(DOI): 10.22092/ISFJ.2026.135183 34(6) 73-84 Iranian Scientific Fisheries Journal

Comparison of the effects of organic and inorganic selenium resources on growth performance, carcass composition, and resistance to salinity stress, aeration interruption, and sudden increase in population density in common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758)

Alamdari H.[1*]; Bahreinipour N.[1]

* alamdari@bkatu.ac.ir; alamdari671@yahoo.com

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Received: August 2025 Accepted: November 2025 Published: March 2026

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Aquaculture makes a significant contribution to food production for the world population, plays a decisive role in international trade, and offers potential solutions to food security challenges (Mihaly-Karnai *et al*., 2025). Due to overfishing and in order to restore the stocks of common carp (*Cyprinus carpio*), responsible institutions are taking steps to artificially propagate this fish and release it into the wild. Unfortunately, in recent years, due to various reasons including reduced rainfall and excessive water withdrawal for agricultural purposes, it is not far-fetched that when releasing juvenile fish into the wild, they may encounter salinity stress (Roohi *et al*., 2017). Frequent power outages and subsequent aeration interruptions in recent years have caused oxygen deficiency stress, especially in intensive farming. With the continuous increase in the intensity of fish population density in advanced aquaculture, unfavorable conditions such as overpopulation stress, oxygen deficiency and poor nutrition have been created in the aquaculture process, and these will easily lead to oxidative stress. The damage of oxidative stress is very prominent in production and therefore it is necessary to solve the problem of stress in aquaculture animals (Li *et al*., 2023). Selenium (Se) improves the body's antioxidant capacity, prevents oxidative stress, enhances immunity and improves body health (Jingyuan *et al*., 2020; Wischhusen *et al*., 2020). Many studies have been conducted on the effects of selenium on various fish species, but few studies have been reported on common carp, *Cyprinus carpio*, (Mustafa and Omar, 2024) although common carp is one of the most important farmed fish species in the world (Adineh *et al*., 2018). Availa-Se is a zinc-L-selenomethionine complex and is used as a food additive to provide organic selenium in animal feed. Selstar is a type of organic selenium chelated with a mixture of amino acids for adding to the feed of various animals. Today, some researchers believe that the use of selenite in industry is questionable due to

the high toxicity of inorganic selenium, its pro-oxidant quality and its bioavailability (Moustafa *et al*., 2024). The aim of the present study was to determine the effect of sodium selenite on the common carp species in comparison with the two commercial organic selenium compounds mentioned above. For this purpose, growth performance, carcass composition and resistance to salinity stress and oxygen deficiency in common carp were investigated.

Methodology

The effects of six dietary treatment containing 0.3 mg Se from Availa-Se (Treatment 1), 1 mg Se from Availa-Se (Treatment 2), 0.3 mg Se from Selstar (Treatment 3), 0.3 mg Se from sodium selenite (Treatment 4), 1 mg Se from sodium selenite (Treatment 5) per kg of diet, and a control diet without Se supplementation (Treatment 6) were investigated in common carp for 52 days. Each dietary treatment was studied in 2 tanks (replicates) and each tank contained 31 fish with an initial weight of 1.62±0.33 g (mean ± SD) in a completely randomized design. Fish were fed three times a day ad-libitum. Temperature and dissolved oxygen were measured once a day and salinity and pH were recorded once a week in all tanks. The study of the response to salinity stress has been validated by various researchers to investigate the physiological status and health of fish (Jelkic *et al*., 2014; Roohi *et al*., 2017; Talebian Nik and Alamdari, 2020). In the present study, in addition to studying growth performance and carcass composition (AOAC, 2000), for the first time, a combination of salinity stress, oxygen deficiency, and a sudden increase in population density was used to investigate the level of fish resistance. Two tests were used to measure the resistance of fish to death: a) salinity stress with cessation of aeration and b) salinity stress with aeration. In the first test, 10 fish from each tank were suddenly transferred to a container containing 2 liters of water with a salinity of 18 g/L and without aeration. In the second test, 10 fish from each tank were suddenly placed to a container containing 14 liters of water with a salinity of 18 g/L and with aeration. Dead fish were removed and the number of deaths per minute was recorded for until 5 hours.

Results

The average values of temperature, dissolved oxygen, salinity and pH were 24.6-25.5 °C, 7.4-7.6 mg/L, 2.0-2.1 g/L and 7.6-7.9, respectively. As shown in Table 5, no significant differences were observed in terms of fish weight, standard length, and condition factor between different dietary treatments ($p>0.05$). Table 6 shows that Se supplements had no significant effect on the survival rate during the rearing period ($p>0.05$). The dry matter, crude protein and ash contents of carcass did not affect ($p>0.05$). Feeding with 0.3 mg Availa-Se or sodium selenite per kg diet significantly reduced the crude fat content in the carcass ($p<0.05$). Based on Table 7, no significant differences were observed in terms of survival time after exposure to salinity stress without aeration (higher-intensity stress) ($p>0.05$). After salinity stress with aeration (lower-intensity stress), the use of sodium selenite significantly increased survival time ($p<0.05$) and although the use of Availa-Se improved this index, it had no significant effect compared to the control ($p>0.05$), while the use of Selstar significantly reduced survival time ($p<0.05$).

Discussion and conclusion

The insignificant difference in the survival rate of the fish indicated that the living conditions were suitable for them (Hassan and Mohammad, 2023). There are conflicting reports on the effect of selenium supplementation on the growth and carcass analysis in different fish. It depends on many factors such as water quality, feed and genetic factors (Sumana *et al*., 2023). Selenium is absorbed more effectively in the presence of certain nutrient compounds and they affect the bioavailability of selenium (Mustafa and Omar, 2024). Selenium affects lipid, sugar and amino acid metabolism in aquatic animals (Li *et al*., 2023). In the present study, increasing the amount of selenium in the diet did not affect growth parameters and some biochemical carcass indices. Accordingly, higher doses of Se may be required to observe effects on growth parameters (Durigon *et al*., 2019) and carcass analysis. However, according to new standards, the amount of selenium supplementation in animal feed is limited (Sumana *et al*., 2023). Studies have shown that varying selenium doses and stress conditions even within the same fish species, affect the severity of stress responses (Mechlaoui *et al*., 2019). The present study showed that although fish fed a diet without selenium supplementation had good growth and a high survival rate during the rearing period compared to other fish, the amount of selenium in the control diet was not sufficient to protect the fish against stressful conditions. The level of resistance to salinity stress in common carp was higher when sodium selenite than organic selenium with the brand name Availa-Se or Selstar were consumed. In general, the use of Selstar organic selenium is not recommended and 0.3 mg/Kg selenium from sodium selenite is optimal dose in common carp diet.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgement

This research was conducted with the financial support of Darya Shilan Dez Company.

مجله علمی شیلات ایران ۳٤ (٦) ۷۳-۸٤ (DOI): 10.22092/ISFJ.2026.135183

مقاله علمی – پژوهشی:

مقایسه اثرات منابع سلنیوم آلی و معدنی بر عملکرد رشد، ترکیب لاشه و مقاومت به استرس شوری، قطع هوادهی و افزایش ناگهانی تراکم جمعیت در کپور معمولی (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758)

حجت‌اله علمداری *[۱]، نرگس بحرینی‌پور [۱]

*alamdari671@yahoo.com; alamdari@bkatu.ac.ir

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱٤۰٤ تاریخ پذیرش: آبان ۱٤۰٤ تاریخ چاپ: اسفند ۱٤۰٤

چکیده

سلنیوم (Se) به عنوان یک ریزمغذی حیاتی، در فرآیندهای متابولیک، سیستم ایمنی و تولیدمثل ماهیان مؤثر است. این مطالعه به منظور ارزیابی تأثیر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر رشد و مقاومت به استرس در ماهی کپور معمولی انجام شد. اثرات شش تیمار غذایی شامل: ۱- حاوی ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم اویلاسلنیوم در هر کیلوگرم غذا، ۲- حاوی ۱ میلی‌گرم سلنیوم اویلاسلنیوم در هر کیلوگرم غذا، ۳- حاوی ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم سل‌استار در هر کیلوگرم غذا، ۴- حاوی ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم سلنیت سدیم در هر کیلوگرم غذا، ۵- حاوی ۱ میلی‌گرم سلنیوم سلنیت سدیم در هر کیلوگرم غذا و ۶- شاهد فاقد مکمل سلنیومی بر گونه کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۲ تکرار برای هر تیمار و به مدت ۵۲ روز در مخازن ۲۵۰ لیتری با تراکم ۳۱ عدد ماهی در هر مخزن (میانگین وزن اولیه: ۰/۳۳±۱/۶۲ گرم) انجام شد. تفاوت معنی‌داری در وزن نهایی، طول استاندارد و ضریب چاقی بین تیمارها مشاهده نشد ($p>۰/۰۵$). سلنیوم اثر معنی‌داری بر نرخ زنده‌مانی طی دوره پرورش، درصد ماده خشک، پروتئین خام و خاکستر لاشه نداشت ($p>۰/۰۵$). تغذیه با اویلاسلنیوم یا سلنیت سدیم به میزان ۰/۳ میلی‌گرم در هر کیلوگرم غذا سبب کاهش معنی‌دار درصد چربی خام لاشه گردید ($p<۰/۰۵$). پس از استرس شوری و قطع هوادهی، تفاوت معنی‌داری در مدت زنده‌مانی مشاهده نشد ($p>۰/۰۵$). بعد از استرس شوری همراه با هوادهی، تیمار سلنیت سدیم به طور معنی‌داری مدت زنده ماندن را افزایش داد ($p<۰/۰۵$). استفاده از اویلاسلنیوم بهبودی نسبی در زنده‌مانی ایجاد کرد، اما در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$) درحالی‌که استفاده از سلنیوم سل‌استار موجب کاهش معنی‌دار مدت زنده ماندن گردید ($p<۰/۰۵$). در مجموع، بهترین نتیجه با مصرف سلنیت سدیم در سطح بهینه ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم در هر کیلوگرم جیره به‌دست آمد.

لغات کلیدی: استرس، اویلاسلنیوم، سل‌استار، سلنیت سدیم، ماهی

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

آبزی‌پروری مشارکت قابل ملاحظه‌ای در تولید غذای جهانی و تامین ارزاق میلیون‌ها نفر از جمعیت جهان، نقشی تعیین‌کننده در تجارت بین الملل دارد و راه‌حل‌های بالقوه‌ای برای چالش‌های امنیت غذایی ارائه می‌دهد (Mihaly-Karnai *et al*., 2025). به دلیل صید بی‌رویه و در عرصه بازسازی ذخایر ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، نهادهای مسئول اقدام به تکثیر مصنوعی این ماهی و رهاسازی آن در طبیعت می‌نمایند. متاسفانه در سالیان اخیر به دلایل گوناگون از جمله کاهش میزان بارندگی و برداشت بی‌رویه آب جهت امور کشاورزی، هنگام رهاسازی بچه‌ماهیان در طبیعت احتمال مواجهه آنها با استرس شوری دور از ذهن نیست (Roohi *et al*., 2017). قطع مکرر برق و در نتیجه آن قطع هوادهی در سالیان اخیر، سبب وارد آمدن تنش کمبود اکسیژن به‌خصوص در پرورش متراکم می‌گردد. با افزایش دائمی شدت تراکم پرورش در آبزی‌پروری پیشرفته، شرایط نامطلوبی نظیر استرس افزایش جمعیت، کمبود اکسیژن و تغذیه نامناسب در فرایند آبزی‌پروری ایجاد شده است و این موارد به آسانی منجر به استرس اکسیداتیو خواهند شد. آسیب استرس اکسیداتیو در تولید بسیار برجسته است. بنابراین، حل مشکل استرس در جانوران آبزی پرورشی ضروری به‌نظر می‌رسد (Li *et al*., 2023). عملکردهای بیولوژیک سلنیوم شامل افزایش رشد و تکامل جانوران، بهبود ظرفیت آنتی اکسیدانی بدن، پیشگیری از استرس اکسیداتیو، تقویت ایمنی و بهبود سلامت بدن است (Jingyuan *et al*., 2020; Wischhusen *et al*., 2020). سلنیوم بخشی از آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز بوده و در سیستم‌های بیولوژیک حائز اهمیت است. این عنصر در ساختار سلنوپروتئین‌هایی حضور دارد که مسئول کارکردهای مختلف بیولوژیک در سلول هستند (Lall and Kaushik, 2021).

سلنیوم در طبیعت به فرم غیر آلی و آلی در دسترس است. علاوه‌براین، فرم سنتتیک نانو هم وجود دارد (Li *et al*., 2023). محققان اثرات سلنیوم غذایی بر انواع گونه‌های ماهیان را با استفاده از اشکال و غلظت‌های مختلف آن گزارش نموده‌اند. نرخ گنجاندن سلنیوم در جیره غذایی بستگی به گونه ماهی و شرایط پرورش دارد. مطالعات زیادی در مورد اثرات سلنیوم بر گونه‌های مختلف ماهیان نظیر هامور مالاباری (*Epinephelus malabaricus*)، گربه ماهی کانال (*Ictalurus punctatus*)، سوکلا (*Rachycentron canadum*)، تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*)، کپور کاراس (*Carassius carassius*)، کپور گیبل (*Carassius auratus gibelio*) و کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) انجام شده، اما تحقیقات اندکی بر گونه کپور معمولی گزارش شده است (Mustafa and Omar, 2024) اگرچه کپور معمولی یکی از مهم‌ترین گونه‌های ماهیان پرورشی در ایران و جهان است (Adineh *et al*., 2018). کپور معمولی در سال ۲۰۲۴ در جایگاه نهم از پرتولیدترین گونه‌های آبزی در سطح جهان بوده است (Mihaly-Karnai *et al*., 2025).

اگرچه اثرات مثبتی از مصرف انواع مکمل سلنیوم در خوراک آبزیان گزارش شده است (Sumana *et al*., 2023)، اما کمبود سلنیوم (Mustafa and Omar, 2024) یا زیادی آن (Durigon *et al*., 2019) در جیره غذایی منجر به کاهش رشد و زنده‌مانی ماهیان می‌گردد. میزان بازدهی سلنیوم غذایی به نوع آن هم بستگی دارد. اویلاسلنیوم، کمپلکس روی- ال- سلنومتیونین است و از آن به عنوان افزودنی غذایی برای تامین سلنیوم آلی در خوراک جانوران استفاده می‌شود (EFSA, 2018). سل‌استار محصول شرکت آرکوپ و نوعی سلنیوم آلی چنگاله[1] با مخلوطی از اسیدهای آمینه برای افزودن به خوراک انواع حیوانات است. امروزه به اعتقاد برخی پژوهشگران به دلیل سمیت بالای سلنیوم معدنی، کیفیت پرواکسیدانی و دسترسی زیستی به آن، مصرف سلنیت در صنعت مورد تردید قرار گرفته است (Moustafa *et al*., 2024). هدف از تحقیق حاضر، رفع این تردید و رسیدن به قطعیت در مورد اثر سلنیت سدیم بر گونه کپور معمولی در مقایسه با دو ترکیب تجاری سلنیوم آلی (اویلاسلنیوم و سل‌استار)، برای اولین بار بود. محققان مختلف مطالعه پاسخ ماهی کپور معمولی به استرس شوری را به منظور بررسی وضعیت فیزیولوژیک و سلامت این ماهی، مورد تأیید قرار داده‌اند (Jelkic *et al*., 2014; Roohi *et*

[1] Chelate

al., 2017; Talebian Nik and Alamdari, 2020). در پژوهش حاضر علاوه بر مطالعه عملکرد رشد و ترکیب لاشه، برای اولین بار تلفیقی از استرس شوری، کمبود اکسیژن و افزایش ناگهانی تراکم جمعیت برای بررسی میزان مقاومت ماهی مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش کار

ساخت غذا

ابتدا کنجاله سویا و کنجاله کلزا آسیاب شده و با الک ۲۵۰ میکرون غربال شد. اجزاء پر مقدار جیره از لحاظ میزان پروتئین خام، چربی خام، خاکستر و ماده خشک (AOAC, 2000) تجزیه‌وتحلیل گردید. سپس جیره غذایی پایه (شاهد) به کمک نرم‌افزار UFFDA طراحی شد (جدول ۱). از سه نوع مکمل سلنیومی شامل سلنیوم آلی با نشان تجاری اویلاسلنیوم محصول شرکت Zinpro در دو سطح ۰/۳ و ۱ میلی گرم سلنیوم، سلنیوم آلی با نشان تجاری سل‌استار محصول شرکت Arkop در سطح ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم و سلنیوم معدنی سلنیت سدیم در دو سطح ۰/۳ و ۱ میلی‌گرم سلنیوم به ازاء هر کیلوگرم جیره غذایی پایه استفاده گردید (جدول ۲).

جدول ۱: فرمول جیره غذایی پایه بر اساس ماده خشک

Table 1: Formulation of basal diet (%DM)

Feed ingredients	Percentage in diet
Wheat starch	7.00
Wheat flour	27.00
Canola meal	25.00
Soybean meal	15.00
Fish meal	20.00
Soybean oil	2.58
Lysine	0.41
Methionine	0.41
Vitamin premix[1]	0.25
Mineral premix[2]	0.25
Cholin cloride	0.10
Dicalcium phosphate	2.00

[1] Vitamin premix (per 0.5 Kg of premix): vitamin A, 1,600,000 IU; vitamin D3, 800,000 IU; vitamin E, 40,000 mg; thiamine, 200 mg; riboflavin, 2,800 mg; niacin, 11,200 mg; pantothenic acid, 12,000 mg; pyridoxine, 2,400 mg; folic acid, 1,200 mg; biotin, 400 mg; inositol, 176,000 mg; vitamin C, 40,000 mg; vitamin K3, 9,600 mg; cyanocobalamin 4 mg; butylhydroxytoluene 2,000 mg. [2] Mineral premix (mg/0.5 Kg of premix): iron, 60,000; zinc, 6,000; cobalt, 40; copper, 1,200; manganese, 5,200; iodine, 400.

انتخاب سطوح آزمایشی سلنیوم بر اساس مرور گسترده منابع علمی انجام شد.

جدول ۲: خلاصه توصیفی از تیمارهای غذایی بر اساس نوع و مقدار سلنیوم (میلی‌گرم سلنیوم در کیلوگرم خوراک)

Table 2: Descriptive summary of dietary treatments based on the type and amount of selenium (mg Se/Kg diet)

Treatment	Availa-Se Se	Selstar Se	Sodium selenite Se	Total Se (mg/Kg) *
1	0.3	-	-	0.39
2	1	-	-	1.09
3	-	0.3	-	0.39
4	-	-	0.3	0.39
5	-	-	1	1.09
Control	-	-	-	0.09

* مقدار سلنیوم اندازه‌گیری شده در جیره غذایی شاهد و محاسبه شده در جیره‌های آزمایشی

* The amount of selenium measured in the control diet and calculated in the experimental diets

پس از مخلوط کردن مواد اولیه غذایی و تهیه خمیر با افزودن آب معمولی، ۶ نوع جیره غذایی با استفاده از چرخ گوشت با قطر ۲ میلی‌متر ساخته شد. غذاهای ساخته شده در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید و سپس با دستگاه خردکن آشپزخانه، خرد شد. پس از انجام دانه‌بندی به کمک غربال، در هر تیمار از دانه‌های غذایی با اندازه ۱-۰/۵ و ۲-۱ میلی‌متر طی دوره پرورش و به‌ترتیب با افزایش جثه ماهیان استفاده گردید. ترکیب بیوشیمیایی اقلام و جیره‌های غذایی ساخته شده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: ترکیب بیوشیمیایی اقلام و جیره‌های غذایی براساس ماده خشک (میانگین±خطای استاندارد)

Table 3: Biochemical composition of ingredients and dietary treatments as DM basis (mean ± SE)

	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%)	Gross energy (Kj/g)
Feed ingredients					
Wheat starch	3.71±0.05	0.50±0.02	0.29±0.01	95.50	17.50
Wheat flour	41.32±0.30	1.10±0.03	0.68±0.03	83.90	18.24
Canola meal	42.10±0.23	0.73±0.10	8.77±0.17	48.40	18.54
Soybean meal	51.25±0.46	1.05±0.06	6.70±0.05	40.90	19.58
Fish meal	72.64±.57	10.40±0.04	9.46±0.01	7.50	22.56
Treatments					
1	36.13±0.05	4.29±0.04	7.12±0.00	52.45	19.25
2	36.32±0.06	5.36±0.01	7.27±0.03	51.04	19.47
3	35.95±0.41	5.22±0.04	6.97±0.00	51.85	19.47
4	36.20±0.01	4.91±0.02	7.24±0.01	51.64	19.37
5	36.24±0.15	4.72±0.21	7.05±0.01	51.98	19.36
Control	36.92±0.19	5.24±0.01	7.15±0.01	50.68	19.50

پرورش ماهی

ماهیان از مرکز تکثیر خصوصی واقع در شهرستان دزفول به سالن پرورش در دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان منتقل شده و در سالن تحت شرایط ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی (Saffari *et al*., 2016) در مخازن گرد پلاستیکی ۳۰۰ لیتری با حجم مفید ۲۵۰ لیتر به مدت ۵۲ روز پرورش داده شدند. سازگاری با شرایط سالن به مدت یک هفته و با مصرف غذای تجاری کپور انجام شد. آزمایش با ۶ تیمار غذایی، هر تیمار با ۲ مخزن (تکرار) و هر مخزن با ۳۱ عدد ماهی کپور معمولی به وزن آغازین (انحراف استاندارد±میانگین) ۰/۳۳±۱/۶۲ گرم به طور تصادفی انجام گردید. ماهیان روزانه در ساعات ۹، ۱۴ و ۱۹ تا حد سیری غذادهی شدند. ۲۰ دقیقه پس از هر بار غذادهی، مخازن پرورش ماهی سیفون شده و کاهش سطح آب جبران می‌گردید. تعویض آب به میزان حدود ۳۰ درصد و هر ۳-۲ روز یک‌بار انجام شد. مقادیر دما و اکسیژن محلول روزی یک‌بار و pH و شوری هفته‌ای یک‌بار در کلیه مخازن اندازه‌گیری شد. این مقادیر طی دوره پرورش در مخازن مختلف تقریباً یکسان بود (جدول ۴).

جدول ۴: شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی آب طی دوره پرورش ماهی در تیمارهای مختلف (میانگین±خطای استاندارد)

Table 4: Physicochemical parameters of water during fish culture period in different treatments (mean ± SE)

Treatment	Temperature (ºC)	DO (mg/L)	Salinity (g/L)	pH
1	24.8±0.0	7.5±0.0	2.0±0.1	7.8±0.0
2	24.6±0.0	7.5±0.0	2.0±0.1	7.8±0.0
3	25.5±0.0	7.4±0.0	2.0±0.1	7.9±0.0
4	24.8±0.0	7.4±0.0	2.1±0.1	7.7±0.1
5	24.7±0.0	7.6±0.0	2.0±0.1	7.8±0.0
Control	25.0±0.0	7.4±0.0	2.0±0.1	7.6±0.1

نمونه‌برداری و روش‌های تجزیه‌وتحلیل

وزن تمام ماهی‌ها در ابتدا و انتهای دوره و بعد از ۲، ۴ و ۶ هفته و طول استاندارد آنها در انتهای دوره پرورش اندازه‌گیری شد. ضریب چاقی طبق نظر Torrecillas و همکاران (۲۰۲۱) و نرخ زنده‌مانی مطابق Mazurkiewicz (۲۰۰۹) و براساس روابط ریاضی ذیل محاسبه گردید:

مکعب طول ماهی (سانتی‌متر)/ وزن ماهی (گرم) = ضریب چاقی× ۱۰۰

۱۰۰× (تعداد اولیه ماهیان/ تعداد ماهیان در پایان دوره) = نرخ زنده‌مانی (درصد)

مواد اولیه غذایی، جیره‌های غذایی ساخته شده و لاشه ماهیان در پایان دوره پرورش طبق روش‌های استاندارد (AOAC, 2000) تجزیه‌وتحلیل شدند. به طور خلاصه، میزان ماده خشک با قرار دادن نمونه‌ها در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، مقدار پروتئین خام به روش کلدال و از حاصل ضرب میزان نیتروژن در عدد ۶/۲۵، میزان چربی خام با عصاره‌گیری به روش سوکسله و با کاربرد پترولیوم اتر و خاکستر با قرار دادن مقدار نمونه در کوره به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. کربوهیدرات بر اساس مقادیر میانگین پروتئین خام، چربی خام و خاکستر اقلام غذایی و جیره‌های غذایی محاسبه گردید. انرژی خام بر اساس ضرایب ۱۷/۲، ۲۳/۶ و ۳۹/۵ کیلو ژول در گرم به‌ترتیب برای کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها محاسبه شد (NRC, 2011). برای اندازه‌گیری میزان سلنیوم در جیره غذایی شاهد (پایه)، مقدار ۰/۵ گرم غذا در آون میکروویو با ۸ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد و ۱/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد هضم شد و سپس بر کاغذ صافی به درون فلاسک ۲۵ میلی‌لیتری فیلتر گردید. فلاسک با آب مقطر به حجم رسانده شد. در نهایت برای اندازه‌گیری سلنیوم از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی استفاده گردید (Elia *et al*., 2011). تجزیه‌وتحلیل‌های مواد اولیه غذایی و جیره‌های غذایی ساخته شده با ۳ مرتبه تکرار و تجزیه‌وتحلیل‌های لاشه ماهیان با ۴ مرتبه تکرار انجام شد.

آزمون استرس

پس از اتمام دوره پرورش، به منظور سنجش میزان مقاومت ماهیان، از استرس ترکیبی (تلفیقی از استرس شوری، کمبود اکسیژن و افزایش تراکم جمعیت) در دو سطح (آزمون استرس اول و دوم) استفاده گردید و هدف بررسی منابع ایجاد استرس به صورت انفرادی نبود. بر این اساس دو آزمون مجزا طراحی و اجرا شد: (۱) آزمون استرس شوری توأم با قطع هوادهی و در تراکم جمعیت بیشتر، (۲) آزمون استرس شوری همراه با هوادهی و در تراکم جمعیت کمتر. برای هر آزمون استرس، یک گروه ۱۰ تایی ماهی از هر مخزن (۲۰ ماهی برای هر تیمار) به طور تصادفی انتخاب شدند. در آزمون اول، ۱۰ عدد ماهی به طور ناگهانی به ظرفی حاوی ۲ لیتر آب با شوری ۱۸ گرم در لیتر و بدون هوادهی منتقل گردیدند. در آزمون دوم، ۱۰ عدد ماهی به طور ناگهانی به ظرفی حاوی ۱۴ لیتر آب با شوری ۱۸ گرم در لیتر (Talebian Nik and Alamdari, 2020) و همراه با هوادهی انتقال داده شدند. تعداد احتمالی رخداد مرگ در هر دقیقه تا سقف زمانی ۵ ساعت ثبت می‌گردید و ماهیان مرده حذف می‌شد. تعداد ماهی زنده پس از ۵ ساعت در صورت وجود، ثبت گردید.

روش تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

در طرح کاملاً تصادفی کلیه محاسبات با استفاده از نرم افزار SPSS نگارش ۱۶ و Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد. در مورد داده‌های قبل از استرس، کنترل نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون KS[1]، کنترل همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene و مقایسه متغیرهای مورد مطالعه با آزمون تجزیه واریانس یک طرفه انجام گردید. پس از مواجهه با استرس ترکیبی، برای مقایسه بین مدت زنده‌مانی ماهیان از آزمون Log Rank استفاده شد.

نتایج

عملکرد رشد

با توجه به جدول ۵، تفاوت معنی‌داری از لحاظ وزن ماهی‌ها در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری، طول استاندارد ماهی‌ها و ضریب چاقی آنها در پایان دوره تغذیه با انواع مکمل آلی و معدنی مشاهده نشد (p>۰/۰۵).

ترکیب لاشه و نرخ زنده‌مانی

در جدول ۶، نتایج مربوط به تجزیه‌وتحلیل بیوشیمیایی لاشه و نرخ زنده‌مانی ماهی‌ها در پایان دوره پرورش ارائه شده است. انواع سلنیوم آلی و معدنی اثر معنی‌داری بر نرخ زنده‌مانی طی دوره پرورش، درصد ماده خشک، پروتئین خام و خاکستر لاشه نداشتند (p>۰/۰۵). تغذیه با اویلاسلنیوم (تیمار ۱) یا سلنیت سدیم (تیمار ۴) به میزان ۰/۳ میلی‌گرم در هر کیلوگرم غذا سبب کاهش معنی‌دار درصد چربی خام لاشه گردید (p<۰/۰۵).

[1] Kolmogorov-Smirnov (KS)

جدول ۵: عملکرد رشد ماهیان در تیمارهای مختلف (میانگین±خطای استاندارد)

Table 5: Growth performance of fish in different treatments (mean ± SE)

Treatment	IW (g)	W2 (g)	W4 (g)	W6 (g)	FW (g)	SL (cm)	CF
1	1.50±0.26	2.80±0.28	3.24±0.14	5.17±0.56	5.88±0.52	6.2±0.3	2.63±0.65
2	1.80±0.24	2.47±0.28	3.39±0.42	4.93±0.52	5.44±0.83	5.9±0.1	2.91±0.28
3	1.57±0.27	2.49±0.20	2.76±0.37	4.80±0.20	4.27±0.69	6.0±0.2	2.50±0.29
4	1.75±0.09	2.84±0.09	3.85±0.28	4.82±0.55	5.09±0.50	5.7±0.3	2.76±0.49
5	1.47±0.13	2.37±0.25	3.70±0.46	4.63±0.68	5.76±1.20	6.3±0.3	2.40±0.69
Control	1.60±0.06	2.71±0.53	3.75±0.89	5.70±1.25	6.90±1.30	6.7±0.3	2.43±0.53

IW: وزن اولیه؛ W2: وزن بعد از ۲ هفته؛ W4: وزن بعد از ۴ هفته؛ W6: وزن بعد از ۶ هفته؛ FW: وزن نهایی؛ SL: طول استاندارد؛ CF: ضریب چاقی. هیچگونه تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های مختلف رشد مشاهده نشد (p>0.05).

IW: Initial weight; W2: Weight after 2 weeks; W4: Weight after 4 weeks; W6: Weight after 6 weeks; FW: Final weight; SL: Standard length; CF: Condition factor. No significant differences were observed in different growth parameters (p>0.05).

جدول ۶: ترکیب لاشه و نرخ زنده‌مانی ماهی‌ها در تیمارهای مختلف (میانگین±خطای استاندارد)

Table 6: Carcass composition and survival rate of carps in different treatments (mean ± SE)

Treatment	Dry matter (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Ash (%)	Survival rate (%)
1	26.20±0.41 [a]	15.41±0.25 [a]	7.90±0.33 [b]	2.42±0.02 [a]	100
2	26.79±0.17 [a]	15.27±0.09 [a]	9.01±0.15 [a]	2.22±0.05 [a]	98±2
3	27.47±0.14 [a]	15.35±0.08 [a]	9.16±0.08 [a]	2.30±0.04 [a]	100
4	25.90±0.01 [a]	15.25±0.07 [a]	7.85±0.17 [b]	2.40±0.01 [a]	100
5	26.88±0.03 [a]	15.33±0.09 [a]	8.57±0.09 [a]	2.26±0.01 [a]	98±2
Control	27.50±0.41 [a]	15.36±0.20 [a]	9.14±0.29 [a]	2.34±0.01 [a]	100

حروف مختلف در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار است (p<0.05).

Different letters in each column indicate significant differences (p<0.05).

پاسخ به استرس

با توجه به جدول ۷، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مدت زنده ماندن ماهیان تیمارهای مختلف پس از مواجهه با استرس شوری و قطع هوادهی مشاهده نشد (p>۰/۰۵). استفاده از سلنیت سدیم در هر دو دوز ۰/۳ و ۱ میلی‌گرم سلنیوم در هر کیلوگرم جیره (تیمارهای ۴ و ۵) در مقایسه با شاهد، سبب افزایش معنی‌دار مدت زنده ماندن پس از مواجهه با استرس شوری همراه با هوادهی شد (p<۰/۰۵). مصرف اویلاسلنیوم (تیمارهای ۱ و ۲) از لحاظ این شاخص اثر معنی‌داری در مقایسه با شاهد نداشت (p>۰/۰۵) و استفاده از سل‌استار (تیمار ۳) موجب کاهش معنی‌دار مدت زنده ماندن گردید (p<۰/۰۵). در کل از لحاظ مقاومت در برابر استرس شوری، بهترین نتیجه در اثر مصرف سلنیت سدیم به‌دست آمد.

جدول ۷: مدت زنده ماندن ماهیان تیمارهای مختلف پس از مواجهه با استرس شوری (میانگین±خطای استاندارد)

Table 7: Survival time of fish in different treatments after exposure to salinity stress (mean ± SE)

Treatment	Salinity stress without aeration (minutes)	Salinity stress with aeration (minutes)
1	170±14 [a]	222±9[ab]
2	144±13 [a]	227±9[ab]
3	182±16 [a]	172±5[c]
4	161±13 [a]	232±13[a]
5	179±13 [a]	245±10[a]
Control	169±13 [a]	213±7[b]

حروف مختلف در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار است (p<0.05).

Different letters in each column indicate significant differences (p<0.05).

بحث

هدف از مصرف سلنیوم به عنوان مکمل در جیره غذایی ماهیان، ارتقاء وضعیت ایمنی، افزایش رشد و درنتیجه صرفه اقتصادی است (Nazari *et al*., 2017). سلامت تغذیه‌ای گونه‌های ماهیان پرورشی، اولین عاملی است که بر وضعیت

تغذیه‌ای آنها اثر می‌گذارد و در نهایت موجب رسیدن به سطح بالاتری از اطمینان می‌گردد (Dawood *et al*., 2018). کمبود سلنیوم در جیره غذایی سبب کاهش رشد و افزایش مرگ‌ومیر می‌شود (Mustafa and Omar, 2024). سطوح بالای سلنیوم در جیره غذایی هم ممکن است، اثر سمی داشته باشد و منجر به کاهش رشد و بازدهی غذا و افزایش مرگ‌ومیر گردد (Durigon *et al*., 2019). فاصله کمی بین کمبود و سمیت سلنیوم در همه جانوران وجود دارد و به‌نظر می‌رسد که بررسی و انتخاب دقیق میزان نیاز بهینه به سلنیوم غذایی برای ماهیان پرورشی اهمیت بیشتری دارد (Safabakhsh *et al*., 2020). در گونه‌های مختلفی از ماهیان مشخص شده است که رشد کلی بهتر با جیره‌های غذایی حاوی سطوح کافی از سلنیوم به‌دست می‌آید و محققان معتقدند، مکمل سلنیومی کافی در خوراک با بهبود بازدهی خوراک، افزایش وزن و نرخ رشد در ارتباط است (Sumana *et al*., 2023). با وجود این، در تحقیق حاضر، تفاوت معنی‌داری از لحاظ نرخ زنده‌مانی، وزن ماهی‌ها در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری، طول استاندارد ماهی‌ها و ضریب چاقی آنها در پایان دوره تغذیه با انواع مکمل آلی و معدنی مشاهده نشد (p>۰/۰۵). همسو با این نتایج، نرخ زنده‌مانی تاس‌ماهی سفید (*Acipenser transmontanus*) با مصرف سلنومتیونین (Tashjian *et al*., 2006)، قزل‌آلای گونه *Oncorhynchus clarki* با مصرف سلنومتیونین (Hardy *et al*., 2010)، شاه ماهی دم زرد (*Seriola lalandi*) با مصرف سلنومتیونین (Le and Fotedar, 2014)، باس دهان بزرگ (*Micropterus salmoides*) با مصرف سلنیت سدیم (Zhu *et al*., 2011)، شانک سرطلایی (*Sparus aurata*) با مصرف سلنیت سدیم یا هیدروکسی سلنومتیونین (Mechlaoui *et al*., 2019) تحت تاثیر قرار نگرفت. عدم بروز تفاوت معنی‌دار در نرخ زنده‌مانی طی دوره پرورش، بیانگر مناسب بودن شرایط زیست برای ماهی‌ها بوده است (Hassan and Mohammad, 2023).

در پژوهشی، سلنیت سدیم به میزان ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم در کیلوگرم خوراک، به جیره غذایی لارو قزل‌آلای رنگین‌کمان که حاوی ۱/۲-۰/۵ میلی‌گرم سلنیوم در هر کیلوگرم جیره پایه بود، افزوده شد. رشد و زنده‌مانی لارو ماهی به طور معنی‌دار تحت تاثیر سطح سلنیوم غذایی قرار نگرفت (Fontagne-Dicharry *et al*., 2015). در تحقیقی دیگر هم تکمیل جیره غذایی قزل‌آلای رنگین‌کمان نوجوان که حاوی ۰/۵ میلی‌گرم سلنیوم در هر کیلوگرم جیره پایه بود، با ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم به فرم سلنیت سدیم، اثر معنی‌داری بر عملکرد رشد نداشت (Fontagne-Dicharry *et al*., 2020). در پژوهشی مکمل سلنیت سدیم به میزان ۴/۹۵-۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم به جیره غذایی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) افزوده شد به‌طوری‌که میزان سلنیوم در جیره غذایی ۱/۲۲-۰/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. سلنیوم اثری بر رشد ماهی و شاخص‌های بیوشیمیایی و خونی نداشت، اما سلنیوم غذایی به میزان بیش از ۰/۸۶ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خوراک منجر به بهبود سیستم آنتی اکسیدانی گردید (Durigon *et al*., 2019). در آزمایشی بر کپور معمولی مشخص شده است که مکمل‌های سلنیت سدیم و یا سلنومتیونین به میزان ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره، اثر معنی‌داری بر وزن نهایی، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی ندارند (Saffari *et al*., 2016). با وجود این، در کپور معمولی گزارش شده است که مصرف سلنیت سدیم به میزان ۰/۱۵-۰/۱۲ میلی گرم سلنیوم در کیلوگرم غذا سبب بهبود رشد و نرخ زنده مانی می‌گردد. در گزارش مذکور از پودر ماهی در فرمول جیره غذایی استفاده نشده بود و میزان سلنیوم در جیره پایه (شاهد) برابر با ۰/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (Gaber, 2008). رشد و عملکرد ماهی در محیط‌های آبی به عوامل زیادی نظیر کیفیت آب، خوراک و عوامل ژنتیکی بستگی دارد (Sumana *et al*., 2023). سلنیوم در حضور سایر ترکیبات نظیر ویتامین‌های E، D و A به طور موثرتر جذب می‌شود. علاوه‌براین، پروتئین‌ها و چربی‌ها نیز بر دسترسی زیستی به سلنیوم موثرند (Mustafa and Omar, 2024). در مطالعه حاضر، افزایش میزان سلنیوم در جیره غذایی لطمه‌ای به شاخص‌های رشد وارد نکرد. بر این اساس ممکن است، دوزهای بیشتری از این ماده معدنی مورد نیاز باشد تا اثراتی بر شاخص‌های رشد مشاهده گردد (Durigon *et al*., 2019). بر اساس مطالعات قبلی، دوز توصیه شده سلنیوم در

خوراک ماهی ۲-۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است و استفاده از مقادیر بیشتر دارای نتایج منفی است (Gatlin and Wilson, 1984). البته بر اساس قوانین اتحادیه اروپا، میزان مصرف مکمل سلنیوم آلی در خوراک حیوانات نباید بیش از ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد (Sumana *et al*., 2023). در پژوهش حاضر، انواع سلنیوم آلی و معدنی اثر معنی‌داری بر میزان ماده خشک، پروتئین خام و خاکستر لاشه نداشتند (p>۰/۰۵)، اما تغذیه با اویلاسلنیوم یا سلنیت سدیم به میزان ۰/۳ میلی‌گرم در هر کیلوگرم غذا سبب کاهش معنی‌دار درصد چربی خام لاشه گردید (p<۰/۰۵). در پژوهشی بر آزاد ماهی اقیانوس اطلس در مرحله اسمولت پیشرفته، جیره غذایی پایه حاوی ۰/۲۴ میلی‌گرم سلنیوم در کیلوگرم جیره بود و اقدام به افزودن مکمل سلنیت سدیم به میزان ۱/۱-۰/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم یا سلنومتیونین به میزان ۰/۴-۰/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به جیره پایه شد. عملکرد رشد، بازدهی غذایی، تجزیه‌وتحلیل تقریبی و غلظت مواد معدنی (به‌جز سلنیوم)، لاشه کامل ماهی تحت تاثیر سلنیوم غذایی قرار نگرفت (Antony Jesu Prabhu *et al*., 2020). در مطالعه‌ای سلنومتیونین به میزان ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم به جیره غذایی کپور نقره‌ای (*H. molitrix*) افزوده شد. تجزیه‌وتحلیل تقریبی مقادیر ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و خاکستر لاشه ماهی تحت تاثیر تیمارهای غذایی قرار نگرفت (Mushtaq *et al*., 2022). تحقیقاتی نشان داده است که در گونه کپور معمولی، مکمل‌های سلنیت سدیم یا سلنومتیونین اثر معنی‌داری بر تجزیه‌وتحلیل تقریبی رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر لاشه ندارند (Saffari *et al*., 2016). در پژوهشی کپور معمولی به وزن آغازین ۳۱ گرم با سطوح مختلف (۰/۶، ۰/۷ و ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم)، سلنومتیونین به‌تنهایی یا به همراه ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ویتامین E یا حاوی ویتامین E اما فاقد مکمل سلنیومی، تغذیه شد. سلنومتیونین، ویتامین E یا مخلوطی از هر دو سبب افزایش معنی‌دار وزن نهایی و پروتئین لاشه و کاهش معنی‌دار چربی لاشه در مقایسه با شاهد گردید. خاکستر لاشه تحت تاثیر افزودن سلنومتیونین یا ویتامین E به‌تنهایی در جیره غذایی قرار نگرفت اما افزودن ۰/۶ یا ۰/۸ میلی‌گرم سلنومتیونین به همراه ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ویتامین E سبب افزایش معنی‌دار خاکستر لاشه شد (Hassan and Mohammad, 2023). محققان معتقدند، سلنیوم بر متابولیسم لیپید، قند و اسید آمینه جانوران آبزی موثر است (Li *et al*., 2023). به‌نظر می‌رسد، تفاوت در فرمول جیره‌های غذایی عامل مهمی در مشاهده نتایج متفاوت حتی در یک گونه مشخص باشد.

امروزه مفهوم غذاهای کارکردی در صنعت تولید خوراک مطرح شده است. جیره‌های غذایی باید تامین کننده مواد مغذی باشند و سبب افزایش سلامت ماهیان پرورشی شوند (Durigon *et al*., 2019). در تحقیق حاضر، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مدت زنده ماندن ماهیان تیمارهای مختلف پس از مواجهه با استرس شوری و قطع هوادهی مشاهده نشد (p>۰/۰۵). استفاده از سلنیت سدیم در هر دو دوز ۰/۳ و ۱ میلی‌گرم سلنیوم در هر کیلوگرم جیره (تیمارهای ۴ و ۵)، در مقایسه با شاهد، سبب افزایش معنی‌دار مدت زنده ماندن پس از مواجهه با استرس شوری همراه با هوادهی گردید (p<۰/۰۵). مصرف اویلاسلنیوم (تیمارهای ۱ و ۲)، از لحاظ این شاخص اثر معنی‌داری در مقایسه با شاهد نداشت (p>۰/۰۵) و استفاده از سل‌استار (تیمار ۳) موجب کاهش معنی‌دار مدت زنده ماندن شد (p<۰/۰۵). مطالعات زیادی نشان داده است که سلنیوم، مکمل مناسب برای مواجهه با استرس اکسیداتیو ناشی از کمبود اکسیژن (هیپوکسی)، ازدحام جمعیت، آلودگی فلزات سنگین، بلع روغن اکسید شده و سایر شرایط فشار است (Li *et al*., 2023). کمبود اکسیژن وضعیت پرتنشی است که به عنوان یک نگرانی اصلی در آبزی‌پروری شناخته شده، به طور طبیعی در اغلب محیط‌های آبی به‌ویژه در پرورش متراکم ماهی وجود داشته و اثرات مضر زیادی از آن گزارش شده است (Fontagne-Dicharry *et al*., 2020). در تحقیقی بر شانک سرطلایی (*S. aurata*)، سلنیت سدیم یا هیدروکسی سلنومتیونین به میزان ۰/۲ یا ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به جیره پایه حاوی ۰/۸ میلی‌گرم سلنیوم در کیلوگرم خوراک افزوده شد. تفاوت معنی‌داری از لحاظ وزن و طول نهایی بین تیمار شاهد و تیمارهای دریافت کننده سلنیوم مشاهده نشد درحالی‌که گنجاندن سلنیوم به میزان ۰/۲ میلی‌گرم در

کیلوگرم غذا صرف نظر از نوع سلنیوم (سلنیت سدیم یا هیدروکسی سلنومتیونین) به طور معنی‌دار سبب کاهش کورتیزول پلاسما پس از گذشت ۲ ساعت از استرس فیزیکی حاد (تعقیب، دستکاری و اسارت در تراکم بالا) گردید. در همین مطالعه در مواجهه با استرس فیزیکی مزمن (اسارت در تراکم بالا به مدت ۷ روز)، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تغذیه شده با سلنیوم و شاهد وجود نداشت (Mechlaoui *et al*., 2019). بنابراین، متفاوت بودن دوز سلنیوم و شرایط استرس، حتی در یک گونه ماهی بر نتایج مطالعات موثر است. مطالعه حاضر نشان داد که اگرچه ماهیان تغذیه شده با جیره فاقد مکمل سلنیومی، رشد خوب و نرخ زنده‌مانی بالایی طی دوره پرورش در مقایسه با سایر ماهیان داشتند، اما میزان سلنیوم در جیره شاهد برای محافظت از ماهی در برابر شرایط پرتنش کافی نبود. به عبارت دیگر، نظر محققان مبنی بر افزایش تقاضای سلنیوم بعد از قرار گرفتن در معرض فشارهای محیطی (Li *et al*., 2023) مورد تائید قرار گرفت.

اگرچه سلنیوم آلی توانایی بهتری برای محافظت از ماهی در برابر استرس‌های فیزیکی، شیمیایی یا مولد بیماری دارد (Antony Jesu Prabhu *et al*., 2020)، اما تحقیق حاضر نشان داد که در گونه کپور معمولی در دوز ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم در هر کیلوگرم غذا، میزان مقاومت در برابر استرس در صورت مصرف سلنیت سدیم بیشتر از زمانی است که سلنیوم آلی با نشان تجاری اویلاسلنیوم یا سل‌استار مصرف شده باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از شرکت دریا شیلان دز برای حمایت مالی به منظور انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Adineh, H., Harsij, M. and Nazer, A., 2018. Effects of *Yucca schidigera* extract on the growth performance, feed efficiency, body composition of common carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus 1758) and culture water quality. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 27(3):11-22. DOI:10.22092/ISFJ.2018.116923 (in Persian)

Antony Jesu Prabhu, P., Holen, E., Espe, M., Silva, M. S., Holme, M. H., Hamre, K. and Waagbø, R., 2020. Dietary Se required to achieve body homeostasis and attenuate pro-inflammatory responses in Atlantic salmon post-smolt exceeds the present EU legal limit. *Aquaculture*, 526:735413. DOI:10.1016/j.aquaculture.2020.735413

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000. Official Methods of Analysis 17th ed., Gaithersburg, M.D, USA. 2200 P.

Dawood, M.A.O., Koshio, S., Zaineldin, A.I., Doan, H.V., Moustafa, E.M., Abdel-Daim, M.M., Esteban, M.A. and Hassaan, M.S., 2018. Dietary supplementation of selenium nanoparticles modulated systemic and mucosal immune status and stress resistance of red sea bream (*Pagrus major*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 45:219–230. DOI:10.1007/s10695-018-0556-3

Durigon, E.G., Kunz, D.F., Peixoto, N.C., Uczay, J. and Lazzari, R., 2019. Diet selenium improves the antioxidant defense system of juveniles Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Brazilian Journal of Biology*, 79:527–532. DOI:10.1590/1519-6984.187760

EFSA (European Food Safety Authority), 2018. Scientific opinion on the safety and efficacy of Zinc-L-Selenomethionine as feed additive for all animal species. *European Food Safety Authority Journal*, 16(3):5197. DOI:10.2903/j.efsa.2018.5197

Elia, A.C., Prearo, M., Pacini, N., Dorrr, A.J.M. and Abete, M.C., 2011. Effects of selenium diets on growth, accumulation and antioxidant response in juvenile carp. *Ecotoxicology and Environmental Safety,* 74:166–173. DOI:10.1016/j.ecoenv.2010.04.006

Fontagné-Dicharry, S., Godin, S., Liu, H., Prabhu, P.A.J., Bouyssière, B., Bueno, M., Tacon, P., Médale, F., Kaushik, S. J., 2015. Influence of the forms and levels of dietary selenium on antioxidant status and oxidative stress-related parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *British Journal of Nutrition*, 113:1876–1887. DOI:10.1017/S0007114515001300

Fontagné-Dicharry, S., Véron, V., Larroquet, L., Godin, S., Wischhusen, P., Aguirre, P., Terrier, F., Richard, N., Bueno, M., Bouyssiere, B., Antony Jesu Prabhu, P., Tacon, P. and Kaushik, S.J., 2020. Effect of selenium sources in plant-based diets on antioxidant status and oxidative stress-related parameters in rainbow trout juveniles under chronic stress exposure. *Aquaculture*, 529:735684. DOI:10.1016/j.aquaculture.2020.735684

Gaber, M.M., 2008. Efficiency of selenium ion inclusion into common carp (*Cyprinus carpio* L.) diets. *African Journal of Agricultural Research*, 4(4):348–353.

Gatlin, D.M. and Wilson, R.P., 1984. Dietary Se requirement of fingerling channel catfish. *The Journal of Nutrition*, 114(3):627–644. DOI:10.1093/jn/114.3.627

Hardy, R., Oram, L. and Möller, G., 2010. Effects of dietary selenomethionine on cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki bouvieri*) growth and reproductive performance over a life cycle. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 58(1):246. DOI:10.1007/s00244-009-9392-x

Hassan, M.A. and Mohammad, M.A., 2023. The effect of the nutritional value enhancing of the diet provided to common carp *Cyprinus carpio* L. by adding organic selenium and vitamin E on growth parameters and food utilization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1158052002, October 12-16, Hilton Chicago, USA. DOI:10.1088/1755-1315/1158/5/052002

Jelkic, D., Opacak, A., Horvat, D. and Safner, R., 2014. Common carp fry survival during salinity stress test: Effect of feeding regime-short communication. *Veterinarski Arhiv*, 84(4):429-438.

Jingyuan, H., Yan, L., Wenjing, P., Wenqiang, J., Bo, L., Linghong, M., Qunlang, Z., Hualiang, L. and Xianping, G., 2020. Dietary selenium enhances the growth and anti-oxidant capacity of juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). *Fish and Shellfish Immunology*, 101(11):115–125. DOI:10.1016/j.fsi.2020.03.041

Lall, S.P. and Kaushik, S.J., 2021. Nutrition and metabolism of minerals in fish. *Animals*, 11: 2711. DOI:10.3390/ani11092711

Le, K.T. and Fotedar, R., 2014. Bioavailability of selenium from different dietary sources in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Aquaculture*, 420-421:57-62. DOI:10.1016/j.aquaculture.2013.10.034

Li, Z.M., Wang, X.L., Jin, X.M., Huang, J.Q. and Wang, L.S., 2023. The effect of selenium on antioxidant system in aquaculture animals. *Frontiers in Physiology*, 14:1153511. DOI:10.3389/fphys.2023.1153511

Mazurkiewicz, J., 2009. Utilization of domestic plant components in diets for common carp *Cyprinus carpio* L. *Archives of Polish Fisheries*, 17:5-39. DOI:10.2478/v10086-009-0001-4

Mechlaoui, M., Dominguez, D., Robaina, L., Geraert, P. A., Kaushik, S., Saleh, R., Briens, M., Montero, D. and Izquierdo, M., 2019. Effects of different dietary selenium sources on growth performance, liver and muscle composition, antioxidant status, stress response and expression of related genes in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 507:251-259. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.04.037

Mihály-Karnai, L., Fehér, M., Bársony, P., Szűcs, I., Mihály, T., Fróna, D. and Szőllősi, L., 2025. Sustainability in intensive aquaculture - Profitability of common carp (*Cyprinus carpio*) production in recirculating aquaculture systems based on a Hungarian case study. *Animals*, 15:1055. DOI:10.3390/ani15071055

Moustafa, E.M., Shukry, M., Zayed, M.M., Farrag, F.A., Abd El-Aziz, W.E. and Omar, A.A., 2024. Impact of Sel-Plex dietary supplementation on growth performance, physiological response, oxidative status, and immunity-linked gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings challenged with *Aeromonas hydrophila*. *Open Veterinary Journal*, 14(1):70-89. DOI:10.5455/OVJ.2024.v14.i1.8

Mushtaq, M., Fatima, M., Shah, S.Z.H., Khan, N., Naveed, S. and Khan, M., 2022. Evaluation of dietary selenium methionine levels and their effects on growth performance, antioxidant status, and meat quality of intensively reared juvenile *Hypophthalmichthys molitrix*. *PLoS ONE*, 17(9):e0274734. DOI:10.1371/journal.pone.0274734

Mustafa, I.A. and Omar, S.S., 2024. The effects of dietary organic selenium on growth, body composition and hematological parameters of common carp (*Cyprinus carpio*) reared in recirculating aquaculture system. *Cellular and Molecular Biology*, 70(1):87-93. http://dx.doi.org/10.14715/cmb/2024.70.1.12

Nazari, K., Shamsaie Mehrjan, M., Eila N., Sharifpor, I. and Kamali, A., 2017. The effects of different dietary levels of organic and inorganic selenium on some growth performance and proximate composition of juvenile rainbow trout (*Onchorhyncus mykiss*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 16(1):238-251. DOI:10.22092/ISFJ.2017.113528 (in Persian)

NRC (National Research Council), 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academy Press, Washington, DC. 399 P.

Pacitti, D., Lawan, M.M., Feldmann, J., Sweetman, J., Wang, T., Martin, S.A.M. and Secombes, C.J., 2016. Impact of selenium supplementation on fish antiviral responses: a whole transcriptomic analysis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed supranutritional levels of Sel-Plex. *Biology Medical Central Genomics*, 17:116. DOI:10.1186/s12864-016-2418-7

Roohi, Z., Imanpoor, M.R., Jafari, V. and Taghizadeh, V., 2017. The effect of salinity

stress on survival, biochemical and blood parameters in fingerling *Cyprinus carpio* fingerling fed with herbal supplement of *Carum carvi*. *Nova Biologica Reperta*, 4(1):47-54. DOI:10.21859/acadpub.nbr.4.1.48 (in Persian)

Safabakhsh, M.R., Mohseni, M., Bahri A.H. and Mohammadizadeh, F., 2020. Effect of dietary selenium on growth performance, survival rate and biochemical-blood profile of farmed juvenile beluga (*Huso huso*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(4):2077-2088. DOI:10.22092/ijfs.2018.117845

Saffari, S., Keyvanshokooh, S., Zakeri, M., Johari, S.A. and Pasha-Zanoosi, H., 2016. Effects of different dietary selenium sources (sodium selenite, selenomethionine and nanoselenium) on growth performance, muscle composition, blood enzymes and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture Nutrition*, 23(3):611-617. DOI:10.1111/anu.12428

Sumana, S.L., Chen, H., Shui, Y., Zhang, C., Yu, F., Zhu, J. and Su, S., 2023. Effect of dietary selenium on the growth and immune systems of fish. *Animals*, 13:2978. DOI:10.3390/ani13182978

Talebian Nik S.S. and Alamdari, H., 2020. Adding Iranian oak acorn (*Quercus brantii*) to the diet of common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) and its effects on growth performance, carcass composition and resistance to salinity stress. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 29(2):83-91 (in Persian). DOI:10.22092/ISFJ.2020.121667

Tashjian, D.H., Teh, S.J., Sogomonyan, A. and Hung, S.S.O., 2006. Bioaccumulation and chronic toxicity of dietary L-selenomethionine in juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquatic Toxicology*, 79(4):401–409. DOI:10.1016/j.aquatox.2006.07.008

Torrecillas, S., Montero, D., Carvalho, M., Benitez-Santana, T. and Izquierdo, M., 2021. Replacement of fish meal by Antarctic krill meal in diets for European sea bass *Dicentrarchus labrax*: Growth performance, feed utilization and liver lipid metabolism. *Aquaculture*, 545:737166. DOI:10.1016/j.aquaculture.2021.737166

Wischhusen, P., Larroquet, L., Durand, T., Oger, C., Galano, J. M., Amandine, R., Vigor, C., Antony Jesu Prabhu, P., Véron, V., Briens, M., Roy, J., Kaushik, S.J., Fauconneau, B. and Fontagné-Dicharry, S., 2020. Oxidative stress and antioxidant response in rainbow trout fry exposed to acute hypoxia is affected by selenium nutrition of parents and during first exogenous feeding. *Free Radical Biology and Medicine*, 155:99–113. DOI:10.1016/j.freeradbiomed.2020.05.006

Zhu, Y., Chen, Y., Liu, Y., Yang, H., Liang, G. and Tian, L., 2011. Effect of dietary selenium level on growth performance, body composition and hepatic glutathione peroxidase activities of largemouth bass *Micropterus salmoide*. *Aquaculture Research*, 43:1660–1668. DOI:10.1111/j.1365-2109.2011.02972.x