(DOI): 10.22092/ISFJ.2025.134488 34(4) 1-17 Iranian Scientific Fisheries Journal

Effect of dietary tryptophan on growth performance, survival and hematological indices of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) at different stocking densities

Naghibi M.[1]; Sajjadi M.M.[1]; Mohseni M.[2]; Falahatkar B.[1*]

*falahatkar@guilan.ac.ir

1-Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran

2-International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Received: February 2025 Accepted:June 2025 Published: November 2025

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

According to world's growing population, one of the most important problems is food security. On the other hand, aquaculture is considered one of the important industries for providing protein and food resources worldwide, which has always faced numerous challenges (Pauly and Zeller, 2017). Given the issue of food security, the primary goal of aquaculturists is to achieve higher production. However, one of the most significant problems in aquaculture is the lack of water resources (Falahatkar and Rahdari, 2017). The lack of water resources has led fish producers to use increased stocking density as a solution to improve production. The increase in density can cause stress. One of the ways to achieve much production is to improve formulated diets to enhance the growth and health of fish. Researchers have added tryptophan to the diets of cultured fish to improve growth performance because it has been shown that this amino acid can improve growth performance as a very important economic indicator (Hosseini *et al*., 2020; Jhon *et al*., 2024; Zhang *et al*., 2024). Therefore, the present study was conducted with the hypothesis that growth, survival, and hematological indices in high-density cultured juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) would improve with the supplementation of dietary tryptophan.

Methodology

The study was conducted with 12,000 juvenile Siberian sturgeons with an average weight of 10.24±0.10 g in 8 experimental treatments with three replicates in 24 tanks as follows: Treatments 1 and 2 (fish fed with no dietary tryptophan at densities of 1.3 (LD; low density) and 2.6 kg/m² (HD; high density), respectively), Treatments 3 and 4 (fish fed with diets containing 0.2% tryptophan in the protein at densities of 1.3 and 2.6 kg/m², respectively), Treatments 5 and 6 (fish fed with diets containing 0.4% tryptophan in

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

the protein at densities of 1.3 and 2.6 kg/m², respectively), Treatments 7 and 8 (fish fed with diets containing 0.6% tryptophan in the protein at densities of 1.3 and 2.6 kg/m², respectively). The juvenile sturgeons were fed at 3% of their body weight for 12 weeks. At the end of the rearing period, the fish were weighed and growth indices were measured. Blood samples were taken for hematological analysis. To assess the effects of stocking density and tryptophan levels on growth performance, survival, and hematological indices, a Two-way ANOVA test was used, followed by Tukey's test for comparisons at the $P \leq 0.05$ significance level.

Results

The analysis of growth performance at the end of the experimental period showed that different tryptophan levels, stocking densities, and their interaction had significant effects on WG, BWI, SGR, and DGR ($p \leq 0.05$). In all mentioned factors, tryptophan in LD with diets containing tryptophan showed significant differences compared to control and HD. The highest levels of these parameters were observed at 0.4% tryptophan in LD. Results showed no significant differences between treatments fed with different diets containing tryptophan in feed intake, but stocking densities and their interaction had significant effects ($p \leq 0.05$). The interaction effect of different tryptophan levels and stocking densities on PER, CF, and FCR showed significant effects of different tryptophan levels and stocking densities on these growth indices, with no significant interaction effect ($p \leq 0.05$). While the impact of diets containing tryptophan in LD showed significant differences, this difference was not observed in HD. The interaction effect of tryptophan and stocking density on SR was not significant, and survival rates were 100% in all treatments ($p \leq 0.05$). In hematological indices, different tryptophan levels, stocking densities, and their interaction had significant effects on RBC ($p \leq 0.05$), with the best performance in LD fed with 0.4% tryptophan. Tryptophan and stocking density had significant effects on WBC, HB, and HCT, with no significant interaction effects ($p \leq 0.05$). WBC and HB levels in both density treatments showed significant differences, with the highest WBC in LD with 0.2% tryptophan and HD with 0.6% tryptophan. The highest HB levels were observed at 0.4% tryptophan in both densities treatments. The highest HCT levels was observed at 0.4% tryptophan in LD, while no significant differences were observed in HCT at different tryptophan levels in HD.

Discussion and conclusion

The results of this study showed the positive impact of using tryptophan on growth performance and increased production in LD. Threre was no significant effect on growth indices in HD. The negative effects of density and stress on growth performance divert the body's micronutrient reserves from their primary function, using for stress response instead of growth, leading to reduced growth (Dabrowski *et al*., 1996). Additionally, regarding the positive effect of 0.4% tryptophan on hematological indices in juvenile Siberian sturgeon culture, results showed that in LD, using this diet positively affected all hematological indices, promoting the health of Siberian sturgeon. In HD, although tryptophan had no significant impact on RBC and HCT, it positively affected WBC and HB, improving the health of Siberian sturgeon. It appears that improving hematological indices with diets containing tryptophan in HD increases fish

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

tolerance to stress in HD. In general, it can be concluded that providing the necessary amount of tryptophan in the diet is essential for the growth, development and health of Siberian sturgeon at HD by improving hematological indices. Therefore, it is recommended to use 0.4% tryptophan to increase production and improve health conditions in Siberian sturgeon, especially under high density conditions.

Conflict of interest

The corresponding author, on substitute of all authors of this article, announces that in publishing this article, publication ethics, including plagiarism, research misbehavior, data cheating, or both submission and publication, have been completely avoided, and there are no commercial benefits, and the authors have not received any payment for presenting their work. Therefore, the originality of the content of this article is declared. This work has not been previously published elsewhere and has not been submitted to another journal at the same time. Hereby, it grants permission to the publisher to publish the article and its contents, including text, tables, figures, etc.

Acknowledgments

We would like to express our gratitude to the Beluga Caviar Fish Farm, International Sturgeon Research Institute and the Faculty of Natural Resources, University of Guilan.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

مجله علمی شیلات ایران ۳٤ (٤) ۱-۱۷ (DOI): 10.22092/ISFJ.2025.134488

مقاله علمی – پژوهشی:

اثر تریپتوفان جیره در تراکم‌های مختلف پرورش بچه تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) بر عملکرد رشد، بقا و برخی شاخص‌های خونی

معصومه نقیبی[۱]، میرمسعود سجادی[۱]، محمود محسنی[۲]، بهرام فلاحتکار*[۱]

*falahatkar@guilan.ac.ir

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
۲- انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱٤۰۳ تاریخ پذیرش: خرداد ۱٤۰٤ تاریخ چاپ: آبان ۱٤۰٤

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر سطوح مختلف تریپتوفان جیره بر عملکرد رشد و برخی از شاخص‌های خونی بچه تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) در تراکم‌های مختلف پرورش بود. بدین منظور، بچه تاسماهیان سیبری با میانگین وزن ۰/۱۰±۱۰/۲۴ گرم در دو تراکم پایین (LD؛ ۱/۳ کیلوگرم در مترمربع) و بالا (HD؛ ۲/۶ کیلوگرم در مترمربع) با جیره‌های غذایی حاوی تریپتوفان با سطوح صفر (شاهد)، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد پروتئین جیره به مدت ۱۲ هفته غذادهی شدند. نتایج تجزیه‌وتحلیل عملکرد رشد در پایان دوره آزمایش نشان داد که تریپتوفان، تراکم و برهم‌کنش آنها بر وزن نهایی، درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و میانگین رشد روزانه اثر معنی‌دار داشتند ($p\leq$۰/۰۵)، به‌طوری‌که تریپتوفان در سطح ۰/۴ درصد تیمار کم‌تراکم، دارای بهترین عملکرد بود. همچنین تراکم و برهم‌کنش تراکم و تریپتوفان بر نرخ مصرف غذا، تاثیر معنی‌دار داشتند ($p\leq$۰/۰۵)، به‌طوری‌که میزان آن در تریپتوفان ۰/۶ درصد تراکم بالا در بیشترین سطح بود. تریپتوفان بر ضریب چاقی (CF)، ضریب تبدیل غذایی (FCR) و نرخ کارآیی پروتئین (PER)، فقط در تراکم پایین، اختلاف معنی‌دار نشان داد ($p\leq$۰/۰۵). بیشترین مقدار CF در تریپتوفان ۰/۲ درصد و بیشترین مقادیر FCR و PER در تریپتوفان ۰/۴ و ۰/۶ درصد تیمارهای کم‌تراکم مشاهده شد، درحالی‌که در تراکم بالا، تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. تریپتوفان، تراکم و برهم‌کنش آنها بر بازماندگی، اثر معنی‌دار نداشت ($p\leq$۰/۰۵). در شاخص‌های هماتولوژیک، تریپتوفان، تراکم و برهم‌کنش آنها بر تعداد گلبول‌های قرمز خون، اختلاف معنی‌دار نشان داد ($P\leq$۰/۰۵) که در تیمار کم‌تراکم با تریپتوفان ۰/۴ درصد، در بیشترین سطح قرار داشت. در تعداد گلبول‌های سفید (WBC)، هموگلوبین (HB) و هماتوکریت (HCT)، در تیمارهای هر دو تراکم، اختلاف معنی‌دار دیده شد ($p\leq$۰/۰۵)، به‌طوری‌که بالاترین مقادیر WBC و HB در تریپتوفان ۰/۴ درصد تیمارهای هر دو تراکم پایین و بالا دیده شد. بیشترین HCT، در تراکم پایین با تریپتوفان ۰/۴ درصد مشاهده شد. تریپتوفان بر HCT در HD، تاثیر معنی‌دار نداشت. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بهترین عملکرد رشد تاسماهی سیبری در تیمارهای کم‌تراکم تغذیه شده با جیره‌های حاوی ۰/۴ درصد تریپتوفان نسبت به سایر تیمارها دیده شد، اگرچه جیره‌های حاوی تریپتوفان در عملکرد رشد تیمارهای پرتراکم، اختلاف معنی‌دار نداشت. استفاده از جیره‌های حاوی ۰/۴ درصد تریپتوفان، در شاخص‌های هماتولوژیک (مقادیر WBC و HB) هر دو تراکم پایین و بالا اختلاف معنی‌دار داشت. بنابراین، کاربرد جیره‌های حاوی تریپتوفان توانست در بهبود پرورش تاسماهی سیبری در شرایط تراکم بالا موثر باشد.

لغات کلیدی: ماهیان خاویاری، مواد مغذی، اسید آمینه، استرس

*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/).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائلی که انسان با آن روبرو است، امنیت غذایی برای جمعیت در حال رشد جهان بوده و این جمعیت، پس از اکسیژن، نیازمند غذا و پروتئین است (Mohseni *et al*., 2021). در طول سالیان متمادی، آبزی‌پروری یکی از صنایع مهم برای تأمین پروتئین و مواد غذایی در دنیا تلقی شده و پر واضح است که پاسخ‌گویی سریع به گسترش آبزی‌پروری و دامپروری در سراسر جهان، چالش‌های فراوانی را در این صنایع به‌همراه داشته است (Pauly and Zeller, 2017). آبزی‌پروری موفق به معنای ایجاد یک محیط کشت مناسب برای گونه مورد پرورش است، زیرا شرایط نامناسب محیطی با ایجاد استرس مزمن، میزان و کیفیت محصول تولیدی را کاهش خواهد داد (Ramsay *et al*., 2006).

تراکم از جمله مهم‌ترین عوامل استرس‌زای محیطی و به عنوان یک شاخص کلیدی در آبزی‌پروری مطرح است (Ellis *et al*., 2002; Rafatnezhad *et al*., 2008; Sayed Hassani *et al*., 2018). با توجه به مسئله امنیت غذایی، هدف اصلی آبزی‌پروران، رسیدن به تولید بیشتر است. با این‌حال، یکی از مهم‌ترین مشکلات در آبزی‌پروری کشور، کمبود منابع آبی بوده که دلیل آن کاهش فزاینده بارش سالانه در کل کشور است. همچنین مصارف انسانی آب، در اولویت هستند و به‌همین دلیل، بسیاری از منابع آبی نمی‌توانند برای تولیدات آبزی‌پروری استفاده گردند (Falahatkar and Rahdari, 2017). کمبود منابع آبی، تولیدکنندگان حوزه شیلاتی و آبزی‌پروری را بر آن داشته است تا از افزایش تراکم به عنوان یک راهکار برای افزایش تولید آبزیان استفاده کنند (Sayed Hassani *et al*., 2018). عامل استرس در کنار مبحث تراکم با اعمال مدیریت صحیح، قابل کنترل خواهد بود به‌طوری‌که مدیریت بهینه پرورش و تغذیه همراه با دبی و هوادهی مناسب در طول دوره پرورش در کاهش قابل‌ملاحظه یا حتی حذف آثار احتمالی استرس ناشی از تراکم، به طور معنی‌دار می‌تواند موثر باشد (Rafatnezhad and Falahatkar, 2011; Mohseni *et al*., 2021). برای جلوگیری از کاهش تولید آبزیان، باید راهکارهای جدیدی در پرورش آبزیان به‌کار گرفته شود تا بتوان اثرات منفی افزایش تراکم کشت و کم‌آبی را کاهش داد (Falahatkar and Rahdari, 2017) که یکی از راه‌های رسیدن به این هدف، بهبود جیره غذایی فرموله برای افزایش رشد و ارتقاء سلامت ماهیان است (Sajjadi, 2017).

تریپتوفان یک اسید آمینه ضروری محلول در آب، خنثی، بزرگ و قابل اتصال با پروتئین‌های سرم بوده که دارای نقش‌های متعددی از جمله، رفع نیاز پروتئین بدن (Pastuszewka *et al*., 2007) و سنتز آن، تنظیم غذاگیری (Seve, 1999) و کاهش بی‌اشتهایی در آبزیان شناخته شده است (Hosseini, 2010). کمبود تریپتوفان موجب کاهش تغذیه و عملکرد رشد در موجودات می‌شود (Fattahi and Hosseini, 2013). افزودن تریپتوفان به جیره می‌تواند برای جلوگیری از اختلال در رشد ماهی در شرایط استرس حاد مورد استفاده قرار گیرد که در دراز مدت می‌تواند از اثرات مضر بر سلامت و رشد ماهی جلوگیری کند (Cabanillas-Gamez *et al*., 2022). بنابراین، کاربرد مکملی مثل اسید آمینه تریپتوفان می‌تواند ایمنی را تقویت و مصرف خوراک ماهی را تعدیل کند (Conceicao *et al*., 2012). از تاثیر تریپتوفان بر شاخص‌های هماتولوژیک نیز برای حفظ عملکرد ماهی به منظور ایجاد هموستازی استفاده می‌شود که کیفیت آب و تغییرات در تغذیه، در هموستازی ماهی موثر است (Machado *et al*., 2019). شاخص‌های هماتولوژیک، شاخص مستقیمی از وضعیت کارکردی موجود زنده در مواجهه با شرایط استرسی هستند به‌طوری‌که ارتباط نزدیکی با واکنش ماهی در برابر عوامل محیطی و زیستی دارند (Cheng *et al*., 2018).

ماهیان خاویاری، ماهیانی با ارزش از نظر ریخت‌شناسی، آناتومی، فیزیولوژی و اقتصادی هستند که اهمیت آنها به دلیل تولید گوشت و خاویار و ظرفیت بالا برای هیبرید شدن است (Billard and Lecointre, 2001; Falahatkar, 2018). بنابراین، پرورش این ماهیان در محیط‌های محصور و تغذیه با استفاده از غذاهای مصنوعی به عنوان صنعتی برای تولید خاویار و گوشت تلقی می‌گردد (Hung *et al*., 2003; Geraylou *et al*., 2012). به دلیل ارزش بسیار بالای گوشت و خاویار و کاهش ذخایر آنها در زیستگاه‌های

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

طبیعی، تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری از جمله گونه‌های تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) از سال‌ها پیش، مورد توجه بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است. کشور ایران نیز از جمله پرورش‌دهندگان ماهی خاویاری به‌شمار می‌آید و گونه مذکور از گونه‌های عمده پرورشی در استخرهای بتونی در ایران هستند (Kalbassi *et al*., 2013). گونه تاسماهی سیبری، برای پرورش در انواع سیستم‌های تولیدی، مناسب بوده به‌طوری‌که متوسط وزن بدن در شرایط پرورشی نسبت به انواع مشابه در آبهای طبیعی ممکن است تا ۱۰ برابر و بیشتر باشد. از مزیت‌های این گونه به عنوان یک گونه مناسب پرورشی، برای معرفی به منابع آبی جدید و اهداف آبزی‌پروری، می‌توان به امکان دستیابی به رسیدگی جنسی در اسارت (Falahatkar, 2018)، تحمل محدوده وسیع‌تری از تغییرات شاخص‌های کیفی آب (Williot *et al*., 2001) از جمله، تحمل اکسیژن محلول نسبتاً پایین، غلظت بالای آمونیاک (Koksal *et al*., 2000) و تراکم بالای ذخیره‌سازی (Zhu *et al*., 2011) اشاره نمود. شاید از دلایل انتخاب این گونه از بین انواع گونه‌های ساکن مناطق آبی جهان، همین قابلیت‌های ویژه باشد که سبب شده است تا مورد توجه قرار گیرد (Williot *et al*., 2002) و به دلیل دارا بودن رشد خوب در اندازه‌های مختلف در سیستم‌های پرورشی (Weil *et al*., 2001) و مقاومت بالا در شرایط استرس‌زا، گونه پسندیده و مرغوبی برای آبزی‌پروری به‌شمار می‌آید (Falahatkar *et al*., 2014). از آن‌جایی‌که در بحث آبزی‌پروری، تراکم کشت از لحاظ ایجاد استرس مزمن حائز اهمیت است و عامل ایجاد مشکلات زیادی نظیر افزایش تلفات ناشی از بیماری، اختلال در رشد و عملکرد در سیستم ایمنی و غیره می‌گردد، مطالعه آثار سوء استرس مزمن ناشی از افزایش تراکم بر جنبه‌های رشدی ماهیان، از ضروریات پرورش انبوه این گونه است (Mohseni *et al*., 2021)، زیرا میزان تولید در مزارع پرورش ماهی با میزان تراکم ذخیره‌سازی، ارتباطی مستقیم دارد به‌طوری‌که تراکم کشت بر بقا، رشد، سلامت، کیفیت آب، تولید آبزی و غیره تاثیرگذار است (Kalbassi *et al*., 2013). با توجه به اهمیت تراکم کشت در آبزی‌پروری، مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است. بررسی تاثیر تراکم بر رشد و بقای ماهیان در مطالعات Valipour و همکاران (۲۰۲۳) بر ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii*)، Allameh و همکاران (۲۰۲۱) بر قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، Rafatnezhad و Falahatkar (۲۰۱۱) بر فیلماهی (*Huso huso*)، Jodun و همکاران (۲۰۱۱) بر بچه تاسماهی اقیانوس اطلس (*Acipenser oxyrinchus*)، تاثیر منفی افزایش تراکم را بر عملکرد رشد نشان داد درحالی‌که افزایش تراکم بر بازماندگی این گونه‌ها مؤثر نبود. در مقابل، مطالعه اثر افزایش تراکم در تحقیقات Katooky و همکاران (۲۰۲۳) بر قزل‌آلای رنگین کمان و North و همکاران (۲۰۰۶) بر روی همین گونه، اختلاف معنی‌دار نشان نداد و در مقابل تاثیر مثبت افزودن تریپتوفان به جیره، بر رشد، بقا و شاخص‌های خون ماهیان، در تعدادی از مطالعات دیده شد (Jhon *et al*., 2024).

با توجه به مباحث مذکور، مطالعه حاضر به منظور بررسی امکان پرورش بچه تاسماهی سیبری در تراکم بیشتر با تاثیر تریپتوفان بر شاخص‌های مذکور طراحی و اجرا گردید. هدف از این بررسی، تعیین اثر جیره‌های غذایی حاوی سطوح مختلف اسید آمینه تریپتوفان در تراکم‌های پایین و بالای کشت بچه تاسماهی سیبری بر شاخص‌های رشد، بقا و هماتولوژیک بود.

مواد و روش‌کار

محل و زمان آزمایش

این تحقیق، در مزرعه پرورش ماهی خاویاری بلوگا واقع در روستای بازقلعه ملک (سنگر، رشت، ایران) و طی اسفند ۱۴۰۲ و فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۳ و بر ماهیان تهیه شده از انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری (سنگر، رشت، ایران) انجام گرفت. شایان ذکر است، کلیه مراحل این پژوهش، تحت دستورالعمل‌های مرتبط با پژوهش در حیوانات آزمایشگاهی کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه گیلان با شناسه مرجع IR.GUILAN.REC.1403.115 انجام گردید. مطالعه با تعداد ۱۲۰۰۰ عدد بچه تاسماهی سیبری با وزن ۰/۱۰±۱۰/۲۴ گرم در ۸ تیمار آزمایشی با سه تکرار در ۲۴ حوضچه ۲۰۰۰ لیتری بدین شرح انجام گرفت: تیمار ۱ و ۲ (پرورش یافته با جیره‌های فاقد

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

تریپتوفان در تراکم‌های به‌ترتیب ۱/۳ و ۲/۶ کیلوگرم به ازای هر مترمربع)، تیمار ۳ و ۴ (پرورش یافته با جیره‌های محتوی ۰/۲ درصد تریپتوفان در پروتئین جیره در تراکم‌های به‌ترتیب ۱/۳ و ۲/۶ کیلوگرم به ازای هر مترمربع)، تیمار ۵ و ۶ (پرورش یافته با جیره‌های محتوی ۰/۴ درصد تریپتوفان در پروتئین جیره در تراکم‌های به‌ترتیب ۱/۳ و ۲/۶ کیلوگرم به ازای هر مترمربع)، تیمار ۷ و ۸ (پرورش یافته با جیره‌های محتوی ۰/۶ درصد تریپتوفان در پروتئین جیره در تراکم‌های به‌ترتیب ۱/۳ و ۲/۶ کیلوگرم به ازای هر مترمربع). بچه تاسماهیان سیبری در حوضچه‌های مجهز به سیستم هوادهی، تخلیه آب مرکزی و شیرهای تنظیم آب (به صورت فواره‌ای) با سرعت جریان آب ۰/۲ لیتر بر ثانیه آب رودخانه در شرایط یکسان پرورشی به‌مدت ۱۲ هفته و در سه نوبت در روز (ساعات ۸، ۱۳ و ۱۸) و تحت فتوپریود طبیعی با جیره غذایی تهیه شده به میزان ۳ درصد وزن بدن، تغذیه شدند. طی دوره پرورش سه ماهه، اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آب شامل میانگین دمای آب به میزان ۱/۲±۲۰/۲ درجه سانتی‌گراد، pH به‌وسیله pH سنج 330i دیجیتال WTW (Labstuffeu, Weilheim, Germany) به میزان ۰/۲±۷/۴، اکسیژن محلول با استفاده از اکسی‌متر 323i دیجیتال WTW (Labstuffeu, Weilheim, Germany) اندازه‌گیری و به میزان ۰/۶±۷/۷ میلی‌گرم بر لیتر ثبت شد.

آماده‌سازی جیره

به منظور تهیه جیره‌های غذایی، ابتدا اجزای تشکیل‌دهنده خوراک، برای تجزیه‌وتحلیل به آزمایشگاه (ویرومد، رشت، ایران) ارسال شدند. ترکیبات جیره غذایی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: اجزاء و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایشی

Table 1: Ingredients and chemical composition of the experimental diets

*Ingredients (%)	TRP0.0	TRP0.2	TRP0.4	TRP0.6
Fishmeal	48	47.8	47.6	47.4
Meat meal	6.0	6.0	6.0	6.0
Wheat bran	3.4	3.4	3.4	3.4
Soybean meal	2.5	2.5	2.5	2.5
Corn meal	10.0	10.0	10.0	10.0
Wheat flour	10.9	10.9	10.9	10.9
Soybean lecithin	4.3	4.3	4.3	4.3
Fish oil	5.8	5.8	5.8	5.8
Canola oil	4.8	4.8	4.8	4.8
Sodium alginate	1.0	1.0	1.0	1.0
**Vitamin premix	1.6	1.6	1.6	1.6
**Mineral premix	1.5	1.5	1.5	1.5
Monocalcium phosphate	0.1	0.1	0.1	0.1
Toxin binder	0.1	0.1	0.1	0.1
Tryptophan	0	0.2	0.4	0.6

*ترکیبات جیره شامل به ترتیب ۴۶۴، ۱۳۴، ۱۰، ۷۰، ۱۰ گرم بر کیلوگرم پروتئین خام،چربی خام، خاکستر، رطوبت، فسفر و ۲۰ مگاژول بر کیلوگرم انرژی ناخالص هستند.

**مخلوط ویتامینه و مواد معدنی شامل ویتامین‌های A: ۱۰۰۰IU، D_3: ۵۰۰۰IU، E: ۲۰mg، B_5: ۱۰۰mg، B_2: ۲۰mg، B_6: ۲۰mg، B_1: ۲۰mg، B_9: ۶mg، B_{12}: ۱mg، B_4: ۶۰۰mg، C: ۵۰mg، منگنز : ۳۵۰mg، آهن : ۱۳mg، کبالت: ۲/۵mg، مس: ۳mg، روی: ۶۰mg و دی‌کلسیم فسفات: ۱۳g می‌باشد.

TRP0.0: فاقد تریپتوفان جیره، TRP0.2: ۰/۲ درصد تریپتوفان جیره، TRP0.4 : ۰/۴ درصد تریپتوفان جیره، TRP0.6: ۰/۶ درصد تریپتوفان جیره (Hosseini *et al*., 2020)

Composition of diets includes 464 g/kg of crude protein, 134 g/kg of crude fat, 10 g/kg of ash, 70 g/kg of moisture, 10 g/kg of phosphorus and 20 MJ/kg of gross energy.

** The vitamin and mineral premix provided following amounts per kg of feed: A: 1000 IU; D_3: 5000 IU; E: 20 mg; B_5: 100 mg; B_2: 20 mg; B_6: 20 mg; B_1: 20 mg; B_9: 6 mg; B_{12}: 1 mg; B_4: 600 mg; C: 50 mg; Mg: 350 mg; Fe: 13 mg; Co: 2.5 mg; Cu: 3 mg; Zn: 60 mg; Dicalcium phosphate: 13 g

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

مواد خشک، قبل از ترکیب با مواد مرطوب با آسیاب دامیکو مدا (آسا صنعت، اصفهان، ایران) به قطر ۲۰۰ میکرون شکسته و با مواد ریزمغذی به‌مدت ۱۵ دقیقه با دستگاه هم‌زن دو زبانه MAZ636 (Andrtiz Feed and Biofuel, Esbjerg, Denmark)، کاملاً با یکدیگر مخلوط شدند. به ترکیب حاصل، آب و اقلام مایع اضافه شده و وارد مخلوط‌کن D-130 (آسا صنعت، اصفهان، ایران) شد. محصول حاصل با دستگاه پلت‌زن Feedmax (Andrtiz Feed and Biofuel, Esbjerg, Denmark) با توجه به اندازه دهان ماهی به قطر ۱/۲ میلی‌متر پلت شد. پلت‌ها با استفاده از خشک‌کن CZD (Andrtiz Feed and Biofuel, Esbjerg, Denmark) در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۸ ساعت تا رطوبت تقریبی ۱۰ درصد، خشک و شماره‌گذاری و در محفظه‌های عاری از هوا بسته‌بندی و تا زمان مصرف در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. یک ساعت قبل از مصرف و توزیع غذا، جیره‌ها از فریزر خارج و پس از متعادل شدن با دمای اتاق، با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین و در اختیار ماهیان قرار گرفت.

تعیین شاخص‌های رشد

در پایان دوره پرورش و به منظور کاهش استرس، ۱۲ ساعت قبل از بیومتری، غذادهی ماهیان قطع شد و ماهیان با محلول ۱۵۰ppm پودر گل میخک بیهوش شدند (Sayed Hassani *et al*., 2018) و وزن ماهیان با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم و طول آنها با تخته بیومتری با دقت ۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و شاخص‌های رشد شامل افزایش وزن (WG)، درصد افزایش وزن بدن (BWI)، نرخ رشد ویژه (SGR)، میانگین رشد روزانه (DGR)، نرخ مصرف غذا (FI)، نرخ کارایی پروتئین (PER)، ضریب چاقی (CF)، ضریب تبدیل غذایی (FCR) و درصد بازماندگی (SR) بر اساس فرمول‌ها به شرح ذیل محاسبه گردیدند (Falahatkar, 2014):

WG (g) = وزن ابتدایی (گرم) - وزن نهایی (گرم)

BWI (%) = [وزن ابتدایی (گرم) / وزن ابتدایی (گرم) - وزن نهایی (گرم)] × ۱۰۰

SGR (%/day) = (لگاریتم نپرین وزن اولیه - لگاریتم نپرین وزن نهایی) / مدت پرورش × ۱۰۰

DGR (g) = [وزن ابتدایی (گرم) - وزن نهایی (گرم)] / مدت پرورش × ۱۰۰

FI (g/fish) = کل غذای خورده شده در طول دوره (گرم) / تعداد ماهی

PER = وزن تر اضافه شده (گرم) / مقدار پروتئین مصرفی (گرم)

CF = [وزن (گرم) / طول (سانتی‌متر)^3] × ۱۰۰

FCR = کل غذای خورده شده در طول دوره (گرم) / وزن کسب شده (گرم)

SR (%) = تعداد ماهی در پایان دوره / تعداد ماهی در ابتدای دوره × ۱۰۰

خون‌گیری برای ارزیابی شاخص‌های خونی

در پایان دوره پرورش و سپری شدن ۲۴ ساعت از زمان قطع تغذیه برای دوری از استرس و اطمینان کامل از دفع محتویات لوله گوارش، خون‌گیری به تعداد ۹ عدد ماهی از هر تیمار و از سیاهرگ در محل ساقه دمی واقع در انتهای باله مخرجی و با استفاده از سرنگ صورت گرفت. مقدار ۰/۵ سانتی‌متر مکعب خون به داخل تیوب‌های اپندورف آغشته به ماده ضد انعقاد خون (هپارین) منتقل شده و برای انجام مطالعات شاخص‌های خونی استفاده گردید (Řehulka, 2000). اندازه‌گیری کلیه شاخص‌های خون‌شناسی در آزمایشگاه تخصصی و استاندارد (ویرومد، رشت، ایران) انجام گرفت.

تعیین شاخص‌های هماتولوژیک

شمارش گلبول‌های قرمز خون (RBC) و گلبول‌های سفید خون (WBC) با استفاده از لام هموسیتومتر زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی ۴۰ انجام شد به‌طوری‌که شمارش RBC از روی ۵ مربع مرکزی و شمارش WBC از روی ۴

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

مربع کناری لام و طبق فرمول های زیر صورت گرفت (Barros *et al*., 2002):

RBC (تعداد در هر میلی‌متر مکعب) = $(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \times ۵ \times ۱۰ \times ۲۰۰$

WBC (تعداد در هر میلی‌متر مکعب) = $(W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \times ۲۰ \times ۱۰) / ۴$

اندازه‌گیری غلظت هموگلوبین (HB) به روش سیانومت‌هموگلوبین انجام شد (Drabkin, 1945). برای اندازه‌گیری هماتوکریت (HCT)، لوله‌های موئینه تا حدود دو سوم با نمونه‌های خون، پر و یک طرف آن با خمیر مخصوص بسته و به‌وسیله سانتریفیوژ میکروهماتوکریت (Nuve, Ankara, Turkey) با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و مقدار حجم سلولی یا HCT هر نمونه خون محاسبه شد (Řehulka, 2000).

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

به منظور بررسی توزیع نرمال داده‌ها در گروه‌ها و تکرارها برای متغیرهای رشد و شاخص‌های خونی از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. نتایج نشان داد که توزیع کلیه داده‌ها در هر یک از متغیرهای مذکور از توزیع نرمال برخوردار بودند. برای بررسی تاثیر تراکم و سطوح تریپتوفان بر عملکرد رشد، بقا و شاخص‌های خونی، در تیمارها از آزمون آنالیز واریانس دوطرفه و برای مقایسه گروه‌ها با یکدیگر از آزمون توکی در سطح $p \leq ۰/۰۵$ استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۶ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel ویرایش ۲۰۱۶ استفاده شد.

نتایج

عملکرد شاخص‌های رشد

نتایج نشان داد، مقادیر مختلف تریپتوفان، تراکم کشت و تاثیر متقابل آنها بر WG، BWI، SGR و DGR تاثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۲). در کلیه شاخص‌های مذکور، تریپتوفان توانست در تیمارهای کم‌تراکم تغذیه شده با جیره‌های حاوی تریپتوفان، اختلاف معنی‌دار، نسبت به تیمارهای شاهد و پرتراکم ایجاد کنند به‌طوری‌که بیشترین میزان این شاخص‌ها در سطح تریپتوفان ۰/۴ درصد تیمار کم‌تراکم بود. در بررسی اثر متقابل مقادیر مختلف تریپتوفان و تراکم کشت بر FI، نتایج نشان داد که بین تیمارهای تغذیه شده با مقادیر مختلف جیره‌های حاوی تریپتوفان، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما میزان تراکم کشت و اثر متقابل آنها در FI تاثیر معنی‌دار داشت. به طور کلی، FI در تیمارهای پرتراکم و در سطح تریپتوفان ۰/۶ درصد به‌صورت معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود و کمترین میزان FI در تیمارهای کم‌تراکم تغذیه شده با جیره حاوی ۰/۶ درصد تریپتوفان مشاهده شد. در بررسی اثر متقابل مقادیر مختلف تریپتوفان و تراکم کشت بر متغیر PER، CF و FCR، نتایج نشان داد که مقادیر مختلف تریپتوفان و تراکم کشت بر شاخص‌های رشد مذکور تاثیر معنی‌دار داشت، اما در بررسی اثر متقابل آنها در این شاخص‌ها، تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد و با آن‌که تاثیر جیره‌های حاوی تریپتوفان در تیمارهای کم‌تراکم، تفاوت معنی‌دار را نشان داد، اما در تیمارهای پرتراکم، این تفاوت مشاهده نشد. اثر متقابل، تریپتوفان و تراکم کشت بر متغیر SR تاثیر معنی‌دار نداشت و میزان بازماندگی در کلیه تیمارها ۱۰۰ درصد و فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

شاخص‌های خونی

نتایج نشان داد مقادیر مختلف تریپتوفان، تراکم کشت و تاثیر متقابل آنها بر RBC تاثیر معنی‌دار داشت (جدول ۳)، به طوری‌که در تیمار کم‌تراکم تغذیه شده با سطح تریپتوفان ۰/۴ درصد، دارای بهترین عملکرد بود. تریپتوفان و تراکم کشت بر WBC، HB و HCT نیز تاثیر معنی‌دار داشت اما در بررسی اثر متقابل آنها، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. مقادیر WBC و HB در تیمارهای هم‌تراکم، اختلاف معنی‌دار نشان داد به‌طوری‌که بالاترین مقدار WBC در تیمار کم‌تراکم با سطح تریپتوفان ۰/۲ درصد و تیمار پرتراکم با سطح تریپتوفان ۰/۶ درصد مشاهده شد درحالی‌که

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

بالاترین مقدار HB، در سطح تریپتوفان ۰/۴ درصد تیمارهای کم‌تراکم مشاهده شد. بالاترین مقدار HCT نیز در سطح تریپتوفان ۰/۴ درصد تیمار کم‌تراکم مشاهده شد، درحالی‌که HCT در سطوح مختلف تریپتوفان در تیمارهای پرتراکم، اختلاف معنی‌دار نشان نداد.

جدول ۲: عملکرد رشد بچه تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) تغذیه شده با سطوح مختلف تریپتوفان جیره در دو تراکم مختلف پرورش پس از ۱۲ هفته آزمایش (میانگین±انحراف معیار؛ ۳=n)

Table 2: Growth performance of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) juveniles fed with different levels of dietary tryptophan at two different stocking densities after 12 weeks experiment (mean ± SD; n=3)

TRP (%)	Stocking densities (kg/m^2)	W_i (g)	W_f (g)	WG (g)	BWI (%)	SGR (%/day)	DGR (g)	FI (g/fish)	PER	CF	FCR	SR (%)
0	1.3	10.24±0.12	127.75±0.81^b	117.50±0.93^b	1141.47±22.48^b	3.04±0.01^b	1.39±0.01^b	84.80±2.04^{bc}	1.39± 0.04^y	0.30± 0.01^y	1.60± 0.05^x	100
0	2.6	10.18±0.07	126.28±0.91^b	116.11±5.98^b	1141.5±66.01^b	2.99±0.06^b	1.32±0.71^b	88.63±0.47^{ab}	1.31± 0.07	0.31± 0.005	1.70± 0.09	100
0.2	1.3	10.30±0.06	153.15±0.86^a	142.85±0.92^a	1387.08±17.52^a	3.21±0.01^a	1.71±0.11^a	85.99±1.84^{abc}	1.66± 0.04^{x*}	0.41± 0.02^{x*}	1.33± 0.03^{y*}	100
0.2	2.6	10.28±0.19	132.27±0.14^b	121.98±0.19^b	1187.42±42.99^b	3.04±0.04^b	1.42±0.38^b	88.82±1.27^{ab}	1.37± 0.06	0.37± 0.02	1.62± 0.06	100
0.4	1.3	10.21±0.06	160.42±0.09^a	150.21±2.10^a	1471.30±22.84^a	3.28±0.03^a	1.79±0.25^a	88.86±0.43^{ab}	1.69± 0.02^{x*}	0.40± 0.01^{x*}	1.32± 0.01^{y*}	100
0.4	2.6	10.26±0.12	134.14±0.14^b	123.88±4.19^b	1208.14±48.18^b	2.06±0.04^b	1.48±0.50^b	88.17±0.46^{ab}	1.40± 0.05	0.36± 0.02	1.59± 0.06	100
0.6	1.3	10.20±0.09	153.30±0.63^a	143.09±1.54^a	1402.41±4.71^a	3.23±0.03^a	1.70±0.18^a	83.05±0.85^c	1.73± 0.06^{x*}	0.37± 0.01^{x*}	1.29± 0.04^{y*}	100
0.06	2.6	10.26±0.12	131.70±0.09^b	121.43±5.19^b	1184.63±64.57^b	3.04±0.03^b	1.45±0.62^a	90.38±0.83^a	1.34± 0.04	0.34± 0.01	1.66± 0.05	100
Two-way ANOVA												
TRP			0.000	0.001	0.000	0.006	0.001	ns	0.010	0.028	0.014	ns
Stocking densities			0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.03	0.000	0.000	0.000	ns
TRP × Stocking densities			0.024	0.025	0.041	0.042	0.025	0.046	ns	ns	ns	ns

حروف کوچک انگلیسی متفاوت در هر ستون، بیانگر اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارهاست (p<۰/۰۵).

* در هر ستون، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین دو تراکم کشت است (p<۰/۰۵).

ns: بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

W_i: وزن اولیه، W_f: وزن نهایی، WG: وزن دریافتی، BWI: درصد افزایش وزن، SGR: نرخ رشد ویژه، DGR: نرخ رشد روزانه، FI: نرخ مصرف غذا، ER: نرخ کارایی پروتئین، CF: ضریب چاقی، FCR: ضریب تبدیل غذایی، SR: نرخ بقا، Stocking densities: تراکم کشت، TRP: تریپتوفان و Two-way ANOVA: آنالیز واریانس دوطرفه

Different small letters in each column indicate statistically significant differences between treatments (p<0.05).
* in each column indicates a significant difference between two stocking densities (p<0.05).
ns: indicates no significant difference (p<0.05).

جدول ۳: شاخص‌های هماتولوژیک بچه تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) تغذیه شده با سطوح مختلف تریپتوفان جیره در دو تراکم مختلف پرورش پس از ۱۲ هفته آزمایش (میانگین ± انحراف معیار؛ ۳=n)

Table 3: Hematological indices of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) juveniles fed with different levels of dietary tryptophan at two different stocking densities during 12 weeks experiment (mean ± SD; n=3).

TRP (%)	Stocking.densities (kg/m^2)	RBC (×10^3 cell/mm^3)	WBC (cell/mm^3)	HB (g/dl)	HCT (%)
0	1.3	732.81±17.12^b	6222.75±80.85^x	6.59±0.20^y	26.33±0.56^y
0	2.6	727.12±5.04^b	6724.17±73.43^X	6.17±0.06^Y	23.76±0.84
0.2	1.3	825.88±8.55^a	5387.20±119.95^{z*}	7.36±0.08^{x*}	31.29±0.83^{x*}
0.2	2.6	753.003±12.39^b	5786.97±88.38^Z	6.69±0.19^X	26.31±0.74
0.4	1.3	830.28±6.68^a	5370/59±80.92z*	7.57±0.14^{x*}	32.51±1.21^{x*}
0.4	2.6	752.88±12.62^b	6074.44±95.74^Y	6.70±0.16^X	25.75±0.35
0.6	1.3	826.95±6.63^a	5774.66±5244^{y*}	7.47±0.08^{x*}	32.04±0.98^{x*}
0.6	2.6	739.21±11.38^b	6194.53±78.51^Y	6.57±0.10^X	6.57±0.64
Two-way ANOVA					
TRP		0.001	0.001	0.000	0.001

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

TRP (%)	Stocking.densities (kg/m^2)	RBC (×10^3 cell/mm^3)	WBC (cell/mm^3)	HB (g/dl)	HCT (%)
Stocking densities		0.000	0.000	0.000	0.000
TRP × Stocking densities		0.020	ns	ns	ns

حروف بزرگ و کوچک متفاوت در یک ستون، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف تریپتوفان به‌ترتیب در تیمارهای پرتراکم و کم تراکم است (p<۰/۰۵).

حروف کوچک انگلیسی متفاوت در یک ستون، بیانگر اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارهاست (p<۰/۰۵).

* در هر ستون، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین دو تراکم کشت است (p<۰/۰۵).

ns: بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

RBC: تعداد گلبول‌های قرمز، WBC: تعداد گلبول‌های سفید، HB: هموگلوبین، HCT: هماتوکریت، Stocking densities: تراکم کشت، TRP: تریپتوفان و Two-way ANOVA: آنالیز واریانس دوطرفه

Alternatively, capital and small letters in a column indicate significant differences between different levels of tryptophan in high and low stocking density, respectively (p<0.05).

Different small letters in a column indicate statistically significant differences between treatments (p<0.05).

*in each column indicates a significant difference between two stocking densities (p<0.05).

ns: It indicates no significant difference (p<0.05).

RBC: Red Blood Cells, WBC: White Blood Cells, HB: Hemoglobin, HCT: Hematocrit, TRP: Tryptophan.

بحث

محققان برای بهبود عملکرد رشد، اقدام به افزودن اسید آمینه تریپتوفان به جیره‌های غذایی آبزیان پرورشی نمودند، زیرا مشاهده شده که این اسید آمینه توانسته است بر عملکرد رشد به عنوان یک شاخص بسیار مهم اقتصادی تاثیرگذار باشد (Hosseini *et al*., 2020; Jhon *et al*., 2024; Zhang *et al*., 2024). با توجه به نتایج پژوهش حاضر، شاخص‌های WG، BWI، SGR، DGR و CF در کلیه تیمارهای کم‌تراکم تغذیه شده با سطوح مختلف تریپتوفان به صورت معنی‌داری بیشتر از تیمارهای شاهد و پرتراکم بود. در مطالعه Yasmin و همکاران (۲۰۲۴) بر ماهی کاتلا (*Catla catla*) مشخص شد که جیره حاوی تریپتوفان، موجب افزایش شاخص WG و SGR شد به‌طوری‌که در مورد تیمارهای پرتراکم نیز این شاخص افزایش یافت، اما این اختلاف معنی‌دار نبود. در مطالعه Valipour و همکاران (۲۰۲۳) بر ماهی سفید دریای خزر، مشاهده شد که افزایش تراکم، موجب کاهش رشد این ماهی گردید و ماهیان در تیمار کم‌تراکم از وضعیت رشد بهتری برخوردار بودند. در مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۲۰) بر قزل‌آلای رنگین‌کمان، افزایش تراکم و تریپتوفان جیره، اثر معنی‌داری بر WG، BWI و SGR داشت به‌طوری‌که تیمار تغذیه شده با جیره حاوی تریپتوفان، موجب بهبود این شاخص‌ها گردید. Jhon و همکاران (۲۰۲۴) بر ماهی گورخری (*Danio rerio*) نشان دادند که جیره حاوی تریپتوفان، موجب کاهش شاخص WG و SGR شد. در مقابل، طبق بررسی Zhang و همکاران (۲۰۲۴) بر هیبرید گربه‌ماهی زرد (*Pelteobagrus fulvidraco* × *Pelteobagrus vachell*)، SGR و DGR در تیمارهای تغذیه شده با تریپتوفان، روند کاهشی داشت و طبق مطالعه Fattahi و همکاران (۲۰۱۵) بر ماهی کلمه (*Rutilus rutilus caspicus*)، SGR در تیمارهای شاهد و تیمارهای تغذیه شده با جیره‌های حاوی تریپتوفان، فاقد اختلاف معنی‌دار بود. تحقیق Tejpal و همکاران (۲۰۰۹) بر کپور هندی مریگال (*Cirrhinus cirrhosus*) نشان داد که شاخص CF در تیمار کم‌تراکم، به طور قابل‌توجهی بیشتر از تیمارهای پرتراکم بود و در تیمارهای تغذیه شده با تریپتوفان نیز مقدار آن افزایش یافت، اما نتایج بررسی Zhang و همکاران (۲۰۲۴) بر هیبرید گربه‌ماهی زرد نشان داد که افزایش دوز تریپتوفان در جیره، روند مشخصی از تغییرات را بر شاخص CF بین تیمارهای تغذیه شده با جیره حاوی سطوح متفاوت تریپتوفان نشان نداد.

به‌نظر می‌رسد، تراکم کشت بالا با ایجاد استرس مزمن و به دلیل محدود کردن دسترسی به غذا، رقابت، مصرف غذا در جهت متابولیسم و نه رشد، مصرف انرژی برای مواجهه با شرایط استرسی ناشی از تراکم بالا، کاهش کیفیت آب و رفتار تهاجمی، تاثیر منفی بر شاخص‌های رشد می‌گذارد (Rafatnezhad *et al*., 2008). تاثیرات منفی تراکم و

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

استرس بر عملکرد رشد به‌گونه‌ای است که باعث انحراف ذخایر ریزمغذی‌های بدن از عملکرد اصلی خود می‌شود به‌طوری‌که این ذخایر به جای مصرف برای افزایش رشد، برای مقابله با شرایط استرسی به‌کار می‌رود و کاهش رشد را به‌همراه دارد (Dabrowski *et al*., 1996). همچنین در شرایط کشت متراکم، تقاضای انرژی در ماهیان در تراکم‌های بالا افزایش می‌یابد و ماهیان دچار تغییر در فعالیت‌های آنزیمی شده و برای تامین انرژی، به‌ناچار از ذخایر بدن استفاده می‌کنند (Vijayan *et al*., 1990). همچنین تریپتوفان، پیش‌ساز سروتونین (5-HT) است (Halford *et al*., 2011) و 5-HT از ترکیب تریپتوفان با ۵- هیدروکسی تریپتامین با دخالت آنزیم تریپتوفان هیدروکسیلاز سنتز شده و به ۵- هیدروکسی ایندول ۳-استیک اسید متابولیز می‌شود. بنابراین، با کاهش تجمع 5-HT، موجب افزایش عملکرد شاخص‌های رشد مذکور می‌گردد (Zhang *et al*., 2023). افزایش عملکرد رشد، شاید به دلیل بهبود کارایی انرژی از طریق افزایش اسیدهای چرب در میتوکندری باشد که در شرایط افزودن اسیدهای آمینه ضروری در جیره غذایی اتفاق می‌افتد (Harpez, 2005) و دلیل عدم افزایش معنی‌دار رشد در تیمارهای پرتراکم، ممکن است به این دلیل باشد که مکمل تریپتوفان در این تیمارها با اکسید کردن اسیدهای چرب در بدن به دلیل سنتز چربی، منجر به کاهش وزن بدن در جانور گردد (Zhang *et al*., 2023)، چنانچه افزایش مقدار تریپتوفان جیره، باعث افزایش متابولیت‌هایی مثل کینولیتیک (Chen and Guillemin, 2009) و تغییر تعادل اسیدهای آمینه می‌شود که شاید این مسئله، عامل عدم تاثیرگذاری تریپتوفان جیره در افزایش رشد ماهی در تیمار پرتراکم بود (Zhang *et al*., 2023). این‌که به چه دلیل ترپیتوفان، اثر مثبت خود را در تراکم بالا نشان نداد، به طور قاطع مشخص نیست ولی احتمالاً به‌دلیل برهم‌کنش بین سطوح تریپتوفان جیره و تراکم ماهی است و نیاز به تحقیقات بیشتر با سایر سطوح تریپتوفان و سایر تراکم‌ها دارد. با این‌حال، به گزارش تعدادی از محققان، دلیل احتمالی کاهش یا بی‌تاثیر بودن تریپتوفان جیره در تیمارهای پرتراکم، ناشی از افزایش مصرف انرژی برای مقابله با شرایط استرس‌زای حاصل از ازدحام و کاهش کیفیت آب (Azeredo *et al*., 2019) یا سطح بالای غنی‌سازی ترپیتوفان بود که موجب برهم خوردن تعادل اسیدهای آمینه جیره گردید (Papoutsoglou *et al*., 2005) و تاثیر منفی بر عملکرد رشد ماهی در مواجهه با سطوح تریپتوفان جیره گذاشت. در مطالعات قبلی گزارش گردید که اثرات تریپتوفان جیره غذایی بر رشد ماهی ممکن است با توجه به عواملی مانند ترکیب جیره غذایی پایه، دوز، شرایط آزمایشی، اندازه، سن، وضعیت فیزیولوژیک، مقدار تریپتوفان، ماهیت استرس و گونه ماهی متفاوت باشد (Hosseini *et al*., 2019). در این میان، کاهش عملکرد رشد هنگام استفاده از اسیدآمینه مکمل در جیره غذایی را به کاهش تثبیت نیتروژنی در ماهیان نیز نسبت داده‌اند (Ghafle Marammazi *et al*., 2016).

طبق نتیجه مطالعه حاضر، PER در تیمارهای کم‌تراکم تغذیه شده با جیره‌های حاوی تریپتوفان ، تفاوت معنی‌داری نشان داد، اما در تیمارهای پرتراکم، این تفاوت مشاهده نشد. بر اساس مطالعه Shamsaie و همکاران (۲۰۱۹) بر قزل‌آلای رنگین‌کمان، بیشترین PER در تیمار تغذیه شده با جیره حاوی تریپتوفان مشاهده شد که دارای اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها بود. در مطالعه Diogenes و همکاران (۲۰۱۹) بر ماهی شانک سرطلایی (*Sparus auratas*)، افزایش تراکم، نرخ PER را کاهش داد. به‌نظر می‌رسد، کاربرد اسید آمینه تریپتوفان برای سنتز پروتئین بافت، با تاثیر آن بر بسیاری از متابولیسم‌های طبیعی در موجود زنده همراه باشد (Peters, 1991).

بر اساس نتایج حاضر، FI در تیمارهای پرتراکم به‌ویژه در سطح تریپتوفان ۰/۶ درصد به صورت معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. در بررسی Valipour و همکاران (۲۰۲۳) بر ماهی سفید دریای خزر، FI در تیمار پرتراکم افزایش یافت هر چند که میزان رشد در تیمار کم‌تراکم بهتر بود. در مقابل، طبق گزارش Tejpal و همکاران (۲۰۰۹) بر ماهی کپور هندی مریگال، سطوح تریپتوفان، اثری بر FI نداشت. مطالعه Cabanillas-Gamez و همکاران (۲۰۱۹) بر ماهی توتوآبا (*Totoaba macdonaldia*) نشان داد که افزایش تراکم باعث کاهش شاخص FI گردید. در تحقیق Diogenes و همکاران (۲۰۱۹) بر ماهی شانک سرطلایی

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

نیز افزایش تراکم، میزان FI را کاهش داد. به‌نظر می‌رسد، از آن‌جایی‌که تریپتوفان پیش‌ماده‌ای برای ساخت 5-HT است (Nathaleie and Bernard, 2007)، سطوح بالای 5-HT باعث کاهش دریافت غذا در ماهیان گردید (Hseu *et al*., 2003). همچنین برخی از محققان در مطالعات، اذعان داشته‌اند که خاصیت متیل‌دهندگی اسیدهای آمینه به عنوان جاذب غذایی، باعث افزایش شدت مصرف غذا در ماهیان می‌شود (Jabbari *et al.,* 2016).

در مطالعه حاضر، نتایج در مورد FCR نشان داد که جیره‌های حاوی تریپتوفان در تیمارهای کم‌تراکم، تفاوت معنی‌داری نشان داد، اما در تیمارهای پرتراکم، این تفاوت مشاهده نشد. در بررسی Valipour و همکاران (۲۰۲۳) بر ماهی سفید دریای خزر، افزایش تراکم، سبب افزایش شاخص FCR گردید. در مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۲۰) تراکم کشت و تریپتوفان جیره، اثر معنی‌داری بر FCR ماهی داشتند به‌طوری‌که با افزایش تراکم، FCR افزایش داشت و FCR تیمار شاهد بیشتر از سایر تیمارها بود. در مطالعه Shamsaie و همکاران (۲۰۱۹) بر قزل‌آلای رنگین‌کمان، کمترین میزان FCR در تیمار حاوی تریپتوفان جیره مشاهده شد که دارای اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها بود. در مقابل طبق بررسی Cabanillas-Gamez و همکاران (۲۰۱۹) بر ماهی توتوآبا، استفاده از سطوح مختلف تریپتوفان در همه تراکم‌ها بر شاخص FCR بی‌تاثیر بود. در مطالعه Fattahi و همکاران (۲۰۱۵) بر ماهی کلمه نیز کمترین میزان FCR در تیمار شاهد اتفاق افتاد که فاقد تریپتوفان بود. میزان و دفعات غذادهی، نوع خوراک مصرفی، شرایط اکولوژیک همانند عوامل فیزیکی و شیمیایی و تراکم ذخیره بر FCR تاثیرگذار است به‌طوری‌که افزایش تراکم، سبب کاهش بهره‌وری غذای مصرفی ماهی، کاهش رشد، افزایش FCR و افزایش هزینه تولید شد (Gholipour *et al*., 2006). به‌نظر می‌رسد، با توجه به این‌که کاهش FCR، یکی از کاربردهای مهم مکمل‌های اسید آمینه‌ای در جیره غذایی است، بنابراین، میزان استفاده از پروتئین در جیره غذایی کاهش یافته و به‌تبع آن و در صورت متعادل بودن وضعیت، نیتروژن کل و آمونیاک دفعی نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه کاربرد تریپتوفان، علاوه بر افزایش سودآوری و اقتصادی شدن تولید، باعث کاهش هدررفت مواد مغذی و کاهش آلودگی آب می‌گردد (Gaylord and Barrows, 2009).

با توجه به نتیجه پژوهش حاضر، سطوح مختلف تریپتوفان و تراکم کشت بر SR بی‌تاثیر بود. در بررسی Valipour و همکاران (۲۰۲۳) بر ماهی سفید دریای خزر، بیشترین نرخ بقاء در تیمار کم‌تراکم مشاهده شد. در مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۲۰) بر ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، SR در کلیه تیمارها ۱۰۰-۹۷/۱ درصد بود. در مقابل، طبق مطالعه Shamsaie و همکاران (۲۰۱۹) افزودن تریپتوفان به جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان باعث بالا رفتن نرخ بازماندگی ماهیان شد. Biswas و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که تغذیه لارو بچه‌ماهی پابدا (*Ompok bimaculatus*) با ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم تریپتوفان در جیره غذایی، موجب افزایش شاخص SR شد. به‌نظر می‌رسد، کاهش همنوع‌خواری و بهبود عملکرد رشد در اثر تغذیه با جیره حاوی تریپتوفان، دلیل احتمالی افزایش نرخ بازماندگی در برخی گونه‌ها بود (Biswas *et al*., 2018). احتمالاً افزایش مزمن غلظت و تبدیل سروتونین در مغز در تیمارهای تغذیه شده با جیره حاوی تریپتوفان با توقف پرخاشگری همراه بود که تأیید این مطلب به نقش تریپتوفان در کاهش تلفات ناشی از پرخاشگری و همنوع‌خواری و افزایش بقا در ماهیان اشاره دارد (Nghia *et al*., 2022).

در مطالعه حاضر و در رابطه با شاخص‌های هماتولوژیک، تریپتوفان در تیمارهای کم‌تراکم، باعث افزایش RBC و HCT شد درحالی‌که در تیمارهای پرتراکم، تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین جیره‌های حاوی تریپتوفان، باعث کاهش WBC و افزایش HB در هر دو تراکم شد. در مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۲۰) بر قزل‌آلای رنگین‌کمان، تراکم و سطوح ترپیتوفان، تاثیر معنی‌داری بر RBC داشت به‌طوری‌که تیمار تغذیه شده با جیره حاوی تریپتوفان، دارای RBC بیشتر نسبت به سایر تیمارها بود و مقدار آن در تیمار پرتراکم، بیشتر بود. بر اساس همین مطالعه، اثر متقابل تراکم و سطوح ترپیتوفان، تاثیر معنی‌داری بر WBC داشت به‌طوری‌که در تیمار کم‌تراکم تغذیه شده با جیره حاوی تریپتوفان، دارای بیشترین مقدار و در مورد تیمارهای

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

پرتراکم، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در مقابل، در مطالعه Azeredo و همکاران (۲۰۱۹) بر کفشک سنگالی (*Solea senegalensis*)، تراکم و سطوح تریپتوفان بر WBC بی‌تاثیر بود. در مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۲۰) بر قزل‌آلای رنگین‌کمان، تراکم و سطوح تریپتوفان، تاثیر معنی‌داری بر HB داشت به‌طوری‌که در تیمار تغذیه شده با جیره حاوی تریپتوفان، بالاترین مقدار HB نسبت به سایر تیمارها مشاهده شد. طبق بررسی Cabanillas-Gamez و همکاران (۲۰۲۲) بر ماهی باس راه‌راه (*Morone saxatilis*)، کاربرد جیره حاوی تریپتوفان، سبب افزایش مقدار HCT گردید و میزان آن پس از قرار گرفتن در معرض هیپوکسی، افزایش یافت. در مقابل، طبق بررسی Cabanillas-Gamez و همکاران (۲۰۱۹) بر ماهی توتوآبا، HCT در تیمار شاهد پرتراکم در بیشترین مقدار قرار داشت. بهبود شاخص‌های هماتولوژیک به کمک جیره‌های حاوی تریپتوفان در تراکم بالا، تحمل ماهیان را در شرایط استرس حاصل از تراکم بالا افزایش می‌دهد. برخی از مطالعات نشان می‌دهند که افزایش تراکم و به دنبال آن، افزایش دی‌اکسیدکربن، آمونیاک و کاهش اکسیژن می‌تواند در تغییر شاخص‌های هماتولوژیک موثر باشد (Docan *et al*., 2010) که به‌نظر می‌رسد، این مهم با کاربرد جیره حاوی تریپتوفان بهبود می‌یابد. با توجه به این‌که وقوع استرس در استخرهای پرورش ماهیان مسئله‌ای مهم است که سبب بسیاری از انواع اختلالات و آثار منفی می‌شود، بنابراین به حداقل رساندن چنین اثراتی با اضافه کردن افزودنی‌ها و مکمل‌ها به جیره اتفاق می‌افتد (Gonzalez-Silvera *et al*., 2018). جیره‌های حاوی تریپتوفان به عنوان یک جایگزین برای کاهش پاسخ‌های رفتاری و فیزیولوژیک ناشی از استرس حاصل از کشت غیربهینه، همواره مورد توجه قرار گرفته است (Cabanillas-Gámez *et al.,* 2019). افزودن تریپتوفان به جیره می‌تواند برای جلوگیری از اختلال رشد در شرایط استرس مورد استفاده قرار گیرد که در درازمدت می تواند از اثرات مضر بر سلامت و رشد ماهی جلوگیری کند (Cabanillas-Gamez *et al.,* 2022) به‌طوری‌که با کاربرد جیره مکمل می‌توان سیستم سروتونرژیک مرکزی را کنترل کرده و از استرس جلوگیری نمود (Lepage *et al.,* 2002).

نتایج این بررسی نشان داد که هر چند کاربرد ۰/۴ درصد تریپتوفان جیره در تراکم‌های پایین کشت تاسماهی سیبری با تاثیر مثبت بر کلیه شاخص‌های رشد، لزوم کاربرد این اسید آمینه را برای تولید بهتر و ایمن‌تر و بهبود عملکرد رشد نشان می‌دهد، اما این تاثیر مثبت در عملکرد رشد تیمارهای پرتراکم مشاهده نشد. در رابطه با شاخص‌های خونی، نتایج نشان داد که کاربرد این جیره با تاثیر بر کلیه شاخص‌های خونی در تیمارهای کم‌تراکم و با تاثیر بر WBC و HB در تیمارهای پرتراکم، توانست تاثیر مثبت بر روند سلامت تاسماهی سیبری بگذارد، هر چند جیره حاوی تریپتوفان، بر شاخص‌های خونی شامل RBC و HCT تاثیر معنی‌دار نداشت. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که تأمین میزان مورد نیاز از اسید آمینه ضروری تریپتوفان در جیره، برای رشد، توسعه و سلامت تاسماهی سیبری در تراکم بالا با تاثیر بر شاخص‌های خونی ضروری است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که برای افزایش تولید و بهبود شرایط سلامت و ایمنی در پرورش تاسماهی سیبری در شرایط کشت متراکم از اسید آمینه تریپتوفان به میزان ۰/۴ درصد پروتئین جیره استفاده شود و تاثیر اسید آمینه تریپتوفان بر عملکرد رشد، بقاء و شاخص‌های خونی در کشت و افزایش تراکم سایر گونه‌های ارزشمند پرورشی نیز بررسی گردد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله، از عوامل مزرعه پرورش ماهی خاویاری بلوگا واقع در شهرستان سنگر، روستای بازقلعه ملک (رشت)، انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری و دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان بابت همکاری و مساعدت در اجرای این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

منابع

Allameh, S.K., Akhoundi, A. and Mohammadi, M., 2021. Effect of stock density on growth performance of rainbow trout fingerling. *Advanced Aquaculture Sciences*, 5:59-65. (In Persian)

Azeredo, A., Machado, M., Martos-Sitcha, J.A., Martínez-Rodríguez, G., Moura1, J., Peres, H., Oliva-Teles, A., Afonso1, A., Mancera, J.M. and Costas, B., 2019. Dietary tryptophan induces opposite health-related responses in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*) reared at low or high stocking densities with implications in disease resistance. *Frontiers in Physiology*, 10:1-15. DOI:10.3389/fphys.2019.00508

Barros, M.M., Lim, C. and Klesius, P.H., 2002. Effect of iron supplementation to cottonseed and chronic photoperiod manipulation. *Aquaculture*, 252:566-572. DOI:10.1300/J028v10n01_07

Billard, R. and Lecointre, G., 2001. Biology and conservation of sturgeon and paddlefish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10:355-392. DOI:10.1023/A:1012231526151

Biswas, P., Rawat, P., Patel, A.B. and Jena, A.K., 2018. Dietary supplementation of L-tryptophan: Effect on growth and survival of Pabda, *Ompok bimaculatus* (Bloch) fry. *Journal of Applied Aquaculture*, 31:322-336. DOI:10.1080/10454438.2018.1545721

Cabanillas-Gámez, M., Bardullas, U., Galaviz, M.A., Rodriguez, S., Rodriguez, V.M. and López, L.M., 2019. Tryptophan supplementation helps totoaba (*Totoaba macdonaldi*) juveniles to regain homeostasis in high-density culture conditions. *Fish Physiology and Biochemistry*, 46:597-611. DOI:10.1007/s10695-019-00734-2

Cabanillas-Gámez, M., López, L.M., Bardullas, U., Espinoza-Villegas, R.E., True, C.D. and Galaviz, M.A., 2022. Effect of dietary tryptophan on blood and plasma parameters of striped bass *Morone saxatilis*, exposed to acute stressors. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50:529-540. DOI:10.3856/vol50-issue4-fulltext-2929

Chen, Y. and Guillemin, G.J., 2009. Kynurenine pathway metabolites in humans: disease and healthy states. *International Journal of Tryptophan Research*, 2:1-19. DOI:10.4137/ijtr.s2097

Cheng, C.H., Guo, Z.X., Ye, C.X. and Wang, A.L., 2018. Effect of dietary astaxanthin on the growth performance, nonspecific immunity, and antioxidant capacity of pufferfish (*Takifugu obscurus*) under high temperature stress. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44:209-218. DOI:10.1007/s10695-017-0425-5. Epub 2017 Sep 21

Conceicao, L.E., Aragao, C., Dias, J., Costas, B., Terova, G., Martins, C. and Tort, L., 2012. Dietary nitrogen and fish welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38:119-141. DOI:10.1007/s10695-011-9592-y

Dabrowski, K., Matusiewics, M., Matusiewics, K., Hoppe, P. and Ebeling, J., 1996. Bioavailability of vitamin C from two ascorbyl monophosphate esters in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Nutrition*, 2:3-10. DOI:10.1111/j.1365-2095.1996.tb00002.x

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

Diogenes, A.F., Teixeira, C., Almeida, E., Skrzynska, A., Costas, B., Oliva-Teles, A. and Peres, H., 2019. Effects of dietary tryptophan and chronic stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles fed corn distillers dried grains with solubles (DDGS) based diets. *Acuaculture*, 498:396-404. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.08.079

Docan, A., Cristea, V., Grecu, I. and Dediu, L., 2010. Haematological response of the European catfish, *Silurus glanis* reared at different densities in "flow-through" production system. *Archiva Zootechnica*, 13:63-70.

Drabkin, D.R., 1945. Crystallographic and optical properties of human hemoglobin. A proposal for the standardization of hemoglobin. *American Journal of the Medical Sciences*, 209:268-270.

Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R. and Porter, M., 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61:493-531. DOI:10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x

Falahatkar, B., 2014. Aquatic nutrition and formolation. Institute of applied Scientific Education of Agricultural Ministry, Iran. 334 P. (In Persian)

Falahatkar, B., Eslamloo, K. and Yokoyama, S., 2014. Suppression of stress responses in Siberian sturgeon, *Acipenser baerii*, juveniles by the dietary administration of bovine lactoferrin. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45:699-708. DOI:10.1111/jwas.12153.

Falahatkar, B. and Rahdari, A., 2017. Aquaculture in dried and semidried areas. Sarva (Agricultural and Natural Resources Education Research (TAK)) Press, Iran. 298 P. (In Persian)

Falahatkar, B., 2018. Nutritional requirements of the Siberian sturgeon: An updated synthesis. In: The Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). Williot, P., Nonnotte, G., Vizziano-Cantonnet, D., Chebanov, M. (Eds.) Volume 1 - Biology. Springer, Cham. 207-228.

Fattahi, S. and Hosseini, S.A., 2013. The effect of dietary tryptophan on growth performance and carcass proximate composition of *Rutilus rutilus caspicus* juveniles. *Journal of Animal Environment*, 5:103-109. (In Persian)

Fattahi, S., Hosseini, S.A., Sudagar, M., Mazandarani, M. and Khani, F., 2015. Growth, feeding factors and the effect of salinity stress on the survival rate on roach (*Rutilus rutilus caspicus*) juveniles fed with different levels of betaine and tryptophan. *Fisheries Science and Technology*, 4:65-78. DOI:20.1001.1.23225513.1394.4.2.10.0. (In Persian)

Gaylord, T.G. and Barrows, F.T., 2009. Multiple amino acid supplementations to reduce dietary protein in plant-based rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, feeds. *Aquaculture*, 287:180-184. DOI:10.1016/j.aquaculture.2008.10.037

Geraylou, Z., Souffreau, C., Rurangwa, U., D'Hondt, S. Callewaert, L. Courtin, C.M. Delcour, J.A. Buyse, J. and Ollevier, F., 2012. Effects of arabinoxylan-oligosaccharides (AXOS) on juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) performance, immune responses and gastrointestinal microbial community. *Fish and Shellfish Immunology*, 33:718-724. DOI:10.1016/j.fsi.2012.06.010

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

Ghafle Marammazi, J., Yaghoubi, M. and Safari, O., 2016. Effects of using crystalline amino acids in diets of sobaity sea bream (*Sparidentex hasta*) on whole body proximate, amino acids composition, growth and feeding performance. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 25:217-229. DOI:10.22092/ISFJ.2017.110271. (In Persian)

Gholipour, F., Allameh, S.K., Arani, M.M. and Nasr, M., 2006. Effect of stocking densities on grow and food conversion ratio of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Pazhuhesh and Sazandegi*, 7:23-27. (In Persian)

Gonzalez-silvera, D., Herrera, M., Giraldez, I. and Esteban, M.A., 2018. Effects of the dietary tryptophan and aspartate on the immune response of Meagre (*Argyrosomus regius*) after stress. *Fishes*, 3:1-13. DOI:10.3390/fishes3010006

Halford, J.C., Boyland, E.J., Lawton, C.L., Blundell, J.E. and Harrold, J.A., 2011. Serotonergic anti-obesity agents: past experience and future prospects. *National Library of Medicine*, *Drugs*, 71:2247-2255. DOI:10.2165/11596680-000000000-00000

Harpaz, S., 2005. L-Carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition, A review. *Aquaculture*, 249:3-21. DOI:10.1016/j.aquaculture.2005.04.007

Hosseini, S.M., 2010. The effect of tryptophan and lysine on food intake growth, survival, and carcass proximate composition of beluga (*Huso huso*) juveniles. Dissertation. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 70 P. (In Persian)

Hosseini, S.M., Perez-Jimenez, A., Costas, B., Azeredo, R. and Gesto, M., 2019. Physiological roles of tryptophan in teleosts: current knowledge and perspectives for future studies. *Reviews in Aquaculture*, 11:3-24. DOI:10.1111/raq.12223

Hosseini, S.M., Mirghaed, A.T., Ghelichpour, M., Pagheh, E., Iri, Y. and Kor, A., 2020. Effects of dietary tryptophan supplementation and stocking density on growth performance and stress responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 519:1-26. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.734908

Hseu, J.R., Lu, F.I., Su, H.M., Wang, L.S., Tsai, C.L. and Hwang, P.P., 2003. Effect of exogenous tryptophan on cannibalism, survival and growth in juvenile grouper, (*Epinephelus coioides*). *Aquaculture*, 218:251-263. DOI:10.1016/S0044-8486(02)00503-3

Hung, S.S.O., Lazard, J., Mariojouls, C. and Moreau, Y., 2003. Comparison of starch utilization in fingerlings of two Asian catfishes from the Mekong River (*Pangasius bocourti*, Sauvage, 1880, *Pangasius hypophthalmus*, Sauvage, 1878). *Aquaculture Nutrition*, 9:215-222. DOI:10.1046/j.1365-2095.2003.00244.x

Jabbari, E., Akarami, R. and Chitsaz, H., 2016. Effect of betaine as a feed at tractant on growth, survival, body composition and response to environmental stress in kutum (*Rutilus frisii kutum*) fingerling. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26:83-92. DOI:10.22092/ISFJ.2017.110332. (In Persian)

Jhon, B., Erika, A.D.C., Yuri, R. and Amauri, G., 2024. Tryptophan supplementation reduces body weight but does not reduce anxiety-like behavior in zebrafish. *Discover*

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

the World's Research, 4:1-13. DOI:10.21203/rs.3.rs-4151627/v1

Jodun, W., Millard, M. and Mohler, J., 2011. The effect of rearing density on growth, survival, and feed conversion of juvenile Atlantic sturgeon. *North American Journal of Aquaculture*, 64:10-15. DOI:10.1577/1548-8454(2002)064<0010:TEORDO>2.0.CO;2

Kalbassi, M.R., Abdollahzadeh, E.A. and Salari-Joo, H., 2013. A review on aquaculture development in Iran. Ecopersia, 1:159-178. DOI:20.1001.1.23222700.2013.1.2.4.6

Katooky, S., Jafaryan, H.A., Gholipour, H. and Ebrahimi, P., 2023. Effects of stocking density on growth parameters and some biochemical factors of blood serum in rainbow trout larvae (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792). *Journal of Applied Ichthyological Research*, 11:10-17. DOI: 10.22034/jair.11.4.2 (In Persian).

Koksal, G., Rad, F. and Kindir, M., 2000. Growth performance and feed conversion efficiency of Siberian sturgeon juveniles (*Acipenser baerii*) reared in concrete raceways. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 24:435-442.

Lepage, O., Tottmar, O. and Winberg, S., 2002. Elevated dietary intake of L-tryptophan counteracts the stress-induced elevation of plasma cortisol in (*Oncoryhnchus mykiss*, Walbaum). *Journal of Experimental Biology*, 205:3679-3687. DOI:10.1242/jeb.205.23.3679

Machado, M., Azeredo, R., Domingues, A., Fernandez-Boo, S., Dias, J., Conceicao, L.E.C. and Costas, B., 2019. Dietary tryptophan deficiency and its supplementation compromises inflammatory mechanisms and disease resistance in a teleost fish. *Scientific Reports*, 9:76-89. DOI:10.1038/s41598-019-44205-3

Mohseni, M., Hamidoghli, A. and Bai, S.C., 2021. Organic and inorganic dietary zinc in beluga sturgeon (*Huso huso*): Effects on growth, hematology, tissue concenrtation and oxidative capacity. *Aquaculture*, 539:672-736. DOI:10.1016/j.aquaculture.2021.736672

Nathalie¸ L.F. and Bernard, S., 2007. Biological roles of tryptophan and its metabolism: potential implication for pig feeding. *Livestock Science*, 112:23-32. DOI:10.1016/j.livsci.2007.07.002

Nghia, V.D., Huu, L.T., An, L.T.T. and Huy, N.V., 2022. Effects of dietary tryptophan on cannibalism, survival and growth of *Wallago attu* (Bloch and Schneider, 1801) juveniles. *Hue University Journal of Science: Natural Science*, 131:67-75. DOI:10.26459/hueunijns.v131i1D.6516

North, B.P., Turnbull, J.F., Ellis, T., Porter, M.J., Migaud, H., Bron, J. and Bromage, N.R., 2006. The impact of stocking density on the welfare rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 255:466-479. DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.01.004

Papoutsoglou, S.E., Karakatsouli, N. and Chiras, G., 2005. Dietary L-tryptophan and tank colour effects on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles reared in a recirculating water system. *Aquacultural Engineering*, 32:277-284. DOI:10.1016/j.aquaeng.2004.04.004

Pastuszewska, B., Tomaszewka, D.Z., Buraczewska, L., Swiech, E. and Taciak, M., 2007. Effect of supplementating pig diet with tryptophan and acidifier on protein digestion and deposition¸ and on brain

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

Sajjadi, M., 2017. Aquafeed formulation. University of Guilan Press, Iran. 287 P. (In Persian)

Sayed Hassani, M., Alipour, A., Yousefi Jourdehi, A. and Yeganeh, H., 2018. The effect of stocking density on growth and stress indices of fingerlings and juvenile *Acipenser baerii* reared in fiberglass tanks. *Journal of Animal Physiology and Development*, 11:27-40. (In Persian)

Seve, B., 1999. Physiological roles of tryptophan in pig nutrition. *Advances in Experimental Medicine and Biology,* 467: 729-741. DOI:10.1007/978-1-4615-4709-9_95

Shamsaie, M., Foroudi, F., Shekarabi, S.P., Arabi, F. and Mohammadi, N., 2019. Effect of different levels of synthetic tryptophan on growth performance and carcass amino acids profile of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 10:10-53. (In Persian)

Tejpal, C.S., Pal, A.K., Sahu, N.P., Kumar, J.A., Muthappa, N.A., Vidya, S. and Rajan, M.G., 2009. Dietary supplementation of L-tryptophan mitigates crowding stress and augments the growth in *Cirrhinus mrigala* fingerlings. *Aquaculture*, 293:277-279. DOI:10.1016/j.aquaculture.2008.09.014

Valipour, A.R., Gorohi, D., Sayad Bourani, M. and Hasanpour, A., 2023. Investigating of density effect on the growth and survival of Caspian Kutum, *Rutilus frisii* (Kamensky, 1901) pre-fattening in freshwater concrete ponds. *Aquatic Animals Nutrition*, 9:81-95. DOI:10.22124/janb.2023.25882.1224. (In Persian)

Vijayan, M.M., Ballantyne, J.S. and Leatherland, J.F., 1990. High stocking serotonin concentration in young pig. *Animal Feed Science and Technology*, 132:49-65. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2006.02.006

Pauly, D. and Zeller, D., 2017. Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture. *Marine Policy*, 77:176-181. DOI:10.1016/j.marpol.2017.01.006

Peters, J.C., 1991. Tryptophan nutrition and metabolism: an overview. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 249:345-358. DOI:10.1007/978-1-4684-5952-4_32

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

Rafatnezhad, S. and Falahatkar, B., 2011. Evaluation of stocking density on water quality parameters in rearing of beluga (*Huso huso*). *Iranian Scientific Fisheries Journal,* 20:165-170. DOI:10.22.92/ISFJ.2017.109985 (In Persian)

Ramsay, J.M., Feist, G.W., Varga, Z.M., Westerfield, M., Kent, M.L. and Schreck, C.B., 2006. Whole-body cortisol is an indicator of crowding stress in adult zebrafish, *Danio rerio*. *Aquaculture*, 258:565-574. DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.04.020.

Řehulka, J., 2000. Influence of astaxanthin on growth rate condition, and some blood indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 190:27-47. DOI:10.1016/S0044-8486(00)00383-5

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]

density alters the energy metabolism of brook charr (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture*, 88:371-381. DOI:10.1016/0044-8486(90)90162-G

Weil, L.S., Barry, T.P. and Malison, J.A., 2001. Fast growth in rainbow trout is correlated with a rapid decrease in post-stress cortisol concentrations. *Aquaculture*, 193:373-380. DOI:10.1016/S0044-8486(00)00482-8

Williot, P., Malison, L., Gessner, J., Arlatdi, G., Bronzi, P. and Gulyas, T., 2001. Sturgeon farming in Western Europe: recent developments and perspectives. *Aquatic Living Resources*, 14:367-374. DOI:10.1016/S0990-7440(01)01136-6

Williot, P., Arlati, G., Chebanov, M., Gulyas, T., Kasimov, R., Kirschbaum, F., Patriche, N., Pavlovskaya, L.P., Poliakova, L., Pourkazemi, M., Kim, Y., Zhuang, P. and Zholdasova, I., 2002. Status and management of Eurasian sturgeon: an overview. *International Review of Hydrobiology*, 87:483-506. DOI:10.1002/1522-2632(200211)87:5/6<483::AID-IROH483>3.0.CO;2-K

Yasmin, F., Sutradhar, S., Roy, A., Sarkar, R. and Mukherjee, S., 2024. Impacts of protein-, L-tryptophan-, carbohydrate-, oil-rich diets on growth performance, levels of melatonin, oxidative stress, antioxidative agents, and vital digestive enzymes in the gut of juvenile carp (*Catla catla*). *Journal of Endocrinology and Reproduction*, 27:261-278. DOI: 10.18311/jer/2023/34512

Zhang, X., Chang, E., Fu, Y., Liu, X., Xu, J., Wu, Y., Wang, A., Dong, X. and Miao, S., 2023. Tryptophan can alleviate the inhibition in growth and immunity of tilapia (GIFT *Oreochromis* spp.) induced by high dietary soybean meal level. *Aquaculture Reports*, 31:1-10. DOI:10.1016/j.aqrep.2023.101646

Zhang, Z., Zhang, M., Hong, J., Guo, C., Jiang, X., Dong, P., Huang, X., Yang, Z., Guo, G., Li, X., Zhao, D., Li, G., Li, M., Yu, G. and Liu, B., 2024. Tryptophan attenuates soybean meal-induced intestinal oxidative stress, mitophagy hyperactivation, and apoptosis inhibition in hybrid yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* ♀ × *Pelteobagrus vachelli* ♂), to improve intestinal health. *Animal Science and Technology*, 596:1-52. DOI:10.2139/ssrn.4823332

Zhu, H., Gong, G., Wang, J., Wu, X., Xue, M., Niu, C., Guo, L. and Yu, Y., 2011. Replacement of fish meal with blend of rendered animal protein in diets for Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt), results in performance equal to fish meal fed fish. *Aquaculture Nutrition*, 17:1389-1401. DOI:10.1111/j.1365-2095.2010.00773.x

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-14]