



Investigation of the vegetative and reproductive characteristics of 'Cara Cara' sweet orange on some trifoliate rootstocks in the north of Iran

Negin Akhlaghi Amiri¹  and Ali Asadi Kangarshahi² 

1. Correspondence Author, Department of Horticulture Crops Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran. E-mail: n.akhlaghi@areeo.ac.ir
2. Department of Soil and Water Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran. E-mail: a.asadi@areeo.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Orange varieties in Iran account for the highest citrus crop production. Due to increasing biotic and abiotic stresses, different cultivars and rootstocks should be evaluated under the conditions of the region. Therefore, the quantitative and qualitative yield and harvest timing of 'Cara Cara' navel orange on three trifoliate rootstocks in the east of Mazandaran province were investigated during seven years. In the last year (2020), the highest morphological compatibility between scion and rootstock was observed on the 'Carrizo' citrange (0.76) and the lowest on the 'Swingle' citrumelo (0.62). Trees on 'Swingle' citrumelo rootstock had the highest volume (5.4 m³) and those on 'Carrizo' citrange had the lowest (4.2 m³). The highest average yield from the fourth to seventh years was recorded on 'Swingle' citrumelo and the lowest on 'C-35' citrange (10.7 and 8.7 tons/ha, respectively). The highest yield efficiency belonged to trees on 'Carrizo' citrange with 4 kg/m³. The appropriate time for harvesting this cultivar in the north of Iran is the third week of November, when the harvest index is close to 7.8, the average fruit weight is 280 g, peel thickness is 3.5 mm, fruit extract is 44%, and peel color is pale orange. According to the results, for the optimal use of the land and increasing the total yield in the north of Iran, in new orchards of 'Cara Cara' orange on trifoliate rootstocks, it is possible to use 800-1000 trees per hectare by training the trees in the first four years and annual pruning in late winter.
Article history: Received: 30 October 2024 Received in revised form: 26 May 2025 Accepted: 12 July 2025 Published online: Autumn 2025	
Keywords: 'Swingle' citrumelo; 'C-35' citrange; 'Carrizo' citrange; dense planting; harvest time.	
Cite this article: Akhlaghi Amiri, N. & Asadi Kangarshahi, A. (2025). Investigation of the vegetative and reproductive characteristics of 'Cara Cara' sweet orange on some trifoliate rootstocks in the north of Iran. <i>Iranian Journal of Horticultural Science</i> , 56 (3), 423-441. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.384382.2223	
	
© The Author(s). DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.384382.2223	Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Iran, with 288 thousand hectares of citrus-cultivated area, 5.5 million tons annual production and a yield of 20 tons per hectare, in 2022 ranks sixth, seventh, and fifth in the world, respectively. Mazandaran Province (the most important region for citrus production in Iran) supplies close to 70 percent of the country's oranges, more than 70 percent of which are the 'Thomson navel' variety on sour orange rootstock. Therefore, it is very important to evaluate new cultivars and suitable rootstocks to replace them, if necessary. In the present study, the effects of 'Swingle' citrumelo, 'Carrizo' citrange and 'C-35' citrange rootstocks on vegetative growth, quantitative and qualitative yield, and harvest time of the 'Cara Cara' navel orange were investigated in the eastern region of Mazandaran over seven years.

Materials and Methods

This research was performed in a completely randomized block design using 'Cara Cara' sweet orange as scion cultivar on three rootstocks, with six replications and a 5×3 m planting distance during 2013-2020. After planting in the main field, the young trees were trained for four years and then pruned annually in winter. Plant responses included tree volume, rootstock and scion morphological compatibility (affinity), amount and efficiency of yield, fruit characteristics at different times, appropriate time for harvesting, and theoretical space requirements of the trees for better land utilization.

Results and Discussion

According to the results of the seven-year trials, 'Cara Cara' orange revealed pink flesh and orange peel on all rootstocks. The trees showed alternate bearing cycles in different years. This variety showed the highest tree volume and yield on 'Swingle' citrumelo rootstock and the highest yield efficiency on 'Carrizo' citrange rootstock. Taking into account the quantitative and qualitative indicators of the fruits, the appropriate time to start harvesting 'Cara Cara' oranges in the east of Mazandaran is the third week of November, when the average harvest index is 7.8, fruit weight is 280 g, peel thickness is 3.5 mm, the amount of fruit extract is about 44%, and the color of the peel is pale orange. The process of increasing the harvest index and fruit weight and changing peel color continues until mid-December. A delay in harvesting causes an increase in rotting and fruit drop before harvesting, a decrease in tree reserves, and as a result, a decrease in flowering and yield in the next year, as well as an increase in the sensitivity of the fruit and tree to the occurrence of cold and possible frosts.

Conclusion

In the present study, after seven years of planting in the main field, based on the height and diameter of the trees and considering 2.5 meters of empty space between the rows of trees, the theoretical space required by the most vigorous rootstock, 'Swingle' citrumelo, was 7.3 m² in the seventh year, which, if the slow increase in width and volume of the trees in the following years is also considered, the space required for planting 'Cara Cara' trees would be much less than the usual spacing for planting an orchard in Mazandaran province. By training and pruning young trees and annual winter pruning, semi-dense planting with 3×4 m spacing and even less is possible to make better use of the land in this region.

Author Contributions

All authors contributed equally to the development of this manuscript from the initial draft to the final submitted version, including all subsequent revisions.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

This research was supported by grants from Horticultural Science Research Institute (HSRI) Projects No. 2-17-17-92102 and No. 0-60-33-043-970369

Ethical considerations

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

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



ارزیابی صفات رویشی و زایشی پرتقال 'کاراکارا' روی برخی پایه‌های سه‌برگه‌ای در شمال ایران

نگین اخلاقی امیری^۱ و علی اسدی کنگرشاهی^۲

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ساری، ایران. رایانامه: n.akhlaghi@areeo.ac.ir

۲. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری،

ایران. رایانامه: a.asadi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱ تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۴ کلیدواژه‌ها: 'سوینگل' سیتروملو؛ سیترنج 'C-35'؛ 'کاریزو' سیترنج؛ کاشت متراکم؛ زمان برداشت.	ارقام پرتقال در ایران بالاترین محصول مرکبات کشور را به خود اختصاص داده‌اند. به دلیل افزایش تنش‌های زیستی و غیر زیستی، برای پایدار ماندن این محصول بررسی ارقام و پایه‌های متنوع در شرایط منطقه ضروری است. از این‌رو، عملکرد کمی و کیفی و زمان برداشت پرتقال 'کاراکارا' روی سه پایه سه-برگه‌ای در شرق مازندران طی هفت سال از زمان کاشت (۱۳۹۲) بررسی شد. در سال پایانی پژوهش (۱۳۹۹)، بیشترین سازگاری مورفولوژیکی بین رقم و پایه روی پایه 'کاریزو' سیترنج (۰/۷۶) و کمترین روی پایه 'سوینگل' سیتروملو (۰/۶۲) مشاهده شد. بیشترین حجم درخت روی پایه 'سوینگل' سیتروملو (۵/۴ متر مکعب) و کمترین حجم روی پایه 'کاریزو' سیترنج (۴/۲ متر مکعب) ثبت شد. بیشترین متوسط عملکرد از سال چهارم تا هفتم روی پایه 'سوینگل' سیتروملو به میزان ۱۰/۷، کمترین روی پایه سیترنج 'C-35' با ۸/۷ تن در هکتار و بیشترین کارایی عملکرد روی پایه 'کاریزو' سیترنج با چهار کیلوگرم بر مترمکعب تولید شد. زمان مناسب شروع برداشت این رقم در شرق مازندران هفته پایانی آبان ماه است که در این زمان به‌طور متوسط شاخص برداشت ۷/۸، وزن میوه ۲۸۰ گرم، ضخامت پوست میوه ۳/۵ میلی‌متر، میزان عصاره میوه ۴۴ درصد و رنگ پوست میوه نارنجی کم‌رنگ است. برای احداث باغ‌های پرتقال 'کاراکارا' روی پایه‌های سه‌برگه‌ای در مازندران و به‌منظور استفاده بهینه از زمین و افزایش عملکرد کل، می‌توان با انجام هرس فرم‌دهی در چهار سال اول و سپس هرس سالانه در اواخر زمستان، از بیش از ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ اصله درخت در هکتار استفاده کرد.

استناد: اخلاقی امیری، نگین و اسدی کنگرشاهی، علی (۱۴۰۴). ارزیابی صفات رویشی و زایشی پرتقال کاراکارا روی برخی پایه‌های سه‌برگه‌ای در شمال ایران، ۵۶ (۳)،

۴۴۱-۴۲۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.384382.2223>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.384382.2223>

مقدمه

مرکبات یکی از مهم‌ترین و پر مصرف‌ترین میوه‌ها در سراسر جهان است. طبق آمار موجود، در سال زراعی ۲۰۲۲-۲۰۲۱ میلادی، سطح زیر کاشت مرکبات در دنیا ۱۰ میلیون هکتار، میزان تولید ۱۵۸/۵ میلیون تن و میزان تولید پرتقال ۷۶ میلیون تن بوده است (Citrus World Statistics, 2022). مرکبات در کشور ایران با سطح زیر کاشت ۲۸۸ هزار هکتار، تولید ۵/۵ میلیون تن و متوسط عملکرد ۲۰ تن در هکتار به ترتیب مقام‌های ششم، هفتم و پنجم جهان را دارا می‌باشد. ارقام پرتقال با حدود ۳/۳ میلیون تن بالاترین محصول مرکبات کشور را به خود اختصاص داده‌اند. پنج استان، مازندران با ۶۹/۹٪، فارس با ۹/۲٪، کرمان با ۷/۷٪، گیلان با ۶/۷٪ و گلستان با ۲/۲٪ حدود ۹۵/۷ درصد از کل تولید پرتقال کشور را تامین نموده‌اند (Agricultural Statistics, 2022).

باغداری مرکبات در مازندران به‌ویژه در شرق این استان اهمیت زیادی دارد و برای تولید پایدار این محصول، استفاده از ارقام و پایه‌های متنوع و بررسی آن‌ها در شرایط هر منطقه ضروری می‌باشد. ارقام مختلف با شکل ظاهری، طعم و زمان برداشت متفاوت علاوه بر این که سلیقه مصرف کنندگان متفاوت را تامین می‌کنند به تولیدکنندگان این امکان را می‌دهند که برای فروش محصول خود از زمان کافی برخوردار باشند. از طرف دیگر، استفاده از پایه‌های محدود و یکسان در هر منطقه، آسیب‌پذیری به انواع تنش‌ها را افزایش می‌دهد. حدود ۷۰ درصد از محصول پرتقال مازندران به رقم تامسون ناول اختصاص دارد که در بیشتر موارد پایه مورد استفاده، نارنج می‌باشد؛ بنابراین ارزیابی ارقام جدید و پایه‌های مناسب جایگزین نارنج اهمیت زیادی دارد (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2018). در پژوهش حاضر، تاثیر سه پایه دورگ سه‌برگچه‌ای مهم و در حال توسعه مرکبات شامل سوینگل سیتروملو^۱، کاریزو سیترنج^۲ و سیترنج C-35^۳ بر رشد رویشی، عملکرد کمی و کیفی و زمان برداشت رقم پرتقال ناول کاراکارا^۴ که به تازگی وارد ایران شده است طی هفت سال در منطقه شرق مازندران بررسی شده است.

پیشینه پژوهش

استفاده از سیستم پایه و پیوند در باغداری مدرن اجتناب ناپذیر است زیرا سبب کاهش دوره نونهالی، کاهش رشد رویشی درخت و افزایش یکنواختی و پایداری باغ در مقایسه با استفاده از درختان بذری می‌شود. پایه‌ها، هر یک دارای خصوصیات ویژه‌ای هستند که بر صفات مختلف باغبانی از جمله میزان تحمل به بیماری‌ها و شرایط خاص خاک و اقلیم تاثیر گذارند و بر سودمندی باغ تاثیر بسزایی دارند. در میوه‌هایی که به‌صورت تازه‌خوری مصرف می‌شوند، اندازه میوه، میزان عصاره و نسبت TSS/TA از اهمیت بیشتری برخوردار است. گزارش شده است که پایه‌ها به طور قابل توجهی بر بسیاری از ویژگی‌های میوه از جمله ضخامت پوست میوه، مواد جامد محلول، شاخص برداشت، شاخص رنگ‌پذیری و همچنین بر میزان عملکرد تاثیر متفاوت و معناداری می‌گذارند (Martinez-Cuenca et al., 2016). پایه‌های مرکبات بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو مرکبات از جمله ویژگی‌های رشدی درخت و نیز تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده تاثیر می‌گذارند. به عنوان مثال میزان تحمل پایه‌های مختلف به تنش سرما که مهم‌ترین محدودیت اقلیمی کاشت مرکبات می‌باشد، با هم متفاوت است. پونسیروس و دورگ‌های آن از جمله سیتروملوها و سیترنج‌ها، نسبت به تنش سرما متحمل‌تر از پایه نارنج هستند. همچنین تحقیقات انجام شده در دنیا نشان داده است که پایه‌های مرکبات در شرایط مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک، پاسخ‌های متفاوتی نشان می‌دهند (Hayat et al., 2022). بنابراین برای داشتن یک سیستم تولید ایده‌آل، لازم است در انتخاب پایه و رقم مناسب با شرایط اکولوژیک هر منطقه، دقت کافی به خرج داد (Morales et al., 2021).

1 - Swingle citrumelo

2 - Garizo citrange

3 - C-35 citrange

4 - Citrus sinensis cv Cara cara

پایه نارنج سال‌های طولانی به عنوان پایه تجاری مرکبات در ایران و جهان استفاده می‌شد ولی در سال‌های اخیر استفاده از این پایه نسبت به دیگر پایه‌های مرکبات به خاطر شیوع گسترده ویروس تریتزا و حساسیت پایه نارنج به آن و همچنین حساسیت بالای این پایه به آب ماندگی در خاک (مانداب) محدود شده است (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2018). بنابراین پژوهش‌های متعددی در سراسر جهان در مورد پایه‌های دیگر مرکبات که سازگار با رقم پیوندک و متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه باشند انجام شده یا در حال انجام است.

پایه کاریزو سیترنج، دو رگ پرتقال واشنگتن ناول^۱ و پونسیروس تری فولیت^۲ است که در کشورهای مهم تولید کننده مرکبات از جمله اسپانیا، آفریقای جنوبی، استرالیا، کالیفرنیا و ایتالیا بسیار استفاده می‌شود (Morales et al., 2021). این پایه متحمل به ویروس تریتزای مرکبات است و عملکرد و کیفیت میوه روی این پایه بسیار خوب گزارش شده است (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2022a). بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه کاریزو سیترنج در خاک‌های آهکی میانه و شرق مازندران نشان داد که بافت خاک و مقدار آهک خاک در تحمل این پایه به خاک‌های آهکی بیشترین تاثیر را داشت طوری که در خاک با بافت سنگین و متوسط و آهک کل بیشتر از ۱۴ درصد علایم شدید زرد برگی و کاهش رشد نشان داد اما در خاک‌های با بافت سبک و آهک کل ۴۰ درصد، علایم کلروز ظاهر نشد یا بسیار خفیف بود (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2022).

پایه سونینگل سیتروملو دو رگ گریپ فروت دانکن^۳ و پونسیروس تری فولیت است که از اواخر دهه ۱۹۸۰ به دلیل مقاومت به ویروس تریتزای مرکبات، عملکرد بالا و کیفیت خوب رقم پیوند شده روی آن، در فلوریدا رایج شد. این پایه در pH بالا به خصوص در خاک‌های با رطوبت بالا و یا میزان رس زیاد نزدیک سطح خاک به تدریج دچار زوال می‌شود. سونینگل سیتروملو تحمل به خشکی متوسط و تحمل به سرمای بالایی دارد و در خاک‌های با آهک زیاد، کلروز نشان می‌دهد. در خاک‌های با رس بیشتر از ۳۰-۲۵ درصد، رشد ریشه محدود می‌شود. سیتروملو برای خاک‌های سنگین رسی با آبیاری بیش از حد، نامناسب است (Louzada et al., 2008). واکنش تغذیه‌ای نارنگی انشو روی پایه سونینگل سیتروملو در خاک‌های آهکی شرق مازندران بررسی و گزارش شد که این پایه در خاک‌های با آهک کل بیشتر از ۱۴ درصد و آهک فعال بیشتر از پنج درصد به دلیل رسوب آهن در آپوپلاست سلول‌های برگ و ریشه و کاهش راندمان فیزیولوژیکی آن قابل توصیه نیست (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2023). روند رشد و برخی ویژگی‌های زایشی نارنگی انشو میاگاوا روی پایه سونینگل سیتروملو در دو قطعه آزمایشی دشت و دامنه در شرق استان مازندران طی ده سال نشان داد درختان روی این پایه، پر رشد و دارای عملکرد بالا بودند. با وجود وقوع چندین تنش سرما و یخبندان، بقای این ترکیب پایه و پیوند در هر دو قطعه آزمایشی ۱۰۰ درصد بود، گرچه برخی از درختان در اثر یخبندان وارد چرخه تناوب باردهی شدند (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2022b).

پایه سیترنج C-35، دو رگ پرتقال خونی^۴ و پونسیروس تری فولیت است که ابتدا در کالیفرنیا آمریکا تولید شد. این پایه مقاومت خوبی به فیتوفتورا، تریتزا و نماتد مرکبات نشان داده است و معمولاً موجب کاهش اندازه تاج درختان می‌شود. عملکرد و کیفیت میوه روی این پایه بسیار خوب گزارش شده است (Morales et al., 2021). درختان نارنگی انشو میاگاوا روی پایه سیترنج C-35 در دشت قائم‌شهر و کوهپایه ساری در شرق مازندران طی ده سال آزمایش، تاج کم رشد و عملکرد متوسطی داشتند. با وجود چندین تنش سرما، بقای درختان در هر دو منطقه ۱۰۰ درصد بود، اگر چه درختان کوهپایه در اثر تنش سرما، وارد چرخه تناوب باردهی شدند (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2022a). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که پایه‌های سیترنج C-35 در خاک‌های آهکی کلروز آهن نشان می‌دهند و شدت کلروز به تدریج با افزایش سن درختان

1 - *Citrus sinensis* cv. Washington navel

2 - *Ruscus trifoliata*

3 - *Citrus paradise* cv. Duncan

4 - Blood orange

تشدید و موجب زوال درختان می‌شود (Louzada et al., 2008). بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه سیترنج C-35 در چند خاک آهکی در میانه و شرق مازندران نشان داد که بافت خاک در تحمل پایه C-35 به خاک‌های آهکی تأثیر دارد و در خاک‌هایی با بافت نسبتاً سنگین و آهک کل بیش از ۹ تا ۱۴ درصد، این پایه علایم شدید زرد برگی و کاهش رشد نشان می‌دهد (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2020).

به طور کلی، مرکبات به عنوان منبع طبیعی کاروتنوئیدها شناخته می‌شوند. کاروتنوئیدها علاوه بر رنگ میوه مرکبات، موجب خواص ضدسرطانی و ضدعفونی کننده میوه هم می‌شوند. میزان کاروتنوئیدها تنوع زیادی در بین گونه‌ها و ارقام مرکبات دارد و تأثیر زیادی نیز بر بازارپسندی مرکبات می‌گذارد. بیشتر نارنگی‌ها سرشار از بتاکریپتوکسانتین^۲ هستند و پرتقال‌ها از جمله پرتقال واشنگتن ناول به میزان زیادی ویولاکسانتین^۳ را جمع می‌کنند. در برخی از جهش‌های مرکبات از جمله پرتقال کاراکارا و گریپ فروت رایج رد، لیکوپن^۴ کاروتنوئید اصلی تجمع یافته در آلبو^۵ و کیسه‌های عصاره میوه است (Lu et al., 2018). پرتقال ناول کاراکارا یک جهش احتمالی جوانه از پرتقال واشنگتن ناول است که از ونزوئلا منشأ گرفته و از ۱۹۹۰ در چین و فلوریدا تکثیر شده است (Seminara et al., 2023). رقم پرتقال کاراکارا در دهه اخیر وارد ایران شده است و پروژه حاضر نخستین کار تحقیقاتی در مورد خصوصیات کمی و کیفی این رقم در شرایط آب و هوایی و اقلیمی مازندران است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر طی هفت سال از پاییز سال ۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات باغبانی قائم‌شهر انجام شد. این ایستگاه دارای عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴/۷ متر از سطح دریا، متوسط بارندگی سالانه ۷۱۹ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۷۹ درصد می‌باشد (MMGO, 2020).

پژوهش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با رقم پرتقال ناول کاراکارا و سه پایه مختلف مرکبات: ۱. کاریزو سیترنج؛ ۲. سوینگل سیتروملو و ۳. سیترنج C-35 با شش تکرار و با فواصل کاشت ۵×۳ متر انجام شد. آبیاری با سیستم نواری قطره‌ای از زمان کاشت نهال‌ها (۱۳۹۲) به طور یکسان برای همه درختان آزمایش انجام شد. مقدار مصرف کودهای شیمیایی بر اساس سن درخت و برای همه تیمارهای آزمایشی به طور یکسان استفاده شد (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2018). از ابتدای کاشت نهال‌ها در زمین اصلی به مدت چهار سال (۱۳۹۵-۱۳۹۲) هرس فرم‌دهی انجام شد و در این مدت همه گل‌های تشکیل شده روی درختان، برای تحریک رشد رویشی درخت، به طور دستی حذف شدند و بعد از شروع فاز زایشی، هرس زمستانه سالانه تا پایان آزمایش در همه درختان انجام شد (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2020).

از سال ۱۳۹۴ تا سال ۱۳۹۹، برخی خصوصیات رویشی شامل ارتفاع درخت با استفاده از متر فلزی، محیط تنه ده سانتی‌متر پایین و ده سانتی‌متر بالای محل پیوند با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شدند. همچنین قطر تاج از سال ۱۳۹۵ تا پایان آزمایش (۱۳۹۹) اندازه‌گیری گردید. با استفاده از نسبت بین محیط تنه در رقم به محیط تنه در پایه، سازگاری مورفولوژیکی (تجانس) بین آن‌ها محاسبه شد (Ziogas et al., 2023) و با استفاده از معادله $V (m^3) = 2/3\pi R^2 H$ حجم درختان به دست آمد که در آن R نصف قطر تاج و H ارتفاع درخت می‌باشد. مساحت تئوری مورد نیاز درختان بر اساس معادله $E = (D \times (D + 2.5) \times 0.75)$ محاسبه شد که در آن، D برابر با قطر تاج و E مساحت تئوری مورد نیاز درختان است. این معادله بر این اساس تنظیم شده است که شاخه‌های درختان در خطوط کاشت ۲۵ درصد هم‌پوشانی داشته باشند و بین خطوط کاشت ۲/۵ متر فضای خالی (برای انجام عملیات زراعی) وجود داشته باشد (Tazima et al., 2013).

- 1 - Carotenoids
- 2 - β cryptoxanthin
- 3 - γ laxanthin
- 4 - Ruby red grapefruit
- 5 - Lycopen
- 6 - Albedo

در دهه سوم آبان ماه سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹، ده نمونه میوه از هر درخت به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران منتقل شد و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه شامل وزن میوه و پوست و تفاله با استفاده از ترازوی دیجیتال، ضخامت پوست با استفاده از کولیس دیجیتال، میزان عصاره با استفاده از آب‌میوه‌گیر دستی، میزان مواد جامد محلول با استفاده از قندسنج چشمی و اسید قابل تیتراسیون عصاره به وسیله تیتراسیون با سود یک دهم نرمال اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت با استفاده از نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل تیتراسیون عصاره، درصد عصاره میوه با استفاده از نسبت عصاره به وزن میوه و درصد پوست و تفاله میوه با استفاده از نسبت وزن پوست و تفاله به وزن میوه محاسبه شد (Ziogas et al., 2023). رنگ پوست از راه مقایسه چشمی با استفاده از جدول رنگی که برای دسته‌بندی میوه‌ها، درجات مختلف رنگ پوست را تعریف می‌کند (سطح ۸: سبز تیره، تا سطح ۱: نارنجی تیره) تعیین شد (Stuchi et al., 2009). در سال ۱۳۹۷، برای ارزیابی روند تغییرات خصوصیات میوه، نمونه‌برداری میوه در چهار مرحله: (۱) ۱۰ مهر؛ (۲) ۱۰ آبان؛ (۳) ۲۵ آبان و (۴) ۲۵ آذر ماه انجام شد و برخی از صفات میوه از جمله شاخص برداشت و وزن میوه، در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران اندازه‌گیری شد.

عملکرد درختان با برداشت همه میوه‌ها و توزین آن‌ها در هر درخت ثبت شد و عملکرد در هکتار با توجه به تعداد درختان در هکتار با فواصل کاشته شده (۶۶۰ درخت در هکتار با فواصل ۳×۵ متر) محاسبه شد. با استفاده از نسبت عملکرد (کیلوگرم در درخت) و حجم هر درخت (متر مکعب در درخت)، کارایی عملکرد درختان (کیلوگرم بر متر مکعب) محاسبه شد. تعداد تئوری درختان از نسبت مساحت یک هکتار بر مساحت تئوری یک درخت و عملکرد تئوری درختان بر اساس تعداد تئوری درخت در هکتار و عملکرد درختان محاسبه شد (Tazima et al., 2013).

در پایان آزمایش، تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از مدل آزمایشی شماره ۱۵ نرم‌افزار MSTAT-C (تجزیه مرکب زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی یک عاملی) انجام شد و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن با سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

یافته‌های پژوهشی

نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی درختان پرتقال کاراکارا روی سه پایه دورگ سیتروس و پونسیروس طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ در جدول ۱ آمده است. نتایج این جدول نشان داد که عامل سال بر محیط پایه و پیوندک، سازگاری مورفولوژیک در محل پیوند و ارتفاع درختان تاثیر آماری معناداری در سطح احتمال یک درصد داشته است. همه صفات رویشی اندازه‌گیری شده از جمله ارتفاع درخت، عرض تاج، حجم درخت و نیز سازگاری مورفولوژیک بین پایه و پیوندک تحت تاثیر عامل پایه، تفاوت آماری معنی‌داری نشان دادند. در مقابل، اثر متقابل سال و پایه، تنها بر محیط پایه، تاثیر آماری معنی‌دار نشان داد. جدول ۲، مقایسه میانگین‌های صفات رویشی درختان را از سال ۱۳۹۴ تا سال ۱۳۹۹ نشان داده است. نتایج نشان داد که محیط دور تنه در رقم پیوندک و هر سه پایه در طول سال‌های متوالی تا آخرین سال پژوهش روند افزایشی داشته است. در مقابل نسبت بین محیط پیوندک به محیط پایه تا سال ۱۳۹۶ کاهش آماری معناداری نشان داد ولی این شاخص در چهار سال آخر، تفاوت آماری معناداری نداشت. از میان سه پایه مورد بررسی در آخرین سال پژوهش (۱۳۹۹)، پایه کاریزو سیترنج کمترین اندازه محیط دور تنه را با کاهش معناداری نسبت به دو پایه دیگر نشان داد (۳۰/۳۳ سانتی‌متر). پایه سونگل سیتروملو در گروه اول با تفاوت معناداری نسبت به دو پایه دیگر، بیشترین محیط دور تنه را به خود اختصاص داد (۴۱/۳۳ سانتی‌متر). به همین ترتیب، کمترین محیط دور تنه رقم کاراکارا روی پایه کاریزو سیترنج و بیشترین مقدار روی پایه سیتروملو ثبت شد (به ترتیب ۲۳ و ۲۵/۶۷ سانتی‌متر در سال ۱۳۹۹). بیشترین سازگاری مورفولوژیک بین رقم پیوندک و پایه هفت سال بعد از کاشت در زمین اصلی روی پایه کاریزو سیترنج (۰/۷۶) با تفاوت آماری نسبت به دو پایه دیگر ثبت شد و پایه سیتروملو، کمترین نسبت محیط رقم پیوندک به پایه را با تفاوت آماری نسبت به هر دو پایه سیترنج، به خود اختصاص داد (۰/۶۲). ارتفاع و شاخص قطر تاج درختان به علت عملیات منظم هرس سالانه در اسفند ماه و حذف انشعابات نابجا و کنترل اندازه درخت در شرایط کاشت نیمه

متراکم با فواصل 3×5 متر (دو برابر تراکم رایج منطقه) از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۳۹۹ افزایش معناداری نداشت. حجم درخت با تغییرات اندک ارتفاع و قطر تاج، از $3/40$ متر مکعب در سال ۱۳۹۵ به $4/83$ مترمکعب در سال ۱۳۹۹ رسید که از نظر آماری این افزایش معنادار بود. درختان پرتقال روی پایه سیتروملو ارتفاع بیشتری نسبت به دو پایه سیترنج داشتند (204 سانتی متر در سال ۱۳۹۹). قطر تاج در سال پایانی پژوهش در سه پایه مختلف تفاوت آماری معناداری نشان نداد (بین 201 تا 208 سانتی متر). حجم درخت به طور متوسط و نیز در همه سال ها روی پایه کاریزو سیترنج نسبت به پایه های سیتروملو و C-35 کمتر بود ($4/18$ متر مکعب در سال ۱۳۹۹). در مقابل بیشترین حجم درخت در همه سال ها متعلق به درختان پرتقال روی پایه سونگل سیتروملو بود ($5/41$ متر مکعب در سال ۱۳۹۹). پاکوتاهی یک صفت مهم در کاشت متراکم است. برای مدیریت بهتر باغ های تجاری مرکبات، پیوند روی پایه هایی که رشد درخت را کاهش می دهند انجام می شود. در حال حاضر، باغ داران سراسر جهان به استفاده از درختان پاکوتاه و درختان پیوندی با حجم کم تمایل دارند زیرا موجب کاشت تعداد بیشتر درخت، افزایش تولید، هرس و برداشت ساده تر و محلول پاشی کارآمدتر می شود (Hayat et al., 2022). بر اساس دسته بندی انجام شده، پایه های استاندارد، درختانی با ارتفاعی بیشتر از شش متر تولید می کنند و پایه های پاکوتاه در ترکیب با هر یک از ارقام و بدون توجه به شرایط محیطی درختانی کمتر از $2/5$ متر ارتفاع تولید می کنند (Girardi et al., 2021). بنابراین در پژوهش حاضر، همه ترکیبات پایه و پیوندک از نظر ارتفاع در دسته پاکوتاه قرار می گیرند.

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سال، پایه و اثرات متقابل بین آن ها بر برخی ویژگی های رویشی در پرتقال کاراکارا

منابع تغییرات	درجه آزادی	محیط پایه	محیط پیوندک	سازگاری مورفولوژیک	ارتفاع	درجه آزادی	مجموع مربعات	
							عرض تاج	حجم درخت
سال	۵	** ۸۱۱/۰	** ۲۶۷/۶	** ۰/۰۴	** ۳۵۵۵	۴	^{ns} ۷۰۲	^{ns} ۵/۴۹
خطا	۳۰	۳۲/۷	۲۰/۲	۰/۰۰۵	۷۱۷	۲۵	۸۹۷	۲/۴۶
پایه	۲	** ۴۶۹/۵	* ۱۹/۹	** ۰/۱۸	** ۲۵۸۸	۲	** ۸۸۶۹	** ۱۲/۳۷
سال×پایه	۱۰	** ۱۶/۲	^{ns} ۲/۴	^{ns} ۰/۰۰۲	^{ns} ۱۲۵	۸	^{ns} ۵۵۱	^{ns} ۰/۰۱
خطا	۶۰	۵/۶	۵/۹	۰/۰۰۴	۴۹۰	۵۰	۶۱۳	۰/۸۲
ضریب تغییرات (%)		۹/۱۵	۱۲/۸۷	۸/۸۴	۱۲/۱۶		۱۲/۳۵	۲۰/۰۶

^{ns}، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنادار و تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. منبع: (یافته های تحقیق)

جدول ۲. مقایسه میانگین های صفات رویشی پرتقال کاراکارا روی پایه های مختلف در سال های ۱۳۹۹-۱۳۹۴.

منابع تغییرات	محیط پایه سانتی متر	محیط پیوندک سانتی متر	سازگاری مورفولوژیک	ارتفاع سانتی متر	قطر تاج سانتی متر	حجم درخت مترمکعب	
سال	(A1) ۱۳۹۴	۱۷/۰۴ d	۱۳/۸۵ e	۰/۸۲ a	۱۵۶/۷ b	--	
	(A2) ۱۳۹۵	۲۰/۴۴ cd	۱۵/۷۲ de	۰/۷۸ ab	۱۹۵/۰ a	۳/۴۰ b	
	(A3) ۱۳۹۶	۲۴/۰۸ c	۱۷/۵۳ cd	۰/۷۳ bc	۱۹۰/۶ a	۳/۷۵ ab	
	(A4) ۱۳۹۷	۲۸/۳۶ b	۲۰/۲۸ bc	۰/۷۲ c	۱۷۹/۴ a	۴/۱۴ ab	
	(A5) ۱۳۹۸	۳۰/۷۸ b	۲۱/۶۹ ab	۰/۷۱ c	۱۸۰/۰ a	۴/۴۰ ab	
	(A6) ۱۳۹۹	۳۵/۰۶ a	۲۴/۱۱ a	۰/۷۰ c	۱۹۱/۷ a	۴/۸۳ a	
پایه	کاریزو سیترنج (B1)	۲۲/۵۹ c	۱۸/۰۶ b	۰/۸۱ a	۱۷۹/۲ b	۳/۴۱ b	
	سونگل سیتروملو (B2)	۲۹/۷۷ a	۱۹/۵۴ a	۰/۶۷ c	۱۹۱/۸ a	۴/۶۸ a	
	سیترنج C-35 (B3)	۲۵/۵۱ b	۱۸/۹۹ ab	۰/۷۶ b	۱۷۵/۷ b	۴/۲۱ a	
سال × پایه	A1 B1	^o ۱۵/۵۵	^g ۱۳/۳۶	^a ۰/۸۶	^e ۱۴۶/۷	--	
	A1 B2	^{m-o} ۱۸/۴۳	^g ۱۳/۷۲	^{b-d} ۰/۷۵	^{c-e} ۱۶۸/۳	--	
	A1 B3	^o ۱۷/۱۵	^g ۱۴/۴۷	^a ۰/۸۵	^{de} ۱۵۵/۰	--	

منابع تغییرات	محیط پایه سانتی‌متر	محیط پیوندک سانتی‌متر	سازگاری مورفولوژیک	ارتفاع سانتی‌متر	قطر تاج سانتی‌متر	حجم درخت مترمکعب
A2 B1	۱۷/۹۲ ^{no}	۱۵/۱۰ ^{fg}	۰/۸۵ ^a	۱۹۰/۰ ^{a-c}	۱۸۵/۰ ^{b-e}	۲/۷۴ ^f
A2 B2	۲۲/۷۸ ^{j-l}	۱۵/۸۳ ^{fg}	۰/۷۰ ^{d-f}	۲۰۱/۷ ^{ab}	۲۱۰/۰ ^{a-c}	۳/۹۶ ^{b-e}
A2 B3	۲۰/۶۱ ^{l-n}	۱۶/۲۲ ^{fg}	۰/۷۹ ^{a-c}	۱۹۳/۳ ^{a-c}	۲۱۸/۳ ^{ab}	۳/۵۰ ^{d-f}
A3 B1	۲۱/۰۸ ^{k-m}	۱۶/۵۰ ^{fg}	۰/۷۹ ^{a-c}	۱۹۰/۰ ^{a-c}	۱۸۳/۳ ^{c-e}	۳/۰۹ ^{ef}
A3 B2	۲۷/۲۵ ^{f-h}	۱۷/۹۲ ^{ef}	۰/۶۶ ^{ef}	۱۹۸/۳ ^{a-c}	۲۱۸/۳ ^{ab}	۴/۳۰ ^{a-e}
A3 B3	۲۳/۹۲ ^{i-k}	۱۸/۱۷ ^{d-f}	۰/۷۶ ^{b-d}	۱۸۳/۳ ^{a-d}	۲۱۳/۳ ^{a-c}	۳/۸۶ ^{b-f}
A4 B1	۲۴/۴۲ ^{h-j}	۱۹/۵۸ ^{de}	۰/۸۰ ^{ab}	۱۷۶/۷ ^{a-d}	۱۷۱/۷ ^{de}	۳/۳۶ ^{d-f}
A4 B2	۳۲/۷۵ ^{cd}	۲۱/۰۰ ^{b-e}	۰/۶۴ ^f	۱۹۱/۷ ^{a-c}	۲۲۰/۰ ^a	۴/۷۶ ^{a-c}
A4 B3	۲۷/۹۲ ^{e-g}	۲۰/۲۵ ^{c-e}	۰/۷۳ ^{b-e}	۱۷۳/۰ ^{b-e}	۲۰۸/۳ ^{a-c}	۴/۳۰ ^{a-e}
A5 B1	۲۶/۲۵ ^{g-i}	۲۰/۸۳ ^{b-e}	۰/۸۰ ^{ab}	۱۸۰/۰ ^{a-d}	۱۶۳/۳ ^e	۳/۶۸ ^{c-f}
A5 B2	۳۶/۰۸ ^b	۲۳/۰۸ ^{a-c}	۰/۶۴ ^f	۱۸۶/۷ ^{a-c}	۲۰۳/۳ ^{a-d}	۴/۹۷ ^{ab}
A5 B3	۳۰/۰۰ ^{d-f}	۲۱/۱۷ ^{b-d}	۰/۷۱ ^{c-f}	۱۷۳/۳ ^{b-e}	۲۰۳/۳ ^{a-d}	۴/۴۹ ^{a-d}
A6 B1	۳۰/۳۳ ^{de}	۲۳/۰۰ ^{a-c}	۰/۷۶ ^{b-d}	۱۹۱/۷ ^{a-c}	۲۰۰/۸ ^{a-d}	۴/۱۸ ^{b-e}
A6 B2	۴۱/۳۳ ^a	۲۵/۶۷ ^a	۰/۶۲ ^f	۲۰۴/۲ ^a	۲۰۸/۳ ^{a-c}	۵/۴۱ ^a
A6 B3	۳۳/۵۰ ^{bc}	۲۳/۶۷ ^{ab}	۰/۷۱ ^{c-f}	۱۷۹/۲ ^{a-d}	۲۰۱/۷ ^{a-d}	۴/۹۰ ^{ab}

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵٪ ندارند؛ منبع: (یافته‌های تحقیق).





شکل ۱. روند رشد پرتقال کاراکارا با پایه C-35 از زمان کاشت (پاییز ۱۳۹۲) تا زمان میوه‌دهی (پاییز ۱۳۹۷)

در شکل ۱، روند رشد پرتقال در قطعه آزمایشی از ابتدای کاشت در زمین اصلی در سال ۱۳۹۲، بعد از آسیب برف و یخبندان سنگین در بهمن ماه ۱۳۹۲، سپس هرس سنگین شاخه‌های آسیب دیده و سرزنی در اسفند همان سال و رشد مجدد تاج در اردیبهشت سال ۱۳۹۳، بعد از پایان مرحله رویشی و تکمیل فرم‌دهی شکل تاج در اردیبهشت ۱۳۹۶ و در زمان میوه‌دهی در آبان ماه ۱۳۹۷ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس برخی صفات کمی و کیفی میوه پرتقال کاراکارا روی سه پایه دورگ سیتروس و پونسیروس طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ در جدول ۳ آمده است. نتایج این جدول نشان داد که عامل سال، بر بیشتر صفات کمی و کیفی اندازه‌گیری شده میوه از جمله وزن میوه، ضخامت و رنگ پوست، درصد عصاره، اسید قابل تیتراسیون عصاره و شاخص برداشت تاثیر آماری معناداری در سطح احتمال یک درصد داشت. تاثیر پایه بر شاخص برداشت میوه معنادار بود. اثر متقابل سال و پایه نیز بر فاکتورهای ضخامت پوست میوه و میزان مواد جامد محلول در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنادار داشت. جدول ۴، مقایسه میانگین‌های صفات کمی و کیفی میوه را در دهه دوم آبان ماه در چهار سال متوالی (۱۳۹۶-۱۳۹۹) نشان داده است. وزن میوه از سال ۱۳۹۶ (چهارمین سال بعد از کاشت نهال در زمین اصلی و شروع مرحله زایشی) تا سال ۱۳۹۹ (هفتمین سال

بعد از کاشت نهال در زمین اصلی) روندی صعودی داشت و میوه‌ها از متوسط ۱۸۹ گرم در سال ۱۳۹۶ به حدود ۲۸۵ گرم در سال ۱۳۹۹ رسیدند. تغییرات ضخامت پوست، درصد پوست و تفاله، درصد عصاره و رنگ پوست در سال‌های متوالی روند منظمی نداشت. شاخص برداشت در همه سال‌ها در دهه دوم آبان از آستانه عدد هفت که استاندارد شاخص برداشت پرتقال است گذشته بود. میزان متوسط مواد جامد محلول در میوه‌های روی پایه‌های مختلف تفاوت آماری معناداری نداشت ولی میزان اسید قابل تیتراسیون در پایه C-35 بالاتر از دو پایه دیگر بود و متوسط شاخص برداشت میوه نیز همین روند را نشان داد. بقیه صفات مورد اندازه‌گیری میوه روی سه پایه، تفاوت آماری معناداری نشان ندادند.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر سال و پایه و اثرات متقابل بین آن‌ها بر صفات کمی و کیفی میوه پرتقال کاراکارا در دهه دوم آبان ماه در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۶

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن میوه	ضخامت پوست	پوست و تفاله	عصاره	رنگ پوست	مجموع مربعات	
							اسید قابل تیتراسیون	شاخص برداشت
سال	۳	۲۳۳۲۶**	۵/۶۱ **	۱۴۶/۹ ns	۳۳۳/۴**	۴۹/۴**	۰/۳۳ ns	۱۹/۰۱**
خطا	۱۲	۱۵۶۹	۰/۸۹	۴۳/۶	۳۱/۲	۰/۵۴	۱/۰۲	۰/۹۹
پایه	۲	۱۳۹۷ ns	۰/۸۰ ns	۴۸/۷ ns	۲۱/۲ ns	۰/۲۵ ns	۱/۳۶ ns	۹/۵۹ **
سال×پایه	۶	۳۱۲۸ ns	۱/۰۳ *	۳۵/۸ ns	۲۳/۱ ns	۰/۱۴ ns	۱/۶۵ *	۲/۳۸ ns
خطا	۲۴	۲۶۲۰	۰/۴۱	۲۸/۱	۱۸/۹	۰/۷۵	۰/۵۴	۱/۲۴
ضریب تغییرات (%)		۲۰/۷۴	۱۶/۰۷	۱۰/۷۹	۱۰/۳۱	۲۰/۶۵	۶/۹۸	۱۱/۷۵

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنادار و تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. منبع: (یافته‌های تحقیق)

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های برخی صفات کمی و کیفی میوه پرتقال کاراکارا در دهه دوم آبان ماه در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۶

منابع تغییرات	وزن میوه گرم	ضخامت پوست میلی‌متر	پوست و تفاله درصد	عصاره درصد	رنگ پوست شاخص چشمی	مواد جامد محلول درصد	اسید قابل تیتراسیون درصد	شاخص برداشت
سال	۱۳۹۶ (A1)	۱۸۹/۳ c	۳/۸۷ b	۵۰/۱۱ ab	۴۵/۱۳ a	۵/۲۵ a	۱۰/۵۰ a	۱۰/۰۳ a
	۱۳۹۷ (A2)	۲۳۵/۵ b	۳/۸۷ b	۵۲/۹۸ a	۳۷/۲۸ b	۴/۱۷ b	۱۰/۷۵ a	۸/۰۴ b
	۱۳۹۸ (A3)	۲۷۶/۹ a	۴/۹۲ a	۴۸/۹۲ ab	۴۸/۰۹ a	۵/۵۰ a	۱۰/۴۴ a	۱۰/۳۷ a
	۱۳۹۹ (A4)	۲۸۵/۳ a	۳/۲۷ b	۴۹/۵۶ ab	۴۰/۲۱ ab	۴/۰۸ b	—	—
پایه	کاریزو سیترنج (B1)	۲۵۰/۴ a	۴/۱۷ a	۵۱/۰۲ a	۴۱/۱۱ a	۳/۸۸ a	۱۰/۹۵ a	۱۰/۲۵ a
	سویگل سیتروملو (B2)	۲۳۶/۱ a	۳/۷۳ a	۴۷/۵۷ a	۴۳/۴۰ a	۴/۱۳ a	۱۰/۴۱ a	۹/۶۸ a
	سیترنج C-35 (B3)	۲۵۳/۷ a	۴/۰۴ a	۴۸/۸۴ a	۴۲/۰۳ a	۴/۰۰ a	۱۰/۳۳ a	۸/۵۰ b

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵٪ ندارند. منبع: (یافته‌های تحقیق)

شکل ۲، نشان می‌دهد که رنگ پوست میوه در هفته دوم آبان ماه ۱۳۹۷ زرد و در هفته آخر آذر ماه به نارنجی تبدیل شده بود ولی همان‌طور که در میوه‌های برش خورده دیده می‌شود رنگ گوشت از همان ابتدا رنگ صورتی کدر را که در اثر وجود رنگ‌دانه‌های لیکوپن است (Liu et al., 2021) دارا بود. روند افزایشی وزن میوه و تغییر رنگ پوست تا اواخر آذر و اواسط دی ادامه داشت.



شکل ۲. میوه پرتقال کاراکارا روی پایه کاریزو سیترنج (راست)، سوینگل سیتروملو (وسط) و سیترنج C-35 (چپ)،

دو ردیف بالا، برداشت هفته دوم آبان ۱۳۹۷، دو ردیف پایین، برداشت هفته آخر آذر ماه ۱۳۹۷

نتایج تجزیه واریانس برخی صفات کمی و کیفی میوه در زمان‌های مختلف برداشت و پایه‌های مختلف در سال ۱۳۹۷ در جدول ۵ آمده است. داده‌های این جدول نشان داد که زمان برداشت بر غالب صفات اندازه‌گیری شده از جمله وزن میوه، درصد پوست و تفاله، درصد عصاره، رنگ پوست، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون و شاخص برداشت میوه تاثیر آماری معنی‌داری داشت. تاثیر پایه‌های مختلف نیز بر وزن میوه، ضخامت پوست، اسید قابل تیتراسیون و شاخص برداشت میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در مقابل، اثر متقابل زمان برداشت و پایه بر هیچ‌یک از صفات اندازه‌گیری شده معنی‌داری نبود.

جدول ۵. تجزیه واریانس تاثیر زمان برداشت و پایه و اثرات متقابل آن‌ها بر روند تغییرات برخی صفات کمی و کیفی میوه پرتقال کاراکارا در سال ۱۳۹۷

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن میوه	ضخامت پوست	پوست و تفاله	عصاره	رنگ پوست	مجموع مربعات	
							مواد جامد محلول	اسید قابل تیتراسیون
زمان برداشت	۳	۱۱۹۷۶ *	۱/۳۷ ^{ns}	۱۱۱۵ **	۸۷۲**	۷۷/۸۹**	۶/۵۱ **	۰/۹۳**
خطا	۱۲	۳۰۲۶	۰/۶۸	۴۴/۰	۳۱/۴	۰/۶۱	۱/۰۴	۰/۰۴
پایه	۲	۲۰۲۶۸**	۲/۱۱**	۱۶/۸ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۷۷ ^{ns}	۱/۳۰ ^{ns}	۰/۵۶**
زمان×پایه	۶	۱۹۱۹ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۱۳/۰ ^{ns}	۱۶/۷ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۱/۵۴ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}
خطا	۲۴	۲۸۰۸	۰/۳۸	۳۳/۸	۳۱/۵	۰/۳۰	۰/۷۸	۰/۰۹
ضریب تغییرات (%)		۲۰/۳۲	۱۷/۲۸	۱۱/۰۹	۱۴/۶۲	۱۵/۹۹	۸/۴۸	۲۰/۳۵

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنادار و تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. منبع: (یافته‌های تحقیق)

جدول ۶، مقایسه میانگین‌های روند تغییرات صفات کمی و کیفی میوه را در زمان‌های مختلف برداشت در سال ۱۳۹۷ نشان داده است. وزن میوه در آخرین تاریخ برداشت (۲۵ آذر) نسبت به دو تاریخ اول (۱۰ مهر و ۱۰ آبان) افزایش معناداری نشان داد و از ۲۳۵ گرم به حدود ۳۰۰ گرم رسید. افزایش وزن میوه از تاریخ برداشت ۲۵ آبان تا تاریخ ۲۵ آذر تفاوت آماری معناداری نداشت. درصد وزنی عصاره از حدود ۲۷ درصد در ۱۰ مهر به بیش از ۴۶ درصد در ۲۵ آذر افزایش یافت و درصد وزنی پوست و تفاله میوه از ۶۵ درصد به کمتر از ۴۳ درصد کاهش یافت. این صفات هم مانند وزن میوه تفاوت معنادار آماری در تاریخ برداشت ۲۵ آبان با تاریخ ۲۵ آذر نداشتند. رنگ پوست از سبز روشن در مهر ماه به رنگ زرد در ۱۰ آبان و نارنجی کم رنگ در ۲۵ آبان و نارنجی در ۲۵ آذر تغییر کرد. بنابراین از نظر رنگ پوست میوه و وزن میوه، ۲۵ آبان (هفته پایانی آبان) مناسب شروع برداشت می‌باشد. میزان مواد جامد محلول از تاریخ ۱۰ آبان به بعد افزایش معناداری نشان نداد ولی میزان اسید قابل تیتراسیون در ۲۵ آذر نسبت به دو تاریخ برداشت آبان ماه و آن‌ها نیز نسبت به تاریخ برداشت مهر ماه، کاهش معنادار آماری نشان دادند. شاخص برداشت میوه در مهر ماه کمتر از حد استاندارد هفت بود ولی در دو برداشت ۱۰ و ۲۵ آبان به بیش از حد استاندارد رسیده بود. بنابراین میوه‌ها در آبان ماه از نظر طعم گوشت به بلوغ فیزیولوژیک و شیرینی قابل قبول برای مصرف کننده رسیده بودند. شاخص برداشت تا آخرین مرحله برداشت در ۲۵ آذر، به افزایش خود ادامه داد و به میزان ۱۰/۳۵ رسید. بین پایه‌های مختلف، میوه‌های روی پایه سیترنج C-35 بزرگ‌ترین میوه (۲۹۷ گرم)، روی پایه سوینگل سیتروملو، ضخیم‌ترین پوست (۳/۹۷ میلی‌متر) و روی پایه کاریزو سیترنج، بیشترین شاخص برداشت (۸/۸۱) را نشان دادند. میزان اسید قابل تیتراسیون در میوه‌های پرتقال روی پایه C-35 بالاتر از این شاخص روی دو پایه دیگر بود. میزان مواد جامد محلول در میوه‌های روی پایه‌های مختلف و نیز در زمان‌های برداشت دوم (۱۰ آبان) تا چهارم (۲۵ آذر) تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد. درصد وزنی پوست و تفاله میوه و درصد عصاره نیز در هیچ یک از چهار زمان برداشت بین سه پایه، تفاوت آماری معناداری نشان نداد (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های روند تغییرات برخی صفات کمی و کیفی میوه پرتقال کاراکارا در چهار مرحله برداشت میوه در سال ۱۳۹۷

منابع تغییرات	وزن میوه گرم	ضخامت پوست میلی‌متر	پوست و تفاله درصد	عصاره درصد	رنگ پوست	مواد جامد محلول درصد	اسید قابل تیتراسیون درصد	شاخص برداشت
زمان برداشت	۱۰ مهر (A1)	۲۳۲/۹ ^b	۳/۷۶ ^a	۶۵/۴ ^a	۲۶/۹ ^c	۶/۶۷ ^a	۹/۲۹ ^b	۵/۴۸ ^c
	۱۰ آبان (A2)	۲۳۵/۵ ^b	۳/۸۷ ^a	۵۳/۰ ^b	۳۷/۳ ^b	۴/۱۷ ^b	۱۰/۷۵ ^a	۸/۰۴ ^b
	۲۵ آبان (A3)	۲۷۷/۸ ^{ab}	۳/۱۱ ^a	۴۸/۲ ^{bc}	۴۳/۶ ^a	۱/۸۳ ^c	۱۰/۶۶ ^a	۷/۷۸ ^b
	۲۵ آذر (A4)	۲۹۶/۷ ^a	۳/۴۹ ^a	۴۲/۹ ^c	۴۶/۱ ^a	۱/۰۰ ^d	۱۰/۸۶ ^a	۱۰/۳۵ ^a
پایه	کاریزو سیترنج (B1)	۲۲۶/۰ ^b	۳/۴۱ ^b	۵۱/۸ ^a	۳۸/۵ ^a	۳/۶۳ ^a	۱۰/۶۳ ^a	۸/۸۱ ^a
	سوینگل سیتروملو (B2)	۲۵۹/۱ ^{ab}	۳/۹۷ ^a	۵۱/۷ ^a	۳۸/۴ ^a	۳/۴۴ ^{ab}	۱۰/۰۷ ^a	۷/۸۹ ^{ab}
	سیترنج C-35 (B3)	۲۹۷/۱ ^a	۳/۲۹ ^b	۵۳/۶ ^a	۳۸/۴ ^a	۳/۱۹ ^b	۱۰/۴۶ ^a	۷/۰۳ ^b

در هر بخش هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵٪ ندارند. منبع: (یافته‌های تحقیق)

نتایج تجزیه واریانس کارایی عملکرد پایه‌ها و شاخص‌های مربوط به آن در طول چهار سال متوالی ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ در جدول ۷ آمده است. این جدول نشان داد که زمان برداشت بر عملکرد، کارایی عملکرد و عملکرد تنوری در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری داشت. تاثیر پایه‌های مختلف بر عملکرد، کارایی عملکرد و عملکرد تنوری پرتقال کاراکارا معنی‌دار نبود ولی صفات حجم درخت، فضای تنوری و تعداد درخت در هکتار تحت تاثیر پایه قرار گرفتند. اثر متقابل زمان برداشت و پایه نیز در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد واقعی و عملکرد تنوری تاثیر معنی‌دار نشان داد.

جدول ۷. تجزیه واریانس اثر سال و پایه و اثرات متقابل بین آن‌ها بر کارایی عملکرد و شاخص‌های مربوط به آن در پرتقال کاراکارا

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	حجم درخت	کارایی عملکرد	مجموع مربعات	
					فضای تنوری	تعداد تنوری
زمان برداشت	۳	۸۰/۳۴ **	۳/۶۴ ns	۱۳/۲۵ **	۱/۹۰ ns	۱۲۴۵۱۰ ns
خطا	۲۰	۷/۱۴	۲/۶۲	۲/۶۳	۲/۰۰	۷۴۳۳۴
پایه	۲	۲۳/۷۹ ns	۱۰/۱۰ **	۳/۵۰ ns	۱۷/۳۲ **	۹۸۳۸۱۸ **
زمان×پایه	۶	۳۳/۶۷ *	۰/۰۲ ns	۳/۴۹ ns	۱/۳۷ ns	۱۲۷۸۶۷ ns
خطا	۴۰	۱۱/۱۴	۰/۸۷	۱/۷۳	۱/۲۸	۵۸۴۱۷
ضریب تغییرات (%)		۲۰/۸۱	۱۹/۷۷	۲۱/۵۸	۱۶/۶۶	۱۵/۷۷

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنادار و تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. منبع: (یافته‌های تحقیق)

جدول ۸، مقایسه میانگین‌های شاخص‌های مختلف عملکرد را در طول سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ نشان داده است. عملکرد متوسط در این چهار سال نوسان داشت به طوری که سال ۱۳۹۸ نسبت به سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ افزایش معنادار آماری نشان داد (۱۲/۳) تن در هکتار نسبت به ۹/۲ و ۹/۷ تن در هکتار) و در سال ۱۳۹۹ کاهش معناداری نسبت به سه سال دیگر نشان داد (۷/۲ تن در هکتار). این نوسان باردهی نشانه‌ای برای داشتن عادت تناوب باردهی در این رقم از پرتقال است. حجم درخت از متوسط ۳/۷۵ متر مکعب در سال ۱۳۹۶ با روند کند افزایشی (به دلیل عملیات منظم حذف انشعاب‌های نابجا و هرس منظم سالانه در اسفند ماه در طول مدت پژوهش) به ۴/۸۳ مترمکعب در سال ۱۳۹۹ رسید که از نظر آماری افزایش معنادار بود. کارایی عملکرد، به دلیل وابستگی به میزان عملکرد و حجم درخت در سال‌های مختلف بین پایه‌های مختلف دارای نوسان بود و در سال ۱۳۹۸، به دلیل تولید بالاترین عملکرد بین چهار سال پژوهش، این شاخص هم بیشترین مقدار را نشان داد (۴/۴۶) کیلوگرم بر متر مکعب) و در سال ۱۳۹۹ به دلیل کمترین عملکرد و بیشترین حجم درخت در طول چهار سال، شاخص کارایی عملکرد هم کمترین میزان را نشان داد (۲/۴۱ کیلوگرم بر متر مکعب). در پژوهشی طی هشت سال با نارنگی انشو میاگوا و شش پایه مختلف، گزارش شد که عملکرد متوسط و راندمان عملکرد در سال‌های متوالی نوسان داشت و از روند ثابتی پیروی نمی‌کرد (Akhlaghi Amiri, 2020). متوسط عملکرد چهار سال پرتقال کاراکارا روی پایه سوینگل سیتروملو ۱۰/۶۹ تن در هکتار بر اساس فاصله کاشت ۳×۵ بود که ۱/۹۳ تن در هکتار از عملکرد روی پایه سیترنج C-35 و ۱/۳۸ تن در هکتار از عملکرد روی پایه کاریزو سیترنج بیشتر بود.

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های عملکرد و کارایی عملکرد پرتقال کاراکارا روی سه پایه مختلف در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۶

منابع تغییرات	عملکرد	حجم	کارایی عملکرد	فضای	تعداد تنوری	عملکرد
	تن در هکتار	متر مکعب	کیلوگرم/ مترمکعب	متر مربع/ درخت	درخت در هکتار	تن در هکتار
سال	۱۳۹۶ (A1)	۹/۳۰ ^b	۳/۷۵ ^b	۳/۸۴ ^b	۷/۰۴ ^a	۱۴۵۹ ^a
	۱۳۹۷ (A2)	۹/۷۰ ^b	۴/۱۴ ^{ab}	۳/۶۸ ^b	۶/۸۱ ^a	۱۵۳۴ ^a
	۱۳۹۸ (A3)	۱۲/۲۹ ^a	۴/۲۸ ^{ab}	۴/۴۶ ^a	۶/۳۳ ^a	۱۶۴۸ ^a
	۱۳۹۹ (A4)	۷/۱۶ ^c	۴/۸۳ ^a	۲/۴۱ ^c	۷/۰۰ ^a	۱۴۸۹ ^a
پایه	کاریزو سیترنج (B1)	۹/۳۱ ^{ab}	۳/۵۸ ^b	۳/۹۷ ^a	۵/۸۳ ^b	۱۷۶۵ ^a
	سوینگل سیتروملو (B2)	۱۰/۶۹ ^a	۴/۸۶ ^a	۳/۶۱ ^{ab}	۷/۴۵ ^a	۱۳۹۵ ^b
	سیترنج C-35 (B3)	۸/۷۶ ^b	۴/۳۹ ^a	۳/۲۱ ^b	۷/۱۱ ^a	۱۴۳۷ ^b
سال × پایه	A1 B1	۶/۳۴ ^{cd}	۳/۰۹ ^e	۳/۲۸ ^{b-e}	۵/۹۸ ^{b-d}	۱۶۹۲ ^{cd}
	A1 B2	۱۱/۴۱ ^b	۴/۳۰ ^{a-e}	۴/۲۹ ^{a-c}	۷/۶۹ ^a	۱۳۱۴ ^d
	A1 B3	۹/۵۵ ^{b-d}	۳/۸۶ ^{b-e}	۳/۹۶ ^{a-c}	۷/۴۴ ^{ab}	۱۳۶۸ ^d
	A2 B1	۸/۹۷ ^{b-d}	۳/۳۶ ^{de}	۴/۱۰ ^{a-c}	۵/۴۶ ^{cd}	۱۸۸۶ ^{ab}
	A2 B2	۱۰/۵۵ ^{bc}	۴/۷۶ ^{a-c}	۳/۵۰ ^{a-d}	۷/۸۱ ^a	۱۳۱۷ ^d
	A2 B3	۹/۵۸ ^{b-d}	۴/۳۰ ^{a-e}	۳/۴۶ ^{a-d}	۷/۱۷ ^{ab}	۱۴۰۰ ^{cd}
	A3 B1	۱۲/۳۱ ^{ab}	۳/۶۸ ^{c-e}	۵/۰۷ ^a	۵/۰۸ ^d	۱۹۹۷ ^a
	A3 B2	۱۵/۵۱ ^a	۴/۹۷ ^{ab}	۵/۰۵ ^{ab}	۶/۹۶ ^{ab}	۱۴۷۶ ^{cd}
	A3 B3	۹/۱۹ ^{b-d}	۴/۴۹ ^{a-d}	۳/۲۵ ^{c-e}	۶/۹۵ ^{ab}	۱۴۷۲ ^{cd}
	A4 B1	۹/۴۳ ^{b-d}	۴/۱۸ ^{a-e}	۳/۴۳ ^{a-d}	۶/۸۱ ^{a-c}	۱۴۸۴ ^{cd}
	A4 B2	۵/۳۱ ^d	۵/۴۱ ^a	۱/۶۴ ^e	۷/۳۰ ^{ab}	۱۴۷۳ ^{cd}
	A4 B3	۶/۷۳ ^{cd}	۴/۹۰ ^{a-c}	۲/۱۶ ^{de}	۶/۸۸ ^{a-c}	۱۵۱۰ ^{cd}

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵٪ ندارند. منبع: (یافته‌های تحقیق)

متوسط حجم درخت در درختان روی پایه کاریزو سیترنج نسبت به دو پایه دیگر از نظر آماری به طور معناداری کمتر بود. متوسط کارایی عملکرد پایه کاریزو سیترنج به دلیل کمتر بودن حجم درخت و با وجود عملکرد کمتر از عملکرد روی پایه سیتروملو، بالاتر از دو پایه دیگر بود. به دلیل عملیات منظم هرس سالانه و حذف انشعابات نابجا، حجم تاج درختان در طول سال‌های متوالی روند افزایشی کندی نشان داد. بر اساس ارتفاع درخت و قطر تاج و با احتساب ۲/۵ متر فضای خالی بین درختان در فاصله بین ردیف‌ها، فضای تنوری مورد نیاز برای درختان محاسبه شد. متوسط این شاخص روی پایه کاریزو سیترنج در سه سال اول، به طور معناداری کمتر از دو پایه دیگر بود ولی در آخرین سال پژوهش حجم درخت روی پایه‌های کاریزو و C-35 در یک گروه آماری قرار گرفت (به ترتیب ۶/۸۱ و ۶/۸۸ متر مربع). در مقابل، پایه سوینگل سیتروملو در هر چهار سال نسبت به دو پایه دیگر از فضای تنوری مورد نیاز بالاتری برخوردار بود (۷/۳۰ متر مربع). با احتساب افزایش تدریجی و کند حجم درخت و فضای تنوری مورد نیاز درختان، می‌توان گفت که مشروط بر انجام عملیات منظم هرس و حذف انشعابات نابجا و کنترل حجم درخت، می‌توان فاصله کاشت را از فاصله کاشت نیمه متراکم طراحی شده در این پژوهش (۳×۵ متر) هم کمتر در نظر گرفت. به عبارت دیگر، برای استفاده بهینه از سطح زمین می‌توان به جای ۱۵ متر فضا، حداکثر ۱۲ متر فضا برای هر درخت در نظر گرفت و از فواصل ۳×۴ یا کمتر برای طراحی باغ استفاده کرد تا قسمت عمده سطح باغ، به سطح بارده مفید تبدیل شود و عملکرد در هکتار هم به همین نسبت افزایش یابد (جدول ۸).

بحث

زمان مناسب برداشت میوه از نظر اقتصادی، بازارپسندی و انبارمانی در ارقام مختلف مرکبات از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. برداشت زودهنگام می‌تواند موجب کاهش کیفیت، بازارپسندی و زمان انبارمانی شود. تاخیر در برداشت نیز موجب افزایش میزان پوسیدگی و ریزش پیش از برداشت، کاهش ذخایر درخت و در نتیجه کاهش گل‌دهی و عملکرد سال آتی و افزایش حساسیت میوه و درخت به وقوع سرما و یخبندان‌های احتمالی می‌شود. بنابراین تعیین تقویم زمانی شروع برداشت هم‌چنین مناسب‌ترین دامنه زمانی برداشت برای ارقام مختلف مرکبات از اهمیت بسیار زیادی برای باغ‌داران برخوردار است. در پژوهشی با پرتقال زودرس فوکوموتو و پایه‌های مشابه پژوهش حاضر، زمان شروع برداشت میوه دهه سوم مهر (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2025) و در پژوهشی با رقم تامسون ناول زمان برداشت میوه بسیار زودتر از زمان برداشت رایج در منطقه شرق مازندران و از اواسط آبان ماه اعلام شد (Akhlaghi Amiri et al., 2023).

اندازه‌گیری محیط پیوندک و پایه و محاسبه نسبت بین آن‌ها به‌عنوان یک شاخص قوی برای سازگاری محسوب می‌شود و مقادیر نزدیک یک نشان دهنده تجانس بسیار خوب است (Akhlaghi Amiri, 2019; Tazima et al., 2013). گیاهانی که از نظر ژنتیکی خویشاوندی نزدیک‌تری با هم داشته باشند واحد پیوند سازگاری نیز خواهند داشت. پیوند میان ارقام یک گونه و یا گونه‌های یک جنس معمولاً موفقیت آمیز است. پیوند میان جنس‌های مختلف در یک خانواده گاهی پایدار است. همانند پیوند سازگار جنس پونسیروس و سیتروس (Habibi et al., 2022). در این نوع پیوند محیط پایه و پیوندک به علت خویشاوندی دور، گاهی اختلاف زیادی دارد ولی درخت پیوندی، سال‌های زیادی پربار و سالم باقی می‌ماند. در پژوهشی با رقم تامسون ناول و پایه‌های مشابه پژوهش حاضر، محیط پایه و پیوندک طی شش سال، بیش از دو برابر شد و پایه سیتروملو بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد. پایه‌های کاریزو سیترنج و سیترنج C-35 تفاوت معناداری در محیط پایه و پیوندک نداشتند. تجانس بین پایه و پیوندک طی دوره پژوهش، کاهش پیدا کرد ولی این نسبت در سه پایه مختلف، تفاوت معناداری نشان نداد (Akhlaghi Amiri et al., 2023). نتایج پژوهشی با پرتقال زودرس فوکوموتو نشان داد که در سال هفتم بعد از کاشت، پایه سیتروملو بیشترین و پایه کاریزو سیترنج کمترین محیط پایه را به خود اختصاص دادند. در مقابل، محیط رقم پیوندک (فوکوموتو) روی پایه‌های مختلف، تفاوت معناداری نشان نداد. سازگاری مورفولوژیک (تجانس) که با نسبت بین محیط پایه و محیط پیوندک اندازه‌گیری شد، طی سال‌های آزمایش روند کاهشی نشان داد. در سال هفتم بعد از کاشت، پایه سیتروملو کمترین سازگاری مورفولوژیک (۰/۶۰۰) و پایه کاریزو سیترنج بیشترین سازگاری مورفولوژیک (۰/۷۵۸) را با رقم فوکوموتو نشان دادند (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2025). در پژوهش حاضر نیز چون دو جنس مختلف (سیتروس و دورگ پونسیروس و سیتروس) از خانواده روتاسه با هم پیوند زده شدند تجانس نزدیک عدد یک نبود. کمتر بودن این شاخص در سیتروملو نسبت به سیترنج‌ها در پژوهش‌های مختلف گزارش شده است (Akhlaghi Amiri, 2019; Hayat et al., 2022; Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2025).

برای استفاده بهینه از زمین، فاصله کاشت درختان باید بر اساس حجم درخت مورد انتظار درخت بالغ روی پایه انتخاب شده در خاک و اقلیم هر منطقه در نظر گرفته شود. این در حالی است که در گذشته و در برخی موارد در باغ‌های جدید در مازندران، کاشت ارقام مختلف مرکبات با فواصل زیاد و گاهی ۶×۵ متر انجام می‌شد. در شرایط امروز که ارزش زمین نسبت به گذشته بسیار بیشتر است این فواصل سبب هدر رفت نیمی از زمین مورد استفاده می‌گردد. یک باغ متراکم‌تر ممکن است با وجود سرمایه‌گذاری اولیه بالاتر، بازگشت و بازده اقتصادی زودتری نیز فراهم کند. کاشت نیمه متراکم موجب افزایش کارایی عملکرد در واحد سطح می‌شود و امروزه باغ‌داری نوین در جهان استفاده از سیستم‌های کاشت متراکم و نیمه متراکم را توصیه می‌کند (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2018; Hayat et al., 2022). در پژوهشی طی ۱۰ سال در برزیل برای

امکان افزایش عملکرد اقتصادی در واحد سطح از پایه‌های با قدرت رشدی مختلف و تراکم کاشت متفاوت استفاده شد. نتایج نشان داد که عملکرد تجمعی با تراکم کاشت ۱۰۰۰ درخت در هکتار بدون توجه به قدرت رشد پایه، ۲۷ درصد افزایش یافت و میزان عملکرد پایه‌های پر رشد ۲/۵ برابر پایه‌های پاکوتاه بود. البته پایه‌های نیمه پاکوتاه و پاکوتاه برای سودآورتر کردن باغ با تراکم کاشت بسیار بالا اهمیت زیادی دارند (Girardi et al., 2021). در پژوهشی در برزیل، حجم درختان پرتقال روی پایه سیترنج C-35 و سونگل سیتروملو، ۱۰ سال بعد از کاشت در زمین اصلی ۴/۵ متر مکعب و روی پایه‌های کاریزو و ترویر سیترنج ۸/۵ متر مکعب بود (Gullo et al., 2021). در پژوهشی در شرق مازندران با پرتقال تامسون ناول، با عملیات منظم هرس سالانه، حداکثر حجم درخت در پایان سال هفتم بعد از کاشت، به حدود پنج متر مکعب رسید و ارتفاع درختان نیز در حداکثر ۲ متر کنترل شد (Akhlaghi Amiri et al., 2023b).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج پژوهش حاضر طی هفت سال، رقم جدید پرتقال ناول (ناف دار) کاراکارا دارای گوشتی با رنگ صورتی و رنگ پوست نارنجی است. درختان این رقم روی پایه‌های مورد بررسی، در سال‌های مختلف تناوب باردهی نشان دادند. رقم پرتقال کاراکارا روی پایه سونگل سیتروملو بیشترین حجم درخت و عملکرد و روی پایه کاریزو سیترنج بیشترین کارایی عملکرد را نشان داد. با در نظر گرفتن شاخص‌های کمی و کیفی میوه، زمان مناسب شروع برداشت این رقم از پرتقال در شرق مازندران هفته پایانی آبان ماه تعیین شد که در این زمان به طور متوسط وزن میوه‌ها حدود ۲۸۰ گرم و میزان عصاره حدود ۴۴ درصد بود و پوست میوه رنگ نارنجی کم رنگ به خود گرفت. روند افزایش شاخص برداشت و وزن میوه و تغییر رنگ پوست تا اواخر آذر ماه ادامه داشت. در پژوهش حاضر بعد از گذشت هفت سال از کاشت در زمین اصلی بر اساس ارتفاع و قطر تاج و با احتساب ۲/۵ متر فضای خالی بین درختان در فاصله بین ردیف‌ها، فضای تئوری مورد نیاز در پر رشدترین پایه (سونگل سیتروملو) ۷/۳ متر مربع بود که اگر روند کند افزایشی عرض و حجم درخت را در نظر بگیریم باز هم فضای مورد نیاز برای کاشت درختان کاراکارا نسبت به فواصل رایج برای احداث باغ در استان مازندران، بسیار کمتر است و با فرم‌دهی درختان جوان و هرس سالانه باردهی، کاشت نیمه متراکم با فواصل ۳×۴ و حتی کمتر برای استفاده بهتر از زمین امکان‌پذیر است.

REFERENCES

- Agricultural Statistics, (2022). Third volume: Horticultural and greenhouse products, Ministry of Agricultural Jihad, Planning and Economic Deputy of Information and Communications Technology Center, 328 p. (In Persian)
- Akhlaghi Amiri, N. (2019). Vegetative characteristics of 'Miyagawa satsuma' mandarin on 6 different rootstocks in East of Mazandaran. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 683-695.
- Akhlaghi Amiri, N. (2020). Functional and qualitative indexes of 'Miyagawa satsuma' mandarin on six rootstocks in East of Mazandaran. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(1), 55-66. (In Persian)
- Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2020). *Pruning of Citrus Trees* (1st ed.). Agricultural Extension and Education Publications, Tehran, Iran. 128 p. (In Persian)
- Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2022a). Effect of 'C-35' citrange rootstock on vegetative and reproductive characteristics of Miyagawa satsuma mandarin (*Citrus unshiu* 'Miyagawa') in the plain and foothills of East Mazandaran. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(1), 79-88. (In Persian)
- Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2022b). Vegetative and reproductive characteristics of 'Miyagawa satsuma' mandarin on 'Swingle' citrumelo in alluvial and piedmont-plain of East Mazandaran. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 53(1), 117-128. (In Persian)
- Akhlaghi Amiri, N., Asadi Kangarshahi, A., & Fattahi Moghadam, J. (2023). Investigating the vegetative growth, quantitative and qualitative yield and harvesting time of 'Thomson navel' orange with different rootstocks in east of Mazandaran. *Journal of Research in Horticultural Science*, 2(2), 209-226. (In Persian)
- Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2025). Investigating vegetative growth, yield and harvest time of 'Fukumoto' orange (*Citrus sinensis* cv. 'Fukumoto') with some citrus rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 25(3), 385-399. (In Persian)
- Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2018). *Establishment of sustainable citrus orchard* (1st ed.). Agricultural Extension and Education Publications, Tehran, Iran, 180 p. (In Persian)
- Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2020). Evaluation of growth rate and vegetative and physiological characteristics of 'Satsuma' mandarin on C-35 rootstock in some calcareous soils. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(2), 215-234. (In Persian)
- Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2022). Evaluation of vegetative, physiological, and chlorosis characteristics of 'Satsuma' mandarin on 'Carrizo' citrange rootstock in some calcareous soils. *Iranian Journal of Soil Research*, 36(1), 47-67. (In Persian)
- Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2023). Performance of 'Miyagawa satsuma' mandarin raised on 'Swingle' citrumelo in calcareous soils. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 10(3), 161-172.
- Citrus World Statistics, (2022). *World Citrus Organizations*. 52 p.
- Girardi, E.A., Sola, J.G.P., Scapin, M.S., Moreira, A.S., Bassanezi, R.B., Ayres, A.J., & Pena, L. (2021). The perfect match: adjusting high tree density to rootstock vigor for improving cropping and land use efficiency of sweet orange. *MDPI, Agronomy*, 11, 2569, 1-33.
- Gullo, G., Dattola, A., Vonella, V., & Zappia, R. (2021). Performance of the Brasiliano 92 orange cultivar with six trifoliate rootstocks. *Agriculture and Food*, 6(1), 203-215.
- Habibi, F., Liu, T., Foltá, K., & Sarkhosh, A. (2022). Physiological, biochemical, and molecular aspects of grafting in fruit trees. *Horticulture Research*, 9, 1-18.
- Hayat, F., Li, J., Iqal, Sh., Peng, Y., Hong, L., Balal, R.M., Nawaz Khan, M., Khan, U., Farhan, M.A., Li, C., Song, W., Tu, P., & Chen, J. (2022). A mini review of citrus rootstocks and their role in high-density orchards. *Plants*, 11, 2876, 1-14.
- Liu, C., Zhang, H., He, M., Liu, X., Chen, Sh., He, Zh., Ye, J., Xu, J. (2021). Lycopene accumulation in 'Cara Cara' red-flesh navel orange is correlated with weak abscisic acid catabolism. *Journal*

- of Agricultural and Food Chemistry, 69(29), 8236-8246
- Louzada, E.S., Rio, H.S., Setamou, M., Watson, J.W., & Swietlik, D.M. (2008). Evaluation of citrus rootstocks for the high pH, calcareous soils of South Texas. *Euphytica*, 164, 13-18.
- Lu, Q., Lv, S., Peng, Y., Zhu, Ch., & Pan, S. (2018). Characterization of phenolics and antioxidant abilities of red navel orange 'Cara Cara' harvested from five regions of China. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1107-1116.
- MMGO, (2020). Mazandaran Meterology General Oficce, from <http://www.mazmet.ir/>. (In Persian)
- Morales, J., Bermejo, A., Navarro, P., Quiñones, A., & Salvador, A. (2021). Effect of rootstock on citrus fruit quality. *Food Reviews International*, 19 pp.
- Seminara, S., Bennici, S., Di-Guardo, M., Caruso, M., Gentile, A., Malfa, S., & Distefano, G. (2023). Sweet orange: evolution, characterization, varieties, and breeding perspectives. *MDPI, Agriculture*, 13, 264, 1-24.
- Stuchi, E.S., Martins, A.B.G., Lemo, R.R., & Aviles, T.C. (2009). Fruit quality of 'Tahiti lime' (*Citrus latifolia* Tanaka) grafted on 12 different rootstocks. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(2), 454-460.
- Tazima, Z.H., Neves, C.S.V.J., Yada, I.F.U., & Junior, R.P.L. (2013). Performance of 'Okitsu Satsuma' Mandarin on nine rootstocks. *Scientia Agricola*, 70(6), 422-427.
- Ziogas, V., Kokkinos, E., Karagiaai, A., Ntamposi, E., Voulgarakis, A.S., & Hussain, B. (2023). Effect of rootstock selection on tree growth, yield, and fruit quality of lemon varieties cultivated in Greece. *MDPI, Agronomy*, 13, 2265, 1-15.