Journal of Aquaculture Sciences

Online ISSN: 2783-4638

Journal Homepage: https://www.aquaculturesciences.ir/

The effect of using Spirulina algae powder and the amino acid methionine in the diet of young Stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) on their growth performance and carcass composition

Davoud Mohammadrezaei[1]✉, Mohammad Dadfar[2] Ali Akbar Ghafarizadeh[1]

1. Corresponding author, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. d.mrezaei@malayeru.ac.ir
2. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. Email: mh.dadfar2019@gmail.com
3. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. Email: Email: ghafarizadh@gmail.com

Article Info

Article type:
Short Communication

Article history:
Received 29 April 2026
Received 22 June 2026
Accepted 26 June 2026

Keywords:
Acipenser stellatus,
Carcass composition,
Growth indices,
Methionine and Spirulina.

ABSTRACT

The present study aimed to investigate the effects of adding the amino acid methionine and spirulina algae on growth, survival, and carcass composition indices in juveniles of the Stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) over 8 weeks. Therefore, 48 juveniles with an average initial weight of 20.01±1.3 g were randomly distributed in 6 tanks. The fish were fed twice a day at a rate of 4% of body weight with feed supplemented with the amino acid methionine (1.5%) and spirulina (5%) and control feed. At the end, growth and nutrition indices, including condition factor (CF), body weight gain percentage (BWI), specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), visceral index (VI), and survival rate, as well as carcass composition, were evaluated. Based on the results, body weight gain indices and visceral index were statistically significantly different compared to the control feed (P<0.05). Although other measured indices did not show any statistical difference, during the experimental period these indices were higher in terms of values obtained compared to the control diet (P<0.05). Also, the amounts of crude protein, crude fat, moisture, and ash in the carcass composition were almost the same in both groups and did not show any statistically significant differences (P>0.05). Accordingly, it seems that adding the specified amounts of methionine and spirulina in the present study can be effective on the growth performance of Stellate sturgeon.

Cite this article: Mohammadrezaei, D., Dadfar, M., & Ghafarizadeh, A.A. (2026). The effect of using Spirulina algae powder and the amino acid methionine in the diet of young stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) on their growth performance and carcass composition. *Journal of Aquaculture Sciences*, *14*(1), 57-68.

© Author(s) retain the copyright.

Publisher: Iranian Aquaculture Society.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The sturgeon aquaculture industry, specifically the cultivation of the stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*), is a high-value sector driven by the global demand for caviar and premium fillets. Achieving optimal growth rates in this species is a primary objective, yet it remains constrained by nutritional limitations, particularly in essential amino acid profiles and the availability of highly digestible protein sources. Among these, L-methionine is a critical sulfur-containing amino acid that acts as a limiting factor in protein synthesis and lipid metabolism in many teleosts. Concurrently, the microalga *Arthrospira platensis* (Spirulina) has gained prominence as a functional feed additive due to its dense concentration of vitamins, minerals, and bioactive compounds that can modulate immune responses and metabolic efficiency. Although both methionine and Spirulina have been studied individually, their synergistic potential in modulating the growth kinetics and carcass quality of *A. stellatus* remains insufficiently explored. This study aims to evaluate the efficacy of combining 1.5% L-methionine with 5% Spirulina in optimizing the growth performance and nutritional composition of juvenile stellate sturgeon.

Materials and Methods

A total of 48 juvenile *A. stellatus* (mean initial weight: 20.01±1.320.01 g) were acclimated to laboratory conditions before the experiment. The fish were maintained in a recirculating aquaculture system (RAS) consisting of six replicate tanks (8 fish per tank). Environmental parameters, including temperature and dissolved oxygen, were monitored daily to ensure stability. The feeding trial was conducted over an 8-week period. The experimental design consisted of two groups: a Control group (basal diet) and a Supplemented group (basal diet + 1.5% L-methionine + 5% Spirulina). Fish were fed twice daily at a ratio of 4% of their total body weight. Growth performance was assessed by calculating the Specific Growth Rate (SGR), Feed Conversion Ratio (FCR), Condition Factor (CF), and Body Weight Gain (BWG). The visceral index (VI) was used as an indicator of metabolic health. At the end of the trial, proximate composition (crude protein, crude lipid, moisture, and ash) was determined using standardized AOAC methods. All data were analyzed using an independent t-test to determine significant differences ($P<0.05$).

Results

Dietary supplementation significantly influenced the growth dynamics of the fish. The supplemented group exhibited a significantly higher BWG compared to the control group ($P<0.05$). Furthermore, the visceral index (VI) was significantly elevated in the supplemented group ($P<0.05$), indicating increased hepatic energy storage. Although no significant differences were observed in SGR and FCR ($P>0.05$), the supplemented group showed a distinct numerical improvement in both parameters compared to the control. No significant alterations were detected in the proximate composition of the carcass. There were no statistically significant differences between the control and supplemented groups regarding crude protein, crude lipid, moisture, or ash content ($P>0.05$).

Discussion

The observed enhancement in BWG and visceral index (VI) suggests that the combination of L-methionine and Spirulina provides a superior nutritional profile for juvenile *A. stellatus*. The increase in VI is particularly noteworthy; it indicates enhanced metabolic activity and improved lipid/glycogen storage in the liver, a hallmark of efficient nutrient utilization. This effect likely stems from the interaction between methionine—which mitigates protein synthesis limitations—and the bioactive micronutrients in Spirulina, which optimize enzymatic and metabolic pathways. Interestingly, the

stability of the proximate composition indicates that the increased growth was achieved through "healthy" tissue accretion. The supplements did not induce excessive lipid deposition or protein degradation, suggesting that the metabolic pathway was directed towards somatic growth rather than mere energy storage. These results align with the principle that optimized amino acid availability, when coupled with micronutrient support, can maximize the growth potential of high-value sturgeon species without compromising fillet quality.

Conclusion

The dietary inclusion of 1.5% L-methionine and 5% Spirulina significantly improves the growth performance and metabolic status of juvenile *A. stellatus*. This nutritional strategy offers a viable approach for commercial producers to shorten production cycles and enhance economic productivity while maintaining the premium nutritional quality of the sturgeon carcass.

مجله علوم آبزی‌پروری

شاپا الکترونیکی: ۲۳۲۲-۵۳۵۱

Journal Homepage: https://www.aquaculturesciences.ir/

تأثیر بکارگیری پودر جلبک اسپیرولینا و اسیدآمینه متیونین در جیره ازون‌برون‌های جوان (*Acipenser stellatus*) بر عملکرد رشد و ترکیب لاشه آنها

داود محمدرضائی[۱]✉، محمد دادفر[۲]، علی اکبر غفاری زاده[۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: d.mrezaei@malayeru.ac.ir

۲. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: mh.dadfar2019@gmail.com

۳. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: ghafarizadh@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کوتاه،

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۵

کلیدواژه‌ها:
اسپرولینا،
اسید آمینه متیونین،
ترکیب لاشه،
شاخص‌های رشد،
ماهی اوزون‌برون.

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر افزایش اسید آمینه متیونین و جلبک اسپرولینا بر شاخص‌های رشد، بازماندگی و ترکیب لاشه در بچه‌ماهی اوزون برون (*Acipenser stellatus*) در طی ۸ هفته صورت گرفته است. بدین‌منظور، تعداد ۴۸ قطعه بچه‌ماهی با میانگین وزن اولیه ۱/۳ ± ۲۰/۰۱ به‌طور تصادفی در ۶ تانک توزیع گردید. ماهیان دو بار در روز به میزان ۴ درصد وزن بدن با خوراک مکمل‌سازی شده با اسید آمینه متیونین (۱/۵ درصد) و اسپرولینا (۵ درصد) و خوراک شاهد تغذیه شدند. در پایان شاخص‌های رشد و تغذیه شامل ضریب چاقی، درصد افزایش وزن بدن، ضریب رشد ویژه، ضریب تبدیل خوراک، شاخص احشائی و میزان بازماندگی و همچنین ترکیب لاشه بدن ارزیابی گردید. براساس نتایج، شاخص‌های افزایش وزن بدن و شاخص احشایی در مقایسه با خوراک شاهد از نظر آماری تفاوت معنی داری داشتند ($P<۰/۰۵$). هرچند سایر شاخص های اندازه گیری شده از نظر آماری تفاوتی را نشان ندادند، ولی در طی دوره آزمایش این شاخص ها در مقایسه با خوراک شاهد از نظر مقادیر به‌دست آمده بالاتر بودند ($P<۰/۰۵$). همچنین مقادیر پروتئین خام، چربی خام، رطوبت و خاکستر در ترکیب لاشه در هر دو گروه تقریباً یکسان و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($P>۰/۰۵$). بر این اساس، به‌نظر می‌رسد افزودن مقادیر مشخص شده متیونین و اسپرولینا می‌تواند بر عملکرد رشد ماهی اوزون‌برون مؤثر باشد.

استناد: محمدرضائی، داود؛ دادفر، محمد؛ و غفاری‌زاده، علی اکبر (۱۴۰۵). تأثیر بکارگیری پودر جلبک اسپیرولینا و اسیدآمینه متیونین در جیره ازون‌برون‌های جوان (*Acipenser stellatus*) بر عملکرد رشد و ترکیب لاشه آنها. *علوم آبزی‌پروری*، ۱۴(۱)، ۶۸-۵۷.

ناشر: انجمن آبزی‌پروری ایران.

© نویسندگان.

مقدمه

امروزه استفاده از ترکیبات پروتئینی گیاهی در خوراک آبزیان به‌دلیل هزینه بالای تأمین پودر ماهی امری اجتناب‌ناپذیر است. جلبک‌ها از اقلام خوراکی نو ظهور هستند که به‌دلایل خواص و ویژگی‌های غذایی خاص، امروزه در صنایع مختلف به‌عنوان پریبیوتیک مصرف می‌شوند (Capelli and Cysewski, 2010). این ترکیبات دارای تأثیر مثبت بر شاخص‌های رشد، فعالیت متابولیسم کبدی و روده‌ای می‌باشند. در این میان جلبک *Arthrospira platensis* می‌تواند به‌عنوان مکمل نسبی یا جایگزین پروتئین‌ها در خوراک آبزیان استفاده شود (Volkman*et al.*, 2008). مطالعات نشان می‌دهد که افزایش مکمل اسپیرولینا به خوراک گربه ماهی (*Clarias gariepinus*) انگشت قد به میزان ۵ درصد خوراک و در ماهی تیلاپیا تا ۱۰ درصد خوراک سبب بهبود عملکرد رشد و فراسنجه‌های خونی مرتبط با ایمنی ماهیان شده است (Abdel-Tawwab*et al.*, 2008; Promya *et al.*, 2011). به‌دلیل تفاوت در نوع اسیدهای آمینه‌های موجود در پروتئین‌های گیاهی، استفاده از این منابع پروتئینی در خوراک آبزیان با محدودیت‌های مواجه می‌باشد. متیونین یکی از اسیدهای آمینه محدودکننده در اجزای غذایی مورد استفاده در خوراک ماهیان تجاری می‌باشد، این محدودیت در مواردی که پودر ماهی با منابع پروتئینی گیاهی جایگزین می‌شود، افزایش می یابد (Mai *et al.*, 2006). میزان نیاز به متیونین در ماهیان ۲-۳ درصد پروتئین جیره است (Wilson, 2003). تحقیقات در خصوص ماهی خاویاری سفید (*Acipenser transmontanus*)، میزان مطلوب متیونین در این ماهیان را ۲/۱۴ درصد پروتئین جیره گزارش داده اند (Wilson, 2002). Hosseini و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر متیونین بر شاخص‌های بیوشیمیایی تاسماهی بیان کردند که این اسید آمینه می‌تواند بر سطح پروتئین کل اثر گذار بوده و خصوصیات بیوشیمیایی سرم تاسماهی را تحت تأثیر قرار دهد.

ماهی ازون برون (*Acipenser stellatus*) گونه ای از ماهیان خاویاری بوده که در حوضه جنوبی دریای خزر پراکنش دارد. در شرایط پرورشی در سن ۶ سالگی بالغ شده و وزن مولدین ماده آن به ۱۰ تا ۱۴ کیلوگرم می‌رسد. این ماهی از جمله ماهیان خاویاری با ارزش اقتصادی بالا می‌باشد. علی‌رغم اندازه کوچک ماهی، از گوشت خوبی برخودار بوده و در دمای بین ۱۵ تا ۲۷ درجه در محیط های پرورشی به خوبی رشد می‌کند (Pourdeghani *et al.*, 2019).

باتوجه به نقش تغذیه در آبزی‌پروری و اهمیت هزینه‌های بالای آن در پرورش آبزیان (۴۰ تا۵۰ درصد)، باید اذعان داشت که پرورش موفق ماهیان نیاز به استفاده از خوراک کامل، کارآمد با ترکیب بهینه دارد (Aprodu *et al.*, 2012). بنابراین فراهم‌سازی تمام ترکیبات تغذیه‌ای ضروری، نظیر پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی در خوراک آبزیان می‌تواند رشد سریع و سلامت آنها را تضمین نماید (Cho *et al.*, 2005). کیفیت پروتئین و ترکیب اسیدهای آمینه خوراک دو فاکتور مهم اثرگذار بر روی رشد ماهیان هستند. عملکرد اصلی اسیدهای آمینه، کاربرد آنها در ساختن پروتئین می‌باشد. بیست عدد از ۸۰ اسید آمینه طبیعی در ساخت پروتئین نقش دارندکه یک دوم از آنها به‌عنوان محدودکننده یا ضروری تلقی شده و باید از طریق خوراک تأمین گردند، چراکه زنجیره کربنی آنها در بدن آبزی ساخته نمی‌شود (Rønnestad *et al.*, 2000).

از آنجا که اساس تولید پایدار آبزیان، بهینه‌سازی مصرف پروتئین در خوراک می‌باشد و باتوجه به اهمیت اسیدهای آمینه ضروری به‌عنوان پیشنیاز در ساخت پروتئین، بهینه‌سازی آنها، می‌تواند باعث جبران اثرات زیست‌محیطی پرورش آبزیان، بهبود عملکرد رشد و سودآوری صنعت آبزی‌پروری شود (Li *et al.*, 2009). استفاده از اسیدآمینه خوراک در بدن آبزیان، مستلزم آن است که همه اسیدهای آمینه به مقدار و نسبت مناسب و به‌طور همزمان برای ساخت پروتئین وجود داشته باشند. متیونین یک اسید آمینه ضروری برای ماهیان است که کمبود آن باعث کاهش رشد و کارایی خوراک می شود (Wilson, 2002). از نظر زیستی نیز متیونین دارای اهمیت فراوانی است، بخش گوگردی این اسید آمینه به‌عنوان دهنده گروه متیل برای ساخت اسپرمیدین به‌کار گرفته می‌شود، که این عمل نقش بسیار مهمی در تنظیم سوخت و ساز بدن ماهی دارد (Mai, 2006).

Pourali Foshtomi و همکاران (۲۰۱۴)، با بیان ضرورت حضور اسید آمینه متیونین در خوراک تاسماهی ایرانی برای بهبود عملکرد رشد، گزارش کردند که اسیدهای آمینه کریستاله مکمل شده موجود در این خوراک‌ها می‌تواند در این گونه از ماهیان به

راحتی مصرف شود. همچنین برای دستیابی به حداکثر ظرفیت بازدهی رشد و تغذیه و بازماندگی بچه تاسماهی ایرانی می‌توان بدون کاهش کیفیت غذای کنسانتره حاوی ۴۳ درصد پروتئین به‌ویژه با منابع پروتئینی گیاهی، از اسیدهای آمینه متیونین و لایزین به مقدار مناسب استفاده نمود. این مسئله می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های تولید، بهبود عملکرد رشد و کارایی غذای مصرفی در صنعت آبزی‌پروری تاسماهیان گردد. از این‌رو، زمان استفاده از اسیدهای آمینه به‌عنوان جاذب‌های غذایی به‌منظور ارتقای کیفی جیر ه‌های لاروی تاسماهیان فرا رسیده است. هدف این مطالعه ارائه یک خوراک مکمل حاوی اسید آمینه متیونین و پودر اسپرولینا براساس مطالعات و مقادیر به‌دست آمده در تحقیقات (Mohammadrezaei, 2020; Tayebi *et al.*, 2023) بر عملکرد رشد، بازماندگی و کیفیت لاشه تاسماهی جوان اوزون‌برون به‌منظور تولید و معرفی غذایی با کیفیت درصنعت آبزی‌پروری تاسماهیان است.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در کارگاه شیلات دانشگاه ملایر انجام گرفت، عملکرد رشد و ترکیب لاشه بچه‌ماهیان اوزون‌برون تغذیه شده با اسید آمینه متیونین و پودر اسپرولینا در طی ۸ هفته بررسی شد. بدین‌منظور تعداد ۲۴ قطعه بچه‌ماهی با میانگین وزن اولیه ۱/۳ ± ۲۰/۰۱ به‌طور تصادفی برای هر تیمار در ۳ حوضچه با جریان آب گردشی و ۳۰٪ آب جایگزین با حجم آبگیری ۸۰ لیتر (۳ حوضچه شاهد و ۳ حوضچه تیمار با مجموع تعداد ماهی ۴۸ عدد) توزیع گردید. ماهیان دو بار در روز به میزان ۴ درصد وزن بدن با خوراک حاوی اسید آمینه متونین به میزان ۱/۵ درصد و اسپرولینا به میزان ۵ درصد و خوراک شاهد (شرکت ۲۱ بیضاء، استان فارس، ایران) تغذیه شدند. شرایط محیطی مخازن از نظر اکسیژن، نور، دما و pH در طول دوره بررسی یکسان بود (جدول ۱). در هر مخزن از یک بیوفیلتر (شرکت ماهیران–ایران) جهت هوادهی و بهبود کیفیت آب استفاده گردید. جهت آماده‌سازی خوراک‌ها، از غذای آغازین قزل‌آلا (SFT0) شرکت تعاونی تولیدی ۲۱ بیضاء (ترکیبات: پودر ماهی، کنجاله سویا، ذرت، گلوتن گندم، گندم، گلوت نذرت، روغن گیاهی، روغن ماهی، پودر گوشت، پودر خون، مکمل ویتامینه ویژه، مکمل معدنی ویژه، نمک، آنزیمیت، جوش شیرین، توکسین بایندر، ترکیبات ضدعفونی، ال‌کارنتین، لیزین، متیونین، آنتی‌اکسیدان و مولتی آنزیم) به‌عنوان خوراک پایه استفاده گردید (جدول ۲).

جدول ۱- شاخص های کیفی آب در طول دوره آزمایش

فراسنجه‌ها	دما (سانتی‌گراد)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	pH
مقادیر	۱ ± ۲۱/۳۸	۰/۵۶ ± ۸/۳۸	۰/۱۲ ± ۸/۱۸

جدول ۲- درصد و اجزاء غذایی تشکیل‌دهنده جیره‌ها (گرم بر صد گرم جیره خشک)

اقلام غذایی	شاهد	جیره آزمایشی
پودر کیلکا ۱	۳۶	۳۶
نشاسته ذرت ۱	۲۰/۵	۲۰/۵
آرد سفید گندم ۱	۷	۷
ژلاتین۱	۴	۴
روغن ماهی ۱	۱۱	۱۱
مکمل ویتامینی۱	۱	۱
مکمل معدنی۱	۱	۱
پودر اسپرولینا[۲]	۰	۵
متیونین[۳]	۰	۱/۵
آنالیز تقریبی خوراک		
پروتئین خام ٪		۴۸-۵۲
چربی خام ٪		۱۶-۱۹
انرژی قابل هضم		۴۳۰۰-۵۰۰۰
رطوبت ٪		کمتر از ۱۰ ٪

۱. موارد تهیه شده از شرکت خوراک دام، طیور و آبزیان ۲- بیضا. ۳. تهیه شده از شرکت سیانس–قزوین

جهت آماده‌سازی خوراک، ابتدا خوراک تهیه شده از کارخانه توسط آسیاب برقی تبدیل به پودر گردید سپس مکمل تهیه شده از مخلوط اسپرولینا و اسید آمینه متیونین طبق درصدهای بیان شده به آن اضافه گردید. در پایان مخلوط تهیه شده با استفاده از چرخ گوشت با چشمه ریز تبدیل به گرانول شد. خوراک پس از خشک شدن در اختیار ماهیان طبق دستورالعمل تغذیه‌ای قرار گرفت (Hosseini *et al.*, 2013; Mohammadrezaei, 2020). پس از اتمام دوره تغذیه‌ای ماهیان پس از بیهوشی با پودر گل میخک به میزان ۱۵۰ ppm، زیست‌سنجی شده و شاخص‌های رشد براساس فرمول‌های زیر محاسبه شدند (Mohammadrezaei *et al.*, 2011):

ضریب تبدیل غذایی: $$FCR = \frac{\text{مقدار غذای داده شده}}{\text{افزایش وزن}}$$

ضریب رشد ویژه (درصد وزن بدن در روز): $$SGR = \frac{(ln\ \text{وزن پایانی} - ln\ \text{وزن اولیه})}{\text{طول دوره}} \times 100$$

ضریب چاقی : $$CF = \frac{\text{وزن پایانی}}{(\text{طول کل})^3} \times 100$$

درصد افزایش وزن: $$BWI = \frac{\text{میانگین وزن اولیه تانک} - \text{میانگین وزن پایانی تانک}}{\text{میانگین وزن اولیه تانک}} \times 100$$

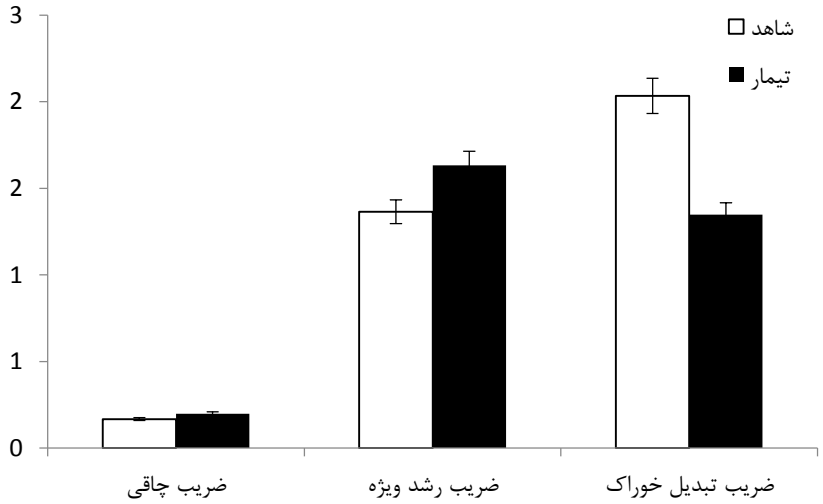
کارائی غذا: $$FE = \frac{\text{افزایش وزن}}{\text{مقدار غذای داده شده}}$$

شاخص احشائی: $$VI = \frac{\text{وزن امعا و احشا}}{\text{وزن ماهی}} \times 100$$

پس از زیست‌سنجی ماهیان، از بافت عضله ماهیان نمونه‌گیری و کیفیت لاشه براساس شیوه‌های عنوان شده در روش استاندارد (AOAC, 1995) مورد آزمایش قرارگرفت. پروتئین خام به روش کجلدال و از طریق تعیین نیتروژن کل محاسبه گردید. چربی خام از طریق حل کردن در اتر و تعیین مقدار آن به روش سوکسله انجام شد. رطوبت از طریق قراردادن نمونه در آون باحرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت و خاکستر از طریق قرار دادن نمونه درکوره الکتریکی با حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری گردید (Mohammadrezaei, 2020). در پایان داده‌های به‌دست آمده پس از بررسی نرمال بودن، با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰۲۰ به روش آزمون T مستقل (Independent t-test) و در سطح ۵ درصد تجزیه‌وتحلیل شده و میانگین‌های بین هر دوتا پارامتر مقایسه و مورد بررسی قرار گرفتند.

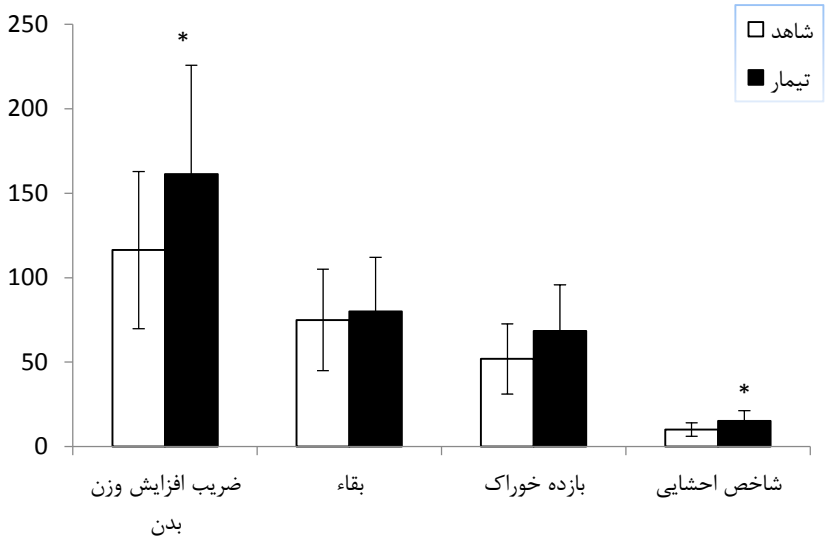
نتایج

نتایج پارامترهای بیوشیمیایی و رشد بچه‌ماهیان اوزون‌برون تغذیه شده با خوراک تیمار در نمودارهای شکل‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. طبق نمودار ۱، شاخص‌های ضریب چاقی، ضریب رشد و ضریب تبدیل خوراک از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند ($P< ۰/۰۵$)، ولی از نظر کمی، خوراک حاوی اسید آمینه متیونین و اسپرولینا براساس شاخص‌های ذکر شده در مقایسه با خوراک شاهد نتایج بهتری را نشان داد.



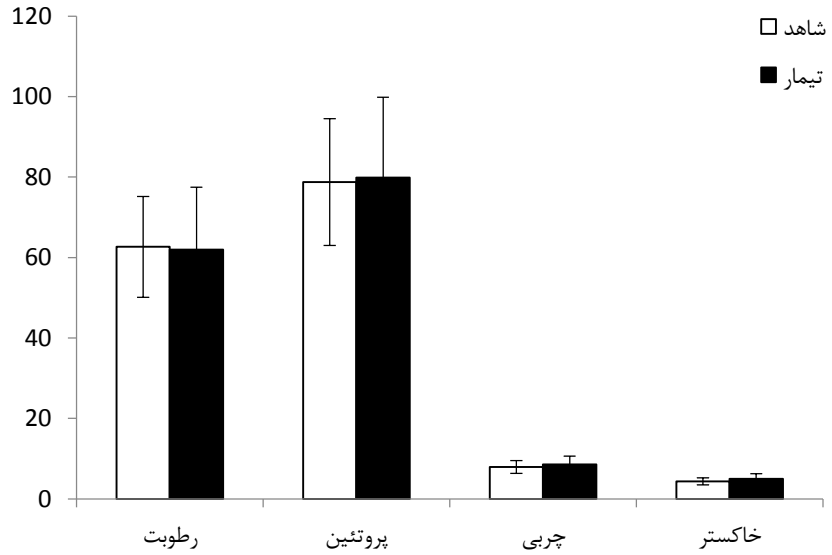
شکل ۱- نمودار مقایسه نتایج ضریب چاقی، ضریب رشد و ضریب تبدیل خوراک در بچه‌ماهی اوزون‌برون تغذیه شده با خوراک حاوی اسپرولینا+متیونین

طبق نمودار شکل ۲ در بین شاخص‌ها، ضریب افزایش وزن بدن و شاخص احشائی در بچه‌ماهیان اوزون‌برون اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان دادند ($P<$ ۰/۰۵). در حالی‌که شاخص‌های بقاء و بازده خوراک علی‌رغم بهتر بودن از نظر عددی ولی با خوراک شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند.



شکل ۲- مقایسه نتایج ضریب افرایش وزن بدن، شاخص احشائی، بازده خوراک و بقاء در بچه‌ماهی اوزون‌برون تغذیه شده با خوراک حاوی اسپرولینا+متیونین

نتایج حاصل از تجزیه تقریبی لاشه در هر دو تیمار تغذیه شده با خوراک های آماده شده نشان داد، مقادیر پروتئین خام، چربی خام، رطوبت و خاکستر در ترکیب لاشه در هر دو گروه تقریبا یکسان است (نمودار ۳) و از این نظر اختلاف معنی داری از نظر آماری ندارند ($P<$ ۰/۰۵). هرچند از نظر مقدار ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی اسپرولینا و اسید آمینه متیونین مقادیر بالاتری را نشان دادند.



شکل ۳- نمودار مقایسه نتایج آنالیز لاشه (درصد پروتئین خام، رطوبت، خاکستر و چربی خام) بر اساس ماده خشک در بچه ماهی اوزون برون تغذیه شده با خوراک حاوی اسپرولینا+متیونین

بحث و نتیجه‌گیری

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه استفاده از جلبک اسپیرولینا بر روی شاخص‌های رشد صورت گرفته است (Saroch *et al.*, 2012). نتایج این مطالعه نشان داد که اسپیرولینا به‌عنوان یک پریبیوتیک اثر مستقیمی در بهبود بازدهی رشد بچه‌ماهی اوزون‌برون دارد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با سایر گزارش‌ها مطابقت داشت (Balasubramanian and Subramanian, 2014). نتایج این تحقیق با نتایج بررسی افزایش اسید آمینه لایزین و متیونین به خوراک فیل ماهی بر پایه پروتئین گیاهی سویا مطابقت داشت (Mohseni *et al.*, 2016). طبق مطالعه حاضر، ماهیان تغذیه شده با خوراک مکمل اسپیرولینا و متیونین در مقایسه با تیمار شاهد، عملکرد رشد بهتر و از نظر کیفیت لاشه، وضعیت مناسبت‌تری را نشان دادند. Yaghoubi و همکاران (۲۰۱۷) نیز در مطالعه خود در ماهی صبیتی جوان نشان دادند عدم حضور کافی اسید آمینه متیونین در خوراک می‌تواند سبب کاهش چربی خام و شاخص‌های رشد گردد. همچنین گربه ماهی (*Pangasianodon gigas*) تغذیه شده با خوراک حاوی اسپرولینا (جایگزین پودر ماهی) عملکرد رشد و ترکیب لاشه بهتر در مقایسه با گروه شاهد نشان داده شده است. این اثر را می‌توان به ارزش غذایی بالای اسپیرولینا نسبت داد، چراکه اسپیرولینا به‌عنوان یک مکمل غذایی اثرات بسیار مفیدی برای انسان و آبزی‌پروری دارد (Tongsiri and Yuwadee, 2010). از سویی دیگر به‌نظر می‌رسد افزایش بیش از حد اسپیرولینا می‌تواند منجر به سفت‌تر شدن غذا شده و هضم‌پذیری آن‌را با مشکل مواجه سازد (Güroy *et al.*, 2012). اسپیرولینا جزء میکروارگانیسم‌های مفیدی است که می‌تواند سبب افزایش عملکرد رشد شود، این میکرو ارگانیسم‌ها می‌توانند با تأثیر بر عملکرد فلور دستگاه گوارش آثار مفیدی را بر جای بگذارند (Ibrahim *et al.*, 2004). از این‌رو بهبود عملکرد رشد ماهیان را می‌توان به عملکرد بهتر فلور باکتریایی روده در آنها نسبت داد، چراکه مشخص شده است که کپور ماهیان تغذیه شده با سطوح مختلف اسپیرولینا از نظر فلور باکتریایی روده از عملکرد بهتری برخوردار بوده‌اند به‌طوری‌که خوراک حاوی ۱۰ درصد اسپیرولینا بیشترین بار میکروبی فعال را برای کپور معمولی فراهم می‌نماید (Abdulrahman and Ameen, 2014). افزایش شاخص احشائی نیز در تیمار آزمایشی نشان‌دهنده اثر گذاری این ترکیب بر ساختار دستگاه گوارش می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش زمان ماندگاری غذا در روده و درنتیجه جذب بیشتر غذا و بازدهی رشد بهتر است.

تجزیه تقریبی لاشه نشان داد که افزودن اسپیرولینا و متیونین به خوراک، تأثیری بر میزان پروتئین خوراک ندارد ولی می‌تواند سطح چربی و کربوهیدرات لاشه را تحت تأثیر قرار دهد. تغییر در سطح کربوهیدرات و چربی به‌دلیل حضور اسپیرولینا در خوراک پیش از این گزارش شده است (Balasubramanian and Subramanian, 2014). این تغییرات می‌تواند با تغییر در ساخت و نسبت ذخیره این ترکیبات در عضله ماهی در ارتباط باشد (Abdel-Tawwab *et al.*, 2008). استفاده از پودر جلبک در خوراک نقش مهمی در ساخت و متابولیسم چربی دارد به‌نحوی که استفاده از این ترکیب در خوراک منجر به تغییر متابولیسم چربی شده و سبب ذخیره چربی در فصل زمستان گذرانی سیم دریایی می‌شود (Nakagawa *et al.*, 1987). افزودن اسپیرولینا و متیونین به خوراک تا حد مطلوب ممکن است سبب بهبود کارایی دیگر اسیدهای آمینه ضروری از طریق افزایش ساخت پروتئین و یا کاهش تولیدات اضافی شود. افزایش نسبی سطح پروتئین لاشه در تیمار آزمایشی را می‌توان به وجود متیونین در خوراک نسبت داد، هرچند که این اختلاف معنی‌دار نمی باشد. در مطالعه Movahedian و همکاران (۲۰۱۶) استفاده از اسید آمینه متیونین در جیره منجر به افزایش سطح پروتئین خام گردید. از آنجا که نقش اصلی اسیدآمینه متیونین، در ساخت پروتئین‌های ساختاری و رشد مطلوب در ماهی می‌باشد، همچنین برخی مشاهدات نیز افزایش سنتز پروتئین خالص را به افزایش سطح اسیدآمینه متیونین در جیره غذایی تا حد مشخصی نسبت داده اند (Movahedian *et al.*, 2016). متیونین دارای چند عملکرد متابولیکی اصلی است که از آن جمله می‌توان به نقش آن در ساخت پروتئین به‌عنوان اسید آمینه ضروری اشاره نمود، همچنین در واکنش‌های متیلاسیون به‌عنوان دهنده متیل عمل می‌کند (Zhou *et al.*, 2011). اسیدهای آمینه نامتعادل در خوراک، سبب افزایش اکسیداسیون دیگر اسیدهای آمینه می‌شوند، در حالی‌که تعادل اسید آمینه‌ها، افزایش ابقای اسیدهای آمینه را باعث می‌شوند (Xie *et al.*, 2012). بهتر بودن شاخص‌های رشد در تیمار آزمایشی را نیز می‌توان به وجود متیونین همراه با اسپرولینا در خوراک نسبت داد. طبق مطالعه Mohseni و همکاران (۲۰۱۶)، در فیل ماهیان جوان پرورشی ترکیب لاشه،کارایی رشد و تغذیه به‌طور مؤثری با استفاده از مکمل اسید آمینه متیونین بهبود یافت. طبق نتایج، حضور اسیدآمینه متیونین و اسپرولینا در خوراک تأثیر مطلوبی بر روی پارامترهای رشد، کارایی و ضریب تبدیل خوراک داشت. تفاوت با برخی از مطالعات را باید در گونه‌های ذکر شده، تفاوت در نیازهای متابولیکی گونه‌ها و همچنین مصرف روزانه پروتئین توسط ماهی، تنوع فرمولاسیون خوراک، نوع و مقدار پروتئین مورد استفاده و رژیم‌های غذایی جستجو نمود. در مجموع باتوجه به نتایج حاصل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزودن اسپیرولینا و متیونین به خوراک آبزیان می‌تواند ضمن افزایش میزان رشد، ضریب تبدیل خوراک را کاهش داده و با کوتاه‌تر کردن دوره پرورش صرفه اقتصادی آبزی‌پروری را افزایش دهد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست دانشگاه ملایر انجام شد.

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید آنهاست.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب تشکر خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه به‌جهت حمایت مالی در اجرای طرح اعلام می‌دارند.

References

Abdel-Tawwab M., Ahmad M.H., Abdel-Hadi Y.M., Seden M.E.A. 2008. Use of spirulina (*Arthrospir platensis*) as a growth and immunity promoter for nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fry challenged with pathogenic *Aeromonas hydrophila*. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. pp. 1015-1032.

Abdulrahman N.M., Ameen H.J. 2014. Replacement of fishmeal with microalgae spirulina on common carp weight gain, meat and sensitive composition and survival. *Pakistan Journal of Nutrition* 13, 93.

AOAC, 1995. Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists International. *4nd edition. Arlington, VA, USA. pp. 634.*

Aprodu I., Vasile A., Gurau G., Ionescu A., Paltenea E. 2012. Evaluation of nutritional quality of the common carp (*Cyprinus carpi*o) enriched in fatty acids. *Food Technology* 36(1), 61-73.

Capelli B., Cysewski G.R. 2010. Potential health benefits of spirulina microalgae. *Nutrafoods* 9, 19-26.

Cho S.H., Lee S.M., Lee J.H. 2005. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximusL.*) reared under optimum salinity and temperature conditions. *Aquaculture Nutrition,* 11, 235-240.

Güroy, B.; Sahin, I.; Mantoglu, S. and Kayali, S., 2012. Spirulina as a natural carotenoid source on growth, pigmentation and reproductive performance of yellow tail cichlid *Pseudotropheus acei. Aquaculture International, 20, pp. 869- 878.*

Hosseini S.M., Hosseini S.A., Sudagar M. 2016. Effect of dietary taurine and methionine on blood serum lipids, glucose and proteins levels in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897) fed plant-based diets. *Journal of Animal Environmental Research*, 8(1), 129-136.

Hosseini S.M., Hosseini S.A., Soudagar M. 2013. Effects of dietary free L-Lysine on growth performance and muscle composition of Beluga *Huso huso* (Linnaeus 1785) juveniles. *International Journal of Aquatic Biology* 1(2), 42-47.

Ibrahim F., Quwehand A.C., Salminen S.J. 2004. Effect of temperature on invitro adhesion of fish probiotics. *Microbial Ecology in Health and Disease,* 16, 222-227.

Li P., Mai K.S., Trushenski Jesse., Wu G.Y. 2009. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. Amino Acids, 37, 43–53. *Lovell, T., 1989. Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand-Reinhold, New York, NY.*

Mai K., Zhang L., Ai Q., Duan Q., Zhang C., Li H., Wan J., Liufu Z., 2006. Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture* 258, 535-542.

Mohammadrezaei D., Tayebi L., Sobhanardakani S., Cheraghi M. 2011. Growth performance and food conversion ratio of Persian sturgeon (*Acipenser persicus)* at different level of dietary protein. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IACSIT Press, Singapore. IPCBEE* 6, 365-367.

Mohammadrezaei D. 2020. Effect of spirulina and clove powder on growth performance and carcass composition in common carp fingerlings (*Cyprinus carpio*). *Journal of Animal Environmental Research*, 12(2), 189-194.

Mohseni M., Pourkazemi M., Seyed Hassani M.H., Pourali H. 2016. Effects of dietary lysine and methionine supplementation on growth, nutrient utilization and carcass compositions in beluga, *Huso huso*, fed soy protein-based diet. *Iranian Scientific of Fisheries Journal*, 25 (1), 119-133.

Movahedian R., Zakeri M., Kochanian P., Mousavi S., Taghavi Moghadam A. 2016. Intestinal digestive enzyme activity under the influence of different dietary supplements methionine and lysine in the diet of *Sparidentex hasta*. *Iranian Scientific of Fisheries Journal* 25(2), 79-93.

Nakagawa H., Kasahara S., Sugiyama T. 1987. Effect of Ulva meal supplementation on lipid metabolism of black sea bream, *Acanthopagrus schlegeli* (Bleeker). *Aquaculture* 62, 109-121.

Pourali Foshtomi H., Yazdani Sadati M.A., Peykaran Mana N., Hafezieh M., Daravi Ghaziani S. 2014. Effects of Supplemental Lysine and Methionine on Growth Performance and Survival Rates of Persian Sturgeon (*Acipenser persicus*) Fingerlings. *Journal of Oceanography* 4(16), 63-75.

Pourdeghani M., Yousefi Jourdehi A., Kazemi R., Bahmani M., Hallajian A., Yarmohammadi M. 2019. Artificial Propagation and Rearing Process of Sturgeon Fish. *Sturgeon Extention Journal* 2(2), 1-16.

Promya J., Chitmanat C. 2011. The effects of *Spirulina platensis* and cladophora algae on the growth performance, meat quality and immunity stimulating capacity of the African Sharp tooth Catfish (*Clarias gariepinus*). I*nternational Journal of Agriculture and Biology* 13, 77-82.

Rønnestad I., Conceição L.E., Aragão C., Dinis M.T. 2000. Free amino acids are absorbed faster and assimilated more efficiently than protein in postlarval Senegal sole (*Solea senegalensis*). *The Journal of Nutrition* 130, 2809-2812.

Saroch J.D., Shrivastav R., Manohar, S., Quereshi T.A. 2012. Effect of Spirulina impregnated feed on the fingerlings of Catla *(Catla catla). Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 27, 55-67.

Subramanian A., Balasubramanian U. 2014. Effect of spirulina on growth and biochemical performance in common carp *Catla catla* and *Labeo rohita* (Fingerlings). *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture* 4, 140-144.

Tayebi L., Dadfar M., Mohammadrezaei D. 2023. Effect of different level of methionine on growth performance and body composition of juvenile of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*). *Journal of Animal Environmental Research* 15(2), 243-248.

Tongsiri K.A., Yuwadee P. 2010. Effect of Replacing Fishmeal with Spirulina on Growth, Carcass Composition and pigment of the Mekong Giant Catfish. *Asian Journal of Agricultural Sciences* 2, pp. 106-110.

Volkman H., Imianovsky U., Oliveira J.L.B., Santanna E.S. 2008. Cultivation of arthrospira (*Spirulina platensis)* in desalinator wastewater and salinated synthetic medium: protein content and amino-acid profile. *Brazilian Journal of Microbiology* 39, 98-101.

Wilson R.P. 2002. Amino acids and proteins. In: Fish nutrition (ed. by Halver, J. and Hardy, R.) *Academic Press. San Diego, California, USA*, pp. 143-179.

Xie F., Ai Q., Mai K., Xu W., Wang X. 2012. Dietary lysine requirement of large yellow croaker *Pseudo sciaenacrocea*, (Richardson 1846) larvae. *Aquaculture Research* 43, 917-928.

Yaghoubi M.G., Marammazi J., Safari O., Torfi Mozanzadeh M. 2017. Effects of branched-chain amino acid deficiency in diets on growth factors, pancreatic enzymes activity and whole body proximate of Sobaity seabream juvenile *(Sparidentex hasta*). *Journal of Aquatic Ecology* 6(4), 76-90. (In Persian)

Zhou F., Shao Q.-j., Xiao J.-x., Peng X., Ngandzali B.-O., Sun Z., Ng W.-K. 2011. Effects of dietary arginine and lysine levels on growth performance, nutrient utilization and tissue biochemical profile of black sea bream, (*Acanthopagrusschlegelii*), fingerlings. *Aquaculture* 319, 72-80.