

Flowering and fruit yield of 'Aromas' strawberry as affected by zinc and boron in hydroponic cultivation

Ara Alinejad Elahshah¹ | Hossein Moradi^{*2} | Hossein Sadeghi³

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: araalinezhad93@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: moradiho@yahoo.com
3. Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: sadeghiah@yahoo.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 11.16.2019

Revised: 02.09.2020

Accepted: 03.13.2020

Keywords:

Boric acid,
Fruitification period,
Leaf area,
Zinc sulfate

ABSTRACT

Background and Objectives: Nutrient balance at the right time is essential for commercial fruit production, yield improvement and fruit quality, thus foliar application at key stages can have a positive effect on the quantitative and qualitative traits of perennial crops. Among essential elements that are involved in the plant physiology, due to hormone synthesis within a plant, both boron (B) and zinc (Zn) play an important role. So according to the importance of micronutrients on horticultural yield improving and environmental protection, this investigation was conducted to evaluate the effect of foliar application of zinc and boron and combination of them on growth and yield of strawberry cultivar 'Aromas' in hydroponic system.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design (RCB) with nine replications at the research greenhouse of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2016 and 2017. Treatments were zinc sulfate (0, 100 and 200 mg l⁻¹) and boric acid (0, 500 and 1000 mg l⁻¹). Foliar application of the treatments was carried out in three stages. The first stage was carried out a week before the flowering and in the next steps, the treatments were sprayed on plants at intervals of two weeks. In this research, the effect of zinc and boron on the yield, root length, root diameter, chlorophyll index, crown diameter, total chlorophyll, chlorophyll a/b, specific leaf area, specific leaf weight, petiole diameter, leaf width, leaf length, leaf area, flowering time, flowering period, peduncle length, flower diameter, flower number, fruitification time, fruitification period, fruit number, percentage of fruit set, percentage of marketable fruits, percentage of non-marketable fruits, fruit length to diameter ratio (L/D), fruit dry weight, fruit volume and percentage of fruit dry matter were investigated.

Results: Results showed that the application of 200 mg l⁻¹ zinc sulfate plus 500 mg l⁻¹ boric acid significantly increased the crown diameter. Application of zinc and boron sources significantly increased the chlorophyll concentration and index of 'Aromas' strawberry compared to the control treatment. The highest increases in leaf area (115.28 cm²) were monitored in response to 100 mg l⁻¹ zinc sulfate treatment. The application of zinc sulfate and boric acid significantly increased the number of flower, flowering period and number of fruit. However, by increasing the

concentration of boric acid (from 500 to 1000 mg l⁻¹) significantly reduced the number of fruit. Generally, application of 200 mg l⁻¹ zinc sulfate plus 500 mg l⁻¹ boric acid to achieve increased fruitification period (91.32 day) and yield (210.4 g) of 'Aromas' strawberry fruit is suggested.

Conclusion: In general, it can be concluded that foliar application of zinc and boron and combination of both them in most of the measured reproductive and vegetative factors, improved the parameters studied. Therefore, in order to achieve high yield and improve the growth traits of strawberry cultivar 'Aromas' in hydroponic system, the results of this research can be applied.

Cite this article: Alinejad Elahshah, Ara, Moradi, Hossein, Sadeghi, Hossein. 2022. Flowering and fruit yield of 'Aromas' strawberry as affected by zinc and boron in hydroponic cultivation. *Journal of Plant Production Research*, 28 (4), 43-63.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2021.17346.2598

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

گلدهی و عملکرد میوه توت‌فرنگی رقم 'اروماس' تحت تأثیر محلول‌پاشی بور و روی در کشت هیدروپونیک

آرا علی‌نژاد اله‌شاه^۱ | حسین مرادی^{۲*} | حسین صادقی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. رایانامه: araalinezhad93@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. رایانامه: moradiho@yahoo.com
۳. دانشیار گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. رایانامه: sadeghiah@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: تعادل عناصر غذایی در زمان مناسب برای تولید میوه تجاری، بهبود عملکرد و کیفیت میوه ضروری است، بنابراین محلول‌پاشی برگ‌ها در مراحل کلیدی می‌تواند اثر مثبتی بر صفات کمی و کیفی میوه محصولات چندساله داشته باشد. در بین عناصر معدنی که بر روی فیزیولوژی گیاه نقش دارند، دو عنصر کم‌مصرف بور و روی به دلیل ارتباط با ساخت هورمون‌های درونی گیاه اهمیت ویژه‌ای دارند. بدین ترتیب، نظر به اهمیت عناصر کم‌مصرف در بهبود عملکرد محصولات باغی و حفظ محیط زیست، این پژوهش به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی روی و بور و ترکیبات تلفیقی آن‌ها بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت هیدروپونیک اجرا گردید.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۵ تاریخ ویرایش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳	
واژه‌های کلیدی: اسیدبوریک، دوره میوه‌دهی، سطح برگ، سولفات روی	مواد و روش‌ها: آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تکرار در طی سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده شامل سولفات روی (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و اسیدبوریک (۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. محلول‌پاشی تیمارها در سه مرحله صورت گرفت. مرحله اول محلول‌پاشی یک هفته پیش از باز شدن گل‌ها و مراحل بعدی تیمارها با فاصله دو هفته از یکدیگر بر روی بوته‌ها اسپری شدند. در این پژوهش تأثیر کاربرد عناصر روی و بور بر عملکرد، طول ریشه، قطر ریشه، شاخص کلروفیل، قطر طوقه، کلروفیل کل، کلروفیل a/b، سطح ویژه برگ، وزن ویژه برگ، قطر دم‌برگ، عرض برگ، طول برگ، سطح برگ، زمان شروع گلدهی، طول دوره گلدهی، طول دم‌گل، قطر گل، تعداد گل، زمان شروع میوه‌دهی، طول دوره میوه‌دهی، تعداد میوه، درصد تشکیل میوه، درصد میوه‌های بازاری و غیربازاری، نسبت طول به قطر میوه (L/D)، وزن خشک میوه، حجم میوه و درصد ماده خشک میوه مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی به همراه ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریك، به‌طور معنی‌داری باعث افزایش قطر طوقه شد. کاربرد منابع حاوی بور و روی، غلظت و شاخص کلروفیل در توت‌فرنگی رقم اروماس را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بالاترین سطح برگ (۱۱۵/۲۸ سانتی‌مترمربع) در پاسخ به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی به‌دست آمد. کاربرد اسیدبوریك و سولفات روی، تعداد گل، طول دوره گلدهی و تعداد میوه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. با این‌حال با افزایش غلظت اسیدبوریك از ۵۰۰ به ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، تعداد میوه در گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طورکلی کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی به همراه ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریك جهت دسترسی به حداکثر دوره میوه‌دهی (۹۱/۳۲ روز) و بالاترین عملکرد (۲۱۰/۴ گرم) میوه توت‌فرنگی رقم اروماس پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی: در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که مصرف برگی عناصر کم‌مصرف مانند روی و بور و کاربرد تلفیقی آن‌ها در اکثر صفات اندازه‌گیری‌شده زایشی و رویشی موجب بهبود آن‌ها شد. بنابراین به منظور دستیابی به عملکرد بالا و بهبود صفات رشدی توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت هیدروپونیک می‌توان از نتایج این پژوهش بهره‌مند گردید.

استناد: علی‌نژاد اله‌شاه، آرا، مرادی، حسین، صادقی، حسین (۱۴۰۰). گلدهی و عملکرد میوه توت‌فرنگی رقم 'اروماس' تحت تأثیر محلول‌پاشی بور و روی در کشت هیدروپونیک. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۸ (۴)، ۶۳-۴۳.

DOI: 10.22069/JOPP.2021.17346.2598



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

به‌طور کلی افزودن مواد معدنی ضروری به برگ و خاک برای دستیابی به عملکرد اقتصادی بهینه در گیاهان انجام می‌شود. کاربرد خاکی عناصر معدنی روشی متداول‌تر و کارآمدتر برای عناصری است که به مقدار زیاد مورد نیاز گیاهان می‌باشند، با این وجود تحت شرایط مشخص، محلول‌پاشی اقتصادی‌تر و کارآمدتر خواهد بود (۱۶). محلول‌پاشی می‌تواند به‌عنوان روشی اضطراری یا تکمیلی در زمان‌های بحرانی طی رشد و نمو درختان استفاده شود (۲۷).

بور یک عنصر کم‌مصرف ضروری برای رشد و نمو بهینه گیاهان عالی است (۳۷). مقدار بور مورد نیاز برای رشد بهینه گیاهان عالی با توجه به نوع گونه گیاهی متفاوت است (۲۲). کوددهی با استفاده از ترکیبات دارای بور برای بهبود عملکرد درختان به‌ویژه در خاک‌های شنی با مقادیر کم بور قابل دسترس، نیاز است. کوددهی با ترکیبات دارای بور ممکن است مقدار تشکیل میوه و عملکرد درختان را حتی در شرایطی که غلظت بور برگ‌ها بهینه است، افزایش دهد، که نشان دهنده این موضوع است که غلظت بور قابل قبول برای رشد رویشی نرمال ممکن است برای تشکیل میوه بهینه درختان کافی نباشد (۴۷).

پاسخ گیاهان به محلول‌پاشی بور وابسته به عوامل مختلفی از جمله گونه، رقم و وضعیت مواد غذایی گیاه گزارش شده است (۴). محلول‌پاشی بور اغلب برای اطمینان از مقدار کافی بور قابل دسترس برای لقاح گل‌ها، تشکیل میوه و نمو میوه‌چه‌ها انجام می‌شود (۲۲). کارایی محلول‌پاشی بور برای گونه‌های گیاهی با حرکت سریع در آوند آبکشی شامل *Pyrus*، *Malus*، *Prunus* و *Oleaceae* در حد بالا گزارش شده است (۷). سانچز و ریگتی (۲۰۰۵) گزارش کردند که بور به‌کار برده شده در محلول‌پاشی پاییزه

در درختان سیب دلشیز^۱، قبل از ریزش برگ‌ها به اندام‌های ذخیره‌ای هوایی منتقل شد و سپس در فصل رشد بعدی مورد استفاده درختان قرار گرفت (۵۴). کاربرد پس از برداشت بور در درختان گلابی رقم هوسویی^۲ و وان‌هانگ^۳ موجب افزایش مقدار این عنصر در جوانه‌های در حال توسعه گردید و این افزایش اثر مثبتی بر کمیت و کیفیت دانه‌های گرده در فصل رشد بعدی برجای گذاشت (۳۳). نیومورا و همکاران (۲۰۰۰) به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی بور به مقدار ۲۴۵ و ۴۹۰ میلی‌گرم بر لیتر در فصل پاییز جوانه‌زنی و رشد لوله گرده درختان بادام ارقام بیوت^۴ و مونو^۵ را افزایش داد (۴۸). هم‌چنین نیومورا و براون (۱۹۹۷) با محلول‌پاشی بور در فصل پاییز در غلظت‌های ۲۴۵ و ۴۹۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار تشکیل میوه و عملکرد درختان بادام ارقام بیوت و مونو را افزایش دادند (۴۷). اگرچه سازوکار افزایش تشکیل میوه در پاسخ به محلول‌پاشی ترکیبات دارای بور ناشناخته است، با این وجود گزارش‌های متعدد تعادل بین اکسین و دیگر هورمون‌ها از جمله سایتوکینین و جیبرلین در مراحل مشخصی در تشکیل میوه را علت این افزایش دانسته‌اند (۱۱).

روی یکی از عناصر کم‌مصرف مهم در تغذیه گیاه است که در فرآیندهای مختلف گیاهی دخیل است و کمبود آن مانع رشد و نمو گیاهان می‌شود (۳۷). عنصر روی نمو جوانه گل، گل و میوه‌چه‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۵۸). نقش عنصر روی در گلدھی، به‌علت ساخت تریپتوفان است که پیش ماده هورمون اکسین می‌باشد و گلدھی را تحریک می‌کند (۱۱). افزون بر این، در درختان میوه عنصر روی برای

- 1- Delicious
- 2- Housui
- 3- Wonwhang
- 4- Butte
- 5- Mono

نمی‌باشند و از لحاظ اقتصادی بی‌ارزش می‌باشند و قابلیت تازه‌خوری را ندارند و مناسب فرآوری می‌باشد). رنگ میوه قرمز تیره است که مناسب برای تازه‌خوری و فرآوری است. سفتی میوه اروماس از سلوا بیش‌تر است. با توجه به نقش مؤثر این دو عنصر در بهبود خصوصیات گلدهی و میوه‌دهی درختان میوه، این آزمایش با هدف بررسی اثر عناصر مذکور بر برخی خصوصیات ریخت‌شناسی، گلدهی و میوه‌دهی توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در گلخانه و آزمایشگاه پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری طبرستان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار و ۹ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل عنصر روی (Zn) در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از منبع کود سولفات روی و بور (B) نیز در سه سطح (۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از منبع کود اسیدبوریک بود. نشاهای یکنواخت توت‌فرنگی رقم اروماس بعد از پیش‌تیمار سرمادهی در اواسط آبان ماه در محیط کشت هیدروپونیک در لوله‌های پلی‌اتیلن به حجم یک لیتر محیط کشت به‌ازای هر بوته در بستر حاوی مخلوط پرلیت و کوکوپیت به نسبت ۱:۱ کشت شدند. بوته‌ها پس از هرس ریشه، برگ و ضدعفونی (بنومیل یک در هزار) جهت جلوگیری از اختلالات رشدی به گونه‌ای در بستر کشت شدند که طوقه‌ها بالاتر از سطح بستر قرار گرفت. حذف گل‌ها فقط در مراحل اولیه گلدهی (تا پنجاه روز بعد از کاشت)

تشکیل میوه و عملکرد بهینه درختان ضروری است، همچنین اثر روی بر تشکیل و فیزیولوژی دانه‌گرده مشخص شده است (۱۰). عنصر روی نقش مهمی در گرده‌افشانی و لقاح و در نتیجه تشکیل میوه خوب در درختان ایفا می‌کند، کمبود روی اثر منفی بر تشکیل گرده، فیزیولوژی گرده، آناتومی گل و عملکرد درختان برجای می‌گذارد (۶۵). محلول‌پاشی پاییزه روی به مقدار ۶ گرم بر لیتر در درختان سیب رقم گلاب کهنز^۱ موجب افزایش درصد تشکیل میوه، طول و قطر میوه و عملکرد درخت در فصل رشد بعدی شد (۱۵).

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.)

یکی از محصولات با بیش‌ترین پراکنش در جهان است. در بسیاری از کشورها با آب‌وهوای معتدل و نیمه‌گرمسیری حتی در مناطق گرمسیری در ارتفاعات بالا کشت می‌شود. میوه توت‌فرنگی به خاطر طعم، مزه و ظاهر منحصر به فرد مورد توجه جهانی قرار گرفته است. توت‌فرنگی به تیره گل‌رز و جنس *Fragaria* تعلق دارد. این جنس به‌طور گسترده در نیمکره شمالی وجود دارد و دارای ۲۰ گونه است (۱۲) گونه دیپلوئید (۲n=۱۴)، ۲ گونه تتراپلوئید، ۱ گونه پنتاپلوئید، ۱ گونه هگزاپلوئید و ۴ گونه اکتاپلوئید (۲۱). توت‌فرنگی رقم اروماس^۲ گیاهی روز خنثی است. کیفیت استثنایی میوه، با عطر و طعم بسیار خوب، عملکرد بالاتر نسبت به رقم سلوا است. میوه‌هایی بزرگ‌تر (۲۴-۲۶ گرم) از رقم سلوا و متحمل به تنش‌های زیست‌محیطی می‌باشد. میوه‌های کوچک‌تر کم‌تری تولید می‌کند در نتیجه نرخ بی‌ارزشی کم‌تر از رقم سلوا است (نرخ بی‌ارزشی در توت‌فرنگی بدین‌صورت تعریف می‌شود که میوه‌هایی که وزن کم‌تر از ۱۰ گرم دارند قابلیت عرضه به بازار را دارا

1- Golab Kohanz

2- Aromas

برداشت شدند. عملیات برداشت میوه‌ها و انجام آزمایش‌های مربوطه در دو فصل زمستان و بهار صورت گرفت.

اندازه‌گیری غلظت و شاخص کلروفیل: میزان کلروفیل کل، کلروفیل a و b موجود در برگ توت‌فرنگی رقم اروماس به کمک اسپکتروفتومتر (مدل Biowave II - WPA) در طول موج‌های ۶۶۵/۲ و ۶۵۲/۴ نانومتر محاسبه گردید (۳۵). هم‌چنین شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (مدل SPAD-502, Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری سطح برگ و وزن ویژه برگ: سطح برگ برحسب سانتی‌مترمربع، توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Measurement system) سازنده کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن ویژه برگ، ابتدا ۱۰ دیسک برگی، هر یک به مساحت ۱ سانتی‌مترمربع، از هر نمونه تهیه شد. سپس دیسک‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. در نهایت وزن خشک آن‌ها ثبت گردید. برای محاسبه وزن ویژه برگی از رابطه زیر استفاده شد (۳۸).

$$(۱) \quad ۱۰ \div \text{وزن خشک دیسک برگی} = (\text{g/cm}^2) \text{ وزن ویژه برگ}$$

خصوصیات گلدهی: در این آزمایش زمان شروع گلدهی (از کاشت گیاه تا مشاهده اولین گل) و هم‌چنین طول دوره گلدهی از شروع شکوفایی اولین گل تا مشاهده آخرین گل در بوته ثبت گردید. افزون بر این تعداد گل در بوته‌ها نیز یادداشت گردید و در نهایت میانگین آن‌ها به دست آمد.

به‌منظور رشد رویشی کافی نشاها انجام شد اما بعد از این مدت گل‌ها جهت تبدیل به میوه مطلوب حفظ شدند. تغذیه به صورت کود آبیاری هر هفته دو مرتبه انجام شد (۴۲). برای تهیه این محلول غذایی از عناصر ماکرو شامل نیترات پتاسیم، فسفات مونوپتاسیم، نیترات کلسیم، سولفات منیزیم و نیترات آمونیوم و عناصر میکرو شامل سولفات منگنز، سولفات روی، اسیدبوریک، سولفات مس، مولیدات آمونیوم و کلات آهن ۱۳ درصد استفاده شد، pH محلول با استفاده از اسیدسولفوریک حدود ۶/۵ تنظیم شد. بعد از هر چند مرحله کودآبیاری، برای زدودن نمک تجمع یافته درون بسترهای کشت، آبیاری با آب خالص انجام می‌گرفت. طی دوره رشد، عملیاتی از جمله حذف رانرها، مبارزه با آفات و بیماری‌ها، حذف برگ‌های پیر و پوسیده، خالی کردن دور طوقه از بستر کشت، آبشویی بسترها به صورت هفتگی، هم‌چنین تنظیم دمای گلخانه $26 \pm 4^\circ\text{C}$ در روز و $15 \pm 4^\circ\text{C}$ در شب، رطوبت نسبی 60 ± 15 درصد و تهویه گلخانه انجام شد. محلول‌پاشی تیمارهای مورد آزمایش در سه مرحله صورت گرفت. مرحله اول محلول‌پاشی یک هفته پیش از باز شدن گل‌ها و مراحل بعدی محلول‌ها با فاصله دو هفته از یکدیگر بر روی بوته‌ها اسپری شدند. محلول به صورت کامل روی گل‌آذین و برگ‌ها پاشیده شد. جهت افزایش راندمان جذب عناصر غذایی، علاوه بر استفاده از سیتوویت ۰/۰۵ درصد به‌عنوان ماده مویان، هم‌چنین محلول‌پاشی در صبح زود بین ساعت ۹-۷ به خاطر بالا بودن میزان رطوبت هوا انجام گردید. میوه‌های توت‌فرنگی رقم اروماس در مرحله رسیدن تجاری، هنگامی که ۷۵-۸۰ درصد رنگ گرفته و دارای اندازه مناسبی بودند،

MSTATC استفاده شد. ضریب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

کلروفیل: مصرف کودهای حاوی بور و روی در مقایسه با شاهد، اثر معنی‌داری بر میزان و شاخص کلروفیل در توت‌فرنگی رقم اروماس داشتند، به طوری که محلول‌پاشی توام سولفات روی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسیدبوریک با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و تیمار مصرف تنهای سولفات روی و اسیدبوریک با غلظت ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر محتوای کلروفیل را در برگ گیاه به طور معنی‌داری افزایش داد، ولی با افزایش غلظت روی و بور مقدار این پارامترها کاهش یافت (جدول ۱). یافته‌های این پژوهش در مورد تأثیر محلول‌پاشی بور و روی با نتایج صیادامین و شهسوار (۲۰۱۳) در یک راستا است، آن‌ها گزارش کردند کاربرد سولفات روی به صورت محلول‌پاشی، شاخص کلروفیل در برگ زیتون را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (۵۵). عنصر روی برای ساخته شدن کلروفیل مورد نیاز است، عنصر روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل (SH) باعث سنتز کلروفیل می‌شود و نهایتاً در حضور روی تشکیل و سنتز کلروفیل تسهیل می‌گردد (۵۷). علاوه بر این افزایش شاخص کلروفیل برگ در گردو در پاسخ به کاربرد محلول‌پاشی بور و روی به اثبات رسیده است (۳۰).

عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در سوخت و ساز پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و همچنین رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی دارد، می‌تواند باعث افزایش توان فتوسنتزی و عملکرد گیاه شود. در آزمایشی گزارش شده که با

خصوصیات میوه‌دهی: در این آزمایش زمان شروع میوه‌دهی، از زمان کاشت بوته تا زمان رسیدن نخستین میوه ثبت گردید. هم‌چنین طول دوره میوه‌دهی از زمان برداشت نخستین میوه تا پایان برداشت در نظر گرفته شد. در طول دوره آزمایش، تعداد میوه‌های هر بوته شمارش شده و در نهایت میانگین آن‌ها به دست آمد. میوه‌های توت‌فرنگی برداشت شده بر اساس استاندارد درجه‌بندی ارائه شده توسط سازمان ملل متحد و وزارت کشاورزی ایالت متحده به میوه‌های بازاری و غیربازاری دسته‌بندی شدند بر این اساس میوه‌ها در مرحله رسیدن تجاری، هنگامی که ۷۵ درصد رنگ گرفته و دارای اندازه مناسبی بودند، به طور مرتب برداشت و با ترازوی دیجیتال (مدل AND MA 1000) با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند (۶۳ و ۶۴). هم‌چنین تعداد گل و میوه در طول دوره رشد ثبت و درصد تشکیل میوه محاسبه گردید (۳۶). تعیین نسبت طول به قطر میوه (شاخص فرم میوه) با اندازه‌گیری طول و قطر میوه به کمک کولیس دیجیتال (مدل Mitutoyo) صورت گرفت. حجم میوه‌ها بر حسب سانتی‌متر مکعب و براساس حجم آب جابجا شده در استوانه مدرج محاسبه گردید. بعد از توزین وزن تر میوه، میوه‌های هر تیمار به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس با ترازو توزین شدند (۲۰). از زمان شروع رسیدن میوه‌ها تا پایان دوره آزمایش، نسبت به جمع‌آوری و توزین میوه‌ها با ترازوی دیجیتال اقدام و مجموع آن‌ها به عنوان عملکرد نهایی تک بوته ثبت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. میانگین داده‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند. برای مقایسه میانگین اثرهای متقابل، از نرم‌افزار

افزایش سنتز سایتوکینین باعث تأخیر در پیری برگ‌ها و طولانی شدن دوره فتوسنتز می‌شود که این امر موجب بهبود تولید کربوهیدرات و انتقال آن به اندام‌های مختلف گیاهی می‌شود (۷). نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج مشایخی و آتشی (۲۰۱۲) مطابقت داشت، آن‌ها گزارش کردند که یک همبستگی مثبت معنی‌دار بین میزان کلروفیل a و b، کلروفیل کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا محلول‌پاشی شده توسط محلول‌های ساکارز همراه بور وجود داشت (۳۹). هم‌چنین پاپاداکیس و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که در گیاهان نارنگی پیوند شده بر روی پایه نارنج در اثر کاربرد غلظت بالای بور میزان کلروفیل کاهش معنی‌داری یافته بود، به نظر می‌رسد این کاهش به عوامل غیرروزیانه‌ای مانند کاهش کارایی فتوشیمیایی و کم شدن فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی مرتبط باشد، هم‌چنین ایشان گزارش کردند که در گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت‌های بالای بور تحت شرایط استرس مولکول‌های اکسیژن‌پذیرنده الکترون‌های اضافی حاصل از انرژی نورانی شده و منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژنی (ROS) می‌شوند که این اکسیژن‌های فعال باعث آسیب فتواکسیداتیو به مولکول‌های آلی و آسیب رساندن به ساختار کلروپلاست شده و اثر مخربی را روی سیستم فتوسنتزی و رنگیزه‌های کلروفیل می‌گذارد و در نتیجه موجب کاهش کلروفیل می‌گردند که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت داشته و آن را تأیید می‌کند (۴۹).

محلول‌پاشی روی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی در گلرنگ، میزان کلروفیل a و b افزایش یافت (۳). به‌نظر می‌رسد افزایش میزان رنگیزه‌های برگ در نتیجه مصرف اسیدبوریک، می‌تواند ناشی از نقش بور در فعال‌سازی پروتئین‌های مؤثر در مسیر بیوسنتز کلروفیل و نیز برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد، هم‌چنین معنی‌دار شدن اثر محلول‌پاشی بور بر میزان کلروفیل نشان داد که این عنصر برای سنتز پروتئین، تشکیل بذر، دیواره سلولی و ساخت کلروفیل ضروری است (۱۸).

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش با یافته‌های پیشین که اثر مثبت عناصر روی و بور در افزایش مقدار کلروفیل را مشخص نمودند همسو است (۳۰). سازوکارهای درگیر در افزایش مقدار کلروفیل برگ به‌واسطه افزایش مقدار روی می‌تواند به نقش عنصر روی در تشکیل پورفوبیلونون^۱ که یک پیش‌ماده در تشکیل کلروفیل است، مرتبط شود (۱۰ و ۱۵). نقش عنصر بور در افزایش مقدار کلروفیل برگ می‌تواند با تأثیر آن بر تأخیر در تجزیه کلروفیل در ارتباط باشد. این عنصر موجب جلوگیری از سنتز اتیلن و هم‌چنین کاهش مقدار اسید آبسزیک می‌شود (۲۴). هم‌چنین این عنصر در ساخته‌شدن سایتوکینین، DNA و RNA نقش دارد و از این طریق پایداری کلروفیل را افزایش می‌دهد (۳۷). نیکخواه و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاربرد بور موجب افزایش محتوای کلروفیل و شدت فتوسنتز در برگ‌ها و هم‌چنین انتقال مواد فتوسنتزی می‌شود (۴۵). هم‌چنین مشخص شده است که بور با تأثیر بر مقدار کلروفیل برگ‌ها و

جدول ۱- اثر سولفات روی و اسیدبوریك بر غلظت و شاخص کلروفیل در توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت هیدروپونیک.

Table 1. Effect of zinc sulfate and boric acid on chlorophyll concentration and index of 'Aromas' strawberry in hydroponic culture.

تیمارها Treatments		کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g FW)	کلروفیل a/b Chlorophyll a/b ratio	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (spad)
سولفات روی Zinc sulfate (mg L ⁻¹)	اسیدبوریك Boric acid (mg L ⁻¹)					
0	0	1.73 ^c	0.75 ^d	2.48 ^d	2.09 ^d	31.8 ^f
	500	2.13 ^a	1.02 ^a	3.16 ^a	2.36 ^a	47.2 ^b
	1000	1.71 ^c	0.71 ^e	2.42 ^e	2.08 ^d	31.03 ^f
100	0	2.13 ^a	1.01 ^{ab}	3.14 ^{ab}	2.29 ^b	51.43 ^a
	500	2.12 ^a	1 ^{ab}	3.13 ^{ab}	2.39 ^a	49.7 ^a
	1000	1.88 ^b	0.90 ^c	2.78 ^c	2.11 ^c	38.53 ^d
200	0	2.11 ^a	0.99 ^b	3.10 ^{ab}	2.12 ^{bc}	43.53 ^c
	500	2.11 ^a	1 ^{ab}	3.11 ^{ab}	2.12 ^{bc}	45.33 ^{bc}
	1000	1.72 ^c	0.73 ^e	2.44 ^{de}	2.11 ^c	35.77 ^e

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف (حروف) مشترک، در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$)، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the mean values that are followed by the same letter(s) are not significantly different ($P < 0.05$) based on LSD test.

سولفات روی به دست آمد (جدول ۲). افزون بر این استفاده از کودهای مورد استفاده، وزن ویژه برگ را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۲).

سطح برگ و وزن ویژه برگ: کاربرد کودهای حاوی بور و روی، سبب افزایش معنی‌داری سطح برگ در گیاه گردید (جدول ۲). بالاترین سطح برگ (۱۱۵/۲۸ سانتی‌متر مربع) به دنبال کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر

جدول ۲- اثر سولفات روی و اسیدبوریك بر خصوصیات برگ توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت هیدروپونیک.

Table 2. Effect of zinc sulfate and boric acid on leaf properties of 'Aromas' strawberry in hydroponic culture.

تیمارها Treatments		سطح برگ Leaf area (cm ²)	وزن ویژه برگ Specific leaf weight (g/cm ²)
سولفات روی Zinc sulfate (mg L ⁻¹)	اسیدبوریك Boric acid (mg L ⁻¹)		
0	0	90.07 ^d	0.0047 ^d
	500	113.76 ^{ab}	0.0066 ^{ab}
	1000	89.39 ^d	0.0046 ^d
100	0	115.28 ^a	0.0067 ^a
	500	114.41 ^{ab}	0.0067 ^a
	1000	105.04 ^c	0.0054 ^c
200	0	111.77 ^b	0.0064 ^b
	500	112.89 ^{ab}	0.0066 ^{ab}
	1000	103.63 ^c	0.0053 ^c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف (حروف) مشترک، در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$)، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the mean values that are followed by the same letter(s) are not significantly different ($P < 0.05$) based on LSD test.

هم‌چنین مشخص شده است که در گیاهان بور نقش مهمی در تقسیم سلولی دارد (۱). در این رابطه گزارش شده است که در شرایط کمبود بور، سنتز سایتوکینین‌ها در گیاه کاهش می‌یابد، غلظت کم سایتوکینین در گیاه می‌تواند سبب ممانعت از تقسیم سلولی و در نتیجه کاهش رشد رویشی و زایشی در گیاه شود (۵۰).

خصوصیات گلدهی: مشاهده اولین گل به‌عنوان زمان شروع گلدهی در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی و کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک صورت گرفت. کاربرد اسیدبوریک و سولفات روی، تعداد گل و طول دوره گلدهی در توت‌فرنگی رقم اروماس را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). هم‌چنین نتایج این آزمایش نشان داد کاربرد محلول‌پاشی منابع بور و روی می‌تواند سبب افزایش قطر گل شود (جدول ۳). در برخی تحقیقات مشخص شده است که محلول‌پاشی روی سبب افزایش تعداد گل می‌گردد (۳۶). هم‌چنین بیان نموده است کاربرد بور می‌تواند در به تأخیر انداختن ریزش گل‌ها مؤثر باشد (۱۳). عناصر روی (به‌عنوان یک کوفاکتور) و بور در سنتز اکسین نقش دارند که با سنتز کافی این هورمون اندازه سلول‌ها افزایش می‌یابد (۲۶). این هورمون در مریستم گل‌دهنده تولید و رهاسازی شده و شکل‌گیری و تمایز گل‌ها را کنترل می‌نماید. هم‌چنین اکسین منجر به تحریک نمو بافت‌های آوندی در آن‌ها می‌شود (۱۱). به احتمال زیاد افزایش تعداد گل و طول دوره گلدهی با این سازوکار مرتبط بوده و در مجموع موجب افزایش عملکرد و بازارپسندی توت‌فرنگی خواهد شد.

برگ به عنوان اندام اصلی فتوسنتز در گیاهان عالی به شمار می‌آید و انرژی نورانی خورشید ابتدا به‌وسیله رنگیزه‌های گیاهی جذب می‌شود. همه رنگیزه‌هایی که در فتوسنتز فعالیت دارند، در کلروپلاست‌ها یافت می‌شوند. کلروفیل‌ها رنگیزه‌هایی هستند که برای انجام عمل فتوسنتز ضروری بوده و باعث می‌شوند گیاه انرژی را از نور خورشید به دست آورد (۳۴). رابطه مثبتی بین سطح و اندازه برگ، میزان نفوذ نور و عملکرد وجود دارد، درختان با سطح و اندازه برگ بزرگ‌تر، عملکرد بالاتری نیز خواهند داشت، در واقع شاخص سطح برگ بالا، باعث بهره‌گیری بیش‌تر و بهتر از نور خورشید شده و به تبع آن تولید ماده خشک و سرعت رشد محصول نیز افزایش می‌یابد. به احتمال زیاد افزایش سطح برگ به‌واسطه افزایش طول و عرض برگ ناشی از اثر عنصر روی بر تقسیم سلولی از طریق افزایش سنتز اکسین نسبت داده شود (۱۱ و ۶۷). صیاد امین و شهسوار (۲۰۱۳) گزارش نمودند که افزایش سطح برگ در زیتون در پاسخ به کاربرد محلول‌پاشی بور و روی به دلیل نقش این عناصر در نمو سلول‌های برگ است (۵۵).

از سوی دیگر اثر مثبت محلول‌پاشی روی و بور بر افزایش سطح برگ درختان نیز پیش از این گزارش شده است (۲۳). سطح برگ بالاتر به‌دنبال محلول‌پاشی روی ممکن است به علت افزایش در تولید اسیدآمینو ترپتوفان و هورمون اکسین باشد که هر دو از عوامل اساسی در گسترش سطح برگ می‌باشند (۵۶). اثر مثبت بور بر افزایش سطح برگ نیز می‌تواند با فعالیت سوخت‌وسازی آن در گیاه و هم‌چنین نقش آن در گسترش دیواره سلولی مرتبط شود (۲۲ و ۳۷).

جدول ۳- اثر سولفات روی و اسیدبوریک بر خصوصیات گلدهی توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت هیدروپونیک.

Table 3. Effect of zinc sulfate and boric acid on flower characteristics of 'Aromas' strawberry in hydroponic culture.

تیمارها Treatments		زمان شروع گلدهی Flowering time (day)	طول دوره گلدهی Flowering period (day)	تعداد گل Number of flowers (N/plant)	قطر گل Flower diameter (mm)
سولفات روی Zinc sulfate (mg L ⁻¹)	اسیدبوریک Boric acid (mg L ⁻¹)				
0	0	87.18 ^a	90.66 ^e	13.29 ^d	18.31 ^d
	500	64.13 ^e	115.97 ^a	17.03 ^a	24.92 ^{ab}
	1000	84.92 ^a	94.19 ^e	13.22 ^d	19.34 ^d
100	0	68.12 ^d	110.18 ^b	16.06 ^{abc}	24.73 ^{ab}
	500	67.48 ^{de}	111.78 ^b	16.12 ^{abc}	24.78 ^{ab}
	1000	76.4 ^b	101.27 ^d	14.87 ^c	22.45 ^c
200	0	64.44 ^e	116.82 ^a	16.2 ^{ab}	25.02 ^{ab}
	500	66.26 ^{de}	117.17 ^a	17.19 ^a	25.11 ^a
	1000	71.82 ^c	105.83 ^c	14.93 ^{bc}	23.34 ^{bc}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف (حروف) مشترک، در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$)، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the mean values that are followed by the same letter(s) are not significantly different ($P < 0.05$) based on LSD test.

خصوصیات میوه‌دهی: نتایج این مطالعه نشان داد زمان کاشت تا برداشت اولین میوه (زمان رسیدن) در مصرف تلفیقی سولفات روی با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسیدبوریک با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۱۰۲ روز و در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی)، ۱۲۲ روز بود که بیش‌ترین زمان رسیدن میوه را داشت و پس از آن کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک طولانی‌ترین زمان رسیدن میوه را به خود اختصاص داد (جدول ۴). کم‌ترین طول دوره میوه‌دهی با ۶۵/۴۹ و ۶۷/۲۲ روز، به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد و کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک بود. هم‌چنین بیش‌ترین طول دوره میوه‌دهی (۹۱/۳۲ روز) پس از کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی به‌همراه ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک مشاهده گردید (جدول ۴). کاربرد کودهای حاوی بور و روی، سبب افزایش معنی‌داری تعداد میوه در گیاه شد. با این‌حال با افزایش غلظت اسیدبوریک از ۵۰۰ به

در پژوهشی روی انگور، نشان داده شده است که شروع نمو جوانه همراه و هم‌زمان با رشد رویشی و زایشی است. ایجاد یک رقابت شدید بین شاخه‌ها و خوشه‌های در حال رشد منجر به ایجاد یک رابطه منفی بین رشد و عملکرد می‌شود (۶). به عنوان مثال، طی دوره گلدهی تا تشکیل میوه، خوشه در مقایسه با نوک شاخه به صورت یک منبع گیرنده ضعیف عمل کرده و در نتیجه شرایط مطلوب برای رشد شاخه فراهم و منجر به تشکیل میوه ضعیف و با حداقل کیفیت فیزیکی و شیمیایی می‌گردد؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که به احتمال زیاد روند اثرگذاری محلول‌پاشی عناصر بور و روی مربوط به کاهش غالبیت رشد رویشی شاخه و توزیع مناسب‌تر ذخایر کربوهیدراتی در گیاه است، زیرا باعث می‌شود گل‌ها سهم بیش‌تری از مواد فتوسنتزی و کربوهیدراتی را دریافت نموده و در پی آن افزایش تعداد، وزن، طول و حجم میوه رخ دهد (۶۰).

به‌میزان ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر را به‌منظور بیش‌ترین عملکرد در توت‌فرنگی مؤثر دانست (۲۹). نتایج بررسی عبدالهی و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد محلول‌پاشی سولفات‌روی و اسیدبوریك در تعداد گل‌آذین، تعداد میوه، وزن تر شاخه، وزن تر ریشه، نسبت وزن تر شاخه به وزن تر ریشه تأثیر معنی‌داری داشت و موجب افزایش تعداد گل‌آذین و تعداد میوه در توت‌فرنگی رقم سلوا شد (۲). پژوهش حاضر با نتایج خان و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشت، آن‌ها گزارش کردند که کاربرد توأم سولفات‌روی و اسیدبوریك تعداد میوه را نسبت به شاهد بهبود بخشید و موجب افزایش درصد میوه‌های بازاری در نارنگی شد (۳۱).

۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، تعداد میوه در گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). اثرات مثبت روی در افزایش تعداد میوه که ناشی از رشد اولیه نهنج در اثر سنتز اکسین و در نهایت افزایش تعداد آکن‌ها است، به اثبات رسیده است (۱۵ و ۳۷). مشخص شده روی به عنوان بخشی از آنزیم کربونیک آنهیدراز^۱ در تمام بافت‌های فتوسنتزی نقش دارد و از طریق افزایش سنتز و انتقال کربوهیدرات و مواد آسیمیلاتی ریزش میوه را کاهش و تعداد میوه برداشت شده را افزایش می‌دهد (۱۰). در آزمایش کاظمی (۲۰۱۴) روی توت‌فرنگی رقم پاجارو مشخص شد تیمار سولفات‌روی با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر طول دوره گلدهی، تعداد گل، تعداد میوه و وزن میوه را افزایش داد به طوری که استفاده از سولفات‌روی

جدول ۴- اثر سولفات‌روی و اسیدبوریك بر خصوصیات میوه‌دهی توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت هیدروپونیک.

Table 4. Effect of zinc sulfate and boric acid on fruitification characteristics of 'Aromas' strawberry in hydroponic culture.

تیمارها Treatments		زمان شروع میوه‌دهی Fruitification time (day)	طول دوره میوه‌دهی Fruitification period (day)	تعداد میوه Number of fruit (N/plant)	تشکیل میوه Fruit set (%)	میوه‌های بازاری Marketable fruits (%)	میوه‌های غیربازاری Non-marketable fruits (%)
0	0	122.02 ^a	65.49 ^f	10.15 ^c	76.37 ^e	61.62 ^f	38.38 ^a
	500	105.08 ^e	81.88 ^c	14.31 ^a	84.07 ^c	87.04 ^{ab}	12.96 ^e
	1000	120.48 ^{ab}	67.22 ^f	10.43 ^c	78.28 ^e	62.73 ^f	37.27 ^{ab}
100	0	113.27 ^{cd}	84.12 ^{bc}	14.41 ^a	89.78 ^b	81.26 ^c	18.74 ^d
	500	111.63 ^d	83.09 ^{bc}	14.33 ^a	88.95 ^b	84.27 ^{bc}	15.73 ^{de}
	1000	117.15 ^{bc}	72.26 ^e	12.11 ^b	81.49 ^d	66.09 ^e	33.91 ^{bc}
200	0	106.21 ^e	85.93 ^b	14.62 ^a	90.24 ^{ab}	84.3 ^{abc}	15.67 ^{de}
	500	102.86 ^e	91.32 ^a	15.87 ^a	92.37 ^a	87.45 ^a	12.55 ^e
	1000	116.17 ^c	75.99 ^d	12.33 ^b	82.65 ^{cd}	69.48 ^d	30.52 ^c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف (حروف) مشترک، در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$)، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the mean values that are followed by the same letter(s) are not significantly different ($P < 0.05$) based on LSD test.

بادام رقم بیوت به دست آمد (۴۸). عنصر بور از طریق تشکیل کمپلکس با مواد آلی مانند قندها باعث تشکیل و غیرفعال نمودن کالوز دیواره سلولی لوله گرده می‌شود (۳۷). هم‌چنین بور باعث تأخیر در اکسیداسیون فنول‌ها طی رشد لوله گرده می‌شود؛ بنابراین بور باعث حفاظت غشای گرده از رادیکال‌های آزاد حاصل از اکسیداسیون فنول‌ها شده و از توقف رشد لوله گرده جلوگیری می‌کند (۱۷).

گزارش شده است که کاربرد بور، درصد میوه‌بندی را از طریق به تأخیر انداختن ریزش گل‌ها افزایش می‌دهد (۱۳). بنابراین به نظر می‌رسد، تعداد گل بیش‌تر در خوشه به علت در دسترس بودن سطح کافی کربوهیدرات می‌تواند بر درصد میوه‌بندی مؤثر باشد (۶۱). در پژوهشی گزارش شده است که کاربرد ۲۵۰ یا ۵۰۰ پی‌پی‌ام اسیدبوریک، درصد میوه‌بندی را در زیتون رقم پیکوال^۱ افزایش داد (۲۵). عوامل داخلی (مانند گرده‌افشانی، لقاح و تنظیم‌کننده‌های رشد) و خارجی مانند سطح برگ و اندازه برگ، قدرت رشد، رطوبت خاک، نور و مواد غذایی از عواملی هستند که به‌طور مستقیم بر رشد میوه‌ها مؤثر هستند (۹). کوئین (۱۹۹۶) طی پژوهش‌هایی اعلام کرد در پرتقال کاربرد روی سبب افزایش طول لوله گرده و رشد آن شده در نتیجه باروری، تشکیل میوه و میزان محصول را افزایش می‌دهد. هم‌چنین وی بیان کرد در مرکبات ترکیب بور و روی با هم به‌صورت محلول‌پاشی، میزان تشکیل میوه را افزایش داده است (۵۱). نتایج پژوهش‌های محمدخانی و همکاران (۲۰۱۳) در میوه سیب نشان داد که محلول‌پاشی بهاره بور و روی می‌تواند اثر مثبتی در افزایش میزان غلظت بور و روی در گل و افزایش تشکیل میوه داشته باشد (۴۰). هم‌چنین مشخص شده سطح پایین بور و روی، میزان تشکیل میوه و نمو میوه و در نهایت بازارپسندی را در خرما کاهش می‌دهد (۳۲). نتایج این پژوهش با نتایج

با کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی به تنهایی یا همراه با ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک، بالاترین درصد تشکیل میوه و درصد میوه‌های بازاری حاصل گردید. مصرف ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک همانند تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی کودهای حاوی بور و روی)، منجر به افزایش درصد میوه‌های غیربازاری شد (جدول ۴). به احتمال زیاد مسأله اصلی در کاهش تشکیل میوه در توت‌فرنگی مربوط به لقاح و باروری ناموفق و مسائل مربوط به طول عمر تخمک، طول دوره گرده‌افشانی مؤثر، جوانه‌زنی دانه گرده و رشد لوله گرده باشد. به‌طور کلی مطالعات زیادی در خصوص اثرات محلول‌پاشی با عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف در افزایش تشکیل میوه در درختان میوه انجام شده است. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های انجام شده در خصوص کاربرد محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (بور و روی) در افزایش و بهبود تشکیل میوه در انگور (۵)، گردو (۳۰) و خرما (۳۲) مشابه بود. تأثیر محلول‌پاشی برگی بور و روی بر افزایش تشکیل میوه را می‌توان این‌گونه بیان داشت که عنصر بور از طریق تقسیم سلولی و سنتز اسیدهای نوکلئیک و پروتئین در حین نمو میوه بر تشکیل میوه اثر بگذارد (۵۹). هم‌چنین عنصر بور طول عمر تخمک را افزایش داده و قوه نامیه و درصد جوانه‌زنی دانه گرده و رشد لوله گرده را نیز بالا می‌برد (۳۰).

عبادی و همکاران (۲۰۰۱) در مطالعه خود با محلول‌پاشی عنصر بور در انگور گزارش کردند که محلول‌پاشی، تأثیر معنی‌داری بر جوانه‌زنی دانه گرده در سطح کلاله، رشد لوله گرده در خامه و در قسمت تحتانی تخمدان و حتی تخمک‌های نفوذ یافته توسط لوله گرده داشت و موجب بهبود آن‌ها گردید (۱۴). نیومورا و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که بیش‌ترین جوانه‌زنی دانه گرده و تشکیل میوه در محلول‌پاشی بور با غلظت ۴۹۰ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۹۹۳ و ۷۳۵ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۹۹۴ در

می‌دهد که این موضوع خود اثرات منفی بر صفات کمی محصول می‌گذارد (۱۹). نتایج پژوهش حاضر با نتایج محمد و سینگ (۲۰۰۷) مبنی بر اثر مثبت محلول‌پاشی بور و روی بر افزایش طول میوه گوجه‌فرنگی مطابقت دارد (۴۴).

عناصر بور و روی فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان مانند متابولیسم اسیدهای نوکلئیک، سنتز پروتئین‌ها و متابولیسم کربوهیدرات‌ها را کنترل می‌کنند. به احتمال زیاد به دلایل فوق محلول‌پاشی عناصر بور و روی موجب افزایش وزن، حجم و طول میوه شده است. عناصر روی (به عنوان یک کوفاکتور) و بور در سنتز اکسین نقش دارند که با سنتز کافی این هورمون اندازه سلول‌ها افزایش می‌یابد (۲۶). هرچند درصد ماده خشک میوه پس از کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، با این حال این صفت تحت تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی قرار نگرفت (جدول ۶). اثر بور بر افزایش ماده خشک میوه به علت نقش آن در تسهیل انتقال قندها و همچنین دخالت آن در واکنش‌های فیزیولوژیکی مرتبط با فتوسنتز گیاه است (۶۶).

پژوهش آلاه و همکاران (۲۰۱۲) که اثر محلول‌پاشی برگی بور را بر میوه نارنگی بررسی کردند همسو می‌باشد، آن‌ها نشان دادند که مصرف غلظت‌های مختلف بور موجب افزایش معنی‌دار تعداد و درصد میوه‌های بازارپسند گردید (۶۲). این نتایج با نتایج رزاق و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت آن‌ها گزارش کردند که سطوح مختلف سولفات روی در نارنگی باعث کاهش درصد میوه‌های غیربازاری نسبت به تیمار شاهد شدند (۵۳).

عملکرد میوه: نتایج این پژوهش نشان داد نسبت طول به قطر میوه (شاخص فرم میوه)، حجم میوه و وزن خشک میوه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی سولفات‌روی و اسیدبوریک قرار می‌گیرد (جدول‌های ۵ و ۶). افزایش طول میوه می‌تواند به علت حضور بور باشد. پژوهش‌ها نشان داده است وقتی بور به اندازه کافی وجود نداشته باشد، فرآیند تقسیم سلولی دچار اختلال شده و به‌طور کامل انجام نمی‌شود. این امر نشان‌دهنده تقسیم نامنظم و ناقص سلولی و به‌دنبال آن توسعه ضعیف برگی است که با کاهش میزان فتوسنتز، میزان کربوهیدرات را در گیاه کاهش

جدول ۵- اثر سولفات‌روی و اسیدبوریک بر برخی ویژگی‌های توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت هیدروپونیک.

Table 5. Effect of zinc sulfate and boric acid on some features of 'Aromas' strawberry in hydroponic culture.

تیمارها		نسبت طول به قطر میوه (L/D) Length/fruit diameter ratio	وزن خشک میوه Fruit dry weight (g)	عملکرد Fruit yield (g/plant)
Treatments				
سولفات روی Zinc sulfate (mg L ⁻¹)	اسیدبوریک Boric acid (mg L ⁻¹)			
0	0	0.76 ^e	0.93 ^d	92.31 ^e
	500	1.36 ^{ab}	1.72 ^{ab}	188.18 ^c
	1000	0.8 ^e	0.95 ^d	94.09 ^e
100	0	1.21 ^c	1.59 ^b	188.98 ^c
	500	1.28 ^{bc}	1.63 ^{ab}	188.6 ^c
	1000	0.94 ^d	1.13 ^c	111.7 ^d
200	0	1.25 ^c	1.67 ^{ab}	191.47 ^b
	500	1.45 ^a	1.77 ^a	210.4 ^a
	1000	0.96 ^d	1.16 ^c	114.26 ^d

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف (حروف) مشترک، در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$)، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the mean values that are followed by the same letter(s) are not significantly different ($P < 0.05$) based on LSD test.

جدول ۶- اثر سولفات روی و اسیدبوریکی بر برخی ویژگی‌های توت‌فرنگی رقم اروماس در کشت هیدروپونیک.

Table 6. Effect of zinc sulfate and boric acid on fruit volume and fruit dry matter of 'Aromas' strawberry in hydroponic culture.

تیمارها Treatments	حجم میوه Fruit volume (cm ³)	ماده خشک میوه Fruit dry matter (%)
0	14.92 ^b	-
سولفات روی Zinc sulfate (mg L ⁻¹)	100	-
200	18.66 ^a	-
0	16.96 ^b	11.42 ^b
اسیدبوریکی Boric acid (mg L ⁻¹)	500	13.06 ^a
1000	14.7 ^b	10.19 ^b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف (حروف) مشترک، در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$)، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the mean values that are followed by the same letter(s) are not significantly different ($P < 0.05$) based on LSD test.

همکاران (۲۰۱۲) که طی پژوهشی گزارش کردند کاربرد روی و بور موجب تناسب طول به قطر و کاهش بدشکلی در ذرت می‌شود و در اثر کمبود بور روی نظم و ترتیب دانه‌ها بر روی بلال‌ها نیز به هم خورده و حالت بدشکلی به بلال می‌دهند، مطابقت داشت (۴۱).

به‌طور کلی بهترین تیمار جهت دسترسی به بالاترین عملکرد میوه توت‌فرنگی رقم اروماس در شرایط هیدروپونیک (با میانگین ۲۱۰/۴ گرم) در تیمار مربوط به مصرف تلفیقی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریکی حاصل گردید (جدول ۵). با توجه به این‌که رشد و عملکرد نهایی بستگی به دسترس بودن آب و مواد غذایی دارد و از آنجایی‌که بور در جذب آب و متابولیسم کربوهیدرات‌ها کمک می‌کند، کمبود آن باعث عقیم شدن، کوچک شدن اندازه میوه و کاهش عملکرد می‌شود (۱۲، ۲۲ و ۵۸). بور از طریق مشارکت در تشکیل پکتین دیواره سلولی، تولید اسیدهای نوکلئیک، تقسیم سلولی، انتقال کربوهیدرات‌ها از طریق تشکیل کمپلکس قند - بور و نیز جلوگیری از فعالیت ایندول استیک اسید اکسیداز و در نتیجه بقاء میزان

همان‌طور که اشاره شد سطوح محلول‌پاشی سولفات روی و اسیدبوریکی وزن میوه توت‌فرنگی رقم اروماس را افزایش داد. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که روی از طریق ساخت اسیدآمین‌ه‌تریپتوفان و مواد آسیمیلاتی به‌طور غیرمستقیم در افزایش وزن اندام‌های گیاه نقش دارد. روی هم‌چنین جهت به‌دست آوردن اندازه مناسب میوه مورد نیاز است، به‌طوری‌که با کمبود روی و کاهش ساخت اسیدآمین‌ه‌تریپتوفان، کاهش چشمگیری در اندازه میوه‌ها مشاهده می‌شود. این امر ناشی از اختلال در سوخت‌وساز اکسین است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (۱۰). سینگ و یوشا (۲۰۰۲) طی آزمایشی بر روی انگور به این نتیجه رسیدند که افزایش وزن تک حبه در اثر محلول‌پاشی بور به دلیل نقش این ماده در تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها و جابه‌جایی آن‌ها است (۶۰). نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش آلاه و همکاران (۲۰۱۲) که اثر محلول‌پاشی برگی بور بر میوه نارنگی بررسی کردند همسو می‌باشد، آن‌ها نشان دادند که مصرف غلظت‌های مختلف بور به طور قابل‌توجهی وزن و حجم میوه را افزایش داد (۶۲). نتایج به‌دست آمده با محسنی و

سولفات روی در مرحله قبل از گلدهی موجب افزایش کیفیت و عملکرد می‌شود (۳۶). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج پژوهش‌های قبلی از نظر پاسخ به کاربرد برگی عناصر بور و روی بر افزایش عملکرد میوه در انگور مشابهت دارد (۲۸، ۴۵ و ۶۰).

همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده: نتایج همبستگی نشان داد بین قطر طوقه و کلروفیل کل (۰/۸۵)، تعداد گل (۰/۸۲)، تعداد میوه (۰/۸۲)، درصد میوه بازاری (۰/۸۷) و عملکرد میوه (۰/۸۹) همبستگی مثبت و معنی‌دار برقرار است. همان‌طور که انتظار می‌رفت بین تعداد گل و عملکرد میوه (۰/۸۵) رابطه خطی و معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۷). هم‌چنین با افزایش محتوای کلروفیل، درصد میوه‌های بازاری نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۷). این موضوع با توجه به تولید و انتقال کربوهیدرات‌ها از طریق تشکیل کمپلکس قند - بور و جلوگیری از فعالیت ایندول استیک اسید اکسیداز و در نتیجه بقاء میزان اکسین در گیاه و افزایش تولید سیتوکینین، افزایش تشکیل میوه دور از انتظار نخواهد بود.

اکسین در گیاه و افزایش تولید سیتوکینین، میزان ریزش را کاهش داده و تشکیل میوه را افزایش می‌دهد (۳۷). هم‌چنین گزارش شده است که کمبود روی سبب کاهش فتوسنتز و اندازه میوه شده و به دنبال آن عملکرد نهایی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (۴۳). رفیعی و پاک‌کیش (۲۰۱۴) گزارش کردند محلول‌پاشی گیاهان توت‌فرنگی رقم کاماروسا با اسیدبوریک اثر قابل‌توجهی بر عملکرد، وزن میوه، کلروفیل و سطح برگ داشته است (۵۲). طی پژوهشی بیان شده است که محلول‌پاشی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کوئین الیزا با اسید بوریک اثر قابل‌توجهی بر وزن تک میوه، عملکرد کل بوته، درصد میوه‌های بدشکل و بازارپسند داشته است، که دلیل آن می‌تواند اثر بور روی جوانه‌زنی دانه‌گرده و تحریک رشد لوله‌گرده و در نتیجه تلقیح بیش‌تر برچه‌ها باشد (۴۶ و ۵۸). گزارش شده است که تشکیل میوه، عملکرد کل و ویژگی‌های کیفی گیاه توت‌فرنگی رقم کاماروسا تیمار شده با غلظت‌های مختلف سولفات روی بیش‌تر از شاهد بود و نتایج نشان داد کاربرد تغذیه برگی

جدول ۷- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده.

Table 7. Correlation between the measured parameters.

	قطر طوقه Crown diameter	کلروفیل کل Total chlorophyll	تعداد گل Flower number	تعداد میوه Fruit number	میوه‌های بازاری Marketable fruits	عملکرد Yield
قطر طوقه Crown diameter	1					
کلروفیل کل Total chlorophyll	0.85**	1				
تعداد گل Flower number	0.82**	0.82**	1			
تعداد میوه Fruit number	0.82**	0.83**	0.77**	1		
میوه‌های بازاری Marketable fruits	0.87**	0.91**	0.85**	0.87**	1	
عملکرد Yield	0.89**	0.94**	0.85**	0.9**	0.97**	1

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** Indicate non-significance and significance at 5 and 1% probability levels, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

می‌تواند در بهبود صفات کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم اروماس اثرگذار واقع شود. به‌طورکلی بهترین تیمار جهت دسترسی به حداکثر دوره میوه‌دهی (۹۱/۳۲ روز) و بالاترین عملکرد (۲۱۰/۴ گرم) میوه توت‌فرنگی رقم اروماس در شرایط هیدروپونیک در تیمار مربوط به مصرف تلفیقی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک حاصل گردید. بنابراین کاربرد این عناصر به صورت محلول‌پاشی می‌تواند قدم مؤثری در جهت کاهش ذخیره کودهای شیمیایی در خاک و خطرات زیست‌محیطی آن‌ها باشد. با این روش تغذیه، می‌توان عناصر را به صورت مطلوب‌تر و در زمان کم‌تری در اختیار گیاه قرارداد تا عناصر غذایی به صورت مستقیم مورد استفاده گیاه قرار گیرند.

محلول‌پاشی عناصر معدنی امکان استفاده سریع‌تر از مواد معدنی و اصلاح وضعیت مواد معدنی گیاه در مدت زمان کوتاه‌تری در قیاس با کاربرد خاکی را فراهم می‌کند. به‌طورکلی محلول‌پاشی برگ‌ها دارای مزیت‌هایی مانند مقادیر کاربرد کم، پاسخ سریع به مواد غذایی به‌کار برده شده و توزیع یکنواخت مواد معدنی است. نتایج نشان داد کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی به تنهایی یا به همراه ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدبوریک، به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد اندام هوایی شد. مصرف کودهای حاوی بور و روی، میزان و شاخص کلروفیل برگ، سطح برگ، تعداد گل و میوه و طول دوره گلدهی و میوه‌دهی را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد؛ بنابراین استفاده از عناصر ریزمغذی روی و بور

منابع

1. Abdollahi, M., Eshghi, S. and Tafazoli, E. 2010. Interaction of paclobutrazol, boron and zinc on vegetative growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch. cv. Selva). J. Biol. Environ. Sci. 4: 11. 67-75.
2. Abdollahi, M., Eshghi, S., Tafazzoli, E. and Moosavi, N. 2012. Effects of paclobutrazol, boric acid and zinc sulfate on vegetative and reproductive growth of strawberry cv. Selva. J. Agric. Sci. Technol. 14: 357-363.
3. Abedi Babaarabi, S., Movahedi Dehnavi, M., Yadavi, A. and Adhami, A. 2011. Effect of Zn and K spraying on safflower physiological traits and yield under drought stress. Elect. J. Crop Prod. 4: 1. 75-95. (In Persian)
4. Asgharzade, A., Valizadeh, G.A. and Babaeian, M. 2012. Investigating the effect of boron spray on yield nutrient content, texture and brix index of apple (Sheikh Amir Variety) in Shirvan region. Afr. J. Microbiol. Res. 6: 11. 2682-2685.
5. Ashoori, M., Lolaei, A., Zamani, S. and Mobasheri, S. 2013. Effects of N and Zn on quantity and quality characters of grape vine (*Vitis vinifera*). Int. J. Agric. Crop Sci. 5: 3. 207-211.
6. Bowen, P.A. and Kliewer, W.M. 1990. Relationships between the yield and vegetative characteristics of individual shoots of 'Cabernet Sauvignon' grapevines. J. Am. Soc. Hort. Sci. 115: 4. 534-539.
7. Brown, P.H., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F. and Romheld, V. 2002. Boron in plant biology. Plant Biol. 4: 205-223.
8. Carter, G.A. and Knapp, A.K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. Am. J. Bot. 88: 4. 677-684.
9. Casanova, L., Casanova, R., Moret, A. and Agustí, M. 2009. The application of gibberellic acid increases berry size of 'Emperatriz' seedless grape. Span. J. Agric. Res. 7: 4. 919-927.

10. Castro, J. and Sotomayor, C. 1997. The influence of boron and zinc sprays at bloom time on almond fruit set. *Acta Hort.* 470: 402-405.
11. Crane, J.C. 1969. The role of hormones in fruit set and development. *HortScience.* 4: 2. 108-111.
12. Davis, T.M., Denoyes-Rothan, B. and Lereeteau-Kohler, E. 2007. Strawberry (chapter 8). In *Fruits and nuts*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 189-205.
13. Desouky, I.M., Haggag, L.F., El-Migeed, M.A., Kishk, Y.F.M. and El-Hady, E.S. 2009. Effect of boron and calcium nutrients sprays on fruit set, oil content and oil quality of some olive oil cultivars. *World J. Agric. Sci.* 5: 2. 180-185.
14. Ebadi, A., Atashkar, D. and Babalar, M. 2001. Effect of boron on pollination and fertilization in seedless grapevine cvs White seedless and Askary. *Iranian J. Agric. Sci.* 32: 457-465. (In Persian)
15. Etehadnejad, F. and Aboutalebi, A. 2014. Evaluating the effects of foliar application of nitrogen and zinc on yield increasing and quality improvement of apple cv. 'Golab Kohanz'. *Indian J. Fundam. Appl. Life Sci.* 4: 125-129.
16. Fageria, N.K. 2009. *The use of nutrients in crop plants*. Boca Raton, USA: CRC Press, 448p.
17. Ganie, M.A., Akhter, F., Bhat, M., Malik, A., Junaid, J.M. and Shah, M.A. 2013. Boron-a critical nutrient element for plant growth and productivity with reference to temperate fruits. *Curr. Sci.* 104: 76-85.
18. Ghorbanli, M. 2005. *Mineral nutrition of plants*. Tarbiat Modarres University Press, 235p. (In Persian)
19. Greenfield, H. and Southgate, D.A. 2003. Food composition data: production, management, and use. *Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAOUN)*, pp. 100-104.
20. Haghghat Afshar, M., Babalar, M., Kashi, A., Ebadi, A. and Asgari, M.A. 2006. The effect of NH_4/NO_3 ratio on growth and yield of some different strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *JWSS-Isfahan Univ. Technol.* 10: 3. 321-335. (In Persian)
21. Hancock, J.F., Sjulín, T.M. and Lobos, G.A. 2008. Strawberries. In: *Temperate fruit crop breeding*, Springer, Dordrecht, pp. 393-437.
22. Hanson, E.J., Chaplin, M.H. and Breen, P.J. 1985. Movement of foliar applied boron out of leaves and accumulation in flower buds and flower parts of Italian prune. *HortScience.* 20: 747-748.
23. Hasani, M., Zamani, Z., Savaghebi, G. and Fatahi, R. 2012. Effects of zinc and manganese as foliar spray on pomegranate yield, fruit quality and leaf minerals. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 12: 3. 471-480.
24. Hashemabadi, D., Hosheinzade, M., Kaviani, B., Musavi, M., Keyghobadi, S. and Zahiri, S. 2014. Effect of nano-silver and boric acid on extending the vase life of cut rose (*Rosa hybrid* L.). *J. Environ. Biol.* 35: 833-88.
25. Hassan, S.A. 2000. *Morphological and physiological studies on flowering, pollination and fruiting of 'Picual' olive trees*. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Cairo University of Egypt.
26. Hosseini Farahi, M., Goodarzi, K. and Kavooosi, B. 2008. Correction of Zn deficiency and increasing of yield via trunk injection method on grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Askari. *J. Hort. Sci.* 23: 2. 108-118. (In Persian)
27. Kailis, S. and Harris, D. 2007. *Table olive processing: general aspects*. In: *Producing table olives*. Collingwood, Australia: CSIRO publishing, Landlinks Press, 344p.
28. Kamiloglu, O. 2011. Influence of some cultural practices on yield, fruit quality and individual anthocyanins of table grape cv. 'Horoz Karasi'. *J. Anim. Plant Sci.* 21: 2. 240-245.
29. Kazemi, M. 2014. Influence of foliar application of iron, calcium and zinc sulfate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv. 'Pajaro'. *Trakia J. Sci.* 1: 21-26.
30. Keshavarz, K., Vahdati, K., Samar, M., Azadegan, B. and Brown, P.H. 2011. Foliar application of zinc and boron improves walnut vegetative and reproductive growth. *HortTechnology.* 21: 2. 181-186.

31. Khan, A.S., Nasir, M., Malik, A.U., Basra, S.M.A. and Jaskani, M.J. 2015. Combined application of boron and zinc influence the leaf mineral status, growth, productivity and fruit quality of 'Kinnow' mandarin (*Citrus nobilis* Lour × *Citrus deliciosa* Tenora). *J. Plant Nutr.* 38: 821-838.
32. Khayyat, M., Tafazoli, E., Eshghi, S. and Rajaei, S. 2007. Effect of nitrogen, boron, potassium and zinc sprays on yield and fruit quality of date palm. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 2: 289-296.
33. Lee, S.H., Kim, W.S. and Han, T.H. 2009. Effects of post-harvest foliar boron and calcium applications on subsequent season's pollen germination and pollen tube growth of pear (*Pyrus pyrifolia*). *Sci. Hort.* 122: 77-82.
34. Lesani, H. and Mojtehed, M. 2002. *Plant physiology*. Tehran University Press; 726p. (In Persian)
35. Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA)*.
36. Lolaei, A., Rezaei, M.A., Khorrani Raad, M. and Kaviani, B. 2012. Effect of paclobutrazol and sulfate zinc on vegetative growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Camarosa). *Ann. Biol. Res.* 3: 10. 4657-4662.
37. Marschner, H. 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd Ed.). London, UK: Academic Press, 672p.
38. Marshall, J.D. and Monserud, R.A. 2003. Foliage height influences specific leaf area of three conifer species. *Can. J. For. Res.* 33: 1. 164-170.
39. Mashayekhi, K. and Atashi, S. 2012. Effect of foliar application of boron and sucrose on biochemical parameters of 'Camarosa' strawberry. *J. Plant Prod.* 19: 4. 157-171. (In Persian)
40. Mohammadkhany Balesini, Y., Imani, A. and Piri, S. 2013. Effects of some of nutritional materials on fruit set and its characteristics in apple. *J. Basic Appl. Sci. Res.* 3: 281-285.
41. Mohseni, M., Haddadi, M. and Valiollahpour, R. 2012. Effects of application boron and zinc on the process of corn in Mazandaran. *New Find. Agric.* 7: 2. 177-185. (In Persian)
42. Mollahoseini, H., Solhi, M., Baghi, E. and Ghayour, F. 2009. *Strawberry fertilizer guide* (1st Ed.). Avay Masih Press, 230p. (In Persian)
43. Motesharezade, B., Malakuty, M.J. and Nakhoda, B. 2001. Effects of N, ZnSO₄ and B sprays on photochemical efficiency of sweet cherry. *Hortic. Newsl.* 12: 106-111.
44. Muhammad, A. and Singh, A. 2007. Intra-row spacing and pruning effects on fresh tomato yield in Sudan Savanna of Nigeria. *J. Plant Sci.* 2: 2. 153-161.
45. Nikkhah, R., Nafar, H., Rastgoo, S. and Dorostkar, M. 2013. Paper title: effect of foliar application of boron and zinc on qualitative and quantitative fruit characteristics of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Int. J. Agric. Crop Sci.* 6: 9. 485-492.
46. Norbakhsh, N., Gholami, M. and Sarikhani, H. 2009. Effects of foliar application calcium and boron on yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Queen Eliza). M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran. (In Persian)
47. Nyomora, A.M.S. and Brown, P.H. 1997. Fall foliar-applied boron increases tissue boron concentration and nut set of almond. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 122: 405-410.
48. Nyomora, A.M.S., Brown, P.H., Pinney, K. and Polito, V.S. 2000. Foliar application of boron to almond trees affects pollen quality. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 125: 265-270.
49. Papadakis, I.E., Dimassi, K.N., Bosabadilis, A.M., Therios, I.N., Patakas, A. and Giannakoula, A. 2004. Boron toxicity in 'Clementine' mandarin plants grafted on two rootstock. *Plant Sci.* 166: 539-547.

50. Puzina, T.I. 2004. Effect of zinc sulfate and boric acid on the hormonal status of potato plants in relation to tuberization. *J. Plant Physiol.* 51: 2. 209-215.
51. Quin, X. 1996. Foliar sprays of B, Zn and Mg and their effects on fruit production and quality of Jincheng orange. *J. South west Agric. Univ.* 18: 1. 40-45.
52. Rafeii, S. and Pakkish, Z. 2014. Effect of boric acid spray on growth and development of strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Camarosa). *Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res.* 2: 4. 1060-1063.
53. Razzaq, K., Khan, A.S., Malik, A.U., Shahid, M. and Ullah, S. 2013. Foliar application of zinc influences the leaf mineral status, vegetative and reproductive growth, yield and fruit quality of 'Kinnow' mandarin (*Citrus reticulata* Blanco.). *J. Plant Nutr.* 36: 1479-1495.
54. Sanchez, E.E. and Righetti, T.L. 2005. Effect of postharvest soil and foliar application of boron fertilizer on the partitioning of boron in apple trees. *HortScience.* 40: 2115-2119.
55. Sayyad-Amin, P. and Shahsavar, A.R. 2013. The influence of urea, boric acid and zinc sulphate on vegetative traits of olive (*Olea Europaea* L. 'Shengeh') stone by foliar application. *Acta Hort.* 981: 981. 343-347.
56. Seifi Nadergholi, M., Yarnia, M. and Rahimzade Khoei, F. 2011. Effect of zinc and manganese and their application method on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Khomein). *Middle East J. Sci. Res.* 8: 5. 859-865.
57. Shafea, L., Saffari, M., Emam, Y. and Mohammadinejad, G. 2011. Effect of nitrogen and zinc fertilizers on leaf zinc and chlorophyll contents, grain yield and chemical composition of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Seed Plant Prod. J.* 27: 2. 235-246. (In Persian)
58. Sharma, R.R. 2002. Growing strawberries. First edition published by international book distributing CO. Indian Agric. Res. Inst. New Delhi.
59. Shukla, A.K. 2011. Effect of foliar application of calcium and boron on growth, productivity and quality of Indian gooseberry (*Emblica officinalis*). *Indian J. Agric. Sci.* 81: 7. 628-632.
60. Singh, B. and Usha, K. 2002. Effect of macro and micro-nutrient spray on fruit yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. *Acta Hort.* 594: 197-202.
61. Smit, J.N. and Combrink, N.J.J. 2005. Pollination and yield of winter-grown greenhouse tomatoes as affected by boron nutrition, cluster vibration and relative humidity. *S. Afr. J. Plant Soil.* 22: 2. 110-115.
62. Ullah, S., Khan, A.S., Malik, A.U., Afzal, I., Shahid, M. and Razzaq, K. 2012. Foliar application of boron influences the leaf mineral status, vegetative and reproductive growth, yield and fruit quality of 'Kinnow' mandarin (*Citrus reticulata* Blanco.). *J. Plant Nutr.* 35: 2067-2079.
63. United States Department of Agriculture (USDA). 2004a. Guidelines for scoring undeveloped (damage) or badly deformed (serious damage) for Strawberries. <https://www.ams.usda.gov>.
64. United States Department of Agriculture (USDA). 2004b. Agriculture marketing service, Strawberries and Other Berries. Shipping Point and Market Inspection Instructions.
65. Ute, K. and Clemens, S. 2005. Functions and homeostasis of zinc, copper, and nickel in plants. *Top. Curr. Gen.* 14: 215-271.
66. Wimmer, M.A. and Eichert, T. 2013. Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Sci.* 203: 25-32.
67. Zoecklein, B.W., Wolf, T.K., Pélanne, L., Miller, M.K. and Birkenmaier, S.S. 2008. Effect of vertical shoot-positioned, smart-dyson, and geneva double-curtain training systems on viognier grape and wine composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 59: 1. 11-21.

