

بررسی رشد و میزان تولید ماهی کپور معمولی *Cyprinus carpio* در سیستم اکوپونیک و روش سنتی پرورش توأم

چکیده

با توجه به محدودیت منابع نظیر آب شیرین و زمین و همچنین عوارض ناشی از پساب آبی‌پروری استفاده از سیستم‌های پرورشی منطبق بر توسعه پایدار در سطح جهان به شدت مورد توجه قرار گرفته است. سیستم اکوپونیک یا کشت توأم ماهی و گیاه به صورت فوق متراکم و مدار بسته از روش‌های نوین مورد بررسی در جهت نیل به اهداف توسعه پایدار صنعت آبی‌پروری می‌باشد. در این تحقیق در سال ۱۳۹۴ در مجتمع پرورش ماهی آزادگان اهواز ۶ سیستم مدار بسته اکوپونیک هر یک دارای تانک بتنی به ظرفیت مفید ۴۰۰ لیتر جهت پرورش ماهی کپور معمولی و بستر هیدروپونیک از جنس شن با نسبت بستر به حجم تانک ۲:۱ جهت کشت گیاه ریحان بنفش (*Ocimum basilicum*) و ۳ استخر خاکی یک هکتاری مورد استفاده قرار گرفت. تیمارهای سیستم اکوپونیک با دو تراکم پایین ۲۶ قطعه ماهی کپور (۶۵ قطعه ماهی در مترمکعب) و تراکم بالا ۵۲ قطعه ماهی کپور (۱۳۰ قطعه ماهی در مترمکعب) ± 0.04 گرمی ذخیره سازی شدند. در استخرهای خاکی ۱۱۰۰ قطعه ماهی (۱۱۱/۱ قطعه ماهی در مترمکعب) کپور ± 0.09 گرمی رهاسازی گردید. در پایان دوره ۶۰ روزه آزمایش در سیستم اکوپونیک با تراکم پایین میانگین رشد نهایی 111.80 ± 156.70 گرم و تولید 4.07 ± 0.31 کیلوگرم (19.77 ± 10 کیلوگرم در مترمکعب) و سیستم اکوپونیک با تراکم بالا میانگین رشد نهایی 8.15 ± 95.75 گرم و تولید 4.98 ± 0.42 کیلوگرم (12.45 ± 10.6 کیلوگرم در مترمکعب) و در استخر خاکی میانگین رشد نهایی 26.7 ± 447.6 گرم و تولید 488.3 ± 29.1 کیلوگرم در هکتار (0.49 ± 0.29 کیلوگرم در مترمکعب) گردید؛ که دارای اختلاف معنی‌دار بودند ($P < 0.05$). میزان تولید در واحد حجم در سیستم اکوپونیک با تراکم پایین و بالا به ترتیب ۲۰۰ و ۲۳۸ برابر استخر خاکی بود. شاخص اقتصادی در استخر خاکی به نسبت سیستم اکوپونیک با تراکم پایین و بالا به ترتیب ۱/۹۸ و ۲/۴۶ بود که نشان‌دهنده هزینه پایین تولید ماهی کپور در استخر خاکی می‌باشد. میزان مصرف آب به ازای تولید یک کیلوگرم ماهی کپور در سیستم سنتی در مقایسه با سیستم اکوپونیک ۹۸ برابر بیشتر بود که نشان‌دهنده صرفه‌جویی بسیار بالا در مصرف آب در سیستم اکوپونیک است. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق استفاده از سیستم اکوپونیک جهت پرورش ماهی کپور معمولی با گیاه ریحان نسبت به روش رایج بسیار کارآمدتر و به میزان بالایی مؤثر در صرفه‌جویی مصرف آب به ازای تولید ماهی کپور می‌باشد؛ اما شاخص تبدیل اقتصادی سیستم اکوپونیک بالاتر از سیستم سنتی که نشان‌دهنده هزینه بالا در سیستم اکوپونیک می‌باشد.

واژگان کلیدی: سیستم مدار بسته اکوپونیک، ماهیان گرمابی، *Cyprinus carpio*، کشت توأم ماهی.

مقدمه

با افزایش رشد جمعیت و بالا رفتن میزان آگاهی انسان‌ها از فواید مصرف آبزیان نظیر ماهی، تقاضای مصرف‌کنندگان محصولات شیلاتی به این فرآورده‌ها به‌طور روزافزون افزایش یافته است (Nasopoulou and Zabetakis, 2012). حال با توجه به اینکه در طی چند دهه اخیر

ابراهیم مینابی^{۱*}

وحید یآوری^۲

جاسم مرمری^۳

۱ و ۲. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دریا، خرمشهر، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
۳. پژوهشکده آبی‌پروری جنوب کشور، اهواز، ایران

*مسئول مکاتبات:

ebrahimeminabi19@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۴۰۴۸۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۷

این مقاله برگرفته از رساله دکتری است.



میزان صید و صیادی در سطح جهان نسبتاً ثابت گردیده است و پیش‌بینی می‌گردد در سالیان آینده نیز به همین روند باقی بماند، بنابراین امکان افزایش میزان تولیدات آبزی از طریق این بخش امکان‌پذیر نیست (Mráz, 2011). همچنین در طی سه دهه اخیر (۲۰۱۰-۱۹۸۰) تولیدات آبزی جهت مصرف انسانی در سطح جهان از طریق آبزی‌پروری به‌طور چشمگیری سالانه ۸/۸ درصد افزایش یافت که میزان این تولیدات از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ تقریباً ۱۲ برابر گردیده است (FAO, 2012). لذا صنعت آبزی‌پروری به یکی از مهم‌ترین بخش‌های تولید غذا و پروتئین موردنیاز بشر تبدیل گردیده که امنیت غذایی را افزایش داده و همچنین باعث بهبود وضعیت درآمد‌ها و اشتغال در جهت کاهش فقر و بیکاری در کشورهای درحال توسعه گردیده است (Sheikh and Sheikh, 2004; Abbas, 2009). در دهه‌های اخیر صنعت آبزی‌پروری سریع‌ترین رشد را در بین سایر صنایع تولید غذا در سرتاسر جهان داشته است (Tacon, 2004; Heydarnejad, 2012). باین‌حال از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۲ روند رشد و توسعه تولیدات آبزی‌پروری در سطح جهان به‌طور میانگین ۶/۲ درصد در سال ثبت گردید و با توجه به افزایش روند رشد ۱/۶ درصد جمعیت جهان تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۳۰ فقط ۶۲ درصد از نیاز و تقاضای غذایی مردم از طریق آبزی‌پروری قابل تأمین می‌باشد (FAO, 2014; Hu et al., 2015).

از موانع بسیار جدی توسعه صنعت آبزی‌پروری می‌توان به کمبود فضا برای گسترش صنعت، محدودیت دسترسی به آب شیرین و گسترش روزافزون آلودگی‌های این صنعت اشاره نمود (Badiola et al., 2012). گسترش آبزی‌پروری به دلیل محدودیت اراضی مناسب و همچنین وابستگی بالا به پودر ماهی و روغن ماهی به‌عنوان مواد مهم تشکیل‌دهنده خوراک آبزیان، صنعت را با مشکلات زیادی مواجه کرده است زیرا هزینه‌های خوراک حداقل ۵۰ درصد از کل هزینه‌های آبزی‌پروری که عمدتاً مربوط به هزینه‌های پروتئین موجود در جیره‌های تجاری است را تشکیل می‌دهد (De Schryver et al., 2008). علاوه بر این فرار آبزیان پرورشی و ورود پساب آبزی‌پروری به محیط‌زیست از نگرانی‌های بزرگ صنعت آبزی‌پروری محسوب می‌گردد (Buschmann et al., 2006). مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده موجود در پساب‌ها، ناشی از آمونیاک اضافی تجمع یافته در آب (Lekang, 2008) مواد جامد و فضولات گوارشی، غذاهای اضافی و خورده نشده توسط آبزی در سیستم پرورشی است (Bernstein, 2011). Wen و Zhou در سال ۲۰۰۴ تخمین زدند که به‌عنوان مثال، تقریباً حدود ۲۰-۲۷ درصد ازت و ۸-۲۴ درصد فسفر در جیره غذایی توسط ماهی تثبیت می‌گردد درحالی‌که ۵۴-۷۷ درصد ازت و ۷۲-۸۹ درصد فسفر جیره غذایی می‌تواند تبدیل به مواد آلی زائد، به‌صورت پلت‌های خورده نشده و مدفوع گردد و در ستون آب آزاد و معلق می‌شود که این مواد به‌شدت بر میزان اکسیژن آب و میزان ترکیبات ازته نظیر آمونیاک و ازت کل در آب تأثیرگذار باشد. زمانی می‌توان از کاهش اکسیژن و سمیت آمونیاک در اثر ایجاد مواد زائد در سیستم‌های آبزی‌پروری ممانعت کرد که ضایعات ایجادشده را حذف و از انباشت آن‌ها جلوگیری نمود تا از مجموعه اثرات منفی زیست‌محیطی آن‌ها کاسته شود. ضایعاتی که بدون پالایش بماند اگر به‌طور مداوم به محیط‌زیست آبزیان تخلیه شود نیز می‌تواند سطح محتوی کل ماده آلی را افزایش دهد و باعث ضرر اقتصادی قابل‌توجهی گردند (Cao et al., 2007).

با سه روش می‌توان تولیدات آبزی‌پروری را در شرایط موجود گسترش داد. اول افزایش میزان تولید در واحد سطح (افزایش تولید بدون افزایش قابل‌توجه در استفاده از منابع طبیعی، آب و زمین) (Avnimelech et al., 2009)، دوم توجه ویژه به سیستم‌های سازگار با محیط‌زیست در جهت توسعه سیستم‌های پایدار (کاهش اثرات زیان‌بار صنعت آبزی‌پروری) (Naylor et al., 2000) و سوم ایجاد سیستم‌های دارای توجیه اقتصادی مطلوب که نسبت هزینه به سود را در جهت حمایت اقتصادی جامعه و پایداری تولید تضمین نماید (Avnimelech et al., 2009). در جهت نیل به این اهداف چندین روش پرورشی طراحی و بکار گرفته شده است (Sargent and Tacon, 1999; Mazurkiewicz, 2009) که می‌توان به سیستم‌های مدار بسته با گردش آب (Eurostat, 2010; Ray, 2012) و سیستم‌های آبزی‌پروری بر پایه تکنیک‌های بیولوژیک اشاره نمود که معمولاً کشت تک‌گونه نبوده و بیشتر از کشت توأم میکروارگانیسم‌ها، ماهیان مختلف، گیاهان و حیوانات اهلی استفاده شده است. طبقه‌بندی این سیستم‌ها پیچیده می‌باشد و اصطلاحاتی از قبیل کشت چندگونه‌ای، کشت توأم، آبزی‌پروری چندکاره (چند کاربردی)، ادغام

کشاورزی-آبی‌پروری، آبی‌پروری با سطوح غذایی چندگانه، اکوپونیک، بیوفلوک، آبی‌پروری با چرخه بسته و آبی‌پروری بدون پساب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lekang, 2008).

مطالعه الحافظ و همکاران (۲۰۰۸) در پرورش ماهی تیلاپیا نیل در سیستم اکوپونیک و همچنین پرورش ماهی کپور معمولی در انواع سیستم‌های اکوپونیک (ENREF_1Hussain et al., 2014; Filep et al., 2016) نشان داد که به‌طور موفقیت‌آمیز امکان پرورش متراکم ماهیان پرورشی در سیستم اکوپونیک وجود دارد. هدف مطالعه حاضر مقایسه عملکرد ماهی کپور معمولی پرورش‌یافته در سیستم اکوپونیک بر پایه بستر شنی جهت کشت گیاه در بخش هیدروپونیک با عملکرد تولید ماهی در پرورش ماهیان گرمابی در روش سنتی (استخر خاکی) جهت به دست آوردن رابطه بین نسبت میزان رشد و بهره‌وری از جیره غذا به‌طوری‌که منجر به سود اقتصادی گردد.

مواد و روش‌ها

کلیه مراحل عملی و اجرایی تحقیق حاضر در مجتمع پرورش ماهی آزادگان ده کیلومتری اهواز-آبادان در مزرعه پرورش ماهی ۴۵ از تاریخ ۹۴/۶/۱۵ لغایت ۹۴/۸/۳۰ انجام گردید.

سیستم‌های اکوپونیک از دو بخش مرتبط آبی‌پروری و هیدروپونیک تشکیل می‌شود. جهت طراحی سیستم آبی‌پروری در این تحقیق از ۶ تانک بتنی مستطیلی شکل (طول ۸۰ سانتی‌متر، عرض ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر و لبه آزاد ۱۵ سانتی‌متر) با حجم آبگیری ۴۰۰ لیتر استفاده گردید. تیمارهای آزمایشی به‌صورت کاملاً تصادفی در تانک‌ها توزیع گردید و از تابش مستقیم نور آفتاب به آن‌ها با استفاده از سایه‌بان جلوگیری گردید. از تناوب نوری طبیعی در این تحقیق استفاده گردید. به‌طوری‌که بین ۱۲-۱۰ ساعت روشنایی و ۱۲-۱۰ ساعت تاریکی متغیر بود. سیستم لوله‌کشی جهت انتقال و چرخش آب با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن به قطر ۳/۴ اینچ صورت پذیرفت. پمپ ایرلیفت با ظرفیت حدودی چهار و نیم لیتر در دقیقه درون تانک پرورش جهت گردش آب، آبیاری و زهکشی سیستم هیدروپونیک استفاده گردید. سیستم هوادهی مرکزی با یک هواده دمنده (airblower) صورت می‌پذیرفت و هر تانک با استفاده از یک سنگ هوا به میزان مناسب هوادهی می‌گردید. سیستم هیدروپونیک بر اساس محاسبه نسبت بستر به حجم تانک ۲:۱ به میزان ۸۰۰ لیتر (۰٫۸ مترمکعب) به ابعاد ۲۹۵*۹۰ سانتی‌متر و ارتفاع بستر ۳۰ سانتی‌متر و جنس مدیا از شن شسته شده به‌اندازه ذرات ۱۸-۱۲ میلی‌متر جهت کشت مستقیم بذر گیاه ریحان بنفش (*Ocimum basilicum*) استفاده شد. آب موردنیاز جهت سیستم پرورشی از آب رودخانه کارون که با کانال‌های بتنی انتقال و جهت پرورش ماهیان گرمابی در مزارع استفاده قرار می‌گیرد. چرخش آب درون هر سیستم مدار بسته به‌صورت مستقل و با استفاده از پمپ آب ایرلیفت (Air lift pump) با دبی ۴/۵ لیتر در دقیقه صورت پذیرفت که این پمپ از هواده مرکزی تغذیه می‌گردید (مینایی، ۱۳۹۶).

جهت تیمار بندی و ذخیره‌سازی ۵۰۰۰ قطعه بچه ماهیان کپور نیم گرمی در ۱۵ تیرماه ماه سال ۱۳۹۴ از مرکز تکثیر کپور ماهیان شهرستان شوش خریداری گردید و در استخر خاکی ۰/۴ هکتاری واقع در مزرعه پرورش ماهی شماره ۴۵ تا زمان شروع تحقیق نگهداری شد. ماهیان قبل از شروع آزمایش در تانک‌های بتنی پرورشی به مدت ۱۴ روز با شرایط آزمایشگاهی سازگار شدند. در طول دوره سازگاری ماهیان دو بار در روز تا حد سیری ظاهری با استفاده از جیره غذایی تجاری گونه حاوی حدوداً ۳۲ درصد پروتئین و انرژی کل ۱/۹۰۲ مگا ژول در کیلوگرم تغذیه گردید (اورجی، ۱۳۹۳). پس از آماده‌سازی، شستشو و ضدعفونی کردن تانک‌ها با آب کلر و شستشوی مجدد آن‌ها با آب شیرین، تعداد ۲۳۴ قطعه کپور معمولی جوان با میانگین وزن اولیه ۱۷/۰۴ ± ۶/۰۴ گرم به‌صورت کاملاً تصادفی در تانک بتنی مستطیلی ۴۰۰ لیتری دارای هوادهی مناسب توزیع گردید. به‌منظور بررسی اهداف این تحقیق، جهت سیستم آبی‌پروری از دو سطح تراکم (۶۵ و ۱۳۰ قطعه ماهی در مترمکعب) استفاده گردید و در کل ۲ تیمار که هر یک با ۳ تکرار در نظر گرفته می‌شود به‌طوری‌که در تراکم پایین (۶۵ قطعه ماهی در مترمکعب)، ۲۶ قطعه بچه ماهی کپور ۶

گرمی و در تراکم بالاتر (۱۳۰ قطعه ماهی در مترمکعب) ۵۲ عدد بچه ماهی کپور ۶ گرمی در هر تانک پرورش ذخیره‌سازی شد؛ و جهت سیستم هیدروپونیک بذر گیاه ریحان بنفش (*Ocimum basilicum*) در بستر شنی به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر به‌طور مستقیم کشت گردید (Somerville et al., 2014).

جهت بررسی پارامترهای کیفی آب نمونه‌برداری روزانه و هفتگی صورت می‌گرفت. زمان نمونه‌برداری بین ساعت ۱۲ تا ۱۳ بوده و نمونه در شیشه پلاستیکی در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و به آزمایشگاه انتقال داده می‌شد. پارامترهای دما، پی‌اچ، شوری روزانه ۲ مرتبه در صبح و بعدازظهر سنجش شد و میزان آمونیاک، نیتريت، نیترات، سختی، قلیائیت، فسفات، BOD, TDS هر دو هفته یک‌بار سنجش گردید. روش‌های اسپکتروفتومتری با دستگاه اسپکتروفتومتر HACH مدل DR / 2000 بر اساس دستورالعمل‌های عنوان‌شده در کاتالوگ دستگاه صورت گرفت (Eaton, 2005).

در طول ۸ هفته دوره آزمایش غذادهی روزانه تا حد سیری و در دو نوبت (در ساعات ۱۷:۰۰ و ۹:۰۰) با استفاده از جیره غذایی تجاری گونه با ۳۲٪ درصد پروتئین از شرکت تولید خوراک آریان فراوانه انجام می‌گرفت. مقدار غذای خورده شده به‌وسیله ماهیان روزانه ثبت گردید. هرروز صبح قبل از غذادهی مواد دفعی از تانک‌ها برداشته می‌شد. میزان مرگومیر روزانه بررسی و ثبت می‌گردید. در طول دوره آزمایش جریان آب به‌صورت دائمی، ۴/۵ لیتر بر دقیقه و سطح اکسیژن محلول بالاتر از ۶ میلی‌گرم در لیتر حفظ شد. درجه حرارت آب با توجه به محدوده دمای آب و محیط در حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH با کاربرد محلول هیدروکسید کلسیم در محدوده نرمال، دوره نوری در وضعیت طبیعی تقریباً ۱۲ ساعت روشنایی ۱۲ ساعت تاریکی طراحی گردید.

برای انجام این آزمایش ۳ استخر یک هکتاری از مزرعه ۱۴ هکتاری پلاک ۴۵ واقع در مجتمع پرورش ماهی آزادگان (ده کیلومتری اهواز - آبادان) مورد استفاده قرار گرفت. تراکم و ترکیب گونه‌ای در نظر گرفته‌شده برای پرورش سنتی پرورش ماهیان گرمابی شامل ۱۲۰۰ قطعه ماهی فیتوفاگ (۴۱/۴ درصد) ۱۱۰۰ قطعه ماهی کپور معمولی (۳۷/۹ درصد) ۴۰۰ قطعه ماهی آمور (۱۳/۸ درصد) ۲۰۰ قطعه ماهی بیگهد (۶/۹ درصد) در تاریخ ۱۳۹۴/۶/۱۵ ذخیره‌سازی انجام گردید.

آماده‌سازی استخرها بر اساس اصول و روش‌های علمی مرسوم انجام گردید (فرید پاک ۱۳۸۵، قناعت پرست، ۱۳۸۰)

برای تغذیه از مواد غذایی مرسوم در پرورش سنتی مانند ذرت، جو و گندم برای تغذیه این ماهی در استخر خاکی استفاده شد. میزان تغذیه با توجه به میزان توده زنده، درجه حرارت آب و بر اساس جدول تغذیه در ماه‌های مختلف دوره پرورش (فرید پاک، ۱۳۸۵) و همچنین میزان سیری (سنا و ترور، ۱۳۸۵) محاسبه می‌گردید و در اختیار ماهیان قرار می‌گرفت.

نمونه‌گیری با تور پره و صید حدود ۱۰۰ قطعه ماهی کپور از گوشه‌ای از استخر و توزین کلی وزن کشی انفرادی ماهیان در کنار استخر و سپس ماهیان زنده به استخر بازگردانده می‌شدند.

در طول این تحقیق جهت کاهش میزان استرس ماهیان ۲۴ ساعت قبل از هر بار شستشوی تانک‌ها و همچنین جهت بیومتری اولیه، در طول دوره و انتهای آن و نمونه‌برداری غذادهی قطع می‌گردید. در انتهای دوره جهت به دست آوردن شاخص‌های رشد و تغذیه تمام ماهیان بر اساس طول و وزن بیومتری گردید.

(جهت بررسی عملکرد بخش آبی‌پروری سیستم از پارامترهای زیر استفاده گردید. Bransden et al., 2003; Karalazos, 2007; Montero et al., 2008; Pratoomyot et al., 2008).

میزان تولید، بازماندگی، افزایش وزن، نرخ رشد مخصوص، نسبت تبدیل غذایی، نسبت تبدیل اقتصادی

وزن اولیه بدن (گرم) - وزن نهایی بدن (گرم) = (WG) افزایش وزن (گرم)

کل روزهای پرورش / ۱۰۰ (وزن اولیه - ln وزن نهایی) = (SGR) نرخ رشد مخصوص

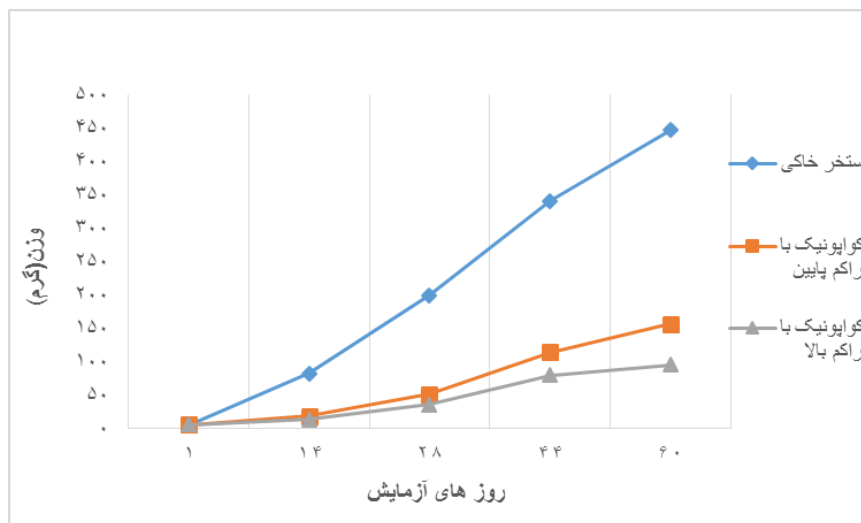
افزایش وزن (گرم) / غذای مصرف‌شده (گرم) = (FCR) نسبت تبدیل غذایی

نسبت تبدیل غذایی قیمت یک کیلوگرم از جیره غذایی = شاخص اقتصادی ECR نسبت تبدیل اقتصادی
میزان آب مصرفی برای سیستم سستی استخرهای یک هکتاری آبیگری اولیه به ارتفاع یک متر و ۳ لیتر در ثانیه جهت جبران نفوذ، تبخیر و تعویض آب در مدت پرورش مصرف گردید و برای سیستم اکوپونیک آبیگری اولیه و در طول دوره پرورش اضافه نمودن آب جهت جبران فرآیند تبخیر و تعریق روزانه و تعویض آب به میزان ۳۰ لیتر به ازای هر یک کیلوگرم غذا مصرف شده (Martins et al., 2010) می‌باشد.

برداشت محصول گیاهان به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر در مدت‌زمان معمول ۳۰-۵۰ روز شروع شد. در موقع برداشت مراقبت لازم در زمان دست‌کاری و چیدن برگ و ساقه انجام گردید. برای جلوگیری از کبودی برگ، سیاهی و تلخ شدن برگ‌ها و تشویق شاخه سازی جدید از تولید غنچه و گل جلوگیری شد (Somerville et al., 2014). پس از برداشت محصول ریحان تعداد گیاه بازمانده در بستر هیدروپونیک و بیوماس گیاهی تولیدشده در هر چین بیومتری و محاسبه گردید (Dediu et al., 2012).
طرح کلی این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی برنامه‌ریزی و اجرا شد. داده‌ها در فصل نتایج به‌صورت میانگین $\pm$ خطای استاندارد بیان گردید. ابتدا شرط نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها به‌وسیله آزمون Leven بررسی شد. از رگرسیون خطی و غیرخطی و آزمون Two-tailed Pearson bivariate correlation جهت بررسی همبستگی بین نتایج استفاده گردید. از آنالیز واریانس یک‌طرفه جهت اندازه‌گیری اختلاف بین تیمارهای آزمایشی ($P < 0.05$) با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ در سطح خطای ۰/۰۵ استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها در صورت همگنی واریانس‌ها از آزمون Tukey جهت تعیین اختلاف بین تیمارها استفاده می‌شد. همچنین از نرم‌افزار Excel ویرایش ۲۰۰۷ جهت رسم نمودارها استفاده گردید.

نتایج

در سیستم اکوپونیک با تراکم پایین در پایان دوره (۶۰ روز) وزن نهایی ماهی کپور به $11/80 \pm 156/70$ گرم و میزان بیوماس در تانک به $4/07 \pm 0/31$ کیلوگرم رسید؛ که تولید برابر بود با $10/19 \pm 0/77$ کیلوگرم در واحد سطح (مترمربع) که معادل $7/67 \pm 10/186$ تن در هکتار است. بیشترین میزان رشد ویژه در نمونه‌گیری اول و کمترین آن در پایان دوره است. میانگین میزان افزایش وزن روزانه در کل دوره $2/51 \pm 0/19$ گرم در روز گردید (جدول ۱) (شکل ۱).



شکل ۱: رشد ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در روش سنتی و سیستم اکوپونیک با تراکم پایین و بالا (سال ۱۳۹۴).

در سیستم اکوپونیک با تراکم پایین در پایان دوره (۶۰ روز) وزن نهایی ماهی کپور به $95/75 \pm 8/15$ گرم و میزان بیوماس در تانک به $42 \pm 0/42$ کیلوگرم رسید؛ که تولید برابر بود با $12/45 \pm 1/06$ کیلوگرم در واحد سطح (مترمربع) که معادل $124/48 \pm 10/59$ تن در هکتار است. میانگین میزان افزایش وزن روزانه در کل دوره $1/50 \pm 0/14$ گرم در روز گردید (جدول ۲) (شکل ۱). میانگین وزن نهایی ماهی کپور در استخر خاکی به $447/6 \pm 26/7$ گرم و میزان بیوماس در استخر به $488/3 \pm 29/1$ کیلوگرم در هکتار در پایان دوره (۶۰ روز) رسید؛ که تولید برابر است با $0/49 \pm 0/029$ کیلوگرم در مترمربع است. بیشترین میزان رشد ویژه در نمونه‌گیری اول و کمترین آن در نمونه‌گیری آخر به ثبت رسید. میانگین میزان افزایش وزن روزانه در کل دوره $7/4 \pm 0/4$ گرم در روز گردید (جدول ۳) (شکل ۱).

جدول ۱: رشد و تولید در واحد سطح ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) در سیستم اکوپونیک با تراکم پایین در پایان دوره (۶۰ روز) (سال ۱۳۹۴).

واحد	وزن اولیه	هفته دوم	هفته چهارم	هفته ششم	هفته هشتم	کل دوره
هفته	۰	۲	۴	۶	۸	۸
زمان	روز	۱۴	۲۸	۴۴	۶۰	۶۰
وزن	گرم	$0/17 \pm 6/04$	$0/9 \pm 19/3$	$2/7 \pm 52/2$	$8/3 \pm 115/6$	$11/8 \pm 156/7$
بیوماس در تانک	kg/tank	$0/00 \pm 0/16$	$0/02 \pm 0/50$	$0/07 \pm 1/36$	$0/21 \pm 2/99$	$0/31 \pm 4/07$
بیوماس در مترمکعب	kg/m3	$0/01 \pm 0/39$	$0/06 \pm 1/26$	$0/18 \pm 3/40$	$0/54 \pm 7/48$	$0/77 \pm 10/19$
بیوماس در هکتار	MT/ha	$0/11 \pm 3/92$	$0/61 \pm 12/55$	$1/77 \pm 33/95$	$5/36 \pm 74/85$	$7/67 \pm 101/86$
نرخ رشد ویژه SGR	درصد	-	$0/16 \pm 8/30$	$0/32 \pm 7/11$	$0/12 \pm 4/94$	$0/16 \pm 1/92$
افزایش وزن	گرم	-	$13/3$	$32/9$	$63/4$	$41/1$
افزایش وزن روزانه	گرم در روز	-	$0/06 \pm 0/95$	$0/16 \pm 2/35$	$0/35 \pm 3/93$	$0/31 \pm 2/60$

جدول ۲: رشد و تولید در واحد سطح ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) در سیستم اکواپونیک با تراکم بالا در پایان دوره (۶۰ روز) (سال ۱۳۹۴).

واحد	وزن اولیه	هفته دوم	هفته چهارم	هفته ششم	هفته هشتم	کل دوره	زمان
روز	۱	۱۴	۲۸	۴۴	۶۰	۶۰	روز
وزن گرم	0.12 ± 0.03	0.41 ± 0.06	1.73 ± 0.03	8.3 ± 0.01	8.2 ± 0.05	8.9 ± 0.08	وزن
kg/tank	0.01 ± 0.003	0.02 ± 0.005	0.09 ± 0.001	0.43 ± 0.001	0.42 ± 0.001	0.47 ± 0.001	بیوماس در تانک
kg/m ³	0.02 ± 0.007	0.05 ± 0.008	0.22 ± 0.001	1.08 ± 0.004	1.06 ± 0.004	1.16 ± 0.007	بیوماس در مترمکعب
MT/ha	0.16 ± 0.004	0.49 ± 0.008	2.16 ± 0.004	10.79 ± 0.004	10.59 ± 0.004	11.6 ± 0.004	بیوماس در هکتار
درصد	-	0.32 ± 0.025	0.47 ± 0.056	0.43 ± 0.094	0.25 ± 0.012	0.14 ± 0.061	SGR نرخ رشد ویژه
گرم	-	$8/6$	$21/7$	$43/8$	$15/7$	$8.9/8$	افزایش وزن
گرم در روز	-	0.03 ± 0.060	0.14 ± 0.056	0.43 ± 0.074	0.19 ± 0.098	0.14 ± 0.050	افزایش وزن روزانه

جدول ۳: رشد و تولید در واحد سطح ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) در روش سنتی پرورش ماهی در پایان دوره (۶۰ روز) (سال ۱۳۹۵).

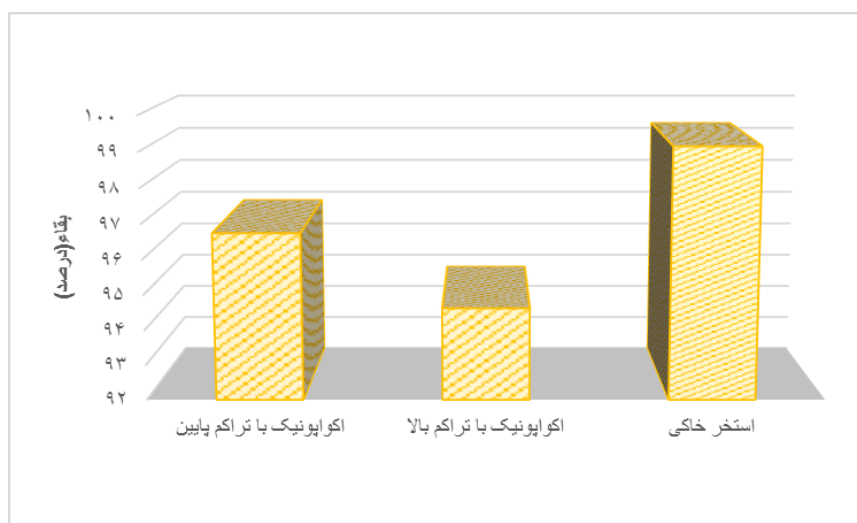
واحد	روز اول	هفته دوم	هفته چهارم	هفته ششم	هفته هشتم	کل دوره	زمان
روز	۰	۱۴	۲۸	۴۴	۶۰	۶۰	روز
قطعه	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	تعداد
-	-	-	-	-	-	0.2 ± 0.08	درصد تلفات
-	-	-	-	-	-	0.2 ± 0.09	درصد بازماندگی
۲/۱±۱۰۹۱	-	۲/۱±۱۰۹۱	۲/۱±۱۰۹۱	۲/۱±۱۰۹۱	۲/۱±۱۰۹۱	۲/۱±۱۰۹۱	تعداد بازمانده
گرم	0.9 ± 0.02	7.9 ± 0.09	13.8 ± 0.05	20.7 ± 0.02	26.7 ± 0.06	26.7 ± 0.06	وزن
گرم	-	$77/7$	$117/6$	$140/7$	$106/4$	$442/4$	افزایش وزن
mT/ha	1.0 ± 0.06	8.6 ± 0.04	15.0 ± 0.01	22.6 ± 0.02	29.1 ± 0.03	29.1 ± 0.03	بیوماس در استخر
Kg/m ³	0.001 ± 0.001	0.009 ± 0.009	0.015 ± 0.022	0.023 ± 0.037	0.029 ± 0.049	0.029 ± 0.049	بیوماس در مترمکعب
درصد	-	0.60 ± 0.09	0.19 ± 0.03	0.28 ± 0.06	0.16 ± 0.08	0.20 ± 0.05	SGR نرخ رشد ویژه
گرم در روز	-	0.5 ± 0.06	0.4 ± 0.04	0.4 ± 0.08	0.4 ± 0.07	0.4 ± 0.07	افزایش وزن روزانه

میانگین میزان غذای مصرفی برای سیستم سنتی و سیستم اکواپونیک با تراکم پایین و تراکم بالا به ترتیب ۱۰۴۹، ۵/۸۰ و ۸/۵۱ کیلوگرم محاسبه و ثبت گردید. بالاترین ضریب تبدیل غذایی ۲/۱۵ و کمترین ضریب تبدیل ۱/۵۹ به ترتیب مربوط به سیستم سنتی و سیستم اکواپونیک با تراکم پایین بود. بالاترین میزان شاخص اقتصادی ۴۵۵۳۷ و کمترین میزان شاخص ۱۸۴۹۰ به ترتیب مربوط به سیستم اکواپونیک با تراکم بالا و سیستم سنتی بود. میزان مصرف آب در سیستم‌های مختلف به ازای تولید یک کیلوگرم ماهی کپور ۵۲/۳۳، ۵۷/۰ و ۵۰/۰ مترمکعب آب به ترتیب در سیستم سنتی و سیستم اکواپونیک با تراکم کم و تراکم بالاست (جدول ۴).

جدول ۴: مقایسه میزان تولید خالص، نسبت تبدیل اقتصادی و مصرف آب در روش سنتی و سیستم اکوپونیک (سال ۱۳۹۴).

ردیف	عنوان	واحد	استخر خاکی	سیستم اکوپونیک	
				تراکم پایین	تراکم بالا
۱	تراکم	ماهی در واحد پرورشی	۱۱۰۰	۲۶	۵۲
		ماهی در مترمکعب	۰/۱۱	۶۵	۱۳۰
۲	تولید خالص	کیلوگرم در واحد پرورشی	۴۸۸/۳	۳/۹۱	۴/۶۷
		کیلوگرم در مترمکعب	۰/۰۴۹	۹/۸۰	۱۱/۶۷
۴	نسبت تولید در واحد سطح	برابر	۱	۲۰۰	۲۳۸
۵	میزان غذای مصرفی	کیلوگرم	۳۵±۱۰۴۹	۰/۲۵۴±۵/۷۹۵	۰/۳۶۵±۸/۵۱۸
۶	قیمت یک کیلو غذا	ریال	۸۶۰۰	۲۳۰۰۰	۲۳۰۰۰
۷	ضریب تبدیل غذایی (FCR)	کیلوگرم	۰/۰۶±۲/۱۵	۰/۰۷±۱/۵۹	۰/۰۶±۱/۹۸
۸	شاخص اقتصادی (ECR)	ریال	۴۸۰±۱۸۴۹۰	۱۶۱۴±۳۶۵۳۹	۱۴۶۶±۴۵۵۳۷
۹	نسبت شاخص اقتصادی (ECR)	برابر	۱	۱/۹۸	۲/۴۶
۱۰	کل آب مصرفی	مترمکعب	۲۵۵۵۲	۲/۲۵	۲/۳۴
۱۱	مصرف آب به ازای واحد تولید	M3/kg	۵۲/۳۳	۰/۵۷	۰/۵۰
۱۲	نسبت مصرف آب به ازای واحد تولید	برابر	۱۰۴/۲۳	۱/۱۵	۱

بیشترین بازماندگی مربوط به سیستم سنتی پرورش در استخر خاکی (۹۹/۲) و کمترین بازماندگی مربوط به سیستم اکوپونیک با تراکم بالا به میزان ۹۴/۶ درصد گردید (شکل ۲).



شکل ۲: میزان بازماندگی (درصد) در سیستم اکوپونیک با تراکم پایین و بالا و روش پرورش سنتی (سال ۱۳۹۴).

میانگین پارامترهای مختلف و بیوماس گیاه ریحان بنفش (*Ocimum basilicum*) کشت شده در بخش هیدروپونیک سیستم اکوپونیک در تراکم‌های مختلف در جدول ۵ آورده شده است. کمترین و بیشترین میانگین بیوماس گیاه سبز (گرم در سیستم هیدروپونیک) در هر سیستم به ترتیب مربوط به تیمار با تراکم پایین و تیمار با تراکم بالا است.

جدول ۵: میانگین پارامترهای مربوط به گیاه ریحان بنفش (*Ocimum basilicum*) کشت شده در بخش هیدروپونیک سیستم اکوپونیک در تراکم‌های مختلف (سال ۱۳۹۴).

ردیف	تیمارهای پرورش		سیستم اکوپونیک با تراکم پایین	سیستم اکوپونیک با تراکم بالا
	شاخص گیاه ریحان			
۱	تعداد بوته	۱۰۲۰±۱۴۳	۱۱۷۷±۱۱۵	
۲	وزن ریشه تر (گرم)	۰/۳۵±۰/۰۲	۰/۴۱±۰/۰۳	
۳	وزن کل ریشه تر (گرم)	۳۵۳/۷±۳۱/۵	۴۷۸/۲±۲۰/۹	
۴	ساقه تر (گرم)	۱/۳۵±۰/۰۷	۱/۴۹±۰/۰۸	
۵	وزن کل ساقه و برگ تر (گرم)	۱۳۶۷/۲±۱۲۶/۹	۱۷۵۵/۵±۱۰۲/۸	
۶	وزن بوته (گرم)	۱/۶۹±۰/۰۹	۱/۹۰±۰/۰۷	
۷	وزن کل (گرم)	۱۷۲۰/۸±۱۵۸/۴	۲۲۴۴/۳±۲۷۰/۶	
۸	بیوماس در مترمربع (gr/m2)	۶۴۹/۳±۵۹/۸	۸۴۶/۹±۱۰۲/۱	
۹	کل ریشه خشک (گرم)	۱۴۵/۰±۱۲/۹	۱۹۶/۱±۸/۶	
۱۰	وزن خشک ساقه و برگ (گرم)	۵۳۳/۲±۴۹/۵	۶۸۷/۶±۴۰/۱	
۱۱	وزن خشک بوته (گرم)	۰/۶۷±۰/۰۴	۰/۷۵±۰/۰۴	
۱۲	وزن خشک کل (گرم)	۶۷۸/۲±۶۲/۴	۸۸۰/۷±۴۸/۴	
۱۳	طول ریشه (cm)	۱۰/۲±۰/۱۵	۱۰/۳±۰/۱۰	
۱۴	طول ساقه (cm)	۲۵/۵±۱/۷۰	۲۹/۱±۱/۹۰	
۱۵	طول کل (cm)	۳۵/۷±۱/۶۱	۳۹/۴±۱/۸۵	

بحث و نتیجه‌گیری

برخلاف تأثیر میزان تراکم در تولید جانوران خشکی زی، میزان تراکم در پرورش ماهیان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های عمومی در این صنعت است. تولید فوق متراکم به‌ناچار افزایش تراکم ذخیره‌سازی ماهیان بسیار بیشتر از زیستگاه‌های طبیعی آن‌ها را ضرورت دارد؛ و به همین جهت تراکم‌های بسیار بالا در واحد سطح جهت استفاده بهتر از فضای پرورشی برای بیشتر سیستم‌های گردشی پرورش ماهیان (RAS) مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین دلیل، عموم توجه علمی و دولتی برای افزایش تولید بر بالا بردن تراکم متمرکز شده است که این عامل کلیدی باوجود تأثیر مستقیم بر میزان تولید از طرفی دیگر ممکن است بیماری‌های پاتولوژیک و سلامت ماهی در سیستم‌های آبی‌پروری متراکم را تحت تأثیر قرار دهد (Van de Nieuwegiessen *et al.*, 2009).

در برخی از کشورها، پرورش ماهی به‌صورت متراکم در سیستم‌های گردشی (RAS) در اولویت قرار دارد. سیستم‌های پرورش متراکم گردشی اجازه پرورش ماهی در هر منطقه را فراهم می‌کند و همچنین کنترل کامل بر محیط کشت و امکان استفاده مجدد از درصد بالایی از آب، با استفاده از سه نوع فیلتراسیون: مکانیکی، بیولوژیکی و شیمیایی را می‌دهد (Van de Nieuwegiessen *et al.*, 2009).

تحقیقات و انواع فن آوری‌ها نتایج متنوعی و متفاوتی را ارائه می‌دهند به طوری که برخی از تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از تراکم جمعیت کمتر منجر به افزایش محصول و بیوماس بالاتر می‌گردد (Sharma and Chakrabarti, 2003).

تراکم ماهی در سیستم اکوپونیک در تیمار تراکم پایین ۲۶ قطعه ماهی (۶۵ قطعه در مترمکعب) و در تیمار تراکم بالا ۵۲ قطعه ماهی کپور جوان (۱۳۰ قطعه در مترمکعب) در تانک بتنی ۴۰۰ لیتری بود که به ترتیب تراکم ۵۹۱ و ۱۱۸۲ برابر بیشتر از تراکم ماهی کپور در پرورش سنتی بود. میزان رشد ماهی کپور در استخر خاکی بسیار بیشتر از سیستم اکوپونیک بود که این به دلیل تراکم کمتر ماهی است.

میزان تراکم در این مطالعه به نسبت بسیاری از مطالعات محققین دیگر کمتر بود. Enache و همکاران در سال ۲۰۱۲ ماهی کپور معمولی را با تراکم ۲۵۰ قطعه ماهی در تانک‌های ۵۰۰ لیتری ذخیره‌سازی و به مدت ۳۰ روز پرورش دادند. در آزمایشی دیگر هر سیستم مدار بسته، ۵۰ قطعه ماهی کپور ۴/۸ گرمی در هر تانک ۹۰ لیتری جهت ارزیابی عملکرد بسترهای مختلف ذخیره‌سازی گردید (ایرانی و همکاران ۲۰۱۶)؛ که تعداد ذخیره‌سازی برابر با ۵۵۵ ماهی در مترمکعب و به میزان بسیار بیشتر از میطان تراکم در این تحقیق بود.

در مطالعه‌ای دیگر Enache و همکاران در سال ۲۰۱۱ جهت ارزیابی میزان تراکم بر رشد ماهی تراکم‌های مختلف ماهی کپور معمولی (تراکم ۱۰۷، ۲۱۱، ۲۴۵ و ۴۹۱ قطعه) را در تانک ۵۰۰ لیتری پرورش دادند (Enache et al., 2011) که در تمام تیمارها تراکم بالاتر از میزان تراکم این تحقیق بود.

در تحقیقی در مورد اثرات طیف و شدت نوری بر پرورش ماهی کپور معمولی در سیستم مدار بسته در تراکم پایین ۱۰ قطعه و در تراکم بالا ۴۰ قطعه ماهی کپور در تانک آزمایشی ۱۲۰ لیتری ذخیره‌سازی و پرورش داده شد (Karakatsouli et al., 2010) که میزان تراکم ماهی در واحد حجم (مترمکعب) در تراکم پایین در مقایسه با تراکم‌های ماهی کپور معمولی در این تحقیق به ترتیب بیشتر و کمتر از تیمارهای با تراکم پایین و بالا بود. همچنین در تحقیق Filep و همکاران در سال ۲۰۱۶ ماهی کپور معمولی با تراکم کمتر (۱۲ قطعه ماهی در تانک ۴۵۰ لیتری) از مطالعه حاضر در سیستم اکوپونیک ذخیره‌سازی گردید.

تراکم ماهی یکی از حساس‌ترین عوامل تعیین‌کننده میزان بهره‌وری از سیستم پرورشی با تأثیر بر نرخ رشد، تنوع اندازه و مرگ‌ومیر آبی است. یکی از عوامل اساسی در موفقیت سیستم‌های اکوپونیک یافتن میزان تراکم مطلوب می‌باشد. در این مطالعه در سیستم‌های اکوپونیک که تراکم کمتر بود میزان رشد انفرادی و وزن نهایی در مقایسه با تیمارهای با تراکم پایین بیشتر بود. این کاهش رشد در تیمارهای با تراکم بالا در حالی اتفاق افتاد که محدودیتی برای دسترسی غذا وجود نداشت؛ و این کاهش رشد احتمالاً به دلیل دسترسی است که با افزایش تراکم در ماهی کپور معمولی ایجاد می‌گردد. این کاهش رشد ناشی از افزایش تراکم در حدود ۶۹ درصد بود؛ که با وجود دسترسی غذا برای تمام تانک‌ها این میزان کاهش رشد چشمگیر به دلیل افزایش تراکم اتفاق افتاد.

Hussain و همکاران در سال ۲۰۱۴ مطالعه‌ای بر روی رشد ماهی کپور انگشت قد در تراکم‌های مختلف ذخیره‌سازی انجام دادند که میزان رشد در تیمارهای مختلف متفاوت بود و تیماری که در مقایسه با دیگر تیمارها تراکم کمتر داشت میزان رشد بیشتری داشت در نتیجه افزایش میزان تراکم میزان رشد را کاهش داد. مطالعات مشابه انجام‌شده توسط شلتون و همکاران (۱۹۸۱) نشان دادند که افزایش میزان تراکم در استخرهای محصور کوچک تأثیر منفی عمیقی بر رشد ماهی آمور علفخوار، *Ctenopharyngodon idella*، دارد.

Shete و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه بر روی رشد ماهی قرمز *Carassius auratus* در آب‌های با دوره‌های گردش مختلف دریافتند که در پایان ۶۰ روز آزمایش درصد افزایش وزن بدن به طور معنی‌دار متفاوت بود و تیمارهای با تراکم پایین‌تر میزان رشد انفرادی ماهی بیشتر گردید. Milstein و Fedlite (۲۰۰۰) گزارش کردند که ماهی کپور معمولی بسیار حساس به تراکم بوده و اگر دسترسی به غذا مشکلی نداشته باشد افزایش تراکم فضای اطراف ماهی را کاهش می‌دهد. رفتار رقابتی برای دسترسی به فضا می‌تواند از طریق پاسخ غدد درون‌ریز یا اختلال در کارایی تغذیه تأثیر گزار باشد. تأثیر تراکم در کاهش میزان رشد در تحقیقات بسیاری به اثبات رسیده است (Pankhurst and Van Der Kraak, 1997; Schreck et al., 1997) (Hussain et al., 2014).

شیب رشد ماهی کپور در نمونه‌گیری آخر در سیستم اکوپونیک کاهش یافت (شکل ۱) که ممکن است به دلیل کاهش درجه حرارت بوده و میزان رشد کاهش یافته و احتمال دوم اینکه سیستم با رشد ماهی و افزایش تراکم به مرز بیشترین محصول ایستا (*standing crop*) رسیده است؛ و به همین جهت است که تیمارهای با تراکم بالا کاهش رشد در نمونه‌گیری آخر را بیشتر از تیمارهای با تراکم پایین نشان دادند.

میزان رشد ماهی کپور در استخر خاکی (۴۴۷/۶) در مدت‌زمان مشابه بسیار بیشتر سیستم اکوپونیک با تراکم پایین (۱۵۶/۷) و تراکم بالا (۹۵/۸) بود؛ که این می‌تواند به دلیل پایین بودن تراکم در واحد سطح در سیستم پرورش ماهیان سنتی باشد.

در تیمار اکوپونیک با تراکم بالا باوجود پایین بودن میانگین رشد انفرادی اما میزان تولید در واحد سطح بالاتر بود که بیوماس در واحد سطح به نسبت تیمار با تراکم پایین ۲۲ درصد افزایش را نشان داد.

باوجوداینکه آهنگ رشد انفرادی در سیستم اکوپونیک بسیار پایین‌تر از سیستم سنتی پرورش ماهیان گرمابی است اما به دلیل تراکم بیشتر در واحد سطح در سیستم متراکم اکوپونیک میزان بیوماس در یک هکتار بسیار بالاتر از سیستم سنتی پرورش به‌صورت نیمه متراکم بود؛ اما باوجود رشد انفرادی بالا در ماهی کپور پرورش‌یافته در سیستم سنتی میزان بیوماس در واحد سطح بسیار پایین‌تر از سیستم اکوپونیک بود در سیستم اکوپونیک میزان بیوماس پایان دوره ۲۰۰ و ۲۳۸ برابر میزان زی‌توده در واحد سطح (مترمربع) استخر خاکی به ثبت رسید.

آزمایش‌ها و انواع فن‌آوری‌ها نتایج متنوعی و متفاوتی را ارائه می‌دهند به‌طوری‌که برخی از تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از تراکم جمعیت کمتر منجر به افزایش محصول و بیوماس بالاتر منجر می‌گردد (Sharma and Chakrabarti, 2003). همچنین در مطالعه‌ای مشابه با افزایش میزان تراکم ذخیره‌سازی گربه‌ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) به‌طور قابل‌توجهی افزایش تولیدات در استخر خاکی مشاهده گردید (Oké and Goosen, 2019).

اکثر مطالعات انجام‌شده سیستم‌های مدار بسته ماهی کپور نشان می‌دهد که بیوماس نهایی بسیار بیشتر از این تحقیق به‌دست‌آمده مثلاً Enache و همکاران در سال ۲۰۱۲ میزان بیوماس نهایی ماهی کپور را ۷۰/۵ کیلوگرم در مترمکعب و میزان تولید ۴۶/۳ کیلوگرم در مترمکعب در مدت ۳۰ روز ثبت کردند.

میزان رشد روزانه (DGR) در تیمار با تراکم بالاتر کمتر بود که به دلیل استرس تراکم بیشتر میزان رشد انفرادی کمتر و در نتیجه میزان رشد روزانه نیز کمتر است؛ و برعکس این حالت برای تیمار با تراکم کمتر مشاهده گردید. همان‌طور که در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌شود میزان رشد روزانه در انتهای دوره در سیستم اکوپونیک کاهش یافته که ممکن است به دلیل کاهش درجه حرارت بوده و میزان متابولیسم و رشد کاهش یافته و احتمال دوم اینکه سیستم با رشد ماهی و افزایش تراکم به مرز بیشترین محصول ایستا (*standing crop*) رسیده است؛ و به همین جهت است که در تیمار با تراکم بالا کاهش رشد روزانه در نمونه‌گیری آخر بیشتر از تیمار با تراکم پایین است؛ و به همین جهت است که شیب نمودار کاهش یافته است.

در نمونه‌گیری اول (روز چهاردهم) بیشترین میزان نرخ رشد ویژه به ثبت رسید و در نمونه‌گیری‌های بعدی میزان نرخ رشد ویژه شیب نزولی پیدا می‌کند. در انتهای دوره کمترین میزان SGR دیده می‌شود که ممکن است به دلیل کاهش درجه حرارت و در نتیجه کاهش متابولیسم و رشد ماهی در انتهای دوره مشاهده می‌شود و احتمال دوم اینکه سیستم با رشد ماهی و افزایش تراکم به مرز بیشترین محصول ایستا (*standing crop*) رسیده است؛ و به همین جهت است که در تیمار با تراکم بالا کاهش نرخ رشد ویژه در نمونه‌گیری آخر بیشتر از تیمار با تراکم پایین است. میزان بازماندگی در سیستم با تراکم بالاتر کمتر از سیستم با تراکم پایین است که احتمال دارد اولاً به دلیل بیشتر بودن استرس تراکم و ثانیاً با افزایش تراکم سلامت ماهی پایین‌تر می‌آید؛ که در نهایت میزان تلفات را افزایش و بازماندگی را کاهش داد. بازماندگی سیستم اکوپونیک در مقایسه با استخر خاکی پایین‌تر بود و شاید این به دلیل عدم محاسبه تلفات پنهان در استخر خاکی بود. به دلیل آنکه استخر در پایان دوره ۶۰ روزه صید و برداشت کامل ماهیان صورت نگرفت و اگر تلفات پنهانی رخ داده قابل محاسبه نبود؛ و در پایان دوره تنها تعدادی از ماهیان با تور پره صید

و به صورت زنده توزین گردید و با تور پره امکان صید تمام ماهیان مقدور نیست. لذا انتظار می‌رود میزان بازماندگی استخرهای خاکی که فقط بر اساس تلفات ظاهری ثبت شده محاسبه گردید احتمالاً بیشتر از میزان واقعی است.

پایین بودن بازماندگی در شرایط پرورش با تراکم بالاتر در گزارش Hussain و همکاران در سال ۲۰۱۴ نیز به اثبات رسید؛ که میزان بازماندگی در طول آزمایش در تیمارهای با تراکم بالاتر کمتر از تراکم پایین تر ثبت گردید (Hussain et al., 2014).

به طور مشابه، میزان بازماندگی بالا توسط Shete و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای که بر روی رشد ماهی قرمز *Carassius auratus*، در آب با دوره‌های گردش مختلف آزمایش می‌کردند به دست آمد.

Enache و همکاران در سال ۲۰۱۲ در همه تحقیقات دامنه بازماندگی ماهی کپور در سیستم پرورش متراکم ۹۸-۱۰۰ درصد به دست آوردند؛ که در کل میزان بازماندگی ثبت شده تمام تیمارها بیشتر از میزان بقا ماهی کپور معمولی پرورش یافته در سیستم اکوپونیک در این تحقیق بود. برخلاف تحقیق حاضر Liu و همکارانش در سال ۲۰۱۹ ثابت کردند که افزایش میزان تراکم ذخیره سازی تاثیر قابل توجهی بر میزان بازماندگی ندارد.

با وجود اینکه جهت تغذیه ماهیان کپور با غذای سنتی (مخلوط غلات خرد شده) با پروتئین پایین استفاده گردید و انتظار می‌رود ضریب تبدیل غذایی ماهی کپور بسیار بالاتر از غذای کنسانتره مورد استفاده در سیستم اکوپونیک باشد اما به طور شگفت‌آوری میزان ضریب تبدیل غذایی استخر خاکی اختلاف اندکی با سیستم اکوپونیک داشت؛ که احتمالاً به دلیل استفاده از غذای طبیعی و جبران کمبود پروتئین غلات مورد استفاده جهت تغذیه در استخر خاکی باشد؛ و ثانیاً به دلیل اینکه در ابتدای دوره وزن انفرادی ماهیان رهاسازی شده پایین است و میزان زی توده در واحد سطح پایین می‌باشد لذا با تغذیه از غذای طبیعی نیاز به مقدار بالایی از غذای دستی وجود ندارد به همین جهت با وجود غذای طبیعی هم مقدار مصرف غذای دستی در ابتدای دوره کاهش یافته و همچنین مشکل پایین بودن پروتئین غذای سنتی برطرف گردید؛ و در نهایت موجب پایین آمدن ضریب تبدیل غذایی و با توجه به پایین بودن قیمت غلات شاخص اقتصادی (ECR) استخر خاکی بسیار پایین تر از ماهی کپور سیستم اکوپونیک گردید. با وجود ضریب تبدیل پایین ماهی کپور تغذیه شده با غذای کنسانتره اما شاخص اقتصادی (ECR) سیستم اکوپونیک با تراکم پایین و تراکم بالا به ترتیب حدود ۲ و ۲/۵ برابر بیشتر از سیستم پرورش سنتی است.

عوامل بسیاری همچون دسترسی غذا، نوع غذا، شرایط پرورش، ویژگی‌های محیطی، گونه آبی پرورشی، سائز ماهی و ... بر میزان ضریب تبدیل غذایی (FCR) تأثیر گذار است (Jabeen et al., 2004).

میزان ضریب تبدیل غذایی ماهی کپور پرورش یافته در تیمارهای اکوپونیک با تراکم پایین تر مطلوب تر (کمتر) از سیستم اکوپونیک با تراکم بالاتر گردید؛ که ممکن است به دلیل استرس بیشتر در تراکم بالا باشد.

نتایج این تحقیق مشابه مطالعه Hussain و همکاران در سال ۲۰۱۴ در مورد ماهی کپور معمولی نژاد کویی ضریب تبدیل غذا در تیمارهای با تراکم کمتر پایین تر بود گزارش‌های مشابه دیگر Licamele (۲۰۰۹) در مورد ماهی تیلپیا نیل *Oreochromis niloticus* ضریب تبدیل غذایی (FCR) به طور قابل توجهی در تراکم ذخیره سازی پایین نسبت به سایر تیمارها بهتر بود. همچنین Chowdhury و همکارانش در سال ۲۰۱۹ نشان دادند که با کاهش تراکم ذخیره سازی گربه ماهی مخطط (*Pangasianodon hypophthalmus*) پرورش یافته در قفس ضریب تبدیل غذایی کمتر گردید.

کاهش نرخ رشد ماهی و مصرف بیشتر غذا با افزایش سطح تراکم در مشاهدات Vijayan و Leatherland (۱۹۸۸) به ثبت رسید. همچنین افزایش FCR با افزایش تراکم ذخیره سازی توسط Imanpoor و همکاران (۲۰۰۹) در ماهی کپور معمولی و Moradyan و همکاران (۲۰۱۲) در آلوین قزل‌آلای رنگین کمان گزارش شد.

به طور کلی در سیستم اکوپونیک با توجه به افزایش میزان تراکم میزان تولید در واحد سطح بسیار بیشتر (بیش از ۲۰۰ برابر) از استخر خاکی گردید؛ اما میزان وزن انفرادی ماهی کپور در پایان دوره آزمایش در استخر خاکی بیشتر از ماهی کپور پرورش یافته در سیستم اکوپونیک گردید.

شاخص اقتصادی در استخر خاکی به نسبت سیستم اکوپونیک مطلوب‌تر بود که نشان‌دهنده هزینه پایین تولید ماهی کپور در استخر خاکی می‌باشد. میزان مصرف آب به ازای تولید یک کیلوگرم ماهی کپور در سیستم سنتی در مقایسه با سیستم اکوپونیک ۹۸ برابر بیشتر بود که نشان‌دهنده صرفه‌جویی بسیار بالا در مصرف آب در سیستم اکوپونیک است.

منابع

- ایرانی، ع.، مرادلو، ح. و آق، ق.، ۲۰۱۶. ارزیابی عملکرد بیوفیلترهای با بستر کاه جو، پوشال چوب، اسفنج و لوله‌های مشبک پی‌وی‌سی در سیستم مدار بسته پرورش کپور معمولی. فصلنامه علمی پژوهشی علوم و فنون شیلات ۵، صفحات ۱۵-۱.
- اورجی، ح.، سوداگر، م.، جانی خلیلی، خ.، داداشی، ف.، کرامت، ع.، و کمالی، ک.، ۱۳۹۳. بررسی تأثیر سطوح مختلف آرد آزولا در جیره غذایی بر عملکرد رشد و قابلیت هضم ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*). مجله علمی شیلات ایران. ۳۳(۴): صفحات ۹۷-۱۰۴.
- فرید پاک، ف.، ۱۳۸۵. دستورالعمل اجرایی تکثیر مصنوعی و پرورش ماهیان گرم آبی، تهران، انتشارات علمی آذرین، ۳۰۶ ص.
- قناعت پرست، ا.، طلوعی، م.، درویشی، م.، فیضعلی موسوی، ه.، مجدی نسب، ف. و خمیرانی، ر.، ۱۳۸۰. پرورش ماهیان گرمابی (عمومی) معاونت تکثیر و پرورش آذرین-اداره کل آموزش و ترویج، ۲۰۳ ص.
- سن، ا. د. و ترور، ا.، ۱۳۸۵. تغذیه ماهیان پرورشی، ترجمه احتشامی ف. تهران سازمان شیلات ایران، معاونت آبی‌پروری و مدیریت فنی و امور آبی‌پروران، ۳۹۶ ص.
- مینایی، ا.، ۱۳۹۶. پرورش توأم ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) در سیستم اکوپونیک با استفاده از سباب آبی‌پروری، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه علوم و فنون خرمشهر، ۱۶۵ ص.
- Abbas, S., 2009. Growth performance and meat quality of *Labeo rohita*, *Catla catla* and *Cyprinus carpio* under different treatments. Doctor of philosophy in zoology. Department of zoology and fisheries faculty of sciences. Faisalabad. University of agriculture. 226p.
- Al-Hafedh, Y. S., Alam, A. and Beltagi, M. S., 2008. Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. Journal of the World Aquaculture Society, 39: 510-520.
- Avnimelech, Y., 2009. Biofloc technology. A practical guide book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge.
- Badiola, M., Mendiola, D. and Bostock, J., 2012. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: main issues on management and future challenges. Aquacultural Engineering.
- Bernstein, S., 2011. Aquaponic Gardening: A Step-by-step Guide to Raising Vegetables and Fish Together. New Society Publishers.
- Brandsen, M. P., Carter, C. G. and Nichols, P. D., 2003. Replacement of fish oil with sunflower oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effect on growth performance, tissue fatty acid composition and disease resistance. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 135: 611-625.
- Buschmann, A. H., Riquelme, V. A., Hernández-González, M. C., Varela, D., Jiménez, J.E., Henríquez, L. A., Vergara, P. A., Guíñez, R. and Filún, L., 2006. A review of the impact of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. ICESJ. Journal of Marine Science, 63: 1338-1345.
- Cao, Y., Li, Z., Yang, Y. and Wen, G., 2007. Research progress on technology of microalgae ecological management in shrimp culture [J]. South China Fisheries Science, 4: 011.
- Chowdhury, M. A., Roy, N. C. and Chowdhury, A., 2019. Growth, yield and economic returns of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) at different stocking densities under floodplain cage culture system. The Egyptian Journal of Aquatic Research.
- Dediu, L., Cristea, V. and Xiaoshuan, Z., 2012. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with baster and lettuce. African Journal of Biotechnology, 11: 2349-2358.

- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N. and Verstraete, W., 2008.** The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277: 125-137.
- Enache, I., Cristea, V., Ionescu, T. and Ion, S., 2011.** The influence of stocking density on the growth of common carp, *Cyprinus carpio*, in a recirculating aquaculture system. *AACL Bioflux*, 4: 146-153.
- Enache, I. B., Cristea, V., Ionescu, T., Dediu, L. and Docan, A., 2012.** The influence of light intensity on the growth performance of common carp in a recirculating aquaculture system condition. *Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Seria Zootehnie*, 58: 234-240.
- Eaton, A. D. and Franson, M., 2005.** Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water & wastewater. Washington (DC): American Public Health Association.
- Eurostat, 2010. Fisheries Statistics.** Data 1995–2008, Available at: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITC/OFFPUB/KS-DW-09-011/EN/KS-DW-09-001-EN-PDF> (accessed 27.08.11).
- FAO., 2012.** The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA). FAO Fisheries and Aquaculture Department Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy., Available from <http://www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e00.htm>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)., 2014.** The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and Challenges. FAO, Rome, Italy
- Feldite, M. and Milstein, A., 2000.** Effect of density on survival and growth of cyprinid fish fry. *Aquaculture International*, 7: 399-411.
- Filep, R. M., Diaconescu, Ș., Costache, M., Stavrescu-Bedivan, M. M., Bădulescu, L. and Nicolae, C. G., 2016.** Pilot Aquaponic Growing System of Carp (*Cyprinus carpio*) and Basil (*Ocimum Basilicum*). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10: 255-260.
- Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A. C. and Khanal, S. K., 2015.** Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 188: 92-98.
- Hussain, T., Verma, A., Tiwari, V., Prakash, C., Rathore, G., Shete, A. and Nuwansi, K., 2014.** Optimizing Koi Carp, *Cyprinus carpio* var. Koi (Linnaeus, 1758), Stocking Density and Nutrient Recycling With Spinach in an Aquaponic System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45: 652-661.
- Imanpoor, M., Ahmadi, A. R. and Kordjazi, M., 2009.** Effects of stocking density on survival and growth indices of common carp (*Cyprinus carpio*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 18: 1-10.
- Jabeen, S., Salim, M. and Akhtar, P., 2004.** Feed conversion ratio of major carp *Cirrhinus mrigala* fingerlings fed on cotton seed meal, fish meal and barley. *Pakistan Veterinary Journal*, 24: 42-45.
- Heydarnejad, M. S., 2012.** Survival and growth of common carp (*Cyprinus carpio* L.) exposed to different water pH levels. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 36: 245-249.
- Karalazos, V., 2007.** Sustainable alternatives to fish meal and fish oil in fish nutrition: effects on growth, tissue fatty acid composition and lipid metabolism.
- Karakatsouli, N., Papoutsoglou, E. S., Sotiropoulos, N., Mourtikas, D., Stigen-Martinsen, T., Papoutsoglou, S.E., 2010.** Effects of light spectrum, rearing density and light intensity on growth performance of scaled and mirror common carp *Cyprinus carpio* reared under recirculating system conditions. *Aquacultural Engineering*, 42: 121-127.
- Lekang, O. I., 2008.** Aquaculture engineering. Wiley.com
- Licamele, J., 2009.** Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system. The University of Arizona.
- Liu, Y., Liu, H., Wu, W., Yin, J., Mou, Z. and Hao, F., 2019.** Effects of stocking density on growth performance and metabolism of juvenile Lenok (*Brachymystax lenok*). *Aquaculture*, 504: 107-113.
- Mazurkiewicz, J., 2009.** Utilization of domestic plant components in diets for common carp *Cyprinus carpio* L. *Archives of Polish Fisheries* 17, 5-39.

- Montero, D., Grasso, V., Izquierdo, M., Ganga, R., Real, F., Tort, L., Caballero, M. and Acosta, F., 2008.** Total substitution of fish oil by vegetable oils in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) diets: effects on hepatic Mx expression and some immune parameters. *Fish & Shellfish Immunology*, 24: 147-155.
- Moradyan, H., Karimi, H., Gandomkar, H. A., Sahraeian, M. R., Ertefaat, S. and Sahafi, H. H., 2012.** The effect of stocking density on growth parameters and survival rate of rainbow trout alevins (*Oncorhynchus mykiss*). *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 4: 480-485.
- Mráz, J., 2011.** Lipid quality of common carp (*Cyprinus carpio*) in pond culture.
- Nasopoulou, C. and Zabetakis, I., 2012.** Benefits of fish oil replacement by plant originated oils in compounded fish feeds. A review. *LWT-Food Science and Technology*, 47: 217-224.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. and Troell, M., 2000.** Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405: 1017-1024.
- Oké, V. and Goosen, N. J., 2019.** The effect of stocking density on profitability of African catfish (*Clarias gariepinus*) culture in extensive pond systems. *Aquaculture*, 507: 385-392.
- Pratoomyot, J., Bendiksen, E., Bell, J. and Tocher, D. R., 2008.** Comparison of effects of vegetable oils blended with southern hemisphere fish oil and decontaminated northern hemisphere fish oil on growth performance, composition and gene expression in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 280: 170-178.
- Rafaey, M. M., Li, D., Tian, X., Zhang, Z., Zhang, X., Li, L. and Tang, R., 2018.** High stocking density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 492: 73-81.
- Sargent, J. and Tacon, A., 1999.** Development of farmed fish: a nutritionally necessary alternative to meat. *Proceedings of the Nutrition Society*, 58: 377-384.
- Sharma, J. and Chakrabarti, R., 2003.** Role of stocking density on growth and survival of catla, *Catla catla*, and rohu, *Labeo rohita*, larvae and water quality in a recirculating system. *Journal of applied aquaculture* 14, 171-178.
- Sheikh, B. and Sheikh, S., 2004.** Aquaculture and integrated farming system. *Pakistan Journal of Agricultural Engineering and Veterinary Sciences (PJAAEVS)*, 20: 52-58.
- Shete, A., Verma, A., Chadha, N., Prakash, C., Peter, R., Ahmad, I. and Nuwansi, K., 2016.** Optimization of hydraulic loading rate in aquaponic system with Common carp (*Cyprinus carpio*) and Mint (*Mentha arvensis*). *Aquacultural Engineering*, 72: 53-57.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. and Lovatelli, A., 2014.** Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Tacon, A., 2004.** Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective. *Aquatic Resources, Culture and Development*, 1: 3-14.
- van de Nieuwegiessen, P. G., Olwo, J., Khong, S., Verreth, J. A. and Schrama, J. W., 2009.** Effects of age and stocking density on the welfare of African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell. *Aquaculture*, 288: 69-75.
- Vijayan, M. and Leatherland, J., 1988.** Effect of stocking density on the growth and stress-response in brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture*, 75: 159-170.
- Zahedi, S., Akbarzadeh, A., Mehrzad, J., Noori, A. and Harsij, M., 2019.** Effect of stocking density on growth performance, plasma biochemistry and muscle gene expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 498: 271-278.

