J. Soil and Plant Interactions, Vol. 14, No. 3, Fall 2023, pp. 21-37. **Research Article**

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.14.3.20652

Optimum Plant Density of Greenhouse Tomato Grown in a Soilless System in Golestan Province

Sh. Vakili Bastam[1*]

(Received: 22 May 2023; Accepted: 17 July 2023)

Abstract

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is an important commercial food plant. Several factors affect the growth of tomatoes in the greenhouse, and one of them is proper planting density. Investigating and suggesting the best density in hydroponic cultivation can have a significant effect on production efficiency. Therefore, a factorial experiment was conducted in the hydroponic cultivation system based on completely randomized design with three replications and two treatment of cultivar (Dafnis, Izmono and Hirad) and density (at four density levels of 2, 2.5, 3 and 3.5 plants per m^2) in the greenhouse of Gorgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Characteristics of number of clusters per plant, number of flowers per cluster, percent of blossom drop, number of fruits per cluster, fruit yield per plant and per m^2, number of fruits per plant, number of fruits per m^2, average fruit weight, fruit diameter, fruit length, pericarp thickness, uniform fruit ripening, distance between clusters, marketable yield, total soluble solids and pH of fruit juice were measured. According to the mean comparisons, the average yield per m^2 at high plant density (3.5 plants per m^2) in all three cultivars was significantly higher than others. With the increase of density from 3 to 3.5, from 2.5 to 3.5 and from 2 to 3.5 plants per m^2, respectively, relative increases in yield per m^2 of 2.4%, 28.6% and 43.1% in Hirad, 6.8%, 21.75%, 23.4% in Dafnis and 22.7%, 35% and 51% in Izmono were observed. With the increase of plant density, the percentage of blossom drop of plants decreased significantly. The highest total soluble solids content of one cultivar (Hirad) was observed in the highest density and two other cultivars were not affected. The pH of fruit juice of Dafnis and Izmono at a density of 3.5 plants per m^2 was significantly lower than other treatments, but there was no difference for this trait in Hirad cultivar between different densities. The results of this study suggest to increase the density of tomato in hydroponic greenhouse in Golestan province up to 3.5 plants per m^2.

Keywords: Hybrid cultivar, Fruit set, Hydroponic, Tomato, Yield characteristics.

Background and Objective: Contrary to popular belief, greenhouses are not completely isolated from the outside environment. The condition inside the greenhouse tend to change constantly under the influence of external weather changes (Omid et al., 2004). One of the management techniques in increasing the quantity and quality of fruit is the use of proper plant density (Kumar Singh et al., 2021). Due to the high cost of crop production in greenhouses and in order to achieve the maximum production potential of the plant, it is

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
* Corresponding author, Email: sh.vakili@areeo.ac.ir

necessary to carry out more precise agricultural operations such as optimizing the density of plants. Investigating and introducing the best plant density in hydroponic cultivation can have a significant effect on increasing yield and production efficiency in Golestan province greenhouses.

Methods: A factorial experiment was carried out in the hydroponic cultivation system based on completely randomized design with three replications in the greenhouse of Gorgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Three greenhouse tomato hybrid cultivars including Dafnis, Izmono and Hirad were cultivated at four density levels of 2, 2.5, 3 and 3.5 plants per m^2. The following traits were evaluated in this study: fruit yield per plant and per m^2, number of fruits per plant and per m^2, number of clusters per plant, number of flowers per cluster, percent of blossom drop, number of fruits per cluster, average fruit weight, fruit diameter, fruit length, pericarp thickness, uniform fruit ripening, distance between clusters, marketable yield, total soluble solids and pH of fruit juice.

Results: The results of analysis of variance showed that fruit yield per plant, fruit yield per m^2, number of fruits per plant, number of fruits per m^2, average fruit weight, fruit length, number of fruits per cluster, average distance between clusters, percent of blossom drop, uniform fruit ripening, pericarp thickness and pH of fruit juice were affected by the density factor. The results of mean comparisons showed that with the increase of density from 3 to 3.5, from 2.5 to 3.5 and from 2 to 3.5 plants per m^2, respectively, relative increases in yield per m^2 of 2.4%, 28.6% and 43.1% in Hirad, 6.8%, 21.75%, 23.4% in Dafnis and 22.7%, 35% and 51% in Izmono were observed. Correlation analysis of studied traits indicated that the fruit yield per m^2 had strong and significant correlation with the number of fruits per plant (r = 0.82**), but it had a negative and significant correlation with the average fruit weight (r = –0.46**).

Conclusions: According to the results of quantitative and qualitative traits of tomato, the density of 2 to 2.5 plants per m^2, which is considered in most hydroponic greenhouses in Golestan province, can be increased to 3.5 plants per m^2 density.

References:

1. Kumar Singh, S., Shahi, B.P., Singh, B.R., Kumar Singh, M., Singh, S.H and Kumar, M., 2021. The effects of plant density on the productivity of tomato hybrids in a newly developed low cost naturally ventilated greenhouse. Int. J. Plant Soil Sci. 33(3), 61–72.
2. Omid, M., Shafaii, A., 2004. Investigating greenhouse indoor temperature and humidity changes using a computer data collecting system. Res. Agron. Hortic. 64, 67–73. (In Persian with English abstract)

روابط خاک و گیاه/ سال چهاردهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۲ / صفحات ۳۷-۲۱ مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.47176/jspi.14.3.20652 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

تراکم بوته مطلوب گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در سیستم کشت بدون خاک در استان گلستان

شهربانو وکیلی بسطام[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۲۶)

چکیده

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یک گیاه مهم تجاری و غذایی است. عوامل متعددی بر رشد و نمو گوجه‌فرنگی در گلخانه تأثیرگذارند، که یکی از آن‌ها تراکم کاشت مناسب است. بررسی و معرفی بهترین تراکم بوته در سیستم آب‌کشت، می‌تواند اثر چشم‌گیر بر افزایش عملکرد و بهره‌وری تولید داشته باشد. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار با دو تیمار رقم (سه رقم دافنیس، ایزمونو و هیراد) و تراکم (در چهار سطح ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ بوته در مترمربع) در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سیستم آب‌کشت انجام شد. در این آزمایش، تعداد خوشه در بوته، تعداد گل در خوشه، درصد ریزش گل، تعداد میوه در خوشه، عملکرد کل بوته، عملکرد در مترمربع، تعداد میوه در بوته، تعداد میوه در مترمربع، میانگین وزن تک میوه، قطر میوه، طول میوه، ضخامت فرابر، همزمان‌رسی میوه‌ها، فاصله بین خوشه‌ها، عملکرد بازارپسند، مواد جامد محلول و pH آب میوه اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، عملکرد در مترمربع در تراکم زیاد بوته (۳/۵ بوته در مترمربع) در هر سه رقم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها بود. به‌طوری‌که با افزایش تراکم از ۳ به ۳/۵، از ۲/۵ به ۳/۵ و از ۲ به ۳/۵ به‌ترتیب در رقم هیراد ۲/۴، ۲۸/۶ و ۴۳/۱ درصد، در رقم دافنیس ۶/۸، ۲۱/۷، ۲۳/۴ درصد و در رقم ایزمونو ۲۲/۷، ۳۵ و ۵۱ درصد افزایش عملکرد در مترمربع مشاهده شد. نتایج نشان داد با افزایش تراکم بوته در مترمربع درصد ریزش گل در بوته‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار مواد جامد محلول در یک رقم (هیراد) در تراکم بیش‌تر مشاهده شد و در دو رقم دیگر تحت تأثیر تراکم قرار نگرفت. pH آب میوه در دو رقم دافنیس و ایزمونو در تراکم ۳/۵ بوته در مترمربع به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سایر تیمارها بود، ولی در رقم هیراد تفاوتی در این صفت بین تراکم‌های مختلف مشاهده نشد. بر اساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود تراکم کشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در سیستم آب‌کشت در استان گلستان می‌تواند تا ۳/۵ بوته در مترمربع افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: گوجه‌فرنگی، سیستم آب‌کشت، رقم هیبرید، فروت‌ست، ویژگی‌های عملکردی.

۱- بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

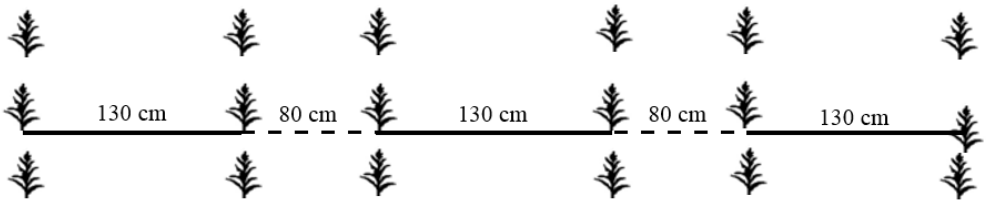
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sh.vakili@areeo.ac.ir

مقدمه

گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یک گیاه مهم تجاری و غذایی است و به‌دلیل ارزش صادراتی آن، جایگاه ویژه‌ای در بین سبزی‌ها دارد (Singh et al., 2014). عوامل متعددی بر رشد و نمو گیاهان گلخانه‌ای تأثیر گذارند. عواملی مانند نور، دما، رطوبت، دی‌اکسید کربن، فراهمی عناصر غذایی و آب و pH خاک و آب از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌باشند. با وجود این‌که گلخانه یک محیط بسته است، ولی کاملاً از محیط بیرون جدا نیست؛ بنابراین شرایط درون گلخانه تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی بیرون دائماً در حال تغییر است (Omid and Shafaii, 2004). در تشکیل ماده خشک، دو عامل فتوسنتز و تعرق نقش اساسی دارند و از سوی دیگر عوامل محیطی نور و دما، بر هر دوی این فرآیندها تأثیر گذارند (Choi et al., 2012). غلظت توصیه شده عناصر غذایی در تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای بر اساس نور محیط و دمای گلخانه در مناطق مختلف تولید متفاوت است (Gent, 2004). بنابراین اجرای یک الگوی کاملاً یکسان مدیریت تولید در محصولات گلخانه‌ای در مناطق آب‌وهوایی مختلف مناسب نیست.

یکی از فنون مدیریتی در افزایش کمّی و کیفی میوه استفاده از تراکم مناسب است (Kumar Singh et al., 2021). به‌علت هزینه زیاد کشت‌های گلخانه‌ای و برای حصول پتانسیل تولیدی گیاه، نیاز است تا عملیات کشاورزی دقیق‌تری مانند بهینه‌سازی تراکم بوته‌ها در واحد سطح صورت گیرد. یکی از اهداف کشاورزی در گلخانه استفاده بهتر از فضای این گلخانه‌ها به‌ویژه هنگام استفاده از سیستم‌های کشت بدون خاک با افزایش چند برابری تراکم گیاه است (Raviv and Lieth, 2008). در مطالعات گذشته در مورد تراکم بوته در کشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای نتایج متفاوتی گزارش شده است (Charlo et al., 2007; Amundson et al., 2012; Ayarna et al, 2021; Kumar Singh et al., 2021). Kaur et al, 2021 گزارش کردند که در کشت بدون خاک، با استفاده از تراکم بیش‌تر بوته عملکرد بیش‌تری حاصل می‌شود. در پژوهشی در هند در کشت خاکی افزایش فاصله بین بوته‌ها و کاهش تراکم (سه سطح تراکم ۴/۹، ۳/۴ و ۲/۷ بوته در مترمربع) در کشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، باعث افزایش تعداد میوه‌ها، میانگین وزن میوه، عملکرد میوه در بوته، عملکرد در واحد سطح و عملکرد میوه بازارپسند در هر بوته گردید (Kumar Singh et al., 2021). در پرورش گوجه-فرنگی گیلاسی در کشت خاکی Charlo et al. (2007) گزارش کردند که افزایش فاصله بوته روی ردیف از ۳۰ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، موجب افزایش عملکرد در بوته شد، ولی عملکرد در مترمربع را کاهش داد. درصورتی‌که افزایش تراکم بوته موجب افزایش عملکرد در واحد سطح و کاهش اندازه میوه و تولید میوه غیربازارپسند گردید. Amundson et al. (2012) اثر فاصله روی ردیف (۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ سانتی‌متر) در سیستم کشت بدون خاک در گلخانه را بر عملکرد کل و وزن میوه بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که فاصله بوته ۷۰ سانتی‌متر موجب افزایش تعداد میوه در بوته نسبت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر گردید و با افزایش فاصله بوته‌ها میزان عملکرد در واحد سطح کاهش یافت. Ayarna et al. (2021) با انجام پژوهشی در دانشگاه چیبا در ژاپن (در منطقه‌ای با آب‌وهوای گرم) با بررسی دو تراکم ۴/۷ و ۲/۱ بوته در مترمربع در سیستم کشت بدون خاک گزارش کردند که با کشت ارقام متحمل به گرما در تراکم زیاد، عملکرد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به‌میزان ۴/۸ برابر افزایش می‌یابد.

تراکم بوته گوجه‌فرنگی در کشت ارقام با رشد نامحدود و کشت درازمدت در اغلب گلخانه‌های استان گلستان (در هر دو کشت خاکی و بدون خاک)، ۲/۵ بوته در مترمربع (۲۵۰۰۰ بوته در هکتار) در کشت‌های تک ردیفه و دو ردیفه در نظر گرفته می‌شود. بررسی اثر افزایش و کاهش تراکم بوته نسبت به تراکم موجود در گلخانه‌ها، در عملکرد کمّی و کیفی میوه‌ها و پیشنهاد بهترین تراکم می‌تواند اثر چشم‌گیر در افزایش عملکرد و بهره‌وری تولید در گلخانه‌های کشت بدون خاک استان داشته باشد.



شکل ۱. آرایش بوته‌ها در کشت دو ردیفه گوجه‌فرنگی در گلخانه (افزایش و کاهش تراکم بوته با تغییر فاصله بوته روی ردیف انجام شد).

Fig. 1. Bi-row planting system of tomato in greenhouse (The increase and decrease of the plant density was done by changing the distance between the plants on the row).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با مساحت حدود ۱۶۰ مترمربع در سیستم آب‌کشت انجام شد. تعداد سه رقم هیبرید گلخانه‌ای گوجه-فرنگی دافنیس، ایزمونو و هیراد با چهار سطح تراکم ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ بوته در مترمربع کشت شدند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (فاکتور اول رقم در دو سطح و فاکتور دوم تراکم بوته در چهار سطح) با تعداد ۱۰ بوته در هر واحد آزمایشی اجرا شد. آرایش بوته‌ها طوری در نظر گرفته شد که فاصله بین ردیف برای تمامی بوته-ها از یک طرف ۸۰ سانتی‌متر و از طرف دیگر ۱۳۰ سانتی‌متر بود (شکل ۱) و تنها فاصله روی ردیف تراکم را تغییر داد. برای شروع کشت، بذرها در شهریورماه در سینی نشاء (ترکیبی حجمی مساوی از کوکوپیت و پرلیت) کشت شدند. پس از حدود ۳۰ روز که نشاها ۴ تا ۶ برگ حقیقی تولید کردند (مهرماه) به بستر اصلی گلخانه انتقال داده شدند. کشت به‌صورت دو ردیفه در کیسه‌های رشد با عرض ۴۰ سانتی‌متر (با ترکیب حجمی ۷۰٪ کوکوپیت و ۳۰٪ پرلیت) انجام شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۴۷، ۳۸، ۳۲ و ۲۷ سانتی‌متر از یکدیگر (به‌ترتیب تراکم ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ بوته در مترمربع) در نظر گرفته شد. برای تغذیه در طول دوره رشد گیاه و تولید محصول از فرمول‌های رایج سیستم آب‌کشت براساس فصل سال و مراحل رشدی گیاه استفاده شد (Hochmuth and Hochmuth, 2021) که در جدول (۱) ارائه شده است. هرس و تربیت بوته‌ها (به‌صورت تربیت تک شاخه‌ای)، نخ‌کشی و پایین‌کشی بوته‌ها و گرده‌افشانی مکانیکی با ضربه‌زدن به سیم‌های مهار قیم به-صورت دوره‌ای انجام شد و بوته‌ها تا اواسط فروردین در گلخانه نگهداری شدند.

صفات تعداد خوشه، تعداد گل در خوشه، ریزش گل، تعداد میوه در خوشه، عملکرد کل بوته، عملکرد در مترمربع، عملکرد بازارپسند در مترمربع (عملکرد بازارپسند از حذف میوه‌های کم‌تر از ۵۰ گرم و بدشکل حاصل گردید)، تعداد میوه در بوته، تعداد میوه در مترمربع، میانگین وزن تک میوه، قطر میوه، طول میوه، ضخامت فرابر، همزمان‌رسی میوه‌ها (متوسط نسبت میوه-های رسیده در خوشه‌ها)، فاصله بین خوشه‌ها، مواد جامد محلول و pH آب میوه مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار آماری R 3.5.1 انجام شد. مقایسه میانگین صفات با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح آماری ۵٪ انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار MS Excel ترسیم شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر عامل تراکم بر صفات تعداد میوه در خوشه، میانگین فاصله خوشه‌ها، ریزش گل، هم‌زمان-رسی میوه‌ها، عملکرد میوه در بوته، عملکرد میوه در مترمربع، تعداد میوه در بوته، تعداد میوه در مترمربع، میانگین وزن میوه، طول میوه، ضخامت فرابر، pH آب میوه معنی‌دار شد (جداول ۲، ۳ و ۴). اثر عامل رقم بر صفات تعداد میوه در خوشه، تعداد خوشه در بوته، تعداد گل در خوشه، فاصله اولین خوشه گل، میانگین فاصله خوشه‌ها، عملکرد میوه در بوته، عملکرد میوه در مترمربع، تعداد میوه در بوته، تعداد میوه در مترمربع، میانگین

جدول ۱. غلظت عناصر غذایی در سیستم آب‌کشت گوجه‌فرنگی در مراحل مختلف رشدی گیاه.

Table 1. Nutrients concentration for tomato hydroponic culture in different growth stages.

Stage of growth مرحله رشدی					
عناصر Nutrients	انتقال نشا تا خوشه ۱ Transplant to 1st cluster	اولین خوشه تا خوشه ۲ 1st cluster to 2nd cluster	دومین خوشه تا خوشه ۳ 2nd cluster to 3rd cluster	سومین خوشه تا خوشه ۵ 3rd cluster to 5th cluster	پنجمین خوشه تا خوشه آخر 5th cluster to termination
N	70	95	120	150	140
P	50	50	50	50	45
K	120	150	200	250	200
Ca	150	180	180	200	180
S	50	50	40	50	50
Mg	40	45	50	60	50
B	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zn	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Fe	2	2	2	2	2
Cu	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mn	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Mo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مربوط به خوشه گل تحت تأثیر تیمار رقم و تراکم بوته.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) of cultivar and plant density effects on cluster characteristics.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد میوه در خوشه Number of fruits per cluster	تعداد خوشه در بوته Number of clusters per plant	تعداد گل در خوشه Number of flowers per cluster	فاصله اولین خوشه The distance of first cluster	میانگین فاصله خوشه‌ها Average distance between clusters	ریزش گل Blossom drop%
رقم Cultivar	2	1.57^{**}	7.96^{*}	3.34^{**}	62.93^{*}	25.02^{**}	0.52^{ns}
تراکم Density	3	2.14^{**}	0.63^{ns}	0.19^{ns}	10.87^{ns}	25.71^{**}	2.20^{**}
برهم‌کنش رقم × تراکم Cultivar × Density	6	0.78^{**}	1.28^{ns}	0.12^{ns}	50.10^{**}	8.26^{*}	0.79^{**}
خطا Error	24	0.19	1.47	0.38	13.40	2.68	0.21
ضریب تغییرات CV		10.95	13.04	11.14	6.56	6.18	14.46
برش‌دهی اثر تراکم بوته در سه رقم هیبرید گوجه‌فرنگی Slicing of plant density effect in 3 hybrid tomato cultivars							
هیراد (HIRAD)	3	0.940^{*}	1.67^{*}	0.083^{ns}	61.66^{*}	0.766^{ns}	1.057^{*}
دافنیس (DAFNIS)	3	3.139^{**}	0.368^{ns}	0.344^{ns}	50.88^{*}	36.95^{*}	1.003^{*}
ایزمونو (IZMONO)	3	0.275^{ns}	0.050^{ns}	0.009^{ns}	18.52^{ns}	1.636^{ns}	1.724^{*}

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: significant at the 5 and 1% probability levels, respectively, ns: non-significant

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکردی تحت تأثیر تیمارهای رقم و تراکم بوته.

Table 3. Analysis of variance (mean squares) of cultivar and plant density effects on yield characteristics.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد در بوته Yield per plant	عملکرد در مترمربع Yield per m^2	عملکرد اقتصادی در مترمربع Marketable yield per m^2	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	تعداد میوه در مترمربع Number of fruits per m^2	میانگین وزن میوه Average fruit weight	قطر میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit length
رقم Cultivar	2	1105200**	9554960**	2265854^{ns}	1172.6**	**9316	2511.6**	30.75^{ns}	95.84**
تراکم Density	3	1183319**	19503175**	2901913^{ns}	49.2**	5976**	676.7*	7.88^{ns}	17.93**
برهم‌کنش رقم × تراکم Cultivar × Density	6	107563^{ns}	1377119^{ns}	1248895^{ns}	19.1**	500**	306.5**	3.26^{ns}	9.39**
خطا Error	24	156791	926284	1519352	3.7	36	104.3	9.06	1.85
ضریب تغییرات CV		10.90	9.79	21.55	3.98	4.55	6.81	4.84	2.54
برش‌دهی اثر تراکم بوته در سه رقم هیبرید گوجه‌فرنگی Slicing of plant density effect in 3 hybrid tomato cultivars									
هیراد (HIRAD)	3	144509^{ns}	11043^{ns}	3901.7^{ns}	3.17^{ns}	68.31**	473.6*	7.62^{ns}	34.52**
دافنیس (DAFNIS)	3	343025*	13274^{ns}	4332.2^{ns}	59.74**	35.29*	497.3*	4.59^{ns}	11.80*
ایزمونو (IZMONO)	3	158727^{ns}	15491^{ns}	4010.6^{ns}	15.38^{ns}	77.32**	883.9**	2.19^{ns}	0.377

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns : غیرمعنی‌دار

* and **: significant at the 5 and 1% probability levels, respectively, ns: non-significant

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه تحت تأثیر تیمارهای رقم و تراکم بوته.

Table 4. Analysis of variance (mean squares) of cultivar and plant density effects on fruit physicochemical traits.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	هم‌زمان‌رسی Simultaneous fruit ripening	ضخامت فرابر Pericarp thickness	مواد جامد محلول Total soluble solids	pH
رقم Cultivar	2	26.99^{ns}	0.22^{ns}	0.18^{ns}	0.07**
تراکم Density	3	199.95**	0.67*	0.14^{ns}	0.04*
برهم‌کنش رقم × تراکم Cultivar × Density	6	99.88^{ns}	0.26^{ns}	0.11^{ns}	0.02^{ns}
خطا Error	24	41.73	0.16	0.07	0.01
ضریب تغییرات CV		11.48	5.58	5.54	2.68
برش‌دهی اثر تراکم بوته در سه رقم هیبرید گوجه‌فرنگی Slicing of plant density effect in 3 hybrid tomato cultivars					
هیراد (HIRAD)	3	124.81*	0.229*	0.088^{ns}	0.003^{ns}
دافنیس (DAFNIS)	3	133.25^{ns}	0.661*	0.176^{ns}	0.061*
ایزمونو (IZMONO)	3	141.64*	0.308^{ns}	0.093^{ns}	0.013^{ns}

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns : غیرمعنی‌دار

* and **: significant at the 5 and 1% probability levels, respectively, ns: non-significant

وزن میوه، طول میوه و pH آب میوه معنی‌دار شد. از آنجایی‌که اثر برهم‌کنش تراکم بوته و رقم بر تعداد زیادی از صفات از لحاظ آماری معنی‌دار شد، برای بررسی بهتر اثر تراکم بوته در سه رقم مورد استفاده در آزمایش، تجزیه واریانس برش‌دهی اثر تراکم در ارقام مختلف نیز انجام شده و مقایسه میانگین بر اساس نتایج برش‌دهی انجام شد (جداول ۲، ۳ و ۴ و شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

تعداد میوه در خوشه

میانگین تعداد میوه در خوشه در تراکم‌های کم‌تر بوته، بیش‌تر بود. در رقم هیراد و دافنیس تراکم ۲ بوته در مترمربع و در رقم ایزمونو تراکم ۲ و ۲/۵ بوته بیش‌ترین تعداد میوه در خوشه را تولید نمودند (شکل ۲-الف). افزایش تعداد میوه در بوته در گوجه‌فرنگی با کاهش فاصله بوته‌ها و افزایش تراکم در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است (Buke and Sintayehu, 2020).

تعداد خوشه در بوته

نتایج مقایسه میانگین در دو رقم دافنیس و ایزمونو تفاوت معنی‌داری در تیمارهای مختلف تراکم بوته نشان نداد، اما در رقم هیراد تیمارهای تراکم ۲ و ۳ بوته با اختلاف معنی‌دار با تیمارهای ۲/۵ و ۳/۵ بوته در مترمربع بیش‌ترین تعداد خوشه در بوته را در طی فصل رشد در گلخانه تولید نمودند (شکل ۲-ب). در بررسی اثر تراکم بوته در کشت گوجه‌فرنگی محدود، رشد صفت تعداد خوشه در بوته در ارقام مختلف متفاوت بود به‌طوری‌که در یک رقم با افزایش تراکم، تعداد خوشه‌ها کاهش یافته و در رقم دیگر بالعکس بود (Shanmukhi et al., 2017).

تعداد گل در خوشه

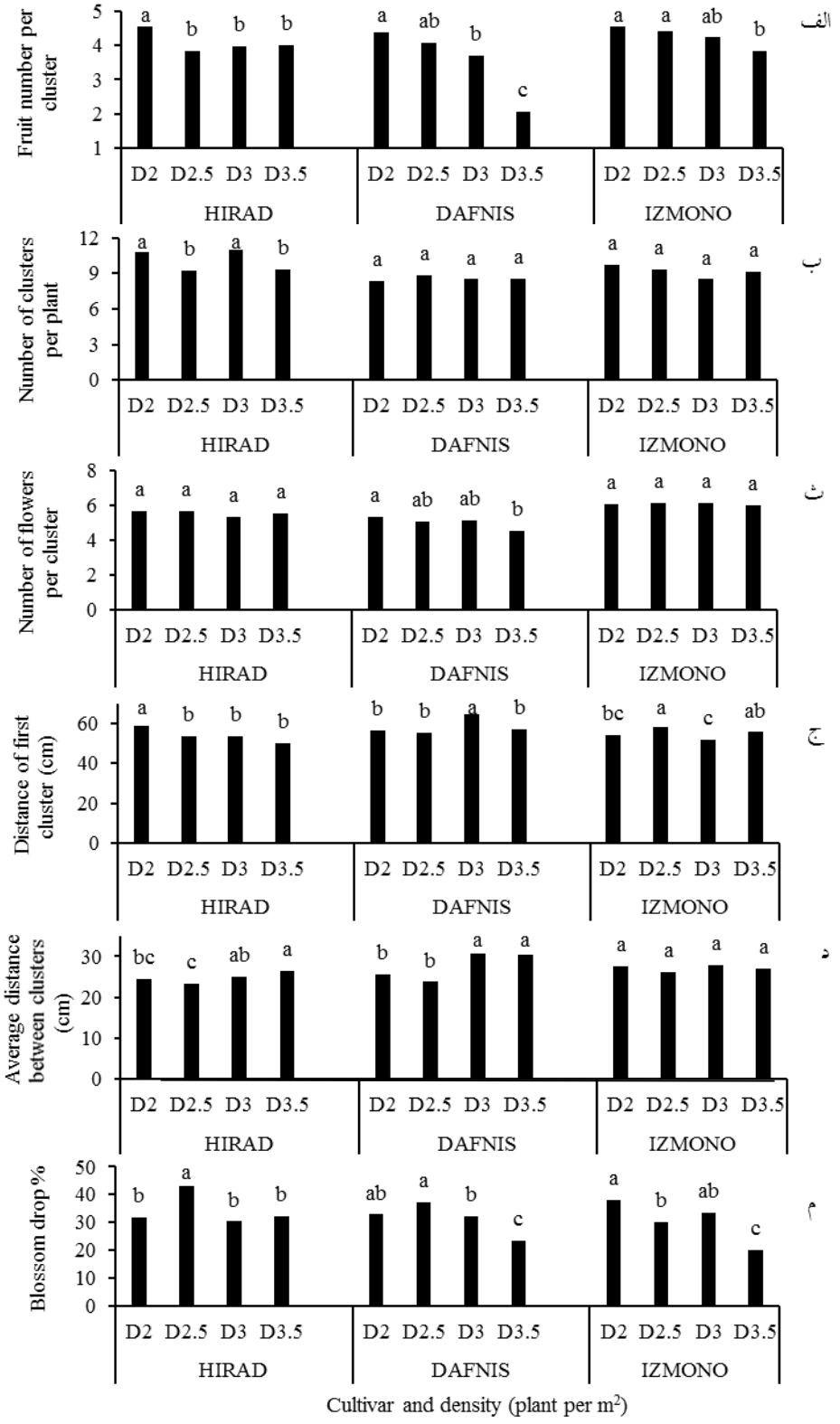
نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در تیمارهای مختلف تراکم بوته برای صفت تعداد گل در خوشه در دو رقم هیراد و ایزمونو نشان نداد، اما در رقم دافنیس با افزایش تراکم بوته تعداد گل در خوشه کاهش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد گل در خوشه متعلق به تراکم ۲ بوته در مترمربع و کم‌ترین متعلق به تراکم ۳/۵ بوته بود (شکل ۲-ث). Shanmukhi et al. (2017) گزارش کردند در تراکم بیش‌تر، طول دوره رویشی افزایش یافته و میزان گلدهی کاهش می‌یابد.

فاصله اولین خوشه

اثر تراکم بوته در سه رقم گوجه‌فرنگی مورد استفاده در آزمایش برای صفت فاصله اولین خوشه متفاوت بود. بیش‌ترین مقدار این صفت در رقم هیراد با تراکم ۲ بوته در مترمربع، در رقم دافنیس با تراکم ۳ بوته در مترمربع و در رقم ایزمونو با تراکم ۲/۵ بوته در مترمربع مشاهده شد (شکل ۲-ج). Cardoso et al. (2018) گزارش کردند تراکم بوته در فاصله اولین خوشه در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شرایط کشت بدون خاک، تفاوتی ایجاد نکرد.

میانگین فاصله خوشه

براساس نتایج مقایسه میانگین در رقم هیراد و دافنیس تیمارهای با تراکم بیش‌تر میانگین فاصله خوشه بیش‌تری داشتند و در رقم ایزمونو تیمارهای تراکم مختلف بوته اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (شکل ۲-د). Cardoso et al. (2018) گزارش کردند در کشت گوجه‌فرنگی با رشد نامحدود در شرایط بدون خاک، در تیمارهای تراکم ۵/۵، ۶/۶، ۸/۳ و ۱۱/۱ بوته در مترمربع، با افزایش تراکم، ساقه بوته‌ها برای دریافت نور بیش‌تر تمایل به رشد بیش از حد نشان ندادند و تراکم روی ارتفاع بوته تأثیرگذار نبود. اما در پژوهش دیگری در کشت سیستم آب‌کشت گوجه‌فرنگی با افزایش تراکم بوته از ۲/۷ به ۴/۱ بوته در مترمربع، ارتفاع بوته و فاصله خوشه‌ها افزایش یافت (Ayarna et al., 2021). همان‌طور که معنی‌داری اثر برهم‌کنش تیمار رقم و تراکم بوته بر این صفت در جدول (۲) نشان می‌دهد، تغییر رشد رویشی ساقه با افزایش تراکم، به ژنتیک رقم مورد بررسی نیز بستگی دارد.



شکل ۲. مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی اثر تراکم بوته در سه رقم هیبرید برای صفات مربوط به خوشه گل با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است).

Fig. 2. Mean comparison of slicing of plant density effect on three hybrid cultivars for traits related to cluster; Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

درصد ریزش گل

شکل (۲-م) نشان می‌دهد برخلاف انتظار در ارقام ایزمونو و دافنیس کم‌ترین مقدار ریزش گل در تراکم ۳/۵ بوته در مترمربع مشاهده شد و در رقم هیراد به‌غیر از تراکم ۲/۵ بوته، بقیه با هم تفاوت نداشتند. در پژوهشی افزایش تراکم بوته گوجه‌فرنگی در کشت خاکی گلخانه‌ای از ۲/۵ بوته به ۳/۱ و از ۳/۱ به ۵ بوته در مترمربع منجر به ریزش گل در هر مرحله افزایش تراکم بوته گردید (Chau and Chinh, 2021). در پژوهش دیگری در کشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای با افزایش تراکم از ۲/۶ به ۲/۸ و ۳/۲ بوته در مترمربع تغییری در میزان تلقیح گل و فروت‌ست ایجاد نشد ولی با افزایش تراکم به ۳/۶ بوته در مترمربع ریزش گل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Buke and Sintayehu, 2020). در سیستم آب‌کشت گوجه‌فرنگی در تراکم کم ۲/۷ و تراکم زیاد ۴/۱ بوته در مترمربع، تفاوتی در مقدار ریزش گل و فروت‌ست گزارش نشد (Ayarna et al., 2021). در تفسیر این نتایج می‌توان گفت که در کشت خاکی رقابت بین بوته‌ها برای جذب مواد غذایی از خاک یکی از عوامل مهم برای افزایش ریزش گل در تراکم زیاد است. در کشت‌های بدون خاک عناصر غذایی به‌صورت یون در دسترس گیاهان قرار می‌گیرند. بنابراین رقابت بین بوته‌ها برای جذب مواد غذایی نسبت به کشت‌های خاکی به حداقل و یا حتی به صفر می‌رسد (Gautam et al., 2021). اما در سیستم آب‌کشت در این آزمایش در شرایط اقلیمی استان گلستان، با انجام هرس مناسب و تربیت مناسب بوته‌ها، تراکم ۳/۵ بوته در مترمربع در نورسانی به خوشه‌ها (که در رأس ساقه‌ها واقع شده‌اند) برای تلقیح گل و فروت‌ست مشکلی ایجاد نکرده است.

عملکرد میوه

مقایسه میانگین عملکرد میوه گوجه‌فرنگی (گرم در بوته) بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ارائه شده در شکل (۳-الف) نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار عملکرد در بوته در هر سه رقم هیراد، دافنیس و ایزمونو در تراکم ۲ بوته در مترمربع به‌دست آمد. بیش‌تر بودن عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در بوته در تراکم کم‌تر بوته در مترمربع پیش از این نیز گزارش شده است (Buke and Sintayehu, 2020). برای صفت عملکرد کل میوه در مترمربع، بیش‌ترین عملکرد در مترمربع در رقم دافنیس و ایزمونو در تراکم ۳/۵ بوته در مترمربع و در هیراد در هر دو تراکم ۳ و ۳/۵ بوته در مترمربع حاصل شد و کم‌ترین عملکرد مربوط به تراکم ۲ بوته در مترمربع بود. به‌طوری‌که در هر سه رقم با کاهش تراکم بوته، عملکرد میوه در مترمربع کاهش یافت. عملکرد بیش‌تر میوه در مترمربع در تراکم بیش‌تر اثر مستقیم افزایش تعداد بوته در مترمربع است. نتایج مشابهی مربوط به عملکرد بیش‌تر بوته گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در تراکم بیشتر بوته در سیستم کشت بدون خاک گزارش شده است (Maboko and Du Plooy, 2013).

بر اساس شکل (۳-ب) تراکم بوته در هر سه رقم مورد بررسی بر صفت عملکرد بازارپسند تأثیرگذار بود و بیش‌ترین عملکرد بازارپسند در مترمربع در تراکم‌های بیش‌تر بوته به‌دست آمد، اگرچه در برخی موارد مانند رقم هیراد تفاوت‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. افزایش عملکرد بازارپسند میوه گوجه-فرنگی با افزایش تراکم بوته در گلخانه در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شد (Law-Ogbomo and Egharevba, 2009; Menberu et al, 2012).

با توجه به این‌که طول مدت آزمایش در این پروژه حدود ۶ ماه بود و کشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای استان گلستان حدود ۹ تا ۱۰ ماه به طول می‌انجامد (انتقال نشاء از اواسط مردادماه – اواسط شهریور تا آخرین برداشت در اواخر اردیبهشت-اواسط خردادماه)، انتظار می‌رود عملکرد کل تولید شده و نسبت افزایش عملکرد حاصله با افزایش تراکم بوته، بیش‌تر از این مقدار باشد.

تعداد میوه

براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (شکل ۳-ث)، کم‌ترین میانگین تعداد میوه در بوته در رقم هیراد و دافنیس در تراکم ۳/۵ بوته در مترمربع و در رقم ایزمونو در تراکم‌های ۲/۵، ۳ و

۳/۵ بوته مشاهده شد. ولی با افزایش تراکم بوته، صفت تعداد میوه در مترمربع افزایش یافت (شکل ۳-ج). به‌طوری‌که در رقم هیراد و ایزمونو تراکم ۳/۵ بوته در مترمربع و در رقم دافنیس تیمار ۳ بوته در مترمربع بیش‌ترین تعداد میوه در واحد مترمربع را با اختلاف معنی‌دار داشتند و در تراکم کم ۲ بوته با تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها، کم‌ترین تعداد میوه در مترمربع برداشت شد. در کشت گوجه‌فرنگی با رشد محدود در مزرعه با فواصل بیش‌تر بوته‌ها و تراکم کم‌تر در واحد سطح، صفات تعداد میوه در واحد سطح افزایش یافت (Martins et al., 2018; Mehla et al., 2000). برخلاف آن در کشت گوجه‌فرنگی با رشد نامحدود در گلخانه با سیستم آب‌کشت با افزایش تراکم بوته، افزایش تعداد میوه در مترمربع تا ۴۲٪ گزارش شد (Ayarna et al., 2021).

میانگین وزن میوه

در رقم هیراد، میانگین وزن تک میوه در تراکم ۲، ۳ و ۳/۵ بوته با هم تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی در تراکم ۳/۵ بوته در مترمربع با تفاوت معنی‌دار کاهش یافت (شکل ۳-د). در رقم دافنیس کم‌ترین میانگین وزن میوه در تراکم ۳ بوته در مترمربع مشاهده شد و سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشتند. در رقم ایزمونو تیمار تراکم ۲ بوته بیش‌ترین میانگین وزن میوه و تیمار ۳ بوته در مترمربع کم‌ترین میانگین وزن میوه را داشت. Mehla et al. (2000) گزارش کردند در کشت گوجه‌فرنگی در مزرعه با تراکم کم‌تر در واحد سطح، میوه‌های درشت‌تری در بوته‌ها تولید شد. فاصله بیش‌تر بوته‌ها موجب نفوذ بیش‌تر نور و هوادهی بهتر در کانوپی بوته‌ها می‌گردد، میزان فتوسنتز در برگ‌های تغذیه‌دهنده به میوه بیش‌تر شده، در نتیجه میزان مواد خشک بیش‌تری تولید شده و وزن خشک میوه افزایش می‌یابد (Kumar Singh et al., 2021).

اندازه میوه

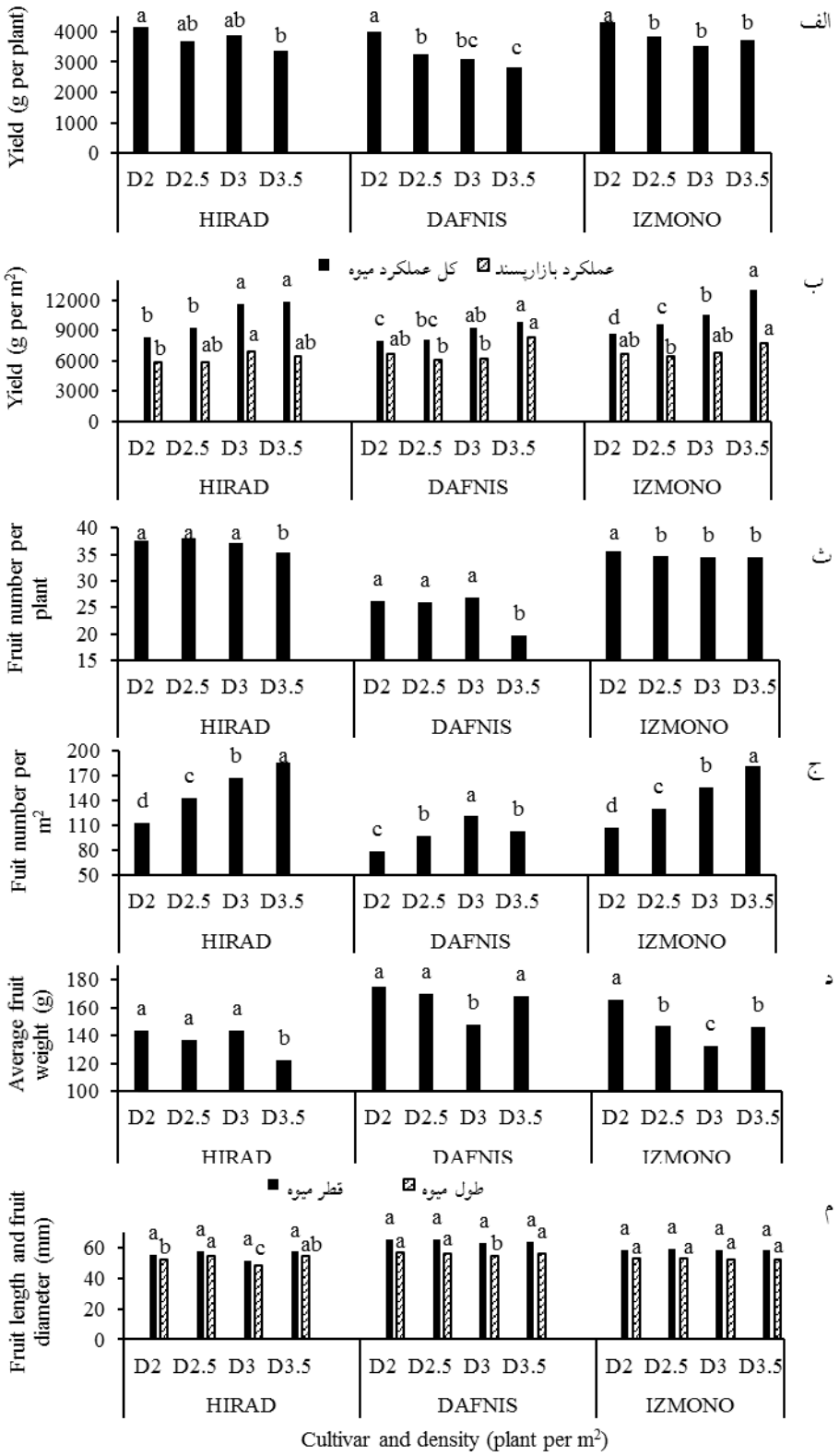
صفت قطر میوه در هیچ‌کدام از ارقام تحت تأثیر تیمارهای مختلف تراکم بوته قرار نگرفت (شکل ۳-م). برای صفت طول میوه واکنش ارقام به تیمارهای مختلف تراکم بوته متفاوت بود، به‌طوری‌که رقم هیراد در تراکم ۲/۵ بوته در مترمربع بزرگ‌ترین طول میوه و در تراکم ۳ بوته کوچک‌ترین اندازه طول میوه را داشت. رقم دافنیس تراکم ۳ بوته در مترمربع کوچک‌ترین طول میوه را داشت و سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. رقم ایزمونو در این صفت تفاوت معنی‌داری در تیمارهای مختلف تراکم بوته نشان نداد. در پژوهشی در بررسی اثر تراکم در کشت بدون خاک در گوجه‌فرنگی، کاهش فاصله بوته‌ها و افزایش تراکم بوته، عملکرد کل، عملکرد میوه‌های دارای اندازه بزرگ و متوسط را افزایش داد (Shanmukhi et al., 2017).

هم‌زمان‌رسی

صفت درصد هم‌زمان‌رسی میوه‌ها در تیمارهای تراکم بوته در ارقام مورد بررسی متفاوت از هم بود (شکل ۴-الف). در رقم هیراد در تیمارهای ۲/۵ و ۳ بوته، در رقم دافنیس در تیمارهای ۳ و ۳/۵ بوته و در رقم ایزمونو در تراکم ۳ بوته در مترمربع، درصد هم‌زمان‌رسی میوه‌ها بیش‌تر از سایر تیمارها بود. پژوهش‌های متعددی نشان داده است نور با تأثیر بر رونویسی ژن‌های رسیدگی میوه یا فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با متابولیت-های اولیه و یا ثانویه در تنظیم تجمع رنگدانه‌ها و رسیدگی میوه نقش دارد (Alba et al., 2000; Adams-Phillips et al., 2004). در دو رقم هیراد و ایزمونو، کاهش هم‌زمان‌رسی میوه‌ها در تراکم ۳/۵ بوته در مترمربع می‌تواند به‌خاطر دریافت نور کم‌تر در خوشه‌های پایین بوته‌ها باشد. در رقم دافنیس تعداد میوه در بوته کم‌تر از دو رقم دیگر بود (شکل ۳-ث) و لذا نایکنواختی دریافت نور در میوه‌های یک خوشه در این رقم کم‌تر بود.

ضخامت فرابر

شکل (۴-ب) اثر تراکم بوته در ارقام مورد بررسی در صفت ضخامت فرابر را نشان می‌دهد. ضخیم‌ترین فرابر در رقم هیراد متعلق به تیمار ۲ بوته در مترمربع، در رقم دافنیس به تیمارهای



شکل ۳. مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی اثر تراکم بوته در سه رقم هیبرید برای صفات عملکردی با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است).

Fig. 3. Mean comparison of slicing of plant density effect on three hybrid cultivars for traits related to yield; Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

۲، ۳ و ۳/۵ بوته در مترمربع و در رقم ایزمونو متعلق به تیمار ۳/۵ بوته در مترمربع بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۲ و ۲/۵ بوته در مترمربع نداشت.

مواد جامد محلول

مقایسه میانگین تفاوت معنی‌داری در مواد جامد محلول بین ارقام دافنیس و ایزمونو نشان نداد (شکل ۴-ث). در رقم هیراد تراکم ۳/۵ بوته بیش‌ترین و تراکم ۲ بوته کم‌ترین درجه مواد جامد محلول را داشتند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد تراکم بوته بر مقدار مواد جامد محلول میوه گوجه‌فرنگی تأثیرگذار است (Borraz et al., 1991). افزایش مقدار مواد جامد محلول در اثر افزایش تراکم بوته در گوجه‌فرنگی پیش از این گزارش شده است (Martins et al., 2018). با این وجود در پژوهشی در مورد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در سیستم آب‌کشت، مواد جامد محلول تحت تأثیر تراکم بوته قرار نگرفت (Cardoso et al., 2018).

pH آب میوه

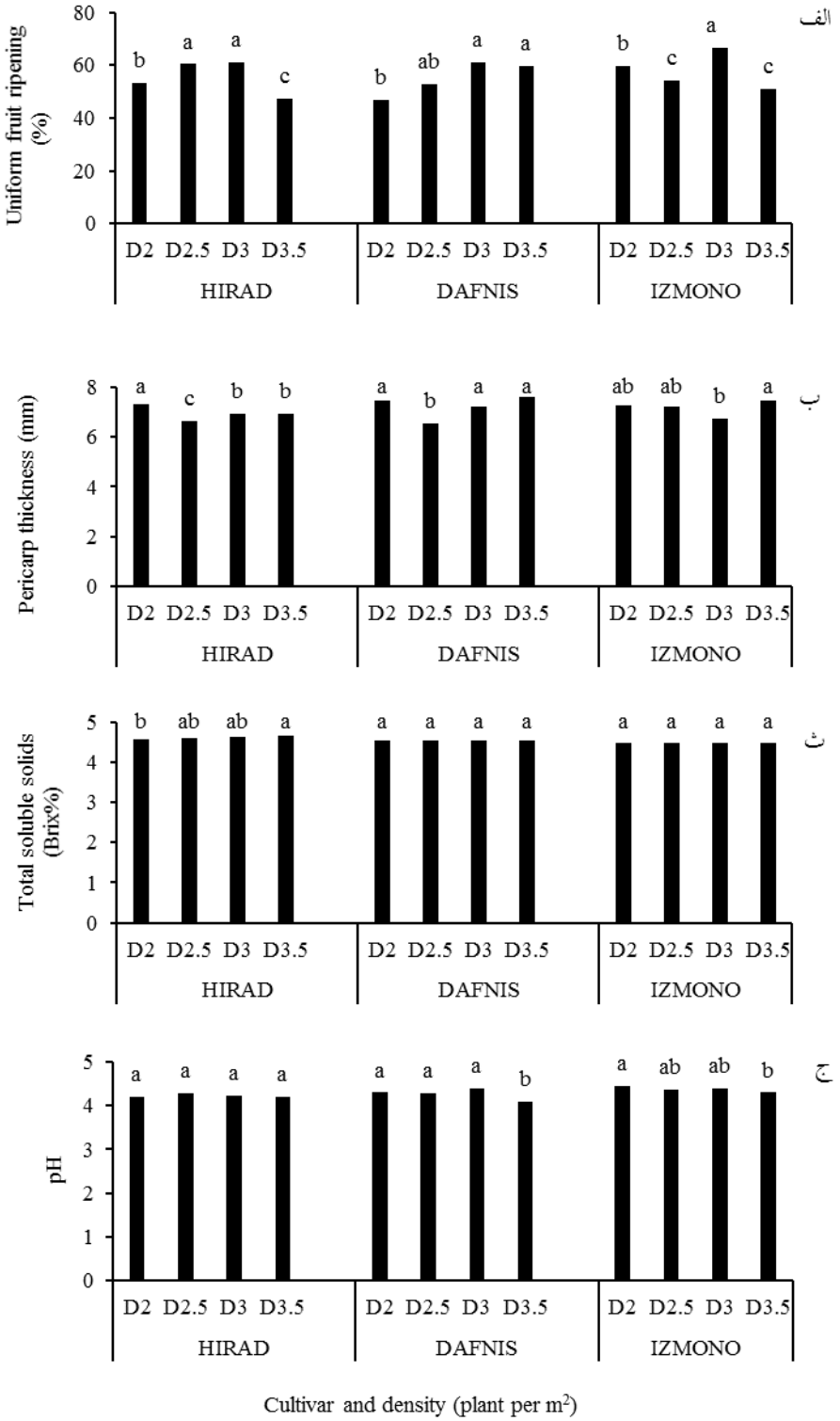
براساس مقایسه میانگین میزان pH آب میوه گوجه‌فرنگی، در رقم هیراد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف تراکم بوته مشاهده نشد (شکل ۴- ج). در رقم دافنیس بین تیمارهای ۲، ۲/۵ و ۳ بوته در مترمربع بیش‌ترین مقدار pH و در تیمار ۳/۵ کم‌ترین مقدار آن مشاهده شد. در رقم ایزمونو با تراکم ۲ بوته در مترمربع، بیش‌ترین مقدار و در تیمار ۳/۵ کم‌ترین مقدار pH مشاهده شد که با تیمارهای ۲/۵ و ۳ بوته در مترمربع اختلاف معنی‌دار نداشتند. کاردوسو و همکاران (Cardoso et al., 2018) گزارش کردند که مقدار pH تحت تأثیر تغییر تراکم بوته قرار نگرفت.

همبستگی بین صفات مورد بررسی

نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد عملکرد میوه در بوته همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با تعداد میوه در بوته، تعداد میوه در خوشه، تعداد گل در خوشه و مقدار pH آب میوه (به‌ترتیب **۰/۵۵، **۰/۴۸، *۰/۳۶ و *۰/۳۸) و همبستگی منفی معنی‌دار با میانگین فاصله خوشه‌ها (*۰/۳۵-) داشت. یعنی با افزایش ارتفاع بوته و زیاد شدن فاصله خوشه‌ها از هم، عملکرد میوه در بوته کاهش یافت. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد با تعداد گل و میوه در بوته در ارقام گوجه‌فرنگی توسط ایسلام و همکاران (Islam et al., 2010) نیز گزارش شده است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، عملکرد میوه در مترمربع با تعداد میوه در بوته همبستگی بسیار زیاد و معنی‌داری نشان داد (**۰/۸۲)، ولی با میانگین وزن میوه همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (**۰/۴۶-). همبستگی عملکرد در مترمربع با درصد ریزش گل نیز بر اساس انتظار منفی و معنی‌دار بود که نشان می‌دهد هر عاملی که موجب ریزش گل و عدم تشکیل فروت‌ست شود بر عملکرد نهایی مؤثر خواهد بود. صفت تعداد میوه در بوته با میانگین وزن میوه همبستگی منفی معنی‌دار (**۰/۵۸-) داشت، بدین معنی که همان گونه که انتظار می‌رفت با افزایش تعداد میوه در بوته از میانگین وزن میوه کاسته شد؛ بنابراین صفت تأثیرگذار در افزایش عملکرد نهایی تعداد میوه بود. همبستگی عملکرد با صفت تعداد میوه در پژوهش‌های مختلف نیز گزارش شده است (Dhaliwal and Nandpuri, 1988; Dhankhar and Dhankhar, 2006; Islam et al., 2010; Kumar et al., 2013; Kumari and Sharma, 2014; Mahmood, 2008; Sabokkhiz et al., 2013; Srivastava et al., 2013). مشابه نتایج پژوهش حاضر، ایسلام و همکاران (Islam et al., 2010) نشان دادند که تعداد میوه در گیاه بیش‌ترین اثر مثبت را بر عملکرد داشته است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش میزان عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در مترمربع در تیمارهای مختلف تراکم بوته و رقم از ۸ تا ۱۳ کیلوگرم متغیر بود. با افزایش تراکم از ۳ به ۳/۵، از ۲/۵ به ۳/۵ و از ۲ به ۳/۵ بوته در مترمربع به‌ترتیب در رقم هیراد ۲/۴، ۲۸/۶ و ۴۳/۱ درصد، در رقم دافنیس ۶/۸، ۲۱/۷، ۲۳/۴ درصد و در رقم



شکل ۴. مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی اثر تراکم بوته در سه رقم هیبرید برای صفات فیزیکوشیمیایی میوه با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است).

Fig. 4. Mean comparison of slicing of plant density effect on three hybrid cultivars for fruit physicochemical traits; Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

جدول ۵. ضرایب همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری شده

Table 5. Simple correlation coefficients for the studied traits

صفات	۱. عملکرد میوه در بوته Yield per plant	۲. عملکرد میوه در m^2 Yield per m^2	۳. عملکرد بازارپسند در m^2 Marketable yield per m^2	۴. تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	۵. تعداد میوه در m^2 Number of fruits per m^2	۶. میانگین وزن میوه Average fruit weight	۷. قطر میوه Fruit diameter	۸. طول میوه Fruit length	۹. تعداد میوه در خوشه Number of fruits per cluster	۱۰. تعداد خوشه در بوته Number of clusters per plant	۱۱. تعداد گل در خوشه Number of flowers cluster	۱۲. فاصله اولین خوشه The distance of first cluster	۱۳. میانگین فاصله خوشه Average distance between clusters	۱۴. ریزش گل Blossom drop%	۱۵. هم‌زمان- رسی Simultaneous fruit ripening	۱۶. ضخامت فرابر Pericarp thickness	۱۷. مواد جامد محلول Total soluble solids	۱۸. pH
۱	1																	
۲	0.15	1																
۳	0.14	0.39*	1															
۴	0.55**	0.28	-0.33*	1														
۵	-0.02	0.82**	-0.04	0.60**	1													
۶	0.01	-0.46**	0.23	-0.58**	-0.73**	1												
۷	0.23	0.09	0.17	-0.01	-0.04	-0.02	1											
۸	-0.05	-0.16	-0.15	0.00	-0.06	-0.14	0.62**	1										
۹	0.48**	-0.21	-0.33*	0.53**	0.00	-0.25	-0.24	-0.14	1									
۱۰	0.27	0.04	-0.22	0.42*	0.16	-0.18	0.17	0.07	0.29	1								
۱۱	0.36*	0.13	-0.13	0.55**	0.28	-0.34*	-0.21	-0.26	0.56**	0.27	1							
۱۲	-0.02	-0.18	0.05	-0.33*	-0.38*	0.17	-0.01	-0.10	0.03	-0.01	0.06	1						
۱۳	-0.35*	0.15	0.12	-0.45**	-0.04	0.03	-0.26	-0.32	-0.40*	-0.13	-0.10	0.37*	1					
۱۴	0.20	-0.41**	-0.22	0.26	-0.20	-0.08	0.13	0.36*	0.22	0.16	0.25	-0.14	-0.33*	1				
۱۵	-0.17	-0.07	-0.21	0.04	0.04	-0.04	-0.12	-0.20	-0.18	-0.04	0.01	-0.01	0.26	0.15	1			
۱۶	0.06	0.03	0.38*	-0.25	-0.20	0.34*	-0.01	-0.12	-0.25	-0.02	-0.11	0.26	0.27	-0.45**	-0.25	1		
۱۷	-0.14	0.15	-0.25	0.13	0.28	-0.39*	0.17	0.45	-0.03	0.25	-0.24	-0.22	-0.12	0.18	-0.06	-0.14	1	
۱۸	0.38*	-0.02	-0.06	0.12	-0.11	0.13	-0.13	-0.25	0.39*	0.01	0.37*	0.17	0.09	0.35*	0.14	-0.24	-0.40*	1

* and **: significant at the 5 and 1% probability levels, respectively

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ایزمونو ۲۲/۷، ۳۵ و ۵۱ درصد افزایش عملکرد در مترمربع مشاهده شد. این آزمایش نشان داد در صورت هرس و قیم‌بندی مناسب بوته‌ها، افزایش تراکم بوته تا ۳/۵ بوته در مترمربع بر میزان افزایش یا شدت خسارت ریزش گل تأثیرگذار نیست، چرا که خوشه‌های جدید در رأس بوته‌ها واقع می‌شوند و سایه-اندازی بوته‌ها در بخش میانی و پایین کانوپی بوته‌ها تا حدودی موجب غیرهمرسی میوه در خوشه‌ها شده و در تلقیح گل و فروت‌ست تأثیر منفی ندارد. بنابراین در شرایط گلخانه‌های استان گلستان و اقلیم‌های مشابه تراکم ۳/۵ بوته گوجه‌فرنگی در مترمربع در کشت‌های بدون خاک و سیستم آب‌کشت پیشنهاد می‌شود.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله از گزارش نهایی پروژه پژوهشی با عنوان "بررسی آثار تراکم بوته بر عملکرد سه هیبرید گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی در شرایط کشت هیدروپونیک در استان گلستان" و شماره مصوب ۰۰۱۱۵۹-۱۰۸-۳۳-۵۷-۲" استخراج شده است. نویسنده از مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان به‌خاطر فراهم کردن شرایط اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌نماید.

تضاد منافع

نویسنده مقاله اذعان دارد هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Alba, R., Cordonnier-Pratt, M.M., Pratt, L.H., 2000. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. Plant Physiol. 123, 363–370.
2. Adams-Phillips, L., Barry, C., Giovannoni, J., 2004. Signal transduction systems regulating fruit ripening. Trends Plant Sci. 9, 331–338.
3. Amundson, S., Deyton, D.E., Kopsell, D.A., Hitch, W., Moore, A., Sams, C.E., 2012. Optimizing plant density and production systems to maximize yield of greenhouse-grown ‘trust’ tomatoes. Hortthechnology 22(1), 44–48.
4. Ayarna, A.W., Tsukagoshi, S., Nkansah, G.O., Maeda, K., 2021. Effect of plant density on the yield of hydroponically grown heat-tolerant tomato under summer temperature conditions. Am. J. Plant Sci. 12(6), 901–913.
5. Borraz, C.J., Castilho, S.F., Robeles, E.P., 1991. Efectos del despunte y la densidad de poblacion sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill), em hidroponía bajo invernadero. Chapingo 14, 26–30.
6. Buke, T., Sintayehu, A., 2020. Review on effects of planting density on growth performance of tomato (*Lycopersicon esculentum* MILL.). Int. J. Curr. Res. Acaademic Rev. 8(9), 58–63.
7. Cardoso, F.B., Martinez, H.E.P., Silva, D.J.H., Milagres, C.C., Barbosa, J.G., 2018. Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. Pesqui. Agropecu. Trop. 48(4), 340–349.
8. Charlo, H.C.O., Castoldi, R., Ito, L.A., Fernandes, C., Braz, L.T., 2007. Productivity of cherry tomatoes under protected cultivation carried out with different types of pruning and spacing. Acta Hortic. 761, 323–326.
9. Chau, M.H., Chinh, N.X., 2021. Effect of plant density and fertilizer application rates on growth, fruit yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in greenhouse condition. Asian J. Plant Res. 8(3), 22–31.
10. Choi, S.Y., Kil, M.J., Kwon, Y.S., Jung, J.A., Park, S.K., 2012. Effect of different light emitting diode (LED) on growth and flowering in chrysanthemum. Flower Res. J. 20(3), 128–133.
11. Dhaliwal, M.S., Nandpuri, K.S., 1988. Genetics of yield and its components in tomato. Annu. Biol. 4, 75–80.
12. Dhankhar, S.K., Dhankhar, B.S., 2006. Variability, heritability, correlation and path coefficient studies in tomato. J. Hortic. Sci. 35(1&2), 179–181.
13. Hochmuth, G.J., Hochmuth, R., 2021. Nutrient solution formulation for hydroponic (Perlite, Rockwool, NFT) Tomatoes in Florida. IFAS Extension HS796.
14. Islam, B., Ivy, N., Rasul M., Zakaria M., 2010. Character association and path analysis of exotic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. Bangladesh J. Plant Breed. Genet. 23(1), 13–18.
15. Gautam, R., Singh, P.K., Kumar, P., Kumar, S., Singh, M.C., Dhital, S., Rani, M., Sharma, V. K.K., Jnapika, K.H., Kumar, J., 2021. Advances in soilless cultivation technology of horticultural crops. Indian J. Agric. Sci. 91(4), 503–508.
16. Gent, M.P.N., 2004. Yield of greenhouse tomato in response to supplemental nitrogen and potassium. Acta Hortic. 633, 341–348.

17. Kaur, R., Kumar Singh, J., Kumar Singh, S., 2021. Soilless agriculture: a modern and advanced method for agriculture development. Intern. J. Hortic. Crop Sci. Res. 11, 1–7.
18. Kumar, D., Kumar, R., Kumar, S., Bhardwaj, M.L., Thakur, M.C., Kumar, R., Thakur, K.S., Dogra, B., Vikram, S., Thakur A., Kumar, P., 2013. Genetic variability, correlation and path coefficient analysis in tomato. Int. J. Veg. Sci. 19(4), 13–323.
19. Kumar Singh, S., Shahi, B.P., Singh, B.R., Kumar Singh, M., Singh, S.H and Kumar, M., 2021. The effects of plant density on the productivity of tomato hybrids in a newly developed low cost naturally ventilated greenhouse. Int. J. Plant Soil Sci. 33(3), 61–72.
20. Kumari, S. Sharma, M.K., 2014. Genetic variability studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Veg. Sci. 40(1), 83–86.
21. Law-Ogbomo, K.E., Egharevba, R.K.A., 2009. Effects of planting density and NPK fertilizer application on yield and yield components of tomato (*Lycospersicon esculentum* Mill) in forest location. World J. Agric. Res. 5, 152–158.
22. Maboko, M.M., Du Plooy, C.P., 2013. High-density planting of tomato cultivars with early decapitation of growing point increased yield in a closed hydroponic system. Acta Agric. Scand. 63(8), 672–682.
23. Martins, D.S., Watthier, M., Schwengber, J.E., Silva, D.R., Schubert, R.N., Nogueira Peil, R.M., 2018. Planting density and number of stems for ecological crop determinate growth tomato. Afr. J. Agric. Res. 13(12), 544–550.
24. Mehla C.P., Srivastava, V.K., Jage, S., Mangat, R., Singh, J., Ram, M., 2000. Response of tomato varieties to N and P fertilization and spacing. Indian J. Agric. Res. 34(3), 182–184.
25. Menberu, K., Derbew, B., Ali, M., Yehenew, G., 2012. Effect of intra-row spacing and variety on fruit yield and quality of fresh market Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under Jimma Condition, Ethiopia. Ethiop. J. Sci. Technol. 3, 32–42.
26. Omid, M., Shafaii, A., 2004. Investigating greenhouse indoor temperature and humidity changes using a computer data collecting system. Res. Agron. Hortic. 64, 67–73. (In Persian with English abstract)
27. Raviv, M., Lieth, H.J., 2008. Soilless Culture: Theory and Practice. Elsevier, London, UK.
28. Sabokkhiz, M., Nejhadshamloo, A., Malekzadeh Shafaroudy, S., 2014. Adaptation evaluation and comparison tomato cultivars under saline irrigation in Khorasan Razavi province. In: 1st International and 13th Iranian Crop Science Congress and 3 rd Iranian Seed Science and Technology Conference, August 26, Seed and Plant Improvement Research Institute, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract)
29. Seleguini, A., Seno, S., Junior, M. J. A. F., 2006. Espaçamento entre plantas e número de racimos para tomateiro em ambiente protegido. Acta Sci. 28(3), 359–363.
30. Shakeel, H., Jatoi, A., Ghafoor, A, Mahmood, T., 2008. Path coefficient analysis of yield component in tomato (*Lycopersicon esculentum*). Pak. J. Bot. 40(2), 627–635.
31. Shanmukhi, C.H., Reddy, M.L.N., Dorajee Rao, A.V.D., Babu, A.P., 2017. Effect of planting density and fertigation on growth and yield of processing tomato varieties. Int. J. Adv. Sci. Eng. Technol. 5 (3), 78–81.
32. Singh, T., Singh, N., Bahuguna, A., Nautiyal M., Sharma, V.K., 2014. Performance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrids for growth, yield and quality inside polyhouse under mid hill condition of Uttarakhand. Am. J. Drug Discov. Dev. 4, 202–209.
33. Srivastava, K., Kumari, K., Singh, S., Kumar, R., 2013. Association studies for yield and its component traits in tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). Plant Arch. 13(1), 105–112.