



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>  
Original Article



## **Nitrogen Compound Removing Performance of Recirculating, Biofloc-Recirculating, And Biofloc Systems**

Abdoljabbar Irani<sup>\*</sup>; Farzaneh Noori

Artemia and Aquaculture Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran.

<sup>\*</sup> Corresponding Author Email: [a.irani@urmia.ac.ir](mailto:a.irani@urmia.ac.ir)

Received: 27 December 2023

Revise Date: 21 January 2024

Accepted: 23 June 2024

DOI: 10.22113/JMST.2024.432470.2572

### **ABSTRACT**

In this study, three different culture systems, recirculating aquaculture system (RAS), biofloc-RAS (BRAS), and biofloc system (BS) were investigated in terms of water quality characteristics and removal of inorganic nitrogen compounds. All systems had a 250-liter rearing tank. Each RAS had a sedimentation tank, an airlift pump, and a scoria biofilter tank. In the biofloc system, aeration was done by a perforated pipe in the bottom. In the BRAS, a biofloc production tank, an airlift pump, and a sedimentation tank were designed. After preparing the systems, common carp juveniles with a density of 6.25 kg/m<sup>3</sup> were stored in each system and farmed for three months. The results showed that the RAS, BRAS, and BS reached a steady state condition in terms of ammonia on days 24, 30, and 36, respectively, and in terms of nitrite, on days 36, 42, and 60, respectively. The average amount of ammonia in the RAS and BS was significantly lower and higher than in other systems, respectively. The mean nitrite in the RAS was significantly lower than in the BRAS and BS. Nitrate values in all systems increased during the study period. In the biofloc system compared with other systems, the mean weight, weight gain, and SGR were significantly lower, whereas, FCR was significantly higher. In general, the RAS and biofloc-RAS performed better than the biofloc system under conditions of negligible water exchange.

**Keywords:** Ammonia, Common carp, Recirculating aquaculture system

### **1. INTRODUCTION**

Recent droughts forced us to use new technologies in the aquaculture industry to reduce our dependence on water resources. During the past four decades, the recirculating system has been the most common ultra-intensive culture system worldwide (Hisano et al., 2021). In these systems, by using physical and biological treatment units, it is possible to reuse water and produce it with high density (Irani and Agh, 2019). Despite the many advantages of these systems, the high initial investment and operational cost have limited their use, especially in less developed areas.

In recent years, a new technology called biofloc has been developed, which allows the production of fish and shrimp with little water consumption (Avnimelech, 2007). However, the most important problems of these

#### **Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



systems are the unsustainability of removing nitrogen compounds and controlling flocs and excess solids. For this reason, other innovations emerged in these systems, and by integrating recirculating systems with biofloc, systems were developed in which the culture units are separate from the biofloc units (De Schryver and Verstraete, 2009). In this study, to use the advantages of both systems and eliminate their disadvantages, recirculating and biofloc systems were combined and a hybrid system was designed in which the biofilter was removed and biofloc was produced outside the rearing tank.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

Nine systems were designed and implemented in three treatments: 1- recirculating system, 2- recirculating-biofloc system and 3- biofloc system. All systems had a 250-liter fish-rearing tank. Each recirculating system had a sedimentation tank, an airlift pump, and a scoria biofilter tank. In the biofloc system, aeration was done by a perforated pipe in the bottom. Each recirculating-biofloc system had a biofloc production tank, an airlift pump, and a sedimentation tank.

After preparing the systems, common carp juveniles were stocked with a density of 6.25 kg/m<sup>3</sup> in each rearing tank and were kept for three months under experimental conditions.

## **3. RESULTS**

Ammonia values in recirculating and recirculating-biofloc systems reached a peak of 1.83 and 2.29 mg/liter, respectively, on day 15 and then decreased. In the biofloc system, ammonia levels peaked (2.21 mg/L) three days earlier, but the decline slope was much slower than in the other systems. The recirculating and recirculating-biofloc and biofloc systems reached a steady state on the 24th, 30th, and 36th days, respectively. The average amount of ammonia in the recirculating system (0.52 mg/L) was significantly lower and in the biofloc system (1.05 mg/L) it was significantly higher than in other systems (Table 1).

Nitrite values in recirculating, recirculating-biofloc and biofloc systems peaked on days 24 (0.66 mg/L), 21 (0.85 mg/L), and 30 (0.86 mg/L), respectively, and then decreased. The nitrite reduction, like ammonia, was faster in the recirculating system than in other systems. So that the recirculating system reached a steady state on the 36th day, whereas this condition occurred in the recirculating-biofloc and biofloc systems on the 42nd and 60th days, respectively.

In the biofloc system compared with other systems, the mean weight, weight gain, and SGR were significantly lower, whereas, FCR was significantly higher.

## **4. DISCUSSION AND CONCLUSION**

In all systems, ammonia values increased, reached a peak, and then decreased. At the same time as ammonia decreased, nitrite levels increased and decreased after a certain time. Nitrate values had an increasing trend until the end of the research period. Researchers believe that a biological treatment unit is ready to use in recirculating systems when it has reached a steady state (DeLong and Losordo, 2012), and a steady state is a condition in which the amounts of ammonia and nitrite in the outlet water are relatively constant (Colt et al., 2006). In general, in the present study, in terms of ammonia, the recirculating, biofloc-recirculating, and biofloc systems reached a steady state on days 24, 30, and 36, respectively, and in terms of nitrite, these systems reached a steady state on days 36, 42, and 60, respectively. Therefore, it can be concluded that the recirculating and recirculating-biofloc systems performed better than the biofloc system in conditions of negligible water exchange. On the other hand, the biofloc-recirculating system can be more economical and easier to manage because it does not need a biofilter system.

## **ACKNOWLEDGEMENT**

We would like to thank the staff of Artemia and Aquaculture Research Institute of Urmia University, especially Mr. Saeed Hajinejad, who helped in the implementation of this research.

## **REFERENCES**

- Hisano, H., Barbosa, P.T.L., Hayd, L.A. and Mattioli, C.C. 2021. Comparative study of growth, feed efficiency, and hematological profile of Nile tilapia fingerlings in biofloc technology and recirculating aquaculture system. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), pp.60. doi: 10.1007/s11250-020-02523-z.
- Irani, A., Agh, N., 2019. Design and Management Principles of Recirculating Aquaculture Systems, Urmia University, 230 p.

Avnimelech, Y. 2006. Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, 34, pp. 172–178. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.04.0.

De Schryver, P. and Verstraete, W. 2009. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. *Bioresource Technology*, 100, pp. 1162–1167. doi: 10.1016/j.biortech.2008.08.043.

Colt, J., Lamoureux, J., Patterson, R. and Rogers, G. 2006. Reporting standards for biofilter performance studies. *Aquacultural Engineering*, 34, pp. 377-388. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.09.002.

DeLong, D.P. and Losordo, T.M., 2012. How to Start a Biofilter. *SRAC Publication*, 4502, pp. 4.



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



## عملکرد سیستم‌های پرورش ماهی چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک در حذف ترکیبات نیتروژنی

عبدالجبار ایرانی\*، فرزانه نوری

پژوهشکده آرتیمیا و آبزی‌پروری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: a.irani@urmia.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2024.432470.2572

### چکیده

در این پژوهش، سه سیستم چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک از نظر ویژگی‌های کیفی آب، فعال سازی، قابلیت حذف ترکیبات معدنی نیتروژن و شاخص‌های رشد مورد بررسی قرار گرفت. تمام سیستم‌ها دارای یک مخزن پرورش ماهی ۲۵۰ لیتری بودند. هر سیستم چرخشی، یک مخزن رسوب‌گیر، یک پمپ ایرلیفت و یک مخزن بیوفیلتر پوکه معدنی داشت. در سیستم بایوفلاک توسط لوله سوراخ‌دار در کف هوادهی انجام شد. در سیستم بایوفلاک-چرخشی، یک مخزن تولید بایوفلاک، یک پمپ ایرلیفت و یک مخزن رسوب‌گیر طراحی شد. پس از آماده‌سازی سیستم‌ها، ماهیان جوان کپور معمولی با تراکم ۶/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در هر سیستم ذخیره‌سازی گردید و به مدت سه ماه پرورش داده شدند. نتایج نشان داد که سیستم‌های چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک از نظر آمونیاک به ترتیب در روزهای ۲۴، ۳۰ و ۳۶ و از نظر نیتريت به ترتیب در روزهای ۳۶، ۴۲ و ۶۰ به وضعیت یکنواخت رسیدند. میانگین مقادیر آمونیاک در سیستم چرخشی به‌طور معنی‌داری کم‌تر و در سیستم بایوفلاک بیش‌تر از سایر سیستم‌ها بود. میانگین نیتريت در سیستم چرخشی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سیستم‌های بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک بود. مقادیر نیترات در همه سیستم‌ها طی دوره پژوهش با نوسانات اندک، روند افزایشی داشت. در سیستم بایوفلاک در مقایسه با سایر سیستم‌ها، میانگین وزن، افزایش وزن و رشد ویژه ماهیان به‌طور معنی‌داری کم‌تر و ضریب تبدیل غذایی بیش‌تر بود، اما بین سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی اختلاف آماری مشاهده نشد. به‌طور کلی، سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی نسبت به سیستم بایوفلاک در شرایط تعویض آب ناچیز عملکرد بهتری در فراهم ساختن کیفیت مطلوب آب نشان دادند.

واژگان کلیدی: آمونیاک، سیستم چرخشی آبزی‌پروری، کپور معمولی

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



## ۱. مقدمه

با روند رو به افزایش خشک‌سالی‌ها و کاهش منابع آب، چاره‌ای جز به‌کارگیری فناوری‌های جدید برای کاهش میزان وابستگی به آب و زمین نیست. طی چهار دهه گذشته، سیستم چرخشی پرورش آبزیان، رایج‌ترین سیستم پرورش فوق متراکم پرورش آبزیان در سرتاسر دنیا بوده است (Hisano et al., 2021). در این سیستم‌ها با به‌کارگیری تجهیزات تصفیه فیزیکی و زیستی، امکان استفاده مجدد آب و تولید با تراکم بالا در یک محیط بسته فراهم می‌شود (Irani and Agh, 2019). با وجود مزایای زیاد این سیستم‌ها، بالا بودن هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه اجرایی، استفاده از آنها را به‌ویژه در مناطق کمتر توسعه‌یافته محدود کرده است.

در سال‌های اخیر فناوری جدیدی بنام بایوفلاک توسعه پیدا کرده است که امکان تولید بالای ماهی و میگو را با مصرف اندک آب فراهم می‌آورد (Avnimelech, 2006). در این فناوری نیتروژن دفع‌شده توسط آبزیان پرورشی به وسیله باکتری‌های هتروتروف به بیوماس باکتریایی تبدیل می‌گردد (De Schryver and Verstraete, 2009). مهم‌ترین هدف استفاده از این فناوری در آبی‌پروری، حذف آمونیاک و بازیافت نیتروژن است. به‌همین دلیل بررسی کیفیت آب و مونیتورینگ ترکیبات نیتروژن در سیستم‌های مبتنی بر فناوری بایوفلاک اهمیت زیادی دارد. از نظر تئوری این فناوری در حذف ترکیبات سمی نیتروژن کارایی بالایی دارد، چراکه میزان تولید باکتری‌های هتروتروف حدود ۴۰ بار بیش‌تر از تولید باکتری‌های دخیل در فرایند نیتریفیکاسیون می‌باشد (Ebeling et al., 2006). فناوری بایوفلاک برای پرورش تیلاپیا (Crab et al., 2007)، میگو (Asaduzzaman et al., 2008)، تیلاپیا و میگو (Asaduzzaman et al., 2009) و تیلاپیا و گربه ماهی (Brune et al., 2003) و کپور معمولی (Azimi et al., 2017; Bakhshi et al., 2018; Khademi Hamidi et al., 2019; Karimtabar et al., 2019; Torfi et al., 2022) مورد استفاده قرار گرفته است. اما یکی از مهم‌ترین مشکلات این سیستم‌ها، ناپایدار بودن حذف ترکیبات سمی نیتروژن و همچنین کنترل فلاک‌ها و مواد جامد اضافی می‌باشد. به‌همین دلیل، نوآوری‌های دیگری در این سیستم‌ها به وجود آمد و با ادغام سیستم‌های چرخشی با بایوفلاک، سیستم‌هایی توسعه پیدا کرد که در آنها واحدهای پرورش آبی از واحدهای بایوفلاک مجزا هستند (Avnimelech and Teubal, 2006; De Schryver and Verstraete, 2009; Luo et al., 2013). در این راستا به منظور استفاده از مزایای هر دو سیستم و حذف معایب آنها، در این

مطالعه، سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک باهم تلفیق و یک سیستم ترکیبی طراحی شد که در آن بیوفیلتر حذف و بایوفلاک در بیرون از مخزن پرورش تولید گردید.

## ۲. مواد و روش کار

برای اجرای این پژوهش، نه سیستم پرورشی طراحی شد و در قالب سه تیمار ۱- سیستم چرخشی، ۲- سیستم بایوفلاک-چرخشی و ۳- سیستم بایوفلاک به اجرا درآمد. همه سیستم‌ها، یک مخزن پرورش ماهی ۲۵۰ لیتری داشتند. هر سیستم چرخشی دارای یک مخزن رسوب‌گیر، یک پمپ ایرلیفت و یک مخزن بیوفیلتر پوکه معدنی بود. در این سیستم تعویض آب تا زمان فعال‌سازی بیوفیلترها حدود ۵۰ درصد حجم آب در هر هفته بود که بعد از فعال‌سازی بیوفیلترها، به ۲۰ درصد در هر دو هفته کاهش یافت. در سیستم بایوفلاک، هوادهی توسط لوله سوراخ‌دار در کف انجام شد. در این سیستم به‌منظور تشکیل و فعال‌سازی فلاک‌ها در دو هفته ابتدایی تعویض آب انجام نشد و بعد از آن با توجه به وضعیت فلاک‌ها، حجم فلاک‌ها و وضعیت اکسیژنی سیستم، تعویض آب به صورت هفتگی (معمولاً ۵۰ درصد) انجام شد. هر سیستم بایوفلاک-چرخشی دارای یک مخزن تولید بایوفلاک، یک پمپ ایرلیفت و یک مخزن رسوب‌گیر بود. در این سیستم آب خروجی مخزن پرورش ماهی به‌همراه فضولات ماهی وارد مخزن تولید بایوفلاک می‌شد و در آنجا به‌منظور کمک به تشکیل فلاک، به‌شدت هوادهی گردید. در این سیستم به‌منظور تشکیل و فعال‌سازی فلاک‌ها، در دو هفته ابتدایی تعویض آب انجام نشد و بعد از آن با توجه به وضعیت فلاک‌ها، حجم فلاک‌ها و وضعیت اکسیژنی سیستم، تعویض آب با فاصله دو هفته صورت گرفت.

پس از آماده‌سازی سیستم‌های موردنظر، ماهیان جوان کپور معمولی با تراکم ۶/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در هر مخزن پرورش ذخیره‌سازی گردید و به مدت سه ماه در شرایط تیمارهای آزمایشی نگه‌داری شدند. برای غذاهای از غذای تجاری کپور معمولی استفاده شد و در تمام سیستم‌ها با نرخ یکسان و دو بار در شبانه روز غذا داده شد. در سیستم‌های بایوفلاک و ترکیبی برای تامین نسبت کربن به نیتروژن ۱۵:۱ از شکر به‌عنوان منبع کربن استفاده شد (Mugwanya et al., 2021).

فاکتورهای فیزیوکوشیمیایی مثل دما، pH، اکسیژن محلول و مواد جامد محلول به‌صورت روزانه با دستگاه مالتی‌متر قابل‌حمل (WTW, Multi 3630 IDS) اندازه‌گیری شد. آمونیاک و نیتريت تا ۳۰ روز اول، هر سه روز یک‌بار و بعد از آن، هر شش روز یک‌بار، همچنین نترات و قلیائیت هر شش روز یک‌بار به‌روش کیت‌سنجی با دستگاه فوتومتر (Hach DR 2800, Loveland, USA) اندازه‌گیری شد.

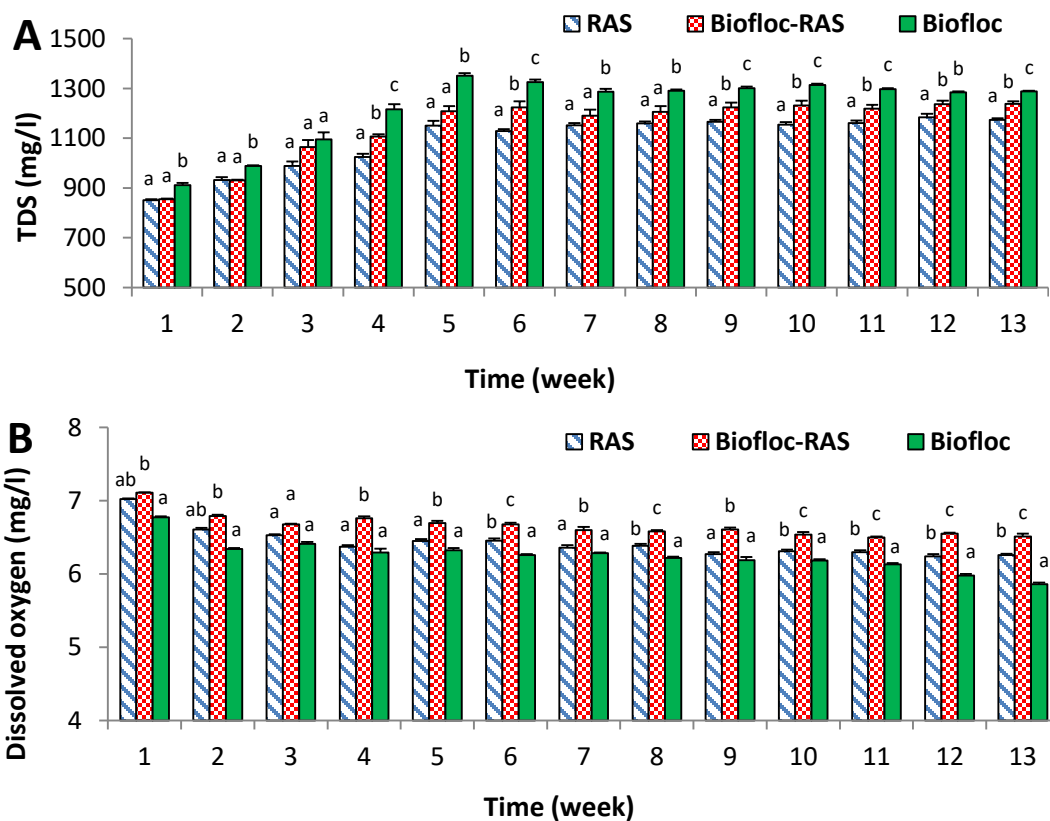
برای سازماندهی داده‌ها از برنامه Excel 2016 و برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از برنامه SPSS 22 استفاده شد. همگنی واریانس‌ها با آزمون لون و توزیع داده‌ها با تست شاپیرو-ویلک بررسی شد. برای مقایسه میانگین‌های تیمارهای مختلف از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف‌ها، برای تفکیک گروه‌ها از تست تعقیبی توکی استفاده شد. تمامی بررسی‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد و داده‌ها به صورت میانگین ± خطای استاندارد گزارش شدند.

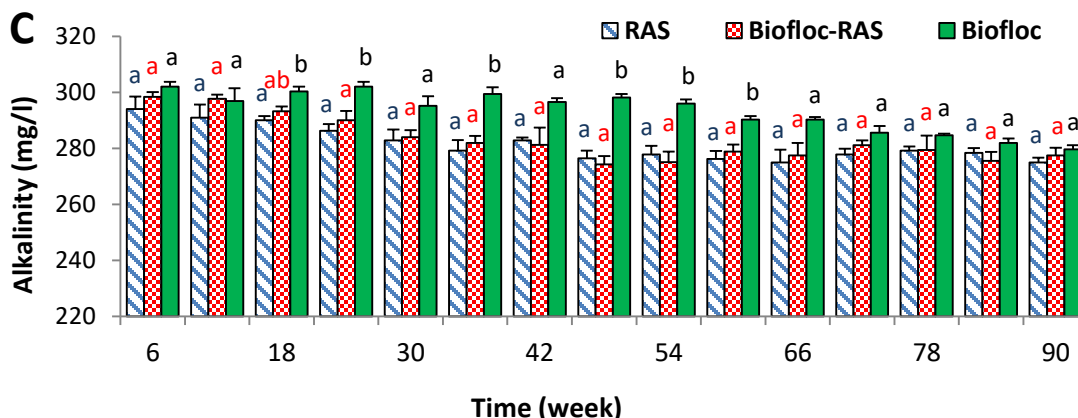
برای سازماندهی داده‌ها از برنامه Excel 2016 و برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از برنامه SPSS 22 استفاده شد. همگنی واریانس‌ها با آزمون لون و توزیع داده‌ها با تست شاپیرو-ویلک بررسی شد. برای مقایسه میانگین‌های تیمارهای مختلف از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف‌ها، برای تفکیک گروه‌ها از تست تعقیبی توکی استفاده شد. تمامی بررسی‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد و داده‌ها به صورت میانگین ± خطای استاندارد گزارش شدند.

### ۳. نتایج

میانگین درجه حرارت طی دوره پژوهش در تیمارهای چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک به ترتیب بین ۲۵/۵۵-۲۲/۱۹،

در کل دوره پژوهش مقادیر مواد جامد محلول در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر سیستم‌ها بود. از هفته نهم به بعد، مواد جامد محلول در سیستم بایوفلاک-چرخشی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سیستم چرخشی بود (شکل ۱- A).





شکل ۱- تغییرات مواد جامد محلول (A)، اکسیژن محلول (B) و قلیائیت (C) طی دوره پژوهش. مقادیر براساس میانگین، میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار و حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در زمان مورد نظر است ( $p < 0.05$ ).

Fig. 1- Dynamics of TDS (A), Dissolved oxygen (B), and Alkalinity (C) during the study period. Values are mean  $\pm$  SE. Different superscripts indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) at the same time.

با سایر تیمارها داشت. از روز ۱۵ تا ۲۷ به استثنای روز ۱۸، همه تیمارها باهم اختلاف معنی‌داری نشان دادند. از روز ۳۰ به بعد، مقادیر آمونیاک در سیستم بایوفلاک نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود، اما سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی اختلاف آماری باهم نداشتند (شکل ۲-۱).

به‌طور کلی، میانگین مقادیر آمونیاک در سیستم چرخشی (۰/۵۲ میلی‌گرم در لیتر) به‌طور معنی‌داری کم‌تر و در سیستم بایوفلاک (۱/۰۵ میلی‌گرم در لیتر) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر سیستم‌ها بود (جدول ۱).

مقادیر نیتريت در سیستم‌های چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک، به‌ترتیب در روزهای ۲۴ (۰/۶۶ میلی‌گرم در لیتر)، ۲۱ (۰/۸۵ میلی‌گرم در لیتر) و ۳۰ (۰/۸۶ میلی‌گرم در لیتر) به اوج رسید و بعد از آن روند کاهشی داشت. شیب کاهش نیتريت نیز همانند آمونیاک، در سیستم چرخشی تندتر از سایر سیستم‌ها بود. به‌طوری‌که سیستم چرخشی در روز ۳۶ به وضعیت یکنواخت رسید. در صورتی‌که این پدیده در سیستم بایوفلاک-چرخشی در روز ۴۲ و در سیستم بایوفلاک در روز ۶۰ رخ داد. تیمارهای آزمایشی در ۱۲ روز اول از نظر نیتريت اختلاف آماری نشان ندادند. در روزهای ۱۵ تا ۲۴ نیتريت در سیستم بایوفلاک-چرخشی بیش‌تر از سایر تیمارها بود. در روز ۲۷ مقدار آن در سیستم چرخشی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سایر تیمارها بود. در روزهای ۳۰ تا ۳۶ همه تیمارها باهم اختلاف معنی‌داری نشان دادند. از روز ۳۰ به بعد، مقادیر نیتريت در سیستم بایوفلاک نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود، اما

میانگین اکسیژن محلول طی دوره پژوهش در تیمارهای چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک به ترتیب بین ۶/۲۴، ۵/۱۱-۶/۷۷ و ۵/۸۶-۶/۷۷ میلی‌گرم در لیتر بود. در کل دوره پژوهش، مقادیر اکسیژن محلول در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سیستم بایوفلاک-چرخشی بود. طی نه هفته نخست، به استثنای هفته ششم و هشتم، بین سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱-۲). میانگین قلیائیت طی دوره پژوهش در تیمارهای چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک به ترتیب بین ۲۹۴/۱۳-۲۷۵/۰۴، ۲۹۸/۴۳-۲۷۴/۲۸ و ۲۷۹/۶۷-۳۰۲/۱۳ میلی‌گرم در لیتر بود. در همه سیستم‌ها، مقادیر قلیائیت روند کاهشی داشت. مقادیر آن طی دو ماه اول، در سیستم بایوفلاک اکثراً بیش‌تر از سایر سیستم‌ها بود. اما از روز ۶۶ به بعد، اختلاف معنی‌داری بین سیستم‌ها مشاهده نشد (شکل ۱-۳).

مقادیر آمونیاک در سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی، به‌ترتیب ۱/۸۳ و ۲/۲۹ میلی‌گرم در لیتر، در روز ۱۵ به اوج رسید و بعد از آن روند کاهشی داشت. در سیستم بایوفلاک، مقادیر آمونیاک سه روز زودتر به اوج رسید (۲/۲۱ میلی‌گرم در لیتر)، اما شیب کاهش آن بسیار کندتر از سیستم‌های دیگر بود. سیستم‌های چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک به ترتیب در روزهای ۲۴، ۳۰ و ۳۶ به وضعیت یکنواخت رسیدند.

تیمارهای آزمایشی در نه روز اول از نظر آمونیاک اختلاف آماری نشان ندادند. در روز ۱۲ سیستم بایوفلاک اختلاف معنی‌داری

بایوفلاک به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود. سیستم‌های چرخشی و چرخشی-بایوفلاک به استثنای روز ۴۲، از نظر نیترات اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند (شکل ۲-۲).  
 به‌طور کلی، میانگین مقادیر نیترات در سیستم بایوفلاک (۸/۳۸ میلی‌گرم در لیتر) به‌طور معنی‌داری کمتر از سیستم‌های چرخشی (۱۲/۲۸ میلی‌گرم در لیتر) و بایوفلاک-چرخشی (۱۱/۹۴ میلی‌گرم در لیتر) بود (جدول ۱).

سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی اختلاف آماری نداشتند (شکل ۲-۲).

به‌طور کلی، میانگین مقادیر نیتريت در سیستم چرخشی (۰/۲۱ میلی‌گرم در لیتر) به‌طور معنی‌داری کمتر از سیستم‌های بایوفلاک-چرخشی (۰/۲۹ میلی‌گرم در لیتر) و بایوفلاک (۰/۳۹ میلی‌گرم در لیتر) بود (جدول ۱).

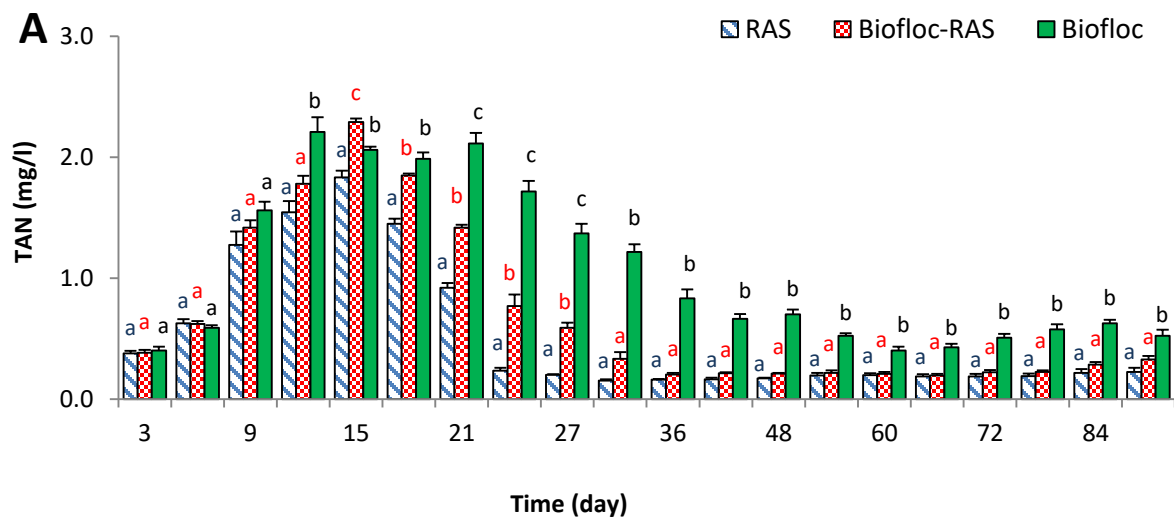
مقادیر نیترات در تمام تیمارهای آزمایشی طی دوره پژوهش با نوسانات اندک، روند افزایشی داشت. سیستم‌ها فقط در روز ششم باهم اختلاف معنی‌دار نداشتند و بعد از آن، مقادیر نیترات در سیستم

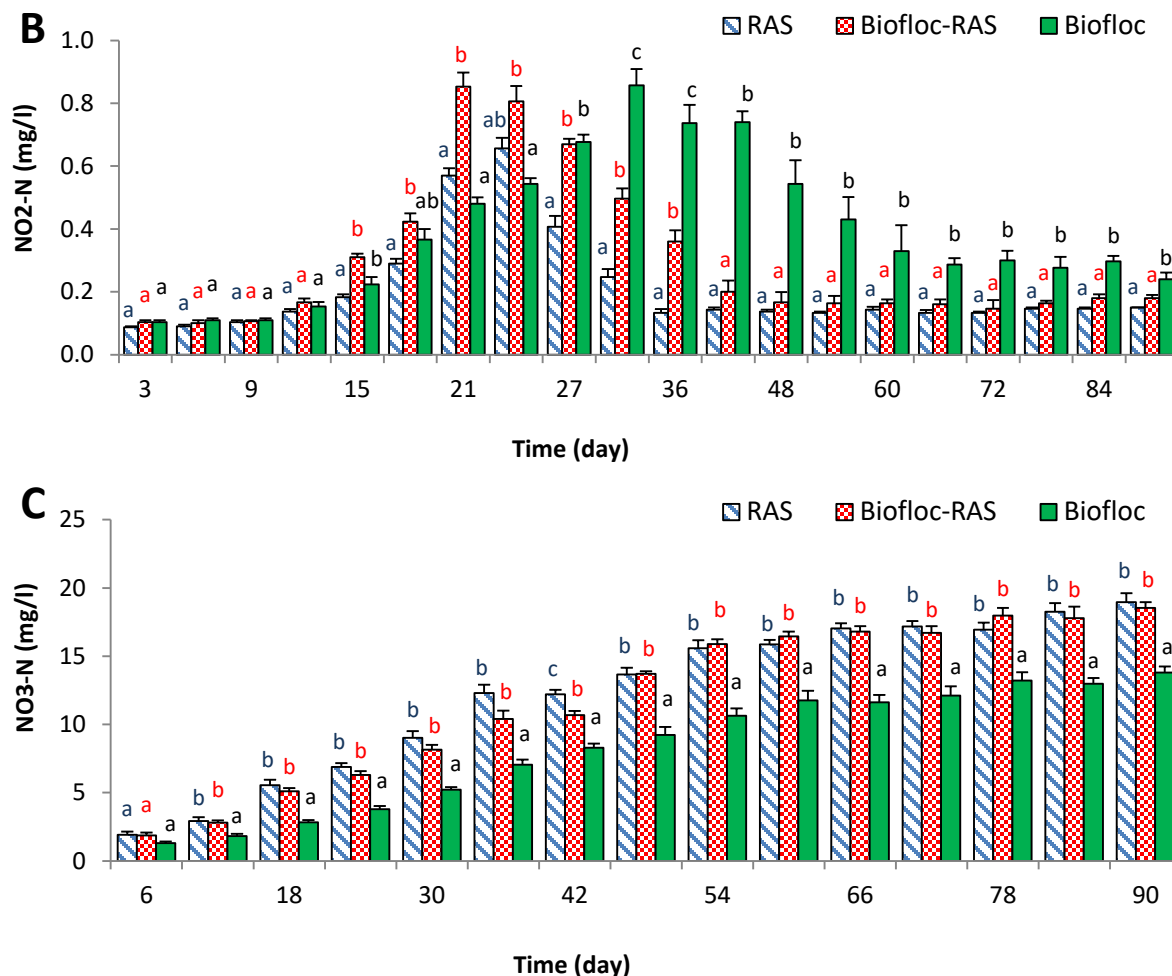
جدول ۱: میانگین نیتروژن آمونیاکی کل (TAN)، نیتريت و نیترات در کل دوره پژوهش \*

Table 1: Mean values of TAN, nitrite, and nitrate in the study period

System	RAS	Biofloc-RAS	Biofloc
TAN (mg/l)	0.52±0.027 <sup>a</sup>	0.69±0.007 <sup>b</sup>	1.05±0.032 <sup>c</sup>
NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	0.21±0.006 <sup>a</sup>	0.29±0.003 <sup>b</sup>	0.39±0.024 <sup>b</sup>
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	12.28±0.28 <sup>b</sup>	11.94±0.23 <sup>b</sup>	8.38±0.27 <sup>a</sup>

\* Values are mean ± SE. Different superscripts indicate significant differences among the treatments (p<0.05).





شکل ۲- تغییرات نیتروژن آمونیاکی کل (A)، نیتروژن نیتريت (B) و نیتروژن نیترات (C) طی دوره پژوهش. مقادیر براساس میانگین، میله‌ها نشانه خطای معیار و حروف متفاوت نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در زمان موردنظر است ( $p < 0.05$ ).

Fig. 2- Dynamics of TAN (A), nitrite (B), and nitrate (C) during the study period. Values are mean  $\pm$  SE. Different superscripts indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) at the same time.

جدول ۲- میانگین وزن، افزایش وزن، تولید، ضریب تبدیل غذایی (FCR) و رشد ویژه (SGR) کیپور معمولی در سیستم‌های مختلف

Table 2- Mean weight, Weight gain, Production, Food conversion rate (FCR), and specific growth rate (SGR) of Common carp in different culture systems.

System	RAS	Biofloc-RAS	Biofloc
Mean weight	197.37 $\pm$ 0.82 <sup>b</sup>	200.06 $\pm$ 0.80 <sup>b</sup>	163.65 $\pm$ 1.83 <sup>a</sup>
Weight gain (g)	126.02 $\pm$ 1.28 <sup>b</sup>	129.06 $\pm$ 0.79 <sup>b</sup>	93.03 $\pm$ 2.44 <sup>a</sup>
Production (kg/m <sup>3</sup> )	16.97 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	17.60 $\pm$ 0.38 <sup>b</sup>	13.75 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>
FCR	1.59 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	1.55 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	1.96 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>
SGR (%/day)	1.13 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	1.15 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.93 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>

• Values are mean  $\pm$  SE. Different superscripts indicate significant differences among the systems ( $p < 0.05$ ).

مقدار  $4/20$  و  $5/10$  میلی‌گرم در لیتر در روز ۱۳ بوده است. در مطالعه حاضر، بیش‌ترین مقدار آمونیاک در سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی به ترتیب  $1/83$  و  $2/29$  میلی‌گرم در لیتر در روز ۱۵ ثبت شد. حداکثر مقادیر این سیستم‌ها با نتایج Wolters et al. (2009) منطبق بود اما نسبت به سایر مطالعات پایین‌تر بوده است. شیب کاهش آمونیاک در سیستم چرخشی تندتر از سیستم بایوفلاک-چرخشی بود. در سیستم بایوفلاک، مقادیر آمونیاک سه روز زودتر به اوج رسید ( $2/21$  میلی‌گرم در لیتر)، اما شیب کاهش آن بسیار کندتر از سیستم‌های دیگر بود.

مقادیر نیتريت در سیستم‌های چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک، به ترتیب در روزهای  $24$  ( $0/66$  میلی‌گرم در لیتر)،  $21$  ( $0/85$  میلی‌گرم در لیتر) و  $30$  ( $0/86$  میلی‌گرم در لیتر) به اوج رسید. شیب کاهش نیتريت نیز همانند آمونیاک، در سیستم چرخشی تندتر از سایر سیستم‌ها بود. Irani et al. (2016) گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار نیتريت،  $3/57$ ،  $3/75$  و  $3/50$  میلی‌گرم در لیتر به ترتیب برای بیوفیلترهای کاه جو، پوشال چوب، اسفنج و پی‌وی‌سی در روز ۱۹ اتفاق افتاد و بعد از آن، روند کاهشی داشته است. در تحقیق Wolters et al. (2009) حداکثر آن نزدیک به  $3$  میلی‌گرم در لیتر در روز ۷۱ بود. Carroza et al. (2012) حداکثر غلظت نیتريت را  $3/5$  و  $4$  میلی‌گرم در لیتر در روزهای  $33$  و  $23$  به ترتیب در دماهای  $15/64$  و  $18/71$  درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. بنابراین دما می‌تواند نقش بسیار مهمی در روند سازگاری بیوفیلترها داشته باشد و یکی از دلایل اصلی اختلاف در روند و زمان افزایش و کاهش مقادیر آمونیاک و نیتريت در تحقیقات مختلف بوده است. نیتريت سومین ترکیب نیتروژنی است که در جریان فعال سازی بیوفیلتر ایفای نقش می‌کند. نیتريت در نتیجه اکسیداسیون نیتريت توسط باکتری‌های اکسیدکننده نیتريت تولید می‌شود. بر اساس گزارش برخی محققان، مقدار نیتريت به دنبال استقرار باکتری‌های نیتريفایر به طور مداوم در طول زمان افزایش می‌یابد (Timmons et al., 2001). مشابه یافته‌های محققین فوق، در تحقیق حاضر نیز، غلظت‌های نیتريت طی دوره پژوهش روند افزایشی داشت. برخلاف نتایج فوق، برخی محققین وجود نوسانات متعدد در غلظت‌های نیتريت را گزارش کرده‌اند (Wolters et al., 2009; Carroza et al., 2012). نوسانات مقادیر نیتريت در تحقیقات فوق، احتمالاً مربوط به تعویض آب و ورود آب تازه به سیستم باشد (Timmons et al., 2001).

محققان عقیده دارند که یک سیستم تصفیه زیستی، زمانی برای استفاده در سیستم‌های چرخشی پرورش ماهی آماده است که به وضعیت یکنواخت رسیده باشد (DeLong and Losordo, 2012) و وضعیت یکنواخت، شرایطی است که در آن، مقادیر آمونیاک و نیتريت در آب خروجی نسبتاً ثابت و نمودار زمانی آن تقریباً به صورت خط راست افقی باشد (Colt et al., 2006). به‌طور کلی در پژوهش حاضر، از نظر

از نظر میانگین وزن، افزایش وزن، تولید در واحد حجم، ضریب تبدیل غذایی و رشد ویژه در  $30-45$  روز نخست بین سیستم‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما بعد از آن تا انتهای دوره پژوهش، شاخص‌های اشاره‌شده در ماهیان سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری ضعیف‌تر از ماهیان سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی بود. اما بین سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی اختلاف آماری مشاهده نشد (جدول ۲). در سیستم‌های چرخشی، بایوفلاک-چرخشی و بایوفلاک میانگین وزن نهایی به ترتیب  $197/37$ ،  $200/06$  و  $163/65$  گرم، میانگین افزایش وزن به ترتیب  $126/02$ ،  $129/06$  و  $93/03$  گرم، تولید در واحد حجم به ترتیب  $16/97$ ،  $17/60$  و  $13/75$  کیلوگرم بر مترمکعب، ضریب تبدیل غذایی به ترتیب  $1/59$ ،  $1/55$  و  $1/96$  و مقادیر رشد ویژه به ترتیب  $1/13$ ،  $1/15$  و  $0/93$  درصد در روز بود.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در همه سیستم‌ها مقادیر آمونیاک، ابتدا افزایش یافت، به اوج رسید و سپس کاهش یافت. همزمان با کاهش آمونیاک، مقادیر نیتريت افزایش یافت و پس از زمان مشخصی کاهش یافت. مقادیر نیتريت تا انتهای دوره پژوهش، روند افزایشی داشت. این تغییرات آمونیاک، نیتريت و نیتريت نشان‌دهنده فعالیت نیتريفیکاسیون می‌باشد که توسط دو گروه از باکتری‌های نیتريفایر انجام می‌گردد (Michaud, et al., 2006). گروه اول باکتری‌های نیتريفایر، آمونیاک را به نیتريت و گروه دوم، نیتريت را به نیتريت تبدیل کرده‌اند. نیتريت محصول نهایی فرآیند نیتريفیکاسیون است و در دامنه غلظت‌هایی که معمولاً در سیستم‌های آبی‌پروری وجود دارد برای آبیان پرورشی سمی نیست (DeLong and Losordo, 2012). روند تغییرات ترکیبات معدنی نیتروژن در بیش‌تر سیستم‌های دارای تصفیه زیستی تقریباً مشابه است، اما مقادیر و زمان‌ها با توجه به نوع طراحی سیستم‌ها و شرایط پرورش متفاوت است. Timmons et al. (2006) حداکثر آمونیاک نزدیک به  $4$  میلی‌گرم در لیتر را در روز ۱۴ گزارش کرده‌اند. Wolters et al. (2009) حداکثر آن را به مقدار  $2/3$  میلی‌گرم در لیتر در روز ۲۹ گزارش کرده‌اند. در بررسی دوره فعال سازی بیوفیلترها در دو دمای  $18/71$  و  $15/64$  درجه سانتی‌گراد مشخص شده که حداکثر آمونیاک در آنها به ترتیب به مقدار  $4$  میلی‌گرم در روز  $23$  و به مقدار  $2/5$  میلی‌گرم در روز ۱۷ بوده است (Carroza et al., 2012). در مطالعه Irani et al. (2016)، حداکثر آمونیاک در بیوفیلترهای اسفنجی و پی‌وی‌سی به ترتیب به مقدار  $4/50$  و  $5/02$  میلی‌گرم در لیتر در روز ۹ و در بیوفیلترهای کاه جو و پوشال چوب به ترتیب به

بایوفلاک سریع‌تر از سیستم مداربسته بود و پس از به اوج رسیدن، کاهش یافته است که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

از نظر تولید در واحد حجم، میانگین وزن، افزایش وزن و رشد ویژه در اوایل دوره پژوهش (۳۰ تا ۴۵ روز) بین سیستم‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما بعد از آن تا انتهای دوره پژوهش، این شاخص‌ها در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سایر سیستم‌ها بود. ضریب تبدیل غذایی در همه سیستم‌های مطالعه حاضر در دو هفته نخست نسبتاً بالا (بیش‌تر از ۲) بود. این پدیده احتمالاً به خاطر تلاش ماهیان برای سازگار شدن با شرایط جدید و دوره فعال سازی بیوفیلترها و سیستم بایوفلاک بوده است. به‌طور کلی، ضریب تبدیل غذایی در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سیستم‌های چرخشی و چرخشی-بایوفلاک بود. Torfi et al. (2022) نشان دادند که در تراکم‌های پائین (۲/۱ و ۴/۲ کیلوگرم بر مترمکعب) شاخص‌های رشد کپور معمولی در سیستم بایوفلاک اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد نداشت، اما در تراکم‌های بالاتر، همانند مطالعه حاضر، شاخص‌های رشد و تغذیه ماهیان در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری با افت مواجه شده است. مطالعه Tabarrok et al. (2021)، روی شاخص‌های رشد و تغذیه کپور معمولی در سیستم بایوفلاک و مداربسته نشان داده است که شاخص‌های رشد و تغذیه در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سیستم مداربسته و شاهد بوده که نسبت به نتایج مطالعه حاضر مغایرت داشته است. مشابه آن در مطالعه Hisano et al. (2021) نیز مقادیر افزایش وزن، ضریب تبدیل غذایی و بازده پروتئین بچه ماهیان تیلایا در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری بهتر از سیستم چرخشی بوده است.

از آنجاکه مقادیر درجه حرارت، pH و قلیائیت طی دوره پژوهش در محدوده مناسب برای ماهیان گرم‌آبی بود، اختلاف شاخص‌های رشد و تغذیه در سیستم‌ها احتمالاً به سایر شاخص‌های کیفی آب یعنی اکسیژن محلول، آمونیاک و نیتريت مربوط بوده است. چراکه مقادیر اکسیژن محلول در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سیستم چرخشی-بایوفلاک بود. مقادیر آمونیاک و نیتريت در سیستم چرخشی به‌طور معنی‌داری کم‌تر و در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر سیستم‌ها بود. بنابراین پائین بودن مقادیر اکسیژن و بالا بودن مقادیر آمونیاک و نیتريت احتمالاً مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در شاخص‌های رشد و تغذیه ماهیان در سیستم بایوفلاک بوده است. در مقابل، عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین سیستم‌های چرخشی و چرخشی-بایوفلاک از نظر شاخص‌های اشاره‌شده، نشان دهنده شرایط مناسب سیستم ترکیبی چرخشی-بایوفلاک طراحی شده برای پرورش کپور معمولی می‌باشد.

به‌طور کلی تغییرات ترکیبات معدنی نیتروژن در همه سیستم‌های طراحی شده از الگوی استاندارد سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک پیروزی نمود، یعنی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. اما با توجه به قابلیت

آمونیاک سیستم چرخشی در روز ۲۴، سیستم بایوفلاک-چرخشی در روز ۳۰ و سیستم بایوفلاک در روز ۳۶ به وضعیت یکنواخت رسیدند. از نظر نیتريت، سیستم چرخشی در روز ۳۶ به وضعیت یکنواخت رسید. در صورتی‌که این پدیده در سیستم بایوفلاک-چرخشی در روز ۴۲ و در سیستم بایوفلاک در روز ۶۰ رخ داد. عواملی از قبیل مقادیر ورودی آمونیاک، درجه حرارت، pH و ورودی آمونیاک نقش مهمی در زمان رسیدن به وضعیت یکنواخت ایفا می‌کنند و براساس آن، معمولاً برای آمونیاک یک دوره ۲۰-۴۰ روزه (Lekang, 2007) و برای نیتريت یک دوره زمانی ۱-۳ ماه را در نظر گرفته‌اند (Huguenin and Colt, 2011). Timmons et al. (2001) در مطالعه خود در روز ۳۹ به وضعیت یکنواخت دست یافتند. Carroza et al. (2012) گزارش کردند که در دمای ۱۵/۶۴ درجه سانتی‌گراد، بیوفیلترها در روزهای ۳۷-۳۸ و در دمای ۱۸/۷۱ درجه سانتی‌گراد در روزهای ۲۷-۲۹ به وضعیت یکنواخت رسیدند. همچنین Irani et al. (2016)، در دمای حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد، از نظر آمونیاک در روز ۱۹ و از نظر نیتريت، در روز ۲۸ به وضعیت یکنواخت دست یافتند.

Fleckenstein et al. (2018) برای تعیین بهترین سیستم پرورش بچه‌ماهیان تیلایا (*Oreochromis niloticus*)، سیستم‌های بایوفلاک، چرخشی و ترکیبی را بدون اضافه کردن منبع کربن بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که برخلاف مطالعه حاضر، از نظر آمونیاک بین سیستم‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در مطالعه آنها نیتريت در سیستم بایوفلاک به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. در مطالعه آنها نیز همانند پژوهش حاضر مقادیر نیتريت روند افزایشی داشت. این محققان، بالا بودن مقادیر نیتريت در همه تیمارها را نشان‌دهنده استقرار باکتری‌های کمواتوتروف نیتريفایر به جای باکتری‌های هتروتروف عنوان کرده‌اند. عملکرد سیستم تصفیه زیستی در مطالعه Xu et al. (2020) از نظر حذف آمونیاک همانند نتایج مطالعه حاضر، شامل سه مرحله سازگاری، گذار و ثبات بود؛ در مطالعه آنها زمان وقوع هر سه مرحله سازگاری (افزایش غلظت آمونیاک در سیستم از روز اول تا چهاردهم)، گذار (کاهش تدریجی غلظت آمونیاک از روز پانزدهم تا سی‌وپنجم) و ثبات (حفظ غلظت پائین و نسبتاً یکنواخت آمونیاک بعد از روز سی‌وپنجم) با اختلاف کم تقریباً مشابه تحقیق حاضر بود. در مطالعه فوق بیش‌ترین مقدار آمونیاک (۱/۸۱ میلی‌گرم در لیتر) و نیتريت (۲/۴۱ میلی‌گرم در لیتر) به‌ترتیب در روز ۱۴ و ۲۱ ثبت شد و نیتريت روند افزایشی داشت. در مطالعه Tabarrok et al. (2021)، افزایش آمونیاک در سیستم

سیستم بایوفلاک-چرخشی به دلیل عدم نیاز به سیستم بیوفیلتر می‌تواند از نظر اقتصادی به صرفه‌تر و مدیریت آن راحت‌تر باشد.

### تشکر و قدردانی

از پرسنل پژوهشکده آرمیا و آبی‌پروری دانشگاه ارومیه به‌ویژه آقای سعید حاجی نژاد که در اجرای این پژوهش یاری رساندند سپاسگزاری می‌گردد.

کارایی سیستم‌ها، زمان‌ها و مقادیر متفاوت بودند. برخلاف انتظار، سیستم بایوفلاک نسبت به سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی در حذف آمونیاک و نیتريت قابلیت کم‌تری نشان داد. از نظر آمونیاک سیستم چرخشی و از نظر نیتريت سیستم بایوفلاک-چرخشی زودتر از سایر سیستم‌ها دوره سازگاری و فعال‌سازی را سپری کردند. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سیستم‌های چرخشی و بایوفلاک-چرخشی نسبت به سیستم بایوفلاک در شرایط تعویض آب ناچیز عملکرد بهتری نشان دادند. از طرف دیگر،

### References:

- Asaduzzaman, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., Huque, S., Salam, M.A. and Azim, M.E. 2008. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture*, 280(1), pp. 117–123. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.04.019.
- Asaduzzaman, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., Benerjee, S., Akter, T., Hasan, M.M. and Azim, M.E. 2009. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. *Aquaculture*, 287(3), pp. 371–380. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.11.011.
- Avnimelech, Y. 2006. Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, 34(3), pp. 172–178. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.04.0.
- Avnimelech, G. and Teubal, M. 2006. Creating venture capital industries that co-evolve with high tech: Insights from an extended industry life cycle perspective of the Israeli experience. *Research Policy*, 35(10), pp. 1477–1498. doi: 10.1016/j.respol.2006.09.017.
- Azimi, A., Jafaryan, H., Harsij, M., Gholipour, H. and Patimar, R. 2017. Effect of C/N different ratios on water quality parameters and growth performance of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings in biofloc system. *Journal of Aquaculture Development*, 10 (4), pp. 75-89. doi: 20.1001.1.23223545.1395.10.4.10.6. (In Persian).
- Bakhshi, F., Rahmani Farah, K., Najdegerami, E.H., Manaffar, R. and Tukmachi, A. 2018. Chemical and quality indices of common carp meat reared in the biofloc system during the refrigerated storage time. *Journal of Fisheries Science and Technology*, 7(1), pp. 41-48. doi: 20.1001.1.23225513.1396.7.1.9.4. (In Persian).
- Brune, D., Schwartz, G., Eversole, A., Collier, J. and Schwedler, T. 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering*, 28(1): 65–86. doi: 10.1016/S0144-8609(03)00025-6.
- Carroza, C., Hurtado, F. and Gutierrez, X. 2012. Nitrogenated compounds' biofiltration under alternative bacterium fixation substrates. *Latin America Journal of Aquaculture Research*, 40(3): 772-785. doi: 103856/vol40-issue3-fulltext-24.
- Colt, J., Lamoureux, J., Patterson, R. and Rogers, G. 2006. Reporting standards for biofilter performance studies. *Aquacultural Engineering*, 34(3), pp. 377-388. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.09.002.
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. and Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for sustainable production. *Aquaculture*, 270(1), pp. 1–14. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.05.006.
- DeLong, D.P. and Losordo, T.M., 2012. How to Start a Biofilter. *SRAC Publication*.
- De Schryver, P. and Verstraete, W. 2009. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. *Bioresource Technology*, 100(3), pp. 1162–1167. doi: 10.1016/j.biortech.2008.08.043.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B. and Bisogni, J.J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1), pp. 346–358. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.03.019.
- Fleckenstein, L.J., Tierney, T.W. and Ray, A.J. 2018. Comparing biofloc, clear-water, and hybrid recirculating nursery systems (Part II):

- Tilapia (*Oreochromis niloticus*) production and water quality dynamics. *Aquacultural Engineering*, 82, pp. 80-85. doi: 10.1016/j.aquaeng.2018.06.006.
- Hisano, H., Barbosa, P.T.L., Hayd, L.A. and Mattioli, C.C. 2021. Comparative study of growth, feed efficiency, and hematological profile of Nile tilapia fingerlings in biofloc technology and recirculating aquaculture system. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 60. doi: 10.1007/s11250-020-02523-z.
- Huguenin, J.E. and Colt, J. 2011. Design and operating guide for aquaculture sea water systems, Second edition. Elsevier Science.
- Irani, A., Agh, N., 2019. Design and Management Principles of Recirculating Aquaculture Systems. Urmia University. (In Persian).
- Irani, A., Hajimoradlo, A., Agh, N., Ghorbani, R. 2016. Application and activation of four types of biofilter media in common carp recirculating aquaculture system. *Journal of Aquaculture Development* 10(3), pp. 13-25. doi: 20.1001.1.23223545.1395.10.3.3.7. (In Persian).
- Karimtabar, F.Z., Jafaryan, H. and Adineh, H. 2019. The effect of commercial probiotics addition in biofloc system: Water quality, feed and growth performance and body composition of Common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Aquaculture Sciences*, 7(13), pp. 141-151. (In Persian).
- Khademi Hamidi, M., Adineh, H., Harsij, M. and Gholipour Kanani, H. 2019. Effects of adding molasses in water and diet of common carp on growth, blood biochemical indices, digestive enzymes and water quality in a biofloc system. *Journal of Aquatic Animals Nutrition*, 5(1), pp. 25-34. doi: 10.22124/janb.2019.13636.1063. (In Persian).
- Lekang, O., 2007. Aquaculture engineering. Blackwell Publishing, Oxford.
- Luo, G.Z., Avnimelech, Y., Pan, Y.F. and Tan, H.X. 2013. Inorganic nitrogen dynamics in sequencing batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge. *Aquacultural Engineering*, 52, pp. 73-79. doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.09.003.
- Michaud, L., Blancheton, J. P., Bruni, V. and Piedrahita, R., 2006. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquaculture Engineering*, 34(3), pp. 224-233. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.07.005.
- Mugwanya, M., Dawood, M.A.O., Kimera, F. and Sewilam, H. 2021. Biofloc Systems for Sustainable Production of Economically Important Aquatic Species: A Review. *Sustainability*, 13, pp. 7255. doi: 10.3390/su13137255.
- Tabarrok, M., Seyfabadi, S.J., Salehi Jouzani, G. and Younesi, H. 2021. Comparison of biofloc and recirculation aquaculture systems on growth performance, nonspecific immunity and body composition of common carp. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 30(5), pp. 59-68. doi: 20.1001.1.10261354.1400.30.5.5.8. (In Persian).
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T. and Vinci, B. J. 2001. Recirculating Aquaculture Systems. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca.
- Timmons, M. B., Holder, J. L. and Ebeling, J. M. 2006. Application of microbead biological filters. *Aquacultural Engineering*, 34(3), pp. 332-343. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.07.003.
- Torfi, M., Rajabzadeh Ghatrami, E., Mohammadiazarm, H. 2022. Effect of biofloc system on growth indices, body composition and digestive enzymes of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*) in different stocking rates. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 31(1), pp. 35-46. doi: 10.22092/isfj.2022.126571. (In Persian).
- Wolters, W., Masters, A., Vinci, B. and Summerfelt, S. 2009. Design, loading, and water quality in recirculating systems for Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the USDA ARS National Cold Water Marine Aquaculture Center (Franklin, Maine). *Aquacultural Engineering*, 41(2), pp. 60-70. doi: 10.1016/j.aquaeng.2009.06.011.
- Xu, W., Xu, Y., Su, H., Hu, X., Yang, K., Guoliang Wen, G. and Cao, Y. 2020. Characteristics of ammonia removal and nitrifying microbial communities in a hybrid biofloc-RAS for intensive *litopenaeus vannamei* culture: a pilot-scale study. *Water*, 12(11), 3000, pp. 1-17. doi: 10.3390/w12113000.