مقایسه خصوصیات اکوفیزیولوژیک گیاه فلفل در دو سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک

عبدالرضا سجادی‌نیا[۱*]، حمیدرضا روستا[۲] و احمد ارشادی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۵/۱۸)

چکیده

سیستم آکواپونیک، یکی از سیستم‌های آبزی‌پروری گردشی است که در آن، گیاه بدون نیاز به وجود خاک پرورش می‌یابد. با توجه به اطلاعات اندک در مورد کشت آکواپونیک برای محصولاتی نظیر فلفل و عدم وجود مقایسه با وضعیت گیاهان در سیستم‌های آبکشت، در این پژوهش خصوصیات اکوفیزیولوژیک گیاه فلفل در دو سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک مورد بررسی قرار گرفت. پس از این‌که در هر دو سیستم گیاهان به مرحله گل‌دهی رسیدند، پارامترهای اکوفیزیولوژیک با استفاده از دستگاه آنالیزور گاز مادون قرمز مدل ADC, LCA-4 اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، تشعشع فعال فتوسنتزی و کارآیی مصرف آب در تیمار آکواپونیک بیشتر از گیاهان کشت شده در سیستم هیدروپونیک بوده، اما میزان مقاومت روزنه‌ای و دمای سطح برگ در تیمار هیدروپونیک بیشتر بود. گرچه تفاوت بین دمای سطح برگ در تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد که کاشت گیاه فلفل در سیستم آکواپونیک، به علت بهتر بودن خصوصیات اکوفیزیولوژیک آن، رشد و نمو بهتری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آبکشت، سیستم‌های بسته (چرخشی)، ماهی، فتوسنتز

مقدمه

هیدروپونیک به تولید گیاهان در محیط بدون خاک که در آن همه عناصر غذایی از طریق آب آبیاری به گیاه می‌رسد، گفته می‌شود. سیستم‌های هیدروپونیک شامل محیط‌های آبی بدون بستر متخلخل (دانه بندی شده) و یا با بستر است. محیط‌های کشت در این سیستم‌ها از پرلایت، ورمی کولایت، سنگریزه، شن، رس انبساط یافته، پیت، خاک اره و غیره تشکیل می‌شود. گیاهان هیدروپونیک به‌طور دوره‌ای با عناصر غذایی محلول در آب، آبیاری می‌شوند تا ریشه مرطوب نگهداشته شده و به‌طور ثابت تغذیه شوند. استفاده از کودهای آلی محلول مثل مواد زائد ماهی (هیدروسیلات (hydrosylate)) به جای محلول‌های غذایی یک تجربه در حال ظهور است. آکواپونیک ترکیبی از پرورش ماهی و گیاهان در یک سیستم گردشی است. پرورش ماهی در سیستم بسته با بازچرخانی آب باعث تجمع مواد آلی زائد در محیط کشت می‌شود. این مواد متابولیک اگر به تغذیه گیاهان برسند ارزش اقتصادی داشته و برای سیستم تولید ماهی نیز منفعت دارند (۲). به نظر می‌رسد که میزان جذب مواد معدنی از غذاهای حاوی نیتروژن و فسفر در ماهیان کم است. شاید دلیل آن را بتوان به اندازه ذرات و شرایط محیط پرورش (به ویژه دمای محیط) و نیز به هضم پذیر بودن مواد غذایی

۱. به ترتیب فارغ التحصیل کارشناسی ارشد و استادیار گروه باغبانی دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲. استادیار گروه باغبانی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sajjadinia@yahoo.com

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1389.1.2.3.9]

نسبت داد (۱۲، ۱۹ و ۲۵). آزمایش‌ها نشان می‌دهند که میزان بازدهی نیتروژن مورد استفاده توسط ماهیان کمتر از ۵۰-۱۰ درصد است، و ۸۰-۷۰ درصد منابع مواد معدنی که توسط مواد غذایی وارد آب می‌شود تبدیل به پسماند می‌شوند (۱۰، ۱۳ و ۲۴).

میزان جذب فسفر توسط ماهی کمتر از ۴۰-۱۵ درصد بوده و تقریباً ۸۰-۷۰ درصد از فسفر به صورت مواد زائد دفع می‌شود و درون آب می‌ریزد (۱۰ و ۱۱). در مورد فسفر، اکثر مواد دفعی (۷۰ درصد) به صورت ذرات جامد است (۱۹). در حال حاضر کپور ماهیان معروفترین ماهیان پرورشی در جهان می‌باشند و پرورش آنها در بسیاری از نقاط به طور مداوم در حال افزایش است (۷). با توجه به مقاومت بالای کپور ماهیان به شرایط نامساعد آب، استفاده از این ماهی‌ها در کشت آکواپونیک می‌تواند با موفقیت همراه باشد.

در مطالعه‌ای که توسط چاوز و همکاران (۴) انجام گرفت، کاهوی کشت شده به صورت هیدروپونیک که با یک سیستم گردشی پرورش ماهی تلفیق شده بود، قادر بود به طور قابل ملاحظه‌ای کیفیت آب را برای ماهی بهبود بخشد. اروین (۶) دریافت که فضولات ماهی در آبیاری سبزی‌های برگی پرورش یافته در یک گلخانه می‌تواند برای رشد گیاه کافی باشد. در یک مطالعه روی گوجه‌فرنگی‌هایی که به صورت هیدروپونیک در یک سیستم آکوآکالچر تلفیقی پرورش یافته بودند میوه‌ها کیفیت بهتری نسبت به میوه‌های پرورش یافته در شرایط خاکی داشتند (۱۵). هم‌چنین فضولات ماهی تیلاپیا در سیستم‌های آکوآکالچر تلفیقی کود مفیدی برای کاهو و کلم چینی بود (۲۱). مشکل اصلی آکوآکالچر تلفیقی در مورد گوجه‌فرنگی و سایرگیاهان میوه‌دار این است که در مرحله میوه‌دهی برای تولید محصول بهتر نیاز به عناصر ریزمغذی مانند بور، آهن، منگنز، روی، مس و مولیبدن در سطح بالا دارند، که این عناصر در ضایعات آب ماهی کافی نیست و لازم است که عناصر در سطوح پایین (کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر) مرتباً به درون سیستم اضافه شود (۱۵). به هرحال به نظر می‌رسد کشت هیدروپونیک سبزی (مخصوصاً سبزی‌های برگی) به صورت تلفیقی با پرورش ماهی با یک راهکار مؤثر برای حذف فضولات امکان پذیر می‌باشد (۱۸).

تولید محصول رابطه مستقیم با سلامت گیاهان در محیط‌های پرورشی داشته و با مطالعه آن می‌توان کارآمد بودن سیستم‌های مختلف را مقایسه کرد. پارامترهای فتوسنتزی و روابط آبی شاخص‌های خوبی برای تشخیص میزان سلامت گیاهان به شمار می‌روند و به عنوان ابزاری برای مطالعه وضعیت فیزیولوژیک گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدیهی است شرایط محیطی که کارآیی فتوسنتز را در گیاه افزایش دهد، باعث افزایش تولید خالص خواهد شد (۱). از طرفی تغییر در ترکیبات گازی برگ‌ها می‌تواند بر پتانسیل تولید و عملکرد گیاه تأثیر بگذارد. هم‌چنین مطالعه روی تغییرات گازها در برگ اجازه می‌دهد تا برآوردی از پاسخ‌های فیزیولوژیک در شرایط محیطی مختلف داشته باشیم (۱۶، ۱۷ و ۲۶).

بنابراین، در آزمایش اخیر، شاخص‌های اکوفیزیولوژیک بالا برای مقایسه وضعیت فیزیولوژیک گیاهان کشت شده در محیط هیدروپونیک و آکواپونیک به‌کار رفت تا از طریق آنها سیستم برتر جهت کشت گیاه فلفل مشخص شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۸۷ در محل گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر رفسنجان انجام شد. بذور فلفل سبز (*Capsicum annum* L.) در گلدان‌های یونولیتی حاوی پرلایت کشت شدند. بعد از دو برگی شدن، نشاها به داخل گلدان‌های یونولیتی حاوی پرلایت انتقال یافتند. تعداد ۸ عدد از گلدان‌ها روی تشت حاوی محلول غذایی هیدروپونیک قرار داده شدند به طوری که محلول غذایی از ته گلدان که سوراخ بود وارد گلدان‌ها می‌شد. به تشت حاوی محلول غذایی عناصر ماکرو شامل مونوفسفات پتاسیم (۰/۲ میلی مولار)، پتاسیم (۰/۲ میلی مولار)، سولفات منیزیم (۰/۳ میلی

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1389.1.2.3.9]

مولار) و کلرید سدیم (۰/۱ میلی مولار) اضافه شد. هم‌چنین به محیط کشت عناصر میکرو به صورت کلات آهن (Fe-EDTA ۵۰ میکرو مولار)، سولفات منگنز (۷ میکرو مولار)، کلرید روی (۰/۷ میکرو مولار)، سولفات مس (۰/۸ میکرو مولار)، اسید بوریک (۲ میکرو مولار)، مولیبدات سدیم (۰/۸ میکرو مولار) و نیتروژن به صورت نیترات کلسیم با غلظت ۵ میلی مولار اضافه شد. تعداد ۸ عدد گلدان نیز روی تشت مربوط به سیستم آکواپونیک قرار گرفت. طرز کار سیستم آکواپونیک به این صورت بود که پمپ آب که در زیر مخزن پرورش قرار گرفته بود، آب را به زلال سازها پمپاژ می‌کرد. سپس وارد سیستم فیلتراسیون می‌شد که ذرات کوچکتری که در زلال ساز جدا نشده بود را از آب حذف می‌کرد. سپس آب وارد تشت هیدروپونیک می‌شد تا گیاهان مواد زائد معدنی را جذب کنند و پس از آن، آب تمیز شده از بسترهای هیدروپونیک وارد تشت پرورش ماهی می‌شد. هر مخزن آکواپونیک ۱۰ عدد دمنده هوا داشت که به فاصله ۰/۵ متر از یکدیگر در حاشیه مخزن قرار گرفته بودند. مواد جامد رسوب شده در کلاریفایر روزانه با باز کردن شیر خالی می‌شد. مواد جامد ریز که روی توری در مخزن‌های فیلتر جمع می‌شد یک یا دو بار در ماه پس از خالی کردن مخزن و شستن توری با آب تمیز می‌شدند. pH به‌طور روزانه کنترل می‌شد و به وسیله اضافه کردن اسید به مخزن گاززدایی در ۷/۵-۷ کنترل می‌شد. در سیستم آکواپونیک تنها ماده غذایی که باید اضافه می‌شد آهن بود که به صورت کلات در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر و هر سه هفته یکبار اضافه می‌شد. آبی که در اثر تبخیر و تعرق و حذف مواد زائد جامد رسوب شده حذف می‌شد، با آب شیر متصل به شبکه آب شهر جایگزین می‌شد. تعداد ۸ ماهی کپور از نوع فیتوفاگ و ۷ ماهی کپور از نوع آمور در هر متر مکعب آب اضافه شد. وزن ماهی‌ها به‌طور متوسط ۱۸۰/۷۲ گرم بود. ماهی‌ها دو بار در روز با غذای کامل پلت‌های شناور دارای ۳۲ درصد پروتئین تغذیه می‌شدند.

پس از این‌که در هر دو تیمار هیدروپونیک و آکواپونیک گیاهان به مرحله شروع گل‌دهی رسیدند خصوصیات اکوفیزیولوژیک آنها شامل میزان فتوسنتز (میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)، میزان تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)، مقاومت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)، دمای برگ (درجه سانتی‌گراد)، تشعشع فعال فتوسنتزی (P.A.R) و کارآیی مصرف آب با دستگاه آنالیزور گاز مادون قرمز مدل ADC, LCA-4 ساخت شرکت هادسدون انگلستان اندازه‌گیری شد. با قرار گرفتن برگ‌های قسمت میانی شاخه‌ها در اتاقک دستگاه، و بر اساس ورود و خروج گازها در این قسمت و اندازه‌گیری میزان گازهای خروجی و بر حسب برنامه تنظیم شده روی دستگاه، اطلاعات مربوط به هر شاخص ثبت گردید. اندازه‌گیری‌ها در روزهای غیر ابری و در ساعت ۹ تا ۱۱ صبح و شدت نور بیش از ۱۶۰۰ میکرو مول فوتون بر متر مربع بر ثانیه در طول آزمایش انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار انجام شد. هر تکرار شامل ۸ گلدان بود. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه آماری شده و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ مورد بررسی قرار گرفت.

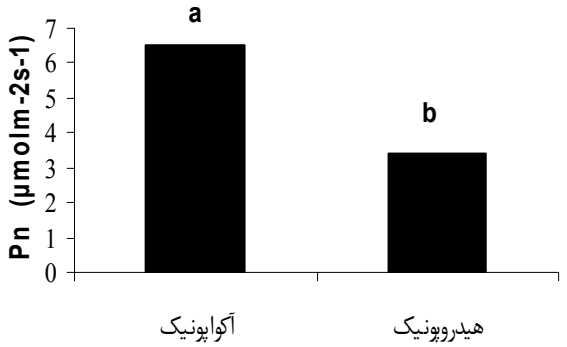
نتایج و بحث

میزان فتوسنتز

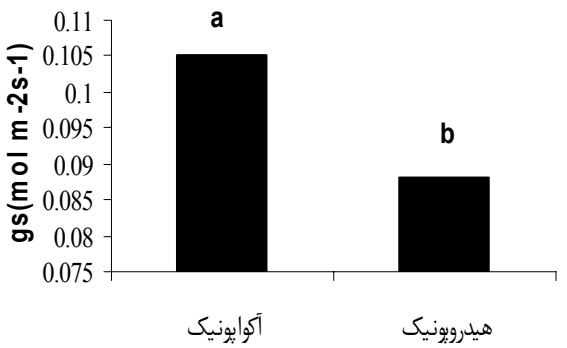
مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان فتوسنتز گیاه فلفل در تیمار آکواپونیک به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار هیدروپونیک می‌باشد (شکل ۱). فتوسنتز تعیین کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است. کوچکی و همکاران (۳) اعلام کردند که بالا بودن میزان فتوسنتز می‌تواند ناشی از افزایش در هدایت روزنه‌ای برگ باشد. فلکساس و همکاران (۸) نیز در گزارش‌هایی رابطه بین فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای را تأیید کردند. در این آزمایش نیز هدایت روزنه‌ای در تیمار آکواپونیک بیشتر از تیمار هیدروپونیک بود.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-02]

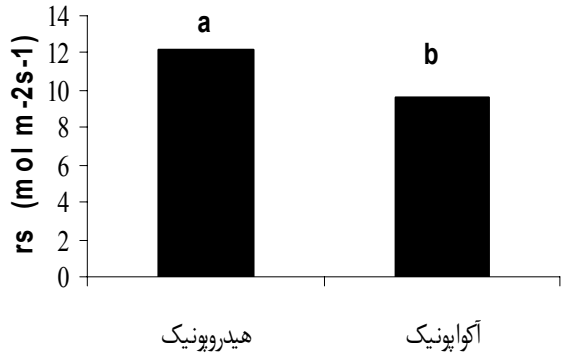
[DOR: 20.1001.1.20089082.1389.1.2.3.9]



شکل ۱. مقایسه سرعت فتوسنتز در برگ‌های گیاه فلفل در دو نوع محیط کشت آکواپونیک و هیدروپونیک



شکل ۲. مقایسه هدایت روزنه‌ای در برگ‌های گیاه فلفل در دو نوع محیط کشت آکواپونیک و هیدروپونیک



شکل ۳. مقایسه مقاومت روزنه‌ای در برگ‌های گیاه فلفل در دو نوع محیط کشت آکواپونیک و هیدروپونیک

شکل ۴. مقایسه تعرق در برگ‌های گیاه فلفل در دو نوع محیط کشت آکواپونیک و هیدروپونیک

هدایت روزنه‌ای

بر طبق مقایسه میانگین‌ها، میزان هدایت روزنه‌ای گیاه فلفل در تیمار آکواپونیک به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار هیدروپونیک بود (شکل ۲). هدایت روزنه‌ای در واقع تبادلات گازی برگ است و هرچه میزان تبادلات گازی بیشتر باشد میزان فتوسنتز نیز بالاتر است که در گزارش‌های بسیاری از جمله پروکتور (۲۰) در سال ۱۹۸۱ رابطه میان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای تأیید شده است.

مقاومت روزنه‌ای

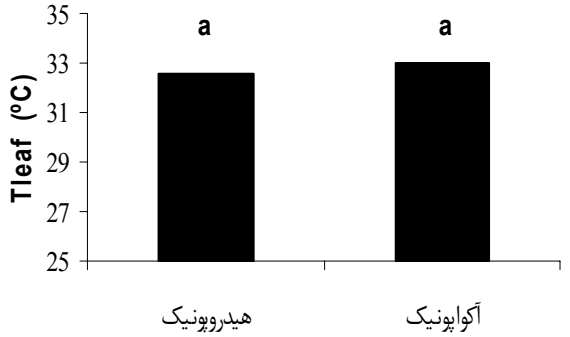
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان مقاومت روزنه‌ای در تیمار هیدروپونیک به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکواپونیک بود (شکل ۳). فلور و لاسکو (۹) در سال ۱۹۸۹ اعلام کردند که کاهش فشار تورژسانس سلول‌های روزنه در نتیجه کاهش حجم آب درون آنها منجر به بسته شدن جزئی یا کامل روزنه می‌شود. روند تغییرات مقاومت روزنه‌ای عکس هدایت روزنه‌ای می‌باشد (۲۳) و تیمار هیدروپونیک که هدایت روزنه‌ای کمتری داشته مقاومت روزنه‌ای بالاتری دارد.

میزان تعرق

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که میزان تعرق در گیاه فلفل در تیمار آکواپونیک به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار هیدروپونیک بود (شکل ۴). این تعرق بالا در اثر میزان بالای فتوسنتز گیاه در تیمار آکواپونیک (شکل ۱) می‌باشد. محققین زیادی گزارش‌هایی مبنی بر رابطه خطی میان فتوسنتز و تعرق ارائه کرده‌اند (۸ و ۲۰). هم‌چنین

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1389.1.2.3.9]



شکل ۵. مقایسه دمای سطح برگ گیاه فلفل در دو نوع محیط کشت آکواپونیک و هیدروپونیک

شکل ۶. مقایسه تشعشع فعال فتوسنتزی در برگ‌های گیاه فلفل در دو نوع محیط کشت آکواپونیک و هیدروپونیک

شکل ۷. مقایسه کارآیی مصرف آب در برگ‌های گیاه فلفل در دو نوع محیط کشت آکواپونیک و هیدروپونیک

دیوید (۵) گزارش‌هایی مبنی بر رابطه خطی میان فتوسنتز و تعرق گیاه زیتون ارائه کرد که مطابق با نتایج این تحقیق می‌باشد.

دمای برگ

میزان دمای برگ در گیاه فلفل در تیمار آکواپونیک بیشتر از تیمار هیدروپونیک بود. هرچند که این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (شکل ۵). بالا بودن دمای برگ بر تبادلات گازی گیاه، میزان فتوسنتز و عملکرد گیاه تأثیر به‌سزایی دارد. دمای زیاد علاوه بر تأثیر بر ساختارهای فتوسنتزی باعث افزایش تنفس نوری و در نتیجه کاهش بازده فتوسنتز می‌شود.

میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (P.A.R)

بر طبق مقایسه میانگین‌ها، میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (P.A.R) در گیاه فلفل در تیمار آکواپونیک به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار هیدروپونیک بود (شکل ۶) که با توجه به بالاتر بودن میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در تیمار آکواپونیک این نتیجه دور از انتظار نبود.

میزان کارآیی مصرف آب

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که میزان کارآیی مصرف آب (WUE) در گیاه فلفل در تیمار آکواپونیک به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار هیدروپونیک بود (شکل ۷). کارآیی مصرف آب از جمله پارامترهای فیزیولوژیک است که می‌توان آن را به منظور ارزیابی مصرف آب توسط گیاه مورد توجه قرار داد. در واقع با بهره‌گیری از این پارامتر می‌توان به بررسی رابطه کمی بین رشد گیاه و آب مصرفی پرداخت. میزان کارآیی مصرف آب از نسبت میزان فتوسنتز به میزان تعرق به‌دست می‌آید و به معنای تثبیت کربن به ازای هدر رفتن آب تلقی می‌شود. کارآیی مصرف آب به میزان هدایت روزنه‌ای نیز وابسته است. کارآیی مصرف آب در تیمار آکواپونیک بیشتر از تیمار هیدروپونیک بود که نشان دهنده بالا بودن تثبیت کربن نسبت به هدر رفتن آب در این تیمار بوده است. آکواپونیک چندین مزیت نسبت به دیگر سیستم‌های آبزی پروری گردشی و سیستم هیدروپونیک که مواد محلول معدنی را استفاده می‌کنند، دارد. در این سیستم اجزای هیدروپونیک به‌عنوان فیلتر زیستی عمل می‌کنند و بنابراین فیلتر زیستی جدا مثل سیستم‌های دیگر

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1389.1.2.3.9]

لازم نمی‌باشد. در سیستم‌های آکواپونیک، فیلترهای زیستی درآمدزا بوده و محصول سبزی و گل و گیاهان دیگر تولید می‌کنند. مواد غذایی دفع شده توسط ماهی معمولاً مواد زائدی هستند که دور ریخته می‌شوند که می‌توانند باعث آلودگی محیط شوند. حذف عناصر غذایی توسط گیاهان زنده، استفاده از آب را بهبود بخشیده و دور ریختن آن را به حداقل می‌رساند (۲۲). سیستم‌های آکواپونیک نیاز به کنترل کیفیت آب کمتری نسبت به سیستم‌های گردشی تنهای ماهی یا هیدروپونیک برای گیاه دارند. آکواپونیک پتانسیل بهره‌دهی را به دلایل تأمین عناصر غذایی مجانی برای گیاهان، نیاز آبی کمتر، حذف فیلتر زیستی جداگانه، نیاز کمتر به کنترل کیفیت آب و هزینه‌های مشترک ساخت و زیربنایی، افزایش می‌دهد (۲). در آزمایشی که در سال ۲۰۰۶ توسط لینارد و لئونارد (۱۴) انجام شد، رشد کاهو در سیستم آکواپونیک و در بستر شنی بهتر از سیستم لایه نازک ماده غذایی (NFT) و ریشه‌های معلق در آب (Raft) بود. میزان حذف نیترات نیز در بستر شنی بالا بود که ممکن است به علت شرایط بهتر (هوادهی بالا) بستر شنی برای فرایند شکستن مواد آلی و نیتریفیکاسیون توسط باکتری‌ها باشد که نیتروژن کافی را به صورت قابل استفاده در معرض ریشه گیاه قرار داده است. بهتر بودن شرایط اکوفیزیولوژیک گیاه فلفل در این آزمایش نیز ممکن است به علت فراهم بودن نیتروژن مداوم و ثابت در بستر آکواپونیک برای گیاهان نسبت به سیستم هیدروپونیک باشد. زیرا در سیستم هیدروپونیک، نیتروژن موجود در منبع با مصرف آن توسط گیاهان کاهش می‌یافت. در صورتی که در سیستم آکواپونیک نیتروژن به مرور در اثر شکستن فضولات توسط باکتری‌ها تولید شده و از کاهش آن و اثر احتمالی بر فاکتورهای فیزیولوژیک گیاه جلوگیری می‌کرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به بیشتر بودن میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، و تشعشع فعال فتوسنتزی و کمتر بودن میزان مقاومت روزنه‌ای در تیمار آکواپونیک نسبت به هیدروپونیک به نظر می‌رسد که کاشت گیاه فلفل در این سیستم به علت بهتر بودن خصوصیات اکوفیزیولوژیک گیاه رشد و نمو بهتری داشته باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان به علت تأمین مالی تحقیق حاضر در قالب طرح پژوهشی با کد Agr86HS308 تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. روزبان، م. ر. و ک. ارزانی. ۱۳۸۴. مطالعه خصوصیات فیزیولوژیکی پایه‌های دانهالی پسته (*Pistacia vera* L.) در پاسخ به تنش خشکی. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم باغبانی ایران، ۱۷ الی ۱۹ آبان، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحات ۲۲۶-۲۲۵.

۲. روستا، ح. ر. ۱۳۸۸. آکواپونیک (کشت و پرورش توأم ماهی و گیاه در سیستم مدار بسته با بازچرخانی آب). انتشارات پلک، تهران، ۱۷۱ صفحه.

۳. کوچکی، ع. ر.، ا. زند، م. بنایان اول، پ. رضوانی مقدم، ع. مهدوی دامغانی، م. جامی احمدی و س. ر. وصال. ۱۳۸۴. اکوفیزیولوژیکی گیاهی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۴۵ صفحه.

4. Chaves, P. A., L. M. Laird, R. Sutherland and J. Beltrao. 2000. Assessment of fish culture water improvement through the integration of hydroponically grown lettuce. Water Sci. and Technol. 42: 43-47.
5. David, W. 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP. Annals of Botany 89: 871-885.
6. Ervine, S. 1977. Fertile fish pond water irrigation studies. J. of the New Alchemists 4: 59-60.
7. FAO. 2002. http://www.fao.org/figis/servlet/static?dom=root&xml=aquaculture/index.xml.
8. Flexas, J., J. Gulias, S. Jonasson, H. Medrano and M. Mus. 2001. Seasonal patterns and control of gas exchange in

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1389.1.2.3.9]

local populations of the Mediterranean evergreen shrub Pistacia lentiscus L. Acta Oecologia 22: 33-43.
9. Flore, J. A. and A. N. Lasko. 1989. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. Hort. Rev. 11: 229-287.
10. Hall, P. O. J., O. Holby, S. Kollberg and M. O. Samuelsson. 1992. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. Marine Ecology Progress Series 89: 81-91.
11. Holby, O. and P. O. J. Hall. 1991. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorous. Marine Ecology Progress Series 70: 263-272.
12. Kelly, L. A., A. Bergheim and M. M. Hennessy. 1994. Predicting output of ammonium from fish farms. Water Res. 28: 1403-1405.
13. Krom, M. D., S. Ellner, J. van Rijn, and A. Neori. 1995. Nitrogen and phosphorous cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel. Marine Ecology Progress Series 118 (1-3): 25-36.
14. Lennard, W. A. and B. V. Leonard. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. Aquaculture Intl. 14: 539–550.
15. Lewis, W. M., J. H. Yopp, H. L. Schramm Jr. and A. M. Brandenburg. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recalculated water in a fish culture system. Trans. Amer. Fisheries Soc. 107: 92-99.
16. Lin, T. S., J. C. Crane, K. Ryugo, V.S. Polito and T. M. Dejong. 1984. Comporative study of leaf morphology, photosynthesis, and leaf conductance in selected pistacia species. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 325-330.
17. Novello, V. and L. De Palma. 1995. Observations on the pistachio photosynthetic activity in southern Italy. Acta Hort. 419: 97-100.
18. Palada, M. C., W. M. Cole and S. M. A. Crossman. 1999. Influence of effluents from intensive aquaculture and sludge on growth and yield of bell peppers. J. of Sustainable Agric. 14: 85-103.
19. Piedrahita, R. H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture 226: 35-44.
20. Proctor, J. T. A. 1981. Stomatal conductance changes in leaves of McIntosh apple trees befor and after fruit removal. Can. J. Bot. 59: 50-53.
21. Rakocy, J.E. 1989. Vegetable hydroponics and fish culture: A productive interface. World Aquaculture 20: 42-47.
22. Roosta, H. and J. Schjoerring. 2008. Effects of nitrate and potassium on ammonium toxicity in cucumber plants. J. Plant Nutr. 31: 1270-1283.
23. Sajjadinia, A., A. Ershadi, H. Hokmabadi, M. Khayyat and M. Gholami. 2010. Evaluation of gas exchange activities and relative water content of leaves of six Iranian pistachio cultivars in OFF and ON trees, at different stages of fruit growth and development and post harvest. Australian J. of Agric. Eng. 1(1): 1-6.
24. Shpigel, M., A. Neori, D. M. Popper and H. Gordon. 1993. A proposed model for 'environmental clean' land –based culture of fish, bivalves and seaweeds. Aquaculture 117: 115-128.
25. Thorpe, J. E., C. Talbot, M. S. Miles, C. Rawlings and D. S. Keay. 1990. Food consumption in 24 hours by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a sea cage. Aquaculture 90: 41-47.
26. Vemmos, S. N. 1994. Net photosynthesis, stomatal conductance, chlorophyll content and specific leaf of pistachio trees (cv. Aegenes) as influenced by fruiting. J. Hort. Sci. and Biotech. 69: 775-782.

.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1389.1.2.3.9]