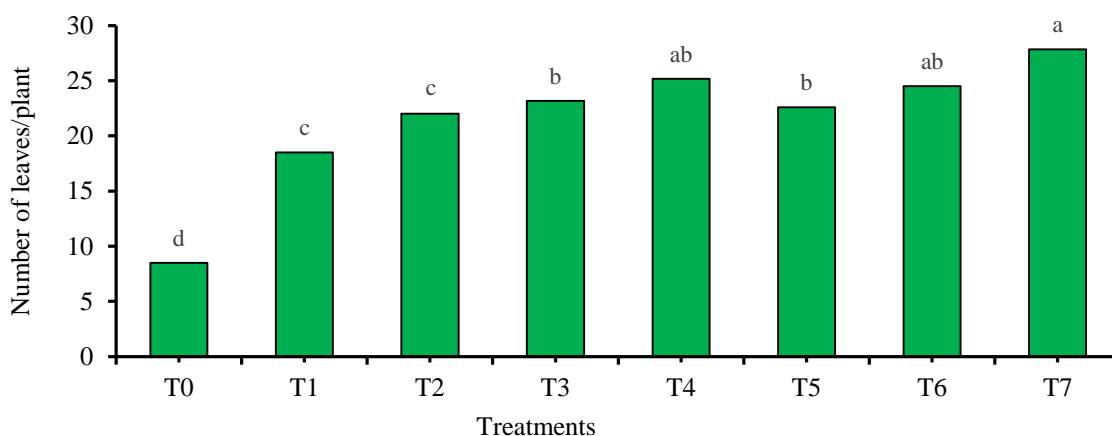
تعداد برگ‌های بوته گوجه فرنگی با استفاده از هر کدام از ترکیبات مورد آزمایش به شکل محسوسی افزایش یافت ولی بر خلاف بقیه فاکتورهای مورنظر در این تحقیق تفاوت زیادی بین تیمار TV با سایر تیمارها مشاهده نشد (شکل ۷). (Movahedpour et al. (2015) گزارش کردند که مصرف هیومیک اسید به میزان ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سطح برگ گیاه کلزا را به‌طور معنادار افزایش داد. (Mirzaei Varoei et al. (2024) افزایش سطح برگ‌های گیاه ذرت را با مصرف هیومیک اسید مشاهده کردند. علاوه‌بر این تیمارهای مختلف بر میزان کلروفیل تأثیر مثبت داشتند و بیشترین مقدار کلروفیل در تیمار ۷ و کمترین آن در تیمار شاهد به‌ترتیب ۳۴/۴۶ و ۷/۲۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر اندازه‌گیری شد. این در حالی است که تفاوت معناداری بین تیمارهای T۵، T۶ و TV مشاهده نشد (شکل ۸). (Salimi Tarazoj et al. (2025) گزارش کردند که مصرف کود فسفر سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ‌های کلزا شد.



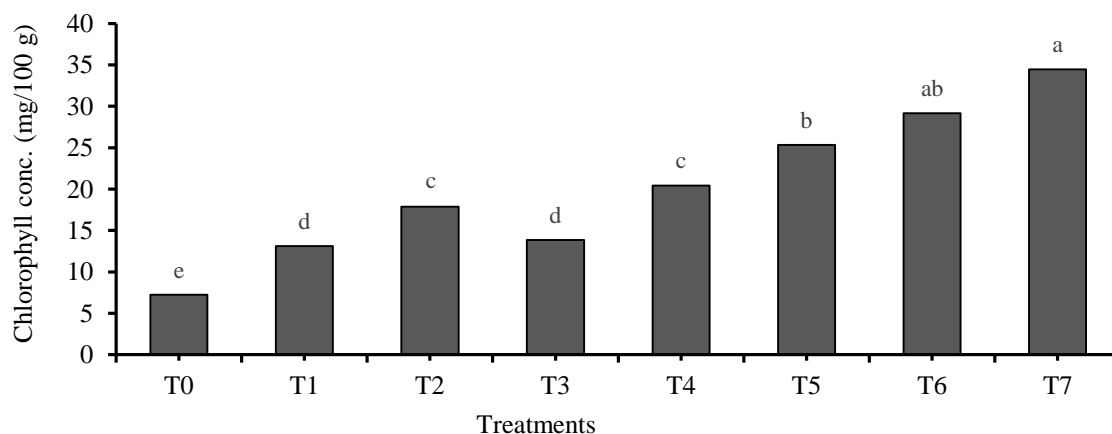
شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف بر وزن تر اندام‌های هوایی (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)



شکل ۶- تأثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک اندام‌های هوایی (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)



شکل ۷- تأثیر تیمارهای مختلف بر تعداد برگ (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)

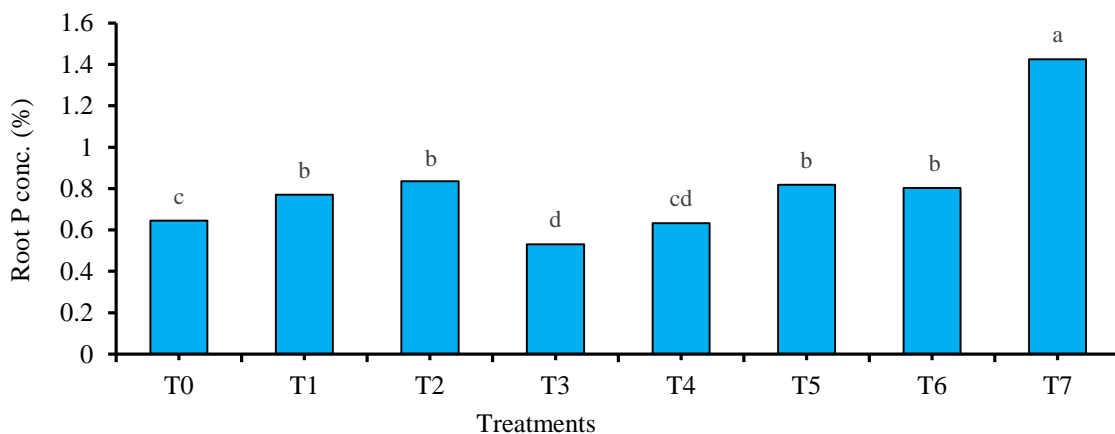


شکل ۸- تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت کلروفیل برگها (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)

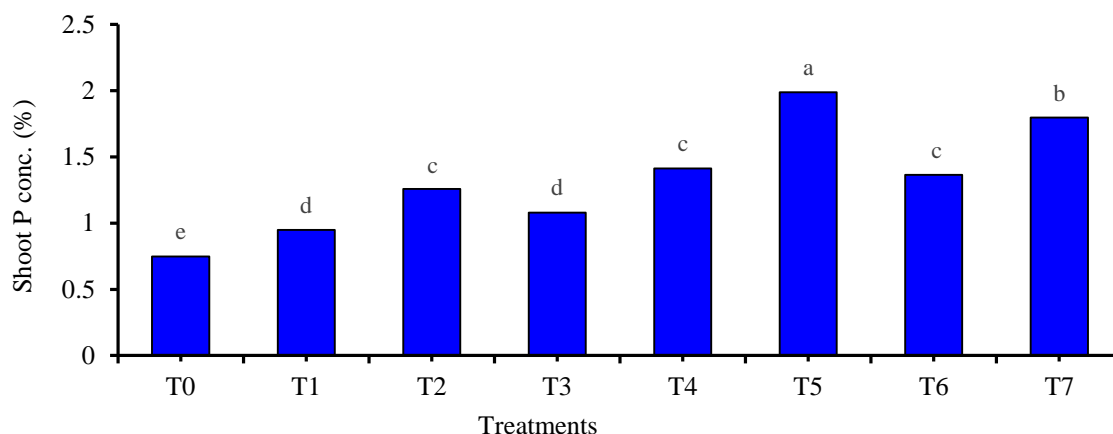
شکل‌های ۹ و ۱۰ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر ریشه و اندام‌های هوایی را نشان می‌دهند. همانطور که در شکل مشخص شده ترکیبات مورد استفاده بر افزایش میزان فسفر گیاه چه در ریشه و چه در اندام‌های هوایی تأثیر معناداری داشته‌اند. بیشترین میزان فسفر ریشه در تیمار T۷ و بیشترین مقدار آن در اندام‌های هوایی را تیمار T۵

داشته است. همان‌طور که در شکل ۹ مشخص است اعمال هورمون به تنهایی (تیمار T₃) موجب کاهش میزان فسفر در ریشه گیاه شده است. با کاربرد اسید هیومیک نیز غلظت فسفر در برگ و ریشه افزایش یافته است که نشانگر تاثیر مثبت اسید هیومیک بر جذب فسفر بوده است. مشابه این نتایج سایر پژوهش‌گران نیز گزارش کرده‌اند که کاربرد اسید هیومیک به صورت محلول‌پاشی یا خاک مصرف باعث افزایش عناصر غذایی برگ نشای گیاهان مختلف از جمله سبزی‌ها می‌شود (Salari et al, 2022; Qin and Leskovar, 2020; Mirzaei Varoei et al., 2023; Mirzaei, 2024). مطالعات نشان داده است که یکی از دلایل افزایش جذب عناصر غذایی توسط ریشه بر اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک، افزایش میزان هورمون سیتوکینین و اکسین در ریشه و همچنین افزایش فعالیت پمپ پروتونی ATPase و در نتیجه افزایش فعالیت ریشه‌ها در جذب عناصر غذایی می‌باشد (De Hita et al, 2020).

کاربرد فسفر نیز در این پژوهش سبب افزایش غلظت فسفر اندام‌های هوایی و ریشه شده است که با نتایج محققان قبلی مطابقت دارد (Mohammad et al, 1998; Salimi Tarazoj et al., 2024; Salimi Tarazoj et al., 2025). تاثیر فسفر بر ریشه‌زایی گیاهان یکی از عوامل اصلی در بهبود رشد و توسعه ریشه‌ها است. فسفر نقش کلیدی در تولید ATP، نوکلئوتیدها و فسفولیپیدها دارد که برای متابولیسم انرژی و ساختار یاخته‌ها ضروری هستند. در فرایند ریشه‌زایی، فسفر با تحریک فعالیت آنزیم‌ها و افزایش شدت تقسیم یاخته‌ها، رشد ریشه‌ها را تسهیل می‌کند. همچنین، وجود میزان مناسب فسفر در محیط کشت می‌تواند منجر به توسعه بهتر ریشه‌های ثانویه و افزایش سطح جذب مواد غذایی گردد. بنابراین، کاربرد مناسب فسفر در کوددهی می‌تواند تاثیر قابل‌توجهی بر رشد ریشه و در نتیجه، سلامت و رشد کلی گیاه داشته باشد.



شکل ۹- تأثیر تیمارهای مختلف بر درصد فسفر ریشه (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)



شکل ۱۰- تأثیر تیمارهای مختلف بر درصد فسفر اندام‌های هوایی گیاه (توصیف تیمارها در جدول ۱ آمده است)

نتیجه‌گیری

نشای قوی و سالم شرط لازم برای ایجاد یک گیاه قوی و سالم در مزرعه است و در نهایت سبب تولید محصول بیشتر خواهد شد. بنابراین، ترکیباتی که به تقویت رشد و توسعه ریشه گیاه کمک کنند، نقش حیاتی در تولید نشای قوی دارند. نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار تلفیقی هیومیک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + فسفریک اسید (۰/۱۲۵ گرم بر لیتر) + هورمون ایندول بوتیریک اسید (۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) با تأمین تمام فاکتورهای مورد نیاز رشد و توسعه ریشه‌های اصلی و فرعی، افزایش زیست‌فراهمی و جذب عنصرهای غذایی، موجب بهبود رشد اندام‌های هوایی گیاه شد. بر همین اساس، پیشنهاد می‌شود پس از بررسی اثر این تیمار تلفیقی بر کمیت و کیفیت محصول میوه گوجه فرنگی، از این تیمار در تولید نشای گوجه فرنگی استفاده شود.

منابع مورد استفاده

References

- Akhtar, M., Yaqub, M., Naeem, A., Ashraf, M., & Hernandez, V.E. (2016). Improving phosphorus uptake and wheat productivity by phosphoric acid application in alkaline calcareous soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11), 3701–3707.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.7555>
- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1), 112–121.
- Aslani, S., Barzegar, T., & Nikbakht, J. (2019). Effect of foliar application of humic acid on growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon pimpinellifolium* (L.) Mill) under irrigation deficit stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8(32), 69–83. (In Persian with English abstract)
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.32.3.1>
- Basirat, M., Malboobi, M.A., Mousavi, A., Asgharzadeh, A., & Samavat, S. (2011). Effects of Phosphorous Supply on Growth, Phosphate Distribution and Expression of Transporter Genes in Tomato Plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5(5), 537–543.
<https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.280253816118472>

- De Hita, D., Fuentes, M., Fernández, V., Zamarreño, A.M., Olaetxea, M., & García-Mina, J.M. (2020). Discriminating the short-term action of root and foliar application of humic acids on plant growth: Emerging role of jasmonic acid. *Frontiers in Plant Science*, 11, 493.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00493>
- Dobbss, L.B., Pasqualoto Canellas, L., Lopes Olivares, F., Oliveira Aguiar, N., Peres, L.E.P., Azevedo, M., & Facanha, A.R. (2010). Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6), 3681–3688.
<https://doi.org/10.1021/jf904385c>
- Etemadian, M., Hassani, A., Nourzadeh Haddad, M., & Hanifeie, M. (2017). Effect of organic and inorganic acids on the release of nutrients in calcareous soils. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(5), 73–91. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.12528.2723>
- Habibi Sharafabad, M., Hoseini Farahi, M., & Didgah, K. (2018). The effect of salicylic acid and humic acid on tomato's quantitative and modal properties. *Sciences and Technology of Greenhouse Cultivate*, 8(2), 49–64. (In Persian with English abstract)
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.32.3.1>
- Haghighi, M., & Najafi, H. (2020). The effect of humic acid on alleviating drought stress effects in tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Vegetables Sciences*, 3(6), 147–158. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.63701.1016>
- Hashmi, Z.U.H., Khan, M.J., Akhtar, M., Sarwar, T., & Khan, M.J. (2017). Enhancing phosphorus uptake and yield of wheat with phosphoric acid application in calcareous soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6), 1733–1739.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.7921>
- Higo, M., Azuma, M., Kamiyoshihara, Y., Kanda, A., Tatewaki, Y., & Isobe, K. (2020). Impact of phosphorus fertilization on tomato growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Microorganisms*, 8(2), 178.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms8020178>
- Hussain, H. I., Kasinadhuni, N., & Arioli, T. (2021). The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. *Journal of Applied Phycology*, 33(2), 1305–1314.
<https://doi.org/10.1007/s10811-020-02262-7>
- Javanpour, R., Nosrati, S., & Nejadsahebi, M. (2014). Effects of concentration and spraying time of phenyl-phethalamate acid (auxin synergist) on yield of tomato, cucumber, eggplant and cabbage under field conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(3), 279–286. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22059/ijhs.2014.52875>
- Kalra, Y. (1997). Handbook of reference methods for plant analysis. London: CRC press.
<https://doi.org/10.1201/9780367802233>
- Kravchenko, L.V., Leonova, E.I., & Tikhonovich, I.A. (1994). Effect of root exudates of non-legume plants on the response of auxin production by associated diazotrophs. *Microbial Releases*, 2(4), 267–271.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84–87.
<https://doi.org/10.1038/nature16467>
- Mirzaei Varoei, M., Oustan, S., Reyhanitabar, A., & Najafi, N. (2023). Effect of nitrohumic acid application on some morphological and physiological characteristics of savory plant (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Water and Soil*, 37(2), 333–352. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jsw.2023.80642.1244>
- Mirzaei Varoei M., Oustan S., Reyhanitabar A., & Najafi N. (2024). Effect of application of nitrogen-enriched humic acid (NHA) on morphological and physiological characteristics of maize (Single cross 704). *Journal of Water and Soil Science*, 34(1), 91–111. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22034/ws.2023.54175.2501>

- Mohammad, M., Shibli, R., Ajlouni, M., & Nimri, L. (1998). Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 21(8), 1667–1680.
<https://doi.org/10.1080/01904169809365512>
- Movahedpour, F., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Najafi, N., & Amini, R. (2015). Effect of humic acid and EDTA on growth characteristics, grain yield and yield components of oilseed rape (*Brassica napus* L.) under copper toxicity stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(4), 103–121. (in Persian with English abstract)
- Naeem, A., Akhtar, M., & Ahmad, W. (2013). Optimizing available phosphorus in calcareous soils fertilized with diammonium phosphate and phosphoric acid using Freundlich adsorption isotherm. *The Scientific World Journal*, 2013, 680257.
<https://doi.org/10.1155/2013/680257>
- Nourzadeh Hadad, M., Hasani, A., & Karami Moghadam, M. (2017). Comparison of the efficiency of Aquasorb and Accepta superabsorbent polymers in improving physical, chemical, and biological properties of soil and tomato turnover under greenhouse condition. *Water and Soil*, 31(1), 156–167. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jsw.v31i1.53226>
- Olaetxea, M., Mora, V., Bacaicoa, E., Baigorri, R., Garnica, M., Fuentes, M., Zamarreño, A. M., Spíchal, L., & García-Mina, J. M. (2019). Root ABA and H⁺-ATPase are key players in the root and shoot growth promoting action of humic acids. *Plant Direct*, 3(11), e00168.
<https://doi.org/10.1002/pld3.168>
- Osman, A. S., & Rady, M. M. (2014). Effect of humic acid as an additive to growing media to enhance the production of eggplant and tomato transplants. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 89(3), 237–244.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513100>
- Qin, K., & Leskovar, D.I. (2020). Humic substances improve vegetable seedling quality and post-transplant yield performance under stress conditions. *Agric. 10*, 254-272.
<https://doi.org/10.3390/agriculture10070254>
- Salari, A., Jafari, L., & Yavari, A. (2022). The effect of tray cell volume and humic acid on morphological and physiological characteristics of tomato transplant (*Solanum lycopersicom* L.). *Journal of Plant Production*, 29 (1), 225-245.
<https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19524.2879>
- Sánchez, F. J., Manzanares, M., De Andres, E. F., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59(3), 225–235.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00018-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00018-6)
- Salimi Tarazoj, S., Reyhanitabar A., & Najafi N. (2024) Effects of biochar and phosphorus on dry matter and uptake of calcium, magnesium, iron, zinc, copper, and manganese by rapeseed in a calcareous soil. *Journal of Soil and Plant Science*, 34(4), 91–113. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22034/sps.2024.19185>
- Salimi Tarazoj, S., Reyhanitabar, A., & Najafi, N. (2025) The effects of biochar and phosphorus on rapeseed (*Brassica napus* L.) dry matter, oil content and some nutrients uptake in an alkaline loamy soil in greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 35(1), 317–333. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22034/saps.2024.61459.3216>
- Tofighiyan, N., Rastegar, S., & Bagheri, A. (2024). The role of phosphorus-containing fertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of tomato fruit in greenhouse cultivation. *Journal of Crop Production and Processing*, 14(4), 75–87. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.47176/jcpp.14.4.32343>
- Tomehzadeh, J., Gholami, A., Nourzadeh Hadad, M., Hasani, A., & Mohsenifar, K. (2021). The effect of humic acid concentration on alkalinity and soil elements release, germination and growth index in lawn. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(9), 87–99.
<https://doi.org/10.22034/jest.2019.44326.4666>

- Yildirim, E. (2007). Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 57(2), 182–186.
<https://doi.org/10.1080/09064710701308101>
- Zandonadi, D.B., Canellas, L.P., & Façanha, A.R. (2007). Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*, 225(6), 1583–1595.
<https://doi.org/10.1007/s00425-007-0577-8>
- Zhang, J., Yin, H., Wang, H., Xu, L., Samuel, B., Chang, J., Liu, F., & Chen, H. (2019). Molecular structure-reactivity correlations of humic acid and humin fractions from a typical black soil for hexavalent chromium reduction. *Science of The Total Environment*, 651, 2975–2984.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.287>
- Zhang, X., Ervin, E.H., & Schmidt, R.E. (2003). Seaweed extracts, humic acid, and propiconazole improve tall fescue sod heat tolerance and posttransplant quality. *Horticulture Science*, 38(3), 440–443.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.3.440>