



مقاله علمی - پژوهشی:

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

کاوس نظری^۱، میگل تکلوا^۲، منصور شریفیان^۳، سید پژمان حسینی شکرابی^{۴*}

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

تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۲

چکیده

سیستم آکوابونیک که ترکیبی از آبی‌پروری بازگردشی و کشت هیدروپونیک گیاه هستند، منطبق با اهداف توسعه پایدار در صنعت آبی‌پروری 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 (۵۰/۱۸ ± ۱/۲۳) و بوته کاهو (۱۰/۳۲ ± ۱/۴۹) در شروع آزمایش در گروه‌های آزمایشی یکسان بود. میزان اکسیژن محلول در تمامی تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد (۵/۷۶ ± ۱/۱۸) میلی گرم در لیتر) به طور معنی‌داری بیشتر و در تیمار A2 در بالاترین میزان (۶/۸۰ ± ۱/۲۴) میلی گرم در لیتر) بود ($p < 0.05$). در پایان آزمایش، میانگین جامدات معلق کل (۱۲۴۵/۸ ± ۶۰/۸۴) میلی گرم در لیتر، قلیائیت (۱۳۳/۶۴ ± ۱۵/۷) میلی گرم در لیتر، نیتريت (۰/۱۸ ± ۰/۰۴) میلی گرم در لیتر) و نترات (۶۲/۴۰ ± ۲/۱۵) میلی گرم در لیتر) در گروه شاهد به طور 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 در سیستم آکوابونیک 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: آکوابونیک، کپور معمولی، کاهو، کیفیت آب، رشد

*نویسنده مسئول

مقدمه

توسعه تولید غذا از طریق سیستم‌های سنتی کشاورزی و آبی‌پروری 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 آبی‌پروری (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 آبی‌پروری 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 قرار گرفته است. سیستم اکواپونیک یکی از روش‌های نوین در جهت نیل به اهداف توسعه پایدار صنعت آبی‌پروری است. اکواپونیک تلفیق آبی‌پروری 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 اکواپونیک، 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 اکواپونیک پرورش می‌یابند

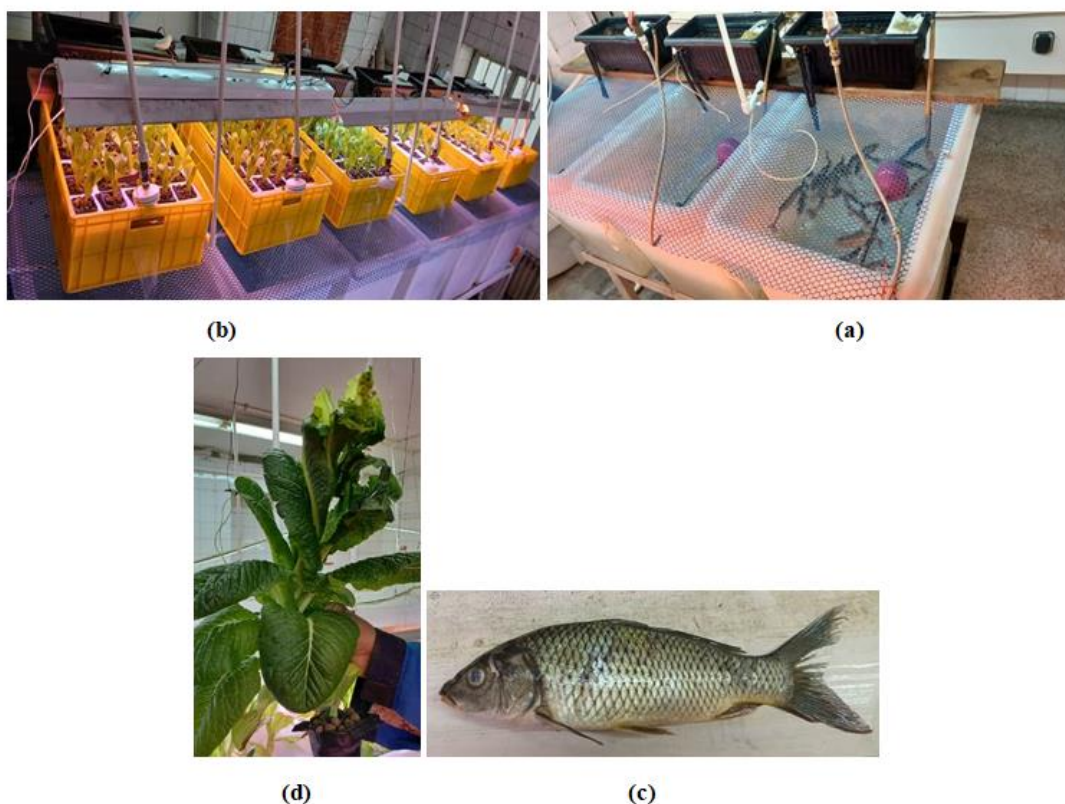
که در این بین کاهو (*Lactuca sativa*) به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان برگ‌دار از نظر ارزش محصول شناخته می‌شود (Sapkota et al., 2019). کشت کاهو به روش بدون خاک (هیدروپونیک)، به دلیل سرعت بالای رشد و کوتاه بودن طول دوره رشد (حدود ۴-۳ هفته)، عدم انباشت مواد شیمیایی (نیترات) و آلودگی میکروبی، مشکلات کمتر 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 اکواپونیک محسوب می‌شود. تحقیقات مختلفی در رابطه با تراکم‌های مختلف گیاهان در سیستم اکواپونیک انجام شده است از جمله، Makhdom و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تراکم‌های مختلف گیاه گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum*) و ماهی گورامی مرورایدی (*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 تیلاپپای 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 مخزن ماهی می‌شود. Roosta و Arabpour (۲۰۱۳) کشت هیدروپونیک و

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 ۲۵×۲۰×۵۵ 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).

آکواپونیک ریحان سبز و بنفش را همراه با ماهی کپور با یکدیگر مقایسه کردند. Yakupitiyage و Sikawa (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 قابل توجهی 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.



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

و فقدان بچه‌ماهیان کپور معمولی (*C. carpio*) در نظر گرفته شد و به ترتیب شامل: تیمار شاهد با تراکم ۳۰ عدد ماهی کپور در مخزن با حجم آبیگری 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 $1/23 \pm 50/18$ گرم از یک مرکز خصوصی تکثیر و پرورش ماهی در استان گیلان و نشاء کاهو با میانگین وزنی $1/49 \pm 10/32$ گرم و طول اولیه $1/66 \pm 7/11$ سانتیمتر از گلخانه تولید کاهو در ورامین تهیه و به صورت 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، ۱۷:۳۰) انجام شد. میزان غذای دریافتی معادل ۲-۴ 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

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^۱ 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)، نیتريت (کمتر از 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 به طوری که 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

¹ Floating raft system

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 ان-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 اندازه‌گیری شد. به طور مشابه، میزان نیتريت 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 در لیتر) بیهوش شدند. وزن و طول آنها به ترتیب با ترازوی دیجیتال (AND مدل EK200I) با دقت ۰/۰۱ گرم و تخته زیست‌سنجی با دقت ۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در طول اجرای پژوهش و روابط ذیل پارامترهای مربوطه محاسبه شد (Sotoudeh et al., 2011):

$$\begin{aligned} & \text{میانگین وزن ابتدای دوره (گرم)} - \text{میانگین وزن انتهای دوره (گرم)} = \text{افزایش وزن بدن (گرم)} \\ & \text{کل روزهای آزمایش} / [\ln(\text{وزن اولیه (گرم)}) - \ln(\text{وزن نهایی (گرم)})] \times 100 = \text{نرخ رشد ویژه (درصد/روز)} \\ & \text{افزایش وزن بدن (گرم)} / \text{مقدار غذای خورده شده (گرم)} = \text{ضریب تبدیل غذایی} \\ & \text{تعداد ماهیان در ابتدای آزمایش} / \text{تعداد ماهیان در انتهای آزمایش} \times 100 = \text{بقاء (درصد)} \end{aligned}$$

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):

$$\text{روزهای آزمایش} / [(\text{وزن اولیه گیاه} / \text{وزن نهایی گیاه}) - 1] = \text{نرخ رشد نسبی (گرم/روز)}$$

هر یک تا دو هفته یکبار با محلول غذایی جدید تعویض می‌شد. در سیستم‌های واجد ماهی (آکوپونیک)، 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 کشور آمریکا) انجام شد. دما به صورت روزانه بعد از هر وعده غذایی به‌وسیله دماسنج جیوه‌ای با دقت ۰/۱ درجه اندازه‌گیری شد. میزان نیتريت (NO₂)، نیترات (NO₃) هر ۱۵ روز یک بار بر اساس روش‌های استاندارد با استفاده از روش‌های اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین میزان نیترات و نیتريت به طور همزمان از روش احیاء کادمیوم استفاده شد. در این روش، نیترات در حضور کادمیوم تقریباً به طور کمی به نیتريت کاهش می‌یابد. نیتريت 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

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

روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی برنامه‌ریزی و اجرا گردید. داده‌های به‌دست‌آمده ابتدا در نرم افزار Excel-2013 مرتب شده و با نرم‌افزار SPSS-17 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پراکنش نرمال داده‌ها (پارامترهای فیزیکی و شیمیایی 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 \pm انحراف معیار ارائه شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel-2018 استفاده شد.

نتایج

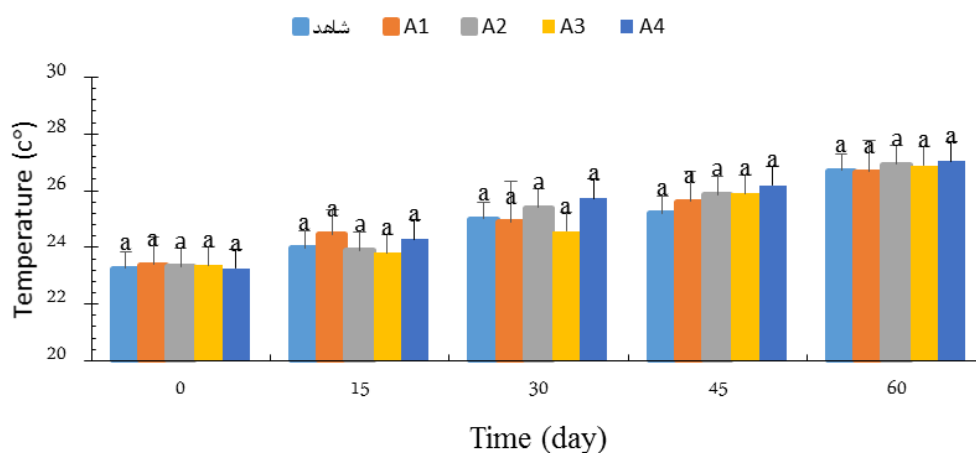
پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب

نتایج به‌دست آمده از مقایسه تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی 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 (۱۹-۲۵ درجه سانتی‌گراد) ($p > 0/05$; شکل ۲). بود شوری در محدوده ($1/15 \pm 0/02$ - $1/05 \pm 0/06$ گرم بر لیتر)، (شکل ۳؛ $p > 0/05$) قرار داشت. میزان اکسیژن محلول گروه شاهد ($5/1 \pm 76/18$ میلی‌گرم/لیتر) و در تیمار A2 ($6/1 \pm 80/24$ میلی‌گرم/لیتر)، (شکل ۴) جامدات کل معلق در تیمار شاهد ($1245/60 \pm 8/84$ میلی‌گرم در لیتر) و در تیمار A4 ($1069/43 \pm 6/5$ میلی‌گرم در لیتر) در تیمار A3، (شکل ۵)، میزان pH در تیمار شاهد ($7/24 \pm 0/32$) و در تیمار A3،

($6/47 \pm 0/31$) (شکل ۶) و میزان کلیاتیت در تیمار A2 ($17/1 \pm 85/83$ میلی‌گرم بر لیتر) و در گروه شاهد ($15/7 \pm 133/64$ میلی‌گرم در لیتر) ثبت شد (شکل ۷). نیتريت ($0/0 \pm 18/04$ میلی‌گرم بر لیتر) در گروه شاهد ($p < 0/05$) و در تیمار A2 ($0/0 \pm 076/09$ میلی‌گرم بر لیتر) بود (شکل ۸). مقدار نیترات ($2/15 \pm 62/40$ میلی‌گرم در لیتر) در گروه شاهد و در تیمار A2 ($40/96 \pm 1/70$ میلی‌گرم در لیتر) ثبت شد (شکل ۹).

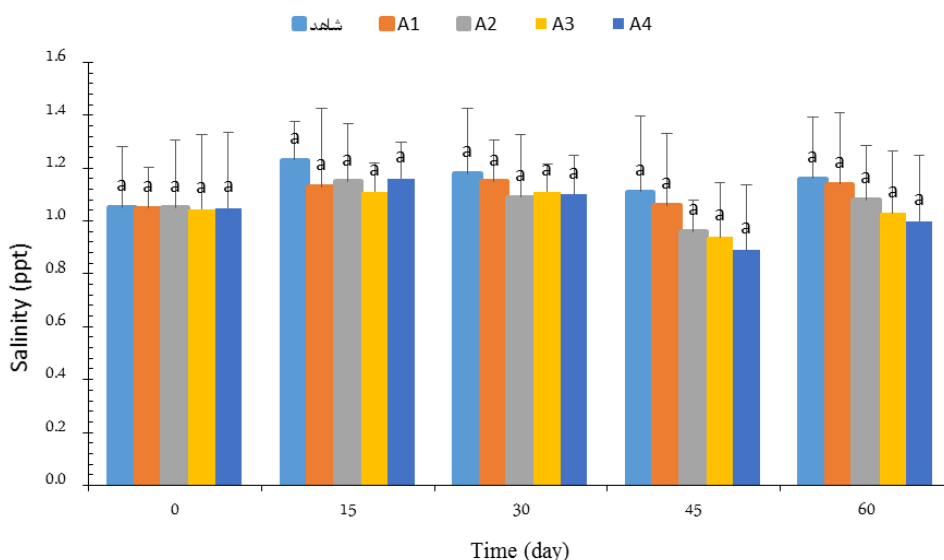
میزان اکسیژن محلول گروه شاهد در روزهای ۳۰-۶۰ آزمایش به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0/05$). بیشترین میزان اکسیژن محلول در روز صفر در تیمار A2 بود. در روز ۶۰ آزمایش کمترین میزان اکسیژن محلول در گروه شاهد ($5/76 \pm 1/18$ میلی‌گرم/لیتر) و بیشترین میزان در تیمار A2 ($6/1 \pm 80/24$ میلی‌گرم/لیتر) اندازه‌گیری شد ($p < 0/05$). هرچند اختلاف معنی‌داری با تیمار (A1) ($6/63 \pm 4/38$ میلی‌گرم/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 ($8/84 \pm 1245/60$ 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) ($1150/62 \pm 8/16$ میلی‌گرم در لیتر) به ۳۰ عدد در تیمار A4 ($1069/43 \pm 6/5$ 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 آزمایشی در روز ۰ و ۱۵ اختلاف معنی‌داری نداشت ($p > 0/05$) در حالی که 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 تیمارهای A1، A2 و A4 نسبت به گروه شاهد وجود داشت ($p < 0/05$). در روز ۶۰ آزمایش بیشترین میزان pH در تیمار شاهد ($7/24 \pm 0/32$) و کمترین در تیمار A3، ($6/47 \pm 0/31$) به‌دست آمد.



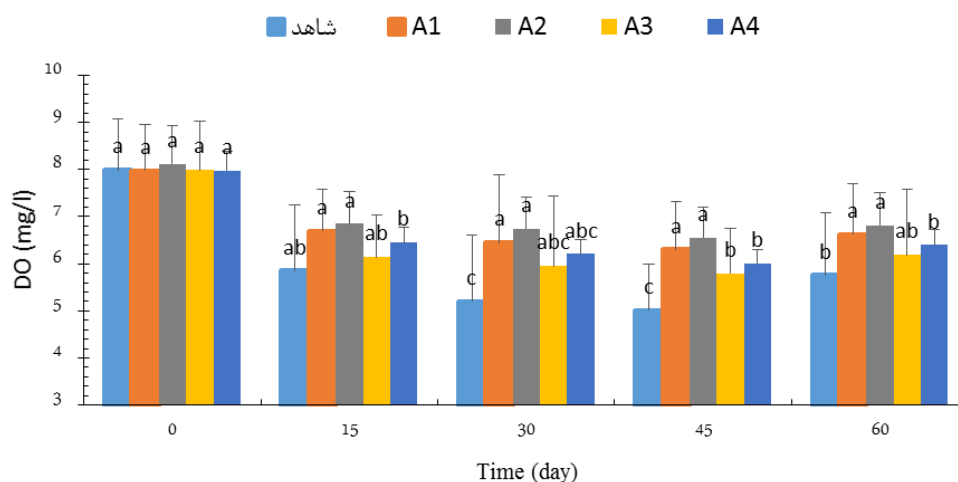
شکل ۲: مقایسه تغییرات دما آب مخزن پرورش ماهی کپور معمولی تیمارهای مختلف در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد گیاه کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو در مترمربع و 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/m² (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m² and 30 fish



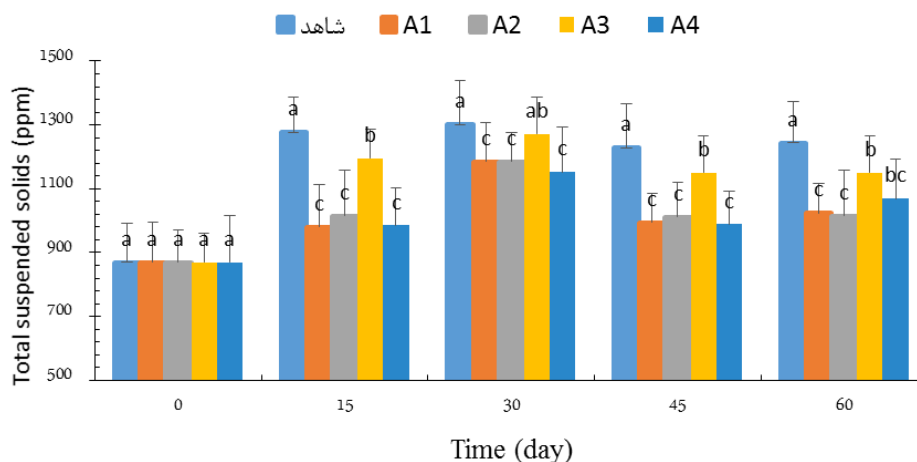
شکل ۳: مقایسه تغییرات شوری مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای آزمایش در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار A4: ۳۰ عدد کاهو 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/m² (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m² and 30 fish



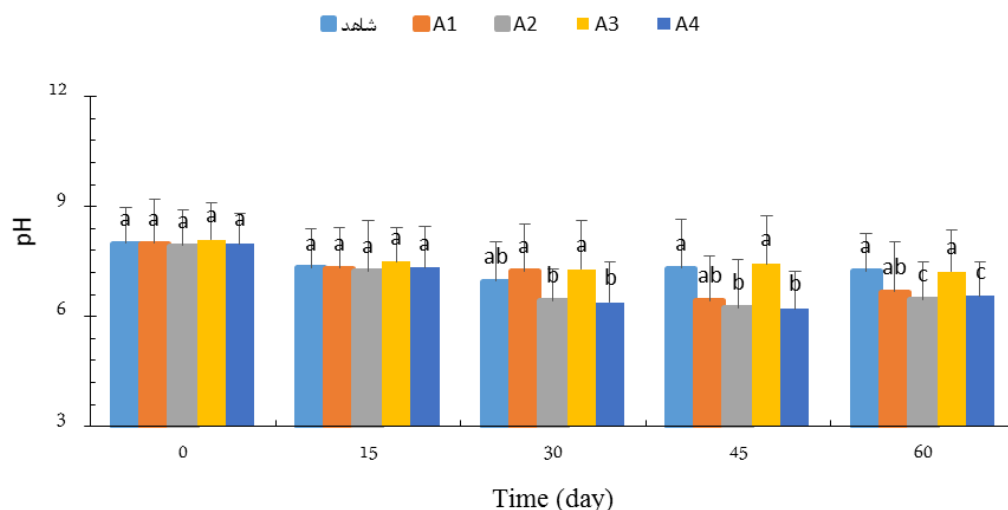
شکل ۴: مقایسه تغییرات اکسیژن محلول (DO) مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای مختلف در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ 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/m² (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m² and 30 fish



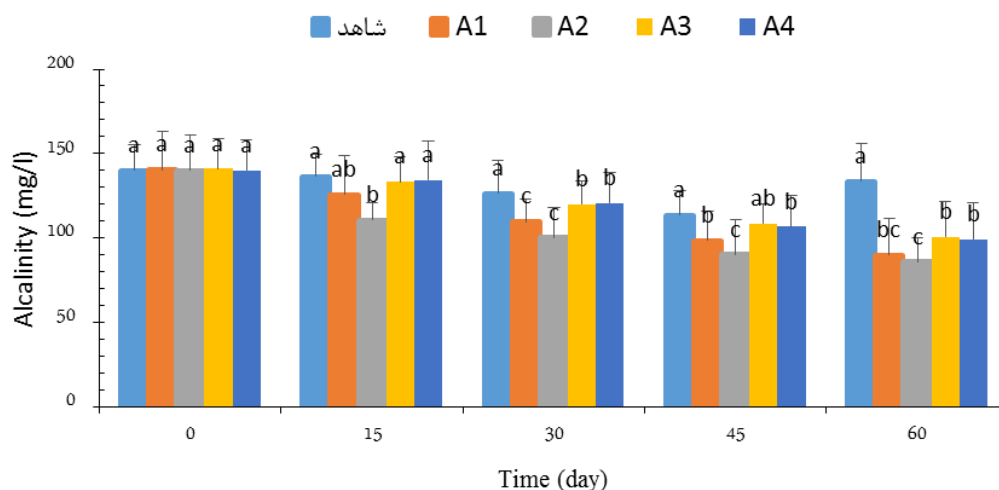
شکل ۵: مقایسه تغییرات جامدات معلق کل مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای مختلف در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد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

Figure 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/m² (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m² and 30 fish



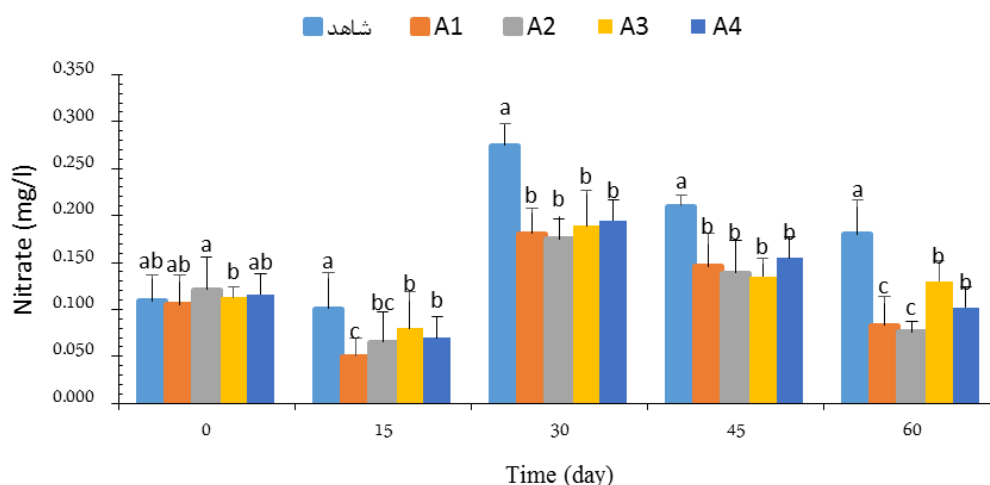
شکل ۶: مقایسه تغییرات pH مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای آزمایش در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی و تیمار 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/m² (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m² 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 alkalinity changes in common carp rearing tanks from different treatments for 60 days. The control group: 30 carp (without lettuce), A1: 10 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m² and 30 fish

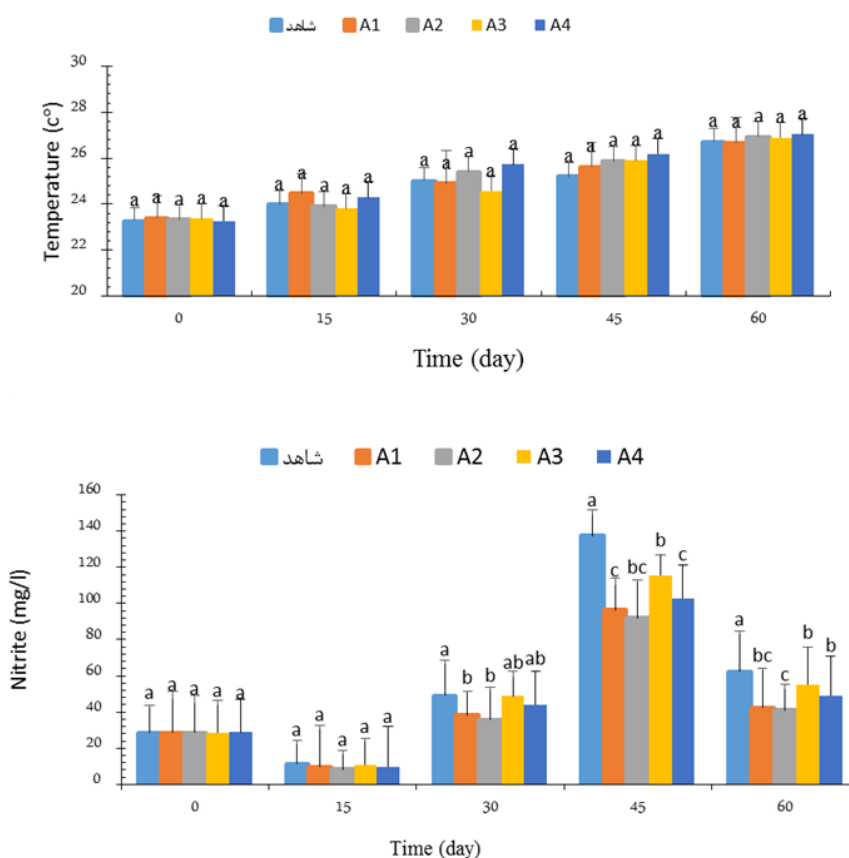


شکل ۸: مقایسه تغییرات نیتریت مخزن پرورش ماهی کپور معمولی در تیمارهای آزمایش در طول دوره ۶۰ روز. گروه شاهد: ۳۰ عدد ماهی کپور (بدون کاهو)، تیمار A1: ۱۰ عدد کاهو در متر مربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A2: ۳۰ عدد کاهو در مترمربع (بدون ماهی) همراه با کود مایع، تیمار A3: ۱۰ عدد کاهو و ۳۰ عدد ماهی 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/m² (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m² and 30 fish

و ماهی (A3 و A4) با افزایش تراکم کاهو از ۱۰ عدد (۰/۰۲±۱۳۶/۰۲ میلی گرم در لیتر) به ۳۰ عدد (۰/۰۵±۱۰۲/۰۵ میلی گرم در لیتر) در متر مربع کاهش یافت. میزان نیترات نیز تا روز ۱۵ آزمایش روندی نزولی داشت. طی روزهای ۱۵-۴۵ آزمایش دارای روندی صعودی بود و مجدداً طی روزهای ۴۵-۶۰ به روند نزولی بازگشت (شکل ۹؛ $p < 0/05$). 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؛ $p < 0/05$). در روز ۶۰ آزمایش بیشترین مقدار نیترات (۶۲/۴۰±۲/۱۵ میلی گرم در لیتر) در گروه شاهد بود ($p < 0/05$) و در تیمار A2 دارای کمترین مقدار (۴۰/۱±۹۶/۷۰ میلی گرم در لیتر) بود (شکل ۹؛ $p < 0/05$). میزان نیترات آب تیمارهای همراه با کاهو و ماهی (A3 و A4) با افزایش تراکم کاهو از ۱۰ عدد (۵۵/۳±۱۵/۲۵ میلی گرم در لیتر) به ۳۰ عدد (۱۱۷±۱/۹۱/۴۹ میلی گرم در لیتر) در هر مترمربع کاهش یافت (شکل ۹؛ $p < 0/05$).

میزان کلیانیت طی روزهای ۱۵-۶۰ آزمایش در تیمارهای A1 و A2 به شکل معنی‌داری کمتر از گروه شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی بود (شکل ۷؛ $p < 0/05$). در روز ۶۰ آزمایش کمترین میزان کلیانیت در تیمار A2 (۱۷/۱±۸۵/۸۳ میلی گرم بر لیتر) و بیشترین میزان در گروه شاهد (۱۳۳/۶۴±۱۵/۷ میلی گرم در لیتر) ثبت شد ($p < 0/05$). میزان نیترت همان‌طوری که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد، در تمامی تیمارهای آزمایشی تا روز ۱۵ آزمایش روندی نزولی داشت. طی روزهای ۱۵-۳۰ دارای روندی صعودی بود و مجدداً طی روزهای ۳۰-۶۰ آزمایش به روندی نزولی بازگشت. میزان نیتریت طی روزهای ۱۵-۶۰ آزمایش در گروه شاهد به شکل معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود ($p < 0/05$), 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 (۰/۱۸±۰/۰۴ میلی گرم بر لیتر) در گروه شاهد بود ($p < 0/05$) و در تیمار A2 (۰/۰۷±۰/۰۹ میلی گرم بر لیتر) دارای کمترین مقدار بود. میزان نیتریت در محیط آب در تیمارهای همراه با کاهو



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/m² (without fish) with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants/m² (without fish) with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce plants/m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce plants/m² and 30 fish

نتایج به دست آمده طول نهایی بوته، وزن نهایی بوته و نرخ رشد نسبی کاهو، تفاوت معنی داری را بین تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد نشان داد ($p < 0.05$). بر این اساس بیشترین طول نهایی بوته ($34/46 \pm 4/52$ سانتی متر)، وزن بوته ($66/34 \pm 4/67$ گرم) و نرخ رشد نسبی ($0/079 \pm 0/003$ گرم در روز) در تیمار A4 ثبت شد. اما طول و عرض نهایی برگ، تفاوت آماری معنی داری را بین تیمارهای آزمایشی در مقایسه با گروه شاهد نشان نداد ($p > 0.05$). از نظر میزان تولید کاهو، تیمار (A4) بهره‌وری بالاتری را نشان داد.

عملکرد رشد و کارایی غذا در ماهی کپور معمولی

نتایج مقایسه شاخص‌های رشد ماهی با آنالیز واریانس یکطرفه و طبق آزمون دانکن در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج بررسی بجه ماهیان، تغییرات معنی داری 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 ($p > 0.05$).

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

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

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

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

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؛ $p < 0.05$).

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

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

A4	A3	A2	A1	پارامترها
۷/۱۱ ± ۱/۶۶	۷/۱۱ ± ۱/۶۶	۷/۱۱ ± ۱/۶۶	۷/۱۱ ± ۱/۶۶	طول اولیه بوته (سانتی‌متر)
۳۴/۴۶ ± ۴/۵۳ ^a	۳۰/۱۶ ± ۲/۳۲ ^b	۲۷/۵۰ ± ۳/۱۴ ^c	۲۲/۷۳ ± ۴/۳۸ ^d	طول نهایی بوته (سانتی‌متر)
۱۰/۳۲ ± ۱/۴۹	۱۰/۳۲ ± ۱/۴۹	۱۰/۳۲ ± ۱/۴۹	۱۰/۳۲ ± ۱/۴۹	وزن اولیه بوته (گرم)
۶۶/۳۴ ± ۴/۶۷ ^a	۶۲/۱۴ ± ۳/۷۱ ^b	۵۸/۵۰ ± ۲/۲۰ ^c	۵۲/۴۳ ± ۱/۷۲ ^d	وزن نهایی بوته (گرم)
۵/۱۰ ± ۱/۲۰	۴/۹۵ ± ۱/۱۹	۵/۰۵ ± ۱/۳۰	۴/۸۹ ± ۱/۱۲	طول اولیه برگ (سانتی‌متر)
۲۱/۷۵ ± ۲/۵۱۰	۲۰/۶۲ ± ۱/۹۱	۲۲/۸۱ ± ۳/۱۰	۱۹/۵۹ ± ۲/۳۳	طول نهایی برگ (سانتی‌متر)
۱/۵۰ ± ۰/۹۰	۱/۴۶ ± ۰/۹۳	۱/۴۹ ± ۱/۳	۱/۴۶ ± ۰/۸۷	عرض اولیه برگ (سانتی‌متر)
۴/۲۰ ± ۰/۶۶	۴/۱۶ ± ۱/۰۱	۳/۹۶ ± ۱/۶۶	۳/۵۴ ± ۱/۶۶	عرض نهایی برگ (سانتی‌متر)
۰/۰۷۹ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۰۷۴ ± ۰/۰۲ ^{ab}	۰/۰۵۹ ± ۰/۰۷ ^b	۰/۰۴۸ ± ۰/۰۴ ^c	نرخ رشد نسبی (گرم/روز)

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؛ $p < 0.05$).

بحث

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 ۲۱-۲۵ 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 (Mashai et al., 2021). بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان اکسیژن محلول در تمامی تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد به شکل

استفاده از گیاهان مختلف از جمله کاهو می‌تواند به عنوان فیلتر زیستی در کاهش 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 آکواپونیک در فضای کارگاهی همراه با کاهو در تراکم بالا با حداقل تأثیرات بر کیفیت آب، امکان‌پذیر است. برخی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب در محیط‌های آبی شامل دما، اکسیژن محلول، نیترات، نیتریت، pH و قلیائیت

همراه با حفظ کیفیت آب در محدوده مطلوب پرورش بود. Mashaii و همکاران (۲۰۲۱) با پرورش ماهی تیلپیا در سیستم آکواپونیک نیز به نتایجی مشابه دست یافتند. در مورد انواع مختلف فرم‌های نیتروژن، میزان نیترات، نیتريت 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، نیتريت و تثبیت غلظت این شاخص‌ها مؤثر بود. در طول دوره آزمایش به دلیل نیتريفیکاسیون غیرمؤثر در سیستم‌های آکواپونیک، غلظت نیترات، نیتريت ابتدا تا روز ۱۵ کاهش یافت که می‌تواند به دلیل نیتريفیکاسیون غیر مؤثر 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 نیتريفیکاسیون این روند نزولی رخ داد (Makhdom et al., 2017). با افزایش جمعیت باکتری‌ها در سیستم، سطوح نیتريت در آب نیز کاهش می‌یابد و به نیترات که محصول نهایی نیتريفیکاسیون است، اکسید می‌شود. این چرخه حدود ۲۰ روز یا ۳ هفته به طول می‌انجامد (Somerville et al., 2014; Goddek et al., 2019). طبق گزارش‌های Harmon (۲۰۰۱) و Yavuzcan (2019) و همکاران (Yildiz و همکاران (۲۰۱۷) اگر آمونیاک یا نیتريت سیستم زیاد باشد (کمتر یا مساوی ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر)، نشان می‌دهد که سطح و میزان باکتری‌های مسئول نیتريفیکاسیون در سیستم کم است و اگر پس از گذشت مدت زمان لازم برای شکل‌گیری باکتری‌های نیتريفیکاسیون (حداکثر سه هفته) در سیستم همچنان مقادیر بالایی از آمونیاک یا نیتريت باشد، باید به صورت دستی سطح دسترسی باکتری‌ها را با معرفی باکتری‌های اتوتروف شامل جنس‌هایی از قبیل *Nitrospira*، *Nitrospina* و *Nitrospira* افزایش داد. این باکتری‌ها انرژی خود را از اکسیداسیون ترکیبات نیتروژن معدنی در آب می‌گیرند. غلظت نیتريت در تیمارهای آکواپونیک در محدوده توصیه شده برای کپور معمولی ($\geq 0/15$ میلی‌گرم در لیتر) بود (Harmon, 2001). Rakocy و همکاران

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 معنی‌داری 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 ($6/1 \pm 8/0/24$ میلی‌گرم بر لیتر) و کمترین ($5/76 \pm 1/18$ میلی‌گرم بر لیتر) به ترتیب در تیمارهای A2 و گروه شاهد اندازه‌گیری شد. مقدار pH نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد ($p > 0/05$) و در محدوده $6/87-7/51$ 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 ۶-۹ و میزان مطلوب اکسیژن محلول نیز باید در دامنه ۵-۸ 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 در سیستم 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 $0/196-0/72$ میلی‌گرم 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 مطلوب

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 ($17/1 \pm 104/19$ 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 در حالی که میزان جامدات معلق کل در تیمارهای آکواپونیک همراه با ماهی نسبت به تیمارهای آزمایشی بدون ماهی و گروه شاهد افزایش معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار جامدات معلق کل ($60/84 \pm$ میلی‌گرم بر لیتر) و کمترین ($1016/30 \pm 84/15$ میلی‌گرم بر لیتر) به ترتیب 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 زیست‌شناختی همچون تراکم ذخیره‌سازی، عوامل بیماری‌زا 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

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 $6 <$ 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 Taghipoor و 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 نعنا 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 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 نعنا 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 هر کدام 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 به‌طور موثر به‌ویژه در سیستم آکواپونیک رخ

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 نیتريت بیشتر در این تیمار نسبت به تیمارهای (A1 و A2) باشد. در پژوهش حاضر، بیشترین وزن نهایی بوته کاهو (۴/۶۷-۶۶/۳۴ 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 به ترتیب 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 Mashai 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^۱ نسبت به نوع هیرلومی (بیب)^۲ 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

بالای بچه ماهیان در سیستم آکواپونیک نیز مشابه با نتایج مطالعه Jha و Byrd (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 در مترمکعب 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 آبی‌زی پروری به انرژی قابل استفاده آبزبان تبدیل می‌شود در حالی که خوراک اضافی و مواد دفعی آبزبان 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 تراکم‌های 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، نیتريت و نیترات و پتاسیم را ایجاد کرد. مطالعه آنها تأیید کرد که سیستم‌های آکواپونیک صرفاً

¹ Romaine lettuce

² Bibb lettuce

(Tchobanoglous, 1976)، بود که در محدوده مناسب برای پرورش کاهو و ماهی کپور معمولی بودند. مشخص‌ترین یافته این مطالعه، مشاهده فرآیند نیتروفیکاسیون موثر در تیمار A4 بود که منجر به حفظ غلظت نیترات و نیتريت 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 آکوپونیک 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

هیدروپونیک میزان نیترات به طور قابل توجهی 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 قابل جذب 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 به طوری که در سیستم‌های آکوپونیک 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 آکوپونیک 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 بر لیتر و اسیدیته ۶-۹ بود (Rakocy *et al.*, 2004). نیتريت در تیمارهای آکوپونیک در محدوده توصیه شده برای کپور معمولی ($\geq 0/15$ میلی‌گرم در لیتر) (Harmon, 2001)، نیترات کمتر از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (Colt and

- 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 soilless 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

- 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., Sadiia, 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:10.52763/PJSIR.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, Iowa, 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

- 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:10.17762/sfs.v7i2.134
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseuw, 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.
- Pantarella, 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 (*Lactuca 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.** Comparison 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)

- 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:10.1016/S0264-410X(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*

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: 10.1002/j.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

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 m² (without fish) along with liquid fertilizer, A2: 30 lettuce plants per m² (without fish) along with liquid fertilizer, A3: 10 lettuce per m² and 30 fish, and A4: 30 lettuce per m² 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 level 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 m² and a density of 30 lettuce plants per m², 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