



آکواپونیک به عنوان الگویی نوین در مدیریت سامانه‌های ترکیبی برای توسعه پایدار

زینب نبوی^{۱*}، امیرحسین نژادمقدم^۲، یاسر یعقوبیان^۳

۱- دانشجوی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی گروه بوم‌شناسی آبریان، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*ایمیل نویسنده مسئول: zeynab.nabavi@ut.ac.ir

چکیده

آکواپونیک به عنوان یک سامانه‌ی نوین، تلفیقی هماهنگ از آبرزی پروری و تولید گیاهان را با بهره‌گیری از چرخه‌های طبیعی فراهم می‌سازد و الگویی کارآمد برای مدیریت پایدار منابع به شمار می‌آید. این سامانه با بهینه‌سازی مصرف آب، کاهش وابستگی به نهاده‌های شیمیایی و بهبود بهره‌وری تولیدات غذایی، پاسخی مؤثر به چالش‌های امنیت غذایی و بحران منابع طبیعی ارائه می‌کند. پژوهش حاضر با مرور منابع و تجربیات عملی، ابعاد مختلف این سامانه را تحلیل می‌کند. یافته‌ها حاکی از آن است که استقرار سامانه آکواپونیک، به‌ویژه در مناطق خشک و کم‌آب، نقش مهمی در ارتقاء تولید پایدار، بهبود کیفیت محیط زیست و تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا می‌کند. با این حال، چالش‌هایی نظیر هزینه‌های اولیه‌ی بالا، نیاز به دانش فنی بین‌رشته‌ای و پیچیدگی مدیریت سامانه‌های تلفیقی، از محدودیت‌های گسترش آن به شمار می‌رود. بر این اساس، ارتقاء زیرساخت‌های فناورانه، توسعه آموزش‌های تخصصی و تدوین سیاست‌های حمایتی، می‌تواند مسیر گسترش این الگو را هموار ساخته و به تقویت پایداری سامانه‌های تولید غذایی در آینده کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: آکواپونیک، امنیت غذایی، توسعه پایدار، سامانه‌های تولید تلفیقی

۱- مقدمه

کشاورزی به عنوان یکی از ارکان اصلی تأمین امنیت غذایی و تحقق پایداری جهانی، به‌ویژه در مواجهه با چالش‌های فزاینده‌ای نظیر تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت و کاهش منابع طبیعی، اهمیت بسزایی دارد. با توجه به پیش‌بینی‌ها مبنی بر افزایش چشمگیر تقاضای جهانی برای غذا، توسعه سامانه‌های کشاورزی که بتوانند به‌طور همزمان بهره‌وری را ارتقا داده و پایداری زیست‌محیطی را تضمین نمایند، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. با این وجود، روش‌های متداول کشاورزی موجب تشدید تخریب خاک، کمبود منابع آب و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و تهدیدات قابل توجهی برای امنیت غذایی بلندمدت ایجاد کرده‌اند [۱]. از سوی دیگر ماهیان نیز، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، نقش اساسی در تأمین امنیت غذایی و تغذیه ایفا می‌کنند و برای اقتصادهای روستایی اهمیت فراوانی دارند [۲]. افزایش آگاهی جهانی از نقش ماهی به عنوان یک منبع تغذیه‌ای پایدار [۳] و معرفی آن به عنوان ابرغذای طبیعی [۴] گواه بر آن است که ماهی‌ها نه تنها به عنوان یک منبع غذایی سالم، بلکه به عنوان یک عنصر استراتژیک در توسعه اقتصادی و پایداری محیطی در سطح جهانی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در عصری که نیاز مبرم به راه‌حل‌های پایدار تعریف می‌شود، همگرایی کشاورزی و آبرزی پروری باعث ایجاد روشی انقلابی به نام آکواپونیک^۱ شده است. این

¹ Aquaponics



رویکرد نه تنها شیوه‌های کشاورزی مرسوم را به چالش می‌کشد، بلکه مسیری متحول کننده برای دستیابی به حاکمیت غذایی و بهینه‌سازی مصرف آب ارائه می‌دهد [۵ و ۶]. آکواپونیک به عنوان یک سامانه سامانه تولید یکپارچه مواد غذایی، ترکیبی از دو روش مستقل تولید غذا، یعنی آبرزی پروری (پرورش ماهی) و هیدروپونیک (کشت گیاهان در آب بدون خاک)، در یک چرخه بسته و چرخشی است. این سامانه سامانه به دلیل قابلیت بازیافت کامل منابع آب، مواد مغذی و ضایعات، از نظر زیست محیطی به طور قابل توجهی سازگار است و به عنوان یک راه حل پایدار در تولید مواد غذایی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به الگوی کنونی تولید و مصرف مواد غذایی و چالش‌های موجود در دسترسی به منابع طبیعی، به ویژه منابع آبی، توسعه تکنیک‌های نوآورانه در زمینه‌های آبرزی پروری و کشاورزی پایدار ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، سامانه آکواپونیک می‌تواند نقش مهمی در ارتقاء پایداری زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی ایفا کرده و به عنوان یک راهکار مؤثر در جهت تحقق پایداری کلی در سامانه سامانه‌های تولید غذا عمل نماید [۷]. هدف این مقاله مروری، بررسی سامانه سامانه آکواپونیک به عنوان الگویی نوین در مدیریت سامانه‌های ترکیبی برای توسعه پایدار است. این مطالعه به تحلیل اجزای اصلی سامانه‌های آکواپونیک، مزایا و چالش‌های آن می‌پردازد و بر نقش این سامانه در بهینه‌سازی استفاده از منابع طبیعی و ارتقاء امنیت غذایی تأکید دارد.

۲- آکواپونیک و تاریخچه آن

آکواپونیک یک سامانه تولیدی یکپارچه و پایدار است که بر پایه همزیستی بین موجودات آبرزی و گیاهان، در یک چرخه بسته عمل می‌کند [۸]. در این سامانه، پساب حاصل از آبرزی پروری طی فرآیندهای میکروبی به مواد مغذی مورد نیاز برای رشد گیاهان تبدیل می‌شود و در مقابل، گیاهان با جذب این مواد مغذی، کیفیت آب را بهبود بخشیده و شرایط مناسب برای پرورش آبرزیان را حفظ می‌کنند [۹ و ۱۵].

با وجود اختلاف نظرها پیرامون منشأ سامانه‌های آکواپونیک، بسیاری از منابع شکل‌های ابتدایی آن را به آرتک‌های قرون وسطایی در مکزیک مرکزی حوالی سال ۱۰۰۰ میلادی نسبت می‌دهند [۱۰]. آرتک‌ها به دلیل محدودیت زمین‌های کشاورزی، اقدام به ساخت قایق‌هایی با پوشش خاک کردند که برای کشت سبزیجات مورد استفاده قرار می‌گرفت و به عنوان نخستین نمونه‌های «مزارع شناور» شناخته شد [۱۱]. با این حال، این سامانه بیشتر بیانگر کشت بدون خاک بود تا آکواپونیک واقعی. الحاق پرورش ماهی به این سامانه به کشاورزان جنوب چین و تایلند نسبت داده می‌شود که ماهیان را به صورت همزمان با برنج در شالیزارها پرورش می‌دادند. سال ۱۹۶۹، ویلیام مک لارنی به همراه نانسی و جان تاد^۲ با الهام از شیوه‌های سنتی آرتک‌ها، نمونه‌ای اصلاح شده از سامانه آکواپونیک را برای تأمین مستمر سبزیجات و ماهی طراحی کردند [۱۰]. آغاز رسمی پژوهش‌های علمی در این حوزه به اوایل دهه ۱۹۷۰ بازمی‌گردد. در دهه ۱۹۸۰، دکتر جیمز راکوسی^۳ و تیم دانشگاه جزایر ویرجین (UVI) موفق به توسعه یکی از نخستین سامانه‌های آکواپونیک در مقیاس تجاری شدند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که از دهه ۱۹۸۰ به این سو، رشد چشمگیری در پذیرش آکواپونیک به عنوان رویکردی نوین برای بهبود امنیت غذایی مشاهده شده است [۱۲]. برخی نیز معتقدند که ریشه‌های تاریخی این شیوه به باغ‌های معلق بابل بازمی‌گردد؛ اما سامانه‌های مدرن آن از دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی رایج شده‌اند [۱۳].

یک سامانه آکواپونیک معمولی شامل سه بخش اصلی است: تانک‌های ماهی برای بخش آبرزی پروری، بستر کشت یا کانال‌ها برای کشت هیدروپونیک و سامانه تصفیه برای انجام فیلتراسیون زیستی و مکانیکی [۱۴].

² William McLarney, Nancy, and John Todd

³ Dr. James Rakocy



۳- ماهی ها و گیاهان مورد استفاده

در سامانه های آکواپونیک امروزی از گونه های مختلفی از ماهیان استفاده می شود. در سال ۲۰۱۴، مطالعه ای در ۴۴ کشور جهان نشان داد که رایج ترین گونه های ماهی در آکواپونیک، تیلاپیا و ماهیان زینتی هستند [۱۲]. به طور مشابه، مطالعات دیگری نشان می دهد که تیلاپیا، ماهیان زینتی، گربه ماهی، پرچ، بلوگیل، قزل آلا و باس از رایج ترین گونه های پرورش یافته در سامانه های آکواپونیک هستند [۱۴]. همچنین، مطابق پژوهشی در اروپا نیز، تیلاپیا، گربه ماهی، ماهیان زینتی، قزل آلا، باس و پرچ از مهم ترین گونه های پرورشی در این سامانه ها به شمار می روند [۱۶].

یکی از رایج ترین گونه های مورد استفاده در سامانه های آکواپونیک، تیلاپیا است. دلیل این محبوبیت، ویژگی های همچون طبیعت همه چیز خواری، تکثیر سریع و رشد بالای این ماهی می باشد [۱۷]. تیلاپیا از مقاومت بالایی برخوردار است و دامنه وسیعی از شرایط محیطی، مانند محدوده دمایی گسترده (۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد) و مقادیر مختلف آمونیاک آزاد (NH_3) بین ۰/۲ تا ۳/۰ میلی گرم بر لیتر را به خوبی تحمل می کند [۱۸]. در کشور نروژ، پرورش قزل آلا در واحدهای آکواپونیک موسسه Nibio نتایج مطلوبی را نشان داده است [۱۹].

برای انتخاب نوع مناسب از آبزیان در یک سامانه آکواپونیک جدید، ابتدا باید نوع گیاهان مورد کشت مشخص شود، چرا که بهینه سازی فرآیند به طور مستقیم به همزیستی مناسب میان گونه های انتخابی وابسته است. در سامانه های آکواپونیک، طیف گسترده ای از گیاهان قابلیت رشد دارند. گیاهان رایج در این سامانه ها شامل سبزیجات و گیاهان معطر برای مصارف آشپزی هستند، مانند ریحان، گشنیز، تره، جعفری و نعناع. علاوه بر این، کاهو، اسفناج، کلم چینی و شاهی آبی نیز به دلیل نیازهای تغذیه ای کم تا متوسط خود به خوبی در این سامانه ها رشد می کنند. گیاهانی با نیاز تغذیه ای بیشتر، همچون گوجه فرنگی، فلفل و خیار، در سامانه های آکواپونیک با تراکم بالاتر و سامانه های تثبیت شده عملکرد بهتری دارند [۲۰]. در سامانه آکواپونیک، محصولات کشاورزی بخش اصلی یا کانون تولید هستند. بنابراین، انتخاب گیاهان باید با تقاضای بازار برای غذاهای ارگانیک و دوستدار محیط زیست هم راستا باشد تا بتوانند وارد بازارهای خاص و مشتریان متمایل به مصرف محصولات سالم شوند [۲۱].

۴- باکتری ها

باکتری ها نقش بسیار مهمی در رشد بهینه گونه ها در سامانه های آکواپونیک دارند [۲۲]. این باکتری های مفید روی سطوح مختلف زندگی می کنند و زمانی که آمونیاک در آب وجود دارد، رشد خود را آغاز می کنند. آمونیاک محصول نهایی کاتابولیسم پروتئین در ماهی است که از طریق دفع آبشش، ادرار و مدفوع به آب منتقل می شود. نیتروژن کل آمونیوم (NH_4) ابتدا از طریق فرآیند نیتریفیکاسیون بیولوژیکی توسط باکتری های اکسیدکننده آمونیاک (AOB)، مانند *Nitrosococcus*، *Nitrosospira* و *Nitrosomonas* به نیتريت (NO_2) تبدیل می شود. سپس، باکتری های اکسیدکننده نیتريت (NOB)، مانند *Nitrobacter*، *Nitrospira* و *Nitrospina*، نیتريت را که سمی است به نیترات (NO_3) تبدیل می کنند که برای ماهی نسبتاً بی ضرر است. هنگامی که یک سامانه آکواپونیک جدید شروع به کار می کند، فرآیند نیتریفیکاسیون بلافاصله به دنبال رشد باکتری های AOB و NOB آغاز می شود، اما این فرآیند در ابتدا کند است [۲۳-۲۶]. درواقع نقش بنیادی جوامع باکتریایی در سامانه های آکواپونیک، فرآیند تبدیل مواد دفعی ماهی و بقایای خوراکی به مواد مغذی ضروری (اعم از عناصر درشت مغذی و ریزمغذی) است که توسط گیاهان قابل جذب و استفاده می باشد [۲۵].

۵- انواع سامانه های آکواپونیک

به طور کلی، مدل های مختلف سامانه های آکواپونیک بر اساس نوع واحد هیدروپونیک مورد استفاده تعیین می شوند. این سامانه ها به سه دسته تقسیم می شوند که در جدول ۱ با یکدیگر مقایسه شده اند.



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

جدول ۱- مقایسه انواع سامانه‌های آکواپونیک [۱۲ و ۱۴ و ۲۷-۳۳].

ویژگی	(Media-Based) مبتنی بر بستر	(Floating Raft) روش شناور	(NFT) تکنیک فیلم موادغذایی
ساختار	بستر پر شده از محیطی مانند سنگ پامیس یا گوی سفالی	صفحات شناور بر سطح مخازن آب	جریان نازک آب در کانال‌های باریک
نیاز به بیوفیلتر	معمولاً نیاز ندارد (بستر خود بیوفیلتر است)	نیاز به بیوفیلتر جداگانه دارد	نیاز به بیوفیلتر جداگانه دارد
حذف پسماند جامد	نسبتاً خوب	نسبتاً خوب	نیاز به فیلتراسیون دقیق برای جلوگیری از انسداد
میزان اکسیژن‌رسانی به ریشه‌ها	متوسط	متوسط	بسیار خوب
مناسب برای کدام نوع گیاهان	سبزیجات و گیاهان با ریشه‌های بزرگ‌تر	سبزیجات برگ‌دار و سبک	سبزیجات کوچک با ریشه‌های کم
مشکلات احتمالی	گرفتگی بستر، کاهش اکسیژن در بلندمدت	نیاز به نگهداری دقیق کلک و سامانه تهویه	انسداد کانال‌ها توسط ریشه یا پسماند
هزینه ساخت و نگهداری	متوسط	نسبتاً بالا	بالا (به‌خصوص برای فیلتراسیون و پمپاژ)
کاربرد رایج	سامانه‌های خانگی و مزرعه‌های کوچک تا متوسط	مزارع تجاری متوسط تا بزرگ	مزارع تخصصی در فضاهای محدود

امروزه سازه‌های آکواپونیک در ابعاد مختلف طراحی می‌شوند؛ از نمونه‌های رومیزی گرفته تا مقیاس روستایی و حتی ساختارهای تجاری بزرگ، در حالی که مدل‌های سنتی بزرگ و غیرقابل تغییر بودند [۳۴]. این مسئله، انعطاف‌پذیری و کارکرد بالای سامانه‌ی آکواپونیک را نشان می‌دهد. اندازه‌ی سازه ارتباط مستقیمی با میزان ماهی پرورش‌یافته دارد؛ چرا که به ازای هر ۰/۵ کیلوگرم ماهی، می‌توان بین ۶/۸ تا ۱۱/۳ کیلوگرم سبزی تولید کرد. بنابراین، اندازه‌ی سامانه معمولاً باتوجه به منابع مالی موجود و هدف نهایی تعیین می‌شود [۳۵].

۶- مواد مغذی

تعداد مواد مغذی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های سامانه‌های آکواپونیک است. این موضوع به استفاده پایدار از نیتروژن و فسفر توسط سامانه پرورش آبزیان با چرخش آب به‌عنوان منبع مواد مغذی برای تولید گیاهان بستگی دارد. غلظت‌های مناسب مواد مغذی برای پرورش ماهی شامل نیترات‌ها (>۲۰ میلی‌گرم نیتروژن در لیتر) و فسفات‌ها (>۳ میلی‌گرم فسفر در لیتر) می‌باشد [۳۶].

برای رشد بهینه، گیاهان در سامانه‌های آکواپونیک به ۱۶ عنصر غذایی ضروری نیاز دارند. سه عنصر از درشت‌مغذی‌ها شامل کربن (C)، اکسیژن (O) و هیدروژن (H) از طریق آب (H₂O) و دی‌اکسید کربن (CO₂) تأمین می‌شوند. سایر عناصر ضروری در آب غنی از مواد مغذی موجود در سامانه تأمین می‌شوند. سایر درشت‌مغذی‌های ضروری عبارتند از: نیتروژن (N)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، فسفر (P) و گوگرد (S). همچنین، هفت عنصر ریزمغذی مورد نیاز شامل کلر (Cl)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، بور (B)، روی (Zn)، مس (Cu) و مولیبدن (Mo) هستند که غلظت آن‌ها باید به دقت متعادل شود [۳۷].



بیشتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان در خوراک ماهی موجود بوده و از این طریق در سامانه تأمین می‌شوند؛ با این حال، معمولاً پتاسیم و آهن به مقدار کافی در دسترس نبوده و نیاز به افزودن جداگانه دارند [۳۷ و ۳۸ و ۳۹]. سایر عناصر کلیدی که ممکن است به میزان ناکافی در سامانه‌های آکواپونیک وجود داشته باشند عبارتند از: فسفر، گوگرد، منگنز، بور و مولیبدن. افزایش بیش از حد غلظت یک عنصر می‌تواند بر قابلیت جذب سایر عناصر تأثیر منفی بگذارد. غلظت نیترات، کلسیم و سدیم به سرعت در سامانه افزایش می‌یابد و تنها تعویض آب می‌تواند از تجمع آنها جلوگیری کند [۳۷]. همچنین، حذف ناکافی مواد جامد می‌تواند موجب تجمع ترکیبات مزاحم و کاهش بیش از حد pH شود؛ شرایطی که می‌تواند منجر به کمبود عناصری همچون آهن، نیتروژن، فسفر، گوگرد، منیزیم، بور، مس و مولیبدن گردد [۲۵].

۷- مزایا و معایب

سامانه‌های آکواپونیک باعث کاهش ۹۰ درصدی مصرف آب در مقایسه با سامانه‌های معمولی ماهی و کشاورزی می‌شوند. در این سامانه، نیترات موجود در آب که توسط ماهی‌ها دفع می‌شود، توسط گیاهان جذب می‌شود و نیاز به تعویض مداوم آب کاهش می‌یابد. این موضوع موجب صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف آب و بهبود استفاده از منابع محدود می‌شود [۱۴]. سامانه آکواپونیک به دلیل گردش مداوم مواد مغذی از آب به گیاهان و از گیاهان به ماهی‌ها، باعث رشد سریع‌تر گیاهان و ماهی‌ها می‌شود. تحقیقاتی نشان داده است که عملکرد گیاهانی مانند کدو در سامانه آکواپونیک تقریباً ۵ تا ۱۱ برابر بیشتر از زمین‌های آبیاری شده و غیرآبیاری بوده است. همچنین، تولید ماهی‌ها نیز در این سامانه‌ها به طور چشمگیری بالاتر از سامانه‌های آکواپونیک معمولی و استاتیک بوده است [۴۰]. آکواپونیک به دلیل امکان کنترل دقیق شرایط محیطی (مثل دما، نور، و رطوبت) و استفاده از فضای کمتر (با طراحی کشت عمودی) به عنوان یک گزینه مناسب برای تولید غذا در مناطق با فضای محدود شناخته می‌شود. این ویژگی باعث می‌شود که سامانه آکواپونیک گزینه‌ای کاربردی برای مکان‌های شهری یا مکان‌هایی با محدودیت فضا باشد [۴۱].

سامانه‌های آکواپونیک پس از راه‌اندازی اولیه به طور خودکار به کار خود ادامه می‌دهند و تنها به ۳۰ دقیقه نظارت روزانه نیاز دارند. این کاهش نیاز به نیروی کار، به خصوص در مقایسه با کشاورزی سنتی که نیاز به کار فیزیکی زیادی دارد، مزیت بزرگی محسوب می‌شود. این نظارت عمدتاً به تغذیه ماهی‌ها و کنترل کیفیت آب محدود است [۴۲]. سامانه آکواپونیک برخلاف سامانه‌های کشاورزی سنتی که به ماشین‌آلات سنگین نیاز دارند، نیازی به خاک‌ورزی و تخریب ساختار خاک ندارد. این امر به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند. همچنین، استفاده از سامانه‌های هیدرولیکی برای تأمین انرژی (مانند سامانه‌های آبیاری عمودی) موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود [۴۳ و ۴۰].

در اکثر سامانه‌های آکواپونیک، گیاهان در محیط‌های بسته مانند گلخانه‌ها یا سایه‌بان‌ها نگهداری می‌شوند که باعث کاهش حضور آفات می‌شود. این کاهش آفات به گیاهان این امکان را می‌دهد که به بهترین شکل رشد کنند و در نتیجه عملکرد بالاتری داشته باشند. علاوه بر این، کاهش هزینه‌های مرتبط با خرید کود، سوخت ماشین‌آلات خاک‌ورزی، و جین علف‌ها و سایر هزینه‌های کشاورزی سنتی، این سامانه را از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌کند. تحقیقات نشان داده‌اند که کشاورزان آکواپونیک در سه سال اول استفاده از این سامانه، ۷۵-۳۰ درصد سود بیشتری نسبت به کشاورزی سنتی داشته‌اند [۱۲ و ۴۴]. سامانه آکواپونیک یک راه‌حل مناسب برای تولید غذا در مناطق شهری است، زیرا می‌توان آن را در فضاهای کوچک نیز پیاده‌سازی کرد. این سامانه به ویژه در مناطقی که با شرایط جوی نامساعد مواجه هستند (مثل مناطق خشک یا سرد) مناسب است. علاوه بر این، آکواپونیک می‌تواند به عنوان راه‌حلی برای کاهش درگیری‌های منابع بین کشاورزان و دامداران در کشورهای در حال توسعه، به ویژه در آفریقا، عمل کند. این سامانه امکان تولید همزمان ماهی و گیاهان در محیط‌های بسته را فراهم می‌آورد، که می‌تواند به کاهش تنش‌های موجود در استفاده از منابع آب و زمین کمک کند [۴۵ و ۴۶ و ۴۷].

یکی از چالش‌های اصلی سامانه آکواپونیک، سرمایه اولیه است. تحقیقات نشان داده است که برای بهره‌برداری تجاری از این سامانه در سال اول، حداقل ۱۰۰۰ متر مربع نیاز است. علاوه بر این، هزینه‌های بالا می‌تواند برای کشاورزان در کشورهای در حال



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

توسعه که ممکن است این سامانه را به عنوان منبع درآمد خود انتخاب کنند، مشکل ساز باشد. با این حال، استفاده از مواد محلی ارزان قیمت برای ساخت سامانه و همچنین تحقیق در مورد بازیافت پلاستیک می تواند هزینه های اولیه را کاهش دهد [۱۴ و ۴۰]. یکی دیگر از چالش ها، نیاز به انرژی برای راه اندازی سامانه است. سامانه های آکوپونیک به انرژی زیادی برای پمپ ها، تهویه، سنسورها و روشنایی نیاز دارند. در کشورهای در حال توسعه که تأمین انرژی ناپایدار است، این می تواند مشکل ساز باشد. برخی از مزارع آکوپونیک در این کشورها به دلیل هزینه های بالای انرژی نتوانسته اند در مقیاس تجاری به فعالیت خود ادامه دهند [۴۶]. بنابراین، برای کاهش هزینه های انرژی و بهبود سازگاری سامانه در این مناطق، نیاز به تحقیق بیشتر در خصوص منابع انرژی جایگزین و بهره وری انرژی وجود دارد.

در سامانه های آکوپونیک، برخی از مواد مغذی که گیاهان به آن نیاز دارند، به طور کافی از طریق تغذیه ماهی ها تأمین نمی شود. ماهی ها این مواد را به میزان مشابه گیاهان نیاز ندارند و به همین دلیل باید این مواد به سامانه اضافه شوند. به همین دلیل، برخی از علاقه مندان به آکوپونیک از مکمل های خانگی مانند خاکستر پوست موز یا نمک دریا برای تأمین برخی مواد مغذی استفاده می کنند. با این حال، این روش ها به طور علمی مستند نشده اند و نیاز به تحقیق بیشتری برای بهینه سازی عملکرد گیاهان بدون نیاز به این مکمل ها وجود دارد [۱۱ و ۱۴ و ۴۸]. یافتن نسبت بهینه گیاه به ماهی برای تولید مؤثر یکی از چالش های مطرح در سامانه آکوپونیک است. روش های مختلفی برای تعیین این نسبت ها وجود دارد، از جمله افزایش میزان تغذیه ماهی ها یا استفاده از مدل های ریاضی برای پیش بینی میزان غذای ماهی که برای تولید مقدار مشخصی از گیاهان نیاز است. با این حال، هنوز هیچ رویکرد واحدی برای تعیین نسبت مناسب در سامانه های آکوپونیک وجود ندارد و نیاز به تحقیقات بیشتر برای تعیین این نسبت به منظور بهینه سازی بهره وری و اقتصادی بودن سامانه ها احساس می شود [۴۰ و ۴۹ و ۵۰]. یکی از مشکلات دیگر در سامانه آکوپونیک، درمان بیماری ها و آفات است. اگرچه گیاهان در این سامانه ها معمولاً کمتر به آفات خاکی مبتلا می شوند، اما همچنان آفات و بیماری هایی وجود دارند که بر گیاهان تأثیر می گذارند. همچنین، در برخی از موارد، گیاهان ممکن است به آفات دیگری مانند شپشک ها دچار شوند. برای مقابله با این مشکلات، نیاز به توسعه گونه های مقاوم به بیماری ها و شناسایی عوامل بیولوژیکی کنترل آفات و بیماری ها وجود دارد. همین مشکل برای درمان بیماری های ماهی نیز وجود دارد، چرا که بیماری ها می توانند به سرعت در یک سامانه بسته منتشر شوند. استفاده از آنتی بیوتیک ها ممکن است به گسترش سویه های مقاوم منجر شود، بنابراین ضد عفونی کل سامانه پس از هر دوره تولید از اهمیت بالایی برخوردار است [۵۱ و ۵۲ و ۵۳].

۸- نتیجه گیری

آکوپونیک به عنوان یک سامانه نوین و ترکیبی، پتانسیل های فراوانی برای توسعه پایدار در زمینه کشاورزی و آبرزی پروری دارد. این سامانه با استفاده بهینه از منابع طبیعی، به ویژه منابع آبی، و در عین حال کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از استفاده گسترده از کودهای شیمیایی و آفت کش ها، راه حلی کارآمد برای چالش های جهانی مانند کمبود منابع آب، آلودگی محیط زیست و امنیت غذایی به شمار می آید. در چارچوب مدیریت سامانه های ترکیبی، آکوپونیک از مزایای فراوانی برخوردار است که از آن جمله می توان به تولید همزمان محصولات کشاورزی و آبرزی، استفاده کارآمد از منابع آب و خاک، و ایجاد چرخه های بسته انرژی اشاره کرد. همچنین این سامانه ها می توانند در مناطق شهری و همچنین در شرایط کم آب و اراضی کم بازده به عنوان یک راهکار مؤثر برای تأمین غذا و ایجاد اشتغال پایدار عمل کنند. با این حال، موفقیت پیاده سازی گسترده آکوپونیک بستگی به رفع چالش هایی نظیر بهینه سازی ترکیب گونه های گیاهی و آبرزی، مدیریت شرایط محیطی و اقتصادی، و تقویت دانش فنی در این حوزه دارد. در آینده، توسعه فناوری های نوین و انجام تحقیقات بیشتر در زمینه بهبود راندمان سامانه های آکوپونیک می تواند این الگو را به یک ابزار مؤثرتر در راستای تحقق توسعه پایدار تبدیل کند. در مجموع، آکوپونیک به عنوان یک فناوری نوآورانه، ظرفیت بالایی برای ایفای نقش در مقابله با بحران های زیست محیطی و توسعه پایدار در سطح جهانی دارد، اما نیازمند توجه ویژه به پژوهش های میان رشته ای، نوآوری در تکنولوژی ها و سیاست های حمایتی است تا به شکل مؤثری در سطوح مختلف مورد استفاده قرار گیرد.



مراجع

- [1] Islam, S. (2025). Agriculture, food security, and sustainability: A review. *Exploration of Foods and Foodomics*, 3, 101082.
- [2] Welcomme, R. L., Cowx, I. G., Coates, D., Béné, C., Funge-Smith, S., Halls, A., & Lorenzen, K. (2010). Inland capture fisheries. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2881–2896.
- [3] Duggan, D. E., & Kochen, M. (2016). Small in scale but big in potential: Opportunities and challenges for fisheries certification of Indonesian small-scale tuna fisheries. *Marine Policy*, 67, 30–39.
- [4] Obiero, K. O., Waidbacher, H., Nyawanda, B. O., Munguti, J. M., Manyala, J. O., & Kaunda-Arara, B. (2019). Predicting uptake of aquaculture technologies among smallholder fish farmers in Kenya. *Aquaculture International*, 27, 1689–1707.
- [5] Smit, B., Pilifosova, O., Burton, I., Challenger, B., Huq, S., Klein, R., Yohe, G., Adger, W. N., Downing, T., & Harvey, E. (2001). Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In J. J. McCarthy, O. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken, & K. S. White (Eds.), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 877–912). Cambridge University Press.
- [6] Zhang, L., Dabipi, I. K., & Brown, W. L. Jr. (2018). Internet of Things applications for agriculture. In *Internet of Things A to Z* (pp. 507–528). John Wiley & Sons.
- [7] Joshi, E., Agarwal, P., Sasode, D. S., Khambalkar, P., Bordoloi, P., Ginger, D., & Joshi, N. (2022). Aquaponics: An innovative sustainable food production farming system (pp. 72–78).
- [8] Vermeulen, T., & Kamstra, A. (2013). The need for systems design for robust aquaponic systems in the urban environment. *Acta Horticulturae*, 1004(1004), 71–77.
- [9] Baganz, G. F., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., & Kloas, W. (2022). The aquaponic principle—it is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 252–264.
- [10] Shabeer, M. S. (2016). Isolation and characterization of bacteria related to aquaponics for testing its bio potential. B.Tech Biotechnology thesis, National Institute of Technology, Calicut, 60 p.
- [11] Jones, S. (2002). Evolution of aquaponics. *Aquaponics Journal*, 24, 14–17.
- [12] Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Frederick, J. A., Li, X., & Semmens, K. (2014). An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS One*, 9(7), e102662.
- [13] Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67–74.
- [14] Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67–74.
- [15] Diver, S., & Rinehart, L. (2010). Aquaponics – Integration of hydroponics with aquaculture. *ATTRA*, 28, 1–28.
- [16] Villarroel, M., Junge, R., Komives, T., et al. (2016). Survey of aquaponics in Europe. *Water*, 8(10), 468.
- [17] Rakocy, J., Shultz, R., Bailey, D., et al. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae*, 648(648), 63–69.



- [18] Popma, T., & Masser, M. (1999). Tilapia: Life history and biology. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 283: United States Department of Agriculture.
- [19] Thorarinsdottir, R. (Ed.). (2015). Aquaponics guidelines. Reykjavik, Iceland: Haskolaprent, University of Iceland.
- [20] Licamele, J. (2009). Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system (Ph.D. thesis). Tucson, AZ: University of Arizona.
- [21] Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D., & Orozova, P. (2022). Aquaponic systems: Biological and technological parameters. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 36(1), 305–316.
- [22] Alderman, S. (2015). The practicality and sustainability of aquaponic agriculture versus traditional agriculture with emphasis on application in the Middle [thesis]. San Marcos, Texas.
- [23] Medina, M. (2014). Effect of aquafeed on productivity of red amaranth and on water quality under aquaponic cultivation [thesis]. Miami, FL: Florida International University.
- [24] Diver, S., & Rinehart, L. (2010). Aquaponics – Integration of hydroponics with aquaculture. *ATTRA*, 28, 1–28.
- [25] Rakocy, J., Shultz, R., Bailey, D., et al. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae*, 648(648), 63–69.
- [26] Silva, L., Escalante, E., Valdés-Lozano, D., et al. (2017). Evaluation of a semi-intensive aquaponics system, with and without bacterial biofilter in a tropical location. *Sustainability*, 9(4), 592.
- [27] Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539–550.
- [28] Liang, J. Y., & Chien, Y. H. (2013). Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia-water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 85, 693–700.
- [29] Engle, C. R. (2015). Economics of aquaponics. Oklahoma Cooperative Extension Service.
- [30] Cherif, M., Tirilly, Y., & Bélanger, R. R. (1997). Effect of oxygen concentration on plant growth, lipid peroxidation, and receptivity of tomato roots to pythium under hydroponic conditions. *European Journal of Plant Pathology*, 103, 255–264.
- [31] Nelson, B. R. L. (2008). Aquaponic equipment; the bio filter. *Aquaponics Journal*, 1(48), 22–23.
- [32] Oladimeji, A. S., Olufeagba, S. O., Ayuba, V. O., Solomon, S. G., & Okomoda, V. T. (2020). Effects of different hydroponics growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system. *Journal of King Saud University-Science*, 32, 60–66.
- [33] Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Liang, S., Wang, J., & Yan, R. (2016). Attempts to improve nitrogen utilization efficiency of aquaponics through nitrifies addition and filler gradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7), 6671–6679.
- [34] Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W. W., & Hassan, A. (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponics system. *Bioresource Technology*, 101(5), 1511–1517.
- [35] Nelson, R. L., & Pade, J. S. (2017). Methods of Aquaponics. Nelson and Pade, Inc. <http://aquaponicss.com/page/methods-of-aquaponicss> Accessed 7 June 2017.
- [36] Supajaruwong, S., Satanwat, P., Pungrasmi, W., et al. (2020). Design and function of a nitrogen and sediment removal system in a recirculating aquaculture system optimized for aquaponics. *Environmental Engineering Research*, 26(2), 190494–190490.



- [37] Rakocy, J., Masser, M., & Losordo, T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—Integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 454: United States Department of Agriculture.
- [38] Saha, S., Monroe, A., & Day, M. (2016). Growth, yield, plant quality, and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Science*, 61(2), 181–186.
- [39] Stathopoulou, P., Tsoumalakou, E., Levizou, E., et al. (2021). Iron and potassium fertilization improve rocket growth without affecting tilapia growth and histomorphology characteristics in aquaponics. *Applied Sciences*, 11(12), 5681.
- [40] Oladimeji, A. S., Okomoda, V. T., Olufeagba, S. O., Solomon, S. G., Abol-Munafi, A. B., Alabi, K. I., Ikhwanuddin, M., Martins, C. O., Umaru, J. A., & Hassan, A. (2020). Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Food Science and Nutrition*, 8, 2307–2315.
- [41] Al-Hafedh, Y. S., Alam, A., & Beltagi, M. S. (2008). Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39(4), 510–520.
- [42] Liang, J. Y., & Chien, Y. H. (2013). Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia-water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 85, 693–700.
- [43] Nandy, S. (2020). Food for Urban Resilience in India. https://cityfarmer.info/wp-content/uploads/2020/04/Food-for-Urban-Resilience-in-India_Somdeep-Nandy_2019-04-23-rev-3.pdf
- [44] Resh, H. M. (2008). *Hydroponic food production* (4th ed.). Woodbridge Press Publishing Company.
- [45] Sheikh, B. A. (2006). Hydroponics: Key to sustain agriculture in water-stressed and urban environments. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 22, 53–57.
- [46] Laidlaw, J., & Magee, L. (2014). Towards urban food sovereignty: The trials and tribulations of community-based aquaponics enterprises in Milwaukee and Melbourne. *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability*, 21, 573–590.
- [47] Udo, J. I., Ler, J. I., & Yemi, A. (2019). The deadliest conflict you've never heard of: Nigeria's cattle herders and farmers wage a resource war. *The Foreign Affairs Magazine/Newsletter*.
- [48] Ogah, S. I., Kamarudin, M. S., Nurul Amin, S. M., & Puteri Edaroyati, M. W. (2020). Biological filtration properties of selected herbs in an aquaponic system. *Aquaculture Research*, 51(5), 1771–1779.
- [49] Lennard, W., & Ward, J. (2019). A comparison of plant growth rates between an NFT hydroponic system and an NFT aquaponic system. *Horticulturae*, 5(2), 27.
- [50] Buzby, K. M., & Lin, L. S. (2014). Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*, 63, 39–44.
- [51] Wilson, G. (2005). Greenhouse aquaponics proves superior to inorganic hydroponics. *Aquaponics Journal*, 39(4), 14–17.
- [52] Okemwa, E. (2015). Effectiveness of aquaponic and hydroponic gardening to traditional gardening. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 2(12), 21–52.
- [53] Anupa, A., Okomoda, V. T., Iryani, M. T. M., Andriani, Y., Abd-Wahid, M. E., Tan, M. P., Danish-Daniel, M., Wong, L. L., Tengku-Muhammad, T. S., Mok, W. J., Sorgeloos, P., & Sung, Y. Y. (2021). *Pandanus tectorius* fruit extract promotes Hsp70 accumulation, immune-related



Darya Shilan Dez Co.
تولیدکننده تخصصی غذای آبزیان

همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

gene expression, and *Vibrio parahaemolyticus* tolerance in the white-leg shrimp *Penaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 109, 97–105.