


## Optimization of greenhouse cucumber growth and fruit yield in response to foliar application of salicylic acid and boric acid

Amir Hossein Shahbazi<sup>1</sup>, Seyyed Javad Mousavizadeh <sup>2\*</sup> , Kambiz Mashayekhi<sup>3</sup>, Ayoub Ghorbani Dehkordi<sup>4</sup>

1. M.Sc. Graduate of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Professor, Department of Horticultural Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

**Citation:** Shahbazi, A.H., Mousavizadeh, S.J., Mashayekhi, K., Ghorbani Dehkordi, A. (2025). Optimization of greenhouse cucumber growth and fruit yield in response to foliar application of salicylic acid and boric acid. *Plant Productions*, 48(1), 69 - 85.

### Abstract

#### Introduction

Cucumber is one of the most widely cultivated greenhouse vegetables in Iran. It is essential to properly nourish plants and use elements and compounds that increase yield while maintaining and improving quality. However, its production is often challenged by environmental stresses that reduce water and nutrient uptake, directly affecting yield and quality. Salicylic acid serves as a key plant regulator and stress mitigator, while boron plays a critical role in sugar transport, hormone regulation, and fruit and leaf formation. This study aimed to evaluate the combined effect of salicylic acid and boric acid on the growth and yield of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* cv. Gohar) under soil-based cultivation.

#### Materials and Methods

The experiment was conducted using a factorial arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Treatments included foliar spraying of salicylic acid at three concentrations (0, 0.5 and 1 mM) and boric acid at three concentrations (0, 2 and 4 mM). Foliar applications were carried out four times at 10-day intervals, starting from the emergence of the second true leaf. Morphological traits such as plant height, number of leaves, individual leaf area, and petiole length were recorded. Biochemical parameters, such as chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid, and anthocyanin were analyzed. Fruit quality attributes such as total sugar, sucrose, glucose and fructose as well as yield-related traits including the number of fruit and total yield were also measured.

---

\* **Corresponding Author:** Seyyed Javad Mousavizadeh  
**E-mail:** mousavizadeh@gau.ac.ir



### Results and Discussion

Both salicylic acid and boric acid significantly influenced plant growth, biochemical composition, and fruit yield. The highest leaf count (47.33) was observed with 0.5 mM salicylic acid and 0 mM boric acid, while the largest leaf area (306 cm<sup>2</sup>) was recorded with 0 mM salicylic acid and 2 mM boric acid. The maximum total chlorophyll content (12.11 and 10.8 mgg<sup>-1</sup>FW) was achieved with 0 and 1 mM salicylic acid, respectively, combined with 2 mM boric acid. The highest sucrose (226.28 mg g FW<sup>-1</sup>) and fructose (87.9 mg g FW<sup>-1</sup>) contents were found in 1 mM salicylic acid without boric acid, while the highest glucose content (368.71 mg g FW<sup>-1</sup>) was recorded in 1mM salicylic acid with 2 mM boric acid. The greatest number of fruits (86.33) and the highest total fruit yield (9.59 kg plant<sup>-1</sup>; 21.10 kg m<sup>-2</sup>) were obtained with 0.5 mM salicylic acid combined with 2 mM boric acid. The lowest number of fruits (44) and yield (3.39 kg plant<sup>-1</sup>) were recorded in the control treatment. The lowest plant height of 189.3 cm was associated with 1 mM salicylic acid and 4 mM boric acid. The results showed that the highest petiole length with 15.66 cm was related to 0 mM salicylic acid, and 0.5 and 1 mM salicylic acid caused a decrease in petiole length with 14.88 and 14.33 cm, respectively.

### Conclusion

Salicylic acid had a stronger effect on plant growth and yield than boric acid. However, their combined application produced better results than either treatment alone. The most effective treatment for optimizing cucumber growth and fruit yield was 0.5 mM salicylic acid combined with 2 mM boric acid.

**Keywords:** Chlorophyll, Fruit count, Leaf area, Sucrose, Sugar

## بهینه سازی رشد بوته و میوه خیار گلخانه‌ای در پاسخ به محلول پاشی برگی اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک

امیرحسین شهبازی<sup>۱</sup>، سیدجواد موسوی زاده<sup>۲\*</sup> , کامبیز مشایخی<sup>۲</sup>، ایوب قربانی دهکردی<sup>۴</sup>

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ۳- استاد، گروه علوم باغبانی دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ۴- استادیار، گروه علوم باغبانی دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

### چکیده

خیار، یکی از سبزیجات با سطح زیر کشت گلخانه‌ای گسترده در ایران می‌باشد. در کشت خیار گلخانه‌ای مشکلات متعددی وجود دارد که بیشتر آن مربوط به جذب آب و مواد غذایی در اثر تنش‌های محیطی مختلف می‌باشد که تأثیر مستقیم بر ویژگی‌های کمی و کیفی خیار دارد. در این بین اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک تنظیم‌کننده حیاتی و همچنین ابزاری بالقوه برای حفاظت و تولید پایدار محصول عمل می‌کند. علاوه بر این، عنصر بور در انتقال قندها و هورمون‌ها، تشکیل میوه، شکل‌گیری جوانه‌های برگ و گل در داخل گیاه نقش ایفا می‌نماید. بنابراین هدف اصلی این آزمایش بررسی کاربرد همزمان اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک بر شاخص‌های کمی و کیفی بوته و میوه خیار گلخانه‌ای رقم گوهر در شرایط کشت خاکی می‌باشد. پژوهش حاضر به صورت آرایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول محلول پاشی اسیدسالیسیلیک در سه غلظت (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و فاکتور دوم محلول پاشی اسیدبوریک در سه غلظت (۰، ۲ و ۴ میلی‌مولار) بود. پس از ظهور برگ دوم حقیقی خیار با فاصله ۱۰ روز و در مجموع چهار مرتبه تیماردهی انجام گردید. صفات مورفولوژیک از قبیل طول بوته، تعداد برگ، سطح تک برگ و طول دم‌برگ اندازه‌گیری شد. صفات بیوشیمیایی برگ مانند غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، آنتوسیانین و صفات کیفی میوه مانند محتوای قند کل، ساکارز، گلوکز و فروکتوز و در نهایت تعداد میوه و عملکرد اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش حاضر، تیمار اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک اثر معنی‌داری بر تمام صفات اندازه‌گیری شده داشتند. بر اساس نتایج به دست آمده تعداد برگ بالاتری با میانگین ۴۷/۳۳ عدد با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک و صفر میلی‌مولار اسیدبوریک مشاهده شد. میزان سطح برگ بالای ۳۰۶ سانتی‌متر مربع در تیمار صفر میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک و ۲ میلی‌مولار اسیدبوریک ثبت شد. همین‌طور بیش‌ترین غلظت کلروفیل کل برگ با ۱۲/۱۱ و ۱۰/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به ترتیب مربوط به صفر و یک میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک به همراه ۲ میلی‌مولار اسیدبوریک بود. بیش‌ترین میزان ساکارز و فروکتوز میوه به ترتیب با ۲۲۶/۳ و ۸۷/۹ میلی‌گرم بر گرم

وزن تر مربوط به تیمار یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک در صفر میلی مولار اسیدبوریک بود. تیمار یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۲ میلی مولار اسیدبوریک بالاترین میزان گلوکز میوه با ۳۶۸/۷ میلی گرم بر گرم وزن تر را نشان داد. بیشترین تعداد میوه با ۸۶/۳۳ عدد و بالاترین عملکرد کل میوه با ۹/۵۹ کیلوگرم در بوته و ۲۱/۱۰ کیلوگرم در مترمربع مربوط به تیمار ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۲ میلی مولار اسیدبوریک بود. همین طور کمترین تعداد میوه نیز با ۴۴ عدد و کمترین عملکرد کل میوه نیز با ۳/۳۹ کیلوگرم در بوته در تیمار شاهد ثبت شد. با ارزیابی اطلاعات به دست آمده می توان گفت که اسیدسالیسیلیک در مورد صفتهای اندازه گیری شده، اثر محسوس تر نسبت به اسیدبوریک داشت، با این حال ترکیب دو تیمار اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک نتیجه مطلوب و بهینه تری نسبت به کاربرد تکی آنها نشان داد. به طور کلی تیمار ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۲ میلی مولار اسیدبوریک در اکثر صفات کمی و کیفی اندازه گیری شده بازده مثبت و بهتری را نشان داد.

### کلید واژه ها: تعداد میوه، ساکارز، سطح برگ، قند، کلروفیل

#### مقدمه

تشکیل میوه و بذر، رشد و جوانه زنی دانه گرده و نیز شکل گیری جوانه های برگ و گل ایفا می نماید. بور، نقش انکارناپذیری در کیفیت محصولات به ویژه محصولات باغی دارد (Tohidloo and Souri, 2009; Khalaj *et al.*, 2017). کمبود بور در گیاهان موجب کاهش تبدیل گل به میوه می شود (Brdar-Jokanovic, 2020). در اکثر گیاهان اثر بور در مرحله زایشی گیاه نسبت به دوره رویشی آن مشهودتر است (Kohli *et al.*, 2022)، به شکلی که گیاهان تحت شرایط کمبود متوسط بور در مرحله رویشی، زیاد تحت تأثیر قرار نمی گیرند ولی در دوره زایشی با مشکلات مختلفی مواجه می شوند (Marschner, 2011; Onuh and Miwa, 2021). از طرف دیگر نیز افزایش بیش از حد بور سبب سمیت آن در گیاه گشته و آسیب هایی را به همراه دارد. در نتیجه باید غلظت مناسبی از این عنصر مورد استفاده قرار گیرد (Onuh and Miwa, 2021).

اسید سالیسیلیک نیز نقش مهمی در تولید و رشد گیاهان دارد. اسید سالیسیلیک به عنوان یک هورمون گیاهی در فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف از جمله جوانه زنی بذر، رشد ریشه، گلدهی و واکنش به تنش های محیطی نقش دارد. این ماده به دلیل توانایی خود در القای مقاومت اکتسابی سیستمیک در گیاهان شناخته شده است و سازوکارهای دفاعی گیاهان را در برابر پاتوژن ها بهبود می بخشد (Bagautdinova *et al.*, 2022). اسید سالیسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزویک اسید دارای یک حلقه آروماتیک با یک گروه هیدروکسیل است که به گروه ترکیبات فنلی تعلق دارد. این ماده به عنوان

خیار (*Cucumis sativus* L.) جزو خانواده کدوئیان (Cucurbitaceae) بوده و یکی از سبزی های قدیمی جهان است که منشأ آن هند بوده و سپس کشت آن در غرب آسیا و جنوب اروپا گسترش یافته است (Abbasi *et al.*, 2019). همچنین این محصول یکی از سبزی های مطلوب در جهان است و سالانه حدود ۹۵ میلیون تن از آن در جهان تولید می گردد (FAO, 2022). در کشور ایران خیار از سبزی های با تولید و مصرف بالا محسوب می شود که سطح زیر کشت گلخانه ای آن در ایران ۳۴۲۰ هکتار و سطح زیر کشت مزرعه ای آن ۲۲۶۸۶ هکتار برآورد گردیده است (Agricultural statistics, 2022).

از مشکلاتی که در گلخانه های با کشت خاکی وجود دارد آهکی بودن اکثر خاک های کشور است که کاهش جذب عناصر مغذی در گیاهان را موجب می گردد. از جمله عنصر مغذی کم مصرفی که نشانه های کمبود آن در خاک های آهکی بیشتر مشاهده می شود عنصر بور می باشد (Marschner, 2011). بور تنها شبه فلز در بین عناصر غذایی ضروری کم مصرف می باشد که در محلول خاک و در شرایط pH فیزیولوژیک و غیاب ملکول های زیستی به صورت اسید بوریک بدون بار  $[B(OH)_3]$  وجود دارد و به همین صورت نیز از طریق ریشه جذب گیاه می گردد (Onuh and Miwa, 2021) و نقش های متنوعی در فرآیندهای گیاهی از جمله نمو و تمایز سلولی، ستر دیواره سلول ها، تکامل آوندچوبی، انتقال قندها و هورمون ها در داخل گیاه، حفظ ساختار غشای سلولی،

مختلف اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوته و ارتقای کیفیت میوه خیار گلخانه‌ای رقم گوهر در کشت خاکی در شرایط بدون تنش بود.

### مواد و روش‌ها

#### زمان و مکان آزمایش

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ (۲۵ دی ماه ۱۴۰۰ تا اواخر اردیبهشت ۱۴۰۱) در گلخانه با وسعت ۳۰۰۰ مترمربع با بستر خاکی واقع در روستای قلعه جیق از توابع شهرستان آق قلا استان گلستان انجام گرفت. متوسط دمای گلخانه در روز بین ۲۱ الی ۲۴ و در شب ۱۶ الی ۱۸ درجه سانتی‌گراد با رطوبت ۷۰-۵۰ درصد بود. خاک گلخانه دارای بافت لومی رسی، مواد خثی شونده ۱۲/۲ درصد، دارای ۱/۵ درصد کربن آلی، نیتروژن کل ۰/۱۲ درصد، فسفر قابل جذب ۱۴/۲ میلی‌گرم در لیتر، پتاسیم قابل جذب ۳۴۹ میلی‌گرم در لیتر، آهن ۸۳ میلی‌گرم در لیتر، روی ۱/۰۱۲ میلی‌گرم در لیتر، منگنز ۵/۹۱ میلی‌گرم در لیتر و pH حدود ۷/۸۷ بود. سیستم گرمایشی در این گلخانه از نوع هیتراگازی فن‌دار بود و به‌منظور کاهش دمای گلخانه از سیستم مه‌پاش استفاده گردید. برای رعایت مسائل بهداشتی به هنگام ورود و خروج پرسنل در گلخانه اتاق ایزوله تعبیه شده بود.

#### ترکیب تیمارهای آزمایشی

تیمارهای اعمال شده در این پژوهش اسیدسالیسیلیک (ساخت ایران) در سه غلظت (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار برابر با ۰، ۶۹/۰۶ و ۱۳۸/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) و اسیدبوریک (ساخت ایران) در سه غلظت (۰، ۲، ۴ و ۱ میلی‌مولار برابر با ۰، ۱۳۳/۶۶ و ۲۴۷/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر) بودند (Javaheri et al., 2012; Ghorbani et al., 2015). در مجموع نه ترکیب تیماری با آرایش فاکتوریل در سه تکرار اعمال گردید. شروع تیماردهی ۱۵ روز پس از انتقال نشا به گلخانه انجام گردید و با فاصله ۱۰ روز یک بار (چهار مرحله) تیماردهی انجام شد. محلول‌پاشی توسط سمپاش دو لیتری دستی صورت پذیرفت. هر پشته با طول ۴۰ متر و بادوریدف کشت به چهار قسمت تقسیم شد. هر قسمت به عنوان یک تیمار و یک تکرار در نظر گرفته شد. بین تکرارها هشت بوته به عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد.

تنظیم‌کننده رشد درونی گیاه، در غلظت‌های کم به‌طور وسیعی بر متابولیسم و فرایندهای فیزیولوژیک گیاهان اثر می‌گذارد. کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک می‌تواند در دامنه‌ای از فرایندهای مختلف در گیاهان مانند جوانه‌زنی بذری، ستر کلروفیل و پروتئین، ممانعت از یوستتر اتیلن، بسته‌شدن روزنه‌ها، نفوذپذیری غشاء، سرعت رشد و تبادل و انتقال یونها اثر داشته باشد (Ali et al., 2020; Lefevre et al., 2020). نتایج سایر تحقیقات اثرات مثبت اسید سالیسیلیک را بر فتوسنتز و رشد گیاهان نشان داده است (Ali et al., 2020; Eydi Asl et al., 2024). به دنبال محلول‌پاشی گیاه با اسید سالیسیلیک، جذب عناصر غذایی تحت شرایط خشکی و شوری بهتر صورت گرفته و موجب بهبود صفات مورفولوژیک گیاه می‌گردد (Hassoon and Abduljabbar, 2019; Bagautdinova et al., 2022). افزایش ۳۲ درصدی میانگین شاخص کلروفیل برگ و نیز افزایش ۲۱ و ۹/۴ درصدی سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ در اثر محلول پاشی ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک روی خیار مزرعه‌ای رقم کیش مشاهده شده است (Nikbakht et al., 2020). پیش‌تیمار بنرها با اسیدسالیسیلیک باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در لویا چشم‌بلیلی شده است (El-Taher et al., 2022).

لزوم تغذیه مناسب گیاهان و استفاده از عناصر و ترکیباتی که سبب افزایش عملکرد با حفظ و ارتقای کیفیت شوند، ضروری می‌باشد. بور یک عنصر ضروری در رشد و توسعه سلولی گیاه می‌باشد که در فرآیند تقسیم و طویل شدن سلول نقش دارد. مقدار بهینه و حد کمبود و سمیت عنصر بور بسیار به هم نزدیک است و به همین دلیل در ارتباط با تعیین شرایط مناسب تغذیه‌ای بور در گیاهان مختلف مطالعات متناقضی وجود دارد. اسیدسالیسیلیک نیز تنظیم‌کننده درون‌زای رشد گیاه است که نقش بسزایی در کارکرد سلولی، اعمال فیزیولوژیک و واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه دارد (Marschner, 2011). از این رو یافتن بهترین ترکیب اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک برای بهینه شدن شرایط رشد گیاه و ارتقای کیفیت میوه ضروری می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش نیز بررسی محلول‌پاشی غلظت‌های

## عملیات کاشت و داشت

خیار گلخانه‌ای رقم گوهر (*Cucumis sativus* cv.) از شرکت نانهزم هلند برای کشت استفاده شد که رقمی قوی با پوشش برگی متوسط، ارتفاع بوته متوسط و چند گل می‌باشد. این رقم مناسب کاشت بهاره بوده و در تمامی مناطق گلخانه‌ای کشور کشت می‌شود. دارای طول میوه ۱۶ تا ۱۸ سانتی‌متر و مناسب جهت صادرات و بازار داخلی است. جهت شروع کشت، ابتدا بذره‌های خیار در داخل سینی نشا که شامل ۴۰ درصد کوکویت و ۶۰ درصد پرلیت بود کشت شدند. نشاها در تاریخ ۲۵ دی ماه ۱۴۰۰ در مرحله دو برگی به زمین گلخانه انتقال یافتند. قبل از کشت زمین گلخانه تسطیح و پشته - بندی شد. الگوی کشت بوته‌های خیار به صورت زیگزاکی با فاصله کشت ۴۵ سانتی‌متر روی پشته‌های ۷۰ سانتی‌متری و با راهروهای ۹۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت. در هر پشته بوته‌ها در دو ردیف کشت شدند. آبیاری بوته‌ها در گلخانه توسط سیستم آبیاری قطره‌ای انجام گرفت. برای استفاده بهینه از فضای عمودی گلخانه، بوته‌های خیار توسط ریسمان به سیم‌هایی که در قسمت وتر گلخانه به این منظور تعبیه شده بود متصل گردید و با ادامه رشد گیاه به صورت دستی به دور ریسمان پیچیده شد تا بوته‌های خیار بهتر بتوانند رشد عمودی خود را ادامه دهند. تا فاصله ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک تمام جوانه‌های جانبی بوته‌ها حذف شدند و بارگیری از بوته خیار روی تنه اصلی انجام شد و کلیه شاخه‌های فرعی حذف شد. در طول دوره مبارزه با علف‌های هرز انجام گرفت.

## برنامه تغذیه

بر اساس نتایج آزمون خاک، به جهت واکنش تقریباً قلیایی خاک از کودهای گوگردی استفاده شد تا pH خاک اصلاح شود و عناصر کم مصرف در خاک قابلیت جذب پیدا کنند. در این راستا برنامه کودی پیش از کاشت بدین صورت بود که ۱۰ تن کود گاو پوسیده، ۳ تن کود مرغی، ۱۲۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم، ۵۰ گرم اوره گوگردی و ۵۰ کیلوگرم دی‌آمونیم فسفات به خاک گلخانه اضافه گردید. پس از شروع باردهی و پس از هر ۵۰۰ کیلوگرم برداشت همراه با آب آبیاری، نترات کلسیم ۱۷۰۰ گرم، سولفات منیزیم ۱۰۰۰ گرم، سولفات پتاسیم ۱۲۰۰ گرم، کود ۱۲-۰۳-۴۳ (نترات پتاسیم) ۴۰۰ گرم و

کلات آهن به فرم EDDHA 100 گرم به بوته‌ها داده شد.

## اندازه‌گیری صفات

پس از پایان تیماردهی، صفات مورفولوژیک از قبیل طول بوته، تعداد برگ، سطح تک برگ و طول دمبرگ اندازه‌گیری شد. به منظور ثبت داده‌هایی که ملزم به استفاده از امکانات آزمایشگاهی بود نمونه‌هایی از برگ و میوه وسط بوته گرفته شد و بلافاصله در کیسه مشکی و در فلاسک یخ به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید. صفات بیوشیمیایی برگ مانند محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و آنتوسیانین اندازه‌گیری شد. صفات کیفی میوه مانند قند کل، ساکارز، گلوکز و فروکتوز مورد سنجش قرار گرفت.

## اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

ارتفاع بوته (۷ روز پس از کاشت) به وسیله متر، طول دمبرگ با خط کش، سطح برگ (سطح یک برگ وسط بوته بر اساس سانتی‌متر مربع) و تعداد برگ (۷۰ روز بعد از کاشت) توسط شمارش دستی، تعداد میوه به صورت شمارشی از ابتدای برداشت تا ۷۰ روز پس از کاشت و عملکرد (برحسب کیلوگرم برای هر بوته) اندازه‌گیری شدند (Rostaghi *et al.*, 2021).

## اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی

### محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ

رنگدانه‌های کارتنوئید و کلروفیل برگ توسط دی‌متیل سولفوکساید (DMSO) استخراج شد، جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل UV-Vis 2800- Unico) در طول موج ۶۶۳ برای کلروفیل a و ۶۴۵ برای کلروفیل b و برای کارتنوئید ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر قرائت شد و در نهایت محتوای کارتنوئید کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد (Barnes *et al.*, 1992).

### محتوای آنتوسیانین برگ

سنجش آنتوسیانین برگ با استفاده از متانول اسیدی اندازه‌گیری شد و جذب آنها در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت و بر حسب میلی‌مولار بیان گردید (Wagner, 1979).

دیگر نقش بور در افزایش متابولیسم گیاه و به دنبال آن افزایش تعداد برگ در خیار مؤثر دانسته شده است (Bommesh *et al.*, 2017).

### سطح برگ

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، سطح برگ تحت اثر ساده تیمار اسیدسالیسیلیک و برهم کنش اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بالاترین میزان سطح برگ (۳۰۶ سانتی مترمربع) در تیمار صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۲ میلی مولار اسیدبوریک مشاهده شد (جدول ۲). تیمارهای ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۲ میلی مولار اسیدبوریک، ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و صفر میلی مولار اسیدبوریک و صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۴ میلی مولار اسیدبوریک در رتبه دوم سطح برگ قرار گرفتند. کمترین سطح برگ با ۲۲۱/۵ سانتیمترمربع مربوط به ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۴ میلی مولار اسیدبوریک بود (جدول ۲).

محققین با انجام آزمایشی مشاهده نمودند که تیماردهی اسیدسالیسیلیک و سیلیکون در گیاه خیار با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه، سازگاری گیاه با تنش‌های مختلف را بالا برده و موجب بهبود رشد گیاه و همچنین افزایش سطح برگ می‌گردد (Jafari *et al.*, 2015). از پژوهش دیگری نیز نتیجه‌گیری شد که اسیدسالیسیلیک با افزایش میزان سطح برگ در خیار ظرفیت فتوسنتزی گیاه را افزایش داده و موجب بهبود رشد گیاه و عملکرد آن می‌گردد (Orabi *et al.*, 2010). در پژوهشی بیان شد که اسیدسالیسیلیک به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد اثر مثبتی در خواص مورفولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط سایه‌دهی داشته و سطح برگ گیاه نسبت به شاهد را افزایش داد (Azarmi and Izadi, 2020). در پژوهشی دیگر با تیمار سولفات روی و اسیدبوریک بر روی گیاه توت‌فرنگی رقم اروماس مشخص شد که کاربرد این دو عنصر کم‌مصرف موجب بالا رفتن عملکرد و بهبود صفات رشدی از جمله سطح برگ گردید (Alinejad-Elahshah *et al.*, 2018).

### محتوای قندهای محلول میوه

اندازه‌گیری قند کل میوه (Mc Cready *et al.*, 1950)، ساکارز میوه (Handel, 1968)، گلوکز میوه (Miller, 1959)، فروکتوز میوه (Ashwell, 1957) برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر صورت گرفت.

### محاسبات آماری

آنالیز داده‌ها توسط نرم افزار SAS 9.1 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

### نتایج و بحث

#### تعداد برگ بوته

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار اسیدسالیسیلیک و برهم کنش اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک بر تعداد برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تعداد برگ بالاتری با میانگین ۴۷/۳۳ عدد در ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و صفر میلی مولار اسیدبوریک مشاهده شد (جدول ۲). پس از آن ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و صفر میلی مولار اسیدبوریک، صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۲ میلی مولار اسیدبوریک، صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۴ میلی مولار اسیدبوریک و ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۴ میلی مولار اسیدبوریک از تعداد برگ بالاتری برخوردار بودند. همچنین کم‌ترین آن را در تیمار ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک - ۴ و ۲ میلی مولار اسیدبوریک و صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک و صفر میلی مولار اسیدبوریک به دست آمد.

در تحقیقی کاربرد اسیدسالیسیلیک در گیاه گوجه‌فرنگی از زمان کاشت نشا تا برداشت محصول باعث افزایش تعداد میوه، گل و همین‌طور تعداد برگ گردید (Hafeznia *et al.*, 2015). در مطالعه محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر بوته‌های خیار تحت شرایط تنش شوری نتیجه‌گیری شد که محلول‌پاشی یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک موجب بهبود اثرات نامطلوب تنش و همچنین افزایش تعداد برگ گردید (Yildirim *et al.*, 2008). بیان شده است که افزایش تعداد برگ خیار در تیمار اسید سالیسیلیک، اثر غیرمستقیم این ترکیب در گیاه می‌باشد، چون اسید سالیسیلیک در خیار موجب تحریک افزایش جذب مواد غذایی می‌شود و این افزایش جذب موجب افزایش تعداد برگ در خیار می‌گردد (Abbasi *et al.*, 2019). در تحقیقی

**Table 1. Variance analysis of the effect of salicylic acid and boric acid on the morphological and phytochemical traits of greenhouse cucumber cv. Gohar**

S.O.V	df	Anthocyanin content	Carotenoid content	Total chl content	Chl b content	Chl a content	Petiole length	Plant height	Leaf area	Leaf number
Block	2	0.0004 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.69 <sup>ns</sup>	0.56 <sup>ns</sup>	32.25 <sup>ns</sup>	173.91 <sup>ns</sup>	1.92 <sup>ns</sup>
Salicylic acid (A)	2	0.0009*	1.01**	5.84*	0.07 <sup>ns</sup>	5.38**	4.03**	2332.70**	2436.92**	51.59**
Boric acid (B)	2	0.001**	0.33**	32.83**	20.45**	1.52*	0.06 <sup>ns</sup>	610.03 <sup>ns</sup>	762.41 <sup>ns</sup>	5.81 <sup>ns</sup>
A × B	4	0.0006	0.31**	6.21**	7.28**	1.61*	0.98 <sup>ns</sup>	1402.75**	4126.33**	43.37**
Error	16	0.0002	0.03	1.17	0.85	0.41	0.54	312.21	561.12	2.009
C.V%		11.16	6.46	12.34	18.67	16.99	4.92	7.37	09.9	24.3

\*\*Significance at 1%, \* Significance at 5%, <sup>ns</sup> not significant.

**Table 2. Mean comparison for the effect of salicylic acid and boric acid on morphological and phytochemical traits of greenhouse cucumber cv. Gohar**

Salicylic acid (mM)	Boric acid (mM)	Anthocyanin content (μmol.g.FW <sup>-1</sup> )	Carotenoid content (mg.g.FW <sup>-1</sup> )	Total chl content (mg.g.FW <sup>-1</sup> )	Chl b content (mg.g.FW <sup>-1</sup> )	Chl a content (mg.g.FW <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf number
0	0	0.112 bc	2.19 c	6.85 ef	3.1 d	3.74 ab	230 a	243.1 cd	40 c
	2	0.138 ab	3.15 ab	12.11 a	8.19 a	3.92 ab	246.3 a	306.03 a	45.33 ab
	4	0.10 c	2.40 c	8.12 c-e	3.90 cd	4.22 a	238.3 a	289.1 ab	45 ab
0.5	0	0.15 a	3.17 ab	9.02 b-d	5.02 bc	4 ab	247.3 a	256.8 b-d	47.33 a
	2	0.132 a-c	3.20 ab	9.63 bc	4.92 bc	4.71 a	258.6 a	268.8 a-c	44.33 b
	4	0.129 a-c	3.19 ab	9.58 bc	4.81 c	4.77 a	263 a	221.5 d	46.66 ab
1	0	0.149 a	3.36 a	5.42 f	2.62 d	2.79 bc	251.3 a	294.7 ab	46.33 ab
	2	0.119 bc	3.2 ab	10.8 ab	6.60 ab	4.20 a	232 a	225.5 cd	39.66 c
	4	0.11 c	2.86 b	7.36 d-f	5.45 bc	1.9 c	189.3 b	239.3 cd	38 c

Means followed by similar letter (s) in each row are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5%.

## ارتفاع بوته

اثر ساده تیمار اسیدسالیسیلیک در سطح یک درصد و برهم-کش اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک در سطح پنج درصد بر ارتفاع بوته اثر معنی داری داشت (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، به غیر از تیمار یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۴ میلی مولار اسیدبوریک، سایر تیمارها دارای ارتفاع بوته بین ۲۳۰ تا ۲۶۳ سانتی متر بودند. کمترین ارتفاع بوته با ۱۸۹۳ سانتی متر مربوط به تیمار یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۴ میلی مولار اسیدبوریک بود (جدول ۲). با توجه به خاصیت سیگنالی اسید سالیسیلیک احتمال می رود در محلول پاشی با غلظت ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک گیاه به حالت تعدیل تنش درآمده باشد و اثر منفی بر ارتفاع گیاه ایجاد کرده باشد. اعمال اسیدسالیسیلیک با غلظت یک میلی مولار به صورت محلول پاشی روی بوته های گوجه

موجب کاهش ارتفاع بوته گوجه فرنگی گردیده است (Hafeznia *et al.*, 2015). در سایر مطالعات تیماردهی با اسیدسالیسیلیک بر بوته های خیار تحت شرایط تنش شوری سبب افزایش سازگاری گیاه، افزایش زیست توده و ارتفاع گیاه نسبت به شاهد گردیده است (Yildirim *et al.*, 2008). اثر مثبت عنصر بور با افزایش میزان سیتوکینین بر ارتفاع گیاه نیز اثبات گردیده است (Kohli *et al.*, 2022).

## طول دمبرگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تنها اثر ساده تیمار اسیدسالیسیلیک در سطح یک درصد بر طول دمبرگ معنی دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر ساده اسیدسالیسیلیک نشان داد که بیشترین میزان طول دمبرگ با ۱۵/۶۶ سانتی متر مربوط به صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک یا همان تیمار شاهد بود و تیمارهای



۴/۷۷ میلی گرم بر وزن تر مربوط به تیمارهای صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک با ۴ میلی مولار اسیدبوریک، ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک به همراه ۴ و ۲ میلی مولار اسیدبوریک، ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک با ۲ میلی مولار اسیدبوریک به دست آمد. همچنین کمترین مقدار کلروفیل a با مقدار بین ۱/۹ میلی گرم بر وزن تر در تیمار ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۴ میلی گرم بر لیتر اسیدبوریک مشاهده گردید (جدول ۲). در مورد کلروفیل b بیشترین مقدار با ۱۹/۸ میلی گرم بر وزن تر در تیمار صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۲ میلی گرم بر لیتر اسیدبوریک و همچنین با مقدار با ۶/۶۰ میلی گرم بر وزن تر در تیمار ۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک و ۲ میلی گرم بر لیتر اسیدبوریک مشاهده شد. کمترین میزان بین ۲/۶۲ تا ۳/۱ میلی-گرم بر گرم وزن تر در تیمار شاهد و ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و صفر میلی گرم اسیدبوریک مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل کل برگ با ۱۲/۱۱ و ۱۰/۸ میلی گرم بر گرم وزن تر نیز به ترتیب مربوط به صفر و یک میلی مولار اسید سالیسیلیک به همراه ۲ میلی مولار اسیدبوریک بود. کمترین مقدار آن نیز با ۵/۴۲ میلی گرم بر گرم وزن تر متعلق به یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک و صفر میلی مولار اسیدبوریک بود (جدول ۲).

در پژوهشی اعلام شده است که اسیدسالیسیلیک به علت کاهش دادن فعالیت آنزیم‌های کلروفیل اکسیداز از تجزیه کلروفیل جلوگیری نموده و میزان فتوسنتز را افزایش می‌دهد (Elizabeth and Munn'e-Bosch, 2008). در مطالعه دیگری روی گیاه خیار رقم کیش نیز اثر تیمار اسیدسالیسیلیک با غلظت ۰/۳ میلی مولار نیز مثبت ارزیابی شد و موجب افزایش میزان کلروفیل a و کلروفیل b و کلروفیل کل گردید (Nikbakht *et al.*, 2020).

۰/۵ و ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک به ترتیب با ۱۴/۸۸ و ۱۴/۳۳ سانتی متر موجب کاهش طول دمبرگ شد (شکل ۱). بیان شده است که اسیدسالیسیلیک موجب کاهش برخی صفات ظاهری گیاه به ویژه طول دمبرگ شده است (Bagautdinova *et al.*, 2022; Hassoon and Abduljabbar, 2019). از طرف دیگر نتایج تحقیقات دیگر پژوهشگران نشان می‌دهد مصرف بهینه سالیسیلیک اسید در شرایط تنش می‌تواند موجب افزایش رشد اندام‌های گیاهی محدود شده در اثر تنش نسبت به شاهد شود ولی در غلظت‌های بالا این اثر به صورت معکوس خواهد بود (Miao *et al.*, 2020).

اندام اصلی فتوستتر در گیاهان، برگ است، اما بافت‌های سبز برگ مانند دمبرگ و ساقه نیز ساختار تشریحی و ویژگی‌های فیزیولوژیک اولیه فتوستتر را دارند و کمک شایانی به افزایش عملکرد می‌کنند (Aschan and Pfan, 2003). در تحقیقی در مقایسه بین فتوستتر برگ، دمبرگ و ساقه خیار مشخص شد که در مقایسه با برگ، محتویات کلروفیل ساقه‌ها و دمبرگ‌های خیار کمتر بود و ساقه‌ها و دمبرگ‌ها تعداد کلروپلاست و تعداد روزنه‌های کمتری داشتند، اما دارای تعداد غشاهای تیلاکوئیدی گرانایی بیشتر و اندازه روزنه‌های بزرگ‌تر بودند. همچنین سرعت فتوستتر ساقه‌ها و دمبرگ‌ها معادل ۶ تا ۸ درصد یک برگ بود، اما نرخ تنفس در هر سه اندام مشابه بود (Sun *et al.*, 2021). به لحاظ تجربی نیز گلخانه‌داران بوته‌های خیار با دمبرگ بلند را می‌پسندند زیرا سایه‌اندازی روی هم‌دیگر و برگ‌های پایین کمتر شده و بوته در فضای عرضی بیشتری پخش می‌شود همچنین گردش هوا در بین بوته‌ها بهتر انجام می‌شود.

### محتوای کلروفیل برگ

اثر ساده تیمار اسیدسالیسیلیک در سطح یک درصد، اثر ساده تیمار اسیدبوریک در سطح پنج درصد و نیز برهم‌کنش آن‌ها در سطح پنج درصد بر محتوای کلروفیل a و اثر ساده اسیدبوریک و برهم‌کنش اسیدسالیسیلیک در اسیدبوریک در سطح یک درصد بر محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار بود. همچنین اثر اسیدسالیسیلیک بر محتوای کلروفیل کل و کلروفیل b معنی‌دار نگردید (جدول ۱). پس از تحلیل مقایسه میانگین تیمارها بیشترین میزان کلروفیل a با مقدار بین ۴/۲۰ تا

شهبازی و همکاران: بهینه سازی رشد بوته و میوه خیار...

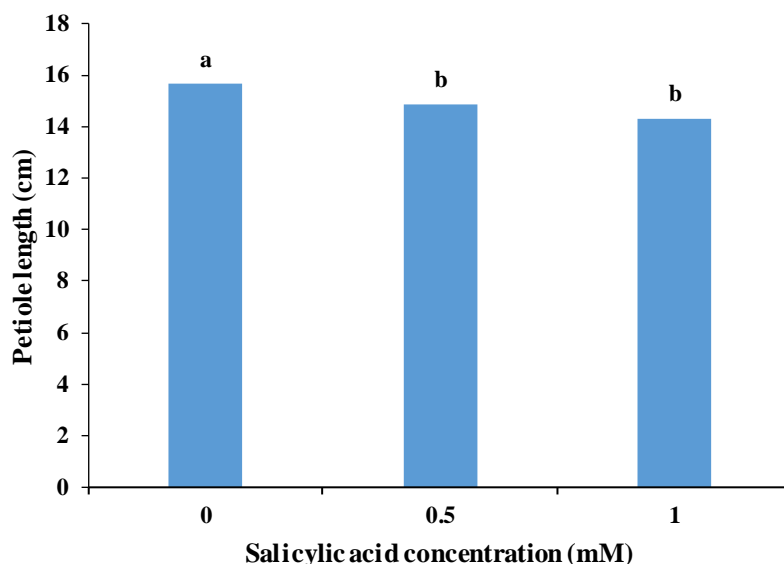


Figure 1. The effect of salicylic acid on petiole length of greenhouse cucumber cv. Gohar

شد (جدول ۱). بررسی مقایسه میانگین برهم کنش تیمارها، میزان کاروتنوئید بالایی با ۳/۳۶ میلی گرم بر گرم وزن تر در تیمار یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک و صفر میلی مولار اسیدبوریک نشان داد. همچنین کمترین مقدار کاروتنوئید مربوط به تیمار شاهد و تیمار صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۴ میلی مولار اسیدبوریک بود (جدول ۲).

در آزمایشی کاربرد اسیدسالیسیلیک روی گیاه گوجه فرنگی موجب کاهش اثرات نامطلوب حاصل از شرایط محیطی شد و میزان پایداری غشا و محتوای کاروتنوئید را افزایش داد (Hafeznia *et al.*, 2015). همچنین در پژوهشی محلول پاشی ۱۰ درصد ساکارز به همراه ۰/۱ درصد اسیدبوریک موجب افزایش میزان کاروتنوئید برگ گوجه فرنگی تا ۰/۲۱۴ میلی گرم بر گرم وزن تر شد (Mashayekhi *et al.*, 2016).

#### محتوای آنتوسیانین برگ

اثر ساده تیمار اسیدسالیسیلیک در سطح پنج درصد، اثر ساده تیمار اسیدبوریک در سطح یک درصد و برهم کنش اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک در سطح پنج درصد بر محتوای آنتوسیانین برگ معنی دار شد (جدول ۱). بررسی مقایسه میانگین برهم کنش تیمارها نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین برگ به ترتیب با ۰/۱۵ و ۰/۱۴۹ میکرومول بر گرم وزن تر در تیمارهای ۰/۵ و یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک در صفر

طی پژوهشی اثر دو تیمار ساکارز و بور روی گیاه توت فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت که بیشترین مقدار کلروفیل ثبت شده مربوط به تیمار ۱۰ درصد ساکارز و ۰/۲ درصد اسیدبوریک بود که به علت تسهیل انتقال قندها توسط عنصر بور، اثر مثبت بر میزان کلروفیل a و کلروفیل b و کلروفیل کل داشته است (Mashayekhi and Atashi, 2012). با اعمال تیمار سولفات روی و اسیدبوریک روی گیاه توت فرنگی رقم اروماس، افزایش معنی دار مقدار کلروفیل a و کلروفیل b در تیمار اسیدبوریک نسبت به شاهد مشاهده شده است ولی در غلظت بالای اسید بوریک به علت ایجاد حالت سمیت عنصر بور، میزان کلروفیل a و کلروفیل b کاهش یافت (Alinejad-Elahshah *et al.*, 2018). به علاوه اثرات مثبت مصرف محلول پاشی اسید سالیسیلیک در نشای خیار روی فتوستت، افزایش ستر تنظیم کننده های متابولیکی و افزایش محتوای کلروفیل گیاه (Miao *et al.*, 2020) و همچنین اثر بور بر افزایش محتوای کلروفیل خیار و گوجه فرنگی در شرایط گلخانه ای (Ekinci *et al.*, 2020) گزارش شده است.

#### محتوای کاروتنوئید برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس در مورد کاروتنوئید برگ اثر ساده تیمار اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک و همچنین برهم کنش اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک در سطح یک درصد معنی دار

### محتوای قند کل میوه

میزان قند کل میوه تحت تأثیر اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک در سطح یک درصد قرار گرفت ولی برهم کنش اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک معنی دار نشد (جدول ۳).

بیشترین میزان قند کل میوه با ۴۰۰ میلی گرم بر گرم وزن تر مربوط به غلظت یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک و کمترین میزان قند کل میوه نیز با ۲۵۶/۶۷ میلی گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۲). همچنین بیشترین میزان قند کل میوه (۳۵۱/۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به غلظت ۲ میلی گرم در لیتر اسیدبوریک و کمترین میزان (برهم کنش ۳۰۱/۷۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۳).

در گزارشات ذکر شده است که اسیدسالیسیلیک می تواند با جلوگیری از تخریب رنگیزه کلروفیل و افزایش کارایی سیستم آنتی اکسیدانی گیاه، ظرفیت فتوسنتز را افزایش دهد که به دنبال آن ترکیبات تولید شده در فرآیند فتوسنتز نیز افزایش می یابد (Bagautdinova *et al.*, 2022; Hassoon and Abduljabbar, 2019). در آزمایشی کاربرد خارجی اسیدسالیسیلیک، محتوای قند کل گیاه را نسبت به شاهد افزایش داد (Miao *et al.*, 2020).

عصر بور نیز در گیاه نقش های متفاوتی را در گل و میوه دهی گیاه، عمل هورمون های مختلف، ستر اسید مالیک و به ویژه نقل و انتقالات قندها دارا است (Onuh and Miwa, 2021). همچنین کمبود این عنصر موجب اختلال در این فرآیندها گردیده و میزان فتوسنتز گیاه را کاهش می دهد (Kohli *et al.*, 2022). در پژوهشی نتایج تیمار اسیدبوریک و ساکارز روی گیاه توت فرنگی رقم کاماروسا نشان داد که این ترکیب تیماری موجب افزایش محتوای قندهای میوه به ویژه قند کل گردید (Mashayekhi and Atashi, 2012).

میلی مولار اسیدبوریک مشاهده شد. کمترین مقدار آنتوسیانین برگ نیز به ترتیب با ۰/۱۰ و ۰/۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر مربوط به تیمارهای صفر و یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۴ میلی مولار اسیدبوریک بود (جدول ۲).

تولید و ستر آنتوسیانین در گیاه به عوامل مختلف درونی و بیرونی مانند دما، میزان نور، محتوای کربوهیدرات گیاه و همچنین هورمون های گیاهی بستگی دارد (Marschner, 2011). در مطالعه ای روی گیاه فلفل نشان داده شد که کاربرد اسیدسالیسیلیک، میزان آنتوسیانین را در این گیاه افزایش داده است (Sudha and Ravishankar, 2003).

### محتوای ساکارز میوه

بر اساس تجزیه واریانس داده ها، میزان ساکارز میوه تحت اثر اسیدسالیسیلیک، اسیدبوریک و همچنین برهم کنش اسیدسالیسیلیک در اسیدبوریک در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان ساکارز میوه با ۲۲۶/۳ میلی گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک در صفر میلی مولار اسیدبوریک بود. همین طور کمترین مقدار ساکارز میوه با ۸۲/۷ میلی گرم بر گرم وزن تر در صفر میلی مولار اسیدسالیسیلیک و ۴ میلی مولار اسیدبوریک مشاهده شد (جدول ۴).

با توجه این که در تیمارهای حاوی غلظت متوسط ۲ میلی مولار اسیدبوریک میزان ساکارز بالاتری مشاهده شد احتمال می رود به علت خاصیت تسهیل حرکت قندها توسط عنصر بور و ایجاد کمپلکس قند-بور (Brdar-Jokanović, 2020; Du *et al.*, 2020)، این افزایش ساکارز ایجاد شده باشد. همچنین ذکر گردیده است که این کمپلکس ساده تر از حالت عادی بور می تواند از غشای سلولی عبور نماید (Kohli *et al.*, 2022). در آزمایشی روی گیاه توت فرنگی گزارش گردید که بیشترین محتوای ساکارز میوه در ۱۰ درصد ساکارز و ۰/۲ درصد اسیدبوریک مشاهده شد (Mashayekhi and Atashi, 2012).

**Table 3. Variance analysis of the effect of salicylic acid and boric acid on fruit quality and yield of greenhouse cucumber cv. Gohar**

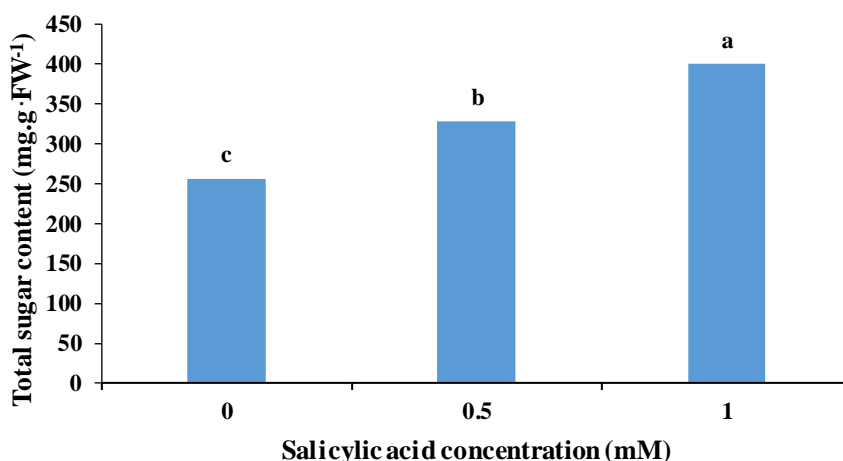
S.O.V	df	Fruit yield per plant	Yield per m <sup>2</sup>	Fruit number per plant	Fructose content	Glucose content	Total sugar content	Sucrose content
Block	2	0.017 <sup>ns</sup>	0.084 <sup>ns</sup>	21.92 <sup>ns</sup>	67.21**	367.4**	501.3**	351.2**
Salicylic acid (A)	2	27.32**	132.2**	1845**	1234**	11651**	46225**	11691**
Boric acid (B)	2	3.44**	16.67**	45.6 <sup>ns</sup>	122.2**	3757**	5596**	6733**
A×B	4	3.8**	18.43**	286.8**	98.7**	1243**	61.61 <sup>ns</sup>	4434**
Error	16	0.37	1.81	17.80	1.58	31.09	97.06	14.49
C.V%		10.15	10.15	6.47	1.86	1.81	3.001	2.48

\*\*Significance at 1%, <sup>ns</sup> not significant.

**Table 4. Mean comparison for the effect of salicylic acid and boric acid on fruit quality and yield of greenhouse cucumber cv. Gohar.**

Salicylic acid (mM)	Boric acid (mM)	Yield per plant (kg. plant <sup>-1</sup> )	Yield per m <sup>2</sup> (kg)	Fruit number per plant	Fructose content (mg.g.FW <sup>-1</sup> )	Glucose content (mg.g.FW <sup>-1</sup> )	Sucrose content (mg.g.FW <sup>-1</sup> )
0	0	3.39 e	7.46 e	44 e	56.89 g	243.82 g	100.25 h
	2	5.06 d	11.13 d	53.33 d	62.65 f	309.15 d	152.94 e
	4	5.34 d	11.47 d	59.33 cd	51.14 h	290.15 e	82.69 i
0.5	0	7.7 b	17.11 b	79.33 ab	70.53 d	299.48 e	137.82 f
	2	9.59 a	21.10 a	86.33 a	61.64 f	314.15 d	207.17 b
	4	6.53 c	14.37 c	76 b	64.87 e	266.26 f	170.51 d
1	0	5.94 cd	13.08 cd	74.33 b	87.9 a	331.71 c	226.28 a
	2	5.56 cd	12.24 cd	61.33 c	73.46 c	368.71 a	180.38 c
	4	5.03 d	11.07 d	52.66 d	78.91 b	345.37 b	123.33 g

Means followed by similar letter (s) in each row are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5%.

**Figure 2. The effect of salicylic acid on total sugar content of greenhouse cucumber cv. Gohar**

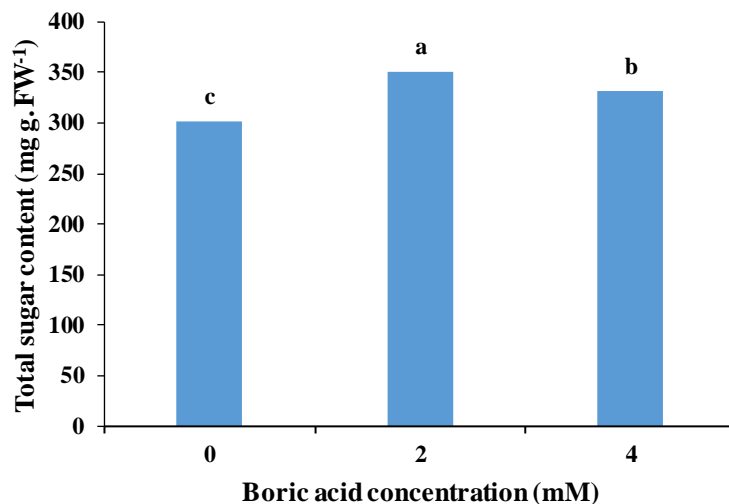


Figure 3. The effect of boric acid on total sugar content of greenhouse cucumber cv. Gohar

#### محتوای فروکتوز میوه

براساس نتایج تجزیه واریانس، میزان فروکتوز میوه تحت تأثیر اسیدسالیسیلیک، اسیدبوریک و همچنین برهم-کنش اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان فروکتوز میوه (۸۷/۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک در صفر میلی مولار اسیدبوریک بود. همین طور کمترین مقدار فروکتوز میوه (۶۲/۶۵ و ۶۱/۶۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) به ترتیب در صفر و ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۲ میلی مولار اسیدبوریک مشاهده شد (جدول ۴).

در پژوهش حاضر اسیدسالیسیلیک اثر مثبتی بر محتوای فروکتوز میوه داشت که می توان علت آن را افزایش تحمل گیاه در برابر تنش های محیطی توسط اسیدسالیسیلیک و در ادامه ایجاد شرایط مطلوب برای فتوسنتز و سنتز کربوهیدرات های مختلف در گیاه دانست (Bagautdinova *et al.*, 2022; Hassoon and Abduljabbar, 2019). نتیجه داده های مختلف در مورد بور نیز نشان می دهد که محلول پاشی بور روی بوته گوجه فرنگی، ماندگاری و میزان ترکیبات جامد محلول، قندها، اسیدیته و اسیداسکوریک میوه را به طور قابل توجهی افزایش داد (Raj *et al.* 2012).

#### محتوای گلوکز میوه

براساس نتایج تجزیه واریانس، محتوای گلوکز میوه تحت تأثیر اسیدسالیسیلیک، اسیدبوریک و همچنین برهم-کنش اسیدسالیسیلیک و اسیدبوریک در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان گلوکز میوه (۳۶۸/۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۲ میلی مولار اسیدبوریک بود. همین طور کمترین مقدار گلوکز میوه (۲۶۶/۳ میلی-گرم بر گرم وزن تر) در ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۴ میلی مولار اسیدبوریک مشاهده شد (جدول ۴).

در آزمایش حاضر اثر هر دو تیمار اسیدبوریک و اسیدسالیسیلیک بر میزان گلوکز میوه مثبت مشاهده شده که احتمال می رود با بالا بردن سطح مقاومت گیاه و کمک به سنتز آنزیم های آنتی اکسیدانی تولید کربوهیدرات را در گیاه بهبود بخشد و موجب افزایش مقادیر گلوکز و قند در گیاه شود (Kohli *et al.*, 2022). اسید بوریک با کمک به حرکت قندها از طریق ایجاد ترکیب قند-بور (Brdar-) (Jokanović, 2020; Du *et al.*, 2020)، سبب تولید و افزایش گلوکز در میوه شده است. دلیل این امر، به قوی بودن میوه های خیار به لحاظ قدرت مخزن گیاه در مقایسه با برگ ها و ساقه ها نسبت داده شده است.

گلدھی، شکل گیری میوه و رشد میوه می شود. در تحقیقی بیان شده است که عنصر بور سفتی و ماندگاری میوه گوجه فرنگی را افزایش می دهد و کمبود این عنصر معمولاً سبب کاسته شدن رشد، عملکرد و کیفیت گوجه - فرنگی می شود (Rab and Haq, 2012). کاربرد بور باعث افزایش وزن تر میوه های گوجه فرنگی در غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر شده است که این ممکن است به دلیل آن باشد که بور در تقسیم و انبساط سلول ها شرکت کرده و حجم فضای بین سلولی را در سلول های مزوکاریک افزایش داده و انتقال سریع تر متابولیت ها از منبع به مخزن ها (میوه ها) را افزایش می دهد (Onuh and Miwa, 2021; Kohli *et al.*, 2022). همچنین بیشترین عملکرد گوجه فرنگی در گیاهان در معرض نور کامل و تیمار شده با ۲ میلی مولار اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Azarmi and Izadi, 2020). همچنین پژوهشگران مصرف اسید سالیسیلیک را بر عملکرد توت - فرنگی به واسطه افزایش تحریک تنظیم کننده های متابولیکی (Karlidag *et al.*, 2009) و مصرف بور را بر عملکرد گوجه فرنگی و خیار به واسطه افزایش انتقال قندها و ترکیبات فتوسنتزی، مثبت ارزیابی کردند (Ekinci *et al.*, 2015).

### نتیجه گیری

علیرغم مطالعات تیمارهای توام اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک به صورت محلول پاشی برگی در گیاهان، اطلاعات کمی در ارتباط با اثر این دو ماده در خیار گلخانه ای در شرایط کشت خاکی وجود دارد. با توجه به نقش هایی که اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک در گیاه ایفا می کنند، تخمین زده می شود که استفاده همزمان این دو ماده می تواند مؤثرتر از کاربرد تکی آنها باشد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش حاضر نیز، اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک تاثیر معنی داری بر تمام صفات اندازه گیری شده داشتند. اثر مثبت اسیدسالیسیلیک در مورد ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و نیز طول دمبرگ محسوس تر از اثر اسید بوریک بود، با این حال ترکیب این

### تعداد میوه و عملکرد کل

براساس نتایج تجزیه واریانس، تعداد میوه تحت اثر ساده اسیدسالیسیلیک و همچنین برهم کنش اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک در سطح یک درصد قرار گرفت ولی اثر ساده اسید بوریک بر تعداد میوه تأثیر معنی داری نداشت (جدول ۳). بیشترین تعداد میوه (۸۶/۳۳ و ۷۹/۳۳ عدد) به ترتیب مربوط به تیمار ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۲ و صفر میلی مولار اسید بوریک بود. همین طور کمترین تعداد میوه (۴۴ عدد) در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴).

براساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد میوه در بوته و همچنین عملکرد میوه در مترمربع تحت تأثیر اسیدسالیسیلیک، اسید بوریک و همچنین برهم کنش اسید سالیسیلیک و اسید بوریک در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بالاترین عملکرد کل میوه (۹/۵۹ کیلوگرم در بوته و ۲۱/۱۰ کیلوگرم در مترمربع) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در ۲ میلی مولار اسید بوریک بود. پس از آن عملکرد کل بالاتر (۷/۷ کیلوگرم در بوته) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در صفر میلی مولار اسید بوریک بود. همین طور کمترین عملکرد کل میوه نیز (۳/۳۹ کیلوگرم در بوته و ۷/۴۶ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار شاهد ثبت شد (جدول ۴).

زمانی که اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک از ابتدای رشد رویشی اعمال گردد تولید میوه در مرحله زایشی تحت تاثیر قرار می گیرد. دلیل این امر آن است که خیار در مرحله رشد رویشی با افزایش تعداد و سطح برگ، ذخیره کربوهیدرات خود را در ساقه و برگ ها انباشته می کند و از آن برای افزایش تولید میوه استفاده می کند. از طرف دیگر نیاز بوته خیار به کربوهیدرات در مرحله تشکیل گل و میوه دهی زیاد می باشد. بنابراین با بکارگیری اصول بهزاعی و همچنین تغذیه تکمیلی با اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک میزان فتوسنتز بالا رفته و تولید کربوهیدرات بیشتر می گردد که در نهایت سبب

بهبود شرایط گیاه و در ادامه افزایش فتوسنتز و ذخایر کربوهیدرات در گیاه شده باشد. همچنین تیمار اسیدبوریک احتمال می‌رود به علت وظایف مختلف عنصر بور در گیاه به‌ویژه تسهیل انتقال قندها، گل و میوه‌دهی و نیز استحکام دیواره سلولی موجب این اثرات مثبت گردیده باشد.

### سپاس‌گزاری

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به انجام رسیده است که بدین وسیله قدردانی می‌گردد.

دو تیمار نتایج مطلوب‌تری را حاصل نمود. در رابطه با صفات فیتوشیمیایی و قندهای محلول نیز، ترکیب دو تیمار اسیدسالیسیلیک و اسید بوریک نتیجه بهینه‌تری نسبت به کاربرد تکی آن‌ها نشان داد. به طور میانگین تیمار ۰/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک، ۲ میلی مولار اسیدبوریک در اکثر صفات اندازه‌گیری شده بازده مثبت و بهتری را نشان داد. با نگرش به این که در کشت گلخانه‌ای خیار، گیاه با تنش‌های محیطی مختلفی مواجه است به نظر می‌رسد به دلیل نقش مفید اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات و افزایش تحمل گیاه نسبت به این تنش‌ها، این تیمار سبب

### References

- Abbasi, F., Khaleghi, A., & Khadivi, A. (2019). The effect of salicylic acid on physiological and morphological traits of cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Dream). *Journal of Crop Health*, 72: 155-162.
- Agricultural statistics. (2022). Crops. Ministry of Agriculture. Vice President of Statistics of Information and Communication Technology Center. Iran. 103 p.
- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., & Gan, S. H. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10(1): 32-45.
- Alinejad-Elahshah, A., Moradi, H., & Sadeghi, H. (2018). Effect of foliar application of zinc and boron on quantitative and qualitative characteristics of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* cv. Aromas) in hydroponic system. *Journal of Horticultural Science*, 32(2): 213-226. [In Persian]
- Aschan, G., & Pfanz, H. (2003). Non-foliar photosynthesis – a strategy of additional carbon acquisition. *Flora*, 198: 81-97.
- Ashwell, G. (1957). Colorimetric analysis of saccharides. P 73-105, In: colomick SP, Kaplan No, ds. *Methods in enzymology*, Vol. 3. Academic Press INC., New York.
- Azarmi, R., & Izadi Jeloudar, N. (2020). Effect of salicylic acid on some morphological properties, growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under shading conditions. *Journal of Plant Production Research*, 27(3): 191-204. [In Persian]
- Bagautdinova, Z.Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A.V., Kovrizhnykh, V.V., Lavrekha, V.V., & Zemlyanskaya, E. V. (2022). Salicylic acid in root growth and development. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4): 2228.
- Barnes, J.D; Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., & Davison, A.A. (1992). A reappraisal of the use of DMSO for extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. *Environmental Experimental Botany Journal*, 32: 85-100.
- Bommesh, J. C., Irene Vethamoni, P, Kumar, S., Nagaraju, K., Goudar, R., & Kumar Pandav, A. (2017). Effect of boron levels on physiology and quality characters of greenhouse parthenocarpic cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Environment and Ecology*, 35(2): 676-680,
- Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4): 1424.
- Du, W., Pan, Z. Y., Hussain, S. B., Han, Z. X., Peng, S. A., & Liu, Y. Z. (2020). Foliar supplied boron can be transported to roots as a boron-sucrose complex via phloem in citrus trees. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1-11.
- Ekinci, M., Esringu, A., Dursun, A., Yildirim, E. & Turan, M. (2015). Growth, yield, and calcium and boron uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) as affected by calcium and boron humate application in greenhouse conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39: 613-632.

- Elizabeth, M.A., & Munn'e-Bosch, S. (2008). Salicylic acid may be involved in the regulation of drought-induced leaf senescence in perennials: A case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plant. *Environmental and Experimental Botany*, 64: 105–112
- El-Taher, A.M., Abd, El-Raouf, H.S., Osman, N.A., Azoz, S.N., Omar, M.A., Elkelish, A., & Abd El-Hady, M.A.M. (2022). Effect of salt stress and foliar application of salicylic acid on morphological, biochemical, anatomical, and productivity characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) plants. *The Plant Journal*, 11: 1-15.
- Eydi Asl Shoshtari, B., Rahnama, A., Hassibi, P., & Zoufan, P. (2024). Effects of salicylic acid and kinetin on some physiological, biochemical traits and the accumulation of cadmium in durum wheat. *Journal of Plant Biological Sciences*, 16(1), 39-59. [In Persian]
- FAO STA. (2022). Available online: <http://faostat.fao.org>.
- Ghorbani, D.A., Mashayekhi, K., & Kamkar, B. (2015). Effect of foliar application sucrose, boron, potassium nitrate and salicylic acid on yield and yield components of tomato var. Super A. *Research in Crop Ecosystems*, 2(1): 43-52. [In Persian]
- Hafeznia, M., Mashayekhi, K., & Ghaderi-Far, F. (2015). Effect of foliar application time of salicylic acid on some of the morphology properties and pigments of tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit. *Journal of Plant Production Research*, 22(2): 203-217. [In Persian]
- Handel, Van, E. (1968). Direct microdetermination of sucrose. *Analytical biochemistry*, 22(2), 280-283.
- Hassoon, A. S., & Abduljabbar, I. A. (2019). Review on the role of salicylic acid in plants. *Sustainable Crop Production*, 61-64.
- Jafari, S. R., Arvin, S. M. J., & Kalantari, K. M. (2015). Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings to exogenous silicon and salicylic acid under osmotic stress. *Acta Biologica Szegediensis*, 59(1): 25-33.
- Javaheri, M., Mashayekhi, K., Dedham, A., & Zaker Tavallae, F. (2012). Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(16): 1184-1187.
- Karlidag, H., Yildirim, E. & Turan, M. (2009). Exogenous application of salicylic acid affects quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 172: 270–276.
- Khalaj, K., Ahmadi, N. & Souri, M.K., (2017). Improvement of postharvest quality of asian pear fruits by foliar application of boron and calcium. *Horticulturae*, 3(1): p.15.
- Kohli, S. K., Kaur, H., Khanna, K., Handa, N., Bhardwaj, R., Rinklebe, J. & Ahmad, P. (2022). Boron in plants: Uptake, deficiency and biological potential. *Plant Growth Regulation*, 100: 267–282
- Lefevere, H., Bauters, L., & Gheysen, G. (2020). Salicylic acid biosynthesis in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-7.
- Marschner, P. (2011). Mineral nutrition of higher plants. 3rd edition. Academic Press, London.
- Mashayekhi, K., & Atashi, S. (2012). Effect of foliar application of boron and sucrose on biochemical parameters of "camarosa" strawberry. *Journal of Plant Production*, 19(4): 157-171. [In Persian]
- Mashayekhi, K., Keykha, Z., Movahedi Naeni, S. A., Kamkar, B., & Mousavizadeh, S. J. (2016). Seedling and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* Var. SuprA) in response to spraying sucrose and boric acid. *Journal of Vegetables Sciences*, 2(2): 61-73. [In Persian]
- McCready, R. M., Guggolz, J., Silveira, V., & Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical Chemistry*, 22(9): 1156-1158.
- Miao, Y., Luo, X., Gao, X., Wang, W., Li, B. & Hou, L. (2020). Exogenous salicylic acid alleviates salt stress by improving leaf photosynthesis and root system architecture in cucumber seedlings. *Scientia Horticulturae*, 272: 109-577.
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3): 426-428.



- Nikbakht, J., Mohammadi, E., & Barzegar, T. (2020). Effect of salicylic acid foliar application under deficit irrigation conditions on yield and water use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* cv. Kish F1). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3): 553-561. [In Persian]
- Onuh, A. F., & Miwa, K. (2021). Regulation, diversity and evolution of boron transporters in plants. *Plant and Cell Physiology*, 62(4): 590-599.
- Orabi, S. A., Salman, S. R., & Shalaby, M. A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(3): 252-259.
- Rab, A. & Haq-Ihsan-Ul, (2012). Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *Turkey Journal of Agriculture and Forestry*, 36: 695-701.
- Rostaghi, M., Mousavizadeh, S. J., Mashayekhi, K., & Sangdoveini, S. (2021). Combined Application of Branch Pruning and Biofertilizer on Leaf Photosynthetic Pigments and Fruit Quantity and Quality of Greenhouse Cucumber. *Journal of Vegetables Sciences*, 4(2): 177-188. [In Persian]
- Somogyi, M. (1952). Notes on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry*, 195: 19-23.
- Sudha, G., & Ravishankar, G. A. (2003). Influence of methyl jasmonate and salicylic acid in the enhancement of capsaicin production in cell suspension cultures of *Capsicum frutescens* Mill. *Current Science*, 85(5): 1212-1217.
- Sun, W., Ma, N., Huang, H., Wei, J., Ma, S., Liu, H., Zhang, S., Zhang, Z., Sui, X., & Li, X. (2021). Photosynthetic contribution and characteristics of cucumber stems and petioles. *BMC Plant Biology*, 21(1): 1-14.
- Tohidloo, G. & Souri, M.K., (2009). Uptake and translocation of boron in two different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) genotypes. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 50(6): 487-491.
- Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64(1): 88-93.
- Yildirim, E., Turan, M., & Guvenc, I. (2008). Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll, and mineral content of cucumber grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 31(3): 593-612.