CC BY

مقاله علمی – پژوهشی:

مطالعه کیفیت آب و عملکرد رشد ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در سیستم آکواپونیک با تراکم‌های مختلف گیاه کاهو (*Lactuca sativa*)

کاوس نظری[۱]، میگل تکلو[۲]، منصور شریفیان[۳]، سید پژمان حسینی شکرابی*[٤]

*hosseini.pezhman@yahoo.com

۱- بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲- گروه شیلات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

٤- مرکز تحقیقات ملی آبزیان آبهای شور، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بافق، ایران.

تاریخ دریافت: مرداد ۱٤۰۲ تاریخ پذیرش: مهر ۱٤۰۲

چکیده

سیستم آکواپونیک که ترکیبی از آبزی‌پروری بازگردشی و کشت هیدروپونیک گیاه هستند، منطبق با اهداف توسعه پایدار در صنعت آبزی‌پروری است. این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار آزمایشی و هر تیمار با سه تکرار انجام شد که شامل گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) در یک مخزن ۳۰۰ لیتری (بدون گیاه کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو (*Lactuca sativa*) در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد گیاه کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در متر مربع و ۳۰ عدد ماهی برای ۶۰ روز بود. میانگین وزنی بچه ماهیان (۱/۲۳± ۵۰/۱۸ گرم) و بوته کاهو (۱/۴۹ ±۱۰/۳۲ گرم) در شروع آزمایش در گروه‌های آزمایشی یکسان بود. میزان اکسیژن محلول در تمامی تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد (۱/۱۸±۷۶/ ۵ میلی گرم در لیتر) به طور معنی‌داری بیشتر و در تیمار A2 در بالاترین میزان (۱/۲۴±۶/۸۰ میلی گرم در لیتر) بود ($p<0/05$). در پایان آزمایش، میانگین جامدات معلق کل (۶۰/۸۴±۸/ ۱۲۴۵ میلی‌گرم در لیتر)، قلیائیت (۱۵/۷ ± ۱۳۳/۶۴ میلی‌گرم در لیتر)، نیتریت (۰/۰±۱۸/۰۴ میلی‌گرم در لیتر) و نیترات (۲/۱۵±۶۲/۴۰ میلی‌گرم در لیتر) در گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($p<0/05$) و در تیمار A2 کمترین مقادیر دیده شد. اختلاف آماری معنی‌داری در خصوص عملکرد رشد و تغذیه ماهیان بین تیمارهای آزمایشی با گروه شاهد وجود نداشت ($p>0/05$). این درحالی بود که طول و وزن نهایی بوته و نرخ رشد نسبی کاهو تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد نشان داد ($p<0/05$) و بیشترین میزان شاخص‌های مذکور در تیمار A4 ثبت شد. در مجموع، نتایج این آزمایش نشان داد که درسیستم آکواپونیک حاوی ماهی کپور با تراکم ۱۰۰ عدد در متر مکعب و تراکم ۳۰ بوته کاهو در مترمربع، منجر به بهبود بهره‌وری تولید ماهی کپور و کاهو همراه با کیفیت مناسب آب می‌گردد.

لغات کلیدی: آکواپونیک، کپور معمولی، کاهو، کیفیت آب، رشد

*نویسنده مسئول

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

مقدمه

توسعه تولید غذا از طریق سیستم‌های سنتی کشاورزی و آبزی‌پروری با موانعی متعددی مواجه است که می‌توان به نیاز به آب فراوان و محدودیت دسترسی به منابع آب شیرین، تغییرات آب و هوایی (Alobaidy *et al.*, 2010; Joyce *et al.*2019)، کمبود اراضی مناسب، آلودگی زیست محیطی ناشی از پساب آبزی‌پروری (Badiola *et al.*, 2012)، استفاده از کودهای مصنوعی و آفت‌کش‌ها، آلودگی و تخریب زمین‌های قابل کشت (Goddek *et al.*, 2019)، شیوع بیماری‌ها و مشکلات تغذیه‌ای (Sinyakov *et al.*, 2002) اشاره کرد. تقاضای فزاینده برای غذا، منجر به تحقیق در مورد سیستم‌های کشاورزی و آبزی پروری جدید و سازگار با محیط زیست شده است (Rakocy *et al.*, 2006; Goddek *et al.*, 2019; Kasozi *et al.*, 2021). امروزه استفاده از سیستم‌های پرورشی منطبق بر توسعه پایدار در سطح جهان مورد توجه قرارگرفته است. سیستم اکواپونیک یکی از روش‌های نوین در جهت نیل به اهداف توسعه پایدار صنعت آبزی‌پروری است. آکواپونیک تلفیق آبزی‌پروری با کشت گیاهان بدون خاک (هیدروپونیک) در سیستم‌های مداربسته است (Maucieri *et al.*, 2019). در این روش یک شبکه همزیستی میان گیاهان و آبزیان شکل می‌گیرد که وجود هر یک برای حیات دیگری ضروری است (Fabula *et al.*, 2023).

در سیستم‌های مداربسته آکواپونیک، آب مخازن پرورش ماهی که عمدتاً شامل ترکیبات نیتروژن دار دفعی از قبیل آمونیاک و سایر ترکیبات غیر نیتروژنی مثل فسفر، مواد جامد و غذاهای خورده نشده است (Lekang, 2013; Zhou *et al.*, 2011)، وارد مخازن کشت گیاه شده و به‌وسیله گیاه این مواد جذب و از آب حذف شده که در نهایت منجر به تصفیه و بهبود کیفیت آب و در نهایت افزایش راندمان تولید می‌شود (Zou *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2018). در این روش تولید، هیچ‌گونه سموم دفع آفات، کودهای شیمیایی و آنتی‌بیوتیک استفاده نمی‌گردد (Yavuzcan *et al.*, 2017). از سوی دیگر، استفاده بهینه از آب و در نهایت افزایش بهره‌وری را به‌دنبال دارد (Nelson and Pade, 2008). انواع زیادی از گیاهان در سیستم آکواپونیک پرورش می‌یابند که در این بین کاهو (*Lactuca sativa*) به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان برگ‌دار از نظر ارزش محصول شناخته می‌شود (Sapkota *et al.*, 2019). کشت کاهو به روش بدون خاک (هیدروپونیک)، به دلیل سرعت بالای رشد و کوتاه بودن طول دوره رشد (حدود ۴-۳ هفته)، عدم انباشت مواد شیمیایی (نیترات) و آلودگی میکروبی، مشکلات کمتر در برابر آفت و بیماری و قیمت مناسب در بازار، نتایج مطلوبی داشته و گزینه مناسبی برای این سیستم پرورش است. در بین آبزیان پرورشی، ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) دارای ارزش اقتصادی بالا، قیمت مناسب و بازار پسندی مطلوب است. از سویی، به دلیل تحمل بالای تراکم ذخیره‌سازی و مقاومت در برابر استرس (Adineh *et al.*, 2019)، حساسیت کمتر در برابر تغییرات کیفیت آب و کمبود اکسیژن، گزینه مناسبی در سیستم‌های آکواپونیک محسوب می‌شود. تحقیقات مختلفی در رابطه با تراکم‌های مختلف گیاهان در سیستم آکواپونیک انجام شده است از جمله، Makhdom و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تراکم‌های مختلف گیاه گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum*) و ماهی گورامی مرواریدی (*Trichogaster leerii*) در سیستم اکواپونیک پرداختند و نتایج بررسی آنها نشان داد که تراکم بالاتر گیاه سبب بهبود پارامترهای کیفی آب و افزایش رشد ماهی گورامی شد. مطالعه Babmann و همکاران (۲۰۲۰) در پرورش گربه ماهی افریقایی (*Clarias gariepinus*) و تراکم‌های مختلف گیاه ریحان (*Ocimum basilica*) حاکی از اثرات مثبت شاخص‌های رشد و کاهش استرس ماهی در تراکم بالاتر گیاه ریحان بود. Hossaina و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تراکم‌های مختلف گیاه اسفناج هندی (*Basella alba*) و ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) پرداختند و بیان کردند که تولید گیاه اسفناج و عملکرد رشد ماهی در بالاترین تراکم گیاه به‌دست آمد. همچنین Manuchehri و همکاران (۲۰۱۰) با کشت کاهو کیفیت آب مخزن ماهی اسکار (*Asteronotus ocellatus*) را بررسی نموده و بیان کردند که پرورش توأم ماهی با گیاه کاهو (به عنوان فیلترزیستی)، سبب بهبود کیفیت آب مخازن ماهی می‌شود. Roosta و Arabpour (۲۰۱۳) کشت هیدروپونیک و

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

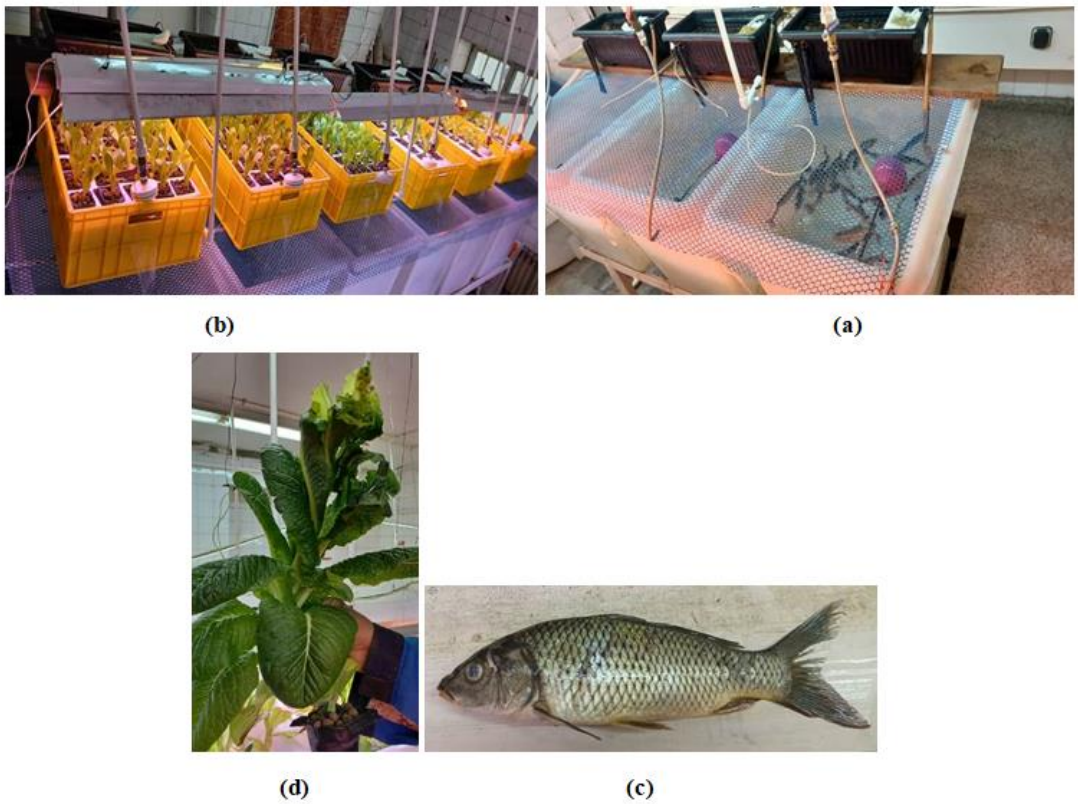
آکواپونیک ریحان سبز و بنفش را همراه با ماهی کپور با یکدیگر مقایسه کردند. Sikawa و Yakupitiyage (۲۰۱۰) تولید کاهو را در سیستم هیدروپونیک را با استفاده از پساب حوضچه گربه ماهی هیبرید (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) بررسی کردند و نتایج حاکی از این بود که در سیستم کشت کاهو با استفاده از پساب حوضچه گربه ماهی هیبرید، میزان نیترات به طور قابل‌توجهی کاهش یافت.

تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تراکم‌های مختلف گیاه کاهو (۱۰ و ۳۰ عدد) در سیستم آکواپونیک بسته همراه با ماهی کپور معمولی در ایران انجام نشده است و مطالعه حاضر به مقایسه کشت کاهو در تراکم‌های مختلف به روش آکواپونیک با ماهی کپور می‌پردازد. هدف از اجرای این پروژه، بررسی اثر پرورش توأم ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) و تراکم‌های مختلف کاهو (*L. sativa*) بر عملکرد رشد ماهی و عوامل محیطی در یک سیستم مداربسته آکواپونیک بود.

مواد و روش کار

طراحی و آماده‌سازی سیستم آکواپونیک

این پروژه به مدت ۶۰ روز در یکی از واحدهای آزمایشگاهی با اتاق مسقف واقع در ایستگاه تحقیقاتی خجیر به مساحت ۳۰ متر مربع با تامین شرایط محیطی لازم صورت پذیرفت. جهت انجام این پروژه تحقیقاتی، ۱۵ مخزن مستطیلی شکل از جنس پلی‌اتیلن برای پرورش ماهی با ظرفیت ۳۰۰ لیتر آب، ۶ مخزن پرورش گیاه به حجم ۶۰ لیتر و ۶ فیلتر بیولوژیک شامل گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد ۲۰×۲۵× ۵۵ و دارای سرامیک و بیوبال در بالای تانک‌های پرورشی قرار داده شد و از طریق یک پمپ، آب مخازن پرورش ماهی وارد فیلتر مکانیکی-بیولوژیکی شده سپس وارد مخزن پرورش گیاه شده و آب تصفیه شده دوباره به مخازن پرورش ماهی وارد شد (شکل ۱).



شکل ۱: نمایی از واحدهای سیستم آکواپونیک با بستر شناور کاهو و کپور معمولی. a: مخازن پرورش ماهی و فیلتر، b: مخازن رشد گیاه و همچنین محصولات نهایی (d: ماهی کپور معمولی و d: کاهو) پس از ۶۰ روز

Figure 1: A view of the floating bed aquaponic system unit. a: fish and filter tanks, b: plant tanks, and also, the final products (d: common carp and d: lettuce) for 60 days

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

جهت طراحی سیستم آکواپونیک، در مقالات نسبت‌های متنوعی استفاده شده و استاندارد خاصی وجود ندارد، اما در این مطالعه از نسبت ۵ به ۱ استفاده شد. سیستم پرورشی به طور مداوم با دو سنگ هوای مدور (۳ لیتر در دقیقه) در طول آزمایش هوادهی می‌شدند. با توجه به نوع سیستم آکواپونیک بستر شناور[1] روی هر مخزن گیاه، یک صفحه یونولیتی قرار داشت و هر صفحه براساس تراکم گیاه، دارای ۱۰ و ۳۰ حفره جهت قرار گرفتن گلدان‌های کشت کاهو بود. هر گلدان کشت کاهو واجد ۳۰ درصد کوکوپیت، ۱۵ درصد ماسه بادی و ۵۵ درصد پرلیت (Salamroodi *et al.*, 2020) بود. ۳ سانتی‌متر از انتهای هر گلدان درون آب مخزن کوچک تر قرار داشت. در طول دوره پرورش تعویض آبی در هیچ‌یک از مخازن صورت نگرفت (فقط ده لیتر آب هم دما به صورت هفتگی برای جبران تبخیر به سیستم اضافه شد. شایان ذکر است، در طول اجرای آزمایش شاخص‌های کیفی تماماً در محدوده مناسب برای پرورش کاهو و ماهی کپور در سیستم آکواپونیک بودند، دمای هوا سالن پرورش آکواپونیک به طور میانگین در محدوده ۲۵-۲۱ درجه سانتی‌گراد و دمای آب در محدوده ۲۵-۱۹ درجه سانتی‌گراد، اکسیژن محلول ۵-۸ میلی‌گرم برلیتر، اسیدیته ۶-۹ (Rakocy *et al.*, 2004)، نیتریت (کمتر ۰/۱۰ میلی‌گرم در لیتر) (Harmon, 2001)، نیترات کمتر از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (Colt and Tchobanoglous, 1976) بود.

شرایط روشنایی گیاه براساس توصیه شرکت سازنده لامپ‌های گلخانه‌ای براساس فضای زیر کشت تنظیم شد به‌طوری‌که لامپ‌های ۵۴ وات مهتابی لوله‌ای مخصوص رشد گیاه (مدل vivosun 6500k T5 HO، شرکت لامپ نور، ایران) و شدت روشنایی ۱۵۰۰۰ لوکس در بالای بسترهای پرورش در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری از گیاهان قرار گرفت. دوره نوری به صورت ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی تنظیم شد.

تیمارهای آزمایشی و ترکیب غذا

تیمارهای آزمایشی مورد استفاده ۵ گروه شامل تراکم‌های مختلف بوته کاهو (۱۰ و ۳۰ عدد در هر متر مربع) در حضور و فقدان بچه‌ماهیان کپور معمولی (*C. carpio*) در نظر گرفته شد و به‌ترتیب شامل: تیمار شاهد با تراکم ۳۰ عدد ماهی کپور در مخزن با حجم آبگیری مفید ۳۰۰ لیتر معادل ۱۰۰ عدد ماهی در مترمکعب (بدون گیاه کاهو)، تیمار A1 با تراکم ۱۰ عدد کاهو (*L. sativa*) در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2 با تراکم ۳۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3 با تراکم ۱۰ عدد کاهو در متر مربع و ۳۰ عدد ماهی در در مخزن (تراکم ۱۰۰ عدد ماهی در مترمکعب)، تیمار A4 با تراکم ۳۰ عدد کاهو در متر مربع و ۳۰ عدد ماهی بود. هر تیمار شامل ۳ تکرار بود. بچه ماهیان با میانگین وزنی ۱/۲۳± ۵۰/۱۸ گرم از یک مرکز خصوصی تکثیر و پرورش ماهی در استان گیلان و نشاء کاهو با میانگین وزنی ۱/۴۹ ±۱۰/۳۲ گرم و طول اولیه ۱/۶۶±۷/۱۱ سانتیمتر از گلخانه تولید کاهو در ورامین تهیه و به‌صورت تصادفی در تیمارها معرفی شدند. غذادهی به بچه ماهیان با استفاده از خوراک تجاری پلت مناسب ماهی کپور معمولی با وزن ۱۰۰-۵۰ گرم (۳۵ درصد پروتئین خام، ۸ درصد چربی خام، ۵ درصد فیبر خام، ۳۵۰۰ کیلوگرم برکیلوکالری انرژی خام، خاکستر ۱۰ درصد و رطوبت کمتر از ۱۰ درصد)، به صورت روزانه در سه نوبت (۷:۳۰، ۱۴:۳۰، و ۱۷:۳۰) انجام شد. میزان غذای دریافتی معادل ۴-۲ درصد وزن بدن با توجه به درجه حرارت آب و وزن بچه‌ماهیان بر اساس اشتها ظاهری ماهیان انجام شد (Somerville *et al.*, 2014). محلول کود رشد مخصوص کاهو و سبزیجات برگی در شرایط هیدروپونیک از شرکت عمود کشت محنا (استان البرز) تهیه شد و آنالیز آن بر حسب درصد شامل ازت (۷/۱۲)، فسفر (۲/۲۹)، پتاسیم (۱۵/۵۳)، گوگرد (۲/۳۸)، کلسیم (۶/۱۱)، آهن (۰/۰۲۹)، منیزیم (۱/۸۲)، منگنز (۰/۰۱۴)، بور (۰/۰۱۲)، مولیبدن (۰/۰۰۲)، روی (۰/۰۱) و مس (۰/۰۰۲) بود و شامل ۲ عدد گالن دو لیتری کود مایع غلیظ A و B بوده که برای تهیه حدود ۸۰۰ لیتر محلول غذایی آماده مصرف مناسب بوده و برای تهیه محلول آماده مصرف، مقادیر مساوی از استوک غلیظ A و B را در آب حل نموده و در سیستم‌های فاقد ماهی به مخزن گیاهان اضافه شد. شایان ذکر است، طبق دستورالعمل شرکت سازنده کل محلول غذایی مصرفی باید

[1] Floating raft system

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

هر یک تا دو هفته یکبار با محلول غذایی جدید تعویض می‌شد. در سیستم‌های واجد ماهی (آکواپونیک)، از کود استفاده نشد (Manuchehri *et al.*, 2010).

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب

سنجش میزان اکسیژن محلول (DO)، شوری، قلیائیت، جامدات کل معلق (TSS)، سختی و اسیدیته در مخازن پرورشی هر ۱۵ روز یکبار به‌وسیله دستگاه پرتابل چندکاره Hanna (مدل HI2550، ساخت کشورآمریکا) انجام شد. دما به صورت روزانه بعد از هر وعده غذایی به‌وسیله دماسنج جیوه‌ای با دقت ۰/۱ درجه اندازه‌گیری شد. میزان نیتریت (NO_2)، نیترات (NO_3) هر ۱۵ روز یک بار بر اساس روش‌های استاندارد با استفاده از روش‌های اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین میزان نیترات و نیتریت به طور همزمان از روش احیاء کادمیوم استفاده شد. در این روش، نیترات در حضور کادمیوم تقریباً به طور کمی به نیتریت کاهش می‌یابد. نیتریت تولیدی با دیازوتیزاسیون به‌وسیله سولفانیل آمید و جفت شدن با ان-۱-نفتیل اتیلن دی‌آمین دی‌هیدروکلرید (N-1-naphthyl-ethylenediamine dihydrochloride) برای تشکیل رنگ و سنجش آن استفاده شد. در طول تعیین میزان نیترات به ۵۰ میلی‌لیتر نمونه آب استاندارد و بلانک، ۱ میلی‌لیتر آمونیوم کلرید غلیظ اضافه شد و به ستون کادمیوم ریخته شده و جمع‌آوری شد. برای ایجاد رنگ ۰/۵ میلی‌لیتر محلول سولفانیل آمید و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اِن-۱-نفتیل اتیلن دی آمین دی هیدروکلرید به هر یک از نمونه‌های آب با استاندارد نیترات اضافه شد و پس از ۱۰ دقیقه جذب رنگ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۳ نانومتر ثبت شد. غلظت‌ها بر اساس منحنی استاندارد جذب رنگ و غلظت استاندارد نیترات اندازه گیری‌شد. به طور مشابه، میزان نیتریت نیز با همین روش البته با حذف مرحله ستون کادمیوم تعیین شد (Eaton and Franson, 2005).

اندازه‌گیری پارامترهای رشد ماهی کپور

عملیات زیست‌سنجی در روز ابتدا و انتهای آزمایش انجام شد. برای این منظور تمامی بچه ماهیان موجود در هر مخزن به‌وسیله عصاره گل میخک (۱۵۰ میلی‌گرم درلیتر) بیهوش شدند. وزن و طول آنها به‌ترتیب با ترازوی دیجیتال (AND مدل EK200I) با دقت ۰/۰۱ گرم و تخته زیست‌سنجی با دقت ۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. بر اساس داده‌های جمع آوری شده در طول اجرای پژوهش و روابط ذیل پارامترهای مربوطه محاسبه شد (Sotoudeh *et al.*, 2011):

میانگین وزن ابتدای دوره (گرم)- میانگین وزن انتهای دوره (گرم) = افزایش وزن بدن (گرم)

کل روزهای آزمایش/ [ln وزن اولیه (گرم)- ln وزن نهایی (گرم)] ×۱۰۰= نرخ رشد ویژه (درصد/ روز)

افزایش وزن بدن (گرم)/ مقدار غذای خورده شده (گرم) = ضریب تبدیل غذایی

(تعداد ماهیان در ابتدای آزمایش / تعداد ماهیان در انتهای آزمایش) ×۱۰۰ = بقاء (درصد)

اندازه‌گیری پارامترهای رشد گیاه کاهو

در ابتدای آزمایش و پس از گذشت دوره آزمایش (۶۰ روز) به منظور تعیین وضعیت رشد گیاه کاهو طول بوته، طول برگ و عرض برگ با استفاده از خط کش میلی‌متری بررسی شد. وزن بخش هوایی بوته‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. بدین منظور، تعیین تمامی گلدان‌ها از آب خارج شدند، محتویات آنها با دقت تخلیه شده و به‌وسیله آبشویی به شکل بسیار آرام و با احتیاط کامل (بدون ضربه و آسیب) بوته کاهو شستشو شد. همچنین در طول آزمایش برگ‌ها پس از تشکیل، جداسازی شده و طول و عرض دقیق آنها به‌وسیله کولیس دیجیتال مورد سنجش قرار گرفت (Salamroodi *et al.*, 2020). قسمت قابل آب‌بندی هر بوته کاهو (قسمت برگ‌دار بدون ریشه) برای تعیین وزن نهایی گیاه توزین شد با استفاده از معادله ذیل نرخ رشد نسبی کاهو محاسبه شد (Dediu *et al.*, 2012):

روزهای آزمایش/ [(وزن اولیه گیاه/ وزن نهایی گیاه)] ln = نرخ رشد نسبی (گرم/روز)

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

روش تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

این تحقیق در قالب طرح کاملا تصادفی برنامه‌ریزی و اجرا گردید. داده‌های به‌دست‌آمده ابتدا در نرم افزار Excel-2013 مرتب شده و با نرم‌افزار SPSS-17 مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند پراکنش نرمال داده‌ها (پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب، شاخص‌های رشد ماهی و شاخص‌های رشد کاهو) با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov انجام شد. در اصل، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مشخص می‌کند که آیا توزیع داده‌ها از توزیع نرمال یا طبیعی پیروی می‌کنند یا خیر. زیرا شرط اصلی برای انواع آزمون‌های پارامتریک توزیع نرمال داده‌هاست. برای بررسی اثرات کشت تلفیقی کاهو و ماهی کپور معمولی بر عملکرد رشد و کیفیت آب در سیستم آکواپونیک بین تیمارهای آزمایشی از آزمون‌های آماری پارامتریک آنالیز واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) و آزمون دانکن (Duncan) در سطح خطای ۰/۰۵ درصد استفاده شد. نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار ارائه شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel-2018 استفاده شد.

نتایج

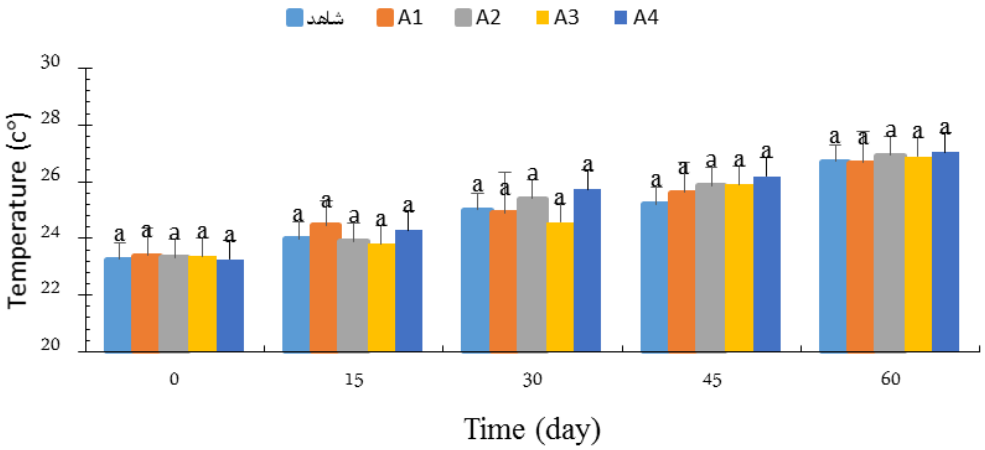
پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب

نتایج به‌دست آمده از مقایسه تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی مختلف آب مخزن پرورش ماهیان کپور معمولی در تیمارهای مختلف با آنالیز واریانس یکطرفه و طبق آزمون دانکن در طول دوره پرورش (۶۰ روز) در شکل‌های ۲ تا ۹ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست آمده از تغییرات دما، اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی در طول دوره آزمایش مشاهده نشد و در محدوده (۲۵-۱۹ درجه سانتی‌گراد) ($p>0/05$؛ شکل ۲). بود شوری در محدوده (۰/۰۲±۱/۱۵- ۰/۰۶±۱/۰۵ گرم بر لیتر)، (شکل ۳؛ $p>0/05$) قرار داشت. میزان اکسیژن محلول گروه شاهد (۷۶/۱۸±۱/ ۵ میلی گرم/ لیتر) و در تیمار A2 (۸۰/۲۴±۶/۱ میلی گرم/ لیتر)، (شکل ۴) جامدات کل معلق در تیمار شاهد (۸/۸۴±۱۲۴۵/۶۰ میلی‌گرم در لیتر) و (۶/۵±۱۰۶۹/۴۳ میلی‌گرم در لیتر) در تیمار A4 (شکل ۵)، میزان pH در تیمار شاهد (۰/۳۲±۷/۲۴) و در تیمار A3، (۰/۳۱±۶/۴۷) (شکل ۶) و میزان قلیائیت در تیمار A2 (۱۷/۱ ± ۸۵/۸۳ میلی‌گرم بر لیتر) و در گروه شاهد (۱۵/۷ ± ۱۳۳/۶۴ میلی‌گرم در لیتر) ثبت شد (۷ شکل). نیتریت (۰/۰±۱۸/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر) در گروه شاهد ($p<0/05$) و در تیمار A2 (۰/۰±۰۷۶/۰۹ میلی‌گرم بر لیتر) بود (شکل ۸). مقدار نیترات (۲/۱۵±۶۲/۴۰ میلی‌گرم در لیتر) در گروه شاهد و در تیمار A2 (۱/۷۰±۴۰/۹۶ میلی‌گرم در لیتر) ثبت شد (شکل ۹).

میزان اکسیژن محلول گروه شاهد در روزهای ۶۰-۳۰ آزمایش به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($p<0/05$). بیشترین میزان اکسیژن محلول در روز صفر در تیمار A2 بود. در روز ۶۰ آزمایش کمترین میزان اکسیژن محلول در گروه شاهد (۱/۱۸±۷۶/ ۵ میلی گرم/ لیتر) و بیشترین میزان در تیمار A2 (۸۰/۲۴±۶/۱ میلی گرم/ لیتر) اندازه‌گیری شد ($p<0/05$)، هرچند اختلاف معنی‌داری با تیمار (A1) (۴/۳۸±۶/۶۳ میلی گرم/ لیتر) نداشت (شکل ۴؛ $p>0/05$). میزان جامدات کل معلق با افزایش طول دوره طی روزهای ۶۰-۱۵ روند صعودی داشت و بیشترین میزان آن در روز ۶۰ آزمایش در گروه شاهد (۸/۸۴±۱۲۴۵/۶۰ میلی‌گرم در لیتر) نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی بود (شکل ۴؛ $p<0/05$). در روز ۶۰ آزمایش در تیمارهای دارای کاهو و ماهی با افزایش تراکم کاهو از ۱۰ عدد تیمار (A3) (۸/۱۶±۱۱۵۰/۶۲ میلی‌گرم در لیتر) به ۳۰ عدد در تیمار A4 (۶/۵±۱۰۶۹/۴۳ میلی‌گرم در لیتر) در مترمربع کاهش معنی‌داری در میزان جامدات کل معلق رخ داد (شکل ۵؛ $p<0/05$).

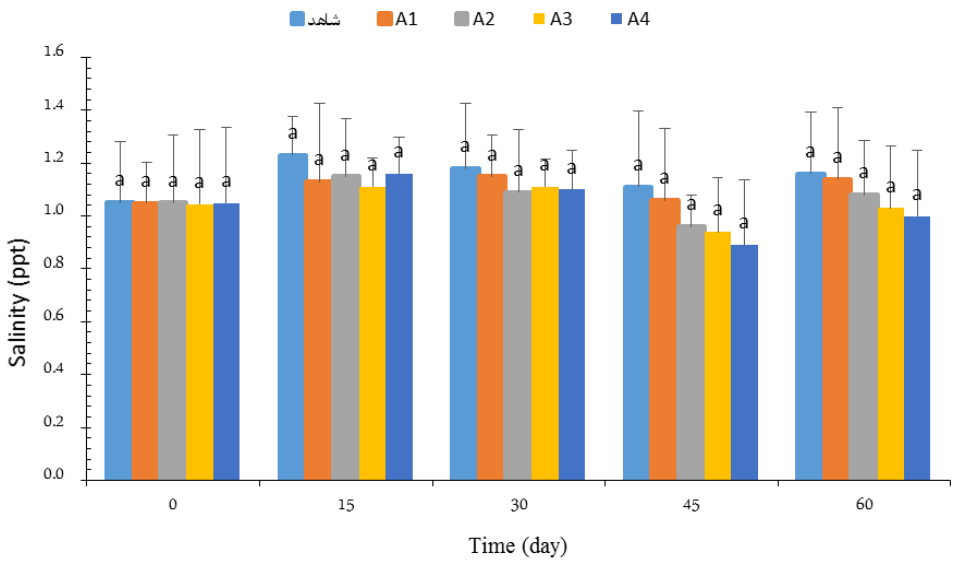
با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۶، میزان pH بین تیمارهای ازمایشی در روز ۰ و ۱۵ اختلاف معنی‌داری نداشت ($p>0/05$) درحالی‌که در روز ۳۰ آزمایش میزان pH در تیمارهای A2 و A4 به شکل معنی‌داری از گروه شاهد و سایر گروه‌ها کمتر بود ($p<0/05$). در روز ۴۵ نیز کاهش معنی‌داری در تمیارهای A1، A2 و A4 نسب به گروه شاهد وجود داشت ($p<0/05$). در روز ۶۰ آزمایش بیشترین میزان pH در تیمار شاهد (۰/۳۲±۷/۲۴) و کمترین در تیمار A3، (۰/۳۱±۶/۴۷) به‌دست آمد.

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]



شکل ۲: مقایسه تغییرات دما آب مخزن پرورش ماهی کپور معمولی تیمارهای مختلف در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد گیاه کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی

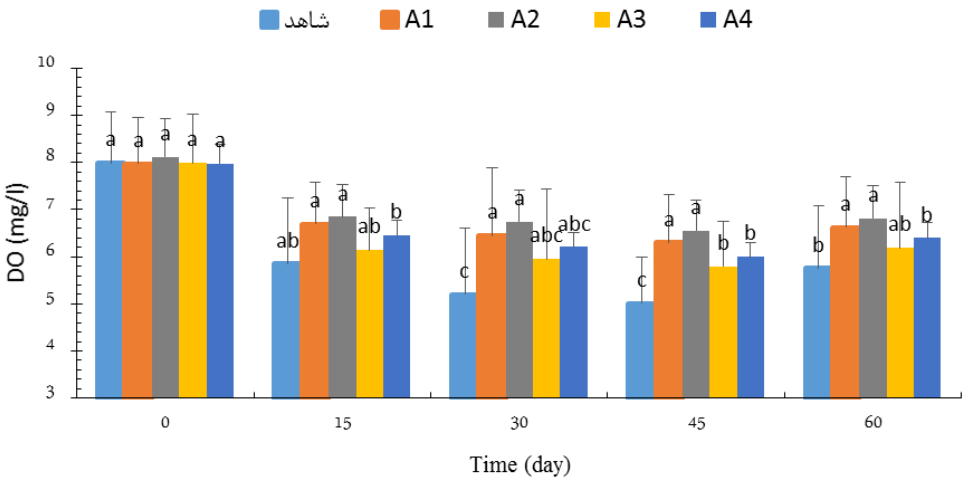
Figure 1: Comparison of water temperature changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m^2 and 30 fish



شکل ۳: مقایسه تغییرات شوری مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای آزمایش در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی

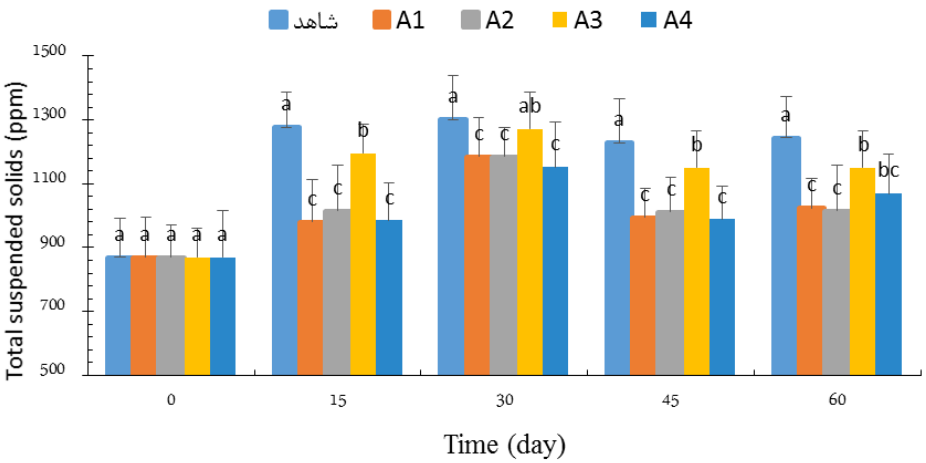
Figure 3: Comparison of water salinity changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m^2 and 30 fish

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]



شکل ۴: مقایسه تغییرات اکسیژن محلول (DO) مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای مختلف در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی

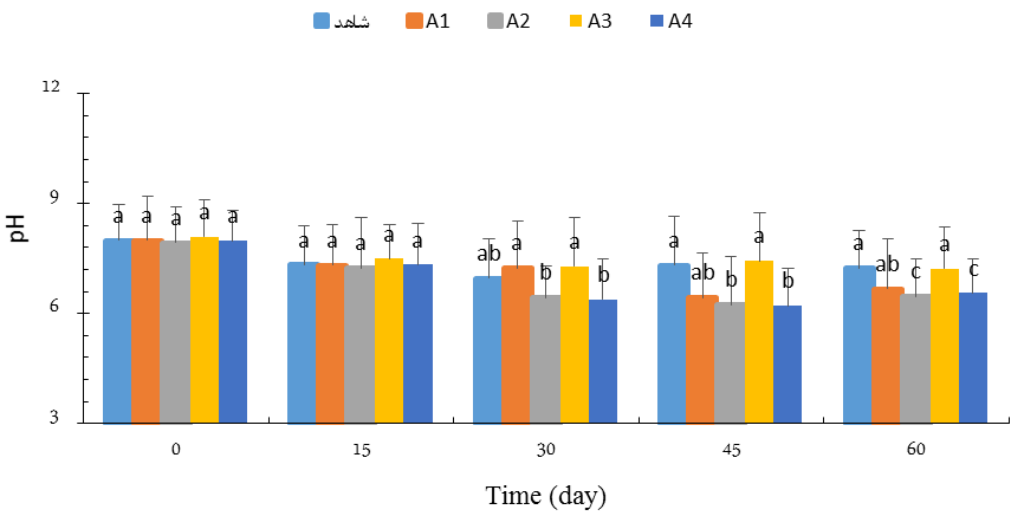
Figure 4: Comparison of water dissolved oxygen (DO) changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m^2 and 30 fish



شکل ۵: مقایسه تغییرات جامدات معلق کل مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای مخلف در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی

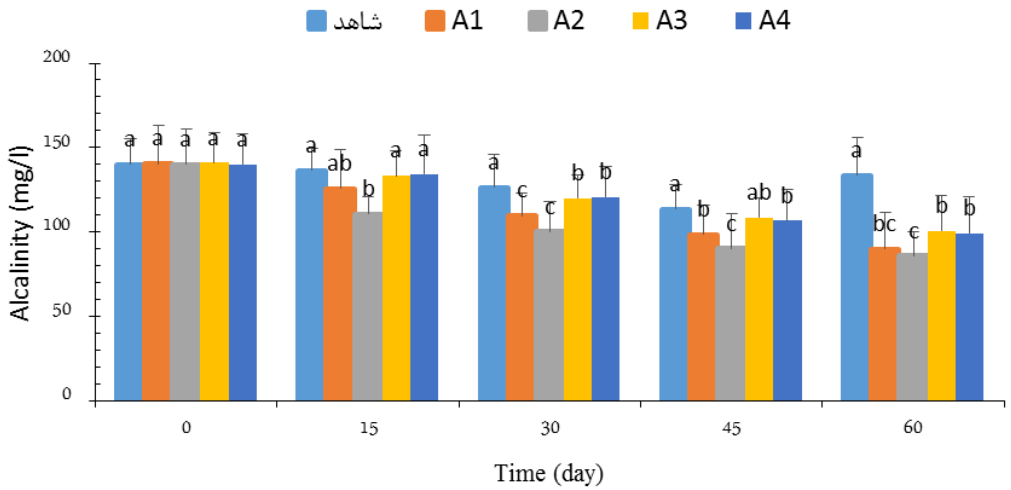
Figure 5: Comparison of water total suspended solids changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m^2 and 30 fish

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]



شکل ۶: مقایسه تغییرات pH مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای آزمایش در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی

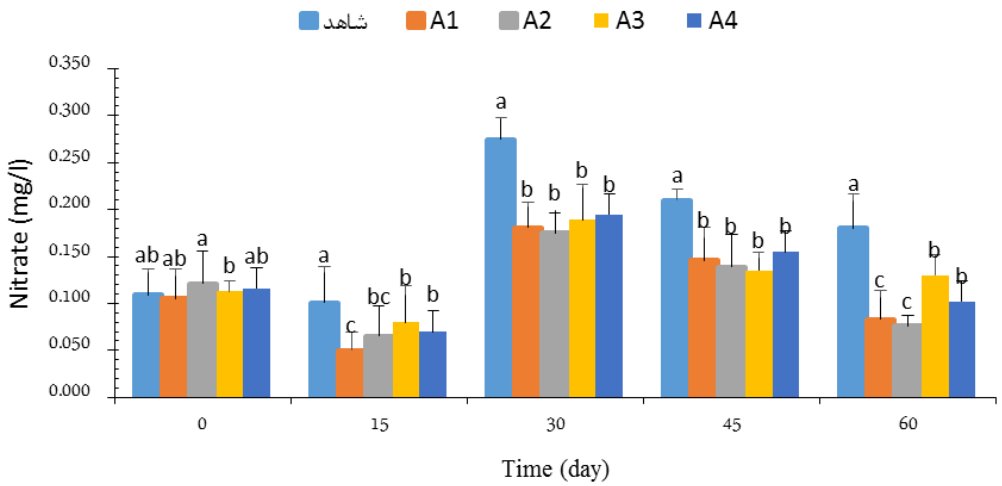
Figure 6: Comparison of water pH changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m^2 and 30 fish



شکل ۷: مقایسه تغییرات قلیائیت مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای آزمایش در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی

Figure 7: Comparison of water alcalinity changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m^2 and 30 fish

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

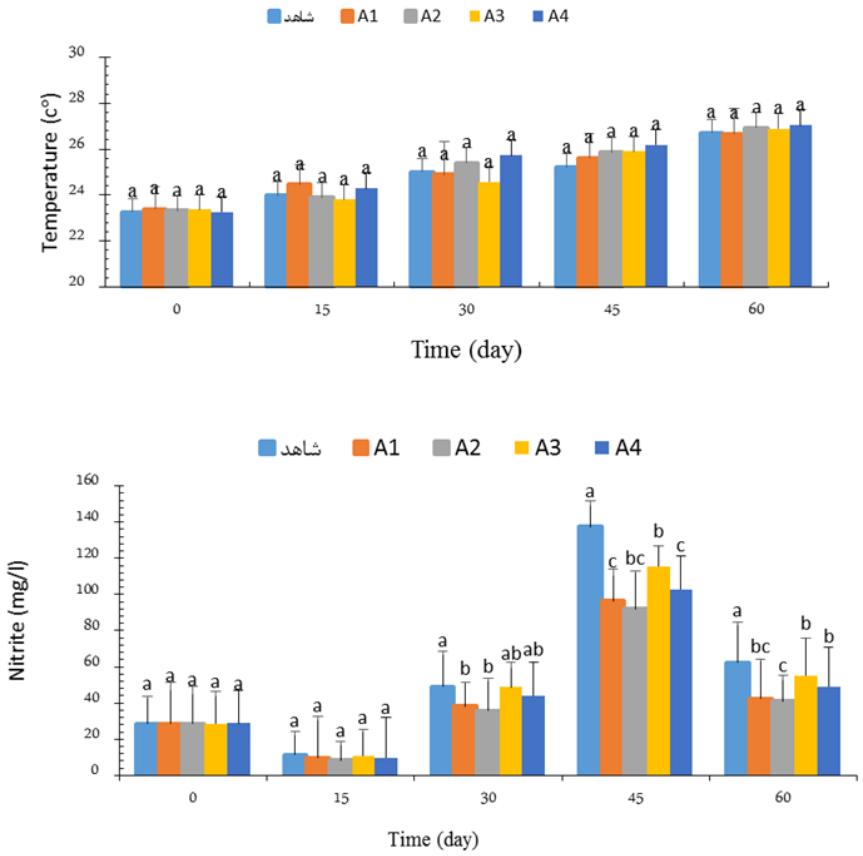


شکل ۸: مقایسه تغییرات نیتریت مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای آزمایش در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی

Figure 8: Comparison of water nitrite changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m^2 and 30 fish

میزان قلیائیت طی روزهای ۶۰-۱۵ آزمایش در تیمارهای A1 و A2 به شکل معنی‌داری کمتر از گروه شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی بود (شکل ۷؛ $p<۰/۰۵$). در روز ۶۰ آزمایش کمترین میزان قلیائیت در تیمار A2 (۱۷/۱ ± ۸۵/۸۳ میلی‌گرم بر لیتر) و بیشترین میزان در گروه شاهد (۱۵/۷ ± ۱۳۳/۶۴ میلی‌گرم در لیتر) ثبت شد ($p<۰/۰۵$). میزان نیترت همان‌طوری‌که در شکل ۸ مشاهده می گردد، در تمامی تیمارهای آزمایشی تا روز ۱۵ آزمایش روندی نزولی داشت. طی روزهای ۳۰-۱۵ دارای روندی صعودی بود و مجدداً طی روزهای ۶۰-۳۰ آزمایش به روندی نزولی بازگشت. میزان نیتریت طی روزهای ۶۰-۱۵ آزمایش در گروه شاهد به شکل معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود ($p<۰/۰۵$)، در طول اجرای تحقیق بیشترین میزان نیتریت در روز ۳۰ آزمایش در گروه شاهد و کمترین میزان آن در روز ۱۵ آزمایش در تیمار A1 اندازه‌گیری شد. در روز ۶۰ آزمایش بیشترین میزان نیتریت (۰/۰۴±۰/۱۸ میلی‌گرم بر لیتر) در گروه شاهد بود ($p<۰/۰۵$) و و در تیمار A2 (۰/۰±۰۷۶/۰۹ میلی‌گرم بر لیتر) دارای کمترین مقدار بود. میزان نیتریت در محیط آب در تیمارهای همراه با کاهو و ماهی (A3 و A4) با افزایش تراکم کاهو از ۱۰ عدد (۰/۰±۱۳۶/۰۲ میلی‌گرم در لیتر) به ۳۰ عدد (۰/۰±۱۰۲/۰۵ میلی‌گرم در لیتر) در متر مربع کاهش یافت. میزان نیترات نیز تا روز ۱۵ آزمایش روندی نزولی داشت. طی روزهای ۴۵-۱۵ آزمایش دارای روندی صعودی بود و مجدداً طی روزهای ۶۰-۴۵ به روند نزولی بازگشت (شکل ۹؛ $p<۰/۰۵$). میزان نیترات اندازه‌گیری شده در روز ۴۵ و ۶۰ آزمایش در تیمار A3 و A4 بیشتر از تیمارهای A1 و A2 بود. بیشترین میزان نیترات در روز ۴۵ آزمایش در گروه شاهد و کمترین میزان آن نیز در روز ۱۵ آزمایش در تیمار A2 اندازه‌گیری شد (شکل ۹؛ $p<۰/۰۵$). در روز ۶۰ آزمایش بیشترین مقدار نیترات (۲/۱۵±۶۲/۴۰ میلی‌گرم در لیتر) در گروه شاهد بود ($p<۰/۰۵$) و در تیمار A2 دارای کمترین مقدار (۴۰/۱±۹۶/۷۰ میلی‌گرم در لیتر) بود (شکل ۹؛ $p<۰/۰۵$). میزان نیترات آب تیمارهای همراه با کاهو و ماهی (A3 و A4) با افزایش تراکم کاهو از ۱۰ عدد (۱۵/۲۵±۵۵/۳ میلی‌گرم در لیتر) به ۳۰ عدد (۱/۹۱±۱۷/۴۹ میلی‌گرم در لیتر) در هر مترمربع کاهش یافت (شکل ۹؛ $p<۰/۰۵$).

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]



شکل ۹: مقایسه تغییرات نیترات مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای آزمایش در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع و ۳۰ عدد ماهی

Figure 9: Comparison of water nitrate changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m^2 (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m^2 and 30 fish

عملکرد رشد و کارایی غذا در ماهی کپور معمولی

نتایج مقایسه شاخص‌های رشد ماهی با آنالیز واریانس یکطرفه و طبق ازمون دانکن در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج بررسی بچه ماهیان، تغییرات معنی‌داری در عوامل افزایش وزن، نرخ رشد ویژه ضریب تبدیل غذایی و درصد زنده‌مانی بین تیمارهای آزمایشی در مقایسه با گروه شاهد در روز ۶۰ آزمایش مشاهده نشد (p>۰/۰۵).

شاخص‌های رشد گیاه کاهو

نتایج مقایسه عملکرد رشد کاهو با آنالیز واریانس یکطرفه و طبق آزمون دانکن در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده طول نهایی بوته، وزن نهایی بوته و نرخ رشد نسبی کاهو، تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد نشان داد (p<۰/۰۵). براین اساس بیشترین طول نهایی بوته (۴/۵۲±۳۴/۴۶ سانتی‌متر)، وزن بوته (۴/۶۷±۶۶/۳۴ گرم) و نرخ رشد نسبی (۰/۰۰۳±۰/۰۷۹ گرم در روز) در تیمار A4 ثبت شد. اما طول و عرض نهایی برگ، تفاوت آماری معنی‌داری را بین تیمارهای آزمایشی در مقایسه با گروه شاهد نشان نداد (p>۰/۰۵). از نظر میزان تولید کاهو، تیمار (A4) بهره‌وری بالاتری را نشان داد.

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

جدول ۱: نتایج عملکرد رشد ماهی کپور در تیمارهای مختلف در پایان دوره ازمایش

Table 1: The result of growth performance of *Cyprinus carpio* in different treatments at the end of the experiment

پارامترها	شاهد	A3	A4
وزن اولیه (گرم)	۵۰/۱۹ ±۱/۲۶	۵۰/۲۸ ±۱/۲۳	۵۰/۸ ±۱/۲
وزن نهایی (گرم)	۵۹/۶۸ ±۱/۰۳	۶۰/۲ ±۱/۵	۶۲/۱۸ ±۱/۷
افزایش وزن (گرم)	۹/۴۹±۲/۳۱	۹/۹۲±۳/۸۱	۱۱/۳۸±۳/۶۹
نرخ رشد ویژه (درصد/ روز)	۰/۹۴±۰/۸۱	۰/۹۲±۰/۷۸	۰/۹۳±۰/۷۲
ضریب تبدیل غذایی	۱/۱۷±۰/۱۴	۱/۱۶±۰/۱۹	۱/۱۴±۰/۱۱
بقاء (درصد)	۹۷/۲۰±۳/۱۵	۹۶/۶۱±۲/۱۲	۹۶/۱۷±۲/۹۲

فقدان حروف در ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن اختلافات در پارامتر مذکور بوده و حروف غیر همنام نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است (آنالیز واریانس یکطرفه و آزمون دانکن؛ $p<۰/۰۵$).

جدول ۲: نتایج عملکرد رشد تیمارهای مختلف کاهو در پایان دوره ازمایش

Table 2: The result of growth performance of lettuce plants in different treatments at the end of the experiment

پارامترها	A1	A2	A3	A4
طول اولیه بوته (سانتی‌متر)	۷/۱۱ ±۱/۶۶	۷/۱۱ ±۱/۶۶	۷/۱۱ ±۱/۶۶	۷/۱۱ ±۱/۶۶
طول نهایی بوته (سانتی‌متر)	۲۲/۷۳±۴/۳۸^{d}	۲۷/۵۰±۳/۱۴ ^{c}	۳۰/۱۶±۲/۳۲ ^{b}	۳۴/۴۶±۴/۵۲^{a}
وزن اولیه بوته (گرم)	۱۰/۳۲ ±۱/۴۹	۱۰/۳۲ ±۱/۴۹	۱۰/۳۲ ±۱/۴۹	۱۰/۳۲ ±۱/۴۹
وزن نهایی بوته (گرم)	۵۲/۴۳±۱/۷۲ ^{d}	۵۸/۵۰±۲/۲۰ ^{c}	۶۲/۱۴±۳/۷۱ ^{b}	۶۶/۳۴±۴/۶۷ ^{a}
طول اولیه برگ (سانتی‌متر)	۴/۸۹±۱/۱۲	۵/۰۵±۱/۳۰	۴/۹۵±۱/۱۹	۵/۱۰±۱/۲۰
طول نهایی برگ (سانتی‌متر)	۱۹/۵۹±۲/۳۳	۲۲/۸۱±۳/۱۰	۲۰/۶۲±۱/۹۱	۲۱/۷۵±۲/۵۱۰
عرض اولیه برگ (سانتی‌متر)	۱/۴۶±۰/۸۷	۱/۴۹±۱/۳	۱/۴۶±۰/۹۳	۱/۵۰±۰/۹۰
عرض نهایی برگ (سانتی‌متر)	۳/۵۴ ±۱/۶۶	۳/۹۶ ±۱/۶۶	۴/۱۶ ±۱/۰۱	۴/۲۰ ±۰/۶۶
نرخ رشد نسبی (گرم/ روز)	۰/۰۴۸±۰/۰۴ ^{c}	۰/۰۵۹±۰/۰۷ ^{b}	۰/۰۷۴±۰/۰۲ ^{ab}	۰/۰۷۹±۰/۰۱ ^{a}

فقدان حروف در ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن اختلافات در پارامتر مذکور بوده و حروف غیر همنام نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است (آنالیز واریانس یکطرفه و آزمون دانکن؛ $p<۰/۰۵$).

بحث

استفاده از گیاهان مختلف از جمله کاهو می‌تواند به عنوان فیلتر زیستی درکاهش آلاینده‌های محیطی حاصل از پرورش ماهی و متقابلاً کاهش مصرف کودهای شیمیایی برای گیاه و در نهایت کاهش مصرف آب در مقایسه با سیستم‌های رایج پرورش ماهی و کشت گلخانه‌ای در سیستم‌های تولید آکواپونیک استفاده شود (El-Essawy *et al.*, 2019). پژوهش حاضر نیز نشان داد، پرورش ماهی کپور معمولی در سیستم آکوآپونیک در فضای کارگاهی همراه با کاهو در تراکم بالا با حداقل تاثیرات بر کیفیت آب، امکان‌پذیر است. برخی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب در محیط های آبی شامل دما، اکسیژن محلول، نیترات، نیتریت، pH و قلیائیت است (Qasim, 2013). در پژوهش حاضر، میانگین دمای آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شد که در محدوده مناسب برای پرورش ماهی کپور قرار داشت (Majeed and Najim, 2019). دمای هوا در سالن آکواپونیک نیز ۲۵-۲۱ درجه سانتی‌گراد بود، اختلاف بین دمای حداکثری و حداقلی مربوط به اختلاف ناچیز دمای هوا در طول شبانه روز در زمان انجام تحقیق بود. برای تولید مناسب کاهو در طول دوره کشت، کشت کاهو در دمای بالای ۲۵ درجه سانتی‌گراد کیفیت محصول خوبی ارائه نمی‌دهد و شرایط دما تأثیر مستقیمی بر رشد این گیاه دارد (Mashaii *et al.*, 2021). بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان اکسیژن محلول در تمامی تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد به شکل

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

معنی‌داری، بیشتر بود. از سویی، میزان این شاخص در تیمارهای همراه با کاهو و بدون ماهی (A1 و A2) نسبت به تیمارهای همراه با کاهو و ماهی به شکل معنی داری بیشتر بود و در تیمارهای A3 و A4 با افزایش تراکم کاهو از ۱۰ به ۳۰ عدد در متر مربع شاهد افزایش معنی‌دار میزان اکسیژن محلول بود. علت این افزایش می‌تواند به دلیل مصرف بیشتر مواد زائد آب به‌وسیله تراکم بالاتر کاهو و حذف این مواد از محیط بوده و در نتیجه باعث بهبود کیفیت آب شده باشد. در پایان آزمایش بیشترین میزان اکسیژن محلول (۸۰/۲۴±۶/۱ میلی‌گرم بر لیتر) و کمترین (۱/۱۸±۵/۷۶ میلی‌گرم بر لیتر) به‌ترتیب در تیمارهای A2 و گروه شاهد اندازه‌گیری شد. مقدار pH نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد ($p>0/05$) و در محدوده ۷/۵۱-۶/۸۷ قرار داشت، در تحقیق حاضر، با پیشرفت دوره مقدار pH کاهش یافت که می‌تواند به دلیل تشدید فرآیند آمونیفیکاسیون (Wilczak *et al.*, 1996) و حضور میزان کافی باکتری‌های اکسید کننده آمونیاک باشد (Taghipoore *et al.*, 2021). در مطالعه حاضر این مقادیر در محدوده مطلوب بوده و گزارش شده است که میزان مطلوب pH برای سیستم‌های آکواپونیک باید در دامنه ۹-۶ و میزان مطلوب اکسیژن محلول نیز باید در دامنه ۸-۵ میلی‌گرم در لیتر باشد (Rakocy *et al.*, 2004). مطالعه Portalia و همکاران (۲۰۱۹) با هدف تأثیر تراکم‌های مختلف (۳۰ و ۴۰ عدد) مارماهی آسیایی (*Monopterus albus*) بر سرعت رشد و میزان بقاء درسیستم آکواپونیک واجد کاهو انجام شد. بر اساس نتایج، تراکم ذخیره‌سازی ۳۰ عدد ماهی در مترمربع بالاترین نرخ رشد ویژه و دارای بیشترین درصد بقاء بود. بر اساس تحقیقات انجام شده در مورد میزان رشد و بقاء در سیستم آکواپونیک با کاهو، می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت در تراکم مارماهی در سیستم آکواپونیک بر رشد و بقاء مارماهی تأثیر می‌گذارد. تراکم بهینه‌ای که منجر به بهترین رشد مارماهی و کاهو شد، ۳۰ عدد ماهی در متر مربع بود و میانگین آمونیاک در تمامی تیمارها ۰/۷۲-۰/۱۹۶میلی‌گرم در لیتر گزارش شد که برای ماهی در محدوده بی‌خطر بود (محدوده قابل تحمل مارماهی کمتر از یک میلی‌گرم). در تحقیق حاضر نیز تراکم ۳۰ عدد ماهی کپور تراکم مطالوب همراه با حفظ کیفیت آب در محدوده مطلوب پرورش بود. Mashaii و همکاران (۲۰۲۱) با پرورش ماهی تیلاپیا در سیستم آکواپونیک نیز به نتایجی مشابه دست یافتند. در مورد انواع مختلف فرم‌های نیتروژن، میزان نیترات، نیتریت در آب مخازن آکواپونیک بدون ماهی کمتر از مخازن دارای ماهی بود که این فرآیند احتمالاً به دلیل واکنش‌های مرتبط با تثبیت نیتروژن، مورد انتظار بود (Mashaii *et al.*, 2021). تیمارهای آکواپونیک همراه با ماهی نیز در کاهش غلظت نیترات، نیتریت و تثبیت غلظت این شاخص‌ها مؤثر بود. در طول دوره آزمایش به دلیل نیتریفیکاسیون غیرموثر در سیستم‌های آکواپونیک، غلظت نیترات، نیتریت ابتدا تا روز ۱۵ کاهش یافت که می‌تواند به دلیل نیتریفیکاسیون غیر موثر باشد. سپس تا روز ۴۵ روندی صعودی داشتند که منجر به افزایش غلظت ترکیبات نیتروژنی شد و مجدداً تا روز ۶۰ آزمایش غلظت ترکیبات مذکور روندی کاهشی داشت که به احتمال زیاد به دلیل فرآیند نیتریفیکاسیون این روند نزولی رخ داد (Makhdom *et al.*, 2017). با افزایش جمعیت باکتری‌ها در سیستم، سطوح نیتریت در آب نیز کاهش می‌یابد و به نیترات که محصول نهایی نیتریفیکاسیون است، اکسید می‌شود. این چرخه حدود ۲۰ روز یا ۳ هفته به‌طول می‌انجامد (Somerville *et al.*, 2014; Goddek *et al.*, 2019). طبق گزارش‌های Harmon (۲۰۰۱) و Yavuzcan Yildiz و همکاران (۲۰۱۷) اگر آمونیاک یا نیتریت سیستم زیاد باشد (کمتر یا مساوی ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر)، نشان می‌دهد که سطح و میزان باکتری‌های مسئول نیتریفیکاسیون در سیستم کم است و اگر پس از گذشت مدت زمان لازم برای شکل‌گیری باکتری‌های نیتریفیکاسیون (حداکثر سه هفته) در سیستم همچنان مقادیر بالایی از آمونیاک یا نیتریت باشد، باید به صورت دستی سطح دسترسی باکتری‌ها را با معرفی باکتری‌های اتوتروف شامل جنس‌هایی از قبیل *Nitrococcus*، *Nitrobacter*، *Nitrospina* و *Nitrospira* افزایش داد. این باکتری‌ها انرژی خود را از اکسیداسیون ترکیبات نیتروژن معدنی در آب می‌گیرند. غلظت نیتریت در تیمارهای آکواپونیک در محدوده توصیه شده برای کپور معمولی (≤ ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر) بود (Harmon, 2001). Rakocy و همکاران

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

(۲۰۰۶) و Yang و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که در سیستم آکواپونیک تحت تأثیر دما (۳۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد)، pH (بهینه ۹-۷)، غلظت اکسیژن محلول (بهینه > ۶ میلی‌گرم در لیتر) فرآیند نیتریفیکاسیون در حد اپتیمم رخ می‌دهد. در سیستم‌های آکواپونیک، تفاوت در طراحی بستر کشت‌های مختلف گیاهی، سبب تفاوت در میزان جذب نیترات به‌وسیله گیاه و به دنبال آن تغییر در روند نیتریفیکاسیون و راندمان تولید در این سیستم‌های پرورشی می‌گردد (Taghipoor *et al*., 2021). در مطالعه Taghipoorو همکاران (۲۰۲۱) بازدهی و روند نیتریفیکاسیون سیستم آکواپونیک در مقیاس آزمایشگاهی با به‌کارگیری دو نوع بستر کشت گیاهی شامل بستر کشت شناور و سیستم نوار غذایی در واحدهای مجزای آکواپونیک ماهی کپور معمولی و گیاه نعناء به مدت ۸ هفته مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد عملکرد و تولید گیاه و ماهی در سیستم بستر کشت شناور نسبت به نوار غذایی (NFT) بهتر بود. از نظر بار مواد مغذی نیتروژنی نیز مقادیر کم‌تری در سیستم کشت شناور به دلیل جذب بهتر مواد مغذی به‌وسیله گیاه و رشد بهتر گیاه نسبت به سیستم نوار غذایی مشاهده شد. این محققین استفاده از بستر کشت شناور به دلیل برقراری بهتر تعادل در سیستم‌های آکواپونیک همراه با عملکرد بهتر ماهی کپور معمولی و گیاه نعناء را توصیه کردند. بررسی به‌کارگیری بستر کشت‌های گیاهی مختلف در سیستم آکواپونیک نشان می‌دهد که انواع بستر کشت‌های گیاهی عملکرد متفاوتی بر شاخص‌های کیفی آب (بازدهی حذف نیترات) و رشد گیاه دارند (Lennard and Leonard, 2006; Salam *et al*., 2013) که در واقع علت تفاوت در میزان بازدهی و عملکرد هرکدام از این بستر کشت‌ها در سیستم‌های آکواپونیک، طراحی خاص و منحصربه‌فرد هر یک از آنهاست که بر بازدهی و عملکرد ریشه گیاه در حذف مواد مغذی نیتروژنی به‌خصوص نیترات تأثیر می‌گذارد.

به‌نظر می‌رسد، در پژوهش حاضر نیز با توجه به این‌که میزان دما، اکسیژن محلول و نیترات برای سیستم آکواپونیک با بستر شناور در محدوده بهینه قرار داشته، فرآیند نیتریفیکاسیون به طور موثر به‌ویژه در سیستم آکواپونیک رخ داده است. میزان قلیائیت به طور معنی‌داری در طول مدت اجرای تحقیق در تیمارهای آکواپونیک همراه با ماهی کاهش معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی نشان داد. کمترین مقدار این شاخص (۱۷/۱±۱۰۴/۱۹ میلی‌گرم بر لیتر) نیز در تیمار آکواپونیک با بیشترین تراکم کاهو (تیمار A2) ثبت شد. میزان جامدات کل معلق، با افزایش طول دوره روند صعودی داشت و میزان آن در گروه شاهد طی روزهای ۶۰-۱۵ آزمایش نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی، افزایش معنی‌داری نشان داد درحالی‌که میزان جامدات معلق کل در تیمارهای آکواپونیک همراه با ماهی نسبت به تیمارهای آزمایشی بدون ماهی و گروه شاهد افزایش معنی داری داشت. بیشترین مقدار جامدات معلق کل (۶۰/۸۴± ۱۲۴۵/۸ میلی‌گرم بر لیتر) و کمترین (۸۴/۱۵±۱۰۱۶/۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) به‌ترتیب در گروه شاهد و تیمار (A2) اندازه‌گیری شد. این نتایج را می‌توان در نتیجه معدنی شدن ترکیبات جامد درون سیستم، حذف نشدن هیچ ماده جامدی از سیستم و عدم تعویض آب دانست. در این ارتباط، Rakocy و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تجزیه مواد جامد در سیستم آکواپونیک به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها منجر به آزاد شدن مواد معدنی در آب می‌گردد که نتیجه آن می‌تواند افزایش جامدات معلق کل در سیستم باشد. در پژوهش حاضر پارامترهای رشد ماهی کپور اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی در مقایسه با گروه شاهد نشان نداد. در محیط پرورش عوامل مختلف زیست شناختی همچون تراکم ذخیره‌سازی، عوامل بیماری زا و انگلی، رفتار عمومی آبزی، پرخاشگری درون گونه‌ای، شرایط بدن، کیفیت و کمیت غذای مصرفی و نوع سیستم پرورش نیز می‌تواند بر رشد ماهی اثرگذار باشد (Ashley, 2007; Babmann *et al*., 2017). اگرچه مقادیر مشابهی از غذا برای هر سه تیمار ارائه شد، اما تغذیه تهاجمی در ماهی‌ها مشاهده نشد و نرخ رشد نسبتاً پایین ماهی‌ها ممکن است ناشی از پذیرش کمتر غذا به‌وسیله آنها باشد. در نتیجه، انباشت غذای خورده نشده ممکن است منجر به کاهش کیفیت آب در گروه شاهد باشد. نتایج به‌دست آمده در مطالعه Byrd و Jha (۲۰۲۲) نیز شاهد رشد نسبتاً پایین بچه ماهیان کپور معمولی در کشت آکواپونیک همراه با گیاه کاهو بودند. مشاهده بقاء نسبتاً

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

بالای بچه ماهیان در سیستم آکواپونیک نیز مشابه با نتایج مطالعه Byrd و Jha (۲۰۲۲) بود که می‌تواند به دلایل شرایط پرورش مناسب برای ماهی کپور باشد. Sabwa و همکاران (۲۰۲۲) با هدف تعیین تأثیر تراکم‌های مختلف ماهی تیلاپیای نیل (*O. niloticus*) بر عملکرد رشد کاهو در سیستم آکواپونیک، سه تراکم ذخیره ماهی ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ ماهی درمترمکعب استفاده کردند و برای هر تیمار تراکم کاهو برابر ۱۶ عدد در متر مربع بود. نتایج این مطالعه نشان داد که تراکم متوسط ۳۰۰ ماهی تیلاپیا در متر مکعب، دارای بهترین عملکرد در سیستم آکواپونیک بود. اما در تحقیق حاضر، سیستم آکواپونیک حاوی ماهی کپور با تراکم ۳۰ عدد در متر مکعب همراه با تراکم ۳۰ بوته کاهو در مترمربع، منجر به بهبود بهره‌وری تولید ماهی کپور و کاهو همراه با کیفیت مناسب آب بود که شاید تفاوت گونه ماهی در تراکم‌های بالا به کپور معمولی در وجود این اختلاف، دخیل باشد.

Endut و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که تقریباً ۳۰-۲۰ درصد از خوراک دریافتی در سیستم‌های آبزی پروری به انرژی قابل استفاده آبزیان تبدیل می‌شود درحالی‌که خوراک اضافی و مواد دفعی آبزیان به شکل جامدات و مواد مغذی محلول در غلظت‌های مناسب می‌تواند به طور موثری در سیستم‌های هیدروپونیک استفاده شود (Qasim, 2013). انتظار می‌رود در سیستم آکواپونیک، گیاهان مواد مغذی به‌دست آمده از خوراک خورده نشده و بقایای متابولیسم ماهی‌ها را به عنوان منبعی مناسب از مواد مغذی برای رشد و نمو خود جذب کنند (Astuti and Warsa, 2022). Al Tawaha و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثر تراکم های مختلف ذخیره‌سازی ماهی تیلاپیا بر کیفیت آب و عملکرد رشد ماهی و کاهو در سیستم اکواپونیک پرداختند. تراکم کاهو ۳۲ عدد در مترمربع بود و تراکم ماهی ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلوگرم بر مترمربع بود. نتایج نشان داد، افزایش تراکم ذخیره‌سازی ماهی باعث کاهش اکسیژن محلول و افزایش هدایت الکتریکی مواد جامد معلق و شوری شد. در واقع، بیشترین تراکم ذخیره‌سازی بیشترین تجمع آمونیاک، نیتروژن، آمونیوم، نیتریت و نیترات و پتاسیم را ایجاد کرد. مطالعه آنها تأیید کرد که سیستم‌های آکواپونیک صرفاً به ضایعات سیستم پرورش ماهی متکی هستند. در پژوهش حاضر، بیشترین میانگین وزن بوته کاهو در سیستم آکواپونیک با بیشترین تراکم کاهو (تیمار A4) گزارش شد. تولید بیشتر کاهو در سیستم آکواپونیک با تراکم بیشتر نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی و گروه فاقد ماهی می‌تواند در ارتباط با مقادیر نیترات و نیتریت بیشتر در این تیمار نسبت به تیمارهای (A1 و A2) باشد. در پژوهش حاضر، بیشترین وزن نهایی بوته کاهو (۶۶/۳۴-۴/۶۷ گرم)، طول نهایی بوته و نیز بیشترین نرخ رشد نسبی در تیمار A4 به‌دست آمد. این میزان تولید کاهو در واحد سطح در مقایسه با نتایج سایر محققین مطلوب بود (Losordo, *et al.*, 1998; Rakocy *et al.*, 2004, 2006, 2011; Pantanella and Colla, 2013). مقایسه میزان تولید کاهو با مطالعات سایر محققین نشان‌دهنده بهره‌وری مشابه با گزارش Abbey و همکاران (۲۰۱۹) بود. این محققین میانگین وزن تر کاهو در سیستم‌های هیدروپونیک بدون خاک و سیستم شناور آکواپونیک را به‌ترتیب ۵۶/۳ و ۴۹/۹ گرم در مترمربع گزارش دادند که در محدوده مقادیر گزارش شده در پژوهش حاضر بود (Abbey *et al.*, 2019). Trang و همکاران (۲۰۱۰) میزان تولید کاهو در متر مربع را ۱/۱۵ کیلوگرم گزارش دادند. در مطالعه Burgoon و Baum (۱۹۸۴) نیز میزان تولید کاهو در سیستم آکواپونیک ۴/۵-۳/۳ کیلوگرم بر مترمربع بود. بر اساس گزارش Mashaii و همکاران (۲۰۲۱) نیز عملکرد ماهیانه تولید کاهو در واحد سطح ۱/۳ کیلوگرم در متر مربع برای یک دوره پرورش سه ماهه گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد که در تمامی مطالعات، میانگین وزن کاهوی تولیدی در سیستم آکواپونیک یا هیدروپونیک کمتر از نیمی از تولید مزرعه معمولی باشد (Abbey *et al.*, 2019). در این راستا، توصیه‌ها مبنی بر ارجحیت کاهوی رومی[1] نسبت به نوع هیرلومی (بیب)[2] ارائه شده است (Smith *et al.*, 2011).

Sikawa و Yakupitiyage (۲۰۱۰) تولید کاهو در سیستم هیدروپونیک را با استفاده از پساب گربه ماهی هیبرید بررسی کردند و نتایج حاکی از این بود که در سیستم

[1] Romaine lettuce
[2] Bibb lettuce

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

هیدروپونیک میزان نیترات به طور قابل‌توجهی کاهش یافت و استفاده مجدد از آب استخرهای پرورش ماهی، انتخاب بهینه‌ای برای استفاده از مواد مغذی و کاهش کیفیت آب است که با نتایج حاصل از این تحقیق مشابه است. ریشه گیاه از توانایی جذب مقادیر محدود آمونیاک برخوردار است، ولی فرم قابل‌جذب نیتروژن برای گیاه نیترات محسوب می‌شود (Sonneveld and Voogt, 2009; Goddek *et al*., 2019). ماهی‌ها نیز می‌توانند برعکس فرم‌های سمی نیتروژن در آب، سطح به نسبت بالایی از نیترات را تحمل کنند به‌طوری‌که در سیستم‌های آکواپونیک گزارش گردیده است که اگر در مدت چند هفته مقادیر نیترات به بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در سیستم برسد، لازم است بخش زیادی از آب تعویض شود. از سوی دیگر، اگر سطح نیترات طی چند هفته پایین تر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، باید تراکم ماهیان افزایش یابد و به دنبال آن با افزایش تغذیه ماهیان اطمینان حاصل شود که مواد مغذی کافی به گیاهان خواهد رسید یا تعدادی از گیاهان را حذف کرد تا مقدار مواد مغذی کافی برای سایر گیاهان فراهم شود. در تحقیق حاضر، همسو با فعالیت باکتری‌های اکسید کننده آمونیاک و کاهش آمونیاک، روند افزایشی نیترات طی روزهای ۴۵-۱۵ آزمایش مشاهده گردید و مجدداً طی روزهای ۶۰-۴۵ به روند نزولی بازگشت و در تیمار A1 و A2 کمتر از A3 و A4 بود که نشان از جذب بهتر کاهو از نیترات بوده و در کل میزان نیترات کمتر از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بود.

مطالعه حاضر نشان داد که میزان تولید کاهو با تراکم ۳۰ بوته در مقایسه با تراکم ۱۰ بوته در متر مربع، در سیستم آکواپونیک حاوی کپور معمولی با تراکم ۱۰۰ عدد در مترمکعب نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی بیشتر بود. از نظر پارامترهای کیفی آب، سیستم‌های فاقد ماهی در وضعیت بهتری قرار داشتند. در طول اجرای آزمایش، شاخص‌های کیفی آب از جمله دمای آب در محدوده ۲۵-۱۹ درجه سانتی‌گراد، اکسیژن محلول ۵-۸ میلی‌گرم برلیتر و اسیدیته ۶-۹ بود (Rakocy *et al*., 2004). نیتریت در تیمارهای آکواپونیک در محدوده توصیه شده برای کپور معمولی (≤ ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر) (Harmon, 2001)، نیترات کمتر از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (Colt and Tchobanoglous, 1976)، بود که در محدوده مناسب برای پرورش کاهو و ماهی کپور معمولی بودند. مشخص‌ترین یافته این مطالعه، مشاهده فرآیند نیتریفیکاسیون موثر در تیمار A4 بود که منجر به حفظ غلظت نیترات و نیتریت در محدوده توصیه شده برای پرورش ماهی بود. نتیجه کلی این مطالعه حاکی از امکان پرورش موفقیت‌آمیز ماهی کپور معمولی با تراکم ۱۰۰ عدد ماهی در مترمکعب همراه با کاهو با تراکم ۳۰ عدد در مترمربع در یک دوره ۶۰ روزه در سیستم مداربسته آکواپونیک بدون نیاز به هر گونه کوددهی بود. در واقع، این سیستم قادر به استفاده مجدد از آب جهت تولید ماهی و کاهو به طور همزمان است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران برای حمایت و فراهم نمودن امکانات مورد نیاز و از پرسنل محترم ایستگاه تحقیقاتی خجیر که در انجام این تحقیق ما را یاری رساندند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Abbey, M., Anderson, N.O., Yue, C., Schermann, M., Phelps, N., Venturelli, P. and Vickers, Z., 2019. Lettuce (*Lactuca sativa*) production in northern latitudinal aquaponic growing conditions. *HortScience*, 54(10): 1757-1761. DOI:10.21273/HORTSCI14088-19

Adineh, H., Naderi, M., Hamidi, M.K. and Harsij, M., 2019. Biofloc technology improves growth, innate immune responses, oxidative status, and resistance to acute stress in common carp (*Cyprinus carpio*) under high stocking density. *Fish and Shellfish Immunology*, 95: 440-448. DOI:10.1016/j.fsi.2019.10.057

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

Al Tawaha, A.R., Megat Wahab, P.E., binti Jaafar, H., Kee Zuan, A.T. and Hassan, M.Z., 2021. Effects of fish stocking density on water quality, growth performance of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and yield of butterhead lettuce (*Lactuca sativa*) Grown in decoupled recirculation aquaponic systems. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1):8-19. DOI:10.12911/22998993/128692

Alobaidy, A.H.M.J., Abid, H.S. and Maulood, B.K., 2010. Application of water quality index for assessment of Dokan Lake Ecosystem, Kurdistan Region, Iraq. Journal of Water Resource and Protection, 2(9): 792-798. DOI:10.4236/jwarp.2010.29093

Ashley P.J., 2007. Fish welfare: current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3-4): 199-235. DOI:10.1016/.applanim.2006.09.001

Astuti, L.P. and Warsa, A., 2022. The ability of some vegetables to reduce nutrients from fish culture waste to support environmentally friendly floating net cage culture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1: 12028. DOI:10.1088/1755-1315/1062/1/012028

Babmann, B., Brenner, M. and Palm, H.W., 2017. Stress and welfare of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9(7): 504. DOI:10.3390/w9070504

Babmann, B., Harbach, H., Weißbach, S. and Palm, H.W., 2020. Effect of plant density in coupled aquaponics on the welfare status of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(1): 183-199. DOI:10.1111/iwas.12574

Badiola, M., Mendiola, D. and Bostock, J., 2012. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51: 26-35. DOI:10.1016/j.aquaeng.2012.07.004

Burgoon, P.S. and Baum, C., 1984. Year round fish and vegetable production in a passive solar greenhouse. Proceedings of the 6th international congress on soiless culture, Luntern, Netherlands, 28 April–5 May; pp 151–172.

Byrd, G.V. and Jha, B.R., 2022. Relative Growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and common carp (*Cyprinus carpio*) in aquaponics with different types of fish food. Water, 14(23): 3870. DOI:10.3390/w14233870

Colt, J. and Tchobanoglous, G., 1976. Evaluation of the short-term toxicity of nitrogenous compounds to channel catfish, Ictalurus punctatus. *Aquaculture*, 8(3): 209-224.

Dediu, L., Cristea, V. and Xiaoshuan, Z., 2012. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. *African Journal of Biotechnology*, 11(9): 2349-2358. DOI:10.5897/AJB11.2829

Eaton, A.D. and Franson, M.A.H., 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, USA.

El-Essawy, H., Nasr, P. and Sewilam, H., 2019. Aquaponics: a sustainable alternative

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

to conventional agriculture in Egypt–a pilot scale investigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 15872-15883.

Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W.W. and Hassan, A., 2010. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101(5): 1511-1517. DOI:10.1016/j.biortech.2009.09.040

Fabula, J.R.G., Gavino, H.F., Sace, C.F., Cinense, M.M., Sicat, E.V. and Abucay, J.S., 2023. Growing conditions and system productivity in a closed-loop aquaponic system under varying stocking density. *Journal of Ecological Engineering*, 24(6): 25-39. DOI:10.12911/22998993/162210

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. and Dos-Santos, M., 2019. Aquaponics and Global Food Challenges. In: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. and Burnell, G.M. (eds) Aquaponics Food Production Systems. Springer, Cham, Switzerland. pp 3-17.

Harmon, T., 2001. A look at filtration in aquaponic systems: bead filters. *Aquaponics Journal*, 5(3): 16-19.

Hossaina, M.A., Ashrafula, T.A., Sadiaa, M.A., Akterb, T. and Habibc, K.A., 2022. Optimization of planting density of indian spinach in a recirculating aquaponics system using Nile tilapia. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences*, 65(1): 18-27. DOI:10.52763PJSIR.BIOL.SCI.65.1.2022.18.27

Joyce, A., Goddek, S., Kotzen, B. and Wuertz, S., 2019. Aquaponics: Closing the Cycle on Limited Water, Land and Nutrient Resources. In: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. and Burnell, G.M. (eds) Aquaponics Food Production Systems. Springer, Cham, Switzerland. pp 19-34.

Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H. and Wilhelmi, B., 2021. The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*, 71(1): 1-13. DOI:10.1186/s13213-020-01613-5

Lekang, O.I., 2013. Aquaculture Engineering. Oxford, Lowa, and Victoria: Blackwell Publishing. 432 P.

Lennard, W.A. and 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.

Li, G., Tao, L., Li, X.L., Peng, L., Song, C.F., Dai, L.L. and Xie, L., 2018. Design and performance of a novel rice hydroponic biofilter in a pond-scale aquaponic recirculating system. Ecological Engineering, 125:1- 10. DOI:10.1016/j.ecoleng.2018.10.001

Losordo, T.M., Masser, M.P. and Rakocy, J., 1998. Recirculating aquaculture tank production systems. An overview of critical considerations. SRAC, USDA, USA.

Majeed, H.S. and Najim, S.M., 2019. Growth of common carp (*Cyprinus carpio*) in developed aquaponic system. *Basrah Journal of Veterinary Research*, 18(1): 360–379.

Makhdom, S., Shekarabi, S.P.H. and Shamsaie Mehrgan, M., 2017. Biological nutrient recovery from culturing of pearl

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

gourami (*Trichogaster leerii*) by cherry tomato (*Solanum lycopersicum*) in aquaponic system. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 20634-20640. DOI:10.1007/s11356-017-9702-1

Manuchehri, H., Hosseinifard, S.M. and Sadeghi, A., 2010. Effect of lettuce plant on water quality of Oscar fish (*Asteronotus ocellatus*) tank in aquaponic system. *Journal of Aquatic Sciences*, 1(3):21-33. (in Persian)

Mashaii, N., Rajabipour, F., Hosseinzadeh, H. and Hafezieh, M., 2021. Greenhouse tilapia culture in aquaponic system. *Survey in Fisheries Sciences*, 7(2): 209-217. DOI:10.17762sfs.v7i2.134

Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R. and Junge, R., 2019. Hydroponic technologies. In: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. and Burnell, G. (eds) Aquaponics Food Production Systems. Springer, Cham, Switzerland. pp 978-3.

Nelson, R.L. and Pade, J.S., 2008. Aquaponic food production: growing fish and vegetables for food and profit. Nelson and Pade Inc., Montello, USA. pp 2-18.

Pantanella, E. and Colla, G., 2013. Advance in freshwater aquaponic research. International Aquaponic Conference, Aquaponic and Global Food Security, University of Wisconsin, USA.

Portalia, N.K., Sulmartiwi, L. and Rahardja, B.S., 2019. The growth and survival rate in lettuce aquaponic systems (*Latuca sativa*) of eels in various stocking densities of eel (*Monopterus albus*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236(1): 012005. DOI:10.1088/1755-1315/236/1/012005.

Qasim, M.J., 2013. Low Technology Aquaponics: Combining Carp (*Cyprinus carpio*) and Lettuce (*Lactuca sativa*). MSc thesis in Aquaculture Enterprise and Technology, Newcastle University, UK. 19 P.

Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R.C. and Thoman, E.S., 2004. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. Proceedings of the 6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila, Philippines, 12–16 September 2004; 6, 1–15.

Rakocy, J. E., Masser, M. P. and Losordo, T. M., 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics integrating fish and plant culture. SRAC Publication, Stoneville, USA. pp 1–8.

Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C. and Danaher, J.J., 2011. A commercial-scale aquaponic system developed at the University of the Virgin Islands. Proceedings of the 9th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Shanghai, China. pp 336-343.

Roosta, H.R. and Arabpour, S., 2013. Comparision of the growth, mineral nutrient concentrations and essential oil of two iranian local basil (*Ocimum basilicum*) in hydroponic and aquaponic systems. *Journal of Horticultural Science*, 27(3):235-246. (in Persian)

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

Sabwa, J.A., Manyala, J.O., Masese, F.O., Fitzsimmons, K., Achieng, A.O. and Munguti, J.M., 2022 .Effects of stocking density on the performance of lettuce (*Lactuca sativa*) in small-scale lettuce-Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) aquaponic system. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2: 458–469. DOI:10.1002/aff2.71

Salam, M.A., Asadujjaman, M., and Rahman, M.S. 2013. Aquaponics for improving high density fish pond water quality through raft and rack vegetable production. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 5(3):251-256.

Salamroodi, E., Rafiee, G., Rezaei tavabe, K., 2020. Effect of increasing vitamin C to water in a combined rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and lettuce (*Lactuca sativa*), and a functional study of plant and fish growth indices. *Journal of Animal Environment*, 12(1):237-244. (in Persian)

Sapkota, S., Sapkota, S. and Liu, Z., 2019. Effects of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture. *Horticulturae*, 5(4): 72. DOI:10.3390/horticulturae5040072

Sikawa, D.C. and Yakupitiyage, A., 2010. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus*× *C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. *Agricultural Water Management*, 97(9):1317-1325.

Sinyakov, M.S., Dror, M., Zhevelev, H.M., Margel, S. and Avtalion, R.R., 2002. Natural antibodies and their significance in active immunization and protection against a defined pathogen in fish. *Vaccine*, 20 (31-32): 3668-3674. DOI:10.1016S0264-410X(02)00379-1

Smith, R., Cahn, M., Daugovish, O. and Koike, S., 2011. Leaf lettuce production in California. UCANR Publications, California, USA. 6 P. DOI:10.3733/ucanr.7216

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., and Lovatelli, A. 2014. Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical, Rome. 589 P.

Sonneveld, C. and Voogt, W., 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer, Dordrecht. 403 P.

Sotoudeh, E., Kenari, A. A. and Rezaei, M. H., 2011. Growth response, body composition and fatty acid profile of Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius*) juvenile fed diets containing different levels of soybean phosphatidylcholine. *Aquaculture International*, 19(4): 611-623. DOI:10.1007/s10499-010-9376-x

Taghipoor, K., Yavari, V., Kochanian, P., Mousavi, S.M., Zakeri, M. and Pasha-Zanoosi, H., 2021. Comparison of efficiency and nitrification process in an aquaponic system using two types of hydroponic subsystems. *Utilization and Cultivation of Aquatics*, 10(1): 27-43. DOI:0.22069/japu.2021.18875.1578

Trang, N.T.D., Schierup, H.H. and Brix, H., 2010. Leaf vegetables for use in integrated hydroponics and aquaculture systems: Effects of root flooding on growth, mineral composition and nutrient uptake. *African*

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

Journal of Biotechnology, 9(27): 4186-4196. DOI:10.5897/AJB09.1538

Wilczak, A., Jacangelo, J.G., Marcinko, J.P., Odell, L.H. and Kirmeyer, G.J., 1996. Occurrence of nitrification in chloraminated distribution systems. *American Water Works Association*, 88(7):74-85. DOI: 10.1002j.1551-8833.1996.tb06586.x

Yang, L., Chou, L.S. and Shieh, W.K., 2001. Biofilter treatment of aquaculture water for reuse applications.*Water Research*, 35(13): 3097-3108. DOI:10.1016/s0043-1354(01)00036-7

Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D. and Parisi, G., 2017. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces-a review. *Water*, 9(1): 13-19. DOI:10.3390/w9010013

Zhou, H.D., Jiang, C.L., Zhu, L.Q., Wang, X.W., Hu, X.Q., Cheng, J.Y. and Xie, M.H., 2011. Impact of pond and fence aquaculture on reservoir environment. Water Science and Engineering, 4(1): 92-100. DOI:10.3882/j.issn.1674-2370.2011.01.009

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Liang, S., Wang, J. and Yan, R., 2016. Attempts to improve nitrogen utilization efficiency of aquaponics through nitrifies addition and filler gradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 6671-6679. DOI:10.1007/s11356-015-5898-0

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]

Study of water quality and growth performance of common carp (*Cyprinus carpio*) in an aquaponic system with different densities of lettuce (*Lactuca sativa*)

Nazari K.[1]; Taklu M.[2]; Sharifian M.[3]; Hosseini Shekarabi S.P.[4*]

[*]hosseini.pezhman@yahoo.com

1- Animal Science Research Section, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Tehran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
2- Department of Fisheries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3- Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
4- National Research Center of Saltwater Aquatic Animals, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bafq, Iran.

Abstract

Aquaponic system, which is a combination of recycling aquaculture and hydroponic plant cultivation, is consistent with the goals of sustainable development in the aquaculture industry. This experiment was conducted in the form of a completely randomized design with five experimental treatments and each treatment with three replications, which includes the control group: 30 carp (*Cyprinus carpio*) in a 300-liter tank (without lettuce), A1: 10 lettuce (*Lactuca sativa*) per m^2 (without fish) along with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants per m^2 (without fish) along with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce per m^2 and 30 fish, and A4: 30 lettuce per m^2 along with 30 fish for 60 days. The average weight of the fry fish (50.18 ± 1.23 g) and lettuce plant (10.32 ± 1.49 g) at the beginning of the experiment was the same in the experimental groups. The amount of dissolved oxygen in all experimental treatments was significantly higher than the control group (5.76±1.18 mg/liter) and the highest leve was obtained in A2 treatment (6.80±1.24 mg/liter) (p<0.05). At the end of the experiment, the average total suspended solids (1245.8±60.84 mg/liter), alkalinity (133.64±15.7 mg/liter), nitrite (0.18±0.04 mg/liter), and nitrate (62.40±2.15 mg/liter) were significantly higher in the control group (p<0.05) and the lowest values were seen in A2 treatment. There was no statistically significant difference regarding the performance of growth and feed utilization of the fish between the experimental treatments and the control group (p>0.05). However, the length and final weight of the plant and the relative growth rate of lettuce showed a significant difference between the experimental treatments and the control group (p<0.05) and the highest amount of the mentioned indicators was recorded in A4 treatment. To sum up, the results of this experiment showed that in the aquaponic system containing carp with a density of 100 carp per m^2 and a density of 30 lettuce plants per m^2, it leads to an improvement in the productivity of carp and lettuce production with proper water quality.

Keywords: Aquaponics, Common carp, Lettuce, Water quality, Growth

[*]Corresponding author

[Downloaded from isfj.ir on 2024-05-17]