Research Paper

Water Use Efficiency and Quantitative and Qualitative Indicators of Cucumber in a Closed Hydroponic System

Zahra Hamidi[1], Edris Shabani[2*], Naser Alemzadeh Ansari[3] Mohammad Albaji[4]

1 M.Sc. Graduated of Horticultural Science, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2 *Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (Email: edris.shabani@scu.ac.ir)
3 Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4 Associate Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

10.22125/iwe.2025.496587.1849

Received:
December 29, 2024
Accepted:
May 26, 2025
Available online:
August 4, 2025

Keywords:
Greenhouse, Growing substrate, Nutrient solution, Photosynthesis, Yield

Abstract

In order to investigate the water use efficiency and quantitative and qualitative indicators of three cucumber cultivars in different growing media with a closed hydroponic system, an experiment was conducted as a factorial in a randomized complete block design with 3 replications. The treatments included 3 types of growing substrate (cocopeat-perlite and sand (solid-based) and modified NFT (liquid-based)) and 3 greenhouse cucumber cultivars (Strong-Sun, Yalda, and RY). The vegetative, qualitative and physiological traits measured in this experiment included leaf number and area, stem diameter, chlorophyll a, b and total chlorophyll, photosynthesis, yield, soluble solids, EC and pH of fruit and water use efficiency. Based on the results, the highest leaf number was observed in the Strong Sun cultivar and the modified NFT and cocopeat-perlite substrates. Also, the highest leaf area was observed in the Strong Sun cultivar. The highest photosynthesis rate was observed in Strong Sun cultivar in cocopeat-perlite medium (12.41 µmol/m^2.s) followed by Strong Sun and modified NFT medium. Also, the highest percentage of total dissolved solids was observed in Strong Sun cultivar in modified NFT and cocopeat-perlite medium. Based on the results, the highest water use efficiency was observed in Strong Sun cultivar and modified NFT medium (4.78 Kg/m^3) and the lowest in Yalda cultivar and sand medium (1.60 Kg/m^3). Based on the results, modified NFT medium (due to better management of water resources and nutrient solution) and Strong Sun cultivar are recommended for cultivation in greenhouse units with closed hydroponic systems.

1. Introduction

Climate change around the world had an adverse impact on water quality and availability, food security, and human health. Globally, about 40 percent of the total land area is arid, semi-arid, and rangelands. Due to climate change, almost half of the world's population will face water shortages by 2030 because freshwater resources are decreasing day by day, and various countries around the world, including those in the Middle East, will face

* **Corresponding Author:** Edris Shabani
Address: Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Email: edris.shabani@scu.ac.ir
Tel: +989118563185

serious challenges. Continuous cultivation in soil reduces resources and creates pollution. Therefore, planting vegetables in soil requires the use of a lot of water, toxins, pesticides, and fertilizers. In order to prevent and reduce environmental pollution caused by the use of these compounds, the desire to use and develop of hydroponic systems has been increased. Considering the above, the effective role of cultivation systems and substrates in the production of greenhouse products is inevitable. Also, considering the importance of closed systems in reducing water consumption and the threat of water resource shortage in Iran, conducting research to investigate the effect of different cultivation substrate in closed systems on different greenhouse cucumber cultivars seems absolutely necessary.

2. Materials and Methods

This research was conducted in the fall and winter of 2021 in the greenhouse complex of Shahid Chamran University of Ahvaz. This experiment was conducted as a factorial experiment in a randomized complete block design with 3 replications. The treatments included 3 types of growing substrate (cocopeat-perlite and sand (solid-based) and modified NFT (liquid-based)) and 3 greenhouse cucumber cultivars (Strongsun, Yalda, and RY). After production in a growth room with 50:50 red and blue artificial lights, seedlings of different varieties were transferred to 9-liter pots and holes were created at a distance of 30 cm in a nutrient flow system and closed on 2-inch pipes. The pots were placed on these holes. The nutrient solution drainage inside these pipes was collected and directed by a pump into the main tank, where it flowed to the foot of the plant throughout the day and night. The vegetative, qualitative and physiological traits measured in this experiment included leaf number and area, stem diameter, chlorophyll a, b and total chlorophyll, photosynthesis, yield, total soluble solids (TSS), EC and pH of fruit extract and water use efficiency.

3. Results

Based on the results, the highest number of leaves was observed in the Strongsun cultivar and the cocopeat-perlite and modified NFT substrates. Also, the largest leaf area appeared in the Strongsun cultivar. The highest photosynthesis rate was observed in the Strongsun cultivar in the cocopeat-perlite substrate (12.41 $\mu mol/m^2s$) and then in the Strongsun and the modified NFT substrate. Also, the highest percentage of TSS was observed in the Strongsun cultivar in the modified NFT and cocopeat-perlite substrates. Based on the results, the highest water use efficiency was observed in the Strongsun cultivar and the modified NFT substrate (4.78 Kg/m^3) and the lowest in the Yalda cultivar and the sand substrate (1.60 Kg/m^3).

The findings of this study showed that, changes in photosynthetic pigments such as chlorophyll a and the number of leaves of cucumber cultivars during the growth period were effective in the occurrence of significant differences in yield between different cultivation substrate in a closed system. It seems that in the cocopeat-perlite substrate and the modified NFT substrate, with an increase in the photosynthesis rate and the plant's assimilation capacity, the TSS of the fruit also increased, which ultimately led to an increase in fruit quality. The highest water use efficiency was also observed in the closed and modified NFT substrate. This substrate maximizes water use efficiency by recirculating all unused water and nutrients by plants. The roots receive sufficient moisture and oxygen through direct contact with the nutrient solution and high air circulation, resulting in improved plant growth and yield.

4. Discussion and Conclusion

Based on the results obtained, the modified NFT substrate (due to better management of water resources and nutrient solution) and the Strong Sun cultivar are recommended for cultivation in greenhouse units with a closed hydroponic system.

5. Six important references

1) Boretti, A. and L. Rosa. 2019. Reassessing the projections of the world water development report. NPJ Clean Water, 2(1): 1-6.

2) Łaźny, R., M. Mirgos, J. L. Przybył, M. Niedzińska, J. Gajc-Wolska, W. Kowalczyk and K. Kowalczyk. 2022. Lignite substrate and EC modulates positive eustress in cucumber at hydroponic cultivation. Agronomy, 12(3): 608.
3) Loera-Muro, A., E. Troyo-Diéguez, B. Murillo-Amador, A. Barraza, G. Caamal-Chan, G. Lucero-Vega, A. Nieto-Garibay. 2021. Effects of vermicompost leachate versus inorganic fertilizer on morphology and microbial traits in the early development growth stage in mint (Mentha spicata L.) and rosemary (Rosmarinus officinalis L.) plants under closed hydroponic system. Horticulturae, 7(5): 100 .
4) Oljira, A. M., T. Hussain, T.R. Waghmode, H. Zhao, H. Sun, X. Liu and Liu, B. 2020. Trichoderma enhances net photosynthesis, water use efficiency, and growth of wheat (Triticum aestivum L.) under salt stress. Microorganisms, 8(10): 1565.
5) Singh, M.C., D.S. Kachwaya and K. Kalsi. 2018. Soilless cucumber cultivation under protective structures in relation to irrigation coupled fertigation management, economic viability and potential benefits: A review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(3): 2451-2468.
6) Verdoliva, S.G., D. Gwyn-Jones, A. Detheridge and P. Robson. 2021. Controlled comparisons between soil and hydroponic systems reveal increased water use efficiency and higher lycopene and β-carotene contents in hydroponically grown tomatoes. Scientia Horticulturae, 279: 109-896.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to Vice Chancellor for research at Shahid Chamran University of Ahvaz.

کارایی مصرف آب و شاخص‌های کمی و کیفی خیار در سامانه آبکشت بسته

زهرا حمیدی[۱]، ادریس شعبانی*[۲]، ناصر عالم زاده انصاری[۳]، محمد الباجی[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۳/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۰۲/۲۷

مقاله پژوهشی

چکیده

به منظور بررسی کارایی مصرف آب و شاخص های کمی و کیفی سه رقم خیار در بسترهای مختلف کشت با سامانه آبکشت بسته آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل ۳ نوع بسترکشت (کوکوپیت-پرلیت و ماسه (بر پایه جامد) و NFT تغییرشکل یافته (بر پایه مایع) و ۳ رقم خیار گلخانه‌ای (استرانگ‌سان، یلدا و RY) بودند. صفات رویشی، کیفی و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل تعداد و سطح برگ، قطر ساقه، کلروفیل a، b و کلروفیل کل، فتوسنتز، عملکرد، مواد جامد محلول، EC و pH میوه و کارایی مصرف آب بود. بر اساس نتایج بالاترین تعداد برگ در رقم استرانگ‌سان و بسترهای کوکوپیت-پرلیت و NFT تغییرشکل یافته مشاهده شد. همچنین بیشترین سطح برگ در رقم استرانگ‌سان مشاهده گردید. بالاترین میزان فتوسنتز در رقم استرانگ‌سان در بستر کشت کوکوپیت-پرلیت (۱۲/۴۱ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) و بعد از آن در استرانگ‌سان و بستر NFT تغییرشکل یافته مشاهده گردید. همچنین بیشترین درصد مواد جامد محلول کل در رقم استرانگ‌سان در بستر کشت‌های NFT تغییرشکل یافته وکوکوپیت-پرلیت مشاهده گردید. بر اساس نتایج بالاترین میزان کارایی مصرف آب در رقم استرانگ سان و بستر کشت NFT تغییرشکل یافته (۴/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین میزان آن در رقم یلدا و بستر ماسه (۱/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده بستر NFT تغییرشکل یافته (به دلیل مدیریت بهتر منابع آب و محلول غذایی) و رقم استرانگ‌سان جهت کشت در واحدهای گلخانه‌ای با سامانه آبکشت بسته توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بستر کشت، عملکرد، فتوسنتز، گلخانه، محلول غذایی.

[۱] کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران ایمیل: hamidizahra96@gmail.com

[۲] استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران(نویسنده مسول) ایمیل: edris.shabani@scu.ac.ir

[۳] دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران ایمیل:ansari_n@scu.ac.ir

[۴] دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران ایمیل: m.albaji@scu.ac.ir

مقدمه

خیار (*Cucumis sativus* L.) یکی از محبوب‌ترین محصولات گیاهی است که به‌طور گسترده در سراسر جهان کشت می‌شود (Soleimani et al., 2009). تولید خیار در گلخانه و در شرایط خارج از فصل زراعی جهت افزایش ارزش اقتصادی آن همواره مورد توجه بوده است (Chandra et al., 2000). خیار محصولی گرما دوست و حساس به سرما است (Bacci et al., 2006) و در شرایط دسترسی آب و رطوبت بالا، نور زیاد، کود مناسب و دمای ۲۷-۲۲ درجه سلسیوس بهترین رشد را دارد (Singh et al., 2018). ایران مقام دوم جهانی از نظر میزان تولید خیار را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت خیار در ایران ۷۵ هزار هکتار، تولید نزدیک به دو میلیون تن و متوسط عملکرد حدود ۲۴ تن در هکتار می‌باشد (حسندخت، ۱۳۹۱).

حدود ۴۰ درصد از مساحت کل زمین را اراضی خشک، نیمه‌خشک و مرتعی تشکیل می‌دهد (Becerra-Castro et al., 2015). با توجه به تغییرات اقلیمی، تقریباً نیمی از جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ با کمبود آب مواجه خواهند شد. خشکسالی هیدرولوژیکی ناشی از رشد جمعیت و مدیریت ضعیف منابع آب نیز از دیگر چالش‌های پیش‌رو است، زیرا ۷۰ درصد آب شیرین موجود، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Boretti and Rosa, 2019). در این شرایط کشاورزی بدون خاک (آبکشت) را می‌توان به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای مدیریت مصرف آب، تولید محصولات باکیفیت بالا و کاهش هزینه‌ها معرفی کرد (Kumar et al., 2021). کشت مداوم در خاک باعث کاهش منابع و ایجاد آلودگی می‌گردد. لذا جهت کاشت سبزی‌ها در خاک نیاز به استفاده از آب، سموم، آفت‌کش و همچنین کودهای زیادی می‌باشد. به‌منظور جلوگیری و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف این موارد، تمایل به استفاده و توسعه سامانه‌های آبکشت افزایش پیدا کرده است (Lopez et al., 2004). سامانه‌های آبکشت فناوری‌های کشت هستند که از محلول‌های غذایی به‌جای خاک استفاده می‌کنند و می‌توانند از محیط‌های طبیعی یا مصنوعی به‌عنوان بستر برای نگهداری گیاهان استفاده کنند (Loera-Muro et al., 2021). سامانه‌های آبکشت را می‌توان به سامانه‌های باز که در آن محلول غذایی اضافی بازیافت نمی‌شود و سامانه‌های بسته که در آن محلول غذایی اضافی از ریشه جمع‌آوری و بازیافت می‌شود، تقسیم کرد (Kumar et al., 2021). در آبکشت، در بیشتر موارد، یک بستر جامد و معمولاً خنثی که حمایت مکانیکی گیاه را انجام می‌دهد، موردتوجه قرار می‌گیرد (Ghehsareh et al., 2011). خصوصیات بسترها، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر فیزیولوژی گیاه و تولید اثر دارد (Schnitzler and Gruda, 2002). علاوه بر حفاظت از محیط‌زیست، سامانه آبکشت برای دستیابی به تولید و کیفیت بالا، افزایش کارایی مصرف آب، حفظ آب و زمین، صرفه‌جویی در منابع آب، زمین و کارگر مورد استفاده قرارگرفته است (Ghehsareh et al., 2011).

در مطالعه‌ای عملکرد ارقام مختلف گوجه‌فرنگی در سامانه‌های آبکشت باز و بسته مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در سامانه بسته عملکرد قابل‌فروش بالاتری به‌دست آمد. ترک خوردن میوه یکی از عوامل کاهش عملکرد در سیستم باز بود (Maboko et al., 2011). بسترهای کشت در سامانه‌های آبکشت به‌گونه‌ای طراحی‌شده‌اند که نگهداری و حفاظت گیاه را فراهم کنند و به‌عنوان مخزن کوچک مواد مغذی برای استفاده گیاه عمل کنند. بسترها بر اساس ترکیب مواد، خواص فیزیکی و شیمیایی به‌عنوان آلی یا معدنی گروه‌بندی می‌شوند (Dankwa, 2019). در مطالعه ای با بررسی اثر محیط کشت‌های مختلف بر رشد و عملکرد سبزی‌های برگی نشان داده شد که بیشترین عملکرد، سطح برگ، طول ریشه و تعداد برگ از گیاهان رشد یافته با استفاده از بستر کشت کوکوپیت در سامانه آبکشت NFT[1] به‌دست آمد. بااین‌حال، بیشترین ارتفاع ساقه در گیاهان در بستر اسفنج و کمترین عملکرد و فاکتورهای رشد در بستر پرلیت در سامانه آبکشت NFT مشاهده شد. علیرغم این، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که افزودن پرلیت به کوکوپیت ممکن است خواص فیزیکی محیط و ویژگی‌های رشد محصول را در سامانه آبکشت NFT افزایش دهد (Chhetri et al., 2022). با

[1] - Nutrient Film Technique (NFT)

توجه به موارد فوق، نقش موثر سامانه‌ها و بسترهای کشت در تولید محصولات گلخانه‌ای امری اجتناب ناپذیر است. همچنین با توجه به اهمیت سامانه های بسته در کاهش مصرف آب و تهدید کمبود منابع آبی در ایران، انجام پژوهشی جهت بررسی تاثیر بسترهای مختلف کشت در سامانه‌های بسته بر ارقام مختلف خیار گلخانه‌ای امری کاملاً ضروری به‌نظر می‌رسد. به دلیل وجود مطالعات اندک در حوزه سامانه‌های بسته در ایران، مطالعه حاضر نقش این سامانه‌ها بر کارایی مصرف آب و خصوصیات کمی و کیفی خیار گلخانه ای را مورد بررسی قرار خواهد داد.

مواد و روش‌ها

۱) موقعیت گلخانه و نحوه اجرای آزمایش

این پژوهش در فصل پاییز و زمستان ۱۴۰۰ در مجتمع گلخانه‌ای و آزمایشگاه فیزیولوژی گروه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز با محدوده جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ارتفاع حدود ۲۲ متر از سطح دریا انجام گرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل ۳ نوع بسترکشت (کوکوپیت-پرلیت و ماسه (بر پایه جامد) و NFT تغییرشکل یافته (بر پایه مایع) و ۳ رقم خیار گلخانه‌ای (استرانگ‌سان، یلدا و RY (رقم امیدبخش دانشگاه شهید چمران اهواز) بودند. هر بستر شامل ۱۸ گلدان پلاستیکی که درمجموع ۵۴ گلدان برای این آزمایش تهیه گردید. نشاهای ارقام مختلف پس از تولید در اتاق پرورش با نور مصنوعی قرمز و آبی ۵۰:۵۰، به گلدان‌های ۹ لیتری منتقل و به فاصله ۳۰ سانتی‌متری در یک سامانه جریان عناصر غذایی و به‌صورت بسته بر لوله‌های ۲ اینچ حفره‌هایی ایجاد شد و گلدان‌ها روی این حفره‌ها قرار گرفتند که زهاب محلول غذایی درون این لوله‌ها جمع‌آوری شده و توسط پمپ به درون مخزن اصلی هدایت می‌شد و مجدداً تا پای بوته در طول شبانه‌روز در جریان بود. همچنین جهت تغذیه بوته‌های خیار از محلول غذایی رش (غلظت بر اساس میلی‌گرم بر لیتر، N: 140، P: 50، K: 350، Ca: 200، Mg: 50، S: 150، Fe: 3، Mn: 0.8، B: 0.3، Zn: 0.1، Cu: 0.07 و Mo: 0.03) استفاده گردید (Resh, 2013).

۲) بررسی خصوصیات رشدی، فیزیولوژیک و کیفی در خیار

صفات رویشی، کیفی و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل تعداد و سطح برگ، قطر ساقه، کلروفیل a، b و کلروفیل کل، فتوسنتز، عملکرد، مواد جامد محلول، EC و pH میوه و کارایی مصرف آب بود. تعداد برگ‌ها به‌صورت هفتگی شمارش شد و در طول دوره رشد به‌صورت تجمعی ثبت گردید، سطح برگ نیز در پایان آزمایش با اندازه‌گیری طول و عرض برگ با استفاده از خط کش و رابطه (۱) محاسبه گردید (عالم زاده انصاری، ۱۳۹۳).

$$LA= - 10.943+0.774\times L\times W \qquad (۱)$$

در رابطه فوق L طول برگ، W عرض برگ و LA سطح برگ به سانتی‌متر مربع می باشد. قطر ساقه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری و به سانتی‌متر ثبت گردید. با استفاده از روش Arnon (1976) اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ توسعه‌یافته و عصاره‌گیری با استون انجام شد. بدین صورت که مقدار ۰/۱ گرم از نمونه برگ بالغ و تازه در هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به صورت محلول یکنواختی درآمد. در نهایت با استفاده از استون ۸۰ ٪ به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در مرحله بعد فالکون‌های حاوی نمونه برگ و استون در سانتریفیوژ با سرعت ۵۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۸۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-1201, Shimadzu, Japan) قرائت گردید. محاسبه میزان کلروفیل a ، b و کلروفیل کل به‌ترتیب از روابط ۲، ۳ و ۴ بدست آمد که در آن v حجم عصاره و w وزن بافت عصاره گیری شده می باشد:

$$\text{Chlorophyll a (mg/g fresh tissue)} = \frac{((12.7\times A663) - (2.69\times A645))\times V}{1000\times W} \qquad (۲)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g fresh tissue)} = \frac{((22.9\times A645) - (4.68\times A663))\times V}{1000\times W} \qquad (۳)$$

$$\text{Total Chlorophyll (mg/g fresh tissue)} = \frac{((20.2\ A645) + (8.02\ A663))\times V}{1000\times W} \qquad (۴)$$

به‌منظور تعیین نرخ فتوسنتز نمونه‌های برگ هر تیمار بین ساعات ۹ تا ۱۱ صبح با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر

(LCi-SD, UK) اندازه‌گیری و برحسب میکرومول بر مترمربع در ثانیه گزارش شد. مجموع وزن میوه‌های برداشت شده از هر بوته در تمامی برداشت‌ها به‌عنوان عملکرد (به گرم) برای آن بوته در نظر گرفته شد. مقدار مواد جامد محلول کل (TSS) توسط دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی (Atago, A-PAL-1, Japan) اندازه‌گیری گردید. همچنین pH و EC عصاره میوه به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های pH متر و EC متر اندازه‌گیری شد. در پایان فصل کشت نیز، میزان کارایی مصرف آب از نسبت عملکرد کل محصول به حجم آب آبیاری در سامانه بسته محاسبه گردید (Oljira et al., 2020).

۳) آنالیز آماری آزمایش

در پایان آزمایش داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گردید. نمودارها نیز به کمک نرم افزار Excell رسم گردید.

نتایج و بحث

تعداد و سطح برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی رقم در سطح احتمال ۵ درصد بر سطح برگ خیار و اثر اصلی بستر کشت در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد برگ معنی‌دار گردید (جدول ۱). همچنین اثرمتقابل رقم و بسترکشت در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد برگ خیار معنی‌دار بود. اثر اصلی رقم بر تعداد برگ و اثر اصلی بستر کشت و اثر متقابل رقم و بستر کشت بر سطح برگ خیار معنی‌دار نبوده است (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل، بالاترین تعداد برگ در رقم استرانگ‌سان و بسترهای کوکوپیت-پرلیت و NFT تغییرشکل یافته مشاهده شد و کمترین تعداد سطح برگ در رقم یلدا و بستر ماسه مشاهده گردید. همچنین بیشترین سطح برگ در رقم استرانگ‌سان ظاهرگردید (جدول ۲). Gül et al. (2007) گزارش کردند که تعداد برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر بستر کوکوپیت قرار گرفت. براساس نتایج آن‌ها این بستر با داشتن ذخایر کربن آلی و ظرفیت نگهداری بالای آب، مواد مغذی مناسبی در اختیار گیاه قرار می‌دهد که به احتمال زیاد سبب بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه و در نتیجه افزایش تعداد برگ می‌شود. بسترهای آلی مانند کوکوپیت متشکل از نسبت یکسان لیگنین و سلولز است که دارای پتاسیم و عناصر کم‌مصرف مانند روی، منگنز، مس و آهن می‌باشد. افزون بر این کوکوپیت به دلیل افزایش آب قابل دسترس و جذب عناصر غذایی توانسته نقش مؤثری را در بهبود رشد برگ‌ها و در نتیجه سطح برگ‌های خیار ایفا نماید (Savithri and Khan, 1993).

قطرساقه

اثر اصلی رقم و بستر کشت به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد اختلاف معنی‌داری بر قطر ساقه ایجاد کرد. همچنین در اثر متقابل رقم و بسترکشت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). بالاترین اندازه قطر ساقه در بسترهای کوکوپیت-پرلیت و NFT تغییرشکل یافته مشاهده گردید. در بین رقم‌ها نیز بیشترین قطر ساقه در رقم استرانگ‌سان مشاهده شد. اصلانی و همکاران (۱۳۹۳) در مقایسه رشد و عملکرد چهار رقم فلفل دلمه‌ای در بستر کشت آبکشت گزارش دادند که ارقام ازنظر قطر ساقه متفاوت بوده و رقم سبز و قرمز بیشترین قطر ساقه را نشان دادند.

کلروفیل

اثر اصلی رقم بر کلروفیل a وb معنی دار نبوده است. همچنین اثر اصلی بستر کشت بر کلروفیل a معنی‌دار نبوده است اما بر کلروفیل b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر متقابل رقم و بستر کشت در سطح احتمال ۱ درصد بر کلروفیل a وb اثر معنی‌داری نشان داد، ولی اختلاف معنی‌داری در کلروفیل کل مشاهده نگردید (جدول ۱). بیشترین مقدار کلروفیل a در رقم یلدا و بستر کشت NFT تغییرشکل یافته و بیشترین مقدار کلروفیل b در رقم RY و بستر کشت کوکوپیت-پرلیت مشاهده شد. بسترهای مختلف مورد استفاده در این پژوهش اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان کلروفیل نشان دادند. کمترین مقدار کلروفیل a وb نیز در رقم استرانگ سان و بستر ماسه مشاهده گردید (جدول ۲). مهم‌ترین گروه رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل‌ها می‌باشند که مسئول جذب نور در کلروپلاست هستند، بیشترین مقدار کلروفیل در برگ‌های جوان وجود دارد و با پیرشدن برگ‌ها مقدار کلروفیل نیز

کاهش می‌آبد (Kumar, 2008). نیک رزم و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی بسترهای مختلف کشت بیان کردند که بستر کشت بر کلروفیل برگ تاثیرگذار است. Petre (2015) با بررسی تاثیر بسترهای مختلف بر کیفیت میوه خیار نشان داد که در بستر پرلیت بالاترین میزان کلروفیل برگ مشاهده گردید. آهن، پتاسیم و منگنز از جمله عناصر مهم در تشکیل کلروفیل در گیاه می‌باشند. به نظر می‌رسد بستر کوکوپیت-پرلیت با قابلیت ذخیره بالای عناصر ذکرشده و همچنین بستر NFT تغییرشکل یافته با قرار دادن این عناصر به صورت مستقیم در اختیار ریشه، باعث بالا رفتن قدرت جذب و در نهایت افزایش میزان کلروفیل a و b در این دو بستر گردید.

فتوسنتز

اثرات اصلی رقم و بستر کشت به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بر نرخ فتوسنتز بوته‌های خیار معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین اثر متقابل رقم و بسترکشت در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری بر فتوسنتز بوته‌های خیار به نمایش گذاشت (جدول ۱). بالاترین میزان فتوسنتز در رقم استرانگ‌سان در بستر کشت کوکوپیت-پرلیت (۱۲/۴۱ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) و بعد از آن در استرانگ سان و بستر NFT تغییرشکل یافته مشاهده گردید (جدول ۲). رقم استرانگ‌سان با افزایش تعداد برگ و ارتفاع بوته در بستر کشت کوکوپیت-پرلیت و بستر NFT تغییرشکل یافته مقدار فتوسنتز بالاتری نشان داد. سرعت فتوسنتز تحت تأثیر عوامل خارجی گیاه مانند دمای هوا (زیاد و کم)، حرکت هوا بر سطوح برگ، سطح CO_2 در هوای اطراف برگ‌ها، شدت نور و ترکیب طول موج آن و وضعیت آب است. افزایش میزان کلروفیل از جمله عواملی است که سبب افزایش فتوسنتز می‌گردد. از سوی دیگر بسترهای کشت مختلف دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی هستند که بر جذب آب و موادغذایی توسط گیاه موثر می‌باشند. بسترکشت کوکوپیت-پرلیت با تسهیل جذب عناصر غذایی در گیاه سبب افزایش تعداد برگ، سطح برگ و کلروفیل گیاه گردید. در نهایت با بالا رفتن میزان کلروفیل، مقدار فتوسنتز نیز افزایش یافت (Gül et al., 2007).

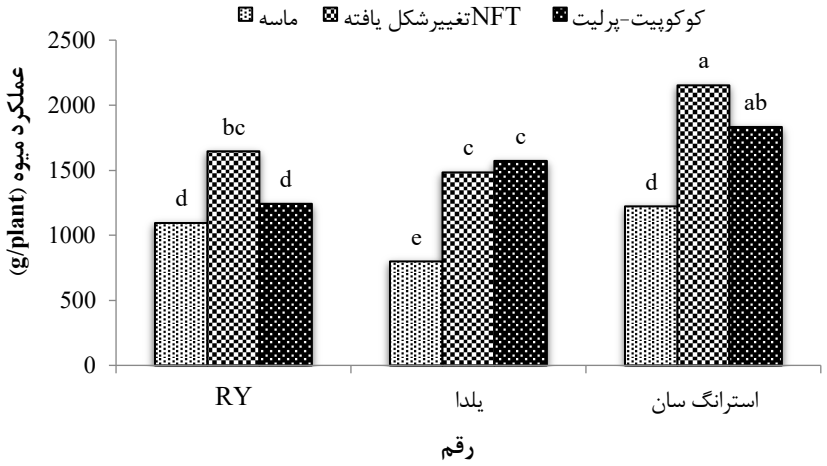
عملکرد

اثرات اصلی رقم و بستر به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بر عملکرد بوته‌های خیار معنی دار بود. همچنین اثر متقابل رقم و بستر در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد میوه خیار اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱). بیشترین میزان عملکرد در رقم استرانگ سان و بستر NFT تغییرشکل یافته (۲۱۵۲ گرم در بوته) و کمترین آن نیز در رقم یلدا و بستر ماسه (۷۹۷ گرم در بوته) مشاهده گردید (شکل ۱). Al-Harbi et al. (1996) گزارش دادند که در خیار، عملکرد کل برای گیاهان رشد یافته در سیستم NFT در مقایسه با بستر شن و کوکوپیت-پرلیت بیشتر بود. در این بستر افزایش گردش هوا، رشد ریشه، افزایش شاخساره و کلروفیل سبب افزایش عملکرد بوته‌های خیار گردید. این یافته‌ها با نتایج ما مطابقت داشت. Golabadi et al. (2013) با بررسی بیست ژنوتیپ خیار گلخانه‌ای نشان دادند که صفاتی مانند تعداد برگ، تعداد شاخه، تعداد میان گره و تعداد میوه اثر مستقیم و معنی‌داری بر عملکرد میوه دارند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که اولاً تغییرات رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و ثانیاً تعداد برگ ارقام خیار در طول دوره رشد در بروز اختلاف معنی‌دار عملکرد بین بسترهای مختلف کشت در سیستم بسته مؤثر بوده است.

جدول (۱): نتایج آنالیز واریانس اثر ارقام و بسترهای مختلف کشت بر ویژگی های رشدی، فتوسنتزی و عملکرد خیار تحت سامانه آبکشت بسته

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد برگ	سطح برگ	قطر ساقه	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	فتوسنتز	عملکرد
بلوک	۲	۱۶/۳۳ ns	۵۶۴۸۸۸ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۳۷ ns	۷۹۷۵ ns
رقم	۲	۲۵/۴۴ ns	۲۵۳۵۸۲۸ *	۰/۰۱۲ *	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۳ ns	۷۲/۱۷ **	۵۵۵۹۱۱ **
بستر کشت	۲	۱۵۱/۰۰ **	۷۴۷۹۳۲ ns	۰/۰۲۹ **	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۱۰ **	۰/۰۰۳ ns	۶/۹۷ **	۱۲۴۲۶۴۵ **
رقم×بسترکشت	۴	۵۶/۱۱ *	۲۶۶۴۵۶ ns	۰/۰۰۳۴ ns	۰/۰۰۷ **	۰/۰۰۴ **	۰/۰۰۱ ns	۱۱/۰۱ **	۱۰۵۶۲۱ *
خطا	۱۶	۱۶/۹۱	۴۸۵۱۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۱/۱۲	۱۳۸۱۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۶/۷۴	۲۲/۲۴	۱۰/۹۳	۶/۱۳	۵/۵۴	۱۵/۱۹	۱۴/۰۷	۸/۱۰

ns : غیر معنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل (۱): اثر متقابل ارقام و بسترهای مختلف کشت بر عملکرد میوه خیار در سامانه آبکشت بسته

جدول (۲): نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی و متقابل ارقام و بسترهای مختلف کشت بر ویژگی های رشدی و فتوسنتزی خیار در سامانه آبکشت بسته

تیمار	تعداد برگ	سطح برگ (cm^2)	قطر ساقه (cm)	کلروفیل a (mg/g)	کلروفیل b (mg/g)	کلروفیل کل (mg/g)	فتوسنتز ($\mu mol/m^2s$)
رقم							
استرانگ سان	۲۶/۴۴	۳۷۴۲/۸۹ a	۰/۵۸ a	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۳۸	۱۰/۵۳ a
یلدا	۲۳/۲۲	۲۸۶۵/۶۹ b	۰/۵۳ a	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۴۰	۷/۱۹ b
RY	۲۴/۰۰	۲۷۸۶/۴۴ b	۰/۵۰ b	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۴۱	۴/۸۹ c
بستر							
کوکوپیت-پرلیت	۲۷/۵۵ a	۳۴۲۸/۱۶	۰/۵۹ a	۰/۲۳	۰/۲۰ a	۰/۴۰	۸/۴۸ a
NFT تغییر شکل یافته	۲۶/۲۲ a	۳۱۱۴/۴۷	۰/۵۵ a	۰/۲۶	۰/۱۶ b	۰/۳۷	۷/۴۱ b
ماسه	۱۹/۸۸ b	۲۵۸۲/۳۸	۰/۴۸ b	۰/۲۳	۰/۱۴ c	۰/۴۱	۶/۷۳ b
رقم × بستر							
استرانگ×کوکوپیت-پرلیت	۳۲/۶۶ a	۳۳۰۵/۹۹	۰/۶۳	۰/۲۶ c	۰/۱۸ c	۰/۳۸	۱۲/۴۱ a
یلدا×کوکوپیت-پرلیت	۲۵/۶۶ b	۲۷۷۴/۱۰	۰/۵۶	۰/۲۳ d	۰/۱۸ c	۰/۳۹	۸/۵۱ c
RY×کوکوپیت-پرلیت	۲۴/۳۳ c	۲۶۷۷/۰۴	۰/۵۸	۰/۲۰ d	۰/۲۵ a	۰/۴۲	۴/۵۱ e
استرانگ×NFT تغییریافته	۲۸/۳۳ b	۳۷۶۱/۳۴	۰/۶۲	۰/۲۸ b	۰/۲۰ b	۰/۳۶	۱۱/۴۷ b
یلدا×NFT تغییریافته	۲۷/۳۳ b	۲۶۱۶/۹۳	۰/۵۴	۰/۳۲ a	۰/۱۵ c	۰/۳۹	۵/۱۹ e
NFT×RY تغییریافته	۲۳/۰۰ c	۲۶۶۵/۱۴	۰/۵۰	۰/۱۹ e	۰/۱۳ d	۰/۳۷	۵/۵۶ e
استرانگ×ماسه	۱۸/۳۳ c	۴۱۶۱/۳۲	۰/۴۸	۰/۲۰ d	۰/۱۲ d	۰/۴۰	۷/۷۰ d
یلدا×ماسه	۱۶/۶۶ d	۳۴۰۶/۰۴	۰/۵۱	۰/۲۲ cd	۰/۱۵ c	۰/۴۱	۷/۸۸ d
RY×ماسه	۲۴/۶۶ d	۲۷۱۷/۱۲	۰/۴۴	۰/۲۶ c	۰/۱۴ d	۰/۴۳	۴/۶۱ e

ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

مواد جامد محلول (TSS)

اثرات اصلی و متقابل بستر کشت و رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر مواد جامد محلول کل میوه‌های خیار معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مواد جامد محلول در رقم استرانگ‌سان در بستر کشت‌های NFT تغییرشکل یافته وکوکوپیت-پرلیت مشاهده گردید (جدول ۴). Lazny et al. (2022) در بررسی عملکرد و کیفیت میوه خیار در بسترهای مختلف کشت آبکشت گزارش دادند که در مواد جامد محلول کل رقم‌های مختلف خیار اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. این یافته‌ها با نتایج ما مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد که در بستر کوکوپیت-پرلیت و بستر NFT تغییرشکل یافته با افزایش نرخ فتوسنتز و افزایش ظرفیت آسیمیلاسیون گیاه، مواد جامد محلول کل میوه نیز افزایش یافته که نهایتاً سبب افزایش کیفیت میوه گردید.

pH و EC عصاره میوه

اثرات اصلی رقم، بستر کشت و اثر متقابل آن‌ها بر pH و EC عصاره میوه اختلاف معنی‌دار آماری را نشان نداد (جدول ۳). یافته‌های Islam (2002) در مطالعه اثر بستر کشت بر pH میوه گوجه‌فرنگی و Ghehsareh (2012) در بررسی اثر بستر کشت بر pH میوه خیار نشان داد که بسترکشت بر pH میوه اثرگذار نیست که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد

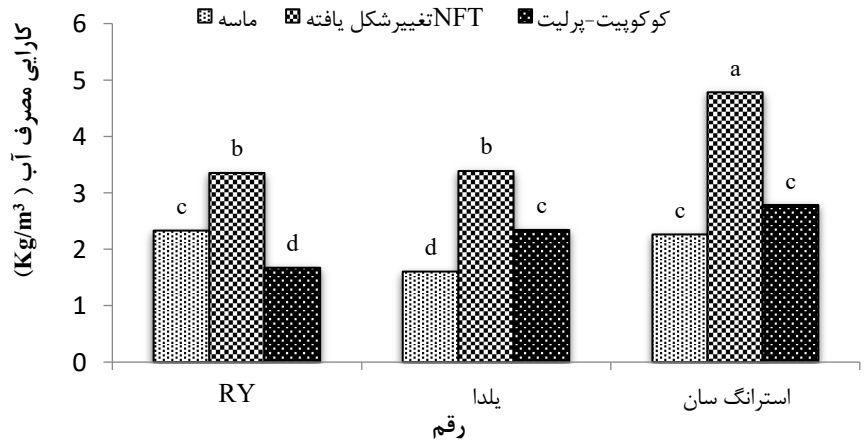
جدول (۳): نتایج آنالیز واریانس اثر ارقام و بسترهای مختلف کشت بر ویژگی‌های کیفی و کارایی مصرف آب خیار تحت سامانه آبکشت بسته

منابع تغییر	درجه آزادی	TSS	میانگین مربعات pH عصاره میوه	EC عصاره میوه	کارایی مصرف آب
بلوک	۲	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱۸ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۵۱ **
رقم	۲	۶/۱۵ **	۰/۲۰۵ ns	۰/۰۱۲ ns	۲/۰۴ **
بستر کشت	۲	۰/۲۹ **	۰/۱۰۰ ns	۰/۰۱۷ ns	۸/۴۸ **
رقم×بسترکشت	۴	۰/۳۳ **	۰/۱۳۷ ns	۰/۰۱۲ ns	۰/۶۷ **
خطا	۱۶	۰/۰۲۴	۰/۱۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۴/۲۵	۵/۹۱	۷/۹۷	۷/۳۴

ns: غیر معنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

کارایی مصرف آب

اثرات اصلی و متقابل رقم و بستر کشت بر کارایی مصرف آب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج بالاترین میزان کارایی مصرف آب در رقم استرانگ سان و بستر کشت NFT تغییرشکل یافته (۴/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین میزان آن در رقم یلدا و بستر ماسه (۱/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده گردید (شکل ۲). این بستر با بازیافت تمام آب و مواد مغذی که توسط گیاهان استفاده نمی‌شود، کارایی مصرف آب را به حداکثر می‌رساند. ریشه‌ها با تماس مستقیم به محلول غذایی و گردش هوای بالا، رطوبت و اکسیژن کافی دریافت می‌کنند. افزون بر این، سبب کاهش اثرهای زیست‌محیطی گلخانه‌ها و نهالستان‌ها می‌شود (Putra and Yuliando, 2015). Verdoliva et al. (2021) با بررسی سیستم‌های بسته و باز دریافتند که سیستم آبیاری بسته در مقایسه با سیستم باز باعث کاهش اتلاف آب گردید. از این رو سیستم آبکشت بسته از نظر کارایی مصرف آب کارآمدتر و همچنین قادر به تولید محصولات با کیفیت بالاتر است (Al-sharouf, 2017). میانگین کارایی مصرف آب در ۵۷ درصد گلخانه‌های کشور ۱۸/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب است که حدود ۵ برابر شرایط مزرعه‌ای است (مقبلی دامنه، ۱۳۹۸).



شکل (۲): اثر متقابل ارقام و بسترهای مختلف کشت بر عملکرد میوه خیار در سامانه آبکشت بسته

جدول (۴): نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی و متقابل ارقام و بسترهای مختلف کشت بر ویژگی های کیفی خیار در سامانه آبکشت بسته

تیمار	TSS (٪)	pH عصاره میوه	EC عصاره میوه (dS/m)
رقم			
استرانگ سان	۴/۵۹ a	۵/۷۰	۱/۳۳
یلدا	۳/۳۶ b	۵/۶۲	۱/۲۷
RY	۳/۰۱ b	۵/۲۷	۱/۳۳
بستر			
کوکوپیت-پرلیت	۳/۴۶ b	۵/۵۸	۱/۲۷
NFT تغییر شکل یافته	۳/۸۲ a	۵/۷۸	۱/۳۶
ماسه	۳/۶۸ a	۵/۳۹	۱/۳۰
رقم × بستر			
استرانگ×کوکوپیت-پرلیت	۴/۶۰ a	۵/۷۰	۱/۳۳
یلدا×کوکوپیت-پرلیت	۲/۷۷ e	۵/۶۲	۱/۱۸
RY×کوکوپیت-پرلیت	۳/۰۱ de	۵/۲۷	۱/۳۱
استرانگ×NFT تغییریافته	۴/۷۰ a	۵/۵۸	۱/۳۲
یلدا×NFT تغییریافته	۳/۸۵ c	۵/۷۸	۱/۳۲
NFT×RY تغییریافته	۲/۹۰ e	۵/۳۹	۱/۴۳
استرانگ×ماسه	۴/۴۶ b	۵/۰۹	۱/۳۵
یلدا×ماسه	۳/۴۸ cd	۵/۵۹	۱/۳۰
RY×ماسه	۳/۱۱ d	۵/۴۶	۱/۲۵

ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که در بسترهای مورد بررسی، بستر NFT تغییرشکل یافته و کوکوپیت-پرلیت وضعیت مطلوب‌تری را از نظر عملکرد، فتوسنتز، کلروفیل، مواد جامدمحلول، تعداد برگ، سطح برگ و قطر ساقه نسبت به بستر ماسه ایجاد نمودند. مطابق نتایج آزمایش حاضر بیشترین عملکرد در بستر NFT تغییرشکل یافته حاصل گردید که می تواند متاثر از استفاده کارآمدتر آب در این بستر باشد. اگرچه نمی‌توان از تعداد برگ، کلروفیل و فتوسنتز بیشتر این بستر نیز چشم‌پوشی کرد. مطابق نتایج شاخص مواد جامد محلول کل در میان خصوصیات کیفی میوه خیار نقش موثرتری را در بهبود کیفیت میوه داشته است، به گونه‌ای که رقم استرانگ سان به ترتیب در دو بستر NFT تغییرشکل یافته و کوکوپیت-پرلیت بالاترین درصد مواد جامد محلول کل را به نمایش گذاشته است. بالاترین کارایی مصرف آب در دو رقم یلدا و استرانگ سان به‌ترتیب در دو بستر NFT تغییرشکل یافته و کوکوپیت-پرلیت مشاهده گردید، در حالی‌که در رقم RY بالاترین کارایی مصرف آب به‌ترتیب در بستر NFT تغییرشکل یافته و ماسه مشاهده گردید. بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر به نظر می‌رسد که ماسه نمی‌تواند بعنوان یک بستر موثر در سامانه-های آبکشت بسته جهت تولید خیار مورد استفاده قرار گیرد. در آزمایش حاضر و در رقم استرانگ‌سان استفاده از بستر

NFT تغییرشکل یافته در قیاس با بستر کوکوپیت-پرلیت در سیستم آبکشت بسته به‌ترتیب سبب افزایش ۱۷/۴۷ درصدی عملکرد و ۷۱/۹۴ درصدی کارایی مصرف آب گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد با توجه به معنی‌داری نزدیک صفات موردبررسی در دو بستر NFT تغییرشکل یافته و کوکوپیت-پرلیت، می‌توان سیستم بسته را برای کشت آبکشت خیار به ویژه در بستر NFT تغییرشکل یافته (به دلیل مدیریت بهتر منابع آب و محلول غذایی) در مقایسه با ماسه و حتی کوکوپیت-پرلیت (با توجه به هزینه بالای بستر) توصیه نمود. همچنین به نظر می‌رسد که رقم استرانگ‌سان با توجه به ویژگی‌های بهتری که از نظر رشدی و فیزیولوژیکی در شرایط سیستم بسته از خود نشان داد می‌تواند جهت کشت در واحدهای گلخانه‌ای با سیستم ذکر شده پیشنهاد گردد.

قدردانی

این پژوهش بر اساس تامین مالی از طریق پژوهانه انجام پذیرفت. بدین وسیله از حمایت و پشتیبانی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

اصلانی، ل.، م. مبلی و م. مجیدی. ۱۳۹۳. مقایسه رشد، عملکرد و ویژگی های ظاهری میوه چهار رقم فلفل دلمه‌ای در دو بستر کشت بدون خاک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال پنجم، شماره ۲۰، ص ۸۱-۷۱.

حسندخت، م. ۱۳۹۱. تکنولوژی تولید سبزی ها. انتشارات سلسله. ۵۷۶صفحه.

مقبلی دامنه، ا.، ا. آئین، م. مختاری و م. حسنبلوچی. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد و کارایی مصرف آب درگلخانه‌های جنوب استان کرمان. مجله ترویجی سبزیجات گلخانه‌ای، جلد دوم، شماره ۱، ص ۸-۱.

نیک رزم، ر.، س. علیزاده اجیرلو، ا. خلیقی و س.ج. طباطبایی. ۱۳۹۰. تاثیر بسترهای مختلف بر رشد رویشی دو رقم گل سوسن در سیستم کشت بدون خاک. روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای)، سال دوم، شماره ۶، ص ۸-۱.

Al Harbi, A.R., A.A. Alsadon and S.O. Khalil. 1996. Influence of training system and growing media on growth and yield of cucumber cultivars. Alexandria Journal of Agricultural Research. 355-365.

AlShrouf, A. 2017. Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. American Scientific Research Journal for Engineering. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences, 27(1): 247-255.

Bacci, L., M.C. Picanço, A. H. R. Gonring, R.N.C. Guedes and A.L.B. Crespo. 2006. Critical yield components and key loss factors of tropical cucumber crops. Crop Protection, 25(10): 1117-1125.

Becerra-Castro, C., A. R. Lopes, I. Vaz-Moreira, E.F. Silva, C.M. Manaia and O.C. Nunes. 2015. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. Environment International, 75: 117-135.

Boretti, A. and L. Rosa. 2019. Reassessing the projections of the world water development report. NPJ Clean Water, 2(1): 1-6.

Chandra, P., P.S. Sirohi, T.K. Behera and A.K. Singh. 2000. Cultivating vegetables in polyhouse. Indian Horticulture, 45(3): 17-17.

Dankwa, A. S. 2019. Safety Assessment of Hydroponic Closed System. The University of Maine.

Ghehsareh, A. M., N. Samadi and H. Borji. 2011. Comparison of date-palm wastes and perlite as growth substrates on some tomato growing indexes. African Journal of Biotechnology, 10(24): 4871-4878 .

Golabadi, M., A.R. Eghtedary and P. Golkar. 2013. Determining relationships between different horticultural traits in (Cucumis sativus L.) genotypes with multivariate analysis. Sabrao Journal of Breeding and Genetics, 45(3): 447-457.

Gül, A., F. Kıdoğlu and D. Anaç. 2007. Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates. Scientia Horticulturae, 113(2): 216-220.

Islam, S., S. Khan, T. Ito, T. Maruo and Y. Shinohara. 2002. Characterization of the physico-chemical properties of environmentally friendly organic substrates in relation to rockwool. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 77(2): 143-148.

Kumar, A.R. and N. Kumar. 2008. Studies on the efficacy of sulphate of potash (SOP) on the physiological, yield and quality parameters of banana cv. Robusta (Cavendish-AAA). EurAsian Journal of BioSciences, 2(12): 102-109.

Kumar, S., M. Singh, K. Yadav and P. Singh. 2021. Opportunities and constraints in hydroponic crop production systems: A review. Environment Conservation Journal, 22(3): 401-408 .

Łaźny, R., M. Mirgos, J. L. Przybył, M. Niedzińska, J. Gajc-Wolska, W. Kowalczyk and K. Kowalczyk. 2022. Lignite substrate and EC modulates positive eustress in cucumber at hydroponic cultivation. Agronomy, 12(3): 608.

Loera-Muro, A., E. Troyo-Diéguez, B. Murillo-Amador, A. Barraza, G. Caamal-Chan, G. Lucero-Vega, A. Nieto-Garibay. 2021. Effects of vermicompost leachate versus inorganic fertilizer on morphology and microbial traits in the early development growth stage in mint (Mentha spicata L.) and rosemary (Rosmarinus officinalis L.) plants under closed hydroponic system. Horticulturae, 7(5): 100 .

Lopez, J., F. VÃ squez and F. Ramos. 2004. Effect of substrate culture on growth, yield and fruit quality of the greenhouse tomato. In VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition, 659: 417-424.

Oljira, A. M., T. Hussain, T.R. Waghmode, H. Zhao, H. Sun, X. Liu and Liu, B. 2020. Trichoderma enhances net photosynthesis, water use efficiency, and growth of wheat (Triticum aestivum L.) under salt stress. Microorganisms, 8(10): 1565.

Petre, S. N., M. Pele and E.M. Draghici. 2015. Influence of perlite and jiffy substrates on cucumber fruit productivity and quality. Journal of Agricultural Science, 7(8): 185.

Putra, P.A. and H.Yuliando. 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 3: 283-288.

Resh, H.M. 2013. Hydroponic food production. A definitive guidebook of soilless food growing methods (No. Ed. 5). Woodbridge press publishing company, 27.

Savithri, P. and H. H. Khan. 1993. Characteristics of coconut coir peat and its utilization inagriculture. Journal of Plant Crop, 22: 1-18.

Schnitzler, W. and N. Gruda, 2002. Quality issues of greenhouse production. In VI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation, 614. 663-674.

Singh, M.C., D.S. Kachwaya and K. Kalsi. 2018. Soilless cucumber cultivation under protective structures in relation to irrigation coupled fertigation management, economic viability and potential benefits: A review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(3): 2451-2468.

Soleimani, A., A. Ahmadikhah and S. Soleimani. 2009. Performance of different greenhouse cucumber cultivars (Cucumis sativus L.) in southern Iran. African Journal of Biotechnology, 8(17): 4084-4093.

Verdoliva, S.G., D. Gwyn-Jones, A. Detheridge and P. Robson. 2021. Controlled comparisons between soil and hydroponic systems reveal increased water use efficiency and higher lycopene and β-carotene contents in hydroponically grown tomatoes. Scientia Horticulturae, 279: 109-896.