

## Combined effects of silicon amino chelate and phosphorus on photosynthetic indices and quantitative and qualitative characteristics of strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Paros) in greenhouse soil culture

DOI: [10.22055/ppd.2025.48281.2225](https://doi.org/10.22055/ppd.2025.48281.2225)

Edris Shabani<sup>1</sup>, Shohreh Zivdar<sup>2</sup>, Afrasyab Rahnama Ghahfarokhi<sup>3</sup>, Abbas Danaeifar<sup>4</sup> and Mehran Davoudi Arshad<sup>5</sup>

1,2,4- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3,5- Associate professor and postgraduate degree, respectively, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

### Abstract

### Introduction

Most of Iran's soils are calcareous soils. In these types of soils, the amount of phosphorus absorption decreases with the increase of soil pH. Phosphorus absorption from the root surface happens quickly, and as a result, the area of 0.2-1 mm around the root becomes empty of phosphorus. An effective strategy to deal with phosphorus deficiency stress is the secretion of organic acid anions by plant roots. Current evidence shows that the application of silicon greatly increases the secretion of organic acids by the roots. According to the findings of the researchers, there is a positive correlation between the availability of silicon and the mobility of phosphorus in the plant. In addition, the external use of silicon also helps to increase the activation of phosphorus from mineral surfaces. Considering the lack of phosphorus resources in the world, the low mobility of phosphorus in the soil, the increase in its price and its excessive use, conducting studies related to phosphorus fertilizers in order to increase the absorption of phosphorus and fruit quality of greenhouse crops seems to be completely necessary.

### Materials and methods

The experiment was conducted in the form of a split plot design and in the form of a basic randomized complete block design with 3 replications. The treatments of this experiment included different levels of phosphorus fertilizer (0, 7.5, 15 and 30 kg/ha, in the main plots) and three levels of silicon amino chelate spraying (0, 2 and 4 ml/L, in the secondary plots). The measurement of chlorophyll a, b and total chlorophyll was done using a spectrophotometer in mature leaves developed according to the method suggested by Arnon (1967). Phosphorus was also measured by colorimetric method. During the experiment, strawberry fruits from different treatments were harvested and counted. The weight of a single fruit was measured by a digital scale with an accuracy of 0.01 g. The total weight of the fruit in each plant was calculated and recorded from the sum of the weight of the harvested fruits during the growth period. The dry matter percentage of the fruit was calculated by dividing the dry weight of the sample by the fresh weight of the sample multiplied by 100 (Tabatabaei, 2013). During the experiment, fruits from different treatments were harvested and their length and diameter were measured by calipers and reported in centimeters. The firmness of the fruit tissue was measured by a firmness meter, and the pH and EC of the fruit extract were

measured by a pH meter and an EC meter, respectively. Also, the percentage of TSS was measured by a refractometer.

### **Result and Discussion**

The results of this experiment showed that the application of 15 kg/ha of phosphorus with a concentration of 2 ml/L of silicon amino chelate ( $P_3Si_2$ ) had the highest amount of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll. The highest phosphorus concentration of the whole plant (0.98%) was obtained at the level of 15 kg/ha of phosphorus and the concentration of 2 ml/L of silicon amino chelate. Based on the results of average comparisons, the highest amount of total fruit weight (599.93 g) was observed in the treatment of 15 kg/ha of phosphorus and the level of 4 ml/L of silicon amino chelate ( $P_3Si_3$ ), which had no significant difference with the  $P_3Si_2$  treatment.  $P_3Si_2$  and  $P_3Si_3$  treatments compared to the control treatment ( $P_1Si_1$ ) caused an increase of 67.62 and 68.33 percent of the total weight of strawberry fruits, respectively. The highest percentage of fruit dry matter (7.38%) was observed in the  $P_3Si_2$  treatment, which had no significant difference with the  $P_3Si_3$  treatment (6.97%). In many studies, an increase in chlorophyll and yield was observed after the application of foliar spraying with silicon. The use of silicon strongly increases the secretion of malate and citrate by the roots, and in this way, it helps to mobilize and absorb more phosphorus in conditions of its deficiency (Hu et al., 2021).

### **Conclusion**

According to the results, it is recommended to use a concentration of 2 ml/L in silicon amino chelate and a level of 15 kg/ha of monopotassium phosphate to achieve maximum growth, yield and quality of strawberry fruits.

**Keywords:** Fertilizer, Foliar application, Growth, Plant nutrition, Yield.

# اثرات ترکیبی آمینوکلات سیلیسیم و فسفر بر شاخص‌های فتوسنتزی و خصوصیات کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم پاروس (*Fragaria ananassa* cv. Paros) در کشت خاکی گلخانه‌ای

ادریس شعبانی<sup>۱\*</sup>، شهره زیودار<sup>۲</sup>، افراسیاب راهنما<sup>۳</sup>، عباس دانایی‌فر<sup>۴</sup> و مهران داودی ارشد<sup>۵</sup>

۱ (نویسنده مسئول) و ۲ و ۴- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (edris.shabani@scu.ac.ir)

۳ و ۵- به ترتیب دانشیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

## چکیده

یکی از مشکلات عمده در خاک‌های آهکی ایران کمبود فسفر می‌باشد. همچنین میزان غلظت فسفر محلول خاک و قابلیت دسترسی آن برای گیاه، بسیار کم است. با توجه به کمبود منابع فسفره در جهان و استفاده بی‌رویه از آن، انجام مطالعات مرتبط با کودهای شیمیایی به ویژه کودهای فسفره در محصولات زراعی و گلخانه‌ای امری ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی با کمبود سیلیسیم ورود فسفات غیر آلی به ساختمان ترکیبات حاوی فسفر مانند ATP، ADP و قندهای دارای فسفات کاهش می‌یابد. سیلیسیم سبب افزایش مقاومت به تنش‌های زنده و غیر زنده، بهبود عدم توازن مواد غذایی، افزایش جذب نور و فتوسنتز، افزایش شاخص‌های رشدی، عملکردی و کیفی محصولات، ارتقاء بهره‌وری آب و ترسیب زیستی دی اکسید کربن اتمسفر می‌گردد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر محلول پاشی آمینوکلات سیلیسیم (Si) بر جذب فسفر (P) و خصوصیات کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی در کشت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا آزمایشی به صورت طرح اسپلیت پلات و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در شهرستان ایذه استان خوزستان در زمستان ۱۴۰۱ تا بهار ۱۴۰۲ اجرا گردید. تیمارهای این آزمایش شامل سطوح مختلف کود فسفره منوپتاسیم فسفات (۰، ۷/۵، ۱۵ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار، در کرت‌های اصلی) و سه سطح محلول پاشی آمینوکلات سیلیسیم (۰، ۲ و ۴ میلی‌لیتر بر لیتر، در کرت‌های فرعی) بودند. رقم توت‌فرنگی مورد استفاده در این آزمایش از نوع پاروس بود. بوته‌ها در طول فصل رشد به صورت هر ده روز یکبار با غلظت‌های مختلف فسفر از منبع منوپتاسیم فسفات به صورت کود آبیاری تغذیه شدند. همچنین محلول پاشی آمینوکلات سیلیسیم به صورت هر دو هفته یکبار به صورت کاربرد برگی بر بوته‌های مورد نظر در هر پلات آزمایشی اعمال گردید. نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد ۱۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره همراه با غلظت ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم ( $P_3Si_2$ ) دارای بیش‌ترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل بود و به ترتیب سبب افزایش ۴۲/۳۰، ۴۲/۴۲ و ۴۲/۳۵ درصدی کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد ( $P_1Si_1$ ) شدند. بر اساس نتایج مقایسات میانگین در سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر با افزایش غلظت آمینوکلات سیلیسیم تا سطح ۲ میلی‌لیتر در لیتر غلظت فسفر کل گیاه افزایش معنی داری یافت ولی مجدداً در سطح ۴ میلی‌لیتر در لیتر کاهش یافت، به گونه‌ای که بالاترین غلظت فسفر کل گیاه (۰/۹۸ درصد) در سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و غلظت ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم به دست آمد. بر اساس نتایج مقایسات میانگین، بالاترین میزان وزن کل میوه (۵۹۹/۹۳ گرم) در تیمار ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و سطح ۴ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم ( $P_3Si_3$ ) و تیمار ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و سطح ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم ( $P_3Si_2$ ) (۵۹۷/۴۳ گرم) مشاهده گردید. تیمار  $P_3Si_3$  و  $P_3Si_2$  در

قیاس با تیمار شاهد ( $P_1Si_1$ ) به ترتیب سبب افزایش  $67/62$  و  $68/33$  درصدی وزن کل میوه‌های توت‌فرنگی گردید. نتایج اثرات متقابل نشان داد که با افزایش غلظت فسفر تا سطح  $15$  کیلوگرم در هکتار درصد ماده خشک میوه در سطوح  $2$  و  $4$  میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم افزایش و مجدداً کاهش یافت. بیش‌ترین درصد ماده خشک میوه ( $7/38$  درصد) در تیمار  $P_3Si_2$  مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با تیمار  $P_3Si_3$  ( $6/97$ ) نشان نداد. با توجه به نتایج حاصل، استفاده از غلظت  $2$  میلی‌لیتر در آمینوکلات سیلیسیم و سطح  $15$  کیلوگرم در هکتار منوپتاسیم فسفات جهت حصول حداکثر رشد، عملکرد و کیفیت میوه‌های توت‌فرنگی توصیه می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** تغذیه گیاه، رشد، کود، عملکرد، محلول‌پاشی برگ

توت‌فرنگی از ریزمیوه‌های مهم است که استفاده از آن به دلیل عطر و طعم مناسب، خواص بهداشتی و دارویی مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار گرفته است. همچنین این محصول به شکل تازه‌خوری و فرآوری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. مصرف توت‌فرنگی از نظر میزان بالای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، عناصر مغذی و ویتامین C بسیار مورد توجه می‌باشد. مقادیر بالای آنتوسیانین موجود در گوشت میوه توت‌فرنگی به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی از اندام‌های بدن در برابر تخریب ترکیبات اکسیدانت جلوگیری می‌نماید، همچنین فنول موجود در آن به دلیل خواص ضدالتهابی، ضد سرطانی و حفاظت از قلب و عروق کرونری توجه مصرف‌کنندگان را به خود جلب کرده است (Tulipani et al., 2009).

از میان عناصر در طبیعت سیلیسیم بعد از اکسیژن دومین عنصر (۲۸ درصد) فراوان پوسته زمین می‌باشد (Ranjbar et al., 2020). اگرچه در برخی منابع علمی به عنوان یک عنصر ضروری معرفی نشده است، اما در برخی از گیاهان به عنوان یک عنصر ضروری در نظر گرفته شده است. یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که این عنصر تأثیرات آشکاری بر شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاهان دارد (Seyed lor et al., 2013). سیلیسیم با قرارگیری در دیواره سلولی اپیدرم برگ‌ها و دیواره سلولی آوندهای چوبی به ترتیب مانع از دست دادن آب توسط تعرق کوتیکولی و فرو ریختن آوندها در شرایط تعرق شدید می‌گردد (Marschner, 1995). بررسی منابع علمی مختلف نشان می‌دهد که این عنصر سبب افزایش مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی، بهبود فعالیت‌های آنزیمی، بهبود عدم توازن مواد غذایی، کاهش سمیت مواد معدنی، بهبود خصوصیت مکانیکی بافت‌های گیاه، افزایش جذب نور و فتوسنتز، افزایش شاخص‌های رشدی، عملکردی و کیفی محصولات، ارتقاء بهره‌وری آب و ترسیب زیستی دی‌اکسید کربن اتمسفر می‌گردد (Mali & Aery, 2008; Song et al., 2013; Abdollahi et al., 2024). استفاده از منابع مختلف سیلیسیم می‌تواند بر پروتئین‌های دخیل در مسیر فتوسنتز موثر باشد (Park et al., 2018). در واقع سیلیسیم اثرات سمی ناشی از تنش‌های غیرزیستی به‌عنوان مثال، تنش شوری، خشکی، فلزات سنگین، تابش اشعه ماوراء بنفش و عدم تعادل مواد مغذی را کاهش می‌دهد. جالب توجه است که توانایی سیلیسیم برای کاهش تنش‌های مختلف حتی در گونه‌هایی با پتانسیل تجمع کم سیلیسیم مانند گوجه‌فرنگی نیز تایید شده است (Luyckx et al., 2017). همچنین این عنصر می‌تواند بر رشد زایشی گیاهان اثرگذار باشد. سیلیسیم با ته نشین شدن در دیواره‌های چوبی شده سلول‌ها بر پایداری آن‌ها اثرگذار است. همچنین سیلیسیم به عنوان یک ماده ساختمانی به انرژی کمتری در مقایسه با لیگنین نیاز دارد. در نیشکر با کمبود سیلیسیم، کاهش قابل ملاحظه‌ای در ورود فسفات غیر آلی به ساختمان ترکیبات حاوی فسفر مانند ATP، ADP و قندهای دارای فسفات مشاهده گردید (Tabatabaei, 2013). محلول-پاشی برگ‌های برخی عناصر، سبب افزایش عملکرد و میزان قند میوه طی برداشت اولیه و میانه فصل می‌گردد. بوته‌های جوان توت‌فرنگی انرژی خود را نه تنها به تولید برگ‌ها بلکه به توسعه ریشه‌های جدید نیز اختصاص می‌دهند و بلافاصله تولید گل و میوه می‌نمایند. در نتیجه تغذیه برگ‌ها می‌تواند در زمان تشکیل و توسعه قسمت ریشه گیاهان بسیار مفید واقع می‌گردد (Molaie et al., 2018). در مقایسه با کودهای معمولی در کشاورزی، آمینوکلات‌ها شکل کارآمدتری از کود هستند و به عملکرد بهتر گیاه و کاهش خطرات زیست محیطی منجر می‌شوند. با توجه به اینکه آمینوکلات‌ها به سرعت در بازارهای کود در بسیاری از کشورها توسعه پیدا کردند، ولی اطلاعات علمی کافی در مورد پاسخ دقیق محصولات به این نوع کودها وجود ندارد (Souri & Yarahmadi, 2016). آمینواسیدها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در افزایش رشد و عملکرد گیاهان موثر هستند (et al., 2012). آمینواسیدها ترکیبات شیمیایی آلی و واحدهای

توت‌فرنگی از ریزمیوه‌های مهم است که استفاده از آن به دلیل عطر و طعم مناسب، خواص بهداشتی و دارویی مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار گرفته است. همچنین این محصول به شکل تازه‌خوری و فرآوری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. مصرف توت‌فرنگی از نظر میزان بالای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، عناصر مغذی و ویتامین C بسیار مورد توجه می‌باشد. مقادیر بالای آنتوسیانین موجود در گوشت میوه توت‌فرنگی به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی از اندام‌های بدن در برابر تخریب ترکیبات اکسیدانت جلوگیری می‌نماید، همچنین فنول موجود در آن به دلیل خواص ضدالتهابی، ضد سرطانی و حفاظت از قلب و عروق کرونری توجه مصرف‌کنندگان را به خود جلب کرده است (Tulipani et al., 2009).

از میان عناصر در طبیعت سیلیسیم بعد از اکسیژن دومین عنصر (۲۸ درصد) فراوان پوسته زمین می‌باشد (Ranjbar et al., 2020). اگرچه در برخی منابع علمی به عنوان یک عنصر ضروری معرفی نشده است، اما در برخی از گیاهان به عنوان یک عنصر ضروری در نظر گرفته شده است. یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که این عنصر تأثیرات آشکاری بر شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاهان دارد (Seyed lor et al., 2013). سیلیسیم با قرارگیری در دیواره سلولی اپیدرم برگ‌ها و دیواره سلولی آوندهای چوبی به ترتیب مانع از دست دادن آب توسط تعرق کوتیکولی و فرو ریختن آوندها در شرایط تعرق شدید می‌گردد (Marschner, 1995). بررسی منابع علمی مختلف نشان می‌دهد که این عنصر سبب افزایش مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی، بهبود فعالیت‌های آنزیمی، بهبود عدم توازن مواد غذایی، کاهش سمیت مواد معدنی، بهبود خصوصیت مکانیکی بافت‌های گیاه، افزایش جذب نور و فتوسنتز، افزایش شاخص‌های رشدی، عملکردی و کیفی محصولات، ارتقاء بهره‌وری آب و ترسیب زیستی دی‌اکسید کربن اتمسفر می‌گردد (Mali & Aery, 2008; Song et al., 2013; Abdollahi et al., 2024). استفاده از منابع مختلف سیلیسیم می‌تواند بر پروتئین‌های دخیل در مسیر فتوسنتز موثر باشد (Park et al., 2018). در واقع سیلیسیم اثرات سمی ناشی از تنش‌های غیرزیستی به‌عنوان مثال، تنش شوری، خشکی، فلزات سنگین، تابش اشعه ماوراء بنفش و عدم تعادل مواد مغذی را کاهش می‌دهد. جالب توجه است که توانایی سیلیسیم برای کاهش تنش‌های مختلف حتی در گونه‌هایی با پتانسیل تجمع کم سیلیسیم مانند گوجه‌فرنگی نیز تایید شده است (Luyckx et al., 2017). همچنین این عنصر می‌تواند بر رشد زایشی گیاهان اثرگذار باشد. سیلیسیم با ته نشین شدن در دیواره‌های چوبی شده سلول‌ها بر پایداری آن‌ها اثرگذار است. همچنین سیلیسیم به عنوان یک ماده ساختمانی به انرژی کمتری در مقایسه با لیگنین نیاز دارد. در نیشکر با کمبود سیلیسیم، کاهش قابل ملاحظه‌ای در ورود فسفات غیر آلی به ساختمان ترکیبات حاوی فسفر مانند ATP، ADP و قندهای دارای فسفات مشاهده گردید (Tabatabaei, 2013). محلول-پاشی برگ‌های برخی عناصر، سبب افزایش عملکرد و میزان قند میوه طی برداشت اولیه و میانه فصل می‌گردد. بوته‌های جوان توت‌فرنگی انرژی خود را نه تنها به تولید برگ‌ها بلکه به توسعه ریشه‌های جدید نیز اختصاص می‌دهند و بلافاصله تولید گل و میوه می‌نمایند. در نتیجه تغذیه برگ‌ها می‌تواند در زمان تشکیل و توسعه قسمت ریشه گیاهان بسیار مفید واقع می‌گردد (Molaie et al., 2018). در مقایسه با کودهای معمولی در کشاورزی، آمینوکلات‌ها شکل کارآمدتری از کود هستند و به عملکرد بهتر گیاه و کاهش خطرات زیست محیطی منجر می‌شوند. با توجه به اینکه آمینوکلات‌ها به سرعت در بازارهای کود در بسیاری از کشورها توسعه پیدا کردند، ولی اطلاعات علمی کافی در مورد پاسخ دقیق محصولات به این نوع کودها وجود ندارد (Souri & Yarahmadi, 2016). آمینواسیدها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در افزایش رشد و عملکرد گیاهان موثر هستند (et al., 2012). آمینواسیدها ترکیبات شیمیایی آلی و واحدهای

کاهش می‌یابد. بنابراین یکی از مشکلات عمده در خاک‌های آهکی ایران کمبود فسفر می‌باشد (Roozitalab et al., 2018). کاهش مقادیر فسفر در سیتوپلاسم و در نتیجه کاهش مقدار آن در کلروپلاست، سبب ایجاد اختلال در روند فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه می‌شود (Rao et al., 1989; Shabani et al., 2018). از طرفی میزان غلظت فسفر در محلول خاک محدوده بین ۰/۰۰۱ تا ۱ میلی گرم در لیتر و تحرک فسفر قابل دسترس گیاه در خاک (۰/۳ سانتی متر در سال) بسیار کم است (Shabani et al., 2018). جذب فسفر از سطح ریشه به سرعت اتفاق می‌افتد و در نتیجه آن محدوده ۰/۲-۱ میلی متری اطراف ریشه خالی از فسفر می‌شود. بنابراین استفاده از کودهای حاوی فسفر در طول دوره رشد در منطقه ریزوسفر گیاه انکار ناپذیر است (Mikkelsen, 2013). گیاه در مراحل آغازین رشد، فسفر قابل جذب خاک را به سرعت استفاده می‌کند اما در مراحل بعدی از انواع فسفوری که به اشکال قابل جذب در خاک درآمده است، استفاده می‌کنند (Mosali et al., 2006). با توجه به مطالب گفته شده، مشخص نمودن مقدار دقیق فسفر مورد نیاز جهت حصول حداکثر عملکرد و تغذیه بهینه طی رشد گیاه به دلیل شرایط پیچیده خاک امری دشوار است. به طور معمول در آغاز فصل رشد و زمان کاشت کل فسفر مورد نیاز در اختیار گیاه قرار می‌گیرد که در این روش به ویژه در ارقام پرمحصول در طول دوره رشد معمولاً کمبود فسفر ملاحظه می‌گردد و یا به دلیل تثبیت از دسترس گیاه خارج می‌گردد (Gray, 1977). مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی به منظور افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در واحد سطح، موجب آلودگی‌های زیست محیطی، به ویژه آلودگی منابع خاک و آب شده است که با ورود به منابع غذایی انسان، سلامت جامعه بشری را تهدید می‌کند (Khavazi et al., 2018) که در میان آنها مصرف بیش از حد و نامتعادل کودهای فسفره قابل توجه می‌باشد. بنابراین انجام مطالعات مرتبط با کودهای شیمیایی به ویژه کودهای فسفره در محصولات گلخانه‌ای امری کاملاً ضروری به نظر می‌رسد.

سازنده پروتئین‌ها می‌باشند و دارای نقش‌های ساختاری، متابولیکی و انتقال در گیاهان هستند (Liu et al., 2008). آمینو اسیدها پیش‌سازهای فیتوهورمون‌ها می‌باشند. به‌طور کلی اسیدهای آمینه باعث بهبود متابولیسم گیاه جهت افزایش عملکرد، افزایش کیفیت محصول، افزایش تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی، تسهیل و بهبود جذب، انتقال و استفاده از مواد مغذی و همچنین افزایش ویژگی‌های کیفی محصول می‌شوند (Calvo et al., 2014). با توجه به موارد مطرح شده، بهره جستن از غلظت‌های مختلف آمینوکلوات سیلیسیم در تیمارهای تغذیه‌ای محصولات گلخانه‌ای مانند توت‌فرنگی می‌تواند نتایج رضایت بخشی را به همراه داشته باشد که لزوم بررسی آن با توجه به افزایش چشمگیر قیمت کودهای فسفره، بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

فسفر یک عنصر کلیدی در تغذیه گیاه است که بر رشد و بهره‌وری گیاه تأثیر زیادی دارد. دسترسی فسفر موجود در خاک به دو دلیل بسیار کم است: تثبیت فسفر به اشکال آلی و همچنین تثبیت به وسیله اکسیدهای آلومینیوم و آهن در خاک‌های اسیدی و مواد معدنی نظیر کلسیم در خاک‌های آهکی که در هر دو مورد میزان شدت آن به pH خاک بستگی دارد. استراتژی‌های حیاتی برای بهبود عملکرد محصول در خاک‌های با کمبود فسفر، بهبود راندمان جذب فسفر از طریق افزایش دسترس بودن فسفر خاک و افزایش کارایی استفاده از فسفر در اندام‌های داخلی گیاه است (Hu et al., 2021). تنش بیش از حد فسفر نیز در برخی از خاک‌های گلخانه‌ای که در معرض کاربرد زیاد کود فسفر قرار می‌گیرند یا در کشت هیدروپونیک که غلظت فسفر بالایی دارد، مشاهده می‌شود. اثر مفید سیلیسیم بر کمبود فسفر یا تنش اضافی برای تعدادی از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Hu et al., 2021).

عمده خاک‌های ایران جز خاک‌های آهکی به حساب می‌آید. در این نوع خاک‌ها با افزایش pH خاک میزان جذب فسفر

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در یک مجتمع گلخانه‌ای واقع در شهرستان ایزه استان خوزستان طی زمستان ۱۴۰۱ تا بهار ۱۴۰۲ انجام شد. گلخانه فوق دارای سازه فلزی، پوشش پلاستیکی و فاقد سیستم گرمایشی بود. گیاهان در طول این آزمایش تحت دمای  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  روز و  $15 \pm 2^\circ\text{C}$  شب، رطوبت نسبی  $65 \pm 5$  و نور طبیعی خورشید رشد یافتند. تیمارهای این آزمایش شامل سطوح مختلف کود فسفره (۰، ۷/۵، ۱۵ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار، در کرت های اصلی) و سه سطح محلول پاشی آمینوکلرات سیلیسیم (۰، ۲ و ۴ میلی‌لیتر بر لیتر، در کرت های فرعی) بودند. این آزمایش به صورت طرح اسپلیت پلات و در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید.

رقم توت‌فرنگی مورد استفاده در این آزمایش از نوع پاروس بود. بوته‌های مورد نظر از یک واحد تولیدی در استان کردستان که بوته‌ها در آن نیاز سرمایی را گذرانده بودند، خریداری و پس از انتقال به گلخانه فوق‌الذکر در پلات‌های مشخص شده کشت گردید. نشاها قبل از کشت با قارچکش مانکوزب به مقدار ۱۰۰ گرم در ۱۰۰ لیتر آب ضدعفونی شدند. بافت خاک گلخانه مورد نظر از نوع لومی بوده است. درصد شن، لای، رس، کربن آلی و ماده آلی به ترتیب ۴۴٪، ۳۷٪، ۱۹٪، ۱/۰۷٪ و ۱/۸۴٪ و pH عصاره گل اشباع برابر ۷/۳۵ و EC آن نیز ۱/۹۵ dS/m بوده است. فسفر قابل جذب این خاک در حدود ۱۱ ppm و میزان سیلیسیم آن در حدود ۲/۴٪ بوده است.

به منظور اجرای این آزمایش برای هر کرت اصلی ۴ متر طول و ۶۰ سانتی‌متر عرض (عرض هر خط کاشت) در نظر گرفته شد. طول کرت‌های فرعی نیز یک متر در نظر گرفته شد به گونه‌ای که تعداد ۱۰ بوته توت‌فرنگی برای هر کرت فرعی قرار گرفت. به منظور رعایت اثر حاشیه فاصله بین

کرت‌های اصلی یک متر و فاصله بین کرت‌های فرعی نیم متر در نظر گرفته شد. بوته‌ها در طول فصل رشد به صورت هر ده روز یکبار با کودهای مرسوم و سطوح مختلف فسفر تغذیه شدند. کودهای مرسوم شامل تغذیه با کودهای نترات کلسیم، سولفات پتاسیم، نترات منیزیم، کلات آهن و محلول پاشی کود میکرو کامل بود. به منظور تامین فسفر از کود منوپتاسیم فسفات  $(\text{KH}_2\text{PO}_4)$  (۳۴-۵۲-۰) با نام تجاری Quali Max<sup>®</sup> از شرکت ردسا<sup>®</sup> و با گرید گلخانه‌ای استفاده گردید. این کود دارای ۲۲/۸ درصد فسفر خالص می‌باشد. سطوح مختلف کود فسفره (۰، ۷/۵، ۱۵ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار) از کود فوق‌الذکر تامین و پس از حل شدن در بشکه محلول غذایی توسط سیستم آبیاری و نوار تیپ پای بوته قرار گرفت. بطور متوسط در هر بار مقدار ۲۰-۱۵ لیتر محلول حاوی فسفر در ۱۰ دقیقه توسط سیستم آبیاری تامین گردید. همچنین محلول پاشی آمینوکلرات سیلیسیم با نام تجاری سیلیکامین<sup>®</sup> یا ارگانامین سیلیس به صورت هر دو هفته یکبار توسط دستگاه سمپاش به صورت کاربرد برگ با غلظت های ۰، ۲ و ۴ میلی‌لیتر بر لیتر بر بوته‌های مورد نظر در هر پلات آزمایشی اعمال گردید. کود مایع آمینوکلرات سیلیسیم مورد استفاده در این آزمایش از شرکت ارگانامین<sup>®</sup> تامین شد. این محصول به صورت وزنی-وزنی حاوی ۱۴٪ سیلیسیم و ۱/۴۳٪ اسید آمینه های آزاد چپ گرد از جمله آسپارتیک اسید، ایزولوسین، آلانین، آرژنین، تیروزین، ترئونین، سیستین، لیزین و غیره می باشد. همچنین pH محلول‌های غذایی در محدود ۶ توسط اسید نیتریک تنظیم گردید. عملیات هرس برگ در طول دوره رشد انجام گردید. همچنین برای کنترل آفات از تله کارت زرد استفاده گردید.

در نهایت صفات رشدی و فیزیولوژیک بوته و خصوصیات کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی در طول دوره رشد و پایان آزمایش مورد سنجش و بررسی قرار گرفت. با استفاده از

روش (Arnon 1976) اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ توسعه‌یافته در زمان رشد زایشی انجام و عصاره‌گیری با استون صورت پذیرفت. بدین صورت که مقدار ۰/۱ گرم از نمونه برگ بالغ و تازه در هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به صورت محلول یکنواختی درآمد. در نهایت با استفاده از استون ۸۰٪ به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در مرحله بعد فالكون‌های حاوی نمونه برگ و استون در سانتیفریژ با سرعت ۵۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۸۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-1201, Shimadzu, Japan) قرائت گردید. محاسبه میزان کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید از فرمول زیر بدست آمد:

$$\text{Chlorophyll a (mg/g fresh tissue)} = \frac{((12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})) \times V}{1000 \times W}$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g fresh tissue)} = \frac{((22.9 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})) \times V}{1000 \times W}$$

$$\text{Total Chlorophyll (mg/g fresh tissue)} = \frac{((20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})) \times V}{1000 \times W}$$

$$\text{Carotenoids (mg/g)} = \frac{(A_{480} + (0.114 \times A_{663}) - (0.638 \times A_{645})) \times V}{1000 \times W}$$

به‌منظور تعیین هدایت‌روزنه‌ای نمونه‌های برگ هر تیمار بین ساعات ۹ تا ۱۱ صبح با استفاده از دستگاه پرومتر اندازه‌گیری و برحسب میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه گزارش شد.

از هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریک جهت اندازه‌گیری فسفر کل گیاه استفاده گردید (Chapman & Pratt, 1961). در این راستا ابتدا ۲ گرم نمونه گیاه خشک شده را با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و در کروزه چینی ریخته شد و در کوره تا ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت حرارت داده و خاکستر حاصل

را با آب مقطر کمی خیس کرده و ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۲ مولار به آن اضافه و بعد از اتمام فعل و انفعالات محتویات کروزه از کاغذ صافی به داخل بالن ژوژه صاف گردید. مقدار ۵ سی‌سی از محلول عصاره حاصل از هضم را به داخل بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتر ریخته و ۵ سی‌سی به آن محلول آمونیوم مولیدات-وانادات اضافه کرده و به حجم رسانده شد. سپس میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه محاسبه گردید و نهایتاً با تجمیع آن‌ها، غلظت فسفر کل گیاه بدست آمد.

در طول آزمایش میوه‌های توت فرنگی از تیمارهای مختلف برداشت و شمارش گردید. برداشت میوه زمانی انجام شد که سه چهارم هر میوه رنگ گرفته بودند. وزن تک میوه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. وزن کل میوه در هر بوته نیز از تجمیع وزن میوه‌های برداشت شده در طول دوره رشد محاسبه و ثبت گردید. جهت محاسبه درصد ماده خشک میوه، ابتدا میوه‌های توت فرنگی هر تیمار توزین و سپس در داخل پاکت کاغذی قرار داده شد، سپس نمونه‌ها درون آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و پس از ثابت شدن وزن، با ترازوی دیجیتال مجدداً توزین شد. سپس درصد ماده خشک میوه با استفاده از تقسیم وزن خشک نمونه بر وزن تر نمونه ضربدر ۱۰۰ محاسبه گردید (Tabatabaei, 2013). در طول آزمایش، میوه‌ها از تیمارهای مختلف برداشت شده و طول و قطر آن‌ها توسط کولیس اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر گزارش گردید. میزان سفتی بافت میوه توسط دستگاه سفتی‌سنج (Santam, STM-1, Iran) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری از قسمت میانی میوه انجام شد و با پروب آلومینیومی ۸ میلی‌متری و سرعت ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه به میوه‌ای که روی یک سطح سخت قرار گرفته بود، فشار داده شد. در نهایت سفتی میوه



بر حسب نیوتن گزارش شد. به منظور اندازه گیری EC و pH عصاره میوه حدود ۱۰ گرم از گوشت میوه در هاون کوبیده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده سپس در سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد و قسمت زیری نمونه را دور ریخته و روشناور نمونه را جدا کرده و به عنوان عصاره میوه مورد استفاده قرار گرفت. EC و pH عصاره میوه توسط دستگاه EC متر و pH متر قرائت و گزارش شد. عصاره میوه هایی که به طور جداگانه از هر تکرار جمع آوری شده بود، روی دستگاه رفرکتومتر (Atago, A-PAL-1, Japan) قرار گرفت و درصد مواد جامد محلول کل (TSS) بر اساس درصد بریکس قرائت شد. در پایان آزمایش داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون چند دامنه ای دانکن انجام گردید. نمودارها نیز به کمک نرم افزار Excell رسم گردید.

## نتایج و بحث

### شاخص های فتوسنتزی و فیزیولوژیک توت فرنگی

نتایج حاصل از جدول آنالیز واریانس داده ها (جدول ۱) نشان داد که اثرات اصلی فسفر، آمینوکلرات سیلیسیم و اثرات متقابل فسفر و آمینوکلرات سیلیسیم بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار گردید. در حالی که اثرات اصلی فسفر و اثر متقابل فسفر و آمینوکلرات سیلیسیم بر غلظت کارتنوئیدهای برگ به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بوده است، اما اثرات اصلی آمینوکلرات سیلیسیم تاثیر معنی داری بر غلظت کارتنوئیدهای برگ توت فرنگی نداشته است. اثرات اصلی فسفر و آمینوکلرات سیلیسیم بر هدایت روزنه ای در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بوده است. همچنین اثر متقابل

فسفر و آمینوکلرات سیلیسیم بر هدایت روزنه ای در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار گردید (جدول ۱).

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده ها (جدول ۲) کاربرد فسفر موجب افزایش غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید برگ های توت فرنگی گردید، به طوری که این افزایش در سطوح ۷/۵ و ۱۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاهد (P<sub>1</sub>) معنی دار شد. کاربرد آمینوکلرات سیلیسیم در هر دو غلظت ۲ و ۴ میلی لیتر در لیتر موجب افزایش معنی دار میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد اما بین غلظت ۲ و ۴ میلی لیتر در لیتر اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل تحت تاثیر اثرات متقابل فسفر و آمینوکلرات سیلیسیم قرار گرفت، به طوری که کاربرد ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر همراه با غلظت ۲ میلی لیتر در لیتر آمینوکلرات سیلیسیم (P<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>) دارای بیشترین میزان کلروفیل a (۱/۴۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) کلروفیل b (۰/۹۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۲/۴۲ میلی گرم بر گرم وزن تر) بود و به ترتیب سبب افزایش ۴۲/۳۰، ۴۲/۴۲ و ۴۲/۳۵ درصدی کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد (P<sub>1</sub>Si<sub>1</sub>) شدند. همچنین اختلاف معنی داری بین تیمار P<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> با P<sub>2</sub>Si<sub>3</sub> و P<sub>2</sub>Si<sub>3</sub> در غلظت کلروفیل های برگ توت فرنگی مشاهده نگردید (جدول ۲). کمترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نیز در غلظت ۴ میلی لیتر در لیتر آمینوکلرات بدون کاربرد فسفر به دست آمد (جدول ۲). همچنین همانند کلروفیل ها، بالاترین میزان کارتنوئید برگ در تیمار P<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> مشاهده گردید، اما پایین ترین میزان آن در تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۲).

نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی فسفر و آمینوکلرات سیلیسیم نشان داد که با افزایش غلظت فسفر و سیلیسیم

هدایت روزنه‌ای به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای در بالاترین غلظت‌های این دو ترکیب مشاهده گردید (جدول ۱). نتایج اثر متقابل غلظت‌های مختلف فسفر و آمینوکلات سیلیسیم نشان داد که در سطوح صفر و ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم با افزایش غلظت فسفر تا سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار، هدایت روزنه‌ای برگ‌های توت‌فرنگی به‌طور معنی‌داری افزایش (به غیر از سطح ۷/۵ کیلوگرم در هکتار) و سپس در سطح ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم مجدداً کاهش یافت (جدول ۲)، اگرچه در غلظت ۴ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم بالاترین میزان هدایت روزنه‌ای در سطح ۳۰ کیلوگرم در هکتار منوپتاسیم فسفات مشاهده گردید (جدول ۲).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی فسفر، آمینوکلات سیلیسیم و اثرات متقابل فسفر و آمینوکلات سیلیسیم بر غلظت فسفر کل شاخساره در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که در سطوح مختلف اعمال کود منوپتاسیم فسفات، با افزایش غلظت فسفر تا سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار غلظت فسفر بوته‌های توت‌فرنگی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و مجدداً در سطح ۳۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. همچنین پایین‌ترین غلظت فسفر در تیمار شاهد آمینوکلات سیلیسیم و بالاترین غلظت فسفر در تیمار ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم مشاهده گردید

(جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسات میانگین در سطوح ۰ و ۷/۵ کیلوگرم در هکتار منوپتاسیم فسفات با افزایش غلظت آمینوکلات سیلیسیم، غلظت فسفر کل گیاه افزایش یافت، در سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار نیز با افزایش غلظت آمینوکلات سیلیسیم تا سطح ۲ میلی‌لیتر در لیتر غلظت فسفر کل گیاه افزایش معنی‌داری یافت ولی مجدداً در سطح ۴ میلی‌لیتر در لیتر کاهش یافت، به‌گونه‌ای که بالاترین غلظت فسفر کل گیاه (۰/۹۸ درصد) در سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و غلظت ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم به‌دست آمد ( $P_3Si_2$ ) که سبب افزایش ۲۲/۵ درصدی غلظت فسفر بوته‌های توت‌فرنگی نسبت به غلظت صفر آمینوکلات سیلیسیم در همین سطح فسفر گردید ( $P_3Si_1$ ) (شکل ۱). ولی در سطح ۳۰ کیلوگرم در هکتار منوپتاسیم فسفات، نتایج متفاوت از سایر سطوح بوده است، به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت آمینوکلات سیلیسیم غلظت فسفر کل گیاه کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۱). علاوه بر این غلظت فسفر کل بوته‌های توت‌فرنگی در سطح ۷/۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و محلول پاشی ۲ و ۴ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم (به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶۴ درصد) اختلاف معنی‌داری با سطح ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و بدون محلول پاشی آمینوکلات سیلیسیم (۰/۶۶ درصد) نداشت که از نتایج قابل توجه این پژوهش می‌باشد (شکل ۱).

**Table 1. Variance analysis of photosynthetic and physiological characteristics of strawberry under different levels of phosphorus fertilizer and Si-aminochelate**

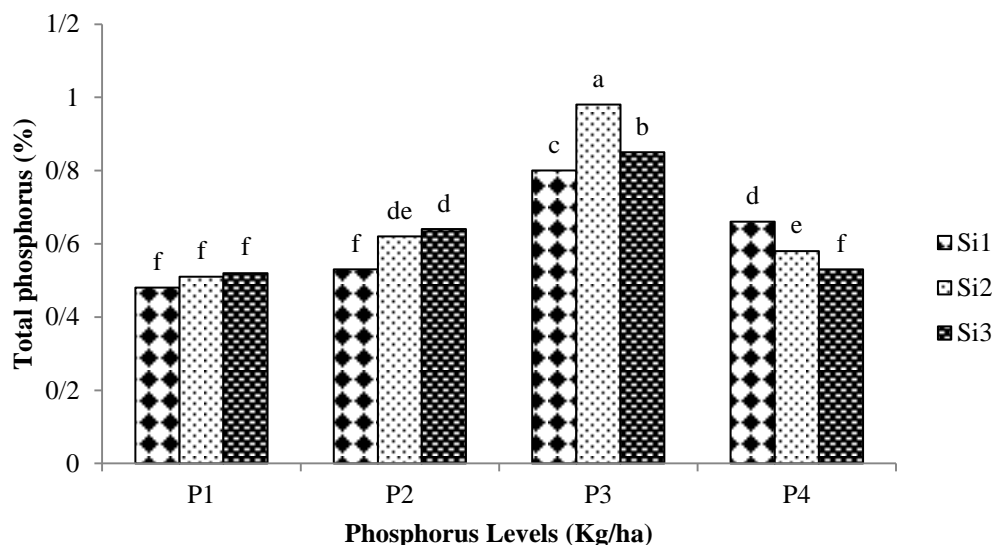
S.O.V	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid	Stomatal conductance	Total phosphorus
Block	2	0.02 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.000 <sup>ns</sup>	1408.36 <sup>**</sup>	0.001 <sup>ns</sup>
Phosphorus (P)	3	0.13 <sup>**</sup>	0.05 <sup>**</sup>	0.36 <sup>**</sup>	0.025 <sup>**</sup>	1602.00 <sup>**</sup>	0.24 <sup>**</sup>
Error a	6	0.011	0.004	0.03	0.0002	285.02	0.0008
Si- aminochelate (Si)	2	0.15 <sup>**</sup>	0.05 <sup>**</sup>	0.41 <sup>**</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	9307.44 <sup>**</sup>	0.009 <sup>**</sup>
P×Si	6	0.21 <sup>**</sup>	0.07 <sup>**</sup>	0.55 <sup>**</sup>	0.002 <sup>**</sup>	601.00 <sup>*</sup>	0.01 <sup>**</sup>
Error b	16	0.012	0.004	0.031	0.0005	177.02	0.0006
CV(%)	-	9.52	8.90	9.27	6.84	5.49	4.06

<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> and <sup>ns</sup>: Significant at 5% and 1% level probability and no significant, respectively.

**Table 2. The main and interaction effects of phosphorus fertilizer and Si- aminochelate on the photosynthetic and physiological characteristics of strawberry**

Treatment	Chlorophyll a (mg/g)	Chlorophyll b (mg/g)	Total Chlorophyll (mg/g)	Total Carotenoid (mg/g)	Stomatal conductance (mmol/m <sup>2</sup> s)
<b>Phosphorus (Kg/ha)</b>					
0 (P <sub>1</sub> )	1.03 <sup>c</sup>	0.65 <sup>c</sup>	1.69 <sup>c</sup>	0.28 <sup>d</sup>	240.00 <sup>ab</sup>
7.5 (P <sub>2</sub> )	1.22 <sup>ab</sup>	0.77 <sup>ab</sup>	2.00 <sup>ab</sup>	0.35 <sup>c</sup>	224.66 <sup>b</sup>
15 (P <sub>3</sub> )	1.32 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>	2.16 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	248.55 <sup>a</sup>
30 (P <sub>4</sub> )	1.12 <sup>bc</sup>	0.71 <sup>bc</sup>	1.83 <sup>bc</sup>	0.38 <sup>b</sup>	255.66 <sup>a</sup>
<b>Si- aminochelate (ml/L)</b>					
0 (Si <sub>1</sub> )	1.04 <sup>b</sup>	0.66 <sup>b</sup>	1.71 <sup>b</sup>	0.34	215.83 <sup>c</sup>
2 (Si <sub>2</sub> )	1.25 <sup>a</sup>	0.79 <sup>a</sup>	2.05 <sup>a</sup>	0.36	239.50 <sup>b</sup>
4 (Si <sub>3</sub> )	1.23 <sup>a</sup>	0.77 <sup>a</sup>	2.00 <sup>a</sup>	0.36	271.33 <sup>a</sup>
<b>Phosphorus × Si- aminochelate</b>					
P <sub>1</sub> × Si <sub>1</sub>	1.04 <sup>b</sup>	0.66 <sup>c</sup>	1.70 <sup>c</sup>	0.25 <sup>g</sup>	216.00 <sup>fg</sup>
P <sub>2</sub> × Si <sub>1</sub>	1.13 <sup>b</sup>	0.72 <sup>bc</sup>	1.85 <sup>bc</sup>	0.32 <sup>de</sup>	195.00 <sup>g</sup>
P <sub>3</sub> × Si <sub>1</sub>	0.99 <sup>b</sup>	0.64 <sup>c</sup>	1.63 <sup>c</sup>	0.38 <sup>bc</sup>	227.33 <sup>def</sup>
P <sub>4</sub> × Si <sub>1</sub>	1.00 <sup>b</sup>	0.63 <sup>c</sup>	1.64 <sup>c</sup>	0.40 <sup>ab</sup>	225.00 <sup>ef</sup>
P <sub>1</sub> × Si <sub>2</sub>	1.38 <sup>a</sup>	0.87 <sup>a</sup>	2.25 <sup>a</sup>	0.28 <sup>fg</sup>	240.00 <sup>cdef</sup>
P <sub>2</sub> × Si <sub>2</sub>	1.10 <sup>b</sup>	0.70 <sup>c</sup>	1.81 <sup>c</sup>	0.36 <sup>cd</sup>	230.00 <sup>def</sup>
P <sub>3</sub> × Si <sub>2</sub>	1.48 <sup>a</sup>	0.94 <sup>a</sup>	2.42 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	253.00 <sup>bcd</sup>
P <sub>4</sub> × Si <sub>2</sub>	1.04 <sup>b</sup>	0.66 <sup>c</sup>	1.70 <sup>c</sup>	0.37 <sup>bcd</sup>	235.00 <sup>def</sup>
P <sub>1</sub> × Si <sub>3</sub>	0.67 <sup>c</sup>	0.43 <sup>d</sup>	1.11 <sup>d</sup>	0.31 <sup>ef</sup>	264.00 <sup>bc</sup>
P <sub>2</sub> × Si <sub>3</sub>	1.43 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	2.33 <sup>a</sup>	0.38 <sup>bc</sup>	249.00 <sup>bcd</sup>
P <sub>3</sub> × Si <sub>3</sub>	1.48 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	2.41 <sup>a</sup>	0.39 <sup>bc</sup>	265.33 <sup>b</sup>
P <sub>4</sub> × Si <sub>3</sub>	1.33 <sup>a</sup>	0.83 <sup>ab</sup>	2.16 <sup>ab</sup>	0.36 <sup>bcd</sup>	307.00 <sup>a</sup>

Mean with same letter are not significantly different according to Duncan test (p≤0.05)



**Figure 1. The interaction effect of phosphorus fertilizer and Si- amino chelate different levels on total phosphorus of strawberry**

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۲ کاربرد آمینو کلات سیلیسیم و فسفر موجب افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل و کاروتنوئید و بهبود وضعیت هدایت روزنه‌ای توت فرنگی شد. این نتایج با یافته‌های Li et al. (2021) مطابقت دارد. بر اساس نتایج آن‌ها، استفاده از فسفر مواد تولید کننده کلروفیل از جمله جذب عناصر غذایی را افزایش و در نتیجه میزان این رنگیزه را افزایش می‌دهد که موجب بهبود توانایی فتوسنتزی گیاه می‌گردد. یافته‌های پژوهشگران نشان داد که افزودن فسفر باعث تحریک متابولیسم گیاه، افزایش غلظت کلروفیل a و b، اسیدهای آمینه کل و پروتئین‌ها در برگ شد (El-Bassiony et al., 2010). همچنین Sourı (2016) گزارش کرد که آمینو کلات‌ها جدیدترین ترکیبات در تغذیه گیاه و تولیدات کشاورزی هستند که موجب افزایش میزان کلروفیل می‌شوند. سیلیسیم از طریق جلوگیری از تخریب کلروفیل، افزایش کارایی فتوسیستم II، فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز و به دنبال آن افزایش فعالیت چرخه کلورین موجب افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل می‌شود (Al-aghaby et al., 2005). کاربرد سیلیسیم موجب افزایش میزان تبادلات گازی می‌شود که مرتبط با ساختار برگ، افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز می‌باشد (Romero-Aranda et al., 2006). سیلیسیم در چرخه‌هایی مانند چرخه‌های کالوین، تری کربوکسیلیک اسید و پنتوز فسفات ادغام می‌شود و باعث تحریک پروتئین‌های مربوط به فتوسنتز می‌شود و محافظت نوری گیاهان را تضمین می‌کند (Pinedo-Guerrero et al., 2020). یافته‌های قبلی نشان داد که دسترسی ارتوفسفات در تیمارهای فسفوری می‌تواند از طریق اسیدی کردن ریزوسفر توسط جریان  $H^+$  و ترشح اسیدهای آلی افزایش یابد (Shabani, 2023). یک استراتژی موثر برای مقابله با تنش کمبود فسفر، ترشح آنیون‌های اسید آلی (مانند مالات، سترات و اگزالات) توسط ریشه‌های گیاه است (Hu et al., 2021). شواهد کنونی نشان می‌دهد که کاربرد Si به- شدت باعث افزایش ترشح مالات و سترات توسط ریشه می‌شود، به طوری که مقدار این آنیون‌های آزاد شده توسط ریشه همیشه بیشتر از سایر تیمارهای آزمایش شده بود (Kostic et al., 2017). بر اساس یافته‌های پژوهشگران،

کاربرد سیلیسیم موجب افزایش میزان تبادلات گازی می‌شود که مرتبط با ساختار برگ، افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز می‌باشد (Romero-Aranda et al., 2006). سیلیسیم در چرخه‌هایی مانند چرخه‌های کالوین، تری کربوکسیلیک اسید و پنتوز فسفات ادغام می‌شود و باعث تحریک پروتئین‌های مربوط به فتوسنتز می‌شود و محافظت نوری گیاهان را تضمین می‌کند (Pinedo-Guerrero et al., 2020). یافته‌های قبلی نشان داد که دسترسی ارتوفسفات در تیمارهای فسفوری می‌تواند از طریق اسیدی کردن ریزوسفر توسط جریان  $H^+$  و ترشح اسیدهای آلی افزایش یابد (Shabani, 2023). یک استراتژی موثر برای مقابله با تنش کمبود فسفر، ترشح آنیون‌های اسید آلی (مانند مالات، سترات و اگزالات) توسط ریشه‌های گیاه است (Hu et al., 2021). شواهد کنونی نشان می‌دهد که کاربرد Si به- شدت باعث افزایش ترشح مالات و سترات توسط ریشه می‌شود، به طوری که مقدار این آنیون‌های آزاد شده توسط ریشه همیشه بیشتر از سایر تیمارهای آزمایش شده بود (Kostic et al., 2017). بر اساس یافته‌های پژوهشگران،

یک همبستگی مثبتی بین دسترسی سیلیسیم و تحرک فسفر در گیاه وجود دارد. علاوه بر این، استعمال خارجی سیلیسیم نیز به افزایش فعال‌سازی فسفر از فازهای Fe-P در سطوح معدنی کمک می‌کند (Schaller et al., 2019). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که افزایش در دسترس بودن فسفر خاک تحت Si بالا را می‌توان با رقابت Si با فسفر برای اتصال در سطح مواد معدنی خاک که منجر به تحرک فسفر می‌شود، توضیح داد (Neu et al., 2017). بر اساس یافته‌های قبلی، توانایی رقابتی Si در برابر فسفر ممکن است وابسته به pH باشد. اثر Si بر تحرک فسفر خاک ممکن است به شکل کود Si، سطح Si، کانی‌شناسی خاک و جذب فسفر گیاه بستگی داشته باشد (Hu et al., 2021). همچنین کاهش جذب فسفر در سطوح بالای فسفر و تحت کاربرد Si نیز در کشت هیدروپونیک برنج گزارش گردید که در توافق با یافته‌های این آزمایش می‌باشد (Ma & Takahashi, 1990).

### شاخص‌های عملکردی توت‌فرنگی

براساس نتایج حاصل از جدول آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۳) وزن تک میوه، تعداد میوه و وزن کل میوه تحت تأثیر اثرات اصلی فسفر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. اثرات اصلی سیلیسیم بر وزن تک میوه و وزن کل میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید اما بر تعداد میوه تأثیر معنی‌داری نداشته است. همچنین اثرات متقابل فسفر و آمینوکلات سیلیسیم بر وزن تک میوه و وزن کل میوه به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار شد اما در تعداد میوه‌های توت‌فرنگی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۳).

وزن تک میوه و وزن کل میوه تحت تأثیر افزایش غلظت فسفر افزایش یافت و در غلظت ۱۵ کیلوگرم در هکتار به

بالاترین میزان رسید، به گونه‌ای که به ترتیب سبب افزایش ۸۶/۱۳ و ۳۶/۴۸ درصدی وزن تک میوه و وزن کل میوه نسبت به تیمار شاهد ( $P_1$ ) شد (جدول ۴). روند تعداد میوه ولی تحت تأثیر افزایش غلظت فسفر معکوس بوده و با افزایش غلظت فسفر روند کاهشی را به نمایش گذاشت (جدول ۴). همچنین تحت تأثیر محلول پاشی آمینوکلات سیلیسیم بیشترین وزن تک میوه در تیمار ۴ میلی لیتر در لیتر مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر نداشت و بیشترین وزن کل میوه (۵۲۶/۱۵ گرم) نیز در تیمار ۴ میلی لیتر در لیتر مشاهده شد (جدول ۴).

برهمکنش فسفر و آمینوکلات سیلیسیم وزن تک میوه را افزایش داد که این افزایش در اکثر موارد نسبت به شاهد معنی‌دار بود. در بین همه تیمارها بیشترین وزن تک میوه (۳۳/۸۷ گرم) مربوط به تیمار ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر همراه با محلول پاشی ۲ میلی لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و سطح ۴ میلی لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم نداشت (۳۱/۶۱ گرم) (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسات میانگین، در تمام سطوح محلول پاشی آمینوکلات سیلیسیم با افزایش غلظت فسفر تا سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار، وزن کل میوه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین میزان وزن کل میوه (۵۹۹/۹۳ گرم) در تیمار ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و سطح ۴ میلی لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و سطح ۲ میلی لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم نداشت (جدول ۴). تیمار  $P_3Si_2$  و  $P_3Si_3$  در قیاس با تیمار شاهد ( $P_1Si_1$ ) به ترتیب سبب افزایش ۶۷/۶۲ و ۶۸/۳۳ درصدی وزن کل میوه‌های توت-فرنگی گردید (جدول ۴).

**Table 3. Variance analysis of yield characteristics of strawberry under different levels of phosphorus fertilizer and Si- amino chelate**

S.O.V	df	Single fruit weight	Number of fruit	Total fruit weight
Block	2	0.75 <sup>ns</sup>	1.75 <sup>ns</sup>	21.87 <sup>ns</sup>
Phosphorus (P)	3	377.81 <sup>**</sup>	76.66 <sup>**</sup>	41558.04 <sup>**</sup>
Error a	6	1.01	1.86	4.66
Si- amino chelate (Si)	2	21.35 <sup>**</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	13779.20 <sup>**</sup>
P×Si	6	6.04 <sup>**</sup>	2.00 <sup>ns</sup>	3101.96 <sup>**</sup>
Error b	16	2.19	2.45	23.12
CV(%)	-	6.57	6.71	0.96

\*, \*\* and ns: Significant at 5% and 1% level probability and no significant, respectively.

**Table 4. The main and interaction effects of phosphorus fertilizer and Si- amino chelate on the yield characteristics of strawberry**

Treatment	Single fruit weight (g)	Number of fruit	Total fruit weight (g/plant)
<b>Phosphorus (Kg/ha)</b>			
0 (P <sub>1</sub> )	17.09 <sup>d</sup>	24.11 <sup>b</sup>	419.51 <sup>d</sup>
7.5 (P <sub>2</sub> )	21.74 <sup>b</sup>	21.44 <sup>c</sup>	472.95 <sup>c</sup>
15 (P <sub>3</sub> )	31.81 <sup>a</sup>	20.66 <sup>c</sup>	572.56 <sup>a</sup>
30 (P <sub>4</sub> )	19.43 <sup>c</sup>	27.11 <sup>a</sup>	537.12 <sup>b</sup>
<b>Si- amino chelate (ml/L)</b>			
0 (Si <sub>1</sub> )	20.98 <sup>b</sup>	23.33	462.11 <sup>c</sup>
2 (Si <sub>2</sub> )	23.24 <sup>a</sup>	23.33	513.34 <sup>b</sup>
4 (Si <sub>3</sub> )	23.24 <sup>a</sup>	23.33	526.15 <sup>a</sup>
<b>Phosphorus × Si- amino chelate</b>			
P <sub>1</sub> × Si <sub>1</sub>	15.13 <sup>e</sup>	23.33	356.40 <sup>i</sup>
P <sub>2</sub> × Si <sub>1</sub>	19.57 <sup>d</sup>	22.00	430.80 <sup>g</sup>
P <sub>3</sub> × Si <sub>1</sub>	29.96 <sup>b</sup>	20.33	520.33 <sup>d</sup>
P <sub>4</sub> × Si <sub>1</sub>	19.27 <sup>d</sup>	27.66	540.93 <sup>c</sup>
P <sub>1</sub> × Si <sub>2</sub>	16.40 <sup>e</sup>	25.00	418.76 <sup>h</sup>
P <sub>2</sub> × Si <sub>2</sub>	23.00 <sup>c</sup>	20.66	487.00 <sup>f</sup>
P <sub>3</sub> × Si <sub>2</sub>	33.87 <sup>a</sup>	20.33	597.43 <sup>a</sup>
P <sub>4</sub> × Si <sub>2</sub>	19.69 <sup>d</sup>	27.33	550.16 <sup>b</sup>
P <sub>1</sub> × Si <sub>3</sub>	19.75 <sup>d</sup>	24.00	483.36 <sup>f</sup>
P <sub>2</sub> × Si <sub>3</sub>	22.66 <sup>c</sup>	21.66	501.06 <sup>e</sup>
P <sub>3</sub> × Si <sub>3</sub>	31.61 <sup>ab</sup>	21.33	599.93 <sup>a</sup>
P <sub>4</sub> × Si <sub>3</sub>	19.35 <sup>d</sup>	26.33	520.26 <sup>d</sup>

Mean with same letter are not significantly different according to Duncan test (p≤0.05)

2000). عملکرد محصولات به عواملی از جمله رشد زایشی و وزن میوه بستگی دارد. تغذیه فسفر برعکس نیتروژن که رشد رویشی را افزایش می‌دهد و رشد زایشی را به تاخیر می‌اندازد، موجب ایجاد تعادل در رشد رویشی و زایشی می‌گردد که در نهایت موجب بهبود عملکرد می‌گردد. به

مطابق با نتایج به دست آمده، استفاده از فسفر موجب بهبود خصوصیات کمی و کیفی میوه در توت‌فرنگی گردید. کاربرد فسفر به علت افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و سهولت جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم، عملکرد و کیفیت محصولات را افزایش می‌دهند (Khan et al., )

## شاخص‌های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) اثرات اصلی فسفر در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان درصد ماده خشک میوه و pH عصاره میوه و در سطح احتمال ۱ درصد بر طول، قطر، سفتی، EC عصاره میوه و مواد جامد محلول کل میوه توت‌فرنگی معنی دار بود (جدول ۵). همچنین اثر اصلی آمینو کلات سیلیسیم در سطح احتمال ۵ درصد بر قطر و مواد جامد محلول کل میوه و در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد ماده خشک، طول و سفتی میوه معنی دار بود، اما تاثیر معنی‌داری بر EC و pH عصاره میوه‌های توت‌فرنگی نداشت (جدول ۵). بر اساس نتایج اثر متقابل فسفر و آمینو کلات سیلیسیم بر درصد ماده خشک و pH عصاره میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بوده است، اما تاثیر معنی‌داری بر طول، قطر، سفتی، EC و مواد جامد محلول کل میوه به نمایش نگذاشت (جدول ۵).

بر اساس نتایج مقایسات میانگین با افزایش غلظت فسفر تا سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار، درصد ماده خشک میوه، طول، قطر و سفتی و مواد جامد محلول کل میوه‌های توت‌فرنگی افزایش یافت. اما افزایش غلظت این عنصر به ۳۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش معنی‌دار این شاخص‌ها گردید (شکل ۲ و جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از اثرات اصلی (جدول ۶) نشان داد که کاربرد فسفر در غلظت ۷/۵ و ۱۵ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش معنی‌دار EC عصاره میوه گردید و در غلظت ۷/۵ کیلوگرم به بیشترین میزان رسید که افزایش ۱۷/۱۸، ۸/۶۹ و ۱۹/۰۴ درصدی به ترتیب نسبت به غلظت صفر، ۱۵ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر داشت. نتایج حاصل از جدول ۶ نشان داد افزایش غلظت فسفر موجب افزایش معنی‌دار pH عصاره میوه گردید. با توجه به مقایسات میانگین اثرات اصلی آمینو کلات سیلیسیم، درصد ماده خشک، طول و قطر میوه

طور کلی فسفر نقش عمده‌ای در افزایش گلدهی زودرس، تشکیل و بلوغ میوه دارد، همچنین باعث افزایش تولید میوه می‌شود (Ahmad et al., 2017). فسفر رشد سالم ریشه را افزایش می‌دهد که به استفاده موثر از آب و مواد مغذی کمک می‌کند و از این طریق رشد ساقه و شاخ و برگ و تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی را افزایش می‌دهد. در نتیجه باعث افزایش تولید گل و میوه می‌گردد (Ahmad et al., 2017). مشخص شده است که محلول‌پاشی برگی عناصر در طول رشد محصول می‌تواند وضعیت معدنی گیاهان را بهبود بخشد و عملکرد و کیفیت محصول را افزایش دهد (El-Bassiony et al., 2010). در بسیاری از مطالعات، افزایش عملکرد پس از استفاده از محلول‌پاشی با سیلیسیم مشاهده شد که این ناشی از بهبود همه یا برخی از اجزای عملکرد بود. در مورد بیشتر غلات کاربرد این ترکیب تراکم سنبله در هنگام برداشت، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه را افزایش داد (Artyszak, 2018). کاربرد سیلیسیم باعث افزایش عملکرد تجاری گوجه فرنگی و کاهش بروز میوه‌های ترک خورده شد (Liang et al., 2015). بهبود کیفیت و افزایش عملکرد میوه‌ها در اثر استفاده از سیلیسیم می‌تواند به علت نقش این عنصر مفید در افزایش تعداد گل و میوه در هر بوته، افزایش سفتی و سالم بودن میوه‌ها باشد (Artyszak, 2018). بر اساس نتایج (Khosrofarid et al., 2017) با کاربرد ریشه‌ای و محلول-پاشی سیلیسیم بر توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری، دیواره‌های یاخته‌های روپوست با لایه‌های محکم سیلیسیم آغشته و در برابر از دست رفتن آب به وسیله تعلق کوتیکولی محافظت می‌شوند. افزون بر دیواره‌های یاخته‌ای روپوست برگ‌ها، سیلیسیم در دیواره‌های یاخته آوند چوبی نیز قرار می‌گیرد و از فروریختن آوندها در شرایط تعلق زیاد جلوگیری و از این طریق به بهبود عملکرد گیاه کمک می‌کند.

تا سطح ۲ میلی‌لیتر در لیتر افزایش و مجدداً در سطح ۴ میلی‌لیتر در لیتر کاهش یافت، در حالی که سفتی و مواد جامد محلول کل میوه با افزایش سطوح محلول پاشی آمینوکلات سیلیسیم افزایش یافت و بیش‌ترین مقادیر در سطح ۴ میلی‌لیتر در لیتر مشاهده گردید (جدول ۶).

برهمکنش غلظت‌های مختلف فسفر و آمینوکلات سیلیسیم نشان داد که درصد ماده خشک میوه در سطوح ۲ و ۴ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم با افزایش غلظت فسفر تا سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار افزایش و مجدداً کاهش یافت (جدول ۶). بالاترین درصد ماده خشک میوه (۷/۳۸ درصد) در تیمار  $P_3Si_2$  مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای  $P_2Si_2$  (۷/۲۷ درصد) و  $P_3Si_3$  (۶/۹۷) نشان نداد. اثر متقابل فسفر و آمینوکلات سیلیسیم بر pH عصاره میوه روند متفاوت‌تری را به نمایش گذاشت. به گونه‌ای که، در محلول پاشی با غلظت صفر آمینوکلات

سیلیسیم (شاهد) بیش‌ترین pH عصاره میوه در غلظت ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، در محلول پاشی با غلظت ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم بیش‌ترین pH عصاره میوه در غلظت ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و در محلول پاشی با غلظت ۴ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم بیش‌ترین pH عصاره میوه در غلظت ۷/۵ کیلوگرم در هکتار فسفر مشاهده گردید (جدول ۶). در بالاترین غلظت آمینوکلات سیلیسیم (۴ میلی‌لیتر بر لیتر) همراه با کاربرد فسفر ۷/۵ کیلوگرم در هکتار ( $P_2Si_3$ ) بیش‌ترین میزان pH عصاره میوه (۳/۳۷) به دست آمد که نسبت به اغلب تیمارها معنی‌دار گردید و افزایش ۸/۳۶ درصدی نسبت به شاهد داشت (جدول ۶). همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمار  $P_2Si_3$  با تیمارهای  $P_4Si_1$ ،  $P_3Si_1$  و  $P_4Si_2$  مشاهده نگردید (جدول ۶).

Table 5. Variance analysis of quality characteristics of strawberry under different levels of phosphorus fertilizer and Si- aminochelate

S.O.V	df	Fruit dry matter	Fruit length	Fruit diameter	Firmness	EC	pH	TSS
Block	2	0.35 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.021 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>
Phosphorus (P)	3	2.30 <sup>*</sup>	1.15 <sup>**</sup>	2.39 <sup>**</sup>	15.46 <sup>**</sup>	0.026 <sup>**</sup>	0.033 <sup>*</sup>	10.72 <sup>**</sup>
Error a	6	0.34	0.07	0.04	0.24	0.001	0.004	0.19
Si- aminochelate (Si)	2	1.62 <sup>**</sup>	0.40 <sup>**</sup>	0.14 <sup>*</sup>	6.10 <sup>**</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	2.10 <sup>*</sup>
P×Si	6	0.82 <sup>**</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.73 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>**</sup>	0.21 <sup>ns</sup>
Error b	16	0.16	0.04	0.04	0.51	0.004	0.007	0.45
CV(%)	-	6.32	5.09	5.89	5.21	10.08	2.66	7.80

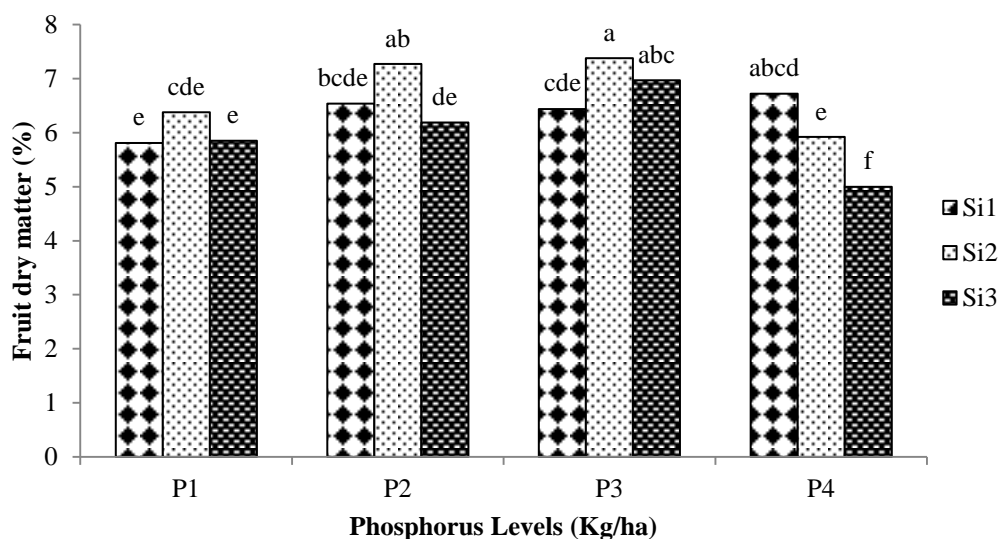
\*,\*\* and ns: Significant at 5% and 1% level probability and no significant, respectively.



**Table 6. The main and interaction effects of phosphorus fertilizer and Si- amino chelate on quality characteristics of strawberry**

Treatment	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Firmness (N)	EC (dS/m)	pH	TSS (%)
<b>Phosphorus (Kg/ha)</b>						
0 (P <sub>1</sub> )	3.77 <sup>b</sup>	3.00 <sup>b</sup>	11.98 <sup>c</sup>	0.64 <sup>c</sup>	3.08 <sup>c</sup>	7.66 <sup>b</sup>
7.5 (P <sub>2</sub> )	4.06 <sup>b</sup>	3.20 <sup>b</sup>	13.98 <sup>b</sup>	0.75 <sup>a</sup>	3.18 <sup>ab</sup>	9.43 <sup>a</sup>
15 (P <sub>3</sub> )	4.62 <sup>a</sup>	4.16 <sup>a</sup>	15.13 <sup>a</sup>	0.69 <sup>b</sup>	3.11 <sup>bc</sup>	9.66 <sup>a</sup>
30 (P <sub>4</sub> )	4.04 <sup>b</sup>	3.23 <sup>b</sup>	14.02 <sup>b</sup>	0.63 <sup>c</sup>	3.21 <sup>a</sup>	7.66 <sup>b</sup>
<b>Si- amino chelate (ml/L)</b>						
0 (Si <sub>1</sub> )	3.96 <sup>b</sup>	3.28 <sup>b</sup>	12.95 <sup>b</sup>	0.67	3.17	8.13 <sup>b</sup>
2 (Si <sub>2</sub> )	4.32 <sup>a</sup>	3.50 <sup>a</sup>	14.13 <sup>a</sup>	0.67	3.12	8.75 <sup>a</sup>
4 (Si <sub>3</sub> )	4.09 <sup>b</sup>	3.40 <sup>ab</sup>	14.24 <sup>a</sup>	0.69	3.13	8.93 <sup>a</sup>
<b>Phosphorus×Si-amino chelate</b>						
P <sub>1</sub> × Si <sub>1</sub>	3.48	2.86	10.95	0.62	3.11 <sup>bcd</sup>	7.35
P <sub>2</sub> × Si <sub>1</sub>	3.69	3.23	13.58	0.74	3.04 <sup>d</sup>	8.75
P <sub>3</sub> × Si <sub>1</sub>	4.60	3.93	14.52	0.65	3.31 <sup>a</sup>	8.90
P <sub>4</sub> × Si <sub>1</sub>	4.08	3.12	12.78	0.69	3.25 <sup>abc</sup>	7.55
P <sub>1</sub> × Si <sub>2</sub>	4.09	3.19	12.15	0.65	3.10 <sup>cd</sup>	7.70
P <sub>2</sub> × Si <sub>2</sub>	4.27	3.24	14.04	0.78	3.13 <sup>bcd</sup>	9.70
P <sub>3</sub> × Si <sub>2</sub>	4.82	4.40	15.22	0.67	3.02 <sup>d</sup>	10.00
P <sub>4</sub> × Si <sub>2</sub>	4.12	3.19	15.12	0.59	3.26 <sup>ab</sup>	7.60
P <sub>1</sub> × Si <sub>3</sub>	3.74	2.97	12.85	0.66	3.03 <sup>d</sup>	7.95
P <sub>2</sub> × Si <sub>3</sub>	4.23	3.13	14.32	0.73	3.37 <sup>a</sup>	9.85
P <sub>3</sub> × Si <sub>3</sub>	4.45	4.15	15.65	0.77	3.00 <sup>d</sup>	10.10
P <sub>4</sub> × Si <sub>3</sub>	3.93	3.38	14.17	0.62	3.13 <sup>bcd</sup>	7.85

Mean with same letter are not significantly different according to Duncan test (p≤0.05)



**Figure 1. Interaction effect of different levels of phosphorus fertilizer and Si-amino chelate on fruit dry matter percentage of strawberry**

کیفیت میوه توت‌فرنگی به طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت قند و اسید قرار دارد. افزایش نسبت قند به اسید منجر به طعم بهتر در میوه‌ها می‌گردد (Wuzhong, 2002). همچنین Ahmad et al. (2017) در نتایج حاصل از پژوهش خود بیان کردند که بیشترین مواد جامد محلول و کمترین pH در میوه‌های تیمار شده با بالاترین غلظت فسفر به دست آمد. اضافه کردن فسفر برخی از ویژگی‌های مرتبط با کیفیت میوه توت‌فرنگی از جمله قندهای محلول کل و سفتی بافت میوه را بهبود بخشید (Estrada-Ortiz et al., 2013). بهبود کیفیت و افزایش اندازه میوه در توت‌فرنگی می‌تواند به علت تأثیر فسفر در افزایش فعالیت آدنوزین تری فسفات باشد. ATP انرژی مورد نیاز برای سنتز نشاسته را تامین می‌نماید. این ATP‌های غنی از انرژی همچنین می‌توانند به کوآنزیم‌های دیگری مانند بوریدین تری فسفات (UTP) و گوانوزین تری فسفات (GTP) که برای سنتز سلولز و ساکارز مورد نیاز هستند، منتقل شوند و موجب بهبود کیفیت میوه گردد (Ahmad et al., 2017). فسفر باعث افزایش طعم، سفتی و محتوای ویتامین C و همچنین بهبود رنگ پوست و پالپ میوه در گوجه فرنگی گردید (Su, 1974). فسفر به طور مستقیم در متابولیسم قند، پروتئین و چربی شرکت می‌کند و بر عملکرد و کیفیت درختان میوه تأثیر می‌گذارد (Chen et al., 2021). علاوه بر فسفر کاربرد آمینوکلات سیلیسیم موجب بهبود فاکتورهای کیفی و کمی در توت‌فرنگی گردید. این یافته‌ها با نتایج حاصل از مطالعات Artyszak (2018) مطابقت دارد که گزارش کرد کاربرد ترکیبات سیلیسیم موجب افزایش عملکرد در انگور گردید، همچنین خصوصیات کیفی از جمله سفتی میوه را افزایش داد. یافته‌های قبلی در محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در توت‌فرنگی نشان داد که تیمارهای سیلیکات پتاسیم افزایش معنی‌داری در مواد جامد محلول کل، قند کل، ویتامین C، اسیدیت و محتوای

آنتوسیانین در مقایسه با شاهد نشان دادند. به طور کلی، با افزایش میزان سیلیکات پتاسیم تا ۰/۶ گرم در لیتر، کیفیت شیمیایی میوه افزایش یافت (Nada, 2020).

### نتیجه‌گیری

یافته‌های ما در این آزمایش نشان داد که با افزایش سطح فسفر تا ۱۵ کیلوگرم در هکتار و محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیسیم تا غلظت ۲ میلی‌لیتر در لیتر، وزن تک میوه توت-فرنگی به طور قابل توجهی افزایش یافت و سهم موثرتری را نسبت به تعداد میوه در وزن کل میوه‌های یک بوته توت-فرنگی ایفا کرد. به نظر می‌رسد افزایش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و دسترسی بیشتر فسفر تحت محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیسیم در تیمارهای فسفری نقش کلیدی را در بهبود وزن کل میوه‌های یک بوته توت‌فرنگی ایفا کرده است. همچنین بر اساس نتایج این مطالعه، سهم اثرات اصلی فسفر و آمینوکلات سیلیسیم بر شاخص‌های کیفی توت-فرنگی بیشتر از اثرات متقابل آنها بوده است، اگرچه درصد pH عصاره و ماده خشک میوه به طور معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش این دو ترکیب قرار گرفت که می‌تواند نقش موثری در مزه توت‌فرنگی داشته باشد. در این راستا عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح ۷/۵ و ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر با محلول‌پاشی ۲ میلی‌لیتر در لیتر آمینوکلات سیلیسیم و سطح ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و عدم محلول‌پاشی می‌تواند از نتایج جالب توجه این پژوهش باشد که به نقش موثر محلول‌پاشی آمینوکلات سیلیسیم در بهبود کیفیت میوه در سطوح کم و متوسط فسفر اشاره دارد. با توجه با نتایج حاصل، استفاده از غلظت ۲ میلی‌لیتر در آمینوکلات سیلیسیم و سطح ۱۵ کیلوگرم در هکتار منوپتاسیم فسفات جهت حصول حداکثر رشد، عملکرد و کیفیت میوه‌های توت‌فرنگی توصیه می‌شود.

## References

- Abdollahi, F., Zarei, A., Erfani-Moghadam, J., & Rostamina, M. (2024). Foliar application of silica and potassium sulphate on some characteristics of pomegranate fruit cv. 'Malase-Saveh'. *Plant Productions*, 47(2), 309-321. [In Persian]
- Ahmad, H., Sajjid, M., Hayat, S., Ullah, R., Ali, M., Jamal, A., & Ali, J. (2017). Growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria ananasa* Dutch) under different phosphorus levels. *Research in Agriculture*, 2(2).
- Al-aghabary, K., Zhu, Z., & Shi, Q. (2005). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of plant nutrition*, 27(12), 2101-2115.
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23:112-121.
- Artyszak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality-A literature review in Europe. *Plants*, 7(3), 54.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3-41.
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). Methods of analysis for soils, plants and waters. priced publication 4034. Division of Agriculture Sciences. University of California, Berkeley, 5-350.
- Chen, G., Li, Y., Jin, C., Wang, J., Wang, L., & Wu, J. (2021). Physiological and morphological responses of hydroponically grown pear rootstock under phosphorus treatment. *Frontiers in plant science*, 12, 696045.
- El-Bassiony, A. M., Fawzy, Z. F., Abd El-Samad, E. H., & Riad, G. S. (2010). Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium fertilization. *Journal of American Science*, 6(12), 722-729.
- Estrada-Ortiz, E., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Núñez-Escobar, R., & Sandoval-Villa, M. (2013). The effects of phosphite on strawberry yield and fruit quality. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(3), 612-620.
- Ghoname, A. El-Bassiouny, A., Abdel-Mawgoud, A., El-Tohamy, W., and Gruda, N. (2012). Growth, yield and blossom-end rot incidence in bell pepper as affected by phosphorus level and amino acid applications. *Gesunde Pflanz*, 64(1), 29-37.
- Gray, R.C. (1977). Foliar fertilisation with primary nutrients during the reproductive stage of plant growth. *Proceedings of the Fertilizer Society*, 164, 23.
- Hu, A.Y., Xu, S.N., Qin, D.N., Li, W., & Zhao, X.Q. (2021). Role of silicon in mediating phosphorus imbalance in plants. *Plants*, 10, 51. <https://doi.org/10.3390/plants10010051>.
- Khan, H., Khan, M., Rasul, K., Majeed, A., & Safi, F. A. (2000). Effect of different levels of Nitrogen alone and in combination with constant doses of phosphorus and potassium on growth and yield of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Cv. T-13 under Agro-climatic conditions of Mingora, Swat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(12), 2101-2104. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2000.2101.2104>
- Khavazi, K., Jahandideh mahjan abadi, V.A., & Taghipoor. (2018). Effect of sulfur, *Thiobacillus bacteria* and phosphorus on the yield and nutrient elements uptake of wheat in calcareous soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8(2), 23-41. [In Persian]
- Khosrofarid, Z.S., Eshghi, S., Rastgoo, S., & Hedayat, M. (2017). Effect of root and foliar applications of silicon on growth of strawberry and mineral nutrient uptake under salinity stress in soilless culture. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 18(2), 195-208. [In Persian]
- Kostic, L., Nikolic, N., Bosnic, D., Samardzic, J., & Nikolic, M. (2017). Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. *Plant Soil*, 419, 447-455.
- Li, Y., Sun, M., He, W., Wang, H., Pan, H., Yang, Q., & Zhuge, Y. (2021). Effect of phosphorus supplementation on growth, nutrient uptake, physiological responses, and cadmium absorption by tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) exposed to cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 112021.
- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., Song, A., Liang, Y., Nikolic, M., Belanger, R., Gong, H., & Song, A. (2015). Effect of silicon on crop growth, yield and quality. *Silicon in Agriculture: From Theory to Practice*, 209-223.

- Liu, X., Ko, K., Kim, S., & Lee, K. (2008). Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 269–281.
- Luyckx, M., Hausman, J. F., Lutts, S. & Guerriero, G. (2017). Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. *Frontiers in plant science*, 8, 411. doi: 10.3389/fpls.2017.00411.
- Ma, J.F., & Takahashi, E. (1990). Effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. *Plant Soil*, 126, 115–119.
- Mali, M., & Aery, N. C. (2008). Silicon effects on nodule growth, dry-matter production, and mineral nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171, 835-840.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plant. Academic press. London.
- Mikkelsen, R. L. (2013). A closer look at phosphorus uptake by plants. *International Plant Nutrition Institute (IPNI) 13049*, North America. 1-4.
- Molaie, M., Tabatabaie, S.J., & Sharafi, Y. (2018). The effect of foliar application of glucose and mono potassium phosphate (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) on some characteristics of strawberry cultivar "Camarosa" in Hydroponic condition. *Horticultural Plant Nutrition*, 1(2), 51-64. [In Persian]
- Mosali, J., Desta, K., Teal, R. K., Freeman, K. W., Martin, K. L., Lawles, J. W., & Raun, W. R. (2006). Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 2147-2163.
- Nada, M. M. (2020). Effect of foliar application with potassium silicate and glycine betaine on growth and early yield quality of strawberry plants. *Journal of Plant Production*, 11(12), 1295-1302.
- Neu, S., Schaller, J., & Dudel, G.D. (2017). Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C: N: P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Report*, 7, 1–8.
- Park, Y. G., Muneer, S., Kim, S., Hwang, S. J. & Jeong, B. R. (2018). Silicon application during vegetative propagation affects photosynthetic protein expression in strawberry. *Horticultural Science and Biotechnology*, 59, 167-177.
- Pinedo-Guerrero, Z. H., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J., & Juárez-Maldonado, A. (2020). Form of silica improves yield, fruit quality and antioxidant defense system of tomato plants under salt stress. *Agriculture*, 10(9), 367.
- Ranjbar, P., Nazarideljo, M.J., & Hosseinzadeh, A. (2020). Effect of nano-silicon and imidacloprid foliar application on morpho-physiological characteristics of gerbera cut flower and its reaction to whitefly under greenhouse conditions. *Plant Productions*, 43(2), 295-308. [In Persian]
- Rao, I.M., Arulanantham, A. & Terry, N. (1989). Leaf phosphate status, photosynthesis and carbon partitioning in sugar beet. *Plant Physiology*, 90, 820-826.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O., & Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, 163(8), 847-855.
- Roozitalab, M. H., Toomanian, N., Ghasemi Dehkordi, V. R., & Khormali, F. (2018). Major soils, properties, and classification. *The soils of Iran*, 93-147.
- Schaller, J., Faucherre, S., Joss, H., Obst, M., Goeckede, M., Planer-Friedrich, B., Peiffer, S., Gilfedder, B., Elberling, B. (2019). Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils. *Scientific Report*, 9, 1-11.
- Seyed lor, L., Tabatabaie, S.J., & Fallahi, E. (2013). The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. *Journal of Horticultural Science*, 23 (1), 88-95. [In Persian]
- Shabani, E., Bolandnazar, S.A., Tabatabaei, S.J., Najafi, N., Alizadeh-Salteh, S., & Roupahel, Y. (2018). Stimulation in the movement and uptake of phosphorus in response to magnetic P solution and arbuscular mycorrhizal fungi in *Ocimum basilicum*. *Journal of Plant Nutrition*, 41(13), 1662-1673.
- Shabani, E. (2023). Improving the growth, P uptake and quality characteristics of 'Lollo Rosso' lettuce in the nutrient solution by *Bacillus subtilis* in different phosphorus concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 46(6), 971-983.
- Song, Z., Liu, H., Li, B. & Yang, X. (2013). The production of phytolith-occluded carbon in China's forests: implications to biogeochemical carbon sequestration. *Global Change Biology*, 19, 2907-2915.
- Souri, M., & Yarahmadi, B. (2016). Effect of amino chelates foliar application on growth and development of marigold (*Calendula officinalis*) plants. *Plant Production Technology*, 15(2), 109-119.
- Souri, M. K. (2016). Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. *Open Agriculture*, 1(1): 118-123.
- Su, N. R. (1974). Experiments involving the use of Sulfur coated fertilizer for corn and tomatoes. Agronomic Cooperators Workshop, Muscle Shoals, AL. 6-8.

- Tabatabaei, S. J. (2013). *Principles of mineral Nutrition Plant*. University of Tabriz press. Tabriz, Iran. [In Persian]
- Tulipani, S., Mezzetti, B., & Battino, M. (2009). Impact of strawberries on human health: insight into marginally discussed bioactive compounds for the Mediterranean diet. *Public Health Nutrition*, 12, 1656-1662.
- Wuzhong, N. (2002). Yield and quality of fruits of solanaceous crops as affected by potassium fertilization. *Better Crops International*, 16(1): 6-8.

مجله علمی پژوهشی  
فصلنامه علمی پژوهشی  
فصلنامه علمی پژوهشی