Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 1, 2025 p: 11-24

OPEN ACCESS

Research Paper

Genetic Diversity and Relationship Analysis of Different Local and International Cultivars and some Strawberry Clones (*Fragaria*× *ananassa* Duch)

Masoume Abedi[1], Mehdi Hadadinejad[2], Kamran Ghasemi[3] and Ghafar Kiani[4]

1- M.Sc, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

2- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, (Corresponding author: m.hadadinejad@sanru.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

4- Associate Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received: 20 July, 2024 Revised: 27 September, 2024 Accepted: 09 November,, 2024

Extended Abstract

Background: Strawberry (*Fragaria × ananassa*) is a perennial shrub of the Rosaceae family that has become one of the most significant fruits globally due to its unique characteristics, ease of care, and delicious flavor. This plant thrives particularly well in temperate regions, although it can also be cultivated as an annual. These traits have made strawberries popular not only in home gardens but also in commercial agriculture. It has emerged as an important economic crop in many countries because of its tasty and nutritious fruits. Given the economic and nutritional significance of strawberries, it is crucial to assess their genetic diversity and identify various genotypes. Genetic diversity in this plant enables researchers to develop newer, higher-quality varieties that are more resistant to pests and diseases while yielding greater outputs. Therefore, the use of morphological markers is highly beneficial in distinguishing and identifying different strawberry cultivars and populations. Consequently, this study was conducted to investigate genetic diversity and identify relationships between domestic and imported strawberry genotypes and clones.

Methods: The present study was carried out in Mazandaran Province, Sari City, from November 2020 to June 2021. Transplants of imported cultivars were sourced from the Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research Center. This selection was made due to the high diversity of cultivars and their specific characteristics, allowing for an accurate assessment of their yields and quality. The plants were grown in pots filled with a substrate of cocopeat and perlite in a 70:30 ratio. Due to its favorable physical and chemical properties, this substrate promotes better root growth and enhances the absorption of water and nutrients, thereby providing optimal conditions for plant growth. The comparison stage of cultivars was conducted through detailed studies at the Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, aiming to investigate genotypic and phenotypic diversity. The experiment utilized a completely randomized design with 23 treatments, including mother cultivars in three replications and daughter cultivars in four replications, all within a hydroponic medium. Measurements were taken on fertile plants, and various data points, including growth habit, leaf density, and growth vigor based on international descriptors, as well as traits such as leaf length and width, leaf area, the number of individual flowers, the number of inflorescences, and total flower count, were analyzed quantitatively.

Results: The examined genotypes exhibited significant differences in reproductive and vegetative traits. The highest genetic diversity coefficient was associated with the number of fruits per plant, the number of flowers per plant, and plant yield, all of which showed variations exceeding 50%. In contrast, a narrower range of variation was noted in traits related to vegetative growth, likely due to environmental influences and cultivation conditions. The correlation analysis of the growth habit trait revealed that a more erect plant positively impacted the growth of leaf components, which in turn enhanced fruit length and width. This is a crucial discovery as it can aid in the selection and breeding of superior cultivars. Factor analysis successfully identified several main factors representing qualitative and quantitative traits, facilitating a better understanding of the relationships among these traits. The Camarosa cultivar, the predominant cultivar in Mazandaran Province, along with the cultivars Merck, Tan Beauty, Missionary, and Queen Eliza, demonstrated positive vegetative growth but negative reproductive growth. However, the selected clone from Ghaemshahr excelled in both vegetative and reproductive growth, placing it in the

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

fourth quadrant and positive section. The evaluated values for strawberry traits indicated that phenotypic variance surpassed genotypic variance, highlighting the environmental impact on the studied traits. The maximum phenotypic coefficient of variation (PCV) and genotypic coefficient of variation (GCV) were attributed to plant yield (67.25 and 65.67), followed by leaf area (38.92 and 39.47), respectively. Furthermore, high heritability was observed in the traits of leaf area (97.3%), plant yield (95.35%), and the number of flowers per inflorescence (90.59%).
Conclusion: The results of the correlation of morphological traits indicate that the plant's growth habit has a positive and significant correlation with various traits, including leaf length, leaf width, leaf area, petiole length, and fruit length and width. The correlation results for the descriptive trait of growth habit in three forms (erect, semi-erect, and creeping) demonstrate that a more erect plant positively influences the growth of leaf components, leading to improvements in both fruit length and width. Additionally, the correlation findings suggest that an increase in shoot density and leaf number can negatively and significantly impact the plant's growth habit. Therefore, shoot density may decrease as the plant grows, resulting in a more open structure with fewer leaves. Finally, considering the genetic distance among the cultivars, it appears that crossing these genotypes could yield greater heterosis, which can be leveraged to produce new cultivars and enhance orchard yields. Utilizing genetic and phenotypic diversity and incorporating these traits into breeding programs can significantly improve the quality and yields of strawberries in Iran.

Keywords: Cluster decomposition, Environment, Genetic parameters, Heritability

How to Cite This Article: Abedi, Masoume., Hadadinejad, M., Ghasemi, K., & Kiani, Gh. (2025). Path Analysis and Correlation between Quantitative Traits in Cultivated Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Germplasms under Rhizomania Disease Conditions in Miandoab. *J Crop Breed,* 17(1), 11-24. DOI: 10.61186/jcb.17.1.11

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

تنوع ژنتیکی و تجزیه روابط ارقام مختلف و برخی کلون‌های توت فرنگی (*Fragaria*× *ananassa* Duch)

معصومه عابدی[۱]، مهدی حدادی‌نژاد[۲]، کامران قاسمی[۳] و غفار کیانی[۴]

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: m.hadadinejad@sanru.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- دانشیار، گروه اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹
صفحه ۱۱ تا ۲۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: توت‌فرنگی (*Fragaria* × *ananassa*) یک گیاه بوته‌ای چندساله از خانواده گلسرخیان است که به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد خود، مراقبت آسان و میوه‌های خوشمزه به یکی از مهم‌ترین میوه‌های جهان تبدیل شده است. این گیاه به‌خصوص در مناطق معتدل رشد بسیار بهتری دارد و همچنین قابلیت پرورش به شکل یکساله را نیز داراست. این ویژگی‌ها باعث شده است که توت‌فرنگی نه‌تنها در باغات خانگی بلکه به‌شکل تجاری نیز مورد توجه قرار گیرد. این گیاه به‌دلیل تولید میوه‌های خوشمزه و مغذی خود، به یکی از محصولات اقتصادی مهم در بسیاری از کشورها تبدیل شده است. با توجه به اهمیت اقتصادی و غذایی توت‌فرنگی، ارزیابی تنوع ژنتیکی و شناسایی ژنوتیپ‌های مختلف آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تنوع ژنتیکی در این گیاه به محققان این امکان را می‌دهد که بتوانند ارقام جدیدتر و با کیفیت‌تری را توسعه دهند که در برابر آفات و بیماری‌ها مقاوم‌تر باشند و عملکرد بالاتری را ارائه دهند. به‌همین دلیل، استفاده از نشانگرهای مورفولوژیکی برای تمایز و شناسایی ارقام و توده‌های مختلف توت‌فرنگی بسیار مفید است. به‌همین دلیل، این پژوهش با هدف بررسی تنوع ژنتیکی و شناسایی روابط میان ژنوتیپ‌ها و کلون‌های داخلی و خارجی توت‌فرنگی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در استان مازندران، شهر ساری، از آبان ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ انجام شد. نشا ارقام خارجی از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان تهیه گردید. این انتخاب به‌دلیل تنوع بالای ارقام و ویژگی‌های خاص آنها صورت گرفت تا بتوان ارزیابی دقیقی از عملکرد و کیفیت آنها داشت. بوته‌ها در گلدان‌هایی که حاوی بستر کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۷۰:۳۰ بودند، کشت شدند. این بستر کشت به‌دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مناسب، به رشد بهتر ریشه‌ها و جذب بهتر آب و مواد غذایی کمک می‌کند و همچنین شرایط بهتری را برای رشد گیاهان فراهم می‌آورد. مرحله مقایسه ارقام از طریق مطالعات دقیق در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با هدف بررسی تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی انجام شد. آزمایش در قالب طراحی کاملاً تصادفی با ۲۳ تیمار شامل ارقام مادری در ۳ تکرار و ارقام دختری در ۴ تکرار در بستر هیدروپونیک به اجرا درآمد. اندازه‌گیری‌ها روی بوته‌های بارور انجام شد و برخی داده‌ها از جمله عادت رشد، تراکم برگساره و قدرت رشد بر اساس توصیف‌گر بین‌المللی و سایر صفات شامل طول و عرض برگ، سطح برگ، تعداد گل تکی، تعداد گل آذین، تعداد گل و ... به‌صورت کمی بررسی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر صفات زایشی و رویشی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. بالاترین ضریب تنوع ژنتیکی مربوط به تعداد میوه در بوته، تعداد گل در بوته و عملکرد بوته بود که تنوعی بیش از ۵۰ درصد را نشان می‌دهد. در حالی‌که در صفات مرتبط با رشد رویشی دامنه تنوع باریکی مشاهده شد که ممکن است ناشی از تأثیرات محیطی و شرایط کشت باشد. نتایج همبستگی صفت عادت رشد نشان داد که هرچه بوته ایستاده‌تر باشد، تأثیر مثبت‌تری بر رشد اجزای برگ خواهد داشت که این نیز منجر به بهبود طول و عرض میوه‌ها می‌شود. این یک یافته مهم است زیرا می‌تواند به انتخاب و پرورش ارقام بهتر کمک کند. تجزیه به عامل‌ها نیز توانست صفات کیفی و کمی را به‌صورت چند عامل اصلی بیان کند و به درک بهتر روابط بین این صفات کمک نماید. رقم کاماروسا به‌عنوان رقم غالب در استان مازندران به‌همراه ارقام مرک، تن بیوتی و میشنری و کویین الیزا نیز از رشد رویشی مثبت و رشد زایشی منفی برخوردار بودند. با این‌حال، کلون انتخابی از قائمشهر هم در هر دو جنبه رشد رویشی و زایشی دارای عملکرد موفقی بود و در ربع چهارم و بخش مثبت قرار گرفت. مقادیر ارزیابی شده برای ویژگی‌های توت‌فرنگی نشان داد که واریانس فنوتیپی از واریانس ژنوتیپی بیشتر است که این نشان‌دهنده تأثیر محیط بر صفات مورد مطالعه است. حداکثر ضریب تنوع فنوتیپی (PCV) و ضریب تنوع ژنوتیپی (GCV) به‌ترتیب به عملکرد بوته (۶۷/۲۵ و ۶۵/۶۷) و سپس به سطح برگ (۳۹/۴۷، ۳۸/۹۲) اختصاص داده شد. علاوه بر این، وراثت‌پذیری بالا در صفات سطح برگ (۹۷/۳ درصد)، عملکرد بوته (۹۵/۳۵ درصد) و تعداد گل در گل آذین (۹۰/۵۹درصد) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از همبستگی ویژگی‌های مورفولوژیکی نشان داد که عادت رشد بوته با صفات مختلفی نظیر طول برگ، عرض برگ، سطح برگ، طول دمبرگ، و طول و عرض میوه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری می‌باشد. بررسی نتایج همبستگی صفت توصیفی عادت رشد در سه حالت (ایستاده، نیمه‌ایستاده و خزنده) نشان می‌دهد که هرچه بوته ایستاده‌تر باشد، تأثیر مثبت‌تری بر رشد اجزای برگ دارد و این موضوع منجر به بهبود طول و عرض میوه‌ها خواهد شد. به‌علاوه، نتایج همبستگی نشان می‌دهند که افزایش تراکم برگساره و تعداد برگ می‌تواند اثر منفی و معنی‌داری بر عادت رشد بوته داشته باشد. بدین‌ترتیب، با افزایش ایستادگی در رشد گیاه، ممکن است تراکم برگساره کاهش یابد و گیاه بازتر و تعداد برگ‌های کمتری داشته باشد. در نهایت، با توجه به فاصله ژنتیکی بین ارقام، به‌نظر می‌رسد با انجام تلاقی در این ژنوتیپ‌ها، هتروزیس بیشتری را می‌توان به‌دست آورد و از نتایج برای تولید ارقام جدید و بهبود عملکرد در باغات استفاده نمود. استفاده از تنوع ژنتیکی و فنوتیپی و به‌کارگیری این ویژگی‌ها در برنامه‌های به‌نژادی می‌تواند به ارتقاء کیفیت و عملکرد توت‌فرنگی در کشور کمک شایانی نماید.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای ژنتیکی، تجزیه خوشه‌ای، محیط، وراثت پذیری

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria*× *ananassa* از تیره Rosaceae با ساختار ژنتیکی اکتاپلوئید ($2n = 8x = 56$) یکی از میوه‌های ریز است که به‌دلیل عطر دلپذیر و محتوای مغذی آن مصرف (Chen *et al.*, 2011) و به‌طور گسترده در سراسر جهان پرورش می‌یابد (Whitaker, 2011). مطالعات انجام شده بر میوه توت‌فرنگی در سال‌های اخیر نشان داده است که محتوای ویتامین ث، مواد معدنی، اسید فولیک و ترکیبات فنولیک میزان بالایی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. با در نظر گرفتن اثرات مثبت ترکیبات ثانویه بر سلامت انسان، امروزه مصرف‌کنندگان نه‌تنها با طعم محصولات بلکه با ترکیبات بهداشتی نیز سروکار دارند.

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

در این صورت مصرف توت‌فرنگی با محتوای غذایی بالا برای سلامتی اهمیت زیادی دارد. توسعه ژنوتیپ‌های توت‌فرنگی با توجه به صفات کمی و کیفی از جمله رشد، میزان مواد غذایی، طعم، اندازه، سفتی و ... از مهم‌ترین و اولویت‌دارترین موضوعات امروزی است (Saridas *et al.*, 2021). امروزه اکثر ارقام توت‌فرنگی موجود در کشور، وارداتی بوده و غالباً از نوع ارقام روزکوتاه می‌باشند، لذا دامنه برداشت محدودی دارند. با توجه به محدودیت‌های موجود، شناسایی، ارزیابی و به‌نژادی توت‌فرنگی در داخل کشور از اهمیت بالایی برخوردار است (Karami *et al.*, 2023). در حال حاضر، به‌دلیل پیشرفت‌های تکنولوژیکی در کشت توت‌فرنگی، از جمله معرفی ارقام روزخنثی و کشت محافظت شده، توت فرنگی تازه در طول سال در دسترس است (Folta & Barbey, 2019).

توت فرنگی از محصولات باغی زودبازده است که می‌تواند به‌صورت یک گیاه یکساله و یا در مدت زمان طولانی‌تری به‌صورت تجاری پرورش داده شود. کشت هیدروپونیک به‌دلیل مزایای فراوان آن به‌سرعت در حال توسعه است. وجود مزایایی مانند کنترل تغذیه گیاه، امکان افزایش تراکم کاشت، کاهش بروز بیماری‌ها و آفات و افزایش کمی و کیفی محصول نسبت به کشت خاکی، تولیدکنندگان باغی را به‌سمت استفاده از این روش سوق داده است (Afsharipoor & Roosta, 2010).

جهت ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف توت‌فرنگی، استفاده از نشانگرهای مورفولوژیکی که برای تمایز توده‌ها مفید هستند، توصیف کننده‌هایی برای توصیف و شناسایی ارقام توت‌فرنگی توسط اتحادیه بین‌المللی حفاظت از گونه‌های جدید گیاهان (UPOV, 1995) و هیئت بین‌المللی منابع ژنتیکی گیاهی ایجاد شد (Höfer *et al.*, 2012). برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌ها مهم‌ترین توصیف‌کننده‌های مورفولوژیکی برای شناسایی ارقام و گونه‌های وحشی توت‌فرنگی هستند. درکالیفرنیا بررسی برروی صفات ظاهری ارقام مختلف توت فرنگی انجام شده است که این ارقام را به دو دسته مدرن و سنتی تقسیم کردند. ارقام منتشر شده از سال ۱۹۶۶ —۱۹۴۵ و همچنین ارقام معرفی شده از سال ۲۰۰۴ -۱۹۹۳ در دانشگاه کالیفرنیا که از پایه‌گذاران برنامه اصلاح‌نژاد توت‌فرنگی محسوب می‌شود، مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر عملکرد میوه، اندازه میوه، شکل ظاهری تجاری میوه و استحکام میوه به‌طور متوسط در هردو سیستم باغبانی (مدرن و سنتی) برای ارقام مدرن ۱۴۰-۴۷ درصد بیشتر از رقم‌هایی منتشر شده از سال ۱۹۶۶ —۱۹۴۵ بود که بیشترین افزایش در عملکرد میوه مشاهده شد (Shaw & Larson, 2008). در پژوهشی ۱۳ ژنوتیپ توت‌فرنگی از لحاظ تنوع ژنتیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی معناداری بین صفات مورد بررسی بود. لذا ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV) و ژنوتیپی (GCV) برای عملکرد در هکتار و به‌دنبال آن عملکرد در بوته، میزان قند، تعداد گل و بوته بررسی گردید و نتایج نشان داد که وراثت‌پذیری بالا در قند غیرکاهنده (۹۹/۷٪) و به‌دنبال آن شروع میوه‌دهی (۹۸.۶٪)، عملکرد در بوته (۹۸/۶٪)، عملکرد در هکتار (۹۸/۶٪)، میانگین وزن حبه (۹۸.۴٪) تعداد گل در بوته (۹۸/۱٪)، مقدار میوه در بوته (۹۷/۹٪)، TSS (۹۷/۶٪)، اسیدیته قابل تیتراسیون (۹۷/۶٪)، روزهای سپری شده از کاشت تا برداشت (۹۶/۴٪) و محتوای آنتوسیانین (۹۵/۲٪) یافت شد (Singh *et al.*, 2018). با توجه به شرایط و وجود انواع توت‌فرنگی در کشور، این پژوهش با هدف بررسی تنوع ژنتیکی و شناسایی روابط ژنوتیپ‌ها و کلون‌های داخلی و خارجی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان مازندران از آبان ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ انجام شد. نشا ارقام خارجی از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان تهیه شدند. همچنین نشا اکوتیپ‌های محلی (اله چال بابل، محلی قائمشهر) براساس نتایج یک پژوهش منتشر نشده از شهرستان قائمشهر استان مازندران تهیه گردید. کاشت بوته‌های توت‌فرنگی به‌صورت گلدان حاوی بستر کوکوپیت و پرلیت انجام و مرحله مقایسه ارقام کلکسیون در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با بررسی تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی انجام شد.

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در بستر هیدروپونیک با ۲۳ تیمار (جدول ۱) شامل ارقام مادری در ۳ تکرار و ارقام دختری در ۴ تکرار به‌اجرا درآمد. عملیات آماده‌سازی بستر شامل کوکوپیت و پرلیت به‌نسبت ۷۰*۳۰ انجام گرفت. مراقبت‌های لازم شامل آبیاری منظم و تغذیه به‌صورت محلول‌دهی با استفاده از فرمول غذایی هوگلند انجام شد (Afsharipoor & Roosta, 2010) و اندازه‌گیری‌ها روی بوته‌های بارور طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ انجام شد. داده‌های کدی برای عادت رشد (کد ۳: ایستاده، کد ۵: نیمه‌ایستاده و کد ۷: روی زمین افتاده)، تراکم برگساره (کد ۳: پراکنده، کد ۵: متوسط، کد ۷: متراکم) و قدرت رشد (کد ۳: ضعیف، کد ۵: متوسط، کد ۷: قوی) براساس توصیفگر بین‌المللی (Höfer *et al.*, 2012) و طول برگ (سانتی‌متر)، عرض برگ (سانتی‌متر)، سطح برگ (سانتی‌متر مربع)، طول دمبرگ (سانتی‌متر)، تعداد برگ، تعداد گل تکی، تعداد گل آذین، تعداد گل در گل آذین، عملکرد تک بوته (گرم) و مواد جامد محلول میوه (بریکس) ثبت شد. مواد جامد محلول (TSS) به‌کمک رفرکتومتر دستی با ریختن چند قطره آب میوه بر روی لنز چشمی تعیین شد.

برای سنجش آنتوسیانین، یک میلی‌لیتر از عصاره میوه را در هاون چینی با ده میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) کاملا سائیده و عصاره در لوله‌های آزمایش سرپیچ‌دار ریخته شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در یخچال قرارگرفت. سپس به‌مدت پنج دقیقه در ۵۰۰۰ دور سانتریفوژ و جذب محلول در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. محاسبه غلظت با استفاده از فرمول $A=\varepsilon bc$ به‌دست آمد. که عدد خوانده شده تقسیم بر ۳۳۰۰۰ شده و عدد به‌دست آمده در ۱۰۰۰۰۰۰ ضرب می‌شود. عدد حاصل میزان آنتوسیانین (میلی‌گرم سیانیدین-۳-گلوکوزید اکی‌والان در لیتر آب میوه) است (Wagner, 1979).

ویتامین ث میوه با استفاده از تیوسولفات پتاسیم و پتاسیم یدید در محلول معرف نشاسته، به‌روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (Elgailani, 2017).

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

جدول ۱- مشخصات ۲۳ رقم توت‌فرنگی مورد بررسی در بستر هیدروپونیک

Table 1. Characteristics of 23 strawberries cultivar hydroponic cultivation

شماره دسترسی Accession number	مبدا Origin	والدین اصلاحی Breeding parents	فتوپریود Photoperiod	ژنوتیپ Genotype	شماره Number
254	Italy	Marmolada®Onebor × Irvine	SDP	پاروس Paros	1
FRA085	Italy	Miss. × USB 35	DNP	کویین الیزا Queen Elisa	2
ERB0243	USA	Cal 63.7-101 × Sequoia	SDP	پاجارو Pajaro	3
305	USA	Lassen × Cal 83.25-2	SDP	فرزنو Fresno	4
264	USA	A chance seedling in USA,1900	SDP	میشیونری Missionary	5
–	USA	Howard 17 × Missionary	SDP	تنسی بیوتی Tennessee Beauty	6
		–	DNP	دوچنیستا Duchnista	7
5130	USA	Cal 52.16-15 × Cal 51s 1–1	SDP	سکویا Sequoia	8
		–	SDP	ونتانا Ventana	9
5014	USA	Missionary × Howard 17	DNP	بلکمور Blackemore	10
84	USA	Douglas × Cal 72-361-105	SDP	چندلر Chandler	11
–	Turkey	Arnavutkoy × Aliso	SDP	یالووا Yalova	12
–	Unknown	Unknown	SDP	مک دونانس Macdonance	13
		–	SDP	کارسین برگ Karsynberg	14
6	USA	Douglas × Cal 85.218-605	SDP	کاماروسا Camarosa	15
219	USA	Cal 87.112-6 × Cal 88.270-1	SDP	گاویتا Gaviota	16
–	USA	CN27 (Ca75.34-105)	DNP	مارک Mrak	17
		–	DNP	ارومس Eromas	18
–	Russia	Victoria	SDP	کردستان Kurdistan	19
–	French	–	SDP	اتابکی Atabaki	20
–	Iran	–	SDP	گیلاسی Gilasi	21
–	Iran	Clone from Camarosa	SDP	اله چال بابل BabolAlechal,	22
–	Iran	Clone from Camarosa	SDP	محلی قائمشهر Qaemshahrmahali,ر	23

SDP: Short Day Plants DNP: Day Neutral Plants

مواد گیاهی مورد استفاده در بستر آبکشت

پس از ارزیابی، داده‌ها را در اکسل وارد نموده و با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه واریانس انجام شد. از نرم‌افزار SPSS 17 برای ارزیابی تنوع و همبستگی صفات، تجزیه به عامل‌ها استفاده شد. همچنین برای رسم تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار R استفاده گردید.

نتایج وبحث

نتیجه حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها برای ویژگی‌های مورفولوژیکی جدول ۲ و۳ نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر صفات زایشی (تعداد گل‌تکی، تعداد گل‌آذین، تعداد گل در گل‌آذین، عملکرد بوته، قند) و رویشی (طول برگ، عرض برگ، سطح برگ، تعداد برگ، طول دمبرگ) تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱درصد وجود داشت.

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رویشی ارقام ۲۳ گانه توت‌فرنگی در شرایط آبکشت فضای باز
Table 2. Analysis of variance of vegetative traits of 23 strawberry cultivars in open hydroponic

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول برگ Leaf length cm	عرض Leaf width cm	سطح برگ Leaf surface cm^2	تعداد برگ Number of leaves n	طول دمبرگ Petiole length cm
		میانگین مربعات Mean square				
ژنوتیپ Genotype	22	3.65**	12.00**	514.72**	53.18**	9.06**
خطا Error	46	0.25	0.77	14.52	7.84	1.12
ضریب تغییرات C.V		9.14	8.57	11.32	20.43	16.01

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱درصد
** Significance at the 1% probability level

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زایش ارقام ۲۳ گانه توت‌فرنگی در شرایط آب‌کشت فضای باز
Table 3. Analysis of variance of reproductive traits of 23 strawberry cultivars in open hydroponic cultivation

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گل تکی No. of Single flower n	تعداد گل آذین No. of Inflorescence n	تعداد گل در گل آذین No. of flower inflorescence n	عملکرد yield gr	قندمیوه TSS brix
		میانگین مربعات Mean square				
ژنوتیپ Genotype	22	20.83**	8.87**	6.08**	2525.35**	8.00**
خطا Error	46	1.44	1.23	0.61	121.09	2.53
ضریب تغییرات C.V		25.85	29.35	24.76	19.09	25.43

** معنی داری در سطح احتمال ۱درصد
**Significance at the 1% probability level

همبستگی صفات

نتایج حاصل از همبستگی ویژگی‌های مورفولوژیکی نشان داد (جدول ۴) عادت رشد بوته با طول برگ، عرض برگ، سطح برگ، طول دمبرگ، طول و عرض میوه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری می‌باشد. بررسی نتایج همبستگی صفت عادت رشد در سه حالت (ایستاده، نیمه‌ایستاده و خزنده) نشان داد که هرچه بوته ایستاده‌تر باشد با تأثیر مثبت بر رشد اجزا برگ منجر به بهبود طول و عرض حبه نیز می‌گردد. هرچند بنابر نتایج همبستگی افزایش تراکم برگساره و تعداد برگ بر عادت رشد بوته اثر منفی و معنی‌داری داشت. بنابراین هر چقدر رشد گیاه ایستاده‌تر باشد از تراکم برگساره کاسته شده و گیاه بازتر و تعداد برگ کمتر می‌شود.

قدرت رشد بوته با صفت تراکم برگساره و آنتوسیانین همبستگی مثبت معنادار و با طول میوه و وزن حبه همبستگی منفی و معناداری نشان داد. صفت تراکم برگساره علاوه بر قدرت رشد بوته با تعداد برگ، ویتامین ث همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت عادت رشد و دیگر صفات رشد برگ (طول برگ، عرض برگ، سطح برگ، طول دمبرگ) و حبه (طول و عرض میوه) دارای همبستگی منفی باشد. افزایش تراکم برگساره بوته در سه حالت (باز، نیمه‌باز، بسته)، منجر به افزایش تعداد برگ می‌شود و دیگر صفات تقویت کننده فتوسنتز بوته کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند دلیل کاهش ابعاد میوه و افزایش ویتامین ث باشد.

تعداد برگ با تراکم برگساره، تعداد گل آذین و ویتامین ث به‌ترتیب همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت در حالی‌که با عادت رشد، طول برگ، عرض برگ، سطح برگ، طول دمبرگ، طول میوه و عرض میوه به‌ترتیب همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. تعداد گل آذین با تعداد برگ و قند میوه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. تعداد گل در گل آذین با موقعیت گل آذین به برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار و با آنتوسیانین همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد. وزن حبه با عرض میوه همبستگی مثبت معنی‌داری نشان داد در حالی‌که طول میوه همبستگی منفی معنی‌دار با قند میوه داشت و اسید میوه با عملکرد بوته همبستگی مثبت معنی‌داری را نشان داد. آنتوسیانین با ویتامین ث همبستگی مثبت و معنی‌دار و با تعداد گل در گل آذین همبستگی منفی معنی‌دار داشت.

برگ‌ها و میوه‌ها از طریق فتوسنتز، منابع غذایی برای گیاه تأمین می‌کنند. برگ‌ها با افزایش طول، عرض و سطح، قدرت فتوسنتز بیشتری دارند و بیشترین مقدار نور را جذب می‌کنند. همچنین، میوه‌ها با افزایش طول و عرض، بیشترین مساحت برای فتوسنتز دارند و می‌توانند بیشترین مقدار قند و مواد مغذی را تولید کنند (Goudriaan & Van Laar, 2012). برگ‌ها و میوه‌ها نقش مهمی در جذب آب و مواد معدنی از خاک دارند. با افزایش طول دمبرگ و طول برگ، برگ‌ها بهتر می‌توانند به آب و مواد معدنی دسترسی پیدا کنند. همچنین، با افزایش طول و عرض میوه، سطح جذب آب و مواد معدنی افزایش می‌یابد. سطح برگ‌ها و میوه‌ها مستقیماً با محیط خارجی در تماس هستند و برای تبادل گازها نیاز به سطح بیشتری دارند. برگ‌ها با سطح بزرگتر و عرض بیشتر، توانایی تبادل گازها را افزایش می‌دهند و این باعث بهبود فرایند تنفس گیاه می‌شود (Jiang *et al.*, 2023). عادت رشد بوته ایستاده می‌تواند تاثیر مثبتی بر رشد اجزا برگ و میوه توت‌فرنگی داشته باشد. با افزایش طول و عرض برگ‌ها، میزان فعالیت فتوسنتزی و تولید انرژی در گیاه افزایش می‌یابد که می‌تواند به رشد و توسعه میوه کمک کند. همچنین، افزایش سطح برگی می‌تواند منجر به افزایش جذب مواد غذایی و آب توسط گیاه شود که در نتیجه بهبود رشد و

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

کیفیت میوه توت‌فرنگی را به‌همراه دارد (Saha *et al.*, 2022). رشد عمودی بوته توت‌فرنگی می‌تواند منجر به افزایش فاصله بین برگ‌ها شود. این فاصله بیشتر می‌تواند منجر به کاهش تراکم برگساری شود و در نتیجه گیاه بازتر و تعداد برگ کمتری داشته باشد. این نتایج نشان می‌دهند که رشد عمودی بوته توت‌فرنگی می‌تواند تأثیری منفی بر تراکم برگساری و تعداد برگ‌ها داشته باشد (Seyyedi *et al.*, 2010).

رشد عمودی گیاه توت‌فرنگی می‌تواند باعث کاهش طول و وزن میوه شود. این امر به‌دلیل کاهش تراکم برگساری و باز شدن گیاه است که منجر به کاهش طول میوه می‌شود (Dilmaghani & Hemmaty, 2011). از سوی دیگر، افزایش رشد گیاه می‌تواند باعث افزایش ارتفاع آن شود، اما این افزایش رشد ممکن است به کاهش عملکرد توت‌فرنگی منجر شود (Katel *et al.*, 2023). تراکم برگساره می‌تواند تأثیر مستقیمی بر رشد بوته داشته باشد. بوته توت‌فرنگی با افزایش تراکم برگساره، بهترین شرایط رشد را برای خود فراهم می‌کند و این از طریق افزایش قدرت رشد بوته فراهم می‌شود (Yang *et al.*, 2021). همچنین، تعداد برگ‌های بیشتر در توت‌فرنگی می‌تواند به‌میزان ویتامین ث و مقدار آنتوسیانین در میوه‌ها ارتباط مثبتی داشته باشد. برگ‌ها در فرایند فتوسنتز شرکت می‌کنند و از طریق افزایش فتوسنتز، ویتامین ث و آنتوسیانین تولید می‌شوند. بنابراین، با افزایش تعداد برگ‌ها و در نتیجه افزایش مقدار فتوسنتز و کلروفیل‌ها میزان ویتامین ث و آنتوسیانین در توت‌فرنگی نیز افزایش می‌یابد (Rahman *et al.*, 2019). تراکم برگساره در توت‌فرنگی می‌تواند باعث رقابت بین گیاهان، محدودیت منابع، تداخل بین برگ‌ها و میوه‌ها، و تأثیر تنش‌های فیزیکی شود که در نهایت منجر به کاهش صفات عادت رشد و صفات رشد برگ و میوه می‌شود؛ اگرچه این تنش‌های فیزیکی می‌تواند عاملی مؤثر در افزایش ویتامین ث باشد (Seyyedi *et al.*, 2010). به‌نظر می‌رسد با افزایش تعداد برگ سطوح کلروفیل افزایش یابد. از آنجایی‌که کلروفیل نقش مهمی در فتوسنتز دارد و با افزایش تعداد برگ‌ها و افزایش فعالیت فتوسنتزی، تولید قند و تعداد گل آذین‌ها افزایش می‌یابد (Nadali *et al.*, 2010).

طول برگ، عرض برگ، سطح برگ، طول دمبرگ، طول میوه و عرض میوه به‌ترتیب همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. این همبستگی منفی و معنی‌دار می‌تواند به‌دلیل عوامل زیستی و فیزیولوژیکی مرتبط با رشد و توسعه گیاه توت‌فرنگی باشد. برای مثال، افزایش تعداد برگ ممکن است به‌معنی رشد و توسعه بهتر گیاه باشد که منجر به کاهش طول و عرض برگ، سطح برگ و اندازه میوه می‌شود. همچنین، این همبستگی ممکن است نشان‌دهنده تنظیمات فیزیولوژیکی گیاه در پاسخ به شرایط محیطی مختلف باشد (Rafeipour *et al.*, 2019).

توت‌فرنگی‌ها معمولاً منابع محدودی مانند آب، مواد مغذی و انرژی را برای رشد و توسعه استفاده می‌کنند. هرچه تعداد گل‌ها بیشتر باشد، رقابت بیشتری بین گل‌ها برای استفاده از این منابع وجود خواهد داشت. این رقابت می‌تواند منجر به کاهش میزان آنتوسیانین میوه شود. همچنین، توزیع منابع بین گل‌ها نیز می‌تواند تأثیری بر روی میزان آنتوسیانین میوه داشته باشد. هرچه تعداد گل‌ها بیشتر باشد، منابع کمتری برای هر گل در دسترس خواهد بود و این می‌تواند منجر به کاهش میزان آنتوسیانین میوه شود. هورمون‌ها نقش مهمی در تنظیم رشد و توسعه گیاهان دارند. تعداد گل‌ها می‌تواند تأثیری بر تولید و توزیع هورمون‌ها در گیاه داشته باشد. این تنظیم هورمونی می‌تواند به تغییرات در میزان آنتوسیانین میوه منجر شود (Arab Tajandarreh *et al.*, 2015).

تجزیه به عامل‌ها

تجزیه به عامل‌ها توانست صفت کیفی و کمی مورد ارزیابی را به‌صورت چند عامل اصلی بیان کند. در این تجزیه هفت عامل اصلی و مستقل که مقادیر ویژه آن‌ها بیشتر از یک بودند، توانستند مجموعاً ۸۲/۵۸ درصد واریانس کل یا تغییرات بین صفات را توجیه کنند. میزان واریانس نسبی هر عامل نشان دهنده اهمیت آن عامل در واریانس کل صفات مورد بررسی است (جدول ۵) در بین فاکتورهای معنادار شده، فاکتورهای اول، دوم و سوم بیشترین سهم را به‌خود اختصاص دادند و در مجموع ۵۵/۵۷۱ درصد از کل واریانس را توجیه نمودند که نشان دهنده اهمیت صفات قرار گرفته در این سه مؤلفه در تفکیک ارقام می‌باشد.

در عامل اول صفات عادت رشد، قدرت رشد، طول برگ، عرض برگ، تعداد برگ مقادیر بالاتر از بقیه را دریافت نمودند و در مجموع ۳۱ درصد از واریانس کل را توجیه کردند. صفاتی که در مؤلفه اول قرارگرفتند مربوط به صفات رویشی بوته مادری بود.

در عامل دوم صفات تعداد گل تکی، تعداد گل آذین و تعداد گل در گل آذین مقادیر بالاتر از بقیه را دریافت نمودند که مقدار ۱۲ درصد از واریانس کل را توجیه کرد. این صفات (زایشی) بیشتر تحت تأثیر ژنوتیپ گیاه بودند.

عامل سوم که مربوط به موقعیت گل آذین و طول حبه بوده، ۱۱/۵ درصد واریانس نسبی را شامل شد.

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

جدول ۴- همبستگی صفات توت فرنگی

Table 4. Correlation of strawberry traits

	GrowthHabit	Foliardensity	Vigor	Leaflength	Leafwidth	LeafArea	Leafnum	PetioleLength	SingleflowerNum	InflorscenseNum	flowerinfl	inflorscen	berry5Len	berry5width	berryweight	Yiledplant	firmness	TSS	TA	anthocyanin	AscorbicAcid
GrowthHabit	1																				
Foliardensity	-.638**	1																			
Vigor	-0.181	.461*	1																		
Leaflength	.656**	-.707**	0.07	1																	
Leafwidth	.707**	-.684**	0.093	.976**	1																
LeafArea	.684**	-.709**	0.07	.981**	.992**	1															
Leafnum	-.582**	.654**	0.14	-.618**	-.640**	-.647**	1														
PetioleLength	.584**	-.724**	-0.256	.751**	.735**	.729**	-.553**	1													
SingleflowerNum	0.046	0.255	0.338	-0.233	-0.158	-0.174	0.017	-0.379	1												
InflorscenseNum	-0.12	0.282	0.035	-0.171	-0.162	-0.166	.495*	-0.096	-0.275	1											
flowerinfl	0.073	-0.308	-0.047	0.406	0.291	0.295	0	0.312	-0.302	-0.062	1										
inflorscen	-0.294	0.252	0.141	-0.197	-0.248	-0.265	0.165	-0.214	0.066	-0.13	0.14	1									
berry5Len	.471*	-.534*	-.477*	0.17	0.165	0.176	-0.335	0.267	0.255	-0.334	0.074	-0.142	1								
berry5width	.633**	-.498*	-0.187	.516*	.559**	.543**	-.493*	0.34	0.183	-0.304	0.08	-0.015	.679**	1							
berryweight	0.031	-0.363	-0.303	0.406	0.338	0.371	-0.185	0.348	-0.282	-0.356	0.261	-0.153	0.147	0.184	1						
Yiledplant	-0.035	0.161	0.233	0.139	0.169	0.168	0.244	0.064	0.154	0.209	-0.077	-0.058	-0.147	0.211	0.027	1					
firmness	0.047	0.042	-0.012	0.073	0.075	0.115	-0.155	-0.159	0.338	-0.263	-0.052	0.271	0.207	0.23	0.172	-0.045	1				
TSS	0.061	0.152	0.07	-0.033	0.05	0.003	0.071	-0.109	-0.091	0.406	-0.33	-0.075	-.470*	-0.21	-0.137	0.153	-0.321	1			
TA	-0.03	-0.068	0.375	0.224	0.302	0.287	-0.137	0.09	0.389	-0.133	-0.275	0.047	-0.092	0.202	0.218	0.36	0.081	0.139	1		
anthocyanin	-0.145	0.421	0.41	-0.285	-0.233	-0.214	0.026	-0.226	0.092	0.138	-.594**	0.135	-0.266	-0.231	-0.349	0.093	-0.176	0.349	0.053	1	
AscorbicAcid	-.522*	0.392	0.177	-.540*	-.532*	-.511*	.563*	-0.387	0.029	0.31	-0.16	0.283	-0.012	-0.296	-0.24	-0.038	-0.143	-0.108	-0.064	.614*	1

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

جدول ۵- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های مختلف فیزیولوژی و مورفولوژیکی ۲۳ ژنوتیپ توت‌فرنگی
Table 5. Principal component analysis for different physiological and morphological characteristics of 23 strawberry genotypes

	مؤلفه Component	1	2	3	4	5	6	7
	مقادیر ویژه Special quantities	6.596	2.656	2.418	1.909	1.662	1.085	1.018
	واریانس نسبی Relative variance (%)	31.412	12.64	11.513	9.089	7.915	5.166	4.846
	واریانس تجمعی Cumulative Variance (%)	31.412	44.05	55.571	64.66	72.576	77.741	82.58
		component						
1	عادت رشد Growth habit	**0.747**	0.239	0.366	0.247	-0.259	-0.134	-0.147
2	قدرت رشد Growth vigor	**0.957**	-0.016	-0.071	-0.112	0.145	0.043	-0.071
3	طول برگ Leaf length	**0.962**	-0.022	0.049	-0.108	0.153	-0.046	-0.054
4	عرض برگ Leaf width	**0.945**	-0.042	-0.05	-0.137	0.166	-0.029	-0.046
5	تراکم برگی foliar Density	**-0.746**	-0.38	0.059	0.22	0.202	0.079	0.188
6	تعداد برگ leaves Number	**0.79**	0.214	-0.267	0.016	0.012	-0.003	-0.159
7	طول دمبرگ Petiole length	0.07	**-0.838**	0.222	0.004	0.244	0.085	0.272
9	تعداد گل تکی Single flower Num	0.275	**0.627**	0.255	-0.296	-0.342	-0.011	-0.007
10	تعداد گل آذین Inflorescence Num	0.357	**0.675**	0.485	0.071	0.099	0.12	0.073
11	گل آذین inflorescence	0.095	**0.715**	-0.145	-0.278	0.334	-0.068	-0.083
12	موقعیت گل آذین Inflorescence position	-0.225	-0.138	**0.845**	-0.175	0.089	-0.18	-0.039
13	طول حبه Berry Length	0.069	0.071	**0.588**	-0.298	0.215	0.254	-0.009
14	عرض حبه Berry width	-0.161	-0.086	-0.187	**0.809**	0.192	-0.029	0.116
15	وزن حبه Berry weight	-0.106	-0.169	-0.117	**0.878**	-0.073	-0.151	0.076
16	سطح رگ Leaf area	-0.699	-0.162	-0.294	0.186	**0.419**	-0.038	0.137
17	عملکرد بوته Plant yield	-0.044	0.055	0.078	0.168	**0.862**	-0.028	0.051
18	سفتی firmness	0.25	-0.143	0.283	-0.148	**0.628**	-0.068	-0.11
19	اسیدیته قابل تیتر TA	0.092	0.002	-0.438	-0.09	-0.061	**0.692**	-0.439
20	آنتوسیانین anthocyanin	-0.152	-0.074	0.135	-0.117	-0.062	**0.909**	0.075
21	اسید آسکوربیک Ascorbic Acid	-0.088	-0.382	0.065	0.141	-0.06	-0.312	**0.761**
22	مواد جامد محلول TSS	-0.416	0.001	-0.133	0.1	0.019	0.174	**0.771**

تجزیه به عامل یک روش آماری است که برای تحلیل روابط پنهان بین متغیرها استفاده می‌شود. در کشاورزی و به‌ویژه در کشت توت‌فرنگی، تجزیه عامل می‌تواند کاربردهای متعددی داشته باشد. با تعیین عوامل مؤثر بر عملکرد و کیفیت محصول، می‌توان روش‌های بهینه کشت را تعیین کرد و بهبود عملکرد و کیفیت محصول را تغییر داد (Vultaggio *et al.*, 2023). همچنین می‌توان عوامل مؤثر بر عملکرد توت‌فرنگی را شناسایی کرده و با استفاده از این اطلاعات، عملکرد آینده را پیش‌بینی کرد (Sayğı, 2022). به‌طوری‌که در پژوهشی نتایج نشان داد عوامل دو و سه فاکتورهای زایشی بوده و تقویت این فاکتورها می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا برنامه‌ریزی مناسبی برای کشت توت فرنگی خود داشته باشند و بهره‌وری را افزایش دهند. هم‌چنین تجزیه عامل می‌تواند به بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت توت‌فرنگی کمک کند. این عوامل می‌توانند شامل میزان آنتی‌اکسیدان‌ها، میزان رنگ، میزان قند و سایر ویژگی‌های کیفیتی محصول باشند (Vultaggio *et al.*, 2023).

با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت بررسی و صفات رویشی و ویژگی‌های برگ توت‌فرنگی می‌تواند برای درک بهتر از رشد و عملکرد این گیاه مفید باشد. همچنین، این اطلاعات می‌تواند در انتخاب ارقام مناسب برای شرایط محیطی خاص هر منطقه کمک کند (Poling, 2012).

نتایج نشان داد می‌توان با انتخاب ژنوتیپ‌هایی که مقادیر بالاتری در عامل مورد نظر دارند، نسبت به انتخاب در جهت بهبود صفات موردنظر در توت‌فرنگی اقدام نمود. این انتخاب می‌تواند بهبود عملکرد گلدهی و در نهایت عملکرد محصول را به‌همراه داشته باشد. یا منجر به بهبود به صفات رویشی بوته گردد. براساس نتایج به‌دست آمده امکان تلاقی بین ژنوتیپ‌هایی که مقادیر بالاتری در عوامل اصلی رادارند نیز قابل بررسی است.

تجزیه به عامل توت‌فرنگی می‌تواند درک بهتری از الگوها و روابط بین ژنوتیپ‌ها را فراهم آورد تا در طراحی برنامه‌های بهبود و اصلاح توت‌فرنگی استفاده گردد (Shahmohammadi *et al.*, 2020). علاوه بر این نتایج

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

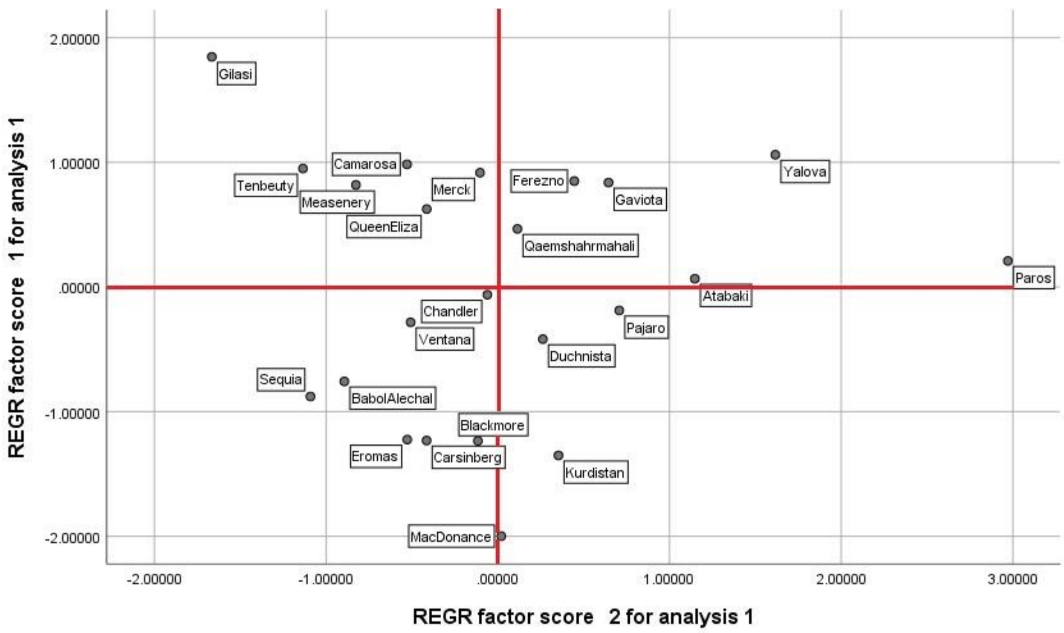
تجزیه به عامل می‌توانند در ارزیابی و انتخاب رقم‌های جدید و مقایسه با ارقام موجود نیز مفید باشد. با تحلیل و مقایسه ویژگی‌های موردنظر در رقم‌های مختلف، می‌توان رقم‌های با ویژگی‌های مطلوب را از بین ارقام موجود شناسایی و انتخاب نمود (Arab Tajandarreh *et al.*, 2015).

تجزیه دو بعدی

بنابر نتایج تجزیه بای‌پلات، ژنوتیپ ها و ارقام توت‌فرنگی مورد بررسی بر اساس دو عامل مرتبط با صفات رشد رویشی و زایشی در چهار بخش مجزا قابل تفکیک بودند. به‌طوری‌که رقم گیلاسی با داشتن بیشترین رشد رویشی از لحاظ زایشی بدترین جایگاه را بدست آورد. رقم پاروس که در بین توت‌فرنگی کاران به گاو پرشیر (هلشتاین) نیز معروف شده است بیشترین امتیاز مثبت را از لحاظ صفات زایشی کسب نمود. با این‌حال از لحاظ صفات رویشی در حد متوسط قرار گرفت.

رقم مک دونانس کمترین امتیاز از لحاظ صفات رشد رویشی را کسب نمود. در بین ارقام روز خنثی رقم کویین الیزا از جایگاه بهتری نسبت به بقیه برخوردار بود، هرچند این رقم به گرما و شرایط تنش‌زای پس از پایان فصل رشد در ساری حساس می‌باشد. رقم بلک مور نیز که ازجمله ارقام متحمل به تنش محسوب می‌شود (Sharma *et al.*, 2019) از لحاظ رشد رویشی و زایشی جزو ربع پایینی و منفی قرار گرفت. رقم کردستان از لحاظ رشد زایشی مثبت اما از لحاظ رشد رویشی منفی بود. در حالیکه رقم کاماروسا به‌عنوان رقم غالب استان مازندران در کنار ارقام مرک، تن بیوتی و میشنری و کویین الیزا از رشد رویشی مثبت و رشد زایشی منفی برخودار بودند که به‌خوبی با گلایه توت‌فرنگی کاران در زمینه خلا عملکردی آنها مطابقت دارد. با این‌حال کلون انتخابی از قائمشهر هم از لحاظ رشد رویشی و هم از لحاظ صفات رشد زایشی در ربع چهارم و بخش مثبت قرار گرفت.

تجزیه ژنوتیپ به کشاورزان و پژوهشگران امکان می‌دهد تا صفات مطلوبی که باعث بهبود عملکرد و کیفیت محصول می‌شوند را شناسایی کنند. بر این اساس می‌توان صفاتی مانند اندازه و وزن میوه، کیفیت میوه (مانند طعم و بافت) و مقاومت به بیماری‌ها را بررسی کرد و ارقامی که این صفات را بهبود می‌دهند، براساس مجموعه‌ای از صفات جمع شده در یک عامل اصلی انتخاب کرد. این تجزیه، دقت در انتخاب ارقام را افزایش می دهد. با شناخت دقیق تنوع ژنتیکی و ارتباط آن با صفات موردنظر، می‌توان ارقامی را با صفات مطلوب ترکیب کرد و ارقامی را که احتمال داشته باشند صفات غیرمطلوب را داشته باشند، حذف کرد (Cockerton *et al.*, 2021).



شکل ۱- تجزیه دو بعدی ۲۳ رقم توت‌فرنگی براساس صفات رشد رویشی زایشی

Figure 1. Biplot of 23 strawberries distributed for vegetative and reproductive traits

مقادیر حداقل، حداکثر، اجزای واریانس (فنوتیپی، ژنوتیپی)، میانگین، ضریب تغییرات (فنوتیپی و ژنوتیپی) و وراثت‌پذیری برای ویژگی‌های توت‌فرنگی جدول (۵) نشان داده شده است. وراثت‌پذیری معیاری است که نوع روش اصلاحی و قدرت وراثت هر ویژگی را برای گیاه مشخص می‌کند و در واقع بیان‌کننده سهم تغییرات ژنتیکی از تمام تغییرات بوجود آمده می‌باشد. انتخاب هر ویژگی به‌میزان تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی (فنوتیپی-ژنوتیپی) در بروز آن ویژگی بستگی دارد. وقتی سهم عوامل ژنتیکی ازعوامل محیطی بیشتر باشد، نقش آن در بروز فنوتیپ بیشتر است و اگر سهم عوامل محیطی بیشتر باشد انتخاب براساس آن ویژگی نتیجه بخش نخواهد بود (Yousefian Pajohande *et al.*, 2001). به‌طور سنتی، شناسایی ارقام توت‌فرنگی با بررسی تفاوت در ویژگی‌های مورفولوژیکی یا فیزیولوژیکی مانند پارامترهای برگ، گل، میوه و عادت گلدهی تعیین می‌شد (Singh *et al.*, 2018). با این‌حال، چنین روش‌هایی برای توت‌فرنگی کشت شده

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

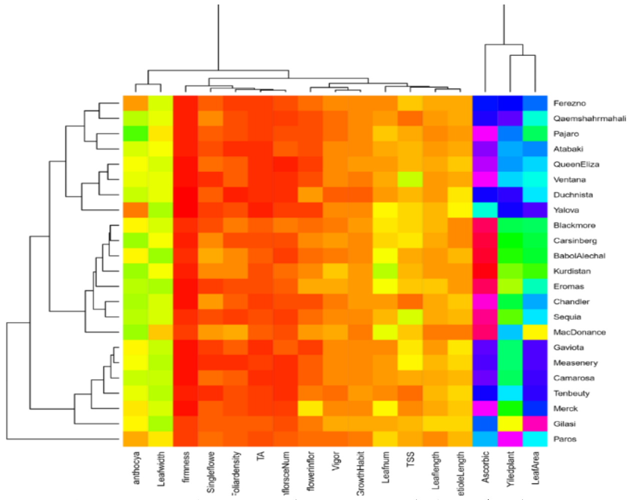
نامناسب هستند، زیرا تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی بین ارقام حداقل است. از بین۱۳ صفت دامنه وسیع و میانگین تنوع برای عملکرد بوته (۱۱۴/۷۵، ۱۲۶/۰۵ و ۱۲۱/۳۰)، سطح برگ (۲۹/۳۸، ۲۹/۶۴ و ۲۹/۴۷)، تعداد برگ (۱۴/۸۳، ۲۷/ و ۱۵)، تعداد گل تکی (۱۰/۶۹، ۹۸/ و ۱۰/۹۰)، عرض برگ (۱۰/۰۳، ۱۰/۱۲ و ۱۰/۰۵)، مواد جامد محلول میوه (۶/۸۱، ۷/۳۳ و ۷/۰۱)، طول دمبرگ (۶/۷۷، ۷/۱۳ و ۶/۹۱)، طول برگ (۵/۳۵، ۵/۵۵ و ۵/۴۳)، عادت رشد (۵، ۵، ۵)، قدرت رشد (۴/۴۰، ۴/۶۶ و ۴/۵۰)، تعداد گل آذین (۳/۸۷، ۴/۷۷ و ۴/۲۶)، تراکم برگساره (۳/۶۶، ۳/۸۸ و ۳/۸۲)، تعداد گل در گل آذین (۳، ۳/۲۲، ۳/۱۶) برآورد شد (جدول ۶). داده‌های ثبت شده در ۱۳صفت حاصل از آزمایش برای تجزیه و تحلیل واریانس از روش (Panse & Sukhatme, 1954) استفاده شد. ضرایب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی با فرمول پیشنهادی توسط (Burton & Devane, 1953) برای هر صفت برآورد شد. میزان تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی که در یک گونه وجود دارد بیشترین اهمیت را در اصلاح واریته‌های بهتر و شروع برنامه اصلاحی دارد (Singh *et al.*, 2018). ارزش ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی که در یک گونه وجود دارد، بیشترین اهمیت را در اصلاح واریته‌های بهتر و در آغاز برنامه اصلاحی دارد (Shaw & Larson, 2008) برآورد پارامترهای ژنتیکی برای همه صفات انجام شد. نتایج حاکی از برتری واریانس فنوتیپی نسبت به واریانس ژنوتیپی بود که نشان دهنده تأثیر محیط بر پارامترها می‌باشد. حداکثر PCV و GCV توسط عملکرد در بوته (۶۷/۲۵، ۶۵/۶۷) به‌دنبال آن سطح برگ (۳۹/۴۷، ۳۸/۹۲)، تعداد گل تکی (۲۰/۳۵، ۲۱/۶۶) و تعداد برگ (۲۰/۶۴، ۱۹/۲۱) (جدول ۶) مقادیر بالای PCV و GCV را نشان می‌دهد که انتخاب با در نظر گرفتن این صفات می‌تواند مؤثر باشد. صفات دیگر قدرت رشد (۵/۰۴، ۴/۶۲)، تراکم برگساره (۸/۳۸، ۷/۲۲)، عادت رشد (۶/۳۰، ۵/۹۷)، طول برگ (۸/۳۵، ۸/۰۷)، عرض برگ (۱۱/۰۵، ۱۰/۷۰)، مواد جامد محلول (۱۲/۴۴، ۱۰/۷۰)، طول دمبرگ (۱۲/۱۷، ۱۱/۴۵)، تعداد گل در گل آذین (۱۴/۳۳، ۱۳/۶۴) و تعداد گل آذین (۱۴/۳۳، ۱۳/۶۴) که کمترین مقدار برای PCV و GCV مربوط به صفات قدرت رشد (۵/۰۴، ۴/۶۲)، عادت رشد (۶/۳۰، ۵/۹۷) ، تراکم برگساره (۸/۳۸، ۷/۲۲) و طول برگ (۸/۳۵، ۸/۰۷) بود. در بین تمام صفات، مقادیر بالاتر PCV و GCV به‌ترتیب برای عملکرد دربوته و سپس سطح برگ، تعداد گل تکی، تعداد برگ مشاهده شد و زمینه را برای بهبود این صفات با انتخاب آن‌ها پیشنهاد کرد. تنوع ارثی برای بهبود ژنتیک دائمی سودمند است (Yousefian Pajohande *et al.*, 2001). نسبت تنوع ژنتیکی که از والدین به فرزندان منتقل می‌شود توسط وراثت منعکس می‌شود. مطالعه حاضر در مورد وراثت‌پذیری خصوصی صفات سطح برگ (۹۷/۳درصد)، عملکرد بوته (۹۵/۳۵ درصد)، تعداد گل در گل آذین (۹۰/۵۹ درصد)، عرض برگ (۹۳/۸۴ درصد)، طول برگ (۹۳/۴۴ درصد)، تعداد گل تکی (۹۳/۳۹ درصد)، عادت رشد (۸۹/۷۱ درصد)، طول دمبرگ (۸۸/۵۷ درصد)، تعداد گل آذین (۸۷/۳۰ درصد)، تعداد برگ (۸۶/۵۷ درصد)، قدرت رشد (۸۴/۰۷ درصد)، تراکم برگساره (۷۴/۰۸ درصد)، مواد جامد محلول (۷۳/۸۸ درصد) را نشان می‌دهد. برآوردهای بالایی از وراثت‌پذیری برای سطح برگ، عملکرد بوته، تعداد گل در گل آذین، عرض برگ، طول برگ و تعداد گل تکی مشاهده شد.

جدول ۶- تخمین پارامترهای ژنتیکی بوته‌های مادری ۱۳۹۹ و دختری ۱۴۰۰
Table 6. Estimation of genetic parameters of 2021 mother plants and 2021 daughter plants

وراثت‌پذیری خصوصی h^2 bs (%)	ضریب تغییرات ژنوتیپی GCV (%)	ضریب تغییرات فنوتیپی PCV (%)	واریانس ژنوتیپی $σ^2$ g	واریانس محیطی $σ^2$ p	دامنه Range ماکسیمم Max.	مینیمم Min.	میانگین ± استاندارد Mean ± S.E.	Paremeters Characters پارامترها
89.71	5.97	6.30	1.57	1.75	**5**	**5**	0 ± 5	عادت رشد (توصیفی) Growth habit(code)
74.08	7.22	8.38	1.48	2.00	3.88	3.66	3.82±0.03	تراکم برگساره (توصیفی) Density of foliar(code)
84.07	4.62	5.04	0.95	1.13	4.66	4.40	0.04 ± 4.50	قدرت رشد (توصیفی) vigor(code)
93.44	8.07	8.35	3.56	3.81	5.55	5.35	0.03 ± 5.43	طول برگ(سانتی متر) Leaf length(cm)
93.84	10.70	11.05	11.74	12.51	10.12	10.03	0.01 ± 10.05	(عرض برگ) سانتی‌متر Leaf width(cm)
97.23	38.92	39.47	509.88	524.4	29.64	29.38	0.04 ± 29.47	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area(cm^2)
86.57	19.21	20.64	50.56	58.40	15.27	14.83	15 ± 0.07	تعداد برگ Number of leaves
88.57	11.45	12.17	8.68	9.80	7.13	6.77	0.05 ± 6.91	طول دمبرگ (سانتی متر) Petiole length(cm)
93.39	20.93	21.66	20.35	21.79	10.98	10.69	0.05 ± 10.90	تعداد گل تکی No. of single flower
87.30	14.96	16.01	8.46	9.69	4.77	3.87	0.14 ± 4.26	تعداد گل آذین No. of Inflorescence
90.59	13.64	14.33	5.87	6.48	3.22	3	0.03 ± 3.16	تعداد گل در گل اذین No. of Flower inflorescence
95.35	65.67	67.25	2484.98	2606.07	126.05	114.75	121.30±1.89	عملکرد(گرم) yield(g)
73.88	10.70	12.44	7.15	9.68	7.33	6.81	7.01±0.08	مواد جامد محلول(بریکس) TSS(brix)

TSS: Total Soluble Solids

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]



شکل ۲- دندروگرام (به‌صورت نقشه حرارتی) حاصل از تجزیه خوشه‌ای و همبستگی صفات ۲۳ گانه توت‌فرنگی کشت هیدروپونیک
Figure 2. Dendrogram (in the form of heat map) resulting from cluster analysis and correlation of 23 traits of strawberry in hydroponic cultivation

طبقه‌بندی و ارتباط متقابل ژنوتیپ‌ها و ویژگی‌ها

بر اساس دندروگرام، صفات و ژنوتیپ‌ها به ۴ گروه طبقه‌بندی شدند (شکل۲). ارزش هریک از کلاسترها از لحاظ صفات اندازه‌گیری شده، با میانگین و انحراف معیار گروه‌ها محاسبه می‌شود، این انحراف نشان دهنده تنوع در ژنوتیپ‌های یک گروه می‌باشد. بنابراین ژنوتیپ‌های یک کلاستر قرابت ژنتیکی بیشتری نسبت به کلاستر متفاوت دارند. گروه اول شامل ارقام فرزنو، محلی قائمشهر، پاجارو، اتابکی، کویین الیزا، ونتانا، داچنیستا و یالووا می‌باشد. گروه دوم شامل بلک مور، کارسین برگ، اله چال بابل، کردستان، اروماس، چندلر، سکویا و مک دونانس می‌باشد. گروه سوم شامل گاویوتا، میشنری، کاماروسا، تن بیوتی، مرک و گیلاسی و گروه چهارم شامل پاروس می‌باشد. یکی از کاربردهای تجزیه کلاستر، تعیین فاصله ژنتیکی بین گروه‌ها است. در این آزمایش بیشترین فاصله ژنتیکی میان ژنوتیپ‌های فرزنو و پاروس به‌دست آمد. باتوجه به فاصله ژنتیکی بین آن‌ها با انجام تلاقی، هتروزیس بیشتری را می‌توان به‌دست آورد و از نتاج به‌عنوان مواد اولیه برای اصلاح ارقام جدید استفاده نمود. گروه‌بندی نمونه‌ها براساس تعداد زیادی ویژگی می‌تواند روشی مطمئن در تعیین شباهت‌ها و فواصل یا خویشاوندی و دوری ژنوتیپ‌ها باشد. تجزیه و طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها در توت فرنگی به‌واسطه تحلیل صفات و ویژگی‌های ژنتیکی می‌تواند به شکل‌بندی بهتر برنامه‌های به‌نژادی و انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای کشت در شرایط مختلف کمک کند. در این روش، ژنوتیپ‌ها براساس ویژگی‌های مشترک خود به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. این تجزیه و طبقه‌بندی می‌تواند به شناخت بهتر و تفسیر درست‌تر ویژگی‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی توت‌فرنگی کمک کند و در انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها برای تولید و بهبود عملکرد و کیفیت محصولات توت‌فرنگی مؤثر باشد (Barth *et al.*, 2022).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع تفاوت‌های بسیار معنی‌داری را برای تمام صفات مورد مطالعه مشاهده شد که نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی قابل‌توجه است. بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی مربوط به تعداد میوه در بوته، تعداد گل در بوته و عملکرد بود. بیشترین ضریب تنوع فنوتیپی هم به تعداد میوه دربوته، تعداد رانر و تعداد گل در بوته بود. بیش‌ترین درصد وراثت‌پذیری عمومی مربوط به تعدادگل در بوته، تعداد میوه در بوته و عملکرد بود و کمترین مقدار وراثت‌پذیری به تعداد رانر و سطح برگ اختصاص یافت. مقادیر ارزیابی شده برای ویژگی‌های توت‌فرنگی نشان داد که واریانس فنوتیپی بیشتر از واریانس ژنوتیپی است که نشان دهنده تأثیر محیط می‌باشد. حداکثر PCV و GCV به عملکرد در بوته (۶۷/۲۵، ۶۵/۶۷) به‌دنبال آن سطح برگ (۴۷/، ۳۸/۹۲)، تعداد گل تکی (۲۰/۳۵، ۲۱/۶۶) و تعداد برگ (۲۰/۶۴، ۱۹/۲۱) اختصاص داده شد. مقادیر بالای PCV و GCV را نشان می‌دهد که انتخاب با در نظر گرفتن این صفات می‌تواند مؤثر باشد. در حالی‌که وراثت‌پذیری بالا در صفات سطح برگ (۹۷/۳ درصد)، عملکرد بوته (۹۵/۳۵ درصد)، تعداد گل در گل آذین (۹۰/۵۹ درصد)، عرض برگ (۹۳/۸۴ درصد)، طول برگ (۹۳/۴۴ درصد)، تعداد گل تکی (۹۳/۳۹ درصد)، عادت رشد (۸۹/۷۱ درصد)، طول دمبرگ (۸۸/۵۷ درصد)، تعداد گل آذین (۸۷/۳۰ درصد)، تعداد برگ (۸۶/۵۷ درصد)، قدرت رشد (۸۴/۰۷ درصد)، تراکم برگساره (۷۴/۰۸ درصد) و قند (۷۳/۸۸ درصد) مشاهده شد. در مجموع برآوردهای بالایی از وراثت‌پذیری برای سطح برگ، عملکرد بوته ، تعداد گل در گل آذین، عرض برگ، طول برگ و تعداد گل تکی مشاهده شد. همچنین باتوجه به فاصله ژنتیکی بین ارقام، به‌نظر می‌رسد با انجام تلاقی، هتروزیس بیشتری را می‌توان به‌دست آورد و از نتاج به‌عنوان مواد اولیه برای اصلاح ارقام جدید استفاده نمود. گروه‌بندی نمونه‌ها براساس تعداد زیاد ویژگی می‌تواند روشی مطمئن در تعیین شباهت‌ها و فواصل یا خویشاوندی و دوری ژنوتیپ‌ها باشد.

تشکرو قدردانی

با تشکر از خانواده عابدی بابت همکاری در انجام این پژوهش در ایام شیوع کرونا.

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

References

Afsharipoor, S., & Roosta, H. (2010). Effect of different planting beds on growth and development of strawberry in hydroponic and aquaponic cultivation systems. *Plant Ecop*, 2, 61-66. [In Persian]

Arab Tajandarreh, E., Rezaei Nejad, A., Ismaili, A., Karami, F., & Gharaghani, A. (2015). Study of Correlation and Path Coefficient Analysis of Physiological and Phenological Characteristics and Clustering of Strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) Genotypes. *Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, *1*(1), 39-50.

Barth, E., de Resende, J. T. V., Mariguele, K. H., de Resende, M. D. V., da Silva, A. L. B. R., & Ru, S. (2022). Multivariate analysis methods improve the selection of strawberry genotypes with low cold requirement. *Scientific Reports*, *12*(1), 11458.

Burton, G. W., & Devane, d. E. (1953). Estimating heritability in tall fescue (Festuca arundinacea) from replicated clonal material 1. *Agronomy Journal*, *45*(10), 478-481. https://doi.org/10.2134/agronj1953.00021962004500100005x

Chen, J. Y., Liu, D. J., Jiang, Y. M., Zhao, M. L., Shan, W., Kuang, J. F., & Lu, W. J. (2011). Molecular characterization of a strawberry FaASR gene in relation to fruit ripening. *PloS One*, *6*(9), e24649. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024649

Cockerton, H. M., Karlström, A., Johnson, A. W., Li, B., Stavridou, E., Hopson, K. J., ... & Harrison, R. J. (2021). Genomic informed breeding strategies for strawberry yield and fruit quality traits. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 724847.

Dilmaghani, M. R., & Hemmaty, S. (2011). Effect of different substrates on nutrients content, yield and quality of strawberry cv. Selva in soilless culture. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *2*(3), 1-8.

Elgailani, I. E. H., Elkareem, M. A. M. G., Noh, E., Adam, O., & Alghamdi, A. (2017). Comparison of two methods for the determination of vitamin C (ascorbic acid) in some fruits. *American Journal of Chemistry*, *2*(1), 1-7.

Folta, K. M., & Barbey, C. R. (2019). The strawberry genome: a complicated past and promising future. *Horticulture Research*, *6*. https://doi.org/10.1038/s41438-019-0181-z

Goudriaan, J., & Van Laar, H. H. (2012). *Modelling potential crop growth processes: textbook with exercises* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.

Höfer, M., Drewes-Alwarez, R., Scheewe, P., & Olbricht, K. (2012). Morphological evaluation of 108 strawberry cultivars–and consequences for the use of descriptors. *Journal of Berry Research*, *2*(4), 191-206. doi.org/10.3233/JBR-2012-042

Jiang, Y., Lei, P., Ma, L., Dong, K., Zhang, Y., Zhao, J., ... & Meng, F. (2023). Effects of bleeding of Actinidia arguta (Sieb. & Zucc) Planch. ex miq. on its plant growth, physiological characteristics and fruit quality. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 531.

Karami, F., Sarseifee, M., Choupani, S., Moradi, K., & Avestan, S. (2023). *Crossing of Strawberry (Fragaria x ananassa) Cultivars and Selection of Promising Hybrids.* 13th Iranian Horticultural Science Congress, gorgan, Iran. [In Persian]

Katel, S., Mandal, H. R., Timsina, S., Katuwal, A., Sah, S. K., Yadav, B., ... & Adhikari, N. (2023). Assessing the impact of varied nitrogen dosages on the vegetative and reproductive parameters of 'Sweet Sensation'and 'Rubygem'strawberry in Morang, Nepal. *Heliyon*, *9*(5).

Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., Nasri, M., & Pazooki, A. (2010). Effects of Methanol Application on Sugar Beet (Beta vulgaris) Relative Water Content, Chlorophyll Content and Chlorophyll Fluorescence Parameters under Drought Stress Conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(4), 731-740.

Panse, V. G., & Sukhatme, P. V. (1954). Statistical methods for agricultural workers.

Poling, E. B. (2012). Strawberry plant structure and growth habit. *New York State Berry Growers Association, Berry EXPO*.

Rafeipour, M., Gholami, M., & Sarikhani, H. (2019). The effect of water deficits on some morphological and physiological characteristics of three varieties of strawberry. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *31*(4), 822-837.

Rahman, M., Rahman, M., & Islam, T. (2019). Improving yield and antioxidant properties of strawberries by utilizing microbes and natural products. *Strawberry: Pre-and Post-Harvest Management Techniques for Higher Fruit Quality*.

Saha, K. K., Tsoulias, N., Weltzien, C., & Zude-Sasse, M. (2022). Estimation of vegetative growth in strawberry plants using mobile LiDAR laser scanner. *Horticulturae*, *8*(2), 90.

Saridas, M. A., Simsek, O., Donmez, D., Kacar, Y. A., & Kargi, S. P. (2021). Genetic diversity and fruit characteristics of new superior hybrid strawberry (*Fragaria× ananassa* Duchesne ex Rozier) genotypes. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *68*(2), 741-758. https://doi.org/10.1007/s10722-020-01020-4

Sayğı, H. (2022). Effects of organic fertilizer application on strawberry (*Fragaria vesca* L.) cultivation. *Agronomy*, *12*(5), 1233.

Seyyedi, A., Ebadi, A., Babalar, M., & Saedi, B. (2010). Effect of plant density on yield and fruit quality of strawberry (Fragaria ananassa) in soilless vertical system. Journal Of Horticultural Science, 24(1), 1-6.

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]

Shahmohammadi, M., Arminian, A., MohammadKhani, A., & Azizian, A. (2020). Evaluating the quantitative and qualitative characteristics of some strawberry genotypes using PLS-PM approach. *Journal of Plant Production Research*, *27*(1), 243-262.

Sharma, R. M., Yamdagni, R., Dubey, A. K., & Pandey, V. (2019). *Strawberries: production, postharvest management and protection*. CRC Press.

Shaw, D. V., & Larson, K. D. (2008). Performance of early-generation and modern strawberry cultivars from the University of California breeding programme in growing systems simulating traditional and modern horticulture. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *83*(5), 648-652. https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512437

Singh, G., Kachwaya, D. S., Kumar, R., Vikas, G., & Singh, L. (2018). Genetic variability and association analysis in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch). *Electronic Journal of Plant Breeding*, *9*(1), 169-182. doi.org/10.5958/0975-928X.2018.00021.2

UPOV. (1995). Guidelines for the conduct of test for distinctness, uniformity and stability—Strawberry (*Fragaria* L.). UPOV publication TG/22/9.

Vultaggio, L., Sabatino, L., Rouphael, Y., De Pasquale, C., La Bella, S., & Consentino, B. B. (2023). Configuration of Strawberry Yield, Nutritional and Functional Traits in Response to LPE Application in a Two-Year Study. *Agronomy*, *13*(5), 1266.

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, *64*(1), 88-93.

Whitaker, V. M. (2011). Applications of molecular markers in strawberry. *Journal of Berry Research*, *1*(3), 115-127. doi.org/10.3233/BR-2011-013

Yang, X., Chen, L. S., & Cheng, L. (2021). Leaf photosynthesis and carbon metabolism adapt to crop load in 'Gala'apple trees. *Horticulturae*, *7*(3), 47.

Yousefian Pajohande, M., Abbasi Farpjohande, A., & Bashtani Pajohande, E. (2001). *The final report of checking the compatibility of garlic stands and determining the most suitable planting date in the main production areas* (Agricultural research, education and extension organization). https://civilica.com/doc/1075324 [In Persian]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.11]