



The Effect of Grafting and Stem Number on the Morphological and Physiological Characteristics and Yield of Greenhouse JANAN Tomato

Ahmad Nodrati¹ | Rasoul Azarmi² | Behrooz Esmailpour³ |
 Mohammad Hasanzadeh⁴

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: Ahmad65nodrati@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: r_azarmi@uma.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: esmailpour@uma.ac.ir
4. Department of Plant Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: m.hasanzadeh@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
 Research Article

Article history:

Received 28 November 2025
 Received in revised form
 6 July 2026
 Accepted 7 August 2026
 Published online 22 September 2026

Keywords:

Stem number
 Rootstock
 Vegetative growth
 Yield
 Tomato

ABSTRACT

Objective: Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important greenhouse vegetables, and owing to its content of lycopene, ascorbic acid, tocopherol, and organic acids, it plays a significant role in human health. Improving crop yield and quality is a central aim of modern agriculture and greenhouse cultivation, and can be pursued through advanced techniques such as plant grafting and management of stem number. Optimal control of stem number is important for balancing vegetative growth, reproductive development, and yield attributes.

Method: To investigate the effects of rootstock and stem number on the growth, physiological traits, and yield of tomato, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications in 2022 and 2023 in the greenhouse complex of Parsabad City, Iran. The experiment examined the effects of rootstock type (non-grafted, wild tomato, 'King Kong', and 'Emperor') and stem number (single-stem and double-stem training) on the vegetative characteristics and yield of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. JANAN F1). Measured traits included leaf fresh and dry weight, number of leaves, plant height, stem diameter, total chlorophyll content, carotenoid content, leaf stomatal conductance, number of clusters, number of fruits, fruit weight, and fruit postharvest life.

Results: Rootstock significantly affected plant height, leaf number, and stem diameter at all measurement dates (30–210 days after transplanting), with the greatest values for these traits recorded on the 'Emperor' rootstock. The 'Emperor' and 'King Kong' rootstocks significantly increased leaf fresh and dry weight, number of clusters, number of fruits, leaf carotenoid content, and stomatal conductance. Total chlorophyll content and stomatal conductance in plants grafted onto 'Emperor' were 19% and 25% higher, respectively, than in non-grafted plants. Plants trained to double stems produced higher leaf fresh and dry weight, more clusters, more fruits, and greater carotenoid content than single-stem plants. Fruit yield on the 'Emperor' rootstock was approximately 105% higher than that of non-grafted plants, and the highest fruit weight was obtained from double-stemmed grafted plants, particularly those on 'Emperor' and 'King Kong' rootstocks. In contrast, the lowest fruit weight was recorded in non-grafted controls and wild-type rootstocks trained to a single stem.

Conclusions: The findings indicate that the use of vigorous rootstocks such as 'Emperor' and 'King Kong', combined with appropriate stem number management, can substantially enhance the vegetative growth and yield of greenhouse-grown tomato.

Cite this article: Nodrati, A., Azarmi, R., Esmailpour, B., & Hasanzadeh, M. (2026). The effect of grafting and stem number on the morphological and physiological characteristics and yield of greenhouse JANAN tomato. *Journal of Crops Improvement*, 28 (3), 435-453. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2026.407192.2966>





تأثیر پیوند و تعداد ساقه بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد گوجه فرنگی جانان گلخانه‌ای

احمد ندرتی^۱ | رسول آذرمی^۲ | بهروز اسماعیل پور^۳ | محمد حسن زاده^۴

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: Ahmad65nodrati@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: r_azarmi@uma.ac.ir
۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: esmailpour@uma.ac.ir
۴. گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: m.hasanzadeh@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۳۱

هدف: گوجه فرنگی یکی از مهم‌ترین سبزی‌های گلخانه‌ای بوده و به دلیل داشتن لیکوپن، آسکوربیک اسید، توکوفرول و اسیدهای آلی نقش مهمی در سلامت انسان ایفا می‌کند. بهبود عملکرد و کیفیت محصول از اهداف اصلی کشاورزی مدرن و کشت‌های گلخانه‌ای است که با استفاده از تکنیک‌های نوین مانند پیوند گیاهان و مدیریت تعداد ساقه‌ها قابل دستیابی است. مدیریت بهینه تعداد ساقه‌ها نقش مهمی در تعادل بین رشد رویشی و زایشی و در عملکرد نهایی دارد.

روش پژوهش: به منظور بررسی تأثیر پایه‌های مختلف در پیوند و تعداد ساقه بر رشد، خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد گوجه فرنگی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در شهرک گلخانه‌ای شهرستان پارس آباد اجرا گردید. در این مطالعه، تأثیر نوع پایه پیوندی (پایه غیرپیوندی، گوجه وحشی، کینگ کنگ و امپرادور) و تعداد ساقه (تک ساقه و دو ساقه) بر صفات رویشی و عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای رقم جانان بررسی شد. در این آزمایش، صفاتی از قبیل وزن تر و خشک برگ، تعداد برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، محتوای کلروفیل کل، کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای برگ، تعداد خوشه، تعداد میوه، وزن میوه و عمر پس از برداشت میوه مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پایه به طور معنی‌داری ارتفاع بوته، تعداد برگ و قطر ساقه را در روزهای ۳۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ پس از نشاکاری تحت تأثیر قرار داد و بیشترین ارتفاع بوته، تعداد برگ و قطر ساقه گوجه فرنگی در پایه امپرادور به دست آمد. پایه‌های امپرادور و کینگ کنگ به طور معنی‌داری باعث افزایش وزن تر و خشک برگ، تعداد خوشه، تعداد میوه، محتوای کاروتنوئید و هدایت روزنه‌ای برگ شد. محتوای کلروفیل کل و هدایت روزنه‌ای برگ در گیاهان پیوند شده روی پایه امپرادور به ترتیب ۱۹ و ۲۵ درصد بیش‌تر از گیاهان پیوند نشده بود. گیاهان هدایت شده به صورت دو ساقه وزن تر و خشک برگ، تعداد خوشه، تعداد میوه و کاروتنوئید بیش‌تری در مقایسه با گیاهان تک ساقه داشتند. عملکرد میوه در پایه امپرادور در حدود ۱۰۵ درصد بیش‌تر از گیاهان غیرپیوندی بود و بیش‌ترین وزن میوه مربوط به پیوندهای دو ساقه، به ویژه بر روی پایه‌های امپرادور و کینگ کنگ بوده است، در حالی که کم‌ترین وزن میوه در تیمار شاهد و پایه‌های وحشی تک ساقه ثبت شد.

نتیجه گیری: یافته‌ها نشان می‌دهد استفاده از پایه‌های پررشد مانند امپرادور و کینگ کنگ به همراه مدیریت تعداد ساقه، می‌تواند رشد رویشی و عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها:

تعداد ساقه

پایه

رشد رویشی

عملکرد

گوجه فرنگی

استناد: ندرتی، احمد؛ آذرمی، رسول؛ اسماعیل پور، بهروز و حسن زاده، محمد (۱۴۰۵). تأثیر پیوند و تعداد ساقه بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد گوجه فرنگی جانان گلخانه‌ای. *به زراعی کشاورزی*، ۲۸ (۳)، ۴۳۵-۴۵۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2026.407192.2966>



۱. مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین سبزی‌ها گلخانه‌ای است که تأمین بخش قابل‌توجهی از نیازهای غذایی و اقتصادی را بر عهده دارد. این محصول با داشتن انواع ویتامین‌ها، لیکوپن، اسیدهای آلی، قندها و املاح معدنی نقش مهمی در سلامت انسان ایفا می‌کند (داسگان^۱ و همکاران، ۲۰۲۴؛ یاهیا^۲ و همکاران، ۲۰۲۴). پیوند گیاهان به‌ویژه در سبزی‌های میوه‌ای، به‌عنوان یک تکنیک مؤثر جهت بهبود عملکرد گیاه، افزایش تحمل به تنش‌های زیستی و غیر زیستی و ارتقای کیفیت محصول معرفی شده است. گسترش کشت گیاهان پیوندی در کشورهای مختلف گویای اهمیت این فناوری در تولید سبزی و صیفی می‌باشد. به‌طوری‌که بیش از ۹۵ درصد هندوانه‌های تولیدی در کره جنوبی به‌صورت پیوندی کشت می‌شوند و در ژاپن نیز بیش از ۹۰ درصد صیفی‌جات به این روش تولید می‌گردند (گرینیزن^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). هم‌چنین در ترکیه، طی مدت کمتر از ۱۵ سال، سطح زیر کشت سبزیجات پیوندی بیش از ۲۳ برابر افزایش یافته است. استفاده از پایه‌های متحمل و انتخاب مناسب روش پیوند، نقش مؤثری در بهبود عملکرد، یکنواختی محصول و کاهش خسارت ناشی از بیماری‌ها ایفا می‌کند (کاوچا^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). پایه‌های متحمل معمولاً دارای سیستم ریشه‌ای قوی‌تر، جاذب آب و عناصر غذایی بیش‌تر و متحمل به تنش‌های محیطی هستند که این عوامل در نهایت منجر به افزایش عملکرد و کیفیت میوه می‌شوند (خوپاد^۵ و همکاران، ۲۰۲۵). با توجه به اهمیت گوجه‌فرنگی در تولیدات گلخانه‌ای و مزایای متعدد پیوند و افزایش تمایل جهانی به استفاده از این فناوری، استفاده از نشاهای پیوندی در کشت‌های گلخانه‌ای به‌ویژه در مناطقی که بیماری‌های خاک‌زاد و تنش‌های غیر زیستی مثل تنش شوری و خشکی وجود دارد در حال تبدیل‌شدن به روشی متداول و محبوب در گلخانه سبزی است و یکی از معایب عمده تکنیک پیوند استفاده از تعداد بیش‌تر بذر برای پایه و پیوندک می‌باشد به همین دلیل هدایت بوته‌ها به‌صورت دو ساقه می‌تواند هزینه مصرف بذر را کاهش دهد (جونز^۶، ۲۰۱۶). بنابراین، هدف این مطالعه بررسی تأثیر هدایت بوته به‌صورت یک ساقه و دو ساقه در بوته‌های پیوندی و غیرپیوندی بر رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای بود.

۲. پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متعددی تأثیر مثبت پیوند بر عملکرد و کیفیت گوجه‌فرنگی را گزارش کرده‌اند. به‌طوری‌که پیوند باعث افزایش عملکرد، ماده خشک و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی تحت شرایط تنش شوری می‌شود. هم‌چنین پیوند روی پایه‌های متحمل موجب بهبود کارایی مصرف آب، افزایش فتوسنتز و کاهش اثرات تنش شوری بر رشد و عملکرد گیاه می‌شود (اولاس^۷، ۲۰۲۵). پیوند باعث بهبود تحمل به بیماری‌های خاک‌زاد مانند فوزاریوم و ورتیسیلیوم و افزایش پایداری عملکرد در شرایط نامساعد می‌شود. بنابراین، پیوند به‌عنوان یک فناوری کاربردی در کشت‌های گلخانه‌ای، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است (جیوردانو^۸ و همکاران، ۲۰۲۱). رشد قوی گیاهان پیوندی که در اثر افزایش رشد ساقه‌ها و بزرگ‌تربودن سطح برگ‌ها ایجاد می‌شود معمولاً از ظرفیت فتوسنتزی بالاتری برخوردار هستند که این امر

1. Dasghan
2. Yahia
3. Grieneisen
4. Kawicha
5. Khopade
6. Jones
7. Ulas
8. Giordano

می‌تواند به افزایش عملکرد میوه منجر شود (دجیدونی^۱ و همکاران ۲۰۱۷). از این‌رو، گیاهان پیوندی را می‌توان با تعداد ساقه‌های بیش‌تری نسبت به گیاهان غیرپیوندی پرورش داد که این موضوع باعث کاهش مصرف بذر و کاهش هزینه‌های تهیه نشا می‌شود. در چنین شرایطی، با حفظ تراکم ساقه در هر مترمربع، هدایت گیاهان پیوندی با دو ساقه این امکان را فراهم می‌کند که تعداد بوته‌ها تا ۵۰ درصد کاهش یابد، درحالی‌که سطح تولید در واحد سطح مشابه کشت با تک‌ساقه باقی بماند (کالیکوو^۲ و پولات^۳، ۲۰۲۳). نتایج پژوهش پیرین^۴ و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که صرف‌نظر از تعداد ساقه، گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی از رشد رویشی و زایشی بیش‌تری برخوردار بوده و عملکرد میوه بالاتری نیز تولید کردند. پیوند تأثیری بر کیفیت میوه از نظر میزان قند نداشت، اما در پرورش گیاه با دوره رشد طولانی، اندازه متوسط میوه را افزایش داد. در این نوع کشت‌های طولانی‌مدت، هم در گیاهان پیوندی و هم در غیرپیوندی، پرورش بوته‌ها به‌صورت تک‌ساقه منجر به رشد بیش‌تر محصول و بازدهی بالاتر نسبت به بوته‌های دو ساقه شد. در مقابل، در کشت‌های با دوره رشد کوتاه، از نظر رشد زایشی و عملکرد میوه، تفاوتی بین تربیت بوته به‌صورت تک‌ساقه و دو ساقه برای هر دو گروه گیاهان مشاهده نشد. پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد که گیاهان پیوندی به‌دلیل قدرت رشد بیش‌تر، قابلیت هدایت با تعداد ساقه بالاتر را دارند و عملکرد آن‌ها در واحد سطح حفظ می‌شود طبق نتایج کیریاکو^۵ (۲۰۱۷) استفاده از پایه‌های قوی در گیاهان پیوندی، رشد رویشی و زایشی را بهبود داده و امکان هدایت چند ساقه‌ای را بدون کاهش عملکرد فراهم می‌سازد. نتایج پژوهش‌های گذشته نشان داده است که استفاده از ژنوتیپ 'Tomito' به‌عنوان پایه می‌تواند عملکرد بازارپسند در هر بوته و کیفیت میوه را بهبود بخشد. بهترین انتخاب برای دستیابی به عملکرد زراعی مطلوب در شرایط سیستم کشت ارگانیک، استفاده از ژنوتیپ 'Tomito' به‌عنوان پایه با تراکم کاشت ۲/۵ بوته در مترمربع است (کارادونیا^۶ و همکاران، ۲۰۲۳).

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شهرک گلخانه‌ای شهرستان پارس‌آباد، واقع در ۲۵ کیلومتری غرب پارس‌آباد با موقعیت جغرافیایی (۳۹ درجه و ۳۸ دقیقه و ۶۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۵ دقیقه و ۱/۲ ثانیه طول شرقی) و ارتفاع ۴۰ متر از سطح دریا اجرا شد. این پژوهش از تاریخ پیوند نشاها (۱۵ شهریورماه ۱۴۰۲) تا پایان دوره برداشت (۱۵ اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۳) به‌مدت هشت ماه به طول انجامید.

در طرح حاضر فاکتور اول پایه در چهار سطح (بدون پیوند، پایه امپرادور، پایه کینگ‌کنگ و پایه وحشی) و فاکتور دوم تعداد ساقه در دو سطح تک‌ساقه و دو ساقه بودند. در این پژوهش از رقم هیبرید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای "جانان" به‌عنوان پیوندک استفاده شد. تعداد مشاهده در هر تیمار چهار بوته بود پایه‌ها شامل رقم هیبرید "کینگ‌کنگ" (مقاوم به بیماری‌های فوزاریوم و ورتیسیلیوم)، رقم هیبرید "امپرادور" (مقاوم به ویروس‌ها و بیماری‌های قارچی) و گوجه‌فرنگی وحشی^۷ بودند. بذور هیبرید کینگ‌کنگ و امپرادور از شرکت سپاهان رویش تهیه گردید برای تولید دانه‌ال، بذرها در سینی‌هایی که با پیت‌ماس پر شده بودند کشت شده و سینی‌ها پس از آبیاری کامل در گلخانه قرار گرفتند حدود یک ماه

1. Djidonou

2. Kalykov

3. Polat

4. Perin

5. Kyriacou

6. Caradonia

7. *Solanum pimpinellifolium*

پس از کاشت بذر، پیوند اسکنه‌ای انجام شد. پایه‌ها از بالای ناحیه اپی کوتیل سربرداری و برش داده شدند. پیوندک با دو تا سه برگ حقیقی به صورت اسکنه‌ای برش خورده و روی پایه قرار گرفت. محل پیوند با گیره مخصوص و پلاستیک محکم شد. نشاهای پیوندی به مدت هفت روز در اتاقک رشد با رطوبت نسبی ۹۰-۱۰۰ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و در این اتاقک در سه روز اول شرایط تاریکی و بعد از آن روشنایی اعمال شد و پس از گرفتن پیوند، دانهال‌ها به گلخانه منتقل شدند. حدود یک هفته بعد، دانهال‌ها به محیط اصلی گلخانه منتقل شدند. پیش از کاشت، ضدعفونی با کاربندازیم انجام شد. دانهال‌ها در خاک آماده شده با فاصله ۳۵ سانتی‌متر بین بوته‌ها و ۱۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها کاشته شدند و آبیاری اولیه صورت گرفت. آبیاری به صورت قطره‌ای و تغذیه در مراحل اولیه هفته‌ای یک‌بار انجام شد؛ در مراحل گلدهی و میوه‌دهی، تغذیه خاکی دو بار و محلول‌پاشی یک‌بار در هفته انجام گرفت. هدایت بوته‌های گوجه‌فرنگی به دو صورت تک‌ساقه و دوساقه در مرحله ۴-۵ برگ حقیقی و هم‌زمان با ظهور اولین ساقه‌های جانبی انجام شد. تعداد بوته در مترمربع در هر دو هدایت یک ساقه و دو ساقه مساوی و ۲/۲ بوته در مترمربع بود و هر هفت روز یک‌بار ساقه‌های جانبی حذف می‌شدند. برای کنترل آفات از نوارهای زرد و سبز جاذب حشرات استفاده شد. بیماری لکه موجی ناشی از قارچ *Alternaria dauci* sp. Solani در مراحل اولیه رشد مشاهده و با کلروتالونیل کنترل شد. بیماری طوقه‌ای ناشی از قارچ *Phytophthora* در برخی بوته‌های شاهد مشاهده شد که با جایگزینی بوته‌ها و ضدعفونی بستر مدیریت شد. آفت سفیدبالک با استفاده از تیوسییکلام هیدروژن اکسلات کنترل گردید.

۳.۱. اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی

جهت بررسی روند رشد گوجه‌فرنگی، پس از انتقال گوجه‌فرنگی به محل اصلی رشد در گلخانه، ارتفاع گیاهان هر ۳۰ روز یک‌بار و به مدت ۲۱۰ روز از محل طوقه تا انتهای ساقه اندازه‌گیری شد. تعداد برگ گوجه‌فرنگی به همین ترتیب هر ۳۰ روز و به مدت ۲۱۰ روز شمارش و یادداشت گردید. قطر ساقه از سه قسمت، ۱۰ سانتی‌متر بالای محل پیوند، از قسمت وسط ساقه و ۲۰ سانتی‌متر پایین‌تر از مریستم انتهایی با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتالی (۲۰۰-۱۱۰۸ INSIZE 200mm digital caliper) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری وزن تر و خشک برگ در پایان دوره آزمایش انجام شد بدین منظور بوته‌ها از بستر خاک خارج شده و برگ‌ها از ساقه جدا و وزن تر برگ‌ها توزین شد. سپس برگ هر بوته در پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید.

در پایان دوره آزمایش (هشت ماه پس از زمان پیوند) سطح برگ گیاه توسط دستگاه سطح‌برگ‌سنج (LI COR, model Li-1300, Lincoln, NE, USA) اندازه‌گیری شد و واحد سنجش سطح برگ برحسب سانتی‌مترمربع بود.

۳.۲. تعداد میوه، وزن میوه و خوشه کل و عملکرد

در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی، میوه‌های گوجه‌فرنگی دو بار در هفته برداشت می‌شدند، و در هر نوبت تعداد میوه و وزن میوه ثبت می‌گردید. وزن کل میوه در طول دوره رشد به عنوان عملکرد کل در نظر گرفته شد. همچنین تعداد خوشه‌های گل در هر هفته یک بار شمارش و تعداد آن‌ها یادداشت می‌شد.

۳.۳. اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای برگ

هدایت روزنه‌ای برگ با استفاده از دستگاه پرومتر (Eijkelkamps, Netherlands) در شرایط آفتابی و از ساعت ۹ تا ۱۱

صبح اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر گیاه سه برگ از جوان‌ترین برگ‌های بالغ قسمت تاج گیاه انتخاب و با قراردادن محفظه دستگاه روی برگ و نگهداری به مدت ۳۰ ثانیه، هدایت روزنه‌ای برگ اندازه‌گیری شد و میانگین مقادیر آن‌ها به‌عنوان عدد نهایی با واحد میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه ثبت شد.

۴.۳. اندازه‌گیری محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید، مقدار ۰/۵ گرم از بافت تر برگ با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد همگن‌سازی شد. پس از سانتریفیوژ نمونه‌ها (۱۲۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۱۰ دقیقه)، میزان جذب محلول رویی در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر (6705 UV/ VIS Spectrophotometer, England) اندازه‌گیری شد (آرنون^۱، ۱۹۶۷). محاسبه محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از روابط زیر انجام گرفت.

$$\text{Chl a (mg g}^{-1}\text{FW)} = \frac{[(12.7 \times D663) - (2.69 \times D645)] \times V}{1000 \times W} \quad \text{رابطه ۱)}$$

$$\text{Chl b (mg g}^{-1}\text{FW)} = \frac{[(22.9 \times D645) - (4.93 \times D663)] \times V}{1000 \times W} \quad \text{رابطه ۲)}$$

$$\text{Chl T (mg g}^{-1}\text{FW)} = \frac{[(20.2 \times D645) - (8.02 \times D663)] \times V}{1000 \times W} \quad \text{رابطه ۳)}$$

$$\text{Car (mg g}^{-1}\text{FW)} = \frac{[(1000 \times \text{DA470}) - (1.82 \times \text{Chl a}) - (85.05 \times \text{Chl b})]/198 \times V}{1000 \times W} \quad \text{رابطه ۴)}$$

که در این روابط، V: حجم عصاره، W: وزن نمونه برگ و D: طول موج می‌باشد.

۴.۳. تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار IBM SPSS 21 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. ارتفاع بوته

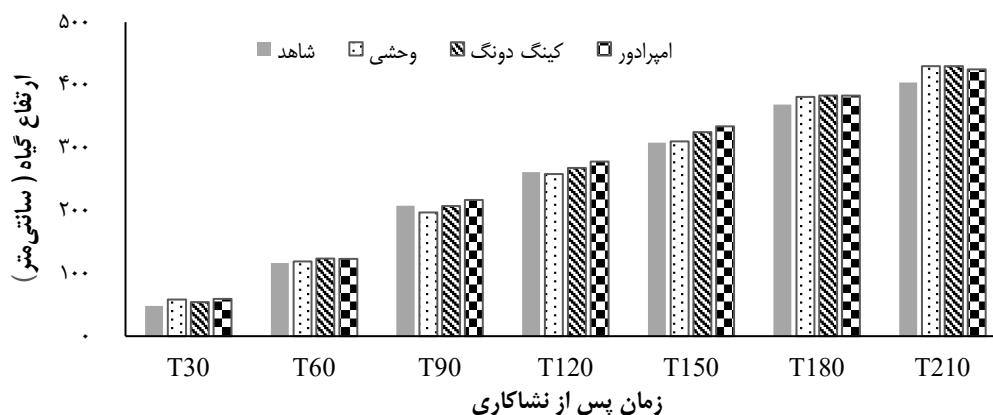
براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی در بازه‌های زمانی ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ روز پس از انتقال به زمین اصلی، به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر نوع پایه قرار گرفت، درحالی‌که در بازه‌های ۳۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین، اثر تعداد ساقه و اثر متقابل پایه و تعداد ساقه بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۱). بررسی روند تغییرات ارتفاع بوته طی ۲۱۰ روز رشد نشان‌دهنده روند افزایشی آن است (شکل ۱). در مراحل اولیه (۳۰ و ۶۰ روز پس از انتقال)، ارتفاع بوته بین پایه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نداشت، که احتمالاً ناشی از رشد کُند گیاه در مراحل ابتدایی است. اما از روز ۹۰ به بعد، تفاوت‌ها آشکار شدند و روند رشد ارتفاع تا ۲۱۰ روز ادامه یافت، به‌طوری‌که در پایان این دوره، ارتفاع بوته به حدود ۲۸/۴ سانتی‌متر رسید. بیش‌ترین ارتفاع تا روز ۱۵۰ مربوط به پایه 'امپرادور' بود، اما پس از پنج ماه، کاهش نسبی در میزان رشد ارتفاع مشاهده شد. علاوه بر

این، نتایج نشان داد که هدایت بوته به صورت تک ساقه و دوساقه از نظر ارتفاع تفاوت معنی‌داری نداشتند و در طی ۲۱۰ روز، تفاوت مشخصی بین این دو روش هدایت مشاهده نشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هدایت بوته به صورت تک ساقه الزاماً باعث افزایش ارتفاع نسبت به دوساقه نمی‌شود.

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر پایه و تعداد ساقه بر ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی طی زمان

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته ۳۰ روز	ارتفاع بوته ۶۰ روز	ارتفاع بوته ۹۰ روز	ارتفاع بوته ۱۲۰ روز	ارتفاع بوته ۱۵۰ روز	ارتفاع بوته ۱۸۰ روز	ارتفاع بوته ۲۱۰ روز
پایه	۳	۲۰۴/۱۶۷ ^{ns}	۸۶/۴۰۴ ^{ns}	۵۵۷/۰۰۸ ^{***}	۶۰۷/۰۳۱ ^{***}	۱۲۲۵/۰۳۱ ^{***}	۳۶۴/۵۸۳ ^{***}	۱۲۱۶/۵۳۱ ^{***}
تعداد ساقه	۱	۳/۱۲۵ ^{ns}	۵۳/۸۲ ^{ns}	۲۰/۳۲ ^{ns}	۷/۰۳۱ ^{ns}	۰/۷۸۱ ^{ns}	۲۸/۱۲۵ ^{ns}	۰/۲۸۱ ^{ns}
تعداد ساقه × پایه	۳	۳۶/۴۵۸ ^{ns}	۲۳۴/۵۲ ^{ns}	۱۳/۷۷۹ ^{ns}	۷۷/۸۶ ^{ns}	۱۵/۳۶۵ ^{ns}	۲۱/۸۷۵ ^{ns}	۲۰/۲۸۱ ^{ns}
خطای آزمایش	۲۴	۹۲/۷	۱۸۰/۲	۹۵/۵	۱۱۴/۸	۶۴/۳	۶۹۳۰/۴	۲۲/۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۷	۱۱	۵	۰/۳۷	۲۰/۱۵	۱۵/۹۳	۵/۲۳

ns و *** به ترتیب به معنی غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن.



شکل ۱. اثر ساقه پایه بر ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی طی زمان (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ روز پس از نشاکاری)

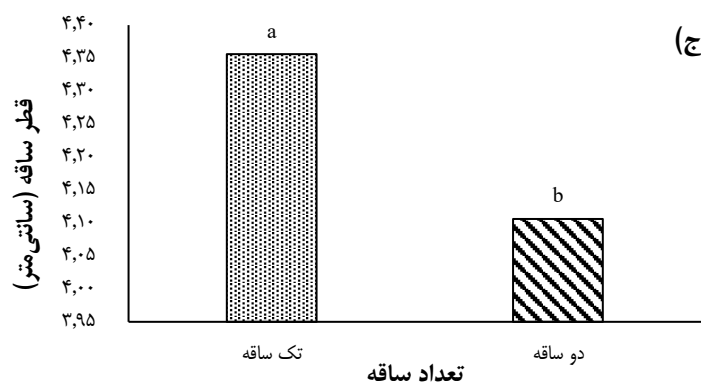
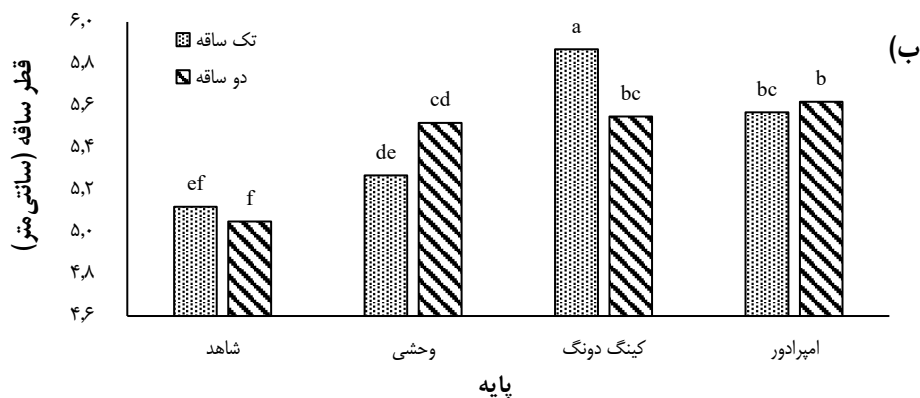
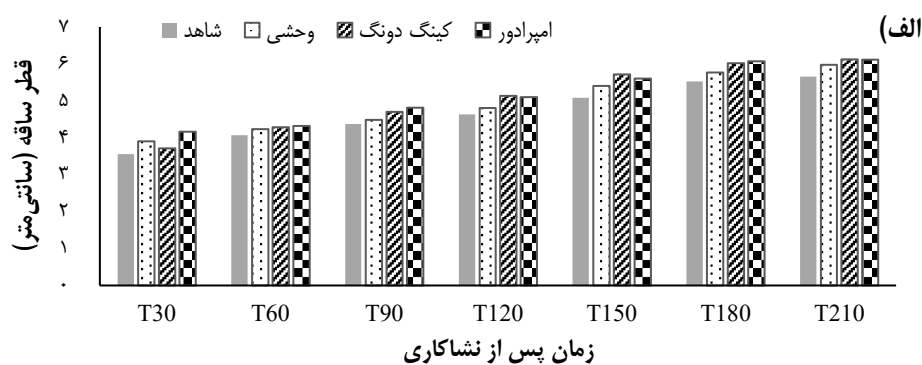
۲.۴ قطر ساقه

بررسی اثر پایه‌های مختلف بر قطر ساقه گوجه‌فرنگی طی مراحل رشد نتایج نشان داد که قطر ساقه گوجه‌فرنگی در اغلب مراحل رشد به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع پایه قرار گرفت. تنها در روز ۶۰ پس از نشاکاری، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد، در حالی که در روزهای ۳۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ پس از نشاکاری اثر پایه‌ها بر قطر ساقه معنی‌دار بود (جدول ۳). به طوری که بیش‌ترین قطر ساقه در پایه‌های امپرادور و کینگ کنگ و کم‌ترین اندازه آن در تیمار غیرپیوندی مشاهده شد. روند رشد قطر ساقه از روز ۳۰ تا ۱۵۰ افزایشی بود و در روزهای ۱۸۰ و ۲۱۰ پس از نشاکاری به حالتی نسبتاً پایدار رسید. این وضعیت نشان‌دهنده پایان فصل رشد و نزدیک شدن به مرحله پیری فیزیولوژیک گیاه است. مقادیر اندازه‌گیری شده قطر ساقه به ترتیب در روزهای ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ پس از انتقال برابر با ۳/۸۳، ۴/۲۳، ۴/۵۹، ۴/۹۱، ۵/۴۵، ۵/۸۵ و ۵/۶۹ سانتی‌متر بود. میانگین رشد ماهانه قطر ساقه حدود ۰/۳۹ سانتی‌متر محاسبه شد (شکل ۲-الف). براساس نتایج، تعداد ساقه تنها در ۶۰ روز پس از نشاکاری اثر معنی‌داری بر قطر ساقه داشت، به طوری که گیاهان تک ساقه دارای قطر ساقه بیش‌تری نسبت به گیاهان دوساقه بودند (شکل ۲-ب). با این حال، در سایر روزهای اندازه‌گیری، اختلاف معنی‌داری بین گیاهان تک ساقه و دوساقه از نظر قطر ساقه وجود نداشت (شکل ۲-ج).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر پایه و تعداد ساقه بر قطر ساقه گوجه‌فرنگی طی زمان

منابع تغییرات	درجه آزادی	۳۰ روز	۶۰ روز	۹۰ روز	۱۲۰ روز	۱۵۰ روز	۱۸۰ روز	۲۱۰ روز
پایه	۳	۳/۸۶۷*	۰/۷۷۲ ^{ns}	۴/۶۱۶**	۱۳/۰۹۴**	۲۲/۳۵۷**	۹/۳۶۹**	۴/۹۲۱**
تعداد ساقه	۱	۰/۹۹۵ ^{ns}	۳/۹۷۴*	۰/۸۹۶ ^{ns}	۰/۵۶۵ ^{ns}	۰/۱۸۶ ^{ns}	۱/۱۱۸ ^{ns}	۰/۶۶۴ ^{ns}
تعداد ساقه × پایه	۳	۰/۵۹۲ ^{ns}	۰/۰۹۹ ^{ns}	۰/۹۳۳ ^{ns}	۲/۱۴۱ ^{ns}	۴/۳۱*	۱/۷۲۶ ^{ns}	۱/۳۳۶ ^{ns}
خطای آزمایش	۲۴	۰/۱۳۸	۰/۱۲۶	۰/۰۶۸	۰/۰۳۵	۰/۰۲۷	۰/۰۵۵	۰/۰۷۹
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۲۰	۲/۹۹	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۴۹	۰/۹۴	۱/۳۲

^{ns} و **: به ترتیب به معنی غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد براساس آزمون دانکن.



شکل ۲. مقایسه میانگین (الف) اثر ساده پایه بر قطر ساقه گوجه‌فرنگی طی زمان (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۱۰ روز پس از نشاکاری)، (ب) برهم‌کنش اثر پایه و تعداد ساقه بر قطر ساقه در ۶۰ روز پس از نشاکاری و (ج) اثر ساده تعداد ساقه بر قطر ساقه گوجه‌فرنگی.

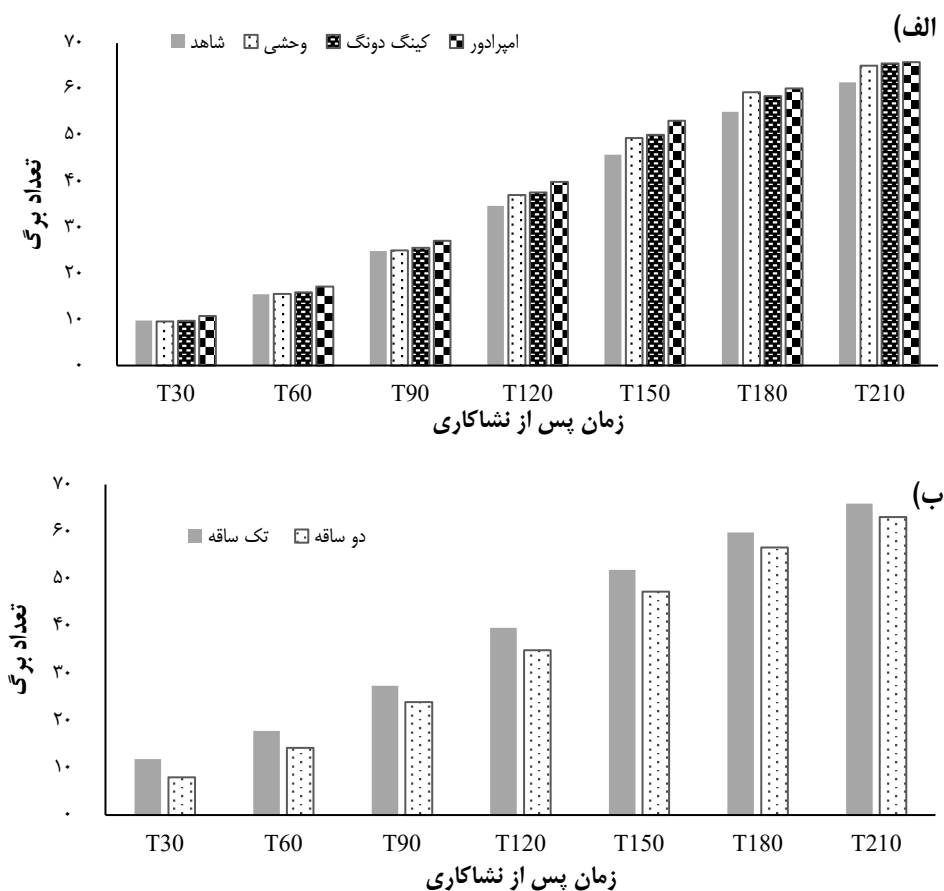
۳.۴. تعداد برگ

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر پایه بر تعداد برگ در مراحل فنولوژیک ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ روز پس از نشاکاری از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طوری‌که در کلیه تیمارهای پایه، تعداد برگ از روز ۳۰ تا ۲۱۰ روز پس از نشاکاری روندی صعودی و افزایشی را طی کرد (شکل ۳-الف). همچنین اثر تعداد ساقه (شامل تیمارهای تک‌ساقه و دو ساقه) بر تعداد برگ در بازه زمانی ۳۰ تا ۲۱۰ روز پس از نشاکاری معنی‌دار شد (شکل ۳-ب).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر ساده پایه و تعداد ساقه بر تعداد برگ گوجه‌فرنگی طی زمان

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ ۳۰ روز	تعداد برگ ۶۰ روز	تعداد برگ ۹۰ روز	تعداد برگ ۱۲۰ روز	تعداد برگ ۱۵۰ روز	تعداد برگ ۱۸۰ روز	تعداد برگ ۲۱۰ روز
پایه	۳	۴/۷۰۸ ^{ns}	۱۱/۲۸۱ ^{ns}	۲۱/۴۴۸ ^{***}	۸۶/۶۶۷ ^{***}	۱۷۲/۷۰۸ ^{***}	۸۷/۷۵ ^{***}	۶۳/۷۰۸ ^{***}
تعداد ساقه	۱	۱۳۶/۱۲۵ ^{***}	۹۱۳/۷۸۱ ^{***}	۳۳۴۱/۵۳ ^{***}	۷۲۶۰/۱۲۵ ^{***}	۱۴۶۲۰/۵ ^{***}	۲۲۸۹۸ ^{***}	۲۹۰۴۰/۵ ^{***}
تعداد ساقه × پایه	۳	۳/۷۰۸ ^{ns}	۳/۶۱۵ ^{ns}	۷/۱۹۸ ^{ns}	۱۴/۴۵۸ ^{ns}	۳۵/۴۱۷ ^{ns}	۲۳/۷۵ ^{ns}	۱۲/۰۸۳ ^{ns}
خطای آزمایش	۲۴	۱/۲۴	۱/۹۶	۳/۴۳	۷/۰۸	۵/۴۸	۳/۴۱	۳/۹۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۴۸	۱۲/۲۵	۱۳/۳۹	۱۹/۰۳	۱۱/۰۴	۵/۸۵	۶/۱۵

ns و ***: به‌ترتیب به معنی غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن.



شکل ۳. مقایسه میانگین (الف) اثر ساده پایه بر تعداد برگ گوجه‌فرنگی طی زمان (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ روز پس از نشاکاری) و (ب) اثر ساده تعداد ساقه بر تعداد برگ گوجه‌فرنگی طی زمان (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ روز پس از نشاکاری)

۴.۴. وزن تر و خشک برگ و درصد ماده خشک برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، وزن تر برگ متأثر از اثر ساده پایه و تعداد ساقه قرار گرفت. با این حال، اثرات متقابل پایه و تعداد ساقه بر وزن تر برگ، معنی‌دار نشد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین وزن تر برگ (۳۰۱۹ گرم) مربوط به پایه امپرادور بود، درحالی‌که کم‌ترین وزن تر برگ (۱۸۸۲ کیلوگرم) در تیمار بدون پیوند مشاهده گردید. همچنین، اختلاف معنی‌داری بین پایه‌های امپرادور و کینگ‌کنگ از نظر آماری وجود نداشت. در مجموع، گوجه‌فرنگی‌های تک‌ساقه، وزن تر برگ کم‌تری نسبت به گوجه‌فرنگی‌های دو ساقه تولید کردند (جدول ۵). در رابطه با وزن خشک برگ، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پایه و تعداد ساقه قرار گرفت. به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن خشک برگ در پایه امپرادور و گیاهان تک‌ساقه به‌دست آمد، درحالی‌که کم‌ترین وزن خشک برگ در گیاهان بدون پیوند و تک‌ساقه مشاهده گردید. علاوه بر این، بوته‌های تک‌ساقه نسبت به بوته‌های دو ساقه وزن خشک برگ بیش‌تری تولید کردند (جدول ۶). درحالی‌که روند تغییرات درصد ماده خشک برگ برعکس ماده تر و خشک برگ بود و بیش‌ترین درصد ماده خشک برگ در پایه وحشی و بدون پیوند به‌دست آمد و کم‌ترین آن در پایه امپرادور و کینگ‌کنگ حاصل شد. دلیل کاهش درصد ماده خشک برگ در امپرادور و کینگ‌کنگ می‌تواند به‌خاطر افزایش میزان وزن تر برگ نسبت به افزایش وزن خشک باشد. به‌عبارت دیگر، افزایش وزن تر سرعت بیش‌تری نسبت به افزایش وزن خشک (مواد آلی و معدنی) داشته است. این پایه‌ها به‌خاطر داشتن میوه‌های درشت‌تر و با جذب آب بیش‌تر، سلول‌های بزرگ‌تری تولید می‌کنند. بخش اعظم وزن تر یک برگ را آب تشکیل می‌دهد که بیش‌تر در واکوئل‌ها ذخیره می‌شود.

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر پایه و تعداد ساقه بر صفات مورفولوژیکی گوجه‌فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	درصد ماده خشک برگ	سطح برگ
پایه	۳	۲۰۷۲۷۴۷/۶۰۲*	۴۱۵۰۱/۴۷۷*	۳۲/۴**	۶۸۸۱۵۹۶۰**
تعداد ساقه	۱	۹۰۶۱۶۴۲۸/۰۸**	۱۳۰۷۰۲۱۰۱۲۰**	۱/۹۵ns	۵۷۷۰۰۸ns
پایه × تعداد ساقه	۳	۱۸۵۲۱۸۲/۴۰۱ns	۱۳۵۶۷/۸۵۷ns	۱/۵۰ns	۵۸۴۶۹۰ns
خطا	۲۴	۶۹۹۹۱۰/۷	۸۹۲۸/۷۵۶	۲/۰۱	۴۱۷۷۳۶۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۱	۱۱/۷	۸/۴	۷/۷

ns و **: به‌ترتیب به معنی غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد براساس آزمون دانکن.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر ساده پایه و تعداد ساقه بر برخی صفات گوجه‌فرنگی

وزن تر برگ (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	درصد ماده خشک برگ (درصد)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)
۳۴۷۶b	۵۰۴b	۱۸/۲۲a	۲۲۵۵۳c
۴۵۸۳a	۶۴۳a	۱۸/۶۹a	۲۵۶۳۲b
۴۲۲۸b	۶۳۲a	۱۵/۰۴b	۲۸۹۲۴a
۴۵۲۵a	۶۶۲a	۱۴/۹۳b	۲۷۲۷۸a
۲۵۲۰۱b	۶۴۰۸	۱۶/۹۷a	۲۸۴۱۳a
۵۸۸۶a	۸۱۲a	۱۶/۴۷a	۲۶۵۱۵a

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

۵.۴. سطح برگ

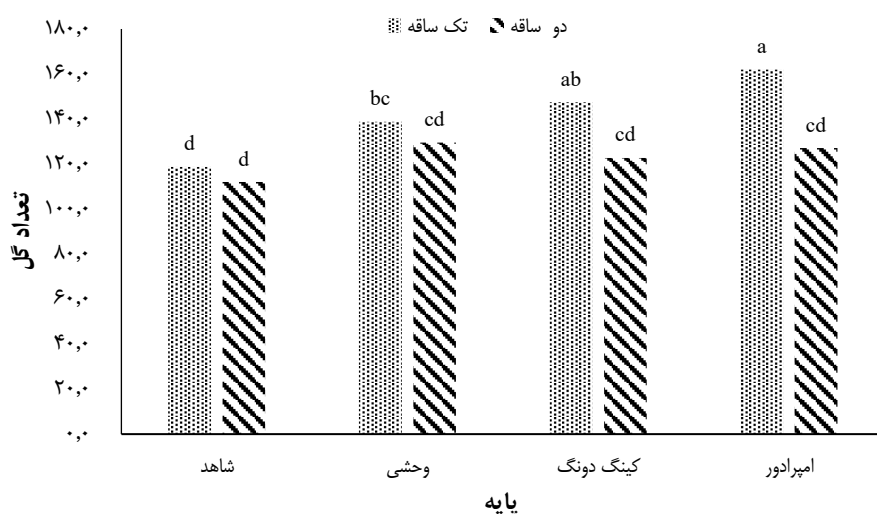
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده پایه قرار گرفت. اما اثر ساده تعداد ساقه و اثر متقابل پایه و تعداد ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین سطح برگ

مربوط به پایه کینگ‌کنگ با مقدار ۲۸۹۲۴ سانتی‌مترمربع بود، که نسبت به تیمار بدون پیوند با مقدار ۲۲۵۵۳ سانتی‌مترمربع در حدود ۲۸ درصد سطح برگ بیش‌تری داشتند. با این‌حال، اختلاف آماری معنی‌داری بین پایه‌های کینگ‌کنگ و امپرادور مشاهده نشد (جدول ۵).

۴.۶. تعداد خوشه گل و تعداد گل در خوشه

براساس نتایج تجزیه واریانس، تعداد خوشه گل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده پایه و تعداد ساقه قرار گرفت، درحالی‌که تعداد خوشه گل به‌طور معنی‌داری متأثر از اثر متقابل پایه و تعداد ساقه قرار نگرفت (جدول ۶). به طوری‌که تعداد خوشه بیش‌تری در گیاهان پیوندی نسبت به گوجه‌فرنگی‌های غیرپیوندی تولید شد، با این وجود بین پایه‌های مختلف تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین، هدایت بوته به‌صورت تک‌ساقه در مقایسه با دو ساقه‌ها خوشه‌های گل بیش‌تری داشتند (جدول ۹).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پایه و تعداد ساقه و همچنین اثر متقابل این دو عامل، تعداد گل گوجه‌فرنگی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۶). براساس مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴)، تعداد گل در گیاهان پیوندشده روی پایه امپرادور با یک ساقه حدود ۱۹ درصد بیش‌تر از گیاهان غیرپیوندی و تک‌ساقه بود.



شکل ۴. برهم‌کنش پایه و تعداد ساقه بر تعداد گل در گیاه گوجه‌فرنگی.

(حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

۴.۷. تعداد میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پایه و تعداد ساقه بر تعداد میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، تعداد میوه در پایه امپرادور حدود ۲۸ درصد بیش‌تر از تیمار بدون پیوند بود. این افزایش را می‌توان به ویژگی‌های فیزیولوژیک پایه‌های قوی نسبت داد پایه‌هایی مانند امپرادور معمولاً توان بالاتری در جذب آب و انتقال مواد فتوسنتزی دارند و این موضوع موجب تقویت رشد رویشی متعادل و افزایش توانایی گیاه در تشکیل و نگهداری میوه می‌شود. همچنین، گیاهان تک‌ساقه به‌طور

معنی‌داری حدود ۱۰ درصد میوه بیش‌تری نسبت به گیاهان دو ساقه تولید کردند (جدول ۸). در رابطه با تعداد ساقه، برتری گیاهان تک‌ساقه از نظر تعداد میوه را می‌توان به کاهش رقابت درون‌گیاهی برای منابع نسبت داد.

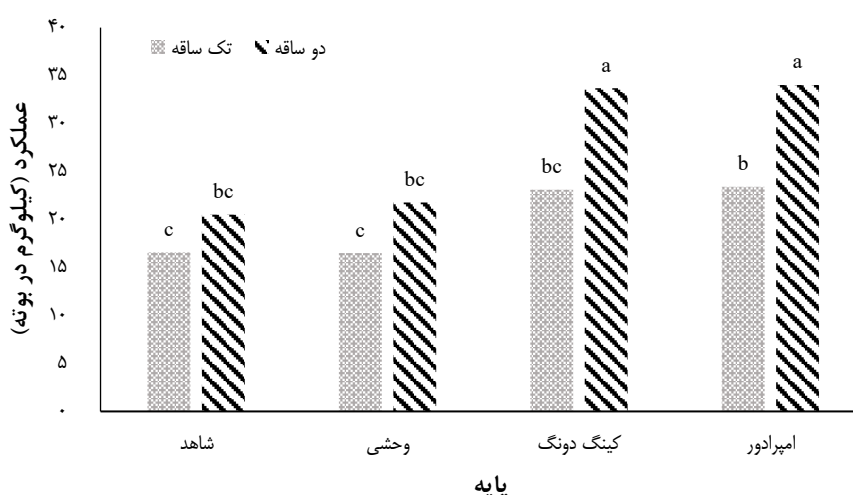
جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس تأثیر پایه و تعداد ساقه بر خصوصیات زایشی گوجه‌فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	تعدادخوشه	تعداد گل	تعداد میوه	عملکرد میوه
پایه	۳	۴/۵۲**	۳۲۴*	۱۸۱۲**	۲۵۲/۹۱**
تعداد ساقه	۱	۴/۸۸*	۲۸۵۰**	۹۱۹**	۴۶۳/۱۰**
پایه × تعداد ساقه	۳	۰/۴۴ns	۱۲۲۰*	۱۸/۶ns	۲۴/۳۹**
خطا	۲۴	۰/۳۸۸	۱۳۷	۱۲۷/۸	۲/۴۳
ضریب تغییرات (درصد)		۲۹	۱۱/۹	۹/۱۴	۷/۲

ns ** و *: به‌ترتیب به معنی غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد براساس آزمون دانکن.

۴.۸. عملکرد میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد میوه نشان داد که اثر ساده پایه و تعداد ساقه و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۶). بررسی مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از پایه تجاری امپرادور به‌تنهایی موجب افزایش چشم‌گیر عملکرد به میزان تقریباً ۱۰۵ درصد در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی (شاهد) گردید. این افزایش قابل‌توجه را می‌توان به توانایی بالای این پایه در جذب آب و عناصر غذایی، افزایش سطح برگ نسبت داد. براساس یافته‌های ارائه‌شده در شکل (۵)، بالاترین میزان عملکرد میوه در تیمار ترکیبی هدایت دوساقه بر روی پایه‌های امپرادور و کینگ‌کنگ مشاهده شد که نشان‌دهنده هم‌افزایی مثبت بین قدرت بالای این پایه‌ها و افزایش رشد و باردهی در بوته است. در مقابل، پایین‌ترین سطح عملکرد مربوط به گیاهان غیرپیوندی و گیاهان پیوندشده بر روی پایه‌های وحشی با هدایت تک‌ساقه ثبت گردید شایان ذکر است که در تیمارهای دوساقه، عملکرد کل به‌صورت مجموع وزن میوه برداشت‌شده از هر دو ساقه اصلی محاسبه شده است که این روش محاسبه، نشان‌دهنده کارایی کل بوته در تبدیل منابع به محصول نهایی است.



شکل ۵. برهم‌کنش پایه و تعداد ساقه بر عملکرد میوه در گیاه گوجه‌فرنگی.

(حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

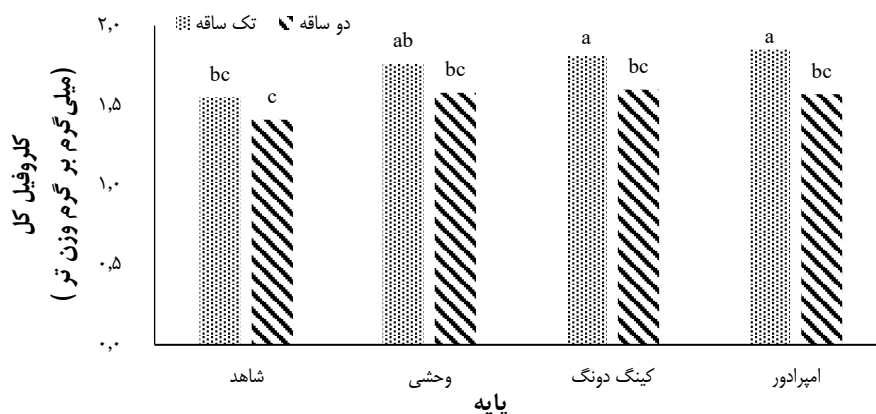
۹.۴. محتوای رنگزه‌های فتوستزی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده تعداد ساقه و اثر متقابل نوع پایه و تعداد ساقه قرار گرفت (جدول ۷). به‌طوری‌که گیاهان پیوند شده روی پایه امپرادور و هدایت‌شده به‌صورت تک‌ساقه، بالاترین محتوای کلروفیل کل را داشتند، درحالی‌که کم‌ترین محتوای کلروفیل کل در گیاهان غیرپیوندی هدایت‌شده به‌صورت دوساقه مشاهده شد (شکل ۶). براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۷) اثر ساده نوع پایه و تعداد ساقه بر محتوای کاروتنوئید معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل پایه و تعداد ساقه بر محتوای کاروتنوئید تأثیر معنی‌داری نداشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که گیاهان پیوندی روی پایه کینگ‌کینگ دارای بیش‌ترین محتوای کاروتنوئید بود و اختلاف معنی‌داری بین پایه‌های مختلف وجود نداشت، درحالی‌که کم‌ترین مقدار در گیاهان غیرپیوندی مشاهده شد. همچنین، گیاهان هدایت‌شده به‌صورت تک‌ساقه کاروتنوئید بیش‌تری نسبت به گیاهان دوساقه تولید کردند (جدول ۸).

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس تأثیر پایه و تعداد ساقه بر خصوصیات فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل کل	کاروتنوئید	هدایت روزنه‌ای برگ
پایه	۳	۰/۳۲ns	۰/۰۳۰**	۳۴۴/۱**
تعداد ساقه	۱	۰/۳۳**	۰/۲۰۴**	۱۷۳/۳**
پایه × تعداد ساقه	۳	۰/۷۳**	۰/۰۰۳ns	۸/۷۸ns
خطا	۲۴	۰/۰۲	۰/۰۱۲	۱۳/۲۵۵
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۷۲	۱/۰۳	۱۱/۳۹

ns: به‌ترتیب به معنی غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن.



شکل ۶. برهم‌کنش پایه و تعداد ساقه بر محتوای کلروفیل کل در گیاه گوجه‌فرنگی.

(حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

۱۰.۴. هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هدایت روزنه‌ای برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده پایه و تعداد ساقه قرار گرفت، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۷). میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به گیاهان پیوندشده روی پایه امپرادور در حدود ۲۵ درصد بیش‌تر از گیاهان پیوند نشده بود. همچنین، گیاهان هدایت‌شده به‌صورت دوساقه هدایت روزنه‌ای بیش‌تری نسبت به گیاهان تک‌ساقه داشتند (جدول ۸). همبستگی مثبت بین هدایت روزنه‌ای با وزن تر برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و تعداد میوه مشاهده شد.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر ساده پایه و تعداد ساقه بر برخی صفات گوجه‌فرنگی

تعداد خوشه	تعداد میوه	کارتنوید (میلی گرم بر گرم وزن تر)	هدایت روزنه‌ای (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه)
شاهد	۱۷/۳b	۸۳c	۳۵/۳۴b
پایه وحشی	۱۸/۳a	۱۰۱b	۳۸/۵۶b
پایه کینگ‌کینگ	۱۸/۸۷a	۱۱۲ab	۴۴/۸۳a
پایه امپرادور	۱۸/۹۱a	۱۱۶a	۴۷/۲۹a
هدایت تک‌ساقه	۱۸/۷۵a	۱۰۸a	۳۹/۱b
هدایت دو ساقه	۱۷/۹۶b	۹۷b	۴۳/۸a

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

۵. بحث

ارتفاع بوته به‌طور قابل‌توجهی متاثر از نوع پایه پیوندی در زمان‌های ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ روز پس از انتقال قرار گرفت عدم وجود اختلاف معنی‌دار در ارتفاع بوته بین پایه‌های مختلف در ۳۰ و ۶۰ روز اول پس از نشاکاری، احتمالاً ناشی از رشد کند گیاه در مراحل ابتدایی است که می‌تواند به‌دلیل استقرار ریشه و سازگاری با شرایط جدید زمین اصلی باشد. با این حال، آشکار شدن تفاوت‌های معنی‌دار از روز ۹۰ به بعد نشان می‌دهد که اثر پایه‌های مختلف با گذشت زمان و توسعه سیستم ریشه‌ای، بر رشد عمودی گیاه نمایان می‌شود. میزان رشد متوسط ۶۱ سانتی‌متر در هر ۳۰ روز نشان‌دهنده پتانسیل رشد مطلوب گیاهان در شرایط آزمایش است. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی پایه‌های مختلف، شرایط محیطی، نوع رقم، مدیریت آبیاری و تغذیه باشد، عواملی که در پژوهش‌های پیشین نیز به‌عنوان تعیین‌کننده‌های اصلی رشد طولی گزارش شده‌اند (یاهیا و همکاران، ۲۰۲۴).

ساقه گوجه‌فرنگی با قطر بیش‌تر، توانایی بیش‌تری برای تحمل وزن سنگین میوه دارند و موجب افزایش مقاومت گیاه می‌شوند. افزون بر این، افزایش قطر ساقه منجر به توسعه سیستم آوندی و بهبود کارایی در جذب آب و انتقال مواد مغذی و فتوسنتز می‌گردد که این امر در نهایت منجر به افزایش عملکرد میوه می‌شود. توقف افزایش قطر ساقه در روزهای ۱۸۰ و ۲۱۰ پس از نشاکاری، نشان‌دهنده پایان دوره رشد رویشی و نزدیک شدن گیاه به مرحله پیری فیزیولوژیک است. یافته‌های پژوهش‌های پیشین نیز با این نتایج همخوانی دارد. برای نمونه، نی^۱ و ون^۲ (۲۰۲۳) بیان کردند که استفاده از پایه‌های مقاوم و قوی موجب افزایش قطر ساقه و در پی آن افزایش عملکرد می‌شود. همچنین حاجی احمدی^۳ و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که پایه‌های قوی‌تر مانند Maxifort باعث بهبود صفات رشدی مانند قطر ساقه در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای می‌شود. از این‌رو، نتایج مطالعه حاضر نیز بر این نکته تأکید دارد که انتخاب پایه مناسب، نقشی کلیدی در ارتقای رشد رویشی و زایشی گوجه‌فرنگی ایفا می‌کند.

پایه‌های پیوندی و هدایت بوته به‌صورت تک‌ساقه در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی و دو ساقه، تعداد برگ گوجه‌فرنگی را افزایش داد. این نتایج مشابه با یافته‌های گونگ^۴ و همکاران (۲۰۲۲) بود که نشان دادند تغییرات تعداد گره و تعداد برگ می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند تعداد ساقه و نوع پایه در دوره‌های زمانی مختلف قرار گیرد. چنین برهم‌کنش‌هایی می‌تواند بیانگر ارتباط پیچیده این عوامل با رشد گیاهان باشد.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پیوند، به‌ویژه استفاده از پایه امپرادور، می‌تواند تأثیر مثبت و معنی‌داری بر

1. Nie
2. Wen
3. Hajiahmadi
4. Gong

افزایش وزن تر و خشک برگ داشته باشد که نشان‌دهنده بهبود رشد رویشی در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی است. این نتیجه با گزارش سرینت^۱ و همکاران (۲۰۲۳) مبنی بر افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در گیاهان پیوندی همخوانی دارد. همچنین، برتری بوته‌های دو ساقه از نظر وزن تر برگ و برتری بوته‌های تک‌ساقه از نظر وزن خشک برگ، نشان‌دهنده تأثیر تعداد ساقه بر توزیع و تجمع مواد خشک در اندام‌های رویشی است که با نتایج کولیوند^۲ و همکاران (۲۰۲۰) در رابطه با افزایش عملکرد و ماده خشک در هر دو روش هدایت تک‌ساقه و دو ساقه همسو می‌باشد. بنابراین، هرچند پیوند باعث افزایش وزن تر و خشک برگ می‌شود، اما درصد ماده خشک را کاهش می‌دهد که این خود بیانگر تغییر در نسبت آب به ماده جامد در بافت‌های برگ تحت تأثیر نوع پایه است.

نتایج این پژوهش نشان داد که نوع پایه تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ دارد، به‌گونه‌ای که پایه‌های پیوندی به‌ویژه کینگ‌کنگ موجب افزایش چشم‌گیر سطح برگ نسبت به گیاهان بدون پیوند شدند. این افزایش سطح برگ می‌تواند به دلیل رشد ریشه‌ای گسترده‌تر در پایه‌های قوی باشد که جذب آب و عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد و همچنین تولید بیش‌تر هورمون‌های رشد نظیر سیتوکینین‌ها را به‌همراه دارد که در نهایت به توسعه سطح برگ کمک می‌کند (جان^۳ و همکاران، ۲۰۲۵). این یافته با نتایج جوردانا^۴ و همکاران (۲۰۲۳) در گیاه هندوانه همخوانی دارد که گزارش کردند نوع پایه تأثیر قابل‌توجهی بر سطح برگ داشته و گیاهان پیوندی سطح برگ بزرگ‌تری نسبت به گیاهان غیرپیوندی تولید کردند با توجه به این‌که شاخص سطح برگ یکی از کلیدی‌ترین شاخص‌های مؤثر بر رشد رویشی و عملکرد است، افزایش آن تا محدوده بهینه (حدود ۳ تا ۳/۵) می‌تواند حداکثر فتوسنتز و رشد مطلوب گیاه را فراهم آورد (تایز^۵ و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، باید توجه داشت که سطح برگ بیش از حد ممکن است باعث افزایش رشد رویشی در مقایسه با رشد زایشی شده و در نتیجه عملکرد میوه را کاهش دهد. بنابراین، اگرچه پایه‌های پیوندی با افزایش سطح برگ، پتانسیل بالاتری برای جذب نور و تولید مواد فتوسنتزی ایجاد می‌کنند، اما مدیریت تعادل بین رشد رویشی و زایشی در چنین گیاهانی اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

براساس نتایج این پژوهش، تعداد خوشه گل و تعداد گل بیش‌تر در گیاهان پیوندشده مشاهده شد. تعداد خوشه در گیاهان پیوندی را می‌توان به رشد قوی‌تر و توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای در پایه‌های پیوندی نسبت داد که منجر به جذب بیش‌تر عناصر غذایی و در نتیجه بهبود فرایند گل‌دهی می‌شود (بالیو^۶ و همکاران، ۲۰۲۴). از سوی دیگر، پایه‌های قوی‌تر از طریق افزایش تولید سیتوکینین‌ها در ریشه، می‌توانند تمایز جوانه‌های زایشی و تشکیل گل و خوشه را تحریک نمایند (جان و همکاران، ۲۰۲۵). با این حال، باید توجه داشت که اگر پایه رشد رویشی را بیش از حد تحریک کند، بخش عمده‌ای از مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های رویشی هدایت شده و سهم کم‌تری به اندام‌های زایشی می‌رسد که این امر می‌تواند تأثیر منفی بر تعداد خوشه داشته باشد (بهادر^۷ و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، برتری بوته‌های تک‌ساقه از نظر تعداد خوشه نشان‌دهنده تخصیص مؤثرتر منابع در شرایط کاهش رقابت بین شاخه‌ها است که مدیریت تعداد ساقه را به‌عنوان یکی از راه‌کارهای افزایش پتانسیل زایشی مطرح می‌کند. یافته‌های این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که تعداد گل بیش‌تر در تیمار ترکیبی پایه امپرادور به‌همراه هدایت تک‌ساقه، در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی و تک‌ساقه، حاکی از اثر هم‌افزایی این دو عامل بر بهبود توان زایشی

1. Sreyneth
2. Koulivand
3. Jan
4. Jordana
5. Taiz
6. Balliu
7. Bahador

گیاه است. استفاده از پایه مناسب همراه با مدیریت صحیح تعداد ساقه‌ها، از طریق بهبود تغذیه گیاه و کاهش رقابت درونی، نقش مؤثری در افزایش توان زایشی و تعداد گل‌های گوجه‌فرنگی ایفا می‌کند (بهادر و همکاران، ۲۰۲۴). براساس نتایج پژوهش حاضر، گیاهان پیوندی و تک‌ساقه تعداد میوه بیش‌تری تولید کردند. این یافته با گزارش پیرین و همکاران (۲۰۲۳) هم‌راستاست که نشان دادند پایه‌های قوی با افزایش ظرفیت جذب عناصر غذایی و بهبود کارایی انتقال مواد فتوسنتزی، به افزایش تعداد میوه در گیاهان پیوندی منجر می‌شوند. بررسی اثر هم‌زمان پیوند و هدایت در گوجه‌فرنگی نشان داد که استفاده از پایه قوی کینگ‌کینگ به‌طور معنی‌داری تعداد میوه را تا ۱۷/۸ درصد افزایش داد. همچنین، بوته‌های دو ساقه اگرچه تعداد میوه بیش‌تری داشتند، اما با کاهش میانگین وزن میوه همراه بودند (موراو^۱ و بریتو^۲، ۲۰۱۷). برتری گوجه‌فرنگی تک‌ساقه نسبت به دو ساقه به کاهش رقابت درون‌گیاهی برای منابع بازمی‌گردد، به‌گونه‌ای که در سیستم تک‌ساقه، مواد فتوسنتزی و عناصر غذایی به‌صورت متمرکز به اندام‌های زایشی اختصاص می‌یابد، درحالی‌که در گیاهان دوساقه، تقسیم منابع بین ساقه‌ها می‌تواند موجب کاهش تعداد میوه‌های تشکیل‌شده یا افزایش ریزش گل و میوه شود (موراو و بریتو، ۲۰۱۷).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اثر پیوند بر عملکرد کل گوجه‌فرنگی معنی‌دار بوده و گیاهان پیوندی عملکرد بالاتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی دارند و یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعه اینگرام^۳ و همکاران (۲۰۲۲) هم‌خوانی دارد که نشان دادند وزن میوه در بوته‌های پیوندی تک‌ساقه و دو ساقه به‌ترتیب ۴۶/۱۱ و ۴۹/۱۰ کیلوگرم در بوته و در بوته‌های غیرپیوندی ۱۰/۱۰ کیلوگرم در بوته بود. پایه‌ها از طریق تقویت رشد ریشه و بهبود سازگاری با شرایط نامطلوب خاک، می‌توانند به افزایش تولید گل و میوه کمک کنند. هرچند استفاده از پایه‌های بسیار قوی ممکن است با هدایت منابع گیاهی به سمت رشد رویشی، از میزان باردهی بکاهد، اما به‌طور کلی پایه‌های متحمل به تنش، با ایجاد مقاومت در برابر بیماری‌های خاک‌زاد مانند فیتوفتورا آلوده شدند، درحالی‌که گیاهان پیوندی عاری از علائم بیماری بودند. افزایش نیز گیاهان غیرپیوندی به بیماری فیتوفتورا آلوده شدند، درحالی‌که گیاهان پیوندی عاری از علائم بیماری بودند. افزایش عملکرد در گیاهان پیوندی احتمالاً ناشی از توسعه‌ی بیش‌تر سیستم ریشه، افزایش سطح برگ، محتوای بالاتر کلروفیل و افزایش بیوماس کل بوده است. براساس گزارش‌های متعدد، استفاده از پایه‌های پررشد می‌تواند عملکرد گوجه‌فرنگی را در شرایط تنش‌های محیطی بین ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش دهد (بهادر و همکاران، ۲۰۲۴). با این حال، باید توجه داشت که پیوند با هزینه‌هایی نظیر تأمین بذر پایه، نیروی کار و ابزارهای تخصصی همراه است. بنابراین، توجیه اقتصادی کاربرد این روش به این بستگی دارد که افزایش حاصل از عملکرد، بتواند هزینه‌های اضافی را پوشش دهد. این مسئله، عاملی کلیدی در تصمیم‌گیری گلخانه‌داران برای کاربرد عملی این فناوری محسوب می‌شود (آلبورنوز^۴ و همکاران، ۲۰۲۰).

محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید در گیاهان پیوندی و هدایت‌شده به‌صورت تک‌ساقه، نسبت به گیاهان غیرپیوندی و هدایت‌شده به‌صورت دوساقه بیش‌تر بود. این نتایج با یافته‌های روفایل^۵ و همکاران (۲۰۱۸) هم‌راستاست که گزارش کردند استفاده از پایه‌های قوی و کارآمد در سیستم پیوندی موجب افزایش جذب عناصر معدنی، به‌ویژه نیتروژن و منیزیم، شده و در نتیجه محتوای کلروفیل و کاروتنوئید بهبود می‌یابد. همچنین نی و ون (۲۰۲۳) بیان داشتند که پیوند می‌تواند عملکرد فیزیولوژیکی گیاه از جمله محتوای کلروفیل و کارایی فتوسنتزی را بهبود بخشد. افزون بر این، هدایت گیاه به‌صورت تک‌ساقه با افزایش نفوذ نور و کاهش رقابت بر سر جذب مواد فتوآسمیلاته، شرایط مناسب‌تری را برای تشکیل

1. Moura
2. Brito
3. Ingram
4. Albornoz
5. Rouphael

کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی فراهم می‌سازد (خان^۱ و همکاران، ۲۰۲۳؛ یان^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). در مقابل، گیاهان غیرپیوندی چندساقه، به دلیل سایه‌اندازی بیش‌تر، رقابت شدیدتر برای مواد فتوسنتزی و توان جذب پایین‌تر، از محتوای کلروفیل کل کم‌تری برخوردارند. کاروتنوئیدها نقش کلیدی در محافظت نوری از کلروفیل دارند و تحت تأثیر تغذیه بهینه، شرایط نوری مطلوب و هدایت مناسب گیاه افزایش می‌یابند.

پایه‌ها از طریق سازوکارهای هورمونی، به‌ویژه از طریق آبسزیک‌اسید، می‌توانند هدایت روزه‌ای پیوندک را تعدیل کنند. در شرایط تنش خشکی، برخی پایه‌ها با افزایش غلظت آبسزیک‌اسید در بافت‌های پیوندک، موجب کاهش اندازه روزه‌ها (بسته‌شدن نسبی روزه) می‌شوند که به حفظ آب گیاه کمک می‌کند. با این حال، این فرایند به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که تبادلات گازی و تأمین مواد تغذیه‌ای گیاه تا حد مطلوبی حفظ گردد (سرینت و همکاران، ۲۰۲۳). پایه‌های قوی نظیر امپرادور می‌توانند تعادل بهینه‌ای بین بازبودن روزه و جلوگیری از تعرق بیش‌ازحد برقرار سازند و در نتیجه، کارایی مصرف آب و رشد گیاه را بهبود بخشند. همچنین پایه‌های پررشد ممکن است با توسعه سیستم ریشه‌ای، دسترسی به آب را افزایش داده و بدین ترتیب جذب مؤثرتر آب و انتقال آن به پیوندک را میسر سازند این امر وضعیت آبی گیاه را بهبود می‌بخشد و نیاز به بسته‌شدن روزه‌ها را کاهش می‌دهد. در نتیجه، هدایت روزه‌ای برگ به‌ویژه در شرایط غیرتنش افزایش یافته و به فتوسنتز و رشد بهتر گیاه منجر می‌شود (ریس هرناندز^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). همبستگی مثبت بین هدایت روزه‌ای با وزن تر برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و تعداد میوه مشاهده شد.

وزن تر برگ نشان‌دهنده محتوای آب بافت و وضعیت تورژسانس سلولی است، به طوری که هر گونه کاهش در محتوای آب برگ، به بسته‌شدن روزه‌ها و در نتیجه کاهش هدایت روزه‌ای می‌انجامد. افزایش سطح برگ نیز معمولاً با تعداد بیش‌تر روزه‌ها و ظرفیت بالاتر برای تبادلات گازی همراه است. از سوی دیگر، هدایت روزه‌ای بالاتر از طریق افزایش فتوسنتز، به تولید و تجمع بیش‌تر ماده خشک در برگ‌ها کمک می‌کند. همچنین گیاهانی که هدایت روزه‌ای بیش‌تری دارند، معمولاً توانایی بیش‌تری در تولید و حفظ میوه نشان می‌دهند که می‌تواند ناشی از افزایش تولید شیره پرورده و کاهش ریزش میوه باشد (جان و همکاران، ۲۰۲۵).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

انتخاب پایه مناسب و مدیریت روش هدایت بوته می‌تواند در موفقیت کشت گوجه‌فرنگی‌های پیوندی مؤثر باشد. پایه‌های قوی مانند 'امپرادور' و 'کینگ‌کنگ' باعث افزایش در صفات رویشی شدند، اگرچه هدایت تک‌ساقه در برخی صفات مانند تعداد گل و میوه برتری داشت، اما عملکرد در دو ساقه بیش‌تر بود. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پایه امپرادور همراه با هدایت دوساقه، بهترین ترکیب برای افزایش رشد، عملکرد گوجه‌فرنگی در کشت گلخانه‌ای است. به این ترتیب، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده از هدایت بوته چهار ساقه در گوجه‌فرنگی پیوندی استفاده شود. علاوه بر این، خصوصیات کیفی میوه و کارایی جذب عناصر معدنی نیز موردبررسی قرار گیرد.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه محقق اردبیلی به‌خاطر تأمین مالی برای پیش‌برد این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- Albornoz, F., Perez-Donoso, A. G., Leigh Urbina, J., Monasterio, M., Gomez, M., & Steinfort, U. (2020). Nitrate transport rate in the xylem of tomato plants grafted onto a vigorous rootstock. *Agronomy*, 10(2), 182.
- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
- Kawicha, P., Saman, P., Suwannachairob, P., Ponpang-nga, P., Saengprajak, J., Sangdee, A., & Thanyasiriwat, T. (2025). Intraspecific grafting of tomatoes: Impact of disease-resistant rootstocks on Fusarium wilt prevention, plant growth, and fruit quality under naturally infested field conditions. *The Plant Pathology Journal*, 41(5), 566-582.
- Bahadur, A., Singh, P. M., Rai, N., Singh, A. K., Singh, A. K., Karkute, S. G., & Behera, T. K. (2024). Grafting in vegetables to improve abiotic stress tolerance, yield and quality. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 99(4), 385-403.
- Balliu, A., Babaj, I., & Sallaku, G. (2024). Root morphology parameters and nutrient acquisition capabilities of grafted tomato plants in root-restricted conditions are subject to salinity and rootstock characteristics. *International Journal of Vegetable Science*, 30 (5), 503-526.
- Caradonia, F., Francia, E., Alfano, V., & Ronga, D. (2023). Grafting and plant density influence tomato production in organic farming system. *Horticulturae*, 9(6), 669-679.
- Dasgan, H. Y., Aksu, K. S., Zikaria, K., & Gruda, N. S. (2024). Biostimulants enhance the nutritional quality of soilless greenhouse tomatoes. *Plants*, 13(18), 2587.
- Djidonou, D., Zhao, X., Brecht, J. K., & Cordasco, K. M. (2017). Influence of interspecific hybrid rootstocks on tomato growth, nutrient accumulation, yield, and fruit composition under greenhouse conditions. *HortTechnology*, 27(6), 868-877.
- Giordano, M., Petropoulos, S. A., & Rouphael, Y. (2021). Response and defense mechanisms of vegetable crops against drought, heat and salinity stress. *Agriculture*, 11(5), 463.
- Gong, T., Zhao, X., Brecht, J. K., & Colee, J. (2021). Characterizing the impacts of 'generative' rootstocks on growth and development of grafted tomato plants. *Acta Horticulturae*, (1302), 247-254.
- Grieneisen, M. L., Aegerter, B. J., Scott Stoddard, C., & Zhang, M. (2018). Yield and fruit quality of grafted tomatoes, and their potential for soil fumigant use reduction. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 38 (3), 29.
- Hajiahmadi, Z., Shirzadian-Khorramabad, R., Kazemzad, M., & Sohani, M. M. (2019). Enhancement of tomato resistance to Tuta absoluta using a new efficient mesoporous silica nanoparticle-mediated plant transient gene expression approach. *Scientia Horticulturae*, 243, 367-375.
- Ingram, T. W., Sharpe, S., Trandel, M., Perkins-Veczie, P., Louws, F. J., & Meadows, I. (2022). Vigorous rootstocks improve yields and increase fruit sizes in grafted fresh market tomatoes. *Frontiers in Horticulture*, 1, 1091342.
- Jan, M. F., Li, M., Liu, C., Liaqat, W., Altaf, M. T., Barutçular, C., & Baloch, F. S. (2025). Multivariate analysis of root architecture, morpho-physiological, and biochemical traits reveals higher nitrogen use efficiency heterosis in maize hybrids during early vegetative growth. *Plants*, 14 (3), 399.
- Jones Jr, J. B. (2016). Hydroponics: a practical guide for the soilless grower. CRC press.
- Jordana, C. N., Stapleton, S. C., Colee, J. C., Lee, S., Gao, Z., Ray, Z. T., Anrecio, L. R., Freed, D. J., & Zhao, X. (2023). How does watermelon graft impact fruit yield and quality? A systematic review. *Hort Science*, 58(8), 836-845.
- Kalykov, A., & Polat, E. (2023). The effects of double-stemmed grafted tomato plants on yield and quality of tomato cultivation. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 36 (2), 53-57.
- Khan, I., Zada, A., Jia, T., & Hu, X. (2023). Effect of the enhanced production of chlorophyll b on the light acclimation of tomato. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3377.
- Khopade, R. Y., Sawargaonkar, G. L., Rakesh, S., Davala, M. S., Kishore K. K., Siddam, Y., Singh, R., & Jat, M. L. (2025). Vegetable grafting: a scientific innovation to enhance productivity and profitability of tomato growers under climate change. *Frontiers in Agronomy*, 7-2025.

- Koulivand, F., Saidi, M., & Mohammadi, Y. (2020). Effect of irrigation regimes and training method on yield and quality of tomato (Marmande cultivar). *Vegetable Sciences Journal*, 4(1), 7-20.
- Kyriacou, M. C., Roupael, Y., Colla, G., & Kyriacou, M. C. (2018). Vegetable grafting: A toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-17.
- Mourao, I., & Brito, L. M. (2017). The effect of pruning systems on yield and fruit quality of grafted tomato. *Horticultura Brasileira*, 35, 247-251.
- Nie, W., & Wen, D. (2023). Vegetable grafting: Mechanisms, applications, and future aspects. *Plants*, 12 (15), 2822.
- Perin, L., Peil, R. M. N., Signorini, C., Grolli, P. R., Streck, E. A., da Rosa, D. S. B., Neutzling, C., Marques, G. N., & Wieth, A. R. (2023). Effect of grafting and number of stems on plant growth, yield and fruit quality of soilless tomatoes. *Australian Journal of Crop Science*, 17(1), 99-106.
- Nenadic, M., & Vermeer, JEM. (2021). Dynamic cytokinin signaling landscapes during lateral root formation in Arabidopsis. *Quantitative Plant Biology*, 2, e13.
- Roupael, Y., Kyriacou, M. C., & Colla, G. (2018). Vegetable Grafting: A toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8-2017.
- Sreyneth, O., Vathany, T., Chhourn, O., Song, Y. J., & Lee, E. H. (2023). Effect of rootstock genotypes on the growth and yield of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) grown in a plastic greenhouse and open field in cambodia. *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 35(4), 301-310.
- Taiz, L. Zeiger, E., Moller, I.M., & Murphy, A. (2023) Plant Physiology and Development. 7th Edition, Oxford University Press.
- Ulas, F. (2025). Mitigating the effect of salt stress through grafting technology in vegetables: A review. *Journal of Crop Health*, 77(4).
- Yahia, E. M., Ornelas-Paz, J. de J., & Victoria-Campos, C. I. (2024). Changes in color, vitamin C, carotenoids and tocopherols during ripening and senescence of tomato fruit. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 7(4), 335-344.
- Yan, J., Liu, J., Yang, S., Jiang, C., Liu, Y., Zhang, N., Zhu, Sun, X., Zhang, Y., Zhu, K., Peng, Y., Bu, X., Wang, X., Ahammed, G. J., Meng, S., Tan, C., Liu, Y., Sun, Z., Qi, M., Wang, F., & Li. (2023). Light quality regulates plant biomass and fruit quality through a photoreceptor-dependent HY5-LHC/CYCB module in tomato. *Horticulture Research*, 10 (12), 219.