Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment

Online ISSN: 2981-0280

Homepage: https://nawee.gonbad.ac.ir

The effect of multi-layer cultivation substrate on the yield and yield components of greenhouse strawberry in a closed hydroponic system

Saloome Sepehri Sadeghian [1*] | Ghasem Zarei [2] | Amir Arab-Nemati [3] | Hossein Karimifar [4]

[1] Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

[2] Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

[3] CEO of Masir Sabz Keshavarzi Paydar Company, Varamin, Iran.

[4] Expert in the design and development of Masir Sabz Keshavarzi Paydar Company, Varamin, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history

Received 10 January 2025

Revised 14 February 2025

Accepted 17 February 2025

Published online 14 June 2025

Keywords:

Soilless cultivation

Nutrient solution

Multi-layer substrate

Nutrient film technique

ABSTRACT

Objective: The multi-layer substrate method is a novel approach whose feasibility in greenhouse cultivation of crops that require root support facing challenges in conventional systems has not been studied yet. The present study was conducted to evaluate two-layer substrates in closed hydroponic conditions and select an appropriate design to cultivate strawberries.

Methods: To select the appropriate dimensions of the two-layer substrate for strawberries, two different cultivation system designs were considered. In the first design, the base and height of the triangular substrate were 20 cm and 10 cm (B2), and in the second design, they were 12 cm and 20 cm (B3), respectively. The hydroponic cultivation of strawberries in grow bags (B1) was used as the control treatment. At the end of the growing period, to assess yield and yield components, five plants were selected, and 20 fruits were harvested from each plant.

Results: Based on the results, the highest and lowest leaf areas: 2037.3 and 1667 cm², belonged to the B2 and B1, respectively. In addition, the highest fruit weight per plant (679.2 g), was achieved in the B2, which was significantly higher than the grow bag treatment (581.3 g). The increase in yield is attributed to the efficient multi-channel system used in the two-layer substrates, which facilitated the flow of the hydroponic nutrient solution, thereby improving root growth and expansion. In the design of this system, lateral cuts were made in the upper channel to direct the hydroponic nutrient solution to the lower layer. This becomes important when, at the final stage of growth, the increase in root mass should not obstruct the proper flow of the nutrient solution in the channel.

Conclusions: In general, the results of this study indicate the significant superiority of the NCS with two-layer substrates compared to the conventional grow bag method, in terms of enhancing strawberry yield. Specifically, the use of the B2 and B3, compared to the grow bag substrate, resulted in a yield increase of 16.8 and 11.1%, respectively.

* Corresponding author, Email: sepehri_saloome@yahoo.com

Cite this article: Sepehri Sadeghian, S. Zarei, Gh. Arab-Nemati, A. & Karimifar, H. (2024). The effect of multi-layer cultivation substrate on the yield and yield components of greenhouse strawberry in a closed hydroponic system. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*,

http//doi.org/10.22034/nawee.2025.478511.1106

© The Author(s).

Publisher: Gonbad Kavous University.

DOI: http//doi.org/10.22034/nawee.2025.478511.1106

رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست
شاپا الکترونیکی: ۲۹۸۱-۰۲۸۰
Homepage: https://nawee.gonbad.ac.ir

تأثیر بسترکشت دو لایه بر عملکرد و اجزای عملکرد توت‌فرنگی گلخانه‌ای با سیستم هیدروپونیک بسته

سالومه سپهری صادقیان [۱*]، قاسم زارعی [۲]، امیر عرب‌نعمتی [۳]، حسین کریمی‌فر [۴]

[۱] مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
[۲] مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
[۳] مدیرعامل شرکت مسیر سبز کشاورزی پایدار، ورامین، ایران.
[۴] کارشناس طرح و توسعه شرکت مسیر سبز کشاورزی پایدار، ورامین، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

کلیدواژه‌ها:
کشت بدون خاک
محلول غذایی
بستر دو لایه
تکنیک فیلم مغذی

چکیده

هدف: بسترهای کشت چند لایه یک رویکرد جدید در مهندسی گلخانه هستند که امکان‌سنجی استفاده از آن‌ها در کشت گلخانه‌ای محصولاتی که نیاز به حمایت ریشه دارند و با چالش‌هایی در سامانه‌های رایج کشت مواجه هستند، هنوز بررسی نشده است. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی بسترهای دو لایه در شرایط هیدروپونیک بسته و انتخاب طرح مناسب برای کشت توت فرنگی انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای انتخاب ابعاد مناسب بستر دو لایه برای کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی، دو طرح مختلف بستر در نظر گرفته شد. در طرح اول قاعده و ارتفاع مثلث تشکیل‌دهنده بستر به ترتیب ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر (B2) و در طرح دوم به ترتیب ۱۲ و ۲۰ سانتی‌متر (B3) بود. کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی در کیسه‌های رشد (گروبگ، B1) به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. در پایان دوره رشد، برای ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد، پنج بوته انتخاب و از هر بوته ۲۰ میوه برداشت شد.

نتایج: بر اساس نتایج، بیشترین و کمترین سطح برگ به ترتیب به میزان ۲۰۳۷/۳ و ۱۶۶۷ سانتی‌متر مربع متعلق به B2 و B1 بود. همچنین بیشترین وزن میوه در بوته (۶۷۹/۲ گرم) در B2 به دست آمد که به طور معنی داری بیشتر از تیمار گروبگ (۵۸۱/۳گرم) بود. افزایش عملکرد به سیستم چند کاناله کارآمد مورد استفاده در بسترهای دو لایه مربوط می‌باشد که جریان محلول غذایی هیدروپونیک را تسهیل کرده و در نتیجه رشد و گسترش ریشه را بهبود می‌بخشد. در طراحی این سیستم، برش‌های جانبی در کانال بالایی وجود دارد که سبب می‌شود محلول غذایی هیدروپونیک به لایه زیرین هدایت شود. این زمانی اهمیت پیدا می‌کند که در مراحل پایانی رشد، افزایش توده ریشه مانع از جریان مناسب محلول غذایی در کانال نگردد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج این مطالعه نشان‌دهنده برتری قابل‌توجه سیستم‌های NCS با بسترهای دو لایه نسبت به روش معمولی گروبگ از نظر افزایش عملکرد توت فرنگی بود. به طور خاص، استفاده از B2 و B3، در مقایسه با بستر گروبگ، منجر به افزایش عملکرد به ترتیب به میزان ۱۶/۸ و ۱۱/۱ درصد شد.

*نویسنده مسئول، Email: sepehri_saloome@yahoo.com

استناد: سپهری صادقیان، سالومه؛ زارعی، قاسم؛ عرب‌نعمتی، امیر؛ و کریمی‌فر، حسین (۱۴۰۳). تأثیر بسترکشت دو لایه بر عملکرد و اجزای عملکرد توت‌فرنگی گلخانه‌ای با سیستم هیدروپونیک بسته. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*،
http//doi.org/10.22034/nawee.2025.478511.1106

ناشر: دانشگاه گنبد کاووس.
© نویسندگان.

مقدمه

میانگین بارندگی در ایران حدود یک سوم میانگین جهانی و از طرفی، میانگین پتانسیل تبخیر سالانهٔ آن حدود سه برابر میانگین جهانی است. این موضوع نشان می‌دهد که کمبود منابع آبی در ایران نسبت به جهان بسیار بیشتر است (Saemian et al., 2022). در واقع در ایران مناطق زیادی وجود دارند که از نظر طبقه‌بندی می‌توان آنها را در گروه مناطق خشک قرار داد. هم اکنون ۸۴٪ مساحت کشور در منطقه نیمه‌خشک و بیابانی قرار دارد و تنها ۱۶٪ از مساحت ایران در منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب است. از این‌رو، استفاده مناسب از ۱۳۰ میلیارد مترمکعب منابع آبی تجدیدشونده در ایران از اهمیت بسزایی برخوردار است (Atashi et al., 2021).

به‌دلیل اثرات نامطلوب محیطی و محدودیت منابع آب و خاک، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (شمس‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۳). یکی از روش‌های کشت عمده در گلخانه‌ها کشت بدون خاک است. کشت بدون خاک یک واژهٔ کلی است که تمامی روش‌هایی را که گیاهان در محیطی غیر از خاک کاشته می‌شوند را در بر می‌گیرد و می‌تواند بر اساس کاربرد محلول غذایی، به‌صورت باز یا بسته باشد (زارعی و همکاران، ۱۴۰۰). در سیستم‌های کشت باز، محلول غذایی پس از کاربرد و عبور از منطقه ریشه، زهکش شده و دفع می‌گردد. این سیستم‌ها یکی از آلوده‌کننده‌های شیمیایی آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند (Kumar and Cho, 2014). از این‌رو، سیستم‌های کشت بسته به‌عنوان جایگزین عملی برای سیستم‌های باز پیشنهاد شده و به‌کار می‌روند. در سیستم‌های هیدروپونیک بسته کارآیی استفاده از آب، مواد غذایی و قارچکش‌ها افزایش یافته به‌طوری‌که استفاده از آن، اثر کمتری بر محیط‌زیست دارد زیرا محلول اضافی بازیابی و دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hosseinzadehet al., 2017). بدیهی است این سیستم کشت و تغذیه، نیاز به بررسی و توسعه بر اساس نوع محصول دارد (Fussy and Papenbrock, 2022). مطالعات نشان داد که سیستم هیدروپونیک بسته دارای بهره‌وری آب تا ۹۶ درصد و بهره‌وری کود تا ۹۷ درصد در مقایسه با سیستم هیدروپونیک باز است (Fayezizadeh at al., 2021). از پارامترهای تأثیرگذار بر بهره‌وری آب و کود و نیز هزینه‌های تولید در سیستم کشت هیدروپونیک بسته، نوع بسترکشت است که ارتقای آن و معرفی بسترهای کشت جدید در حال حاضر بسیار مورد توجه محققان حوزه کشت‌های گلخانه‌ای قرار دارد (Asaduzzaman et al., 2022).

تحقیقی توسط El-Behairy و همکاران (۲۰۰۱)، با هدف بررسی تأثیر انواع مختلف محیط‌های کشت و جهت‌گیری بستر کشت در سیستم کشت بدون خاک در دو سال متوالی بر میزان عملکرد توت‌فرنگی انجام شد. آزمایش شامل سه رقم توت‌فرنگی Chandler، OG و Silva بود. تیمارهای فرعی تکنیک فیلم مغذی (NFT) و اسفنج (فوم اوره فرمالدئید) به‌عنوان محیط کشت و تیمارهای فرعی جهت ردیف‌های کشت یعنی جهت شمال یا جنوب بودند. نتایج نشان دادند که بهترین ارقام کشت شده در NFT، Chandler سپس Silva در تمامی تیمارها و به‌دنبال آن OG بود. بستر اسفنجی بازدهٔ اولیه و کلی بالاتری نسبت به سیستم NFT داشت. تیمارهای جهت‌گیری‌شده به سمت جنوب، در مقایسه با تیمارهای رو به شمال، عملکرد اولیه و کل بالاتری داشتند. دیلمقانی و همتی (۱۳۹۰)، در تحقیقی در قالب طرح کامل تصادفی با پنج تیمار شامل پرلیت-کوکوپیت در نسبت‌های پرلیت خالص، ۷۵- ۲۵ حجمی، ۵۰-۵۰ حجمی، ۲۵-۷۵ حجمی، و کوکوپیت خالص اثر بسترهای مختلف کشت بر جذب عناصر غذایی و عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی گلخانه‌ای را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد میوه در تیمارهای پرلیت-کوکوپیت به نسبت حجمی ۷۵-۲۵ و ۵۰-۵۰ به‌دست آمد. ارزیابی خصوصیات کیفی میوه نیز نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک و مواد جامد محلول میوه‌ها در مخلوط پرلیت-کوکوپیت به نسبت حجمی ۱۰۰-۰ بود. پژوهشی دیگر با هدف بررسی تأثیر استفاده از سیستم‌های مختلف کشت بدون خاک بر رشد و کیفیت طالبی در مصر طی دو سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ انجام شد. سه سیستم مختلف کشت بدون خاک در مقایسه با کشت خاکی (شاهد) به‌شرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند: آئروپونیک، تکنیک فیلم مواد مغذی (NFT)[1]، کشت گروبگ (پرلیت). رشد رویشی (طول بوته، تعداد برگ و سطح کل برگ) و عملکرد کل/ بوته در

[1] Nutrient Film Technique

پایان فصل ثبت شدند. نتایج نشان داد که تمامی سیستم‌های کشت بدون خاک عملکرد بهتری نسبت به سیستم کشت خاکی داشتند و سیستم NFT بهترین رشد رویشی و عملکرد را در مقایسه با سایر تیمارها داشت (Singer et al., 2010).

شاهین‌رخسار و همکاران (۱۴۰۳) امکان بکارگیری پسماندهای کارخانه روغن‌کشی زیتون در تهیه بسترهای کشت گیاهان زینتی را بررسی کردند. در این آزمایش تیمارها شامل ۷ بستر کشت کوکوپیت، پرلیت، هسته زیتون خردشده، پالم‌پیت (کمپوست ضـایعات نخـل)، ترکیب پرلیت و هسته زیتون (به‌نسبت حجمی ۱:۱)، ترکیب پالم‌پیت و هسته زیتون (به‌نسبت حجمی ۱:۱) و ترکیب کوکوپیت و هسته زیتون خردشده (به‌نسبت حجمی ۱:۱) بودند. نتایج نشان داد بسترهای ترکیبی هسته زیتون خردشده و پرلیت (به‌نسبت حجمی مساوی) و هسته زیتون خردشده و پالم‌پیت (به‌نسبت حجمی مساوی) در مقایسه با سایر بسترها در محدوده بهینه تعریف‌شده برای بسترکشت ایده‌آل قرار داشتند. اضافه‌کردن هسته زیتون خردشده به بسترهای پالم-پیت و کوکوپیت با توزیع مناسب‌تر اندازه ذرات موجب شرایط بهینه از نظر توزیع درصد هوا، آب و ذرات جامد برای جذب بهتر آب و مواد غذایی شد. مقایسه خصوصیات شیمیایی بسترهای کشت نشان داد؛ بسترهای پالم‌پیت، کوکوپیت و هسته زیتون خردشده و پالم‌پیت (۱:۱) به‌ترتیب با pH ۶/۱۵، ۶/۳۸ و ۶/۳۱ در محدوده مناسبی قرار داشتند. هدایت الکتریکی بستر پالم‌پیت بیشترین (۱/۷۱ میلی‌موس بر سانتی‌متر) و بستر پرلیت کمترین (۰/۰۷ میلی‌موس بر سانتی‌متر) بود که با بستر هسته زیتون خردشده (۰/۰۸ میلی‌موس بر سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشت. ارزیابی عناصر غذایی بسترهای منتخب نشان داد بین بسترهای مورد بررسی از نظر درصد نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد و بستر پالم‌پیت نسبت به سایر بسترها، به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار به‌ترتیب ۱/۰۵، ۰/۵۲ و ۱/۳۲ درصد را دارا بود. نتایج خصوصیات رشدی گیاه نشان داد بستر هسته زیتون خردشده و پالم‌پیت (۱:۱) با تعداد برگ (۹/۲ عدد)، طول برگ (۲۸/۳ سانتی‌متر)، عرض برگ (۱۴/۱ سانتی‌متر) و وزن تر گیاه به میزان ۱۶۹/۹ گرم، به‌طور معنی‌داری از سایر بسترها بیشتر بود. به‌علت خصوصیات شیمیایی/ فیزیکی مطلوب‌تر بسترهای ترکیبی، توصیه شد بسترهای ترکیبی هسته زیتون خردشده و پالم‌پیت که هر دو از ضایعات بخش کشاورزی هستند، جایگزین بستر کشت کوکوپیت گردد.

Giordani و همکاران (۲۰۲۳) ، در تحقیقی به ارزیابی ویژگی‌های کیفی توت‌فرنگی در بسترهای کشت مختلف (ترکیبات مختلف از رسوبات دریایی و پیت) پرداختند. تیمارهای مختلف شامل درصدهای حجمی رسوبات دریایی/پیت برابر با ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد بود. نتایج نشان داد که پارامترهای کیفی میوه تحت تأثیر ترکیب بستر کشت قرار گرفت. میوه‌های بدست آمده از بستر غنی‌تر (از نظر رسوبات دریایی) بیشترین میزان قند، درجه بریکس و اسیدهای آلی را داشتند. تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره (PCA) که روی جنبه‌های بینایی، بویایی، جویدن و چشایی (ارزیابی حسی محصول) انجام شد، به وضوح نشان داد که ویژگی‌های بستر تأثیر مرتبطی بر کیفیت نمونه‌های میوه داشته و توصیه کردند که رسوبات دریایی اصلاح شده حتی در بالاترین غلظت، جایگزین معتبری برای پیت برای تولید توت فرنگی است.

Sahoo و همکاران (۲۰۲۴)، اثر ترکیبات مختلف بستر کشت را بر عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی بررسی کردند. این ترکیبات شامل خاک (شاهد)، نسبت مساوی از کوکوپیت و ورمی‌کولیت (T1)، کوکوپیت(T2)، ترکیب مساوی از ورمی‌کولیت و ورمی‌کمپوست (T3)، ترکیب مساوی از کوکوپیت، ورمی‌کولیت و ورمی‌کمپوست (T4) و ورمی‌کولیت (T5) بود. نتایج نشان داد که وزن تر و عملکرد کل توت‌فرنگی در T3 حداکثر بود (به ترتیب ۲/۰۴ و ۳/۰۳ برابر نسبت به تیمار شاهد). همچنین گزارش کردند که به دلیل جذب بیشتر درشت‌مغذی‌ها در تیمار T3، میوه‌های توت‌فرنگی مقدار آنتوسیانین بیشتری را ذخیره کرده و در نهایت کیفیت میوه‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است.

Woznicki و همکاران (۲۰۲۴) ، در تحقیقی سه ساله، اثرات نوع بستر (الیاف نارگیل، پیت و فیبر چوب) را بر عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی بررسی کردند. نتایج نشان داد هر چند توت‌فرنگی رشدیافته در دو بستر پیت و فیبر چوب در سال اول بسیار خوب بود، ولی استفاده مجدد از این بسترها در سال‌های دوم و سوم عملکرد محصول را کاهش داد. همچنین محصول بدست‌آمده از بستر فیبر چوب، تجمع شکر و نیتروژن بیشتری داشت.

اخیراً، روش کشت در بسترهای چند لایه[1](NCS)، برای رفع معضلات بسترهای کشت رایج در کشت هیدروپونیک بسته و ارتقای عملکرد آنها، پیشنهاد شده است. در تکنیک فیلم مغذی مانند انواع روش‌های هیدروپونیک، گیاه نیازی به خاک نداشته و ریشه گیاهان در حال رشد در یک ظرف حاوی مواد مغذی در حال گردش قرار می‌گیرند. در این روش انواع مواد مغذی به‌صورت دقیق و کنترل شده به سیستم تزریق‌شده و ریشه‌ها همواره در لایه نازکی از محلول غذایی که به‌صورت پیوسته یا دوره‌ای در محل قرارگیری آنها جاری می‌باشد، قرار می‌گیرند. در این سیستم مصرف آب و مواد غذایی و کود به مقدار قابل‌توجهی کاهش می‌یابد و مشکلات مربوط‌به مصرف بی‌رویه و تجمع عناصر در بافت‌های گیاهی و بروز مشکلات گوارشی در انسان به مقدار قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. همچنین به‌دلیل حذف نقش خاک در این نوع از کشت و به‌دنبال آن حذف قارچ‌های خاکی، استفاده از سموم به‌حداقل کاهش می‌یابد و زنجیره مشکلات متعدد ناشی از مصرف گیاه مسموم شکسته می‌شود. از سوی دیگر باید توجه داشت این سیستم برای گیاهانی مناسب است که دورهٔ رشد طولانی نداشته باشند. نداشتن ریشه‌های بزرگ و یا عدم نیاز به نگهداری ریشه با توجه به شرایط بوته از دیگر مواردی هستند که می‌بایست مورد نظر قرار گیرند. توت‌فرنگی مستعد پوسیدگی ریشه است؛ بنابراین یافتن بسترهای مناسب برای تولید بدون خاک این محصول از اهمیت بسزائی برخوردار است (Hernandez-Martinez et al., 2023). برای غلبه بر این مشکل، روش کشت NCS معرفی شد، که عمدتاً با بسترکشت جزئی و یک سیستم چرخش محلول غذایی مشخص می‌شود. در این سیستم گیاهان ریشه خود را به تدریج در داخل چند لایه از پلاستیک توسعه می‌دهند تا به جایی برسند که محلول غذایی در آن به گردش در می‌آید. این چند لایه از چندین نوار پلی‌اتیلن با ابعاد مختلف ساخته شده که سوراخ‌هایی با طرح‌های متفاوت بر اساس نوع محصول دارد. محلول مغذی به‌صورت آبشاری در داخل این چند لایه چرخش می‌کند که باعث می‌شود ریشه‌ها علاوه‌بر مواد غذائی مورد نیاز، اکسیژن مورد نیاز را نیز در دسترس داشته باشند. جریان محلول غذایی در این مدار سبب تسهیل زهکشی می‌گردد.

برای سیستم‌های کشت هیدروپونیک، طبقه‌بندی‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها براساس نحوه استفاده از محلول غذایی است که به‌صورت باز و بسته است. در سیستم هیدروپونیک بسته محلول غذایی بازچرخش شده نیز در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد. Nicola و همکاران (۲۰۲۱)، در تحقیقی به ارزیابی سیستم کشت در بسترهای چند لایه بر رشد سبزیجات در شرایط کشت گلخانه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر هوادهی مناسب ریشه در این سیستم کشت، عملکرد سبزیجات بهبود یافت. به خصوص نعناع که در چین دوم پس از برداشت اول، بهبود عملکرد چشمگیری را نشان داد.

بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که تا کنون تحقیقات گسترده‌ای در خصوص بسترهای کشت چند لایه که شرایط شبه *NFT* را ایجاد می‌کنند؛ انجام نشده است، لذا لازم است تحقیقات در این خصوص تکمیل گردد تا با در نظر گرفتن مسایل مرتبط با نوع کشت و بررسی اثر بستر انتخابی بر خصوصیات کمی و کیفی محصول، بستر مناسب برای هر محصول مشخص شود. روش کشت در بسترهای چند لایه، روش جدیدی است که امکان‌سنجی کاربرد آن در کشت گلخانه‌ای محصولاتی مانند توت-فرنگی، کاهو و ... که نیاز به نگهداری ریشه دارند و در سیستم‌های کشت رایج با چالش‌هایی روبرو هستند، بررسی نشده است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی بسترهای کشت دو لایه در شرایط هیدروپونیک بسته و انتخاب طراحی مناسب این روش کشت برای محصول توت‌فرنگی، انجام شد.

مواد و روش‌ها

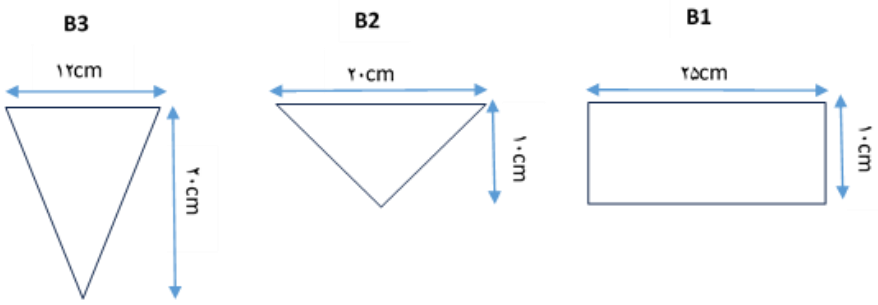
این تحقیق در گلخانه‌ای تجاری دارای سطح فناوری میانه در مجتمع گلخانه‌ای عرب‌نعمتی در شهرستان پیشوا با طول و عرض جغرافیایی ″۵۴ ′۱۴ °۳۵ و ″۴۵ ′۴۳ °۵۱ با بهره‌گیری از کشت هیدروپونیک بسته انجام شد. در سیستم کشت هیدروپونیک مورد استفاده، محلول غذایی به‌کار رفته پس از عبور از منطقه ریشه، جمع‌آوری، کنترل و بعد از رفع کمبودها، دوباره در چرخهٔ تغذیه و تولید قرار گرفت. اتاق کنترل گلخانه مجهز به سه مخزن برای ذخیره زهاب، تأمین آب شیرین و تهیه محلول تغذیه بود. زهاب خروجی از گلخانه در مخزن ذخیره آب خام ذخیره شده و پس از عبور از سیستم فیلتراسیون، جهت

[1] New Cultivation System

تهیه محلول تغذیه، استفاده می‌شد. محلول غذائی تهیه شده قبل از ورود به گلخانه، توسط دستگاه پرتوتابی اشعهٔ یو وی (UV)، ضدعفونی می‌گردید.

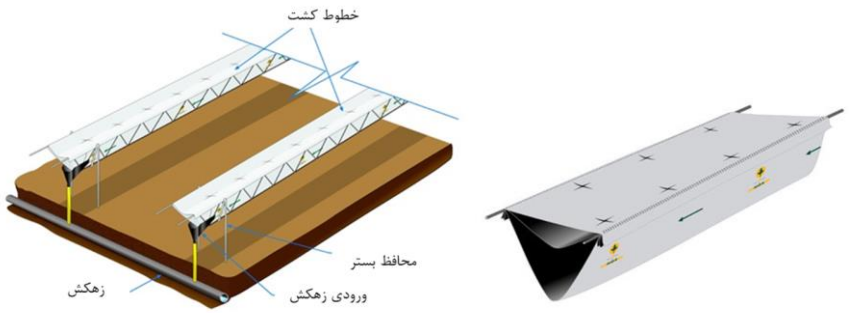
در این گلخانه تغذیه با استفاده از سیستم NUTRITEC شرکت RITEC اسپانیا انجام گردید که قابلیت برنامه‌ریزی بر اساس نوع محصول را دارد. نشاءهای توت‌فرنگی رقم کاماروسا[1] تهیه شده از تولیدکننده نشاءهای تجاری، در اواسط مهرماه به بسترهای کشت در محیط گلخانه منتقل شدند.

ارزیابی طراحی‌های مختلف بستر کشت دو لایه در تحقیقی مبتنی بر طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار و در سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل دو طراحی بستر کشت دو لایه متفاوت بود، به‌طوری‌که قاعده و ارتفاع مثلث تشکیل‌دهنده بسترکشت در طرح اول به‌ترتیب ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر (B2) و در طرح دوم به‌ترتیب ۱۲ و ۲۰ سانتی‌متر (B3) بود، همچنین کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی در بستر کیسه کشت (B1) (در ابعاد ۲۵ در ۱۰ سانتی‌متر، قطعات ۱۱۰ سانتی‌متری طولی) به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد (شکل ۱).



شکل ۱- سطح مقطع هندسی بسترهای کشت مورد بررسی

بسترهای کشت دو لایه، توسط نوارهای پلی‌اتیلن و با استفاده از یک ماده افزودنی کاملاً مات سیاه در داخل و دیگری سفید در خارج با استفاده از فناوری ورق سه لایه، ساخته شده‌اند. چند لایه بودن این بسترهای کشت، خواص مکانیکی مطلوبی برای آن ایجاد کرده است، همچنین به‌دلیل کدورت و اثر بازتابی لایه بیرونی، مقاومت خوبی در برابر تخریب نوری دارد. لایه فوقانی بسترهای مورد استفاده با مخلوط پرلیت و کوکوپیت به نسبت حجمی ۳۰ به ۷۰ درصد پر شده و نشاهای توت‌فرنگی به این لایه منتقل شدند. طرح شماتیک بستر دو لایه مورد استفاده در شکل ۲، نشان داده شده است.



شکل ۲- طرح شماتیک بستر دو لایه مورد استفاده

[1] Camarosa

ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در تغذیه گیاه توت‌فرنگی در گلخانه با توجه به مرحله رشد متغیر بوده و در مجموع از ترکیبات نیترات کلسیم، آهن، نیترات پتاسیم، سولفات پتاسیم، سولفات منیزیم، نیترات منیزیم، مونو پتاسیم فسفات، فولویک اسید، سیفر، آمینو اسید، روی، بر، منگنز، مس و مولیبدن در تهیه محلول غذایی استفاده شد.

در پایان دورهٔ رشد، به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد در هر تیمار، پنج بوته انتخاب و از هر بوته، ۲۰ میوه برداشت شدند. عملکرد و اجزای عملکرد نظیر عملکرد در بوته، تعداد برگ در بوته، محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ در بوته، تعداد گل در بوته، تعداد میوه در بوته و وزن میوه در بوته مورد بررسی قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

به‌منظور تعیین محتوای نسبی آب برگ (RWC%)، برگ‌های تازه گیاه به‌طور تصادفی انتخاب و به اندازهٔ یک سانتی‌متر جدا و وزن شدند (W_i). این قطعات برگ در آب مقطر در محل تاریک در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده شدند و پس از ۲۴ ساعت، دوباره توزین شدند (W_f). سپس وزن خشک این قطعات (W_d) پس از قرار گرفتن در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (Rahim Doust et al., 2023). برای محاسبه محتوای آب نسبی برگ (درصد) از رابطه ۱ استفاده شد:

$$RWC = \frac{W_i - W_d}{W_f - W_d} \times 100 \qquad (۱)$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های مورد مطالعه در جداول ۱ و ۲ نمایش داده شده‌اند. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تیمارهای مورد مطالعه بر پارامترهای تعداد برگ در بوته و مقدار نسبی آب برگ، در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشته‌اند؛ همچنین پارامترهای سطح برگ و تعداد گل در بوته نیز در سطح ۵ درصد تحت تأثیر تیمارهای نوع بستر قرار گرفتند.

جدول ۱-تجزیه واریانس شاخص‌های تعداد برگ در بوته، مقدار نسبی آب برگ، سطح برگ کل در تیمارهای مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تعداد برگ در بوته	محتوای آب نسبی برگ	سطح برگ کل	تعداد گل در بوته
تیمار	۲	۲۳/۶ **	۴۶/۲ **	۱۲۹۱۳۲/۱ *	۳۰/۱ *
خطا	۶	۱/۳	۲/۶	۲۴۹۵۸/۷	۰/۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۸/۹۴	۴/۳۰	۱۱/۸۵	۷/۳۰

ns: غیرمعنی‌دار، ** و* به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار می‌باشند.

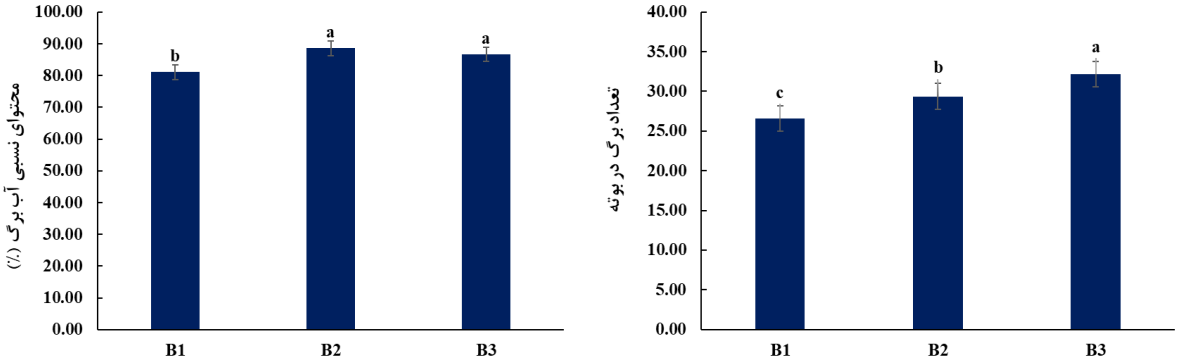
همچنین مطابق جدول ۲ مشاهده می‌شود که تعداد میوه در بوته تحت تأثیر تیمارهای نوع بستر قرار نگرفت، ولی میانگین وزن تک میوه در سطح یک درصد و وزن میوه در بوته در سطح پنج درصد، متأثر از تیمارهای نوع بستر کشت بودند. نتایج مقایسه میانگین‌های صفات تعداد برگ در بوته و محتوای آب نسبی برگ نیز در شکل ۳، نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشترین تعداد برگ در بوته به مقدار ۳۲/۲ در تیمار B3 به‌دست آمد و کمترین تعداد برگ در بوته نیز به میزان ۲۶/۶ متعلق به تیمار B1 بود. بنابراین استفاده از بستر عمیق‌تر در مقایسه با بستر سطحی (B2) و گروبگ (B1)، تعداد برگ در بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است. در مقابل بیشترین مقدار نسبی آب برگ به میزان ۸۸/۶٪ در تیمار B2 حاصل شد. Rahman و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که یک رابطه خطی و قوی برای ژنوتیپ‌های مختلف توت‌فرنگی بین تعداد برگ و عملکرد وجود دارد. شادمهری و همکاران (۱۳۹۷) در مقایسه سه رقم توت‌فرنگی گاویتا، کوبین الیزا و کاماروسا در کشت هیدروپونیک در شهرستان ساری، بیشترین تعداد برگ در بوته را متعلق به رقم گاویتا کشت شده در مهر ماه و به تعداد ۲۴/۳۳

برگ گزارش کردند، که با رقم کاماروسا با تعداد برگ ۲۳/۶۶ در یک گروه آماری قرار گرفتند. در مطالعات Sahoo و همکاران (۲۰۲۴) تعداد برگ‌های توت‌فرنگی رقم Winter Dawn از ۱۹ تا ۲۵ برگ در تیمارهای مختلف ترکیب بستر در کشت هیدروپونیک، گزارش شده است. بیشترین تعداد برگ در بوته مربوط به تیمار ترکیب بسترکشت کوکوپیت و ورمیکولیت به نسبت ۵۰:۵۰ بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های تعداد میوه در بوته، میانگین وزن میوه و عملکرد توت‌فرنگی در تیمارهای مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		تعداد میوه در بوته	میانگین وزن میوه در بوته	وزن میوه در بوته
تیمار	۲	۲/۸ ns	۷/۳ **	۷۴۲۶/۱ *
خطا	۶	۲/۷	۰/۵	۱۳۵۱/۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۴۳	۵/۹۷	۸/۴۳

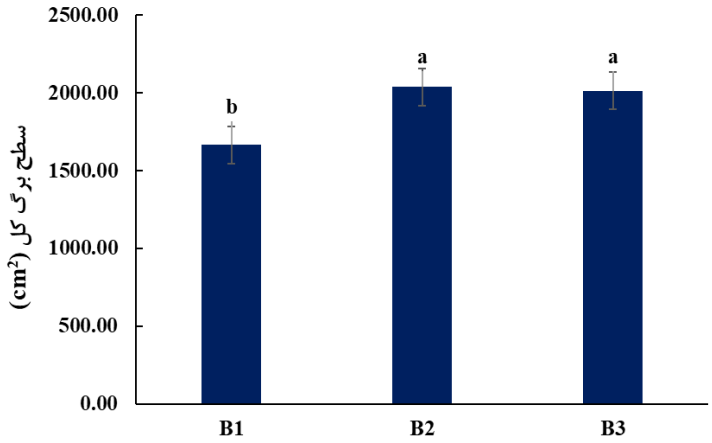
ns=غیرمعنی‌دار، ** و* به‌ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.



شکل ۳- تعداد برگ در بوته و محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای مختلف

(B1: بستر گروبگ، B2 و B3: بسترهای دولایه با ابعاد به ترتیب ۲۰ در ۱۰ و ۱۲ در ۲۰ سانتی‌متر، ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.)

نتایج مقایسات میانگین‌های پارامتر سطح برگ کل در بوته، در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌گردد، بیشترین سطح برگ در بوته به میزان ۲۰۳۷/۳ سانتی‌متر مربع متعلق به تیمار B2 بود. کمترین سطح برگ در بوته نیز به میزان ۱۶۶۷ سانتی‌متر مربع در کشت گروبگ حاصل شد. Murthy و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که تعداد برگ بیشتر (۴۱/۶۶) مستقیماً در تولید سطح برگ بالاتر (۲۴۷۸/۶۶ سانتی‌متر مربع) در توت فرنگی هیدروپونیک رقم فستیوال نقش داشت. در تحقیق حاضر، افزایش سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد می‌تواند ناشی از جذب بهتر عناصر و انتقال بهتر کربوهیدرات‌ها و احتمالاً تأثیر آن بر صفات فیزیولوژیکی گیاه باشد. در نتیجه با رشد و نمو بهتر گیاه، سطح برگ نیز افزایش می‌یابد. همچنین از عوامل تأثیرگذار بر افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها که منجر به افزایش سطح برگ می‌گردد، جذب و انتقال بهتر عناصر از جمله فسفر و پتاسیم است. این عناصر نقش مؤثری در سنتز نشاسته و انتقال کربوهیدرات‌ها دارند (Shirko et al., 2018).

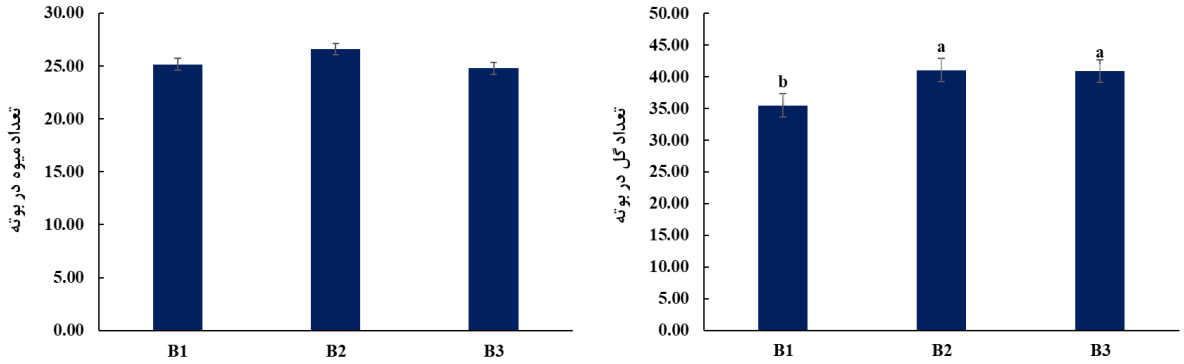


شکل ۴- سطح برگ کل در بوته در تیمارهای مختلف

(B1: بستر گروبگ، B2 و B3: بسترهای دولایه با ابعاد به ترتیب ۲۰ در ۱۰ و ۱۲ در ۲۰ سانتی‌متر، ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.)

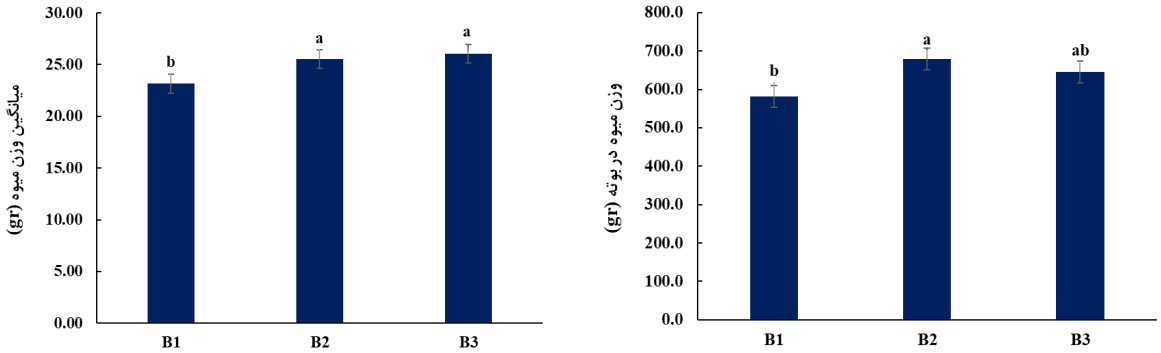
مقایسات میانگین‌های پارامترهای تعداد گل و تعداد میوه در بوته و همچنین مقایسات میانگین‌های شاخص‌های وزن تک میوه و عملکرد به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند. مطابق شکل ۵، تعداد میوه در بوته در تیمارهای B1، B2 و B3 به ترتیب ۲۵/۱، ۲۶/۶ و ۲۴/۸ بود. همچنین بیشترین تعداد گل در بوته به میزان ۴۱/۱ مربوط به تیمار B2 و کمترین آن به میزان ۳۵/۵ متعلق به تیمار شاهد بود. تغذیه در زمان گل‌انگیزی برای بهبود گل‌دهی توت فرنگی اهمیت بالایی دارد (Khatoon et al., 2021)، به نظر می‌رسد سیستم B2 سبب تسهیل و بهبود جریان محلول غذایی و به تبع آن جذب بهتر مواد غذایی توسط گیاه شده است. شادمهری و همکاران (۱۳۹۷)، در مقایسه سه رقم توت‌فرنگی گاویتا، کوئین الیزا و کاماروسا در کشت هیدروپونیک در شهرستان ساری در تاریخ کاشت مهر ماه، بیشترین تعداد گل در بوته را به میزان ۴۲ گل متعلق به رقم گاویتا گزارش کردند.

مطابق شکل ۶، بیشترین وزن تک‌میوه مربوط به تیمار B3 و به میزان ۲۶/۱ گرم بود که با تیمار B2 (۲۵/۶ گرم) در یک گروه آماری قرار داشت و کمترین وزن تک‌میوه به میزان ۲۳/۲ گرم، در تیمار گروبگ حاصل شد. بنابراین استفاده از سیستم‌های کشت شبه NFT به‌طور معنی‌داری میزان وزن تک میوه توت‌فرنگی را در مقایسه با کشت گروبگ افزایش داد، که ارتباط مستقیمی با بازارپسندی میوه و ارزش افزودهٔ تولید دارد. Sahoo و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که در تیمارهای مختلف ترکیب بسترکشت، بیشترین وزن تک‌میوه به میزان حدود ۲۶ گرم در تیمار ترکیب بسترکشت مخلوط ورمیکولیت و ورمی‌کمپوست با نسبت ۵۰ : ۵۰ حاصل شد. همچنین Ancay و همکاران (۲۰۱۷) بازهٔ ۱۶/۶ تا ۱۷ گرم را برای وزن تک‌میوه توت‌فرنگی در کشت خاکی در مدیریت‌های مختلف آبیاری، گزارش کرده‌اند. در مطالعات شادمهری و همکاران (۱۳۹۷) نیز در مقایسه سه رقم توت‌فرنگی گاویتا، کوبین الیزا و کاماروسا در کشت هیدروپونیک در شهرستان ساری، بیشترین تعداد میوه در بوته متعلق به رقم گاویتا و به تعداد ۲۳/۲۰ گزارش شد، که با رقم کاماروسا با تعداد میوه ۲۰/۰۶ در یک گروه آماری قرار گرفتند. در این مطالعه بیشترین وزن میوه به میزان ۱۶/۶۱ گرم مربوط به رقم کاماروسا بود.



شکل ۵- تعداد گل و تعداد میوه در بوته در تیمارهای مختلف

(B1: بستر گروبگ، B2 و B3: بسترهای دولایه با ابعاد به ترتیب ۲۰ در ۱۰ و ۱۲ در ۲۰ سانتی‌متر، ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.)



شکل ۶- میانگین وزن تک میوه و عملکرد (وزن میوه در بوته) توت‌فرنگی در تیمارهای مختلف

(B1: بستر گروبگ، B2 و B3: بسترهای دولایه با ابعاد به ترتیب ۲۰ در ۱۰ و ۱۲ در ۲۰ سانتی‌متر، ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.)

بیشترین وزن میوه در بوته (عملکرد بوته) نیز به میزان ۶۷۹/۲ گرم، در تیمار B2 حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیش از تیمار گروبگ (۵۸۱/۳ گرم) بود (شکل ۶). گزارش شده است که استفاده از ترکیب مساوی کوکوپیت و ورمیکولیت در کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی منجر به حصول عملکرد حدود ۶۳۰ گرم در بوته شده است (Sahoo et al., 2024). کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی در بسترهای دو طبقه متحرک عمودی توسط Hidaka و همکاران (۲۰۱۲) نیز بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط کشت هیدروپونیک معمولی (کشت در یک طبقه ثابت) عملکرد توت‌فرنگی ۶۰۰ گرم در بوته حاصل شد، در حالی‌که در فضای همین یک خط کشت با قرار دادن ۴ خط کشت (دو خط کشت دو طبقه متحرک) در مجموع عملکرد ۲۷٪ افزایش یافت. هر چند نتایج تحقیق نشان‌دهنده کاهش ۵۰ درصدی فتوسنتز گیاهان طبقه پایین در اثر سایه‌اندازی طبقات فوقانی بود. افزایش عملکرد محصولات کشت شده در بسترهای کشت چند لایه در تحقیقات Nicola و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، عملکرد سبزیجات کشت شده در بسترهای کشت چند لایه، افزایش معنی‌داری داشته است. این موضوع خصوصاً در چین دوم نعناع که افزایش عملکرد حدوداً ۱۹ درصدی داشته، بسیار چشمگیر بوده است. ایشان علت این موضوع را به هوادهی مناسب ریشه در اثر جریان آبشاری در لایه‌های مختلف بسترهای کشت چند لایه مرتبط دانستند.

در تحقیق حاضر نیز استفاده از بسترهای کشت دو لایه عملکرد نهایی توت‌فرنگی را در مقایسه با کشت گروبگ به‌طور معنی‌داری افزایش داد. دلیل افزایش عملکرد مرتبط با کارآیی مناسب سیستم چند کانالهٔ استفاده شده در بسترهای دو لایه است. این

سیستم چند کاناله سبب تسهیل جریان محلول تغذیهٔ هیدروپونیک شده و در نتیجه رشد و گسترش ریشه را بهبود می‌بخشد. در طراحی این سیستم، در کانال فوقانی برش‌های جانبی برای هدایت محلول تغذیهٔ هیدروپونیک به لایهٔ پایینی در نظر گرفته شده است. این موضوع زمانی اهمیت پیدا می‌کند که در اواخر رشد افزایش توده ریشه گیاهان مانع از جریان صحیح محلول تغذیه در کانال می‌شود. ساختار دو لایهٔ بسترهای NCS سبب ایجاد آبشارهای کوچک در مسیر جریان محلول تغذیه شده، بنابراین اکسیژن‌رسانی ریشه تقویت گردیده و بهبود رشد ریشه سبب جذب مطلوب عناصر غذایی و در نهایت بهبود عملکرد محصول می‌گردد. برش‌های چند کاناله در داخل بستر، ریشه‌های در حال رشد را به لایه زیرین هدایت می‌کند، در نتیجه از اثر "بانگ" یا "اثر انسداد" جلوگیری می‌کند. اثر انسداد به وضعیتی اشاره دارد که جریان محلول تغذیه دچار انسداد یا گرفتگی می‌شود. این مسئله می‌تواند منجر به توزیع نابرابر مواد مغذی، کاهش اکسیژن‌رسانی و رشد ضعیف گیاهان شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، استفاده از بسترهای کشت دو لایه با ایجاد شرایط شبه NFT در مقایسه با روش کشت هیدروپونیک مرسوم (گروبگ)، بهبود صفات عملکرد و اجزای عملکرد (محتوای نسبی آب برگ) توت‌فرنگی را به همراه داشت. یک دلیل مهم آن زهکشی مطلوب محلول غذائی از بسترهای کشت و بازیابی و استفاده مجدد از آن بود که کاربرد بهینه محلول‌های مغذی در طول دورهٔ کشت گیاه را ممکن ساخت. دو لایه بودن این بسترهای کشت، یک جزء کلیدی آن است که سیستم ریشه‌ای گیاه را در خود جای داده و رشد بهینهٔ آن را از جنبه‌های مختلف، تسهیل و تشدید می‌کند. این بسترهای کشت از لایه‌های به هم پیوسته‌ای ساخته شده‌اند که یک مدار چند سطحی را با هدف ایجاد آبشارهای کوچک ایجاد می‌کنند، بنابراین گردش محلول‌های غذایی را تسهیل نموده و اکسیژن‌رسانی به گیاه را نیز بهبود می‌بخشد. در مجموع نتایج این تحقیق، نشان‌دهنده برتری معنی‌دار سیستم‌های شبه NFT با بستر دو لایه در مقایسه با کشت گروبگ از نظر افزایش عملکرد توت‌فرنگی بود. به طوری که استفاده از دو بستر B2 و B3 در مقایسه با بستر گروبگ، سبب افزایش عملکرد به‌ترتیب به میزان ۱۶/۸ و ۱۱/۱ درصد شد. با توجه به ویژگی‌های مثبت این نوع بسترهای کشت، به نظر می‌رسد بتوان از آنها در کشت‌های فضای باز نیز استفاده کرد. محصولات پیشنهادی برای این منظور کاهو، ریحان، خیار، گوجه‌فرنگی، توت‌فرنگی، گیاهان داروئی آلوئه‌ورا و پیتایا هستند که باید مطالعات تکمیلی و امکان‌سنجی لازم در خصوص آنها به انجام رسد.

منابع

دیلمقانی، م.ر، و همتی، س.، ۱۳۹۰. اثر بسترهای مختلف کشت بر میزان عناصر غذایی، عملکرد و خصوصیات کیفی توت‌فرنگی رقم سلوا در کشت بدون خاک. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*. ۲ (۷): ۱-۷.

زارعی، ق.، جوادی‌مقدم، ج، فریدی، ح.، ۱۴۰۰. اهمیت کنترل عامل‌های مؤثر در شرایط محیطی گلخانه‌های تجاری. فصلنامه علمی پژوهش‌هلی راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۶ (۲): ۱۶۲-۱۴۹.

شادمهری، ف.، چالوی، و.، صادقی، ح.، ۱۳۹۷. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم توت‌فرنگی تحت کشت بدون خاک در شرایط آب و هوایی ساری. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*. ۹ (۴): ۲۶-۱۵.

شاهین‌رخسار، پ.، محبوب‌خمامی، ع.، پاداشت‌دهکایی، م. ن.، نظمی، ع.، کاووسی‌کلاشمی، م. ۱۴۰۳. *بررسی اثر استفاده از پسماندهای کارخانه روغن‌کشی زیتون در تهیه بسترهای کشت پرورش گیاه زینتی دیفن‌باخیا (Diffenbachia Amoena)*. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ۶۶۲۸۸. ۸۲ صفحه.

[1] Bunged effect

شمس آبادی، و.، میرزایی، م.ج.، مودودی، م.ن.، نستری نصرآبادی، ح.، مرادی، م. ۱۴۰۳. ارزیابی طیف‌های مختلف نور بر بهره‌وری آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی خصوصیات مورفولوژیک گندم در مراحل اولیه رشد در شرایط تنش خشکی، *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۳ (۱): ۱۷۶-۱۸۹.

Ancay, A., Michel, V., Baroffio, C.A. 2017. Comparison of manual and automatic irrigation systems in strawberries. *Acta Horticulturae*. 1156: 263-268.

Asaduzzaman, M., Niu, G., Asao, T. 2022. Nutrients recycling in hydroponics: opportunities and challenges toward sustainable crop production under controlled environment agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 13. 845472.

Atashi, N., Rahimi, D., Sinclair, V. A., Zaidan, M. A., Rusanen, A., Vuollekoski, H., Hussein, T. 2021. Delineation of dew formation zones in Iran using long-term model simulations and cluster analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*. *25*(9), 4719-4740.

Dilmaghani, M.R., Hemmaty, S. 2011. Effect of different substrates on nutrients content, yield and quality of strawberry cv. selva in soilless culture. *Journal of Soil and Plant Interactions*. 2(7): 1-7 (In Persian).

El-Behairy, U.A., Abou-Hadid, A. F., Medany, M.A., Awad, M.M. 2001. The effect of different cultivars, orientation and soilless culture systems on production and quality of strawberry. *Acta Horticulturae*. 548(548): 59-64.

Fayezizadeh, M. R., Ansari, N. A. Z., Albaji, M., Khaleghi, E. 2021. Effects of hydroponic systems on yield, water productivity and stomatal gas exchange of greenhouse tomato cultivars. *Agricultural Water Management*. 258. 107171.

Fussy, A., Papenbrock, J. 2022. An overview of soil and soilless cultivation techniques—chances, challenges and the neglected question of sustainability. *Plants.* 11(9): 1153.

Giordani, E., Bini, L., Bonetti, D., Petrucci, W. A., Masciandaro, G., Chini, G., Nin, S. 2023. Effect of innovative sediment-based growing media on fruit quality of wild strawberry (Fragaria vesca L.). *Sustainability*. 15(9). 7338.

Hernandez-Martinez, N. R., Blanchard, C., Wells, D., Salazar-Gutiérrez, M. R. 2023. Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review. *Scientia Horticulturae*. *312*, 111893.

Hidaka, K., Ito, E., Sago, Y., Yasutake, D., Miyoshi, Y., Kitano, M., Imai, S. 2012. High yields of strawberry by applying vertically-moving beds on the basis of leaf photosynthesis. *Environmental Control in Biology*. 50(2): 143-152.

Hosseinzadeh, S., Verheust, Y., Bonarrigo, G., Van Hulle, S. 2017. Closed hydroponic systems: operational parameters, root exudates occurrence and related water treatment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 16 (1): 59-79.

Khatoon, F., Kundu, M., Mir, H., Nahakpam, S. 2021. Efficacy of foliar feeding of brassinosteroid to improve growth, yield and fruit quality of strawberry (Fragaria× ananassa Duch.) grown under subtropical plain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 52(8): 803-814.

Kumar, R.R., Cho, J.Y. 2014. Reuse of hydroponic waste solution. *Environmental Science and Pollution Research*. 21: 9569–9577.

Murthy, B.N.S., Karimi, F., Laxman, R.H. 2017. Physiological performance reflecting in yield and quality of strawberry under vertical soilless culture system. *Acta Horticulturae*. 1156: 301-308.

Nicola, S., Pignatam G., Casale, M., Hazratim S., Ertanim A. 2021. Setting Up a Lab-Scale Pilot Plant to Study the New Growing System (NGS®) for Leafy Vegetable and Culinary Herb Growth. *Horticultura*. 7(5): 90-101.

Rahim Doust, J., Nazarideljou, M. J., Arshad, M., Ferrante, A. 2023. Comparison of the Growth, Physio-Biochemical Characteristics, and Quality Indices in Soilless-Grown Strawberries under Greenhouse and Open-Field Conditions. *Horticulturae*. *9*(7): 774.

Rahman, M. M., Rahman, M. M., Hossain, M. M., Khaliq, Q. A., Moniruzzaman, M. 2014. Effect of planting time and genotypes growth, yield and quality of strawberry (Fragaria× ananassa Duch.). *Scientia Horticulturae*. *167*, 56-62.

Saemian, P., Tourian, M. J., AghaKouchak, A., Madani, K., Sneeuw, N. 2022. How much water did Iran lose over the last two decades?. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 41: 101095.

Sahoo, S., Sahoo, D., Sahoo, K.K. 2024. Optimization of an efficient hydroponic cultivation method for high yield of strawberry plant. *South African Journal of Botany*. 167: 429-440.

Shadmehri, F., Chalavi, V., Sadeghy, H. 2019. Effect of planting date on yield and yield components in soiless culture of three strawberry (Fragaria × Ananassa Duch) cultivars in Sari climate. *Journal of Soil and Plant Interactions*. 9 (4): 15-26 (In Persian).

Shahin-Rokhsar, P., Mahboob-Khmmami, A., Pdasht-Dehkaei, M. N., Nazmi, A., Kavousi-Klashmi, M. 2024. *Investigating the effect of using the wastes of olive oil extraction plant in the preparation of growing media for the ornamental plant Diffenbachia (Diffenbachia Amoena).* Research Report of the Agricultural Engineering Research Institute. No. 66288. 82p (In Persian).

Shamsabadi, V., Mirzaei, S. M. J., Modoodi, M. N., Nastari Nasrabadi, H., Moradi, M. 2022. Assessment Effect of LED Light on Water Productivity, Photosynthetic Pigments and Morphologic Characteristics of Wheat in Early Stages of Growth under Drought Stress. *Journal of New Approaches in Water and Environmental Engineering.* 3 (1): 176-189 (In Persian).

Shirko, R., Nazarideljou, M. J., Akbar, M. A., Naser, G. 2018. Photosynthetic reaction, mineral uptake, and fruit quality of strawberry affected by different levels of macronutrients. *Journal of Plant Nutrition.* 41(14), 1807-1820.

Singer, S.M., El-Tanahy, A.M.M., El-Behairy, U.A., Abou-Hadid, A.F. 2010. Influence of different soilless culture systems on cantaloupe growth, productivity and fruit quality under protected cultivation. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010).* 927:489-498.

Woznicki, T., Kusnierek, K., Vandecasteele, B., Sonsteby, A. 2024. Reuse of coir, peat, and wood fiber in strawberry production. *Frontiers in Plant Science*. 14: 1307240.

Zarei, GH., Javadi-Moghaddam, J., Faridi, H. 2022. Controlling significance of the effective parameters in environmental conditions of commercial greenhouses. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences ond Natural Resources.* 2 (6): 149-162 (In Persian).