تاثیر تصفیه میکربی پساب در سیستم بازچرخشی با سرعت‌های مختلف گردش آب بر متغیرهای رشد، فیزیکوشیمایی آب، تراکم باکتری‌های آب و دستگاه گوارش بچه فیل ماهی‌پرورشی(*Huso huso*)

محسن پوراسدی[۱]
مهران آوخ کیسمی[۱*]
مسعود ستاری[۲]
حجت‌اله زمانی[۳]

۱. گروه شیلات و آبزیان، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
۲. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی صومعه‌سرا، دانشگاه گیلان.
۳. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان.

* **نویسنده مسئول مکاتبات**
dr.keysami@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷

این مقاله برگرفته از پایان نامه دکتری تخصصی رشته بوم شناسی آبزیان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان است.

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سرعت‌های مختلف گردش آب بر تصفیه‌کنندگی پساب با استفاده از غلظت^{۷}۱۰سلول در میلی‌لیتر از ترکیب باکتری‌ها (*Bacillus licheniformis*، *Corynebacterium ammoniagenes*، *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi*) و اثر آن بر متغیرهای فیزیکوشیمایی آب، رشد ماهی‌ها، تراکم باکتری‌های آب و دستگاه گوارش ماهی در خلال ۱۵ تیر تا ۱۵مرداد سال ۱۴۰۲ در کارگاه آبزی‌پروری مرکز آموزش شیلاتی میرزا کوچک خان گیلان انجام شد. ۳ تیمار و ۱ شاهد (هرکدام ۳ تکرار) در آکواریوم‌ها (۵۰×۵۰×۱۶۰)، با حجم آبگیری ۰/۴ مترمکعب و تراکم ۱۰ قطعه بچه فیل ماهی(*Huso huso*) شامل تیمار اول با دبی ۰/۰۰۴لیتر بر ثانیه با گردش آب روزانه ۱ بار، تیمار دوم با دبی ۰/۰۰۸لیتر بر ثانیه با گردش آب روزانه ۲ بار و تیمار سوم با دبی ۰/۰۱۲لیتر بر ثانیه با گردش آب روزانه ۳ بار و تیمار شاهد نیز با دبی ۰۰۴/ ۰ لیتر بر ثانیه، با گردش روزانه یک بار، از پساب تصفیه شده بیوفیلترها به‌صورت بازچرخشی تأمین گردید. غذادهی۳ بار در روز و با هوادهی یکسان انجام‌گرفته و ۴ روز پس از افزودن فیل ماهیان با وزن متوسط ۵۸/۱۳±۶۵/۳ گرم به آکواریوم‌ها، مخلوطی از ۴ باکتری به‌صورت سوسپانسیون غلیظ با نسبت ^{۷}۱۰ (سلول در میلی‌لیتر) به بیوفیلترهای ۳ تیمار آزمایشی، که در محل خروجی پساب این مخازن قرار داده شده بودند، تلقیح شد. میزان آمونیاک، نیتریت و نیترات، وزن و شاخص‌های رشد بچه ماهی‌ها به‌صورت هفتگی ارزیابی شد. هر هفته یک بار وزن همه بچه فیل ماهیان موجود در مخازن برای تعیین میزان غذای روزانه و هفتگی اندازه‌گیری و ثبت گردید. پس از ۴ هفته تیمار با غلظت‌های مختلف ترکیب باکتریایی منتخب، اختلاف کیفیت آب، تیمارهای آزمایشی و شاهد معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). در طول دوره آزمایش، میزان pH، اکسیژن، آمونیاک، نیتریت و نیترات در تیمار شاهد روند افزایشی و در سه تیمار آزمایشی روند کاهشی داشت. درصد بقا، افزایش وزن و ضریب رشد ویژه در تیمارها نسبت به شاهد افزایش داشت. برعکس ضریب تبدیل غذایی در تیمار شاهد نسبت به تیمارهای آزمایشی بیشتر بود ($P<۰/۰۵$). در مقایسه تیمارهای آزمایشی با همدیگر، اختلاف آماری معنی‌داری بین آنها وجود نداشت ($P>۰/۰۵$). بنابراین بر اساس این نتایج، ترکیب باکتریایی منتخب کشت شده در بیوفیلتر با غلظت ^{۷}۱۰ سلول در میلی‌لیتر هر یک از تیمارهای آزمایشی ۱و ۲ را برای تصفیه و بهبود کیفیت پساب خروجی، به‌منظور استفاده مجدد و بازگردش آب به مزارع پرورش فیل ماهی در نظر گرفت.

واژگان کلیدی: سیستم بازگردش آب ،کیفیت آب، فیل ماهی، شاخص‌های رشد.

مقدمه

با افزایش جمعیت، توسعه صنعت آبزی‌پروری به عنوان یکی از منابع مهم تولید مواد غذایی و پروتئین حیوانی ضروری است. رشد صنعت آبزی‌پروری، آلودگی‌های محیطزیستی را در سال‌های اخیر به دنبال داشته است. از این رو توجه به مدیریت و نوع روش پرورش آبزیان که با محیطزیست سازگار باشد، کاملاً ضروری است. توسعه فن‌آوری پالایش پساب مزارع پرورشی، نه فقط برای رشد این صنعت، بلکه برای مدیریت پساب‌های آبزی‌پروری جهت دستیابی به محیطزیست پایدار دارای اهمیت فراوانی است (Pourasadi *et al*., 2025). بحران جهانی کمبود آب شیرین، تمامی اشکال حیات را مورد تهدید قرار داده و در سال‌های اخیر، به جهت رشد مصارف انسانی، فعالیت‌های بشری و تغییرات اقلیمی رو بـه تشـدید بـوده اسـت (Ghosh *et al*., 2017). از منظر آبزی‌پروری نیز، اهمیت کمیت و کیفیت آب بر تمامی

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

جنبه‌های زیست‌شناسی ماهی همچون بقاء، رشد و سلامت و همچنین، ظرفیت تولید مزارع پرورش ماهی به‌طور گسترده‌ای توسط متخصصان و فعالان این بخش تأیید شده است (Ghosh *et al*., 2017).

به دلیل تغییرات شرایط اقلیمی و کمبود آب در کشور ما سیستم‌های مداربسته و گردشی آب، از بهترین روش‌های تولید تجاری پرورش ماهیان خاویاری قلمداد می‌شود. تولید تجاری ماهیان خاویاری شامل استفاده از سطح بالایی از تغذیه، حاوی پروتئین است. در فرآیند گوارش چربی و کربوهیدرات، آب و دی‌اکسید کربن به عنوان مواد زائد تولید می‌گردد و در هضم پروتئین، بازده ترکیبات نیتروژنی عمدتا آمونیاک است (Rafatnezhad *et al*., 2008; Kolarevic *et al*., 2014; Huang *et al*., 2020). روش‌های مختلفی برای تصفیه و کاهش سطح آمونیاک و نیتریت در محیط‌های پرورش آبزی وجود دارد. در روش زیستی، فیلترهای زیستی با ارایه سطوح اتصال فراوان جوامع میکروبی مرکب از باکتری‌های هتروتروف طراحی می‌شوند. نیتریفیکاسیون به‌طور خلاصه شامل اکسیداسیون هوازی در تبدیل آمونیوم به نیتریت و سپس، نیترات است. این واکنش در دو مرحله به وسیله باکتری‌های اکسید کننده آمونیوم مانند *Nitrosomonas* و *Nitrobacter* صورت می‌گیرد (Hollocher *et al*., 1981; Robles-Porchas *et al*., 2020). میزان گاز آمونیاک در محیط پرورش ماهیان خاویاری با توجه به زمان طولانی دوره پرورش، در مقادیر کم نیز سبب اثرات نامساعد بر شرایط فیزیولوژیک طبیعی و نهایتا عوارض مختلف، کاهش رشد، کیفیت گوشت و خاویار تولیدی می‌شود. سیستم‌های مختلفی برای تولید ماهیان مورد استفاده قرار می‌گیرند. معروف‌ترین روش تقسیم‌بندی سیستم‌های تولیدی بر مبنای میزان و دفعات استفاده از آب ورودی است که بر این اساس دو سیستم باز (جریان گذر) و سیستم‌های آبزی‌پروری بازگردشی (آب برگشتی) تعریف شده است (Timmons *et al*., 2002). در سیستم‌های پرورشی باز، آب ورودی تنها یک مرتبه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در سیستم‌های بازگردشی، آب درون سیستم گردش می‌کند و بر حسب طراحی سیستم، درصدی از آب تعویض و تصفیه می‌شود که بر اساس سطح فن‌آوری و واحدهای تصفیه‌ای موجود به دو سیستم بازگردشی نسبی (در ایران موسوم به آب برگشتی) و بازگردشی کامل (مدار بسته) تقسیم‌بندی می‌شوند (Lal *et al*., 2024). روش اصلی پرورش ماهیان خاویاری در ایران، پرورش در حوضچه‌های بتنی و فایبرگلاس و غیره است و عمدتا برای تامین آب مورد نیاز از سیستم باز استفاده می‌گردد. اما به دلیل شرایط اقلیمی خاص و کمبود آب در کشور، سیستم‌های بسته و گردشی از بهترین روش‌های تولید تجاری در صنعت آبزی‌پروری محسوب می‌شوند.

از طرف دیگر اصلاح زیستی محیط‌های آبی به‌منظور بهینه‌سازی منابع آبی از جمله اهدافی است که با استفاده از برخی باکتری‌های زیست‌یار،که موجب از بین رفتن آلودگی‌ها و بهبود فاکتورهای کیفی آب می‌گردند، قابل دستیابی است. در برخی کشورها، توسعه پایدار آبزی‌پروری با به‌کارگیری این باکتری‌ها رو به گسترش بوده که به‌ویژه باکتری‌هایی مانند *باسیلوس*(*Bacillus* sp.) ، *نیتروباکتر* و *نیتروزوموناس* را می‌توان نام برد (Frozza *et al*., 2021). تأثیر مثبت بعضی از باکتری‌ها بر آبزیان پرورشی با دیدگاه‌های متفاوتی نظیر بهینه‌سازی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی محیط پرورشی آن‌ها، پیشگیری و مبارزه با عوامل بیماری‌زا و هم‌چنین ارتقای عملکرد رشد آبزیان پرورشی، در تحقیقات بسیاری توسط محققان شیلاتی تایید شده است(Dutta *et al*., 2018). استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید در صنایع آبزی‌پروری به‌منظور مدیریت بیماری‌ها برای درمان و حتی پیشگیری بسیار جدی گرفته شده و حتی ارجحیت بیشتری از آنتی‌بیوتیک‌ها و ضدعفونی‌کننده‌ها یافته است (Yegane *et al*., 2021). Tung Pangو همکاران (۲۰۲۰) ۱۶۹ گونه باکتری عمدتاً ترکیبی از باسیل‌های گرم مثبت را در ماهی حوض (*Carassius auratus*) گزارش کردند. آن‌ها با بررسی پنج گونه از باکتری‌های جداسازی شده که فعالیت آنتاگونیست بالا داشتند، گونه *Bacillus thuringiensis* را به‌عنوان پالایشگر پساب مطلوب در مبارزه با طیف گسترده‌ای از عوامل آسیب‌زای ماهی و مقاوم به عوامل محیط‌زیستی نامناسب از قبیل pH پایین و دمای بالا گزارش کردند. فلور باکتریایی قادرند تا از طریق بهبود وضعیت محیط زندگی، اتصال به آب و رسوب استخرها و کلنی سازی در آن، رقابت در مصرف مواد مغذی، تولید ترکیبات مفید (آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، اسیدهای چرب و غیره)، تولید ترکیبات آنتاگونیستی و تحریک سیستم ایمنی به حفظ سلامتی موجود و ایجاد فلور روده‌ای متعادل کمک نمایند (Kolb *et al*., 2019). استفاده از آن‌ها در آبزی‌پروری موجب بهینه‌سازی تعادل جمعیت میکروبی آب و رسوب استخرهای پرورشی شده و تاثیرات بسیار مطلوبی را بر رشد و بقاء آن‌ها ایجاد می‌نماید (Talukdar *et al*., 2016).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

بر اساس نظر Herrera و همکاران (۲۰۲۳) ترکیب فلور میکروبی لوله گوارش ماهی به نوع غذا، مورفولوژی لوله گوارش، ظرفیت هضم و رفتارهای فیزیولوژیک ماهی بستگی دارد. باکتری‌های روده‌ای آبزیان با فلور باکتریایی محیط‌زیست‌شان به واسطه تغذیه آن‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد(Keysami *et al*., 2012; Huang *et al*., 2020; Monghit-Camarin *et al*., 2020; Avakh Keysami *et al*., 2025). از آنجا که زیستگاه ماهی آب و متاثر از رسوبات استخر است، جمعیت غالب باکتری‌های دستگاه گوارش ماهی نیز فلور باکتریایی آب و رسوبات استخر پرورش ماهی است (Ray *et al*., 2012; 2020; Huang *et al*., 2020; Keysami *et al*., 2022; Ibrahem, 2015; Hanol Bektas,). به‌عبارت دیگر، انواع مشابه باکتری‌هایی که از دستگاه گوارش ماهی و آب محیط پرورش آن‌ها جداسازی شده و فلور میکروبی ماهی را تشکیل می‌دهد، از طریق تغذیه وارد دستگاه گوارش ماهی شده‌اند (Ray *et al*., 2012; Hanol Bektas 2020) و جریان آب نیز تأثیر محیط اطراف را روی فلور میکروبی آبزیان افزایش می‌دهد (Kolarevic *et al*., 2014). حتی اگر تعداد زیادی از باکتری‌های جداسازی شده بیماری‌زا نشان داده باشند (Keysami *et al*., 2022 ; Bronzi *et al*., 2019) اما آن‌ها پاتوژن اولیه نیستند (Ye *et al*., 2014 ; Frozza *et al*., 2021) و در درون و سطح بدن آبزیان و در آب دریا، مصب‌ها و محیط‌های آب شیرین به عنوان قسمتی از میکروفلورای طبیعی بدن آبزیان محسوب می‌شوند (Herrera *et al*., 2023) و شاید در شرایط بروز استرس و تحلیل دستگاه ایمنی بدن آبزیان بیماری‌زایی نمایند (Ye *et al*., 2014; Monghit-Camarin *et al*., 2020; Pang *et al*., 2020 ; Zhao *et al*., 2009).

به هنگام افزایش آمونیاک، نیتریت، سولفید هیدروژن و متان در محیط‌های آبی، میکروارگانیسم‌های موجود قادر به کاهش آنها در کوتاه مدت نیستند و از طرفی تکثیر میکروارگانیسم‌های هتروتروف تجزیه کننده مواد آلی، باعث افزایش شرایط بی‌هوازی می‌شوند. به دنبال آن، کمبود اکسیژن به‌وجود می‌آید که دارای اثرات سوء بر آبزیان مختلف است (Neissi *et al*., 2022). به‌منظور تقویت میکروارگانیسم‌های طبیعی آب، از باکتری‌های مفید تحت عنوان پروبیوتیک استفاده می‌شود که این باکتری‌ها باعث افزایش تجزیه مواد آلی، کاهش غلظت نیتروژن و فسفر، افزایش اکسیژن محلول، کاهش H_2S و سیانوباکتری‌ها می‌شوند. همچنین کنترل آمونیاک و نیتریت موجب جلوگیری از مسمومیت و شیوع بیماری و افزایش بقا و در نتیجه افزایش تولید می‌شود. Lal و همکاران (۲۰۲۴) در استفاده از میکروارگانیسم‌ها به منظور کاهش آلاینده‌های مختلف از جمله آمونیاک و نیتریت باید به عوامل مختلف از جمله pH، نوع میکروارگانیسم، غلظت و روش مورد استفاده، دما و سیستم هواده توجه کرد، زیرا عوامل ایجاد شده در ارتباط مستقیم با افزایش و یا کاهش واکنش‌های تجزیه‌ای هستند.

بنابراین از آنجا که فلور باکتریایی مفیدی وجود دارند که کیفیت آب مزرعه پرورشی را بهبود بخشیده و در رقابت، فلور باکتریایی بیماری‌زا را حذف می‌نماید. از نظر اکولوژیکی با توجه به تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی مورد نیاز، مطالعه و بهره‌گیری از سیستم‌های نوین در پرورش ماهیان خاویاری برای استفاده محدد از پساب برای آبزی‌پروری مورد تاکید مجامع علمی قرار گرفته است(Yegane *et al*., 2021). این تحقیق با هدف بررسی تأثیر یک غلظت مشخص از باکتری‌های منتخب تصفیه‌گر پساب 10^7 (سلول در میلی‌لیتر) تلقیح شده در بیوفیلترها تحت سرعت‌های مختلف گردش آب، بر میزان حذف آمونیاک و نیتریت و از سوی دیگر، با هدف اقتصادی یعنی تاثیر این عمل بر شاخص‌های رشد فیل ماهیان (*Huso huso*) پرورشی در قیاس با تیمار شاهد (دارای بیوفیلتر بدون اضافه کردن باکتری) انجام شد. اما از نظر اکولوژیکی نیز با توجه به تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی مورد نیاز، بهره‌گیری از سیستم‌های بسته و گردشی در پرورش ماهیان خاویاری اجتناب ناپذیر است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش از ۱۵ تیر تا ۱۵مرداد سال ۱۴۰۲ در بخش آبزی‌پروری مرکز آموزش شیلاتی میرزا کوچک خان گیلان در قالب سه تیمار و یک شاهد و هرکدام با ۳ تکرار برای تصفیه زیستی پساب ۱۲ آکواریوم پرورش بچه ماهی به ابعاد۵۰×۵۰×۱۶۰ باحجم آبگیری ۰/۴ متر مکعب و با تراکم ۱۰ قطعه فیل ماهی (*Huso huso*) با وزن متوسط ۵۸/۱۳±۶۵/۳ گرم در هر آکواریوم انجام شد. این آزمایش در یک طرح کاملا تصادفی با ۳ تیمار آزمایشی و یک تیمار شاهد اجرا گردید (شکل ۱ و جدول ۱).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

شکل ۱: چیدمان آکواریوم‌های تیمار و شاهد و بیوفیلترهای طراحی شده در کارگاه آبزی‌پروری مرکز آموزش میرزا کوچک خان

جدول ۱: طرح آزمایش با ۳ تیمارتهیه شده با سرعت گردش متفاوت آب آکواریوم پرورش بچه فیل ماهیان دربیوفیلترهای حاوی غلظت^{۷}۱۰ (سلول در میلی‌لیتر) از ترکیب باکتری‌ها(*Bacillus licheniformis*، *Corynebacterium ammoniagenes*، *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi*) و یک تیمار شاهد(بدون تلقیح باکتری)

تیمار	شرح تیمار
C	تیمار شاهد: با گردش روزانه ۱ بار آب آکواریوم در بیوفیلتر(بدون تلقیح باکتری)
T_1	تیمار ۱: با گردش روزانه ۱ بار آب آکواریوم در بیوفیلتر تلقیح شده با ترکیب باکتریایی
T_2	تیمار ۲: با گردش روزانه ۲ بار آب آکواریوم در بیوفیلتر تلقیح شده با ترکیب باکتریایی
T_3	تیمار ۳: با گردش روزانه ۳ بار آب آکواریوم در بیوفیلتر تلقیح شده با ترکیب باکتریایی

تهیه غلظت ^{۷}۱۰ (سلول در میلی‌لیتر) ازترکیب باکتری‌ها

چهار گونه باکتری تصفیه‌گر منتخب شامل *Bacillus licheniformis*، *Corynebacterium ammoniagenes*، *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi* که از پساب مزارع پرورش ماهیان خاویاری جداسازی شده بودند و در غربالگری نسبت به یکدیگر خاصیت ضدباکتریایی نداشتند ولی دارای بیشترین خاصیت ضدباکتریایی علیه باکتری‌های *Aeromonas hydrophila* بر اساس روش انتشار در دیسک بودند، در این پژوهش مورد استفاده قرارگرفتند (Pourasadi *et al*., 2025; Gao *et al*., 2017). باکتری‌های منتخب در محیط کشت مایع نوترینت براث (NB) پرورش و روی محیط کشت جامد نوترینت آگار (NA) نگهداری شدند. ترکیب باکتریایی *Bacillus*، *Corynebacterium*، *Nitrosomonas* و *Nitrobacter* در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد و در ارلن ۲ لیتری در شیکر انکوباتور پرورش داده شد. پس از گذشت ۴۸ ساعت، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (آلمانHermle,Fixatte,Labortechnik) و با سرم فیزیولوژی(NSS; Nacl 8.5 g/l) سه بار شستشو، تا زمان مصرف در یخچال (دمای ۴ درجه) نگهداری شدند. تعیین تراکم^{۷}۱۰ (سلول در میلی‌لیتر) نیز با استفاده از لوله‌های مک‌فارلند و خواندن غلظت جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Jenway, 6105، انگلستان) انجام گرفت.

طراحی و ساخت بیوفیلتر تصفیه باکتریایی پساب

برای انجام این آزمایش ابتدا ۱۲ عدد بیوفیلتر آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. به این ترتیب که برای تصفیه پساب خروجی مخازن پرورش ماهی ابتدا یک میکروفیلتر، شامل یک بطری آب نیم لیتری که دو سوم آن با سنگریزه پر شده، در داخل هر اکواریوم قرار داده شد. پساب خروجی ابتدا از فیلتر شنی با روش .A.W.L (انتقال آب با فشار هوا) به داخل بیوفیلتر که در پایین هر اکواریوم نصب شده بود، وارد شد (Otte and Rosenthal, 1979). بیوفیلترهای آماده شده، متشکل از ۶ عدد زانوی لوله پولیکا با قطر دهانه ۸۰ میلی‌متری بود که دو سوم حجم آن با پوکه معدنی (Scoria) سنگ آذرین قروه کردستان به عنوان بستر کشت و رشد باکتری‌ها (Media) پر شد(شکل ۲).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

شکل۲: بیوفیلتر طراحی‌شده (آزمایشگاهی) برای تصفیه پساب خروجی در سیستم باز گردش آب

برای بازگردش کل پساب تصفیه شده از بیوفیلترها و برقراری جریان آبی مورد نظر از ۱۲ عدد الکتروپمپ (برای مکش آب‌های تصفیه شده با پرگنه‌های احتمالی واقع در مدار آب برگشتی) و دهش آب تصفیه‌شده و ایجاد جریان ورودی آب برگشتی برای مخازن پرورشی تیمارهای آزمایشی و شاهد استفاده گردید. در طول دوره آزمایش به‌منظور جبران تلفات آب هدررفته و تبخیری مخازن پرورشی، به میزان کاهش سطح آب این مخازن، از آب تازه ذخیره شده در تانک‌ها استفاده شد. میزان دبی پساب تصفیه شده بازگردشی در هر یک از اکواریوم های تیمار اول ۴ ۰۰/ ۰ لیتر بر ثانیه با گردش آب روزانه ۱ بار، در تیمار دوم ۸ ۰۰/۰لیتر بر ثانیه با گردش آب روزانه ۲ بار و در تیمار سوم ۱۲ ۰/۰ لیتر بر ثانیه با گردش آب روزانه ۳ بار درنظر گرفته شد.

در مجموع۱۲۰ قطعه بچه فیل ماهی از بخش تکثیر و پرورش انستیتو بین‌المللی ماهیان خاویاری و کارگاه شهید بهشتی جمع آوری و در ۱۲ مخزن (آکواریوم) به ابعاد ۵۰×۵۰×۱۶۰ با حجم آبگیری ۰/۴ متر مکعب و با تراکم ۱۰ قطعه بچه ماهی خاویاری فیل ماهی در هر آکواریوم ذخیره سازی شدند. وزن متوسط ماهی‌ها در شروع آزمایش در۳ تیمار آزمایشی (۶۵/۳۸±۲/۱۷) گرم بود که با وزن متوسط ماهی‌ها، در تیمار شاهد (۱/۹۵ ±۶۵/۳۱) گرم اختلاف معنی‌دار آماری نداشت ($P>0/05$). بچه ماهی‌ها به‌منظور سازگاری با شرایط آزمایش به مدت سه روز با ۳ وعده غذا روزانه تغذیه شده و در شرایط آزمایش نگهداری شدند. پس از اضافه کردن آب و ۱۰ قطعه از فیل ماهیان پرورشی به هر یک از مخازن شیشه‌ای، غذادهی به‌صورت معمول و با هوادهی یکسان به مدت ۴ روز انجام شد. اندازه‌گیری pH، دما و اکسیژن از شروع کشت ماهیان در داخل آکواریوم‌ها، ولی میزان آمونیاک، نیتریت و نیترات پس از ۴ روز بعد از تغذیه ماهیان اندازه‌گیری شد. pH با دستگاه pH متر (WTW، آلمان)، دما با دماسنج جیوه‌ای، اکسیژن محلول با اکسی‌متر (V5، YSI، آمریکا) و متغیرهای NO_2، NO_3 و NH_3 با دستگاه نیتریت و نیترات و آمونیاک‌سنج (HI93715، Hanna، تایوان) و همچنین اسپکتروفوتومتر (6105، Jenway، انگلستان) اندازه‌گیری و ثبت شد. میزان غذادهی با استفاده از غذای اکسترود ماهیان خاویاری (FFS1، فرادانه، ایران، جدول ۲) انجام شد. میزان غذادهی برحسب دمای آب، ۴-۳ درصد وزن بدن، سه بار در روز (صبح، ظهر و عصر) به بچه ماهیان داده شد. هر هفته یک بار وزن هر ۱۰ بچه ماهی آکواریوم‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم ثبت می‌شد تا مقدار غذادهی روزانه و شاخص‌های رشد ماهیان در طول هفته و دوره یک ماهه معین شود.

جدول۲- مشخصات غذای اکسترود مورد استفاده بچه ماهیان فیل ماهی در طول آزمایش

اندازۀ غذای (میلی‌متر)	پروتئین خام (درصد)	چربی خام (درصد)	خاکستر (درصد)	فیبرخام (درصد)	رطوبت (درصد)	فسفر (درصد)	انرژی قابل هضم (کیلوکالری/کیلوگرم)
۲/۰±۱/۲	۰±۴۸/۶۴	۱۱/۰±۸/۵۲	۱۰/۰±۱/۰۵	۲/۰±۶/۰۴	۹/۰±۳/۰۳	۱/۰±۳/۰۲	۳۲±۳۶۰۰

در طول آزمایش ترکیب باکتری‌ها شامل ۴ گونه مختلف باکتری شامل *Bacillus licheniformis*، *Corynebacterium ammoniagenes*، *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi* با غلظت 10^7 (سلول در میلی‌لیتر) که در ارلن ۲ لیتری آماده شد و سپس به بیوفیلترهای آزمایشی (بستر کشت Scoria) در روز چهارم تلقیح گردید. میزان تراکم باکتری‌ها در هر بیوفیلتر

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

به صورت روزانه بررسی شد تا در صورت کاهش تراکم تعیین شده برای هر تیمار، نیاز روزانه تراکم باکتری‌های تیمارها با اضافه کردن ترکیب باکتریایی جبران شود. در طی دوره آزمایش، آکواریم‌ها با یک پمپ (کمپرسور مرکزی) به‌طور یکسان هوادهی شدند. میزان دوره نوری به‌صورت طبیعی برای آکواریوم ها در نظر گرفته شد.

درپایان دوره پرورش با اطلاعات به دست آمده از وزن ماهیان، شاخص‌های رشد بچه فیل ماهیان بر اساس رابطه‌های زیر محاسبه گردید:

افزایش وزن (WG)(گرم)= وزن اولیه– وزن نهایی

افزایش وزن بدن(BWI) (درصد)=۱۰۰ × [(میانگین وزن اولیه) / (میانگین وزن اولیه– میانگین وزن نهایی)] (Ronyai *et al*., 1990)

ضریب رشد ویژه (SGR)(درصد در روز) =۱۰۰×[زمان آزمایش / (لگاریتم وزن اولیه– لگاریتم وزن نهایی)] (Qinghui *et al*., 2004)

ضریب تبدیل غذایی(FCR)= ۱۰۰× [افزایش وزن کسب شده (گرم) / مقدارغذای مصرفی(گرم)] (Ronyai *et al*., 1990)

درصدبقاء بچه ماهی‌ها =(SR)۱۰۰× [تعداد ماهیان در ابتدای دوره / تعداد ماهیان در انتهای دوره]

تجزیه وتحلیل آماری

برای بررسی توزیع نرمال داده‌های فراسنجه‌های کیفیت آب، میانگین تعداد کل باکتری‌ها و شاخص‌های رشد در تیمارها از آزمون Shapiro-Wilk استفاده شد. در صورت نرمال بودن داده‌ها برای مقایسه آماری تیمارها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) در سطح اطمینان ۹۵ درصد (P<۰/۰۵) و برای مقایسه گروه‌ها با یکدیگر از آزمون دانکن استفاده شد. کلیه آزمون‌های آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج

بر اساس نتایج (جدول۳) اندازه‌گیری متغیرهای کیفی آب اکواریوم‌های پرورش فیل ماهیان، (میزان اکسیژن و pH) تیمارهای آزمایشی (T_1، T_2 و T_3) و تیمار شاهد (C) اختلاف معنی‌دار آماری با هم داشتند (P<۰/۰۵). به نحوی که میزان pH تیمار شاهد در طی چهار هفته متوالی افزایش پیدا کرد، اما در هر سه تیمار آزمایشی با کاهش همراه بود. در بین تیمارهای آزمایشی نیز تیمار اول(T_1) کاهش بیشتری داشته، ولی اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). همچنین میزان اکسیژن در تیمارهای آزمایشی دارای روند افزایشی بود، اما در تیمار شاهد روند کاهشی داشت. از نظر اکسیژن نیز تیمار اول (T_1) در بین تیمارهای آزمایشی افزایش بیشتری داشت، ولی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کیفیت پساب خروجی بیوفیلترها از نظر آمونیاک، نیتریت و نیترات بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بودند (P<۰/۰۵). در تیمارهای آزمایشی، به غیر از هفته اول که نیتریت افزایش پیدا کرد، در طول سه هفته بعد ترکیبات نیتروژنه روند کاهشی داشتند. اما در بین سه تیمار آزمایشی (T_1، T_2 ، T_3) هرچند تیمار اول(T_1) از نظر میزان آمونیاک، نیتریت و نیترات، کاهش بیشتری را نشان داد، اما اختلاف آماری معنی‌داری بین آنها دیده نشد (P>۰/۰۵). بر اساس نتایج به دست آمده، بین کیفیت آب گروه‌های تیمار و شاهد، اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت (P<۰/۰۵). این نتایج بیانگر آن است که کاهش سرعت گردش اب به یک بار در روز(T_1) تاثیر مثبتی بر میزان تصفیه کنندگی ترکیب باکتریایی تلقیح شده در بیوفیلترها و بهبود کیفیت فیزیکوشیمیایی پساب خروجی مخازن پرورش فیل ماهی داشت. براساس نتایج به دست آمده (جدول ۴) لگاریتم تعداد کل باکتری‌ها در پساب خروجی تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد هیچ‌گونه اختلاف آماری معنی داری را نشان نمی‌دهد (P>۰/۰۵) به نحوی که تعداد کل باکتری‌ها هم در تیمار شاهد و هم در تیمارهای آزمایشی در طی چهار هفته دارای روند افزایشی تقریبا یکنواخت می‌باشند. قابل ذکر است تیمار شاهد دارای فلور باکتریایی طبیعی بوده اما در تیمارهای آزمایشی غالبیت باکتری‌ها مربوط به ترکیب باکتریایی تلقیح شده به بیوفیلترها است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

جدول۳: نتایج بررسی ویژگیهای کیفی آب آکواریوم‌های پرورش فیل ماهیان با استفاده از۳ تیمارتهیه شده با سرعت گردش متفاوت آب و پساب مخازن پرورش در بیوفیلترهای حاوی ترکیب باکتری‌ها شامل *Bacillus licheniformis*، *Corynebacterium ammoniagenes*، *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi* با غلظت ۱۰^۷ (سلول در میلی‌لیتر) و شاهد بدون ترکیب باکتری‌های کاندید (میانگین ± انحراف معیار؛ سه تکرار)

متغیر	تیمار	زمان (هفته)				
		۰	۱	۲	۳	٤
آمونیاک (mg/L)	C	۰/۰±۱۶/۰۵	۰/۰±۲۵/۰۶	۰/۰±۵۲/۰۴	۰/۰±۷۶/۰۶	۱/۰±۰۴/۰۶[b]
	T_1	۰/۰±۱۶/۰۶	۰/۰±۱۵/۰۷	۰/۰±۱۱/۰۶	۰/۰±۰۹/۰۷	۰/۰±۰۷/۰۱[a]
	T_2	۰/۰±۱۶/۰۷	۰/۰±۱۴/۰۵	۰/۰±۱۰/۰۸	۰/۰±۰۹/۰۷	۰/۰±۰۸/۰۱[a]
	T_3	۰/۰±۱۶/۰۳	۰/۰±۱۵/۰۴	۰/۰±۱۱/۰۶	۰/۰±۰۹/۰۵	۰/۰±۰۸/۰۲[a]
نیتریت (mg/L)	C	۰/۰±۲۴/۰۴	۰/۰±۳۵/۰۲	۰/۰±۳۹/۰۶	۰/۰±۳۶/۰۵	[b]۰/۰±۴۱/۰۵
	T_1	۰/۰±۲۳/۰۶	۰/۰±۱۷/۰۷	۰/۰±۱۲/۰۵	۰/۰±۱/۰۵	۰/۰±۰۸/۰۳[a]
	T_2	۰/۰±۲۴/۰۳	۰/۰±۱۹/۰۵	۰/۰±۱۶/۰۳	۰/۰±۱۲/۰۶	۰/۰±۰۸/۰۷[a]
	T_3	۰/۰±۲۳/۰۷	۰/۰±۲۱/۰۶	۰/۰±۱۹/۰۵	۰/۰±۱۵/۰۳	۰/۰±۰۹/۰۳[a]
نیترات (mg/L)	C	۳/۰±۶۴/۱۳	۳/۰±۷۰/۶۳	۳/۰±۷۶/۲۶	۳/۰±۸۳/۳۶	۳/۰±۹۳/۳۶[b]
	T_1	۳/۰±۶۴/۱۵	۳/۰±۱۱/۳۳	۲/۰±۷۶/۳۱	۲/۰±۲۲/۱۱	۲/۰±۱۲/۱۶[a]
	T_2	۳/۰±۶۴/۴۱	۳/۰±۲۴/۱۶	۲/۰±۴۳/۲۲	۲/۰±۳۳/۴۳	۲/۰±۰۸/۴۷[a]
	T_3	۳/۰±۶۴/۳۳	۳/۰±۲۵/۴۱	۲/۰±۶۵/۳۵	۲/۰±۴۲/۵۵	۲/۰±۱۵/۱۶[a]
pH	C	۸/۰±۰۶/۱۶	۸/۰±۴/۴۱	۸/۰±۵/۲۱	۸/۰±۶/۲۵	۸/۰±۶/۲۴[b]
	T_1	۸/۰±۰۶/۱۸	۸/۰±۰۲/۳۲	۷/۰±۹۵/۳۳	۷/۰±۷/۲۸	۷/۰±۵۳/۱۶[a]
	T_2	۸/۰±۰۶/۲۳	۸/۰±۰۱/۳۱	۷/۰±۹۵/۳۲	۷/۰±۷/۳۵	۷/۰±۵۴/۳۸[a]
	T_3	۸/۰±۰۶/۳۶	۸/۰±۰۱/۵۲	۷/۰±۹۳/۶۳	۷/۰±۷/۷۸	۷/۰±۵۱/۴۲[a]
اکسیژن محلول (mg/L)	C	۷/۰±۰/۳۶	۶/۰±۷/۳۱	۵/۰±۹/۳۱	۵/۰±۴/۵۵	۵/۰±۲/۱۸[b]
	T_1	۷/۰±۰/۱۶	۶/۰±۹/۱۵	۷/۰±۱/۱۵	۷/۰±۱/۲۱	۷/۰±۵/۰۹[a]
	T_2	۷/۰±۰/۱۱	۶/۰±۹/۴۵	۷/۰±۱/۲۱	۷/۰±۲/۳۶	۷/۰±۵/۱۱[a]
	T_3	۷/۰±۰/۳۱	۶/۰±۹/۳۱	۷/۰±۱/۰۹	۷/۰±۱/۴۵	۷/۰±۴/۷۱[a]
دما (°C)	C	۲۱/۰±۶/۱۵	۲۲/۰±۲/۹۵	۲۲/۰±۳/۸۱	۲۲/۰±۷/۶۸	۲۲/۰±۸/۹۱[a]
	T_1	۲۱/۰±۶/۶۱	۲۲/۰±۲/۹۹	۲۲/۰±۳/۹۱	۲۲/۰±۷/۸۵	۲۲/۰±۸/۷۱[a]
	T_2	۲۱/۰±۶/۸۱	۲۲/۰±۲/۷۱	۲۲/۰±۳/۶۲	۲۲/۰±۷/۶۵	۲۲/۰±۸/۵۸[a]
	T_3	۲۱/۰±۶/۷۳	۲۲/۰±۲/۴۵	۲۲/۰±۳/۶۴	۲۲/۰±۷/۸۱	۲۲/۰±۸/۷۵[a]

جدول٤ :لگاریتم تعدادکل باکتری‌های آب آکواریوم‌های پرورش فیل ماهیان با استفاده از۳ تیمارتهیه شده با سرعت گردش متفاوت آب و پساب مخازن پرورشی در بیوفیلترهای حاوی غلظت ۱۰^۷ (سلول در میلی‌لیتر) از ترکیب باکتری‌های *Bacillus licheniformis*، *Corynebacterium ammoniagenes*، *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi* و یک تیمار شاهد بدون باکتری‌های کاندید در دوره ٤ هفته‌ای آزمایش (میانگین ± انحراف معیار؛ سه تکرار)

زمان (هفته)	لگاریتم تعداد کل باکتری‌ها (CFU/mL)			
	C	T_1	T_2	T_3
۰	۲/۵±۱	۲/۵±۱	۲/۵±۱	۲/۵±۱
۱	۳/۴±۱	۳/۷±۱	۳/۷±۲	۳/۸±۲
۲	۴/۰±۲	۴/۲±۱	۴/۲±۱	۴/۳±۱
۳	۴/۷±۳	۴/۹±۲	۵/۰±۲	۵/۱±۳
۴	۵/۵±۱	۵/۷±۱	۵/۸±۱	۵/۸±۱

اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

بر اساس نتایج (جدول۵) در مورد شاخص‌های رشد بچه فیل ماهیان در آکواریوم‌های پرورشی، با سرعت گردش متفاوت آب و پساب مخازن پرورشی در بیوفیلترهای تلقیح شده با غلظت $۱۰^{۷}$ (سلول در میلی‌لیتر) از ترکیب باکتریایی در بیوفیلتر یک سیستم بازگردشی، نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح باکتری‌های منتخب)، در مقایسه میانگین وزن نهایی فیل ماهیان در تیمارهای آزمایشی با تیمار شاهد، اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). در افزایش وزن فیل ماهیان بین تیمارهای آزمایشی و شاهد اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). میانگین درصد افزایش وزن در تیمارهای آزمایشی به شکل معنی‌داری نسبت به شاهد بیشتر بود، اما اختلاف معنی‌داری در بین تیمارهای آزمایشی دیده نشد ($P>۰/۰۵$). هر چند که تیمار ۱ و ۲ نسبت به تیمار سوم درصد افزایش وزن بیشتری را نشان دادند. در مقایسه میانگین ضریب تبدیل غذایی بین تیمارها و شاهد در پایان دوره، اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). میزان ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای آزمایشی به شکل معنی‌داری نسبت به شاهد از میزان کمتری برخوردار بوده و عملکرد غذا در تیمارهای آزمایشی نسبت به شاهد بهتر بود. در ارزیابی شاخص ضریب تبدیل غذایی نیز بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P>۰/۰۵$) اما تیمار اول نسبت به تیمارهای ۲ و ۳ ضریب تبدیل کمتری داشت. در مقایسه نرخ رشد ویژه فیل ماهیان در تیمارهای آزمایشی و شاهد، اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). نتایج نشان داد که میانگین نرخ رشد ویژه در تیمارها به شکل معنی‌داری نسبت به شاهد بیشتر بود. از نظر میزان درصد بازماندگی بچه ماهیان نیز بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد اختلاف آماری معنی‌داری دیده شد ($P<۰/۰۵$). تیمار شاهد کمترین میزان بازماندگی را نسبت به تیمارهای آزمایشی داشت (۹۳/۳ ٪). در بین تیمارهای آزمایشی نیز، تیمار اول بیشترین بازماندگی (۱۰۰٪) را نشان داد.

جدول ۵: شاخص های رشد فیل ماهیان پرورشی با استفاده از ۳ تیمار با سرعت گردش متفاوت آب آکواریوم با بیوفیلترهای حاوی غلظت $۱۰^{۷}$ (سلول در میلی‌لیتر) از ترکیب باکتری‌های *Bacillus licheniformis*، *Corynebacterium ammoniagenes*، *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi* و یک شاهد بدون تلقیح باکتریایی در٤ هفته پرورش (میانگین ± انحراف معیار؛ سه تکرار)

تیمارها	T1	T2	T3	C
وزن اولیه (گرم)	۶۵/۵۱±۲/۱۶^{a}	۶۵/۱۸±۲/۱۱^{a}	۶۵/۳۸±۱/۹۲^{a}	۶۵/۳۱±۱/۹۵^{a}
وزن نهایی (گرم)	۱۳۳/۲۱±۴/۱۱^{b}	۱۳۲/۷۵± ۳/۵۲^{b}	۱۲۷/۹۱±۴/۲۰^{ab}	۱۱۸/۶±۶/۱۵^{a}
درصدافزایش وزن بدن(BWI)	۱۰۳/۳۴±۰/۲۸^{b}	۱۰۳/۶۶±۰/۵۲^{b}	۹۵/۶۴±۰/۱۸^{ab}	۸۱/۵۰±۰/۳۵^{a}
نرخ رشد ویژه (SGR٪)	۲/۵۶±۰/۰۸^{b}	۲/۵۶±۰/۰۹^{b}	۲/۳۹±۰/۰۶^{ab}	۲/۰۲±۰/۰۹^{a}
ضریب تبدیل غذا(FCR)	۱/۲۲±۰/۱۶^{b}	۱/۲۱±۰/۱۹^{b}	۱/۲۵±۰/۲۴^{b}	۱/۳۵±۰/۱۲^{a}
درصد بقاء (SR)	۱۰۰±۰/۰^{b}	۹۶/۶ ±۰/۰۴^{ab}	۹۶/۶ ±۰/۰۴^{ab}	۹۳/۳±۰/۰۳^{a}

BWI: درصد افزایش وزن بدن؛ SGR: نرخ رشد ویژه؛ FCR: ضریب تبدیل غذا؛ SR: درصد بقاء.
در هر ردیف، حروف غیرهمسان نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است ($P<۰/۰۵$).

بحث و نتیجه‌گیری

از مشکلات اساسی آبزی‌پروری متراکم ماهیان خاویاری و به‌ویژه سیستم‌های بسته، افزایش آمونیاک و نیتریت حاصل از فعالیت‌های مختلف آبزی در محیط پرورشی است (Kolarevic *et al*., 2014). از این رو، باید تدابیری اتخاذ کرد که آمونیاک و نیتریت تولیدی حذف و یا میزان سمیت آنها در آب به کمترین حدی برسد که آسیبی به آبزیان وارد نکند (Colt, 2006; Bronzi *et al*., 2019; Neissi *et al*., 2022). به هنگام افزایش آمونیاک، نیتریت، سولفید هیدروژن و متان در محیط‌های آبی، میکروارگانیسم‌های موجود قادر به کاهش آنها در کوتاه مدت نیستند و از طرفی تکثیر میکروارگانیسم‌های هتروتروف تجزیه کننده مواد آلی، باعث افزایش شرایط بی‌هوازی می‌شوند. به دنبال آن، کمبود اکسیژن به‌وجود می‌آید که دارای اثرات سوء بر آبزیان مختلف است (Colt, 2006). به منظور تقویت میکروارگانیسم‌های طبیعی آب، از باکتری‌های مفید تحت عنوان پروبیوتیک استفاده می‌شود که این باکتری‌ها باعث افزایش تجزیه مواد آلی، کاهش غلظت نیتروژن و فسفر، افزایش اکسیژن محلول، کاهش H_2S و سیانوباکتری‌ها می‌شوند. همچنین کنترل آمونیاک و نیتریت موجب جلوگیری از مسمومیت و شیوع بیماری و افزایش بقا و در نتیجه افزایش تولید می‌شود (Lal *et al*., 2024). بهینه‌سازی شرایط فیزیکوشیمیایی آب با افزایش جمعیت گونه‌های خاص باکتریایی تصفیه‌گر وتحریک فعالیت‌های بیوشیمیایی آنها از روش‌های زیستی مدیریت کیفی آب است و در

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

مقایسه با روش‌های غیرزیستی مانند استفاده از مواد شیمیایی همانند ازن، کلر، عوامل اکسید کننده، شلاته کننده و غیرفعال کننده و روش‌های فیزیکی مانند فیلتراسیون، هوادهی و گرما دارای محاسن و معایب متفاوتی است (Karthik *et al*., 2018; Zommiti *et al*., 2020). در این پژوهش برای بهبود کیفیت آب و پساب مخازن پرورش فیل ماهیان و همچنین افزایش شاخص‌های رشد در ماهیان خاویاری مورد پرورش از ۵ گونه مختلف باکتری شامل *Bacillus licheniformis*، *Corynebacterium ammoniagenes*، *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi* استفاده شد که قبلا تصفیه‌کنندگی آنها در آزمایش جداگانه‌ای به اثبات رسیده بود (Pourasadi *et al*., 2025). در فرایند نیتریفیکاسیون آمونیاک از طریق *Nitrosomonas* به نیتریت تبدیل می‌شود. علاوه بر *Nitrosomonas* برخی از باکتری‌ها مثل *Bacillus* قادر به انجام این واکنش هستند و در برخی از بسته‌های پروبیوتیک به جای *Nitrosomonas* از برخی سویه‌های *Bacillus* و *Pseudomonas* نیز استفاده می‌کنند. نیتریت تولید شده در ادامه فرایند نیتریفیکاسیون توسط *Nitrobacter* به نیترات تبدیل می‌شود و یا حتی توسط برخی از باکتری‌ها می‌تواند به N_2 تبدیل شود.

غلظت مورد استفاده باکتری‌ها بستگی به هدف مورد نظر و نوع فرآیند متفاوت است. در مطالعات مربوط به تجزیه زیستی، ضریبی از 10^8 است که به مقدار ۵ درصد به محیط پایه اضافه می‌شود (Karthik *et al*., 2018; Todorov *et al*., 2024). غلظت پیش‌بینی شده و مورد استفاده در واقع مشابه تراکم باکتری‌های طبیعی استخر پرورش ماهی بوده و فاقد عوارض جانبی و بیماری‌زایی برای آبزیان است (Pourasadi *et al*., 2025). ترکیب باکتریایی مورد استفاده برای پالایش پساب و بهبود کیفیت آب باید هم در شرایط هوازی و هم در شرایط بی‌هوازی قادر به تجزیه آمونیاک، نیتریت و نیترات باشد (Von Ahnen *et al*., 2015; Robles-Porchas *et al*., 2020). در مطالعه دیگری گزارش شد هنگامی که باکتری‌های فتوسنتتیک نظیر *سودوموناس* به آب مزرعه پرورش ماهی اضافه شد، باعث حذف H_2Sو آمونیاک شده، با تعدیل pH کیفیت آب را بهبود بخشید (Von Ahnen *et al*., 2015).

تاثیر ترکیب باکتریایی به‌کار رفته در این پژوهش در مورد افزایش درصد بقاء ماهیان، شاید ناشی از تغذیه مستقیم گونه مورد نظر توسط ماهی و یا از راه اثر تغذیه‌ی غیرمستقیم باشد. از طرفی گزارش شده است که این باکتری‌ها ترکیبات سمی و غیرتغذیه‌ای محیط را تجزیه و هضم کرده و سپس آبزی مورد پرورش می‌تواند غذای سالم را جذب کند (Balcazar, 2004). از طرف دیگر در بررسی شاخص‌های رشد و درصد بقاء انواعی از آبزیان پرورشی گزارش شده است که افزودن باکتری‌های آنتاگونیستیک به آب با کاهش تعداد باکتری‌های بیماری‌زا در افزایش درصد بقاء موثر است (Pękala-Safińska, 2018). علاوه بر این، بسیاری از باکتری‌ها، انواع مختلفی از آنزیم‌ها مثل پروتئاز و لیپاز و انواع دیگر آنزیم‌ها را تولید می‌کنند که این آنزیم‌ها می‌توانند انواع مواد آلی و مواد غذایی را تجزیه کرده و به مواد مغذی قابل جذب تبدیل کنند. همچنین ترکیب باکتریایی با تولید مواد ضدباکتریایی و رقابت در جذب املاح غذایی، از ازدیاد و تجمع باکتری‌های بیماری‌زا در محیط و در دستگاه گوارش ماهی جلوگیری می‌کند (Karthik *et al*., 2018).

مطابق نتایج به دست آمده در این پژوهش، خاصیت تصفیه‌کنندگی ترکیب باکتریایی به‌کار رفته در بیوفیلترها، با کاهش دادن تغییرات متغیرهای pH، آمونیاک، نیتریت و نیترات در پساب مخازن پرورش فیل ماهی بین تیمارهای آزمایشی با سرعت متفاوت بازگردش آب در بیوفیلترها نسبت به تیمار شاهد اثبات شد. از این رو، با بهبود کیفت فیزیکوشیمیایی پساب خروجی مزارع پرورش ماهیان خاویاری می‌توان، دوباره از این پساب تصفیه شده در یک سیستم بازگردش آب برای پرورش ماهیان خاویاری استفاده کرد. همچنین با به‌کار بردن این ترکیب باکتریایی در بیوفیلترهای مورد استفاده شاخص‌های رشد ماهیان نیز کاملا بهبود یافت. همان‌طور که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را در افزایش درصد بقاء، افزایش وزن و نرخ رشد ویژه و کاهش ضریب تبدیل غذایی بین تیمارهای T_1، T_2 و T_3 با تیمار شاهد (بدون تلقیح باکتری) در طول دوره پرورش فیل‌ماهیان نشان داد. به‌طور مقایسه‌ای نیز در بین سه تیمار آزمایشی، تیمار ۱ با گردش آب یکبار در شبانه روز با 10^7 سلول در میلی‌لیتر از ترکیب باکتریایی، کمترین میزان ضریب تبدیل غذایی و بیشترین میزان درصد بقاء را داشت. هم سو با این نتایج اثر سرعت بازگردش پساب تصفیه شده بیوفیلترها، برکمیت و کیفیت آب، و تاثیر آن درتمامی جنبه‌های زیست‌شناسی ماهی، همچون بقاء، رشد و سلامت و همچنین ظرفیت تولید مزارع پرورش ماهی، توسط محققین مورد تأیید قرار گرفته است (Ellis *et al*., 2002). فنآوری سیستم‌های آبزی‌پروری بازگردشی (RAS)، در سال‌های اخیر رشد و توسعه چشمگیری در جهان به‌ویژه کشورهای توسعه

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

یافته داشته است. در این نوع از سیستم ها، فقط درصد کمی از آب موجود در مخازن پرورشی تعویض می‌شود و مابقی آب مورد نیاز، از تصفیه و بازگردش فاضلاب خروجی از استخرها تأمین می‌شود (Timmons and Losordo, 1994)، درحالی که در سیستم باز، آب ورودی فقط یک مرتبه از داخل استخرها عبور داده می‌شود. سیستم‌های بازگردشی ظرفیت‌های جدیدی را با کاهش نیازمندی به آب تازه ورودی، ارتقاء امنیت زیستی کارگاه و سلامت ماهیان و نیز تولید سازگار با محیطزیست ایجاد کرده است (Pourasadi *et al*., 2025; Lal *et al*., 2024). در سیستم بازگردشی، ظرفیت تولیدی به ازای واحد سطح بایستی بیشتر در نظر گرفته شود که مستلزم تراکم نگهداری بالا در مخازن، یا استخرهای پرورشی است تا هزینه‌های سرمایه‌ای بالای مرتبط با طراحی و ساخت چنین تأسیساتی جبران شود (Pourasadi *et al*., 2025). از طرف دیگر، افزایش تراکم نگهداری، به عنوان یک عامل استرس‌زای مزمن، باعث ایجاد استرس، کاهش رشد و کاهش کیفیت آب بابت کاهش اکسیژن و تجمع مدفوع ماهیان، آمونیاک، دی اکسید کربن، نیتریت و متابولیت‌های باکتری‌ها می‌شود (Timmons and Losordo, 1994; Pourasadi *et al*., 2025). بازگردش آب در سیستم‌های بازگردشی نیز، باعث کاهش کیفیت آب سیستم می‌شود. کاهش کیفیت آب تولید استرس نموده و حساسیت ماهیان نسبت به بیماری‌ها را افزایش می‌دهد و بر مصرف‌غذا، رشد و سلامت ماهیان اثر سوء دارد (Teitge *et al*., 2020). داده‌های فیزیکوشیمیایی و رشد و درصد بازماندگی ماهی‌ها در تیمار شاهد این تحقیق با این یافته‌های محققین همخوانی داشته است.

اگرچه یکی از استراتژی‌های مفید در جهت افزایش تولید ماهی به ازای مقدار آب ورودی، بازچرخش آب است ولی افزایش ذرات جامد، زائدات متابولیکی و عوامل بیماری‌زا باعث کاهش کیفیت آب می‌شود (Piedrahita, 2003). در این تحقیق استفاده از بیوفیلتر، به کمک تلقیح باکتری‌های تصفیه‌گر پساب، موجب گردید که فاکتورهای فیزیکوشیمیایی سنجش شده آب در محدوده مجاز توصیه شده برای ماهیان خاویاری قرار گیرد. نتایج بهتر شاخص‌های رشد، در تیمار برتر یک بار آب برگشتی، می‌تواند به دلیل همین اصل فرآوری کامل پساب توسط بیوفیلتر در مدت زمان یک بار بازگردش (طی ۲۴ ساعت) در این پروژه باشد (Pandey and Kumar, 2022).

برخلاف یافته‌های این تحقیق، در تحقیق Ellis و همکاران (2002) که به بررسی تأثیر استفاده مجدد از آب برگشتی بر شاخص‌های رشد و بازماندگی ماهی قزل آلا پرداختند، به این نتایج دست یافتند که افزایش درصد جایگزینی آب در استخرهای پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان با آب برگشتی، سبب افزایش معنی‌داری در ضریب تبدیل غذایی،کاهش معنی‌داری در میزان بازماندگی و ضریب چاقی و افزایش معنی‌داری در میزان تلفات ماهیان و در نهایت کاهش میزان تولید نهایی گردید. با افزایش سرعت گردش روزانه آب، امکان فراوری و تصفیه کامل پساب قبل از برگشت به چرخه تولید میسر نیست (Lal *et al*., 2024). در این تحقیق نیز برخی از شاخص‌های رشد بچه فیل ماهیان در تیمارهای دو بار و سه بار بازگردش آب که فراوری کامل آب برگشتی در بیوفیلتر میسر نگردید پایین‌تر بود.

طی مطالعه 77 روزه روی قزل آلای رنگین کمان، تغییرات معنی‌داری در وزن کل طی بازه زمانی 1 تا 56 روز آزمایش بین دو سیستم باز و بازگردشی کامل مشاهده نشد. هرچند در بازه زمانی 57 تا 77 روز ،کاهش 17٪ وزن در تیمار باز در مقایسه با تیمار بازگردشی کامل مشاهده شد(Pourasadi *et al*., 2025). همچنین اختلافی در عملکردهای رشد بچه ماهی‌های آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) بین دو سیستم باز و بازگردشی کامل طی مدت نگهداری در آب شیرین و پس از 4 ماه انتقال به قفس‌های دریایی مشاهده نشد (Kolarevic *et al*., 2014). آنها همچنین بیان داشتند که نتایج مطالعاتشان نشان داد که استفاده از آب برگشتی کاهش اندک برخی از عملکردهای رشد و افزایش میزان استرس ماهی را موجب می‌شود. نتایج این پژوهش‌ها نیز همسو با کاهش برخی از شاخص‌های رشد در تیمارهای ۲ و ۳ در این تحقیق بوده است.

در مجموع، بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، می‌توان گفت که به‌طور کلی سه تیمار آزمایشی با ترکیب باکتریایی منتخب خالص‌سازی و جدا شده از مخازن پرورش فیل ماهیان با تاکید بر تیمار اول (T_1) می‌تواند، به عنوان یکی از عوامل کنترل کیفیت زیستی آب و پساب مزارع پرورش ماهیان خاویاری و افزایش رشد و تولید فیل ماهیان در مراکز تکثیر و پرورش ماهی به منظور بهره‌برداری بهینه و بیشینه ازحداقل آب و زمین در دسترس با روش بیوفیلتراسیون و بازگردش کامل آب مورد استفاده قرار گیرند. توسعه این شیوه پرورشی کاملاً

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

منطبق با خشکسالی‌های اخیر کشور و در نتیجه کاهش دبی منابع آبی، آلودگی روز افزون آبهای جاری، ضرورت حفظ محیطزیست و افزایش توجیه اقتصادی مزارع پرورش ماهی می‌باشد.

قدردانی

در انجام این تحقیق از همکاری و مساعدت کارکنان موسسه تحقیقات بین‌المللی تاس ماهیان و مرکز شهید بهشتی، کارکنان آزمایشگاه مرکز اموزش علوم و صنایع شیلاتی میرزا کوچک خان و دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا، دانشگاه گیلان بهره‌مند گردیده‌ایم که بدینوسیله قدردانی می‌گردد.

منابع

Avakh Keysami M., Mohammadpour A., Rehanandeh M. and Zoghi-Shalmani A. 2025. Isolation and identification of bacterial populations from water and sediment of silver carp breeding ponds. Journal of Microbial world, 17(4): 300-312(in Persian).

Balcazar J.L., Deblas I., Ruiz-Zarzuela I., Vendrell D. and Muzquiz J.L. 2004. Probiotics: A tool for the future of fish and shellfish health management. Aquaculture.Tropical, 19: 239–242. doi: 10.1007/s10695-013-9897-0

Bronzi P., Chebanov M., Michaels J.T., Wei Q., Rosenthal H. and Gessner J. 2019. Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. Journal of Applied Ichthyology, 35(1): 257–266. doi: 10.1111/jai.13870

Colt J. 2006. Water quality requirements for reuse systems. Aquacultural Engineering, 34: 143–156. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.08.011

Dutta D., Banerjee S., Mukherjee A. and Ghosh, K. 2018. Potential gut adherent probiotic bacteria isolated from rohu, *Labeo rohita* (Actinopterygii: Cypriniformes: Cyprinidae): Characterisation, exo-enzyme production, pathogen inhibition, cell surface hydrophobicity, and bio-film formation. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 48: 221-233.

Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M. and Gadd, D., 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. Journal of fish biology, 61(3): 493-531.

Epikmen E. T., Avci H., Tanrikul T. T., Birincioğlu S. S. and Aydoğan A. 2020. Pathological and microbiological investigations of naturally infected rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with Flavobacterium psychrophilum: 172-178.

Frozza A., Fiorini A., Vendruscolo E. C. G., Rosado F. R., Konrad D., Rodrigues M. C. G. and Ballester, E. L. C. 2021. Probiotics in the rearing of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879) in a biofloc system. Aquaculture Research, 52(9): 4269-4277.

Gao X. Y., Liu Y., Miao L. L., Li E. W., Sun G. X., Liu Y. and Liu Z. P. 2017. Characterization and mechanism of anti-*Aeromonas salmonicida* activity of a marine probiotic strain, Bacillus velezensis V4. Applied microbiology and biotechnology, 101(9): 3759-3768.

Ghosh K., Banerjee S., Moon U. M., Khan H. A. and Dutta D. 2017. Evaluation of gut associated extracellular enzyme-producing and pathogen inhibitory microbial community as potential probiotics in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. International Journal of Aquaculture, 7.

Hanol Bektas Z. 2020. Identification and probiotic properties of lactic acid bacterial isolated from freshwater fish. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 19(4):1795-807.

Herrera M., Heras J., Catabay C., Connor K. and German D. 2023. Dietary-induced changes in the hindgut microbiome and metabolism of a marine herbivorous fish. Physiology, 38(S1): 5733889.

Huang Q., Sham RC, Deng Y., Mao Y., Wang C., Zhang T. and Leung KM. 2020. Diversity of gut microbiomes in marine fishes is shaped by host-related factors. Molecular ecology, 29(24):5019-34.

Hollocher T.C., Tate M.E. and Nicholas D.J.D. 1981. Oxidation of ammonia by *Nitrosomonas europaea*. The Journal of Biological Chemistry, 256(21): 10834–10836. doi: 10.1016/S0021-9258(19)68518-2

Ibrahem MD. 2015. Evolution of probiotics in aquatic world: Potential effects, the current status in Egypt and recent prospectives. Journal of advanced research, 6(6):765-91.

Keysami M.A., Saad C.R. and Mohamadpour M. 2012. Probiotic activity of *Bacillus subtilis* in juvenile freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) at different methods of administration to the feed. Aquaculture International, 20: 499–511 doi: 10.1007/s10499-011-9481-5

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

Keysami MA., Zoughi Shalmani A., Zahmatkesh Kumleh A. and Karimi A. 2022. Screening of bacterial flora isolated from the gastrointestinal tract of silver carp broodstocks (*Hypophthalmichthys molitrix*) as probiotics. Journal of Animal Environment, 14(1): 285-292. (in Persian).

Kolarevic J., Baeverfjord G., Takle H., Ytteborg E., Reiten B.K.M., Nergard S. and Terjesen B.F. 2014. Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. Aquaculture, 432: 15–25. doi: 10.1016/ j.aquaculture . 2014.03.033

Kolb SA., O'Loughlin EJ. and Gsell TC. 2019. Characterization of phthalate-degrading bacteria from Asian carp microbiomes and riverine sediments. International Biodeterioration & Biodegradation, 143: 104727.

Karthik M., Bhavan PS. and Manjula T. 2018. Growth promoting potential and colonization ability of probiotics (*Bacillus coagulans* and *Bacillus subtilis*) on the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* post-Larvae. Insights in Biology and Medicine, 2:7-18.

Lal J., Vaishnav A., Deb S., Gautam P., Pavankalyan M., Kumari K. and Verma DK. 2024. Re-Circulatory Aquaculture Systems: A Pathway to Sustainable Fish Farming. Archives of Current Research International, 24(5):799-810.

Monghit-Camarin MA., Cruz-Lacierda ER., Pakingking Jr R., Cuvin-Aralar ML., Traifalgar RF., Añasco NC., Austin F. and Lawrence M. 2020. Bacterial microbiota of hatchery-reared freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879). Asian Fish. Sci, 33:241-8.

Neissi A., Rafiee G., Rahimi S., Farahmand H., Pandit S. and Mijakovic I. 2022. Enriched microbial communities for ammonium and nitrite removal from recirculating aquaculture systems. Chemosphere, 295:133811.

Otte G. and Rosenthal H. 1979. Management of a closed brackish water system for high culture by biological and chemical water treatment. Aquaculture, 18: 169–181. doi:10.1016/0044-8486(79)90029

Pandey PK. and Kumar VS. 2022. Biofilm in aquaculture production. InAdvances in fisheries biotechnology, 401-422. Singapore: Springer Nature Singapore.

Pang ST., Ransangan J. and Hatai K. 2020. Isolation, identification and preliminary characterization of candidate probiotic bacteria from the intestine of domesticated goldfish (*Carassius auratus*). Journal of fisheries and environment, 44(2):39-52.

Pękala-Safińska A. 2018. Contemporary threats of bacterial infections in freshwater fish. Journal of veterinary research, 62(3): 261–267.

Piedrahita, R.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation - Aquaculture, 226: 35–44

Pourasadi, M., Sattari, M., Avakhkeysami, Mm and Zamani, H. 2025. Microbial treatment of effluent from elephantfish (*Huso huso*) breeding tanks under the influence of different concentrations of a mixture of Bacillus, Corynebacterium, Nitrosomonas and Nitrobacter bacteria in the water circulation system. Aquatic Physiology and Biotechnology, 12(4): 39-56.

Rafatnezhad S., Falahatkar B. and Tolouei Gilani M.H. 2008. Effects of stocking density on haematological parameters, growth and fin erosion of great sturgeon (*Huso huso*) juveniles. Aquaculture Research, 39(14): 1506–1513. doi: **10.1111/j.1365-2109.2008.02020**

Ray AK., Ghosh K. and Ringø E. 2012. Enzyme-producing bacteria isolated from fish gut: a review. Aquaculture Nutrition, 5: 465-492. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.00943.x.

Robles-Porchas GR., Gollas-Galván T., Martínez-Porchas M., Martínez-Cordova LR., Miranda-Baeza A. and Vargas-Albores F. 2020. The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. Reviews in Aquaculture, 12(4):2228-49.

Talukdar S., Ringø E. and Ghosh K. 2016. Extracellular tannase-producing bacteria detected in the digestive tracts of freshwater fishes (Actinopterygii: Cyprinidae and Cichlidae). Acta Ichthyologica Et Piscatoria, 46(3):201-210. doi:10.3750/AIP2016.46.3.04.

Tung Pang S., Ransangan J. and Hatai K. 2020. Isolation, Identification and Preliminary Characterization of Candidate Probiotic Bacteria from the Intestine of Domesticated Goldfish (*Carassius auratus*). Journal of fisheries and environment, 44 (2): 39-52.

Thompson, F.L., Abreu, P.C.and Wasielesky, W. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. Aquaculture, 203: 263–278.

Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T. and Vinci B.J. 2002. Recirculating Aquaculture Systems. Cayuga Aqua Ventures, USA. P 210

Todorov SD., Lima JM., Bucheli JE., Popov IV., Tiwari SK. and Chikindas ML. 2024. Probiotics for aquaculture: Hope, truth, and reality. Probiotics and Antimicrobial Proteins, 16(6):2007-20.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

Teitge F., Peppler C., Steinhagen D. and Jung-Schroers V. 2020. Water disinfection by ozonation has advantages over UV irradiation in a brackish water recirculation aquaculture system for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Journal of fish diseases, 43(10):1259-85.

Von Ahnen M., Pedersen LF., Pedersen PB. and Dalsgaard J. 2015. Degradation of urea, ammonia and nitrite in moving bed biofilters operated at different feed loadings. Aquacultural engineering, 69:50-9.

Ye L., Amberg J. and Chapman D. 2014. Gaikowski M, Liu WT. Fish gut microbiota analysis differentiates physiology and behaviour of invasive Asian carp and indigenous American fish. The ISME Journal, 8: 541–551

Yegane H., Kazemi R., Shenavar Masoule A., SayedHassani H., Yousefi Jourdehi A., hosseinpour Zelti A .and Ghorbani Vaghei R. 2021. The effect of native probiotic on growth rate and some hematological and immune indices in Huso huso fingerling. Journal of Aquaculture Development, 15(1):125-36.

Zhao S., Hu N., Chen Z., Zhao B. and Liang Y. 2009. Bioremediation of reclaimed wastewater used as landscape water by using the denitrifying bacterium *Bacillus cereus*. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 83:337-40.

Zommiti M., Chikindas ML. and Ferchichi M. 2020. Probiotics—live biotherapeutics: a story of success, limitations, and future prospects—not only for humans. Probiotics and antimicrobial proteins, 12(3):1266-89.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]

The effect of different water circulation speeds on the microbial treatment of effluent in a recirculating system for *Huso huso* culture

Mohsen Pourasadi[1]
Mehran Avakh Keysami[1*]
Masoud Sattari[2]
Hojatollah Zamani[3]

1. Department of Fisheries and Aquatics, Agricultural Research and Education Center and Natural Resources of Guilan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran.
2. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran.
3. Department of Biology, Faculty of Science, University of Guilan, Rasht, Iran.

***Corresponding author:**
dr.keysami@gmail.com

Received date: July/07/2025
Reception date: October/29/2025

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of different water circulation speeds on the purification of effluent using a bacterial consortium (Bacillus, Corynebacterium, Nitrosomonas, and Nitrobacter) at a concentration of 10^7 cells/mL. The study also examined the effects of this treatment on the physicochemical variables of water, fish growth, and the bacterial density in the water and digestive tract of the fish. The experiment was carried out at the Mirza Kuchak Khan Fisheries Training Center in Gilan. Three experimental treatments and one control (in triplicate) were used. The treatments involved different flow rates and daily water circulation frequencies: T1 with 0.004 L/s (once per day), T2 with 0.008 L/s (twice per day), and T3 with 0.012 L/s (three times per day). The control group (C) received a flow rate of 0.004 L/s with circulation once per day, but without bacterial inoculation. Water parameters (ammonia, nitrite, and nitrate levels) and fish growth indices (weight and growth indicators) were evaluated weekly. After four weeks, a significant difference was observed in water quality between the control and the experimental groups ($P<0.05$). During the experiment, pH, oxygen, ammonia, nitrite, and nitrate levels in the control group showed an increasing trend, while in the three experimental treatments, they decreased. The survival rate, weight gain, and specific growth rate were higher in the treatments compared to the control group ($P<0.05$). Conversely, the feed conversion ratio was higher in the control group. There was no statistically significant difference between the experimental treatments themselves ($P>0.05$). Therefore, based on these results, treatments 1 and 2 can be considered for effluent treatment and improving water quality for reuse in sturgeon farming.

Keywords: Recirculating aquaculture system, Water quality, *Huso huso*, Growth indices.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11]