

Original Article



Determination on Growth, Blood biochemical indices and Liver enzymes of Siberian sturgeon fed with *Spirulina platensis*

Merdad Nasri Tajan^{1*}, Yashar Kohh alvandi¹, Mohaddeseh Alizadeh Piralidehi², Somayeh Haghighi Karseyedani¹

1. Department of Fisheries, Bandar Anzali International Branch, Islamic Azad University, Bandar Anzali, Iran.
2. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

Article history:

Received: 11 July 2024
Revised: 13 August 2024
Accepted: 16 August 2024
ePublished: 16 August 2024

*Corresponding author: Merdad Nasri Tajan, Department of Fisheries, Bandar Anzali International Branch, Islamic Azad University, Bandar Anzali, Iran.

E-mail: mehrdad.nasri@iau.ac.ir

Abstract

Spirulina is a popular edible blue-green algae that has attracted attention in aquatic feed formulations due to its high concentration of micronutrients, macronutrients and antioxidants. The present study was conducted to investigate the effect of different levels of *Spirulina platensis* on growth, blood biochemical indices and liver enzymes of Siberian sturgeon. For this purpose fish with mean weight (32.24 ± 1) and longitudinal mean (21.2 ± 0.51) cm were distributed in 12 fiberglass tanks with a density of 15 fish. During 56 days with three diets including with different levels of algae (*Spirulina platensis*) containing 0 (Sp 0), 2.5 (Sp 2.5), 5 (Sp 5) and 10 (Sp 10) percent as well, a diet done without any additives. Based on these results, the percentage of body weight gain, specific growth indices, average daily growth, feed conversion ratio, feed intake, obesity and protein efficiency coefficient (Sp 10) were significantly different from other treatments ($P < 0.05$). Also, in the blood biochemical indices such as urea, total bilirubin, cholesterol and lipase no significant different were observed ($P > 0.05$), but glucose and triglyceride significantly are showed ($P < 0.05$). The highest glucose values and the lowest triglyceride levels were indicated in the (Sp10) treatment ($P < 0.05$). Also no significant differences were observed in liver enzyme levels (ALT, AST, ALP) among the different studied ($P > 0.05$). Overall, the impact of *Spirulina platensis* algae usage in aquatic nutrition is able to improve growth, nutrition, blood biochemical parameters and liver enzymes in a completely positive and meaningful.

Keywords: *Spirulina platensis*, Growth indices, Blood biochemical parameters, Liver enzymes and Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*)

Please cite this article as follows: Nasri Tajan M., Kohh Alvandi Y., Alizadeh Piralidehi M., Haghighi Karseyedani S. Determination on Growth, Blood Biochemical Indices and Liver Enzymes of Siberian Sturgeon Fed with *Spirulina platensis*. J Mar Bio, 2024; 16(2): 59–75. DOI:



Copyright © 2024 Journal of Marin Biology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله اصلی

تعیین شاخص‌های رشد، بیوشیمیایی خون و آنزیم‌های کبدی تاس‌ماهی سبیری (*Acipenser baerii*) تغذیه شده با جلبک اسپیرولینا (*Spirulina platensis*)

مهرداد نصری تجن^{*۱}، یاشار کوه‌الوندی^۱، محدثه علیزاده پیرعلیده‌ی^۲، سمیه حقیقی کارسیدانی^۱

۱. گروه شیلات، واحد بین المللی بندرانزلی، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرانزلی، ایران.
۲. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

چکیده

اسپیرولینا یک جلبک سبز-آبی خوراکی محبوب است که به دلیل غلظت بالای ریزمغذی‌ها، درشت‌مغذی‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها، توجه فرمولاسیون‌های خوراک آبزیان را برانگیخته است. مطالعه حاضر به منظور بررسی تأثیر کاربرد جلبک *Spirulina platensis* به عنوان مکمل غذایی بر برخی از شاخص‌های رشد، بیوشیمیایی خون و آنزیم‌های کبدی تاس‌ماهی سبیری (*Acipenser baerii*) صورت گرفت. برای این منظور ماهیان با میانگین وزنی $(32/24 \pm 1)$ و طولی $(21/2 \pm 0/51)$ سانتی‌متر در ۱۲ مخزن فایبرگلاس با تراکم ۱۵ عدد ماهی، طی مدت ۵۶ روز با چهار جیره آزمایشی با سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis*: $0\% (Sp_0)$ شاهد، $2/5\% (Sp_{2.5})$ ، $5\% (Sp_5)$ و $10\% (Sp_{10})$ تغذیه شدند. نتایج آماری پارامترهای عملکرد رشد نشان داد که میانگین مقدار وزن نهایی، رشد ویژه (SGR)، رشد روزانه (ADG)، کارایی پروتئین (PER)، ضریب تبدیل غذایی (FCR)، میزان جذب غذا (FI)، میزان نرخ رشد ویژه (SGR)، درصد افزایش وزن (BWI)، نرخ رشد روزانه (ADG)، نسبت کارایی پروتئین (PER) در تیمار Sp_{10} نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$). نتایج آماری پارامترهای بیوشیمیایی خون شامل میزان اوره، بیلی‌روبین کل (Total Bilirubin)، کلسترول و لیپاز بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$). اما میزان گلوکز و تری‌گلیسیرید تحت تأثیر جیره‌ها قرار گرفتند ($P < 0.05$) و بیشترین مقادیر گلوکز خون در تیمار Sp_{10} مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت ($P < 0.05$). اما افزودن سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis* به جیره موجب کاهش سطح تری‌گلیسیرید خون شد و کم‌ترین مقدار این پارامتر در تیمار Sp_{10} مشاهده شد ($P < 0.05$). اختلاف معنی‌داری در مقادیر آنزیم‌های کبدی: AST، ALT و ALP نیز در بین تیمارهای مختلف مورد مطالعه مشاهده نشد ($P > 0.05$). در مجموع، تأثیر جلبک *Spirulina platensis* بر شاخص‌های رشد، تغذیه، بیوشیمیایی خون و آنزیم‌های کبدی کاملاً مثبت و معنی‌دار ارزیابی می‌شود.

واژگان کلیدی: جلبک *Spirulina platensis*، شاخص‌های رشد، پارامترهای بیوشیمیایی خون، آنزیم‌های کبدی و تاس‌ماهی سبیری (*Acipenser baerii*).

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۴/۲۱
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۶
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۶

تمامی حقوق برای دانشگاه آزاد اهواز محفوظ است.

* نویسنده مسئول: مهرداد نصری تجن، گروه شیلات، واحد بین المللی بندرانزلی، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرانزلی، ایران.

ایمیل: mehrdad.nasri@iau.ac.ir

استناد: نصری تجن، مهرداد؛ کوه‌الوندی، یاشار؛ علیزاده پیرعلیده‌ی، محدثه؛ حقیقی کارسیدانی، سمیه. تعیین شاخص‌های رشد، بیوشیمیایی خون و آنزیم‌های کبدی تاس‌ماهی سبیری (*Acipenser baerii*) تغذیه شده با جلبک اسپیرولینا (*Spirulina platensis*). مجله زیست‌شناسی دریا، تابستان ۱۴۰۳؛ ۱۶(۲): ۵۹-۷۵

مقدمه

ماهیان خاویاری به عنوان گونه‌های اصلی، به سلامت و پایداری اکوسیستم دریای خزر کمک می‌کنند (Haxton and Friday, 2019). اما در حال حاضر، تخریب و از بین رفتن زیستگاه به دلیل عواملی مانند سدسازی و آلودگی بر جمعیت ماهیان خاویاری تأثیر منفی می‌گذارد. یکی از چالش‌های کلیدی در پرورش مصنوعی ماهیان خاویاری، به ویژه در رابطه با تغذیه ماهیان خاویاری است. ماهیان خاویاری معمولاً برای رشد و نمو مطلوب به پروتئین، لیپیدها، ویتامین‌ها و مواد معدنی با کیفیت بالا نیاز دارند. در حالی که پودر ماهی یک منبع پروتئین سنتی و ارزشمند در آبی پروری بوده است، استفاده از آن به ویژه در مراکز تکثیر ماهی دارای معایب و محدودیت‌های متعددی است. پودر ماهی جزء گران قیمت جیره است و قیمت آن می‌تواند بر اساس عواملی مانند بازده ماهی و تقاضای جهانی در نوسان باشد. تولید پودر ماهی اغلب به ماهی‌های صید شده وحشی مانند گونه‌های کوچک دریایی وابسته است. صید بی‌رویه این گونه‌ها می‌تواند نگرانی‌هایی را در مورد پایداری تولید پودر ماهی ایجاد کند، زیرا ممکن است به کاهش ذخایر ماهی کمک کند. در حالی که پودر ماهی منبع خوبی از پروتئین باکیفیت است، ممکن است مشخصات مواد مغذی متعادلی را ارائه نکند (Jannathulla et al., 2019). زیرا برخی از مواد مغذی ضروری مانند ویتامین‌ها و مواد معدنی ممکن است در پودر ماهی ناکافی باشند. این می‌تواند منجر به نیاز به مکمل‌های اضافی در رژیم غذایی ماهی شود (Hodar et al., 2020).

برای مقابله با این معضل، استفاده از رژیم غذایی مبتنی بر پروتئین گیاهی، شناسایی مواد غذایی جدید و دستکاری فرمول جیره باید به عنوان جایگزین‌های حیاتی برای حفظ تولید پایدار آبی‌پروری در نظر گرفته شود (Ng and Romano, 2013; Rosas et al., 2019). پروتئین گیاهی از طریق جایگزینی جزئی یا کامل پودر ماهی در چندین گونه جانوری آبی با درجات مختلف با موفقیت مورد مطالعه قرار گرفته است (Mandalet et al., 2010; de Cruz et al., 2018; Khalila et al., 2018; Goda et al., 2019; Rosas et al., 2019). با این حال، اکثر منابع پروتئین گیاهی ممکن است فاقد اسیدهای آمینه ضروری و حاوی عوامل ضد تغذیه باشند که ممکن است بر مصرف خوراک، هضم و جذب مواد مغذی و سلامت عمومی ماهی تأثیر منفی بگذارد (AlMulhim et al., 2023). همچنین، استفاده از منابع پروتئین گیاهی باعث ایجاد تغییرات قابل توجهی در میکروبیوم روده می‌شود که می‌تواند به عملکرد منفی حیوانات و نتایج سلامت کمک کند (Jang et al., 2019). بنابراین، استفاده از پروتئین گیاهی بدون منابع مکمل مواد مغذی ضروری نمی‌تواند به ارزش غذایی متعادل دست یابد و کارایی تبدیل و تولید (زمین و آب) را بهینه کند (Holman and Malau-Aduli, 2013; Cerqueira et al., 2020). به این دلایل، رژیم غذایی مبتنی بر گیاه می‌تواند مکمل برخی از مواد بسیار مفید برای بهبود ارزش غذایی و کارایی آن باشد. یکی از امیدوارکننده‌ترین منابع گیاهی در فرمولاسیون‌های جیره، آبزیان، ریز جلبک‌ها هستند (Mansour et al., 2021).

Spirulina platensis یکی از رایج‌ترین ریزجلبک‌های مورد استفاده در خوراک حیوانات آبی به عنوان محرک رشد به دلیل محتوای بالای پروتئین (تا ۶۵٪)، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه ضروری، مواد معدنی و اسیدهای چرب ضروری است (Nakagawa et al., 2000). این گونه همچنین حاوی طیف وسیعی از مواد فعال زیستی از جمله استرول‌ها، پلی‌ساکاریدهای سولفات، پلی‌پپتید فیکوسیانیین، بتاکاروتن و آلفا‌فیکوسیانیین است (Wang et al., 2007). با توجه به مشخصات غذایی غنی و وجود ترکیب فعال زیستی، نشان داده شده است که تأثیر مثبتی را نیز بر خوش طعمی خوراک، قابلیت هضم غذا و عملکرد کلی رشد ماهی دارد (Mahmoud et al., 2018; Raji et al., 2018; Roohani et al., 2019). گزارش شده است که بهترین منابع پروتئین گیاهی تنها حدود نصف مقدار پروتئین اسپیرولینا را دارا می‌باشند، به عنوان مثال پودر سویا حدود ۳۵-۴۰ درصد پروتئین دارد. از طرفی محتوای پروتئین *S. platensis* می‌تواند با منابع پروتئینی سنتی مانند پودر ماهی قابل مقایسه یا حتی بالاتر از آن باشد (Akhoundian et al., 2023). ویژگی بارز اسپیرولینا این است که به واسطه عدم حضور سلولز در دیواره سلولی به سرعت قابل هضم بوده و پس از ۱۸ ساعت، بیش از ۸۵ درصد پروتئین آن هضم و جذب می‌شود (Beresto, 2001). از این رو، به نظر می‌رسد که اسپیرولینا مکمل کاملی برای رژیم‌های غذایی آبی‌پروری به منظور افزایش رشد ماهی و استفاده از غذا باشد. بنابراین در بخش نوآوری خوراک آبی‌پروری، پودر اسپیرولینا به عنوان یک مکمل پروتئینی و مواد افزودنی به سرعت محبوبیت پیدا کرده است (Altmann

and Rosenau, 2021; Li *et al.*, 2022; Ramírez-Carmona *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2023). علاوه بر این، شناسایی سطوح مناسب غذای مکمل اسپیرولینا در رژیم غذایی ماهی برای تشویق تولید پایدار، رشد اقتصادی و مزایای سلامتی مورد نیاز است. بنابراین، مطالعه حاضر به بررسی شاخص‌های عملکرد رشد، پارامترهای بیوشیمیایی خون، آنزیم‌های کبدی در ماهی *Acipenser baerii* برای شناسایی سطوح بهینه مکمل اسپیرولینا در فرمولاسیون خوراک آبزی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

زمان، مکان و شرایط محیطی تحقیق

این تحقیق در بهار ۱۳۹۹ در مزرعه خصوصی خاویار طلایی دیلم رشت انجام شد. حوضچه‌های ونیرو مورد استفاده در این تحقیق ۲ متر، ارتفاع ۰/۵ متر و حجم آبگیری ۱۰۰۰ لیتر انتخاب شدند. قبل از تحقیق، حوضچه‌ها به خوبی شستشو و ضدعفونی شده و سیستم ورودی و خروجی و همچنین سیستم هوادهی آن برای انجام مراحل تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. منبع ورودی آب حوضچه‌ها از آب چاه استفاده شد. ضدعفونی آب ورودی قبل از انتقال به حوضچه‌ها صورت گرفت. دبی آب برای هر حوضچه ۲۰ لیتر بر دقیقه بود. در طول تحقیق درجه حرارت، اکسیژن، pH، آمونیاک غیر یونیزه و نیتريت اندازه‌گیری شدند که به ترتیب عبارت بودند از: $18.1 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ، 7.35 ± 0.65 ، $7.0 \pm 0.5 \text{ mg L}^{-1}$ و $< 0.1 \text{ mg L}^{-1}$.

مراحل آماده‌سازی جیره‌ها

۴ جیره آزمایشی با سطوح مختلف از جلبک *Spirulina platensis* حاوی ۰ (Sp 0)، ۲/۵ (Sp 2.5)، ۵ (Sp 5) و ۱۰ (Sp 10) درصد فراهم گردید. برای تهیه جیره‌های مورد نظر، ابتدا هریک از اقلام غذایی به صورت جداگانه آنالیز شدند و پس از مشخص شدن ترکیب شیمیایی هریک از اجزا بر اساس نرم افزار جیره‌نویسی (Lindo (6.1, Chicago, USA)، جیره مورد نظر بر اساس احتیاجات ماهی به دقت فرموله گردید (جدول ۱). پروتئین پایه جیره ۴۲ درصد و چربی پایه جیره ۱۵ درصد می‌باشد. ترکیب تقریبی حاصل از آنالیز در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول شماره ۱: ترکیب اجزا (%)

ترکیب اجزا %				فرمول جیره غذایی %
Sp 10	Sp 5	Sp 2/5	Sp 0 (شاهد)	
۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	پودر ماهی کلیکا
۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	سویا
۴	۴	۴	۴	آرد گندم
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	روغن سویا
۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	روغن ماهی
۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	پرمیکس مواد معدنی
۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	پرمیکس مواد ویتامینه
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	آنتی‌اکسیدان
۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	ضد قارچ (سرکه)
۱۰	۵	۲/۵	۰	جلبک (<i>Spirulina platensis</i>)
۰	۵	۷/۵	۱۰	بتونیت

جدول ۲: ترکیب شیمیایی پودر خشک جلبک اسپرولینا (شرکت ریز جلبکی پارسیان)

رطوبت	خاکستر خام	چربی خام	پروتئین خام
۶/۸۵ ± ۰/۰۴	۱۶/۲۱ ± ۰/۴۱	۶/۵۷ ± ۰/۱۹	۴۸/۳۳ ± ۱/۱۴

در تهیه جیره‌ها، ابتدا اقلام خوراکی ریزتر که به مقدار کمی درجیره مورد نیاز بود، توزین و با هم مخلوط شدند. سپس اقلام درشت‌تر نظیر پودر ماهی (۷۰٪ پروتئین)، آرد گندم (۱۱٪) و کنجاله سویا (۴۵٪) پس از تعیین میزان مورد نیاز توسط دستگاه آسیاب مدل (Damicar Co., Tehran, Iran) آسیاب شده تا کاملاً شبیه پودر در آیند. پس از این مرحله اقلام آسیاب شده از توری ۵۰۰ میکرونی عبور داده شدند. اقلام مورد نظر به نسبت‌های مشخص بادهستگاه مخلوط کن (PooyaNotash Machinery Co., Mashhad, Iran) با هم ترکیب شد تا اقلام غذایی به صورت یکنواخت در آیند. در مرحله بعد روغن ماهی به ترکیب اضافه شد و به مدت ۴۵ دقیقه با هم مخلوط شدند. در نهایت برای تولید ترکیب خمیری حدود ۲۰ درصد حجم جیره به آن آب اضافه می‌شود (Gatlin, 2010). ترکیب خمیری در داخل دستگاه غریال گر (Chega Co, Isfahan, Iran) ریخته و تحت فشار از سوراخ‌های ۴ میلی‌متری عبور می‌نماید. رشته‌های تولید شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴°C درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شوند تا رطوبت غذای تولید شده به حدود ۱۰٪ گردد (Adel et al., 2016). غذای تهیه شده تا مرحله استفاده در دمای ۲۰°C - نگهداری می‌شوند.

شرایط پرورش تاس‌های ماهی سیبری

تاس‌های ماهیان سیبری به مدت ۲ هفته قبل از شروع تحقیق در تانک‌های فایبرگلاس سازگار شدند. ماهیان در مرحله سازگاری (عادت‌دهی) از جیره کنترل (جدول ۱) تغذیه شدند. همچنین تاس‌های ماهیان سیبری در مرحله تغذیه با جیره‌های مختلف سطوح مختلف از جلبک *Spirulina platensis* حاوی ۰ (SP0)، ۲/۵ (SP2.5)، ۵ (SP5) و ۱۰ (SP10) سه بار در روز (۶ صبح، ۲ بعد از ظهر، ۱۰ شب) به میزان ۳ درصد وزن بدن تغذیه شدند. ماهیان قبل از وزن شدن با پودر گل میخک (باریج اسانس، ایران) به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیهوش شده تا استرس کمتری را تحمل کنند. تعداد ۱۸۰ ماهی با میانگین وزنی (۱ ± ۳۲/۲۴) گرم و میانگین طول (۵۱ ± ۲۱/۲) سانتی‌متر به صورت تصادفی در ۱۲ تانک به ابعاد ۱۰۰۰ لیتری توزیع (هر تانک ۱۵ ماهی) و به مدت ۵۶ روز پرورش یافتند. مدفوع و همچنین غذای مصرف نشده ماهیان بصورت روزانه از طریق سیفون کردن از حوضچه‌ها خارج شد.

زیست‌سنجی ماهیان

در ابتدای مطالعه و در طول مدت ۸ هفته پرورش، ۳ بار زیست‌سنجی انجام شد (اول دوره، وسط دوره، آخر دوره). به این ترتیب که ۲۴ ساعت قبل از زیست‌سنجی غذادهی قطع می‌شد تا دستگاه گوارش ماهیان تخلیه شود. سپس ماهیان موجود در هر تانک با احتیاط کامل توسط ساچوک سید شده و زیست‌سنجی انجام می‌گرفت. برای اندازه‌گیری وزن و طول ماهی به ترتیب از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم و تخته زیست‌سنجی با دقت یک میلی‌متر استفاده شد. داده پس از وارد نمودن داده‌ها به (Excel Microsoft Office 2016) روند شاخص‌های رشد مورد بررسی قرار گرفت.

اندازه‌گیری پارامترهای تغذیه‌ای و رشد

در انتهای تحقیق که برای مدت ۵۶ روز به طول انجامید طول و وزن ماهیان تعیین گردید و شاخص‌های رشد و بیولوژیکی بر اساس فرمول‌های زیر که بر اساس منابع موجود از معادلات ریاضی گردآوری شده است، محاسبه می‌شود (طاعتی و همکاران، ۱۳۹۳).

درصد افزایش وزن بدن^۱ {BWI%}:

$$BWI = \left[\frac{W_t - W_i}{W_i} \right] \times 100 \quad (۱)$$

W_i وزن اولیه W_t وزن نهایی

شاخص رشد ویژه^۲ {SGR}:

$$SGR = \left[\frac{\ln W_t - \ln W_i}{T} \right] \times 100 \quad (۲)$$

میانگین رشد روزانه^۳ {ADG%}:

$$ADG = \left[\frac{W_t - W_i}{W_i \times T} \right] \times 100 \quad (۳)$$

ضریب تبدیل غذایی^۴ {FCR}:

$$FCR = \left[\frac{\text{Feedfed}}{W_t - W_i} \right] \quad (۴)$$

میزان جذب غذا^۵ {FI}:

$$FI \text{ (g/day)} = \left[\frac{\text{Total feed intake per fish}}{\text{day}} \right] \quad (۵)$$

ضریب چاقی^۶ {CF}:

$$CF = \left[\frac{W}{L^3} \right] \times 100 \quad (۶)$$

ضریب کارایی پروتئین {PER}:

$$PER = \left[\frac{W_t - W_i}{\text{protein intake}} \right] \quad (۷)$$

درصد زنده‌مانی {SR}:

$$SR = \left[\frac{N_t}{N_0} \right] \times 100 \quad (۸)$$

اندازه‌گیری فاکتورهای خونی

در پایان دوره پرورش، غذادهی ماهیان به مدت ۲۴ ساعت به منظور دفع محتویات لوله گوارش ماهیان قطع و عملیات خونگیری از سیاهرگ دمی (Caudal vein) واقع در انتهای بالهٔ مخرجی تاس ماهی سیبری صورت گرفت. از هر حوضچه ونبرو سه ماهی به طور تصادفی (در مجموع نه عدد از هر تیمار) صید و پس از بیهوشی در عصارهٔ گل میخک، از ورید ساقه دمی خونگیری به عمل آمد. بخشی از خون در تیوب‌های هپارینه ریخته شد. جهت سنجش پارامترهای خونی، نمونه‌ها برای بررسی فاکتورهای هماتولوژی به آزمایشگاه تخصصی ویرومد واقع در استان گیلان-شهرستان رشت انتقال داده شدند.

بخشی در تیوب‌های غیرهپارینه ریخته شد و سپس سرم خون توسط دستگاه سانتریفیوژ (مدل Labofuge ساخت شرکت Heraeus sepatch آلمان) با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه با سمپلر جدا شد و در ایندورهای ۱/۵ ml ریخته و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد

¹ Body Weight Increase

² Specific Growth Rate

³ Average Daily Growth

⁴ Feed Conversion Ratio

⁵ Feed intake

⁶ Condition Factor

نگهداری شدند و بخشی از آن برای سنجش فاکتورهای بیوشیمیایی خون در مجاور یخ در فلاکس مخصوص قرار داده شد و به آزمایشگاه شیلات دانشگاه علوم تحقیقات منتقل شدند.

سنجش فاکتورهای بیوشیمیایی خون

اندازه‌گیری گلوکز، کلسترول، اوره، بیلیروبین کل، پروتئین کل، تری‌گلیسیرید و لیپاز

اندازه‌گیری فاکتورهای بیوشیمیایی خون شاخص‌های گلوکز، کلسترول، اوره، توتال بیلیروبین، توتال پروتئین، تری‌گلیسیرید و لیپاز با استفاده از کیت‌های آزمایشگاهی (شرکت پارس آزمون، تهران) براساس دستورالعمل‌های شرکت سازنده و با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر (مدل Inc MedisysBoeki Tokyo، ژاپن) (در آزمایشگاه ویرومد (رشت - گیلان - ایران) انجام شد) (Hoseinifar et al., 2011).

اندازه‌گیری آنزیم‌های کبدی سرم خون

در این مطالعه سنجش آنزیم‌های کبدی: آلانین آمینوترانسفراز^۷ (ALT)، آسپاراتات آمینوترانسفراز^۸ (AST) و آلکالین فسفاتاز^۹ (ALP)، به‌وسیله دستگاه اتوآنالایزر (مدل Inc MedisysBoeki Tokyo، ژاپن) طبق دستورالعمل شرکت سازنده با استفاده از کیت‌های آزمایشگاهی (پارس آزمون، ایران) به روش آنزیمی، اندازه‌گیری شد (Hoseinifar et al., 2011).

آنالیز آماری

نتایج با استفاده از بسته آماری نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 27 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. بعد از انجام تست نرمالیت تیمارها توسط آزمون Kolmogorov-smirnov از آزمون آماری One-way ANOVA جهت معنی‌داری اختلاف بین تیمارهای داده‌های کمی استفاده شد ($P < 0.05$). در نهایت تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن^{۱۰} تعیین گردید. برای رسم شکل‌ها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شده است.

نتایج

فاکتورهای رشد و زنده‌مانی

نتایج مربوط به فاکتورهای رشد و زنده‌مانی تیمارهای مختلف تغذیه شده با Sp0، Sp2.5، Sp5 و Sp10 در انتهای دوره در جدول ۳- آمده است. بر اساس این نتایج وزن نهایی، ضریب تبدیل غذایی (FCR)، میزان جذب غذا (FI)، میزان نرخ رشد ویژه (SGR)، فاکتور وضعیت (CF)، درصد افزایش وزن (BWI)، نرخ رشد روزانه (ADG) و نسبت کارایی پروتئین (PER) نسبت به گروه شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$). نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف معناداری در درصد زنده‌مانی بین تیمارهای مختلف آزمایشی وجود ندارد ($P > 0.05$).

⁷ Alanine Transaminase

⁸ Aspartat amino transferase

⁹ Alkaline Phosphatase

¹⁰ Duncan multi-range test

جدول ۳: میانگین شاخص‌های رشد و زنده‌مانی *Acipenser baerii* تغذیه شده با چهار جیره آزمایشی با سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis*

جیره‌های آزمایشی				شاخص
Sp10	Sp5	Sp2.5	Sp0 (شاهد)	
۳۱/۹۱ ± ۰/۰۹	۳۲/۳۱ ± ۰/۲۵	۳۲/۴۰ ± ۰/۵۸	۳۲/۳۲ ± ۰/۱۷	وزن اولیه (گرم)
۱۰۵/۸۹ ± ۱/۴۱ ^a	۱۰۱/۵۸ ± ۱/۸۹ ^a	۹۲/۶۳ ± ۱/۶۲ ^b	۹۱/۵۹ ± ۱/۳۰ ^b	وزن نهایی (گرم)
۲۱/۱۱ ± ۰/۱۲	۲۱/۰۳ ± ۰/۲۲	۲۱/۸۵ ± ۰/۲۲	۲۱/۶۶ ± ۰/۴۸	طول اولیه (سانتی‌متر)
۳۳/۵۱ ± ۰/۰۸ ^a	۳۲/۸۱ ± ۰/۲۳ ^{ab}	۳۱/۴۴ ± ۰/۷۲ ^{bc}	۳۰/۸۹ ± ۰/۵۲ ^c	طول نهایی (سانتی‌متر)
۱/۳۶ ± ۰/۰۰ ^b	۱/۴۰ ± ۰/۰۱ ^b	۱/۵۲ ± ۰/۰۰ ^a	۱/۵۱ ± ۰/۰۲ ^a	ضریب تبدیل غذایی (FCR)
۱/۸۰ ± ۰/۰۳ ^a	۱/۷۴ ± ۰/۰۳ ^a	۱/۶۳ ± ۰/۰۲ ^b	۱/۵۹ ± ۰/۰۱ ^b	میزان جذب غذا (FI)
۲/۱۴ ± ۰/۰۰ ^a	۲/۰۴ ± ۰/۰۲ ^b	۱/۸۷ ± ۰/۰۰ ^c	۱/۸۵ ± ۰/۰۳ ^c	نرخ رشد ویژه (SGR)
۰/۲۸ ± ۰/۰۰ ^b	۰/۲۹ ± ۰/۰۰ ^b	۰/۳۰ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۳۱ ± ۰/۰۱ ^a	ضریب چاقی (CF) یا فاکتور فربهی
۲۳۱/۸۳ ± ۱/۶۳ ^a	۲۱۴/۳۷ ± ۴/۱۵ ^b	۱۸۵/۸۶ ± ۰/۲۴	۱۸۳/۳۷ ± ۳/۵۳ ^c	درصد افزایش وزن بدن (BWI)
۴/۱۳ ± ۰/۰۳ ^a	۳/۸۲ ± ۰/۰۷ ^b	۳/۳۱ ± ۰/۰۰ ^c	۳/۲۷ ± ۰/۰۶ ^c	نرخ رشد روزانه ماهی (ADG)
۱/۷۶ ± ۰/۰۳ ^a	۱/۶۴ ± ۰/۰۷ ^b	۱/۴۳ ± ۰/۰۳ ^c	۱/۴۱ ± ۰/۰۳ ^c	کارایی پروتئین (PER)
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	درصد بقا (زنده‌مانی)

توجه: داده‌های جدول شامل میانگین ± اشتباه معیار است.

حروف کوچک (a, b, c) متفاوت در هر ردیف بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین سه تیمار فوق است ($p < 0.05$). ردیف‌هایی که فاقد حروف هستند دارای اختلاف معنی‌داری نیستند ($P > 0.05$).

فاکتورهای بیوشیمیایی سرم

پارامترهای بیوشیمیایی در جدول ۴ مشخص می‌باشد. میزان کلسترول، اوره، توتال بیلروبین^{۱۱} و لیپازدر سرم تاس ماهی سبیری تغذیه شده با جلبک *Spirulina platensis* بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$). اما میزان گلوکز، تری‌گلیسیرید تحت تاثیر جیره‌ها قرار گرفتند ($P < 0.05$). در مطالعه حاضر بیشترین مقادیر گلوکز خون در تیمار Sp10 مشاهده شد که اختلاف معناداری با تیمار شاهد داشت ($P < 0.05$). در این پژوهش افزودن سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis* به جیره موجب کاهش سطح تری‌گلیسیرید خون شد و کمترین مقدار این پارامتر در تیمار Sp10 مشاهده شد ($P < 0.05$).

¹¹ Total Bilirubin

جدول ۴: میانگین شاخص‌های بیوشیمیایی خون *Acipenser baerii* تغذیه شده خوراک پایه (شاهد) و سه جیره آزمایشی با سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis* به مدت ۵۶ روز

جیره‌های آزمایشی				پارامتر (میلی گرم/دسی لیتر)
Sp10	Sp5	Sp2.5	Sp0 (شاهد)	
۸۳ ± ۴/۵۸ ^a	۷۸/۳۳ ± ۱/۴۵ ^{ab}	۷۳/۳۳ ± ۲/۷۲ ^b	۷۱ ± ۱/۱۵ ^b	گلوکز (Glucose)
۱۷۹/۶۶ ± ۲۶/۹۶	۱۶۹/۳۳ ± ۴۰/۱۲	۱۵۱ ± ۴۰/۲۵	۱۱۲ ± ۱۹/۶۲	کلسترول (Cholesterol)
۲ ± ۱	۳ ± ۱/۷۳	۳/۶۶ ± ۰/۱۸۸	۲/۶۶ ± ۱/۲۰	اوره (Urea)
۰/۰۳ ± ۰	۰/۰۲ ± ۰/۰۱	۰/۰۲ ± ۰	۰/۰۴ ± ۰	بیلی‌روبین کل (Total Bilirubin)
۵۷۸ ± ۸/۱۴ ^b	۵۷۴/۶۶ ± ۵/۱۷ ^b	۳۳/۶۰۴ ± ۴/۶۳ ^{ab}	۶۰۳ ± ۳/۶۰ ^a	تری‌گلیسرید (Triglyceride)
۱۷/۶۶ ± ۲/۷۲	۱۸/۳۳ ± ۱/۸۵	±۶۶/۱۸ ۲/۳۳	۱۸/۳۳ ± ۱/۲۰	لیپاز (Lipase)

توجه: داده‌های جدول شامل میانگین ± اشتباه معیار است.

حروف کوچک (a, b, c) متفاوت در هر ردیف بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین سه تیمار فوق است ($p < 0.05$). ردیف‌هایی که فاقد حروف هستند دارای اختلاف معنی‌داری نیستند ($P > 0.05$).

آنزیم‌های کبدی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کبدی تاس‌ماهی سیبری تغذیه شده با سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis* در پایان روز ۵۶ آزمایش در جدول ۵ آمده است. بر اساس نتایج به دست آمده، در انتهای روز ۵۶، اختلاف معنی‌داری در مقادیر آنزیم‌های کبدی AST، ALT و ALP در بین تیمارهای مختلف مورد مطالعه مشاهده نشد ($P > 0.05$) با این حال کم‌ترین میزان در تیمار Sp10 مشاهده شد.

جدول ۵: میانگین مقادیر آنزیم‌های کبدی *Acipenser baerii* تغذیه شده خوراک پایه (شاهد) و سه جیره آزمایشی با سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis*

جیره‌های آزمایشی				پارامتر (U/I)
Sp10	Sp5	Sp2.5	Sp0 (شاهد)	
۲۹ ± ۲/۰۸	۲۹/۶۶ ± ۱/۸۵	۲۹/۳۳ ± ۱/۲۰	۳۱ ± ۱/۵۲	آسپارات‌آمینوترانسفراز (AST)
۵۰۱/۶۶ ± ۹/۷۶	۵۰۹/۳۳ ± ۷/۲۶	۵۲۶ ± ۱۳/۰۵	۵۲۹/۳۳ ± ۱۶/۵۷	آلانین‌آمینوترانسفراز (ALT)
۶۹۲ ± ۱۴/۷۳	۷۰۲/۶۶ ± ۱۹/۲۲	۷۰۸/۶۶ ± ۱۵/۱۰	۷۱۳ ± ۷/۲۱	آلکالاین فسفاتاز (ALP)

توجه: داده‌های جدول شامل میانگین ± اشتباه معیار است.

حروف کوچک (a, b, c) متفاوت در هر ردیف بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین سه تیمار فوق است ($p < 0.05$). ردیف‌هایی که فاقد حروف هستند دارای اختلاف معنی‌داری نیستند ($P > 0.05$).

بحث

تأثیر سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis* بر فاکتورهای رشد و زنده‌مانی

در بینماکرومولکول‌های موجود در مواد غذایی، پروتئین‌ها مهم‌ترین فعالیت آنابولیک هستند که منجر به ساخت بافت جدید و رشد موجود می‌شوند و از طرف دیگر نقش اصلی چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها تأمین انرژی برای نیازهای بدن است. اگر تقاضای انرژی فیزیولوژیکی بدن تأمین شود احتمالاً مصرف پروتئین برای تولید انرژی کاهش می‌یابد و پروتئین در مسیر بیوسنتز پروتئین جدید قرار می‌گیرد و باعث افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها و در نهایت رشد جسمی می‌شود (Frayn, 2010). در این تحقیق چهار جیره آزمایشی با سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis*: ۰ (Sp 0 / شاهد)، ۲/۵ (Sp 2.5)، ۵ (Sp 5) و ۱۰ (Sp 10) درصد برای ماهی *Acipenser baerii* تعیین شد.

جدول (۳). عملکرد شاخص‌های رشد: میزان ضریب تبدیل غذایی (FCR)، میزان جذب غذا (FI)، نرخ رشد ویژه (SGR)، ضریب چاقی (CF) یا فاکتور فربهی، درصد افزایش وزن بدن (BW)، نرخ رشد روزانه ماهی (ADG)، کارایی پروتئین (PER) و درصد بقاء (زنده‌مانی) نشان داده شد که جیره غذایی تاس ماهی سبیری با سطح ۱۰ درصد در جیره بهترین عملکرد را داشت. Nandeeshia و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که بهبود شاخص‌های رشد ناشی از استفاده مکمل اسپرولینا ممکن است در نتیجه افزایش اشتها ماهی باشد. در همین راستا Roohani و همکاران (۲۰۱۹) دلیل بهبود رشد با استفاده از مکمل اسپرولینا را بهبود مصرف خوراک و قابلیت هضم مواد مغذی دانسته‌اند و بیان نمودند که اسپرولینا تعادل میکروبی روده را بهبود می‌بخشد و با بهبود جذب غذا، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و سیستم انتقال چربی منجر به رشد بهتر می‌شود. علاوه بر این، چندین ماده مغذی، به ویژه ویتامین‌ها، مواد معدنی، اسیدهای آمینه ضروری و اسیدهای چرب در اسپرولینا وجود دارد که ممکن است برای تقویت رشد ماهی مفید باشد و ممکن است متابولیسم را فعال کند و به عنوان محرک رشد عمل کند (Roohani et al., 2019). احتمالاً این ریزجلبک برای ماهی‌های گوشت‌خوار مناسب‌تر است و عملکرد رشد و کیفیت ماهیچه‌های ماهی را افزایش می‌دهد و مطالعه ما با این فرضیه مطابقت دارد. مطالعه AlMulhim و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داد که گنجاندن ۱۰ درصد *S. platensis* در جیره‌های تیلاپیا با ۵۰ درصد جایگزینی پودر ماهی، عملکرد رشد و کارایی مصرف خوراک را بهبود می‌بخشد. این نتایج ممکن است به اسیدهای آمینه ضروری تشکیل‌دهنده، ویتامین‌ها، مواد معدنی، کاروتنوئیدها، فنل‌ها و پلی‌فنل‌ها در *S. platensis* نسبت داده شود (Khanzadeh et al., 2016; Soni et al., 2017). Youssef و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش نمودند که افزایش وزن و نرخ رشد ویژه ماهیان تغذیه شده با اسپرولینا به طور قابل توجهی بیشتر از جیره شاهد بود. وزن بدن و افزایش وزن با افزایش سطح گنجاندن اسپرولینا در رژیم غذایی افزایش یافت. اثر مثبت اسپرولینا بر رشد می‌تواند به دلیل محتوای بالای پروتئین، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و مواد معدنی آن باشد (Khalila et al., 2018). علاوه بر این، اسپرولینا می‌تواند اشتها ماهی را افزایش دهد و در نتیجه مصرف خوراک را افزایش دهد و در نتیجه رشد را بهبود بخشد (Abdel-Tawwab et al., 2008). علاوه بر این، افزودن اسپرولینا در رژیم غذایی ماهی، طول و عرض پرزهای روده را افزایش داد و منجر به بهبود جذب مواد مغذی شد (Al-Deriny et al., 2020).

در مطالعه حاضر ارزش FCR کاهش و PER با افزایش سطح گنجاندن *S. platensis* در جیره‌ها افزایش یافت و کمترین FCR و بالاترین مقادیر PER در ۱۰٪ ادغام یافت شد. FCR کمتر و مقادیر PER بالاتر در جیره‌های مکمل *S. platensis* در مقایسه با جیره شاهد در این مطالعه نشان‌دهنده افزایش راندمان مصرف خوراک ماهی و کاهش هزینه تولید است. هنگامی که کیفیت پروتئین در رژیم غذایی بهبود می‌یابد، FCR کاهش می‌یابد و PER افزایش می‌یابد (Zahan et al., 2024). این یافته‌ها با یافته‌های Al Mamun و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد، جایی که کمترین FCR و بالاترین مقادیر PER در ۷٪ مکمل غذایی *S. platensis* در رژیم غذایی *Gangetic mystus* و *Mystus cavasius* مشاهده شد. Tessier و همکاران (۲۰۲۱) اظهار داشتند که اسپرولینا به دلیل محتوای مایکوپلی ساکاریدها و عدم وجود دیواره فیبری قوی به راحتی قابل هضم است. در این زمینه، Al-Deriny و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که *S. Platensis* رژیم غذایی FCR ماهی تیلاپیا نیل را بهبود می‌بخشد و این را به نقش جلبک در بهبود شاخص‌های مورفومتری روده نسبت می‌دهد که منجر به افزایش ظرفیت جذب روده می‌شود. به علاوه Youssef و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش نمودند که FCR در رژیم غذایی ماهی‌های تغذیه‌شده با اسپرولینا کمتر از گروه شاهد بود. FCR بهتر می‌تواند به این دلیل باشد که افزودن اسپرولینا در جیره غذایی ماهی باعث بهبود استفاده از خوراک شد (Hossain et al., 2017). این یافته با یافته‌های Khalila و همکاران (۲۰۱۸) که گزارش نمودند FCR ماهی تیلاپیا تغذیه شده با ۰٪ اسپرولینا را نسبت به سایر تیمارها کاهش یافته است و PER را افزایش می‌دهد که این امر نشان‌دهنده بهبود استفاده از خوراک توسط این جلبک‌ها است (Hossain et al., 2017). این نتیجه توسط سایر تحقیقات قبلی نیز پشتیبانی شد (Tan et al. 2017; Khalila et al., 2018; Al-Zayat, 2019).

تأثیر سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis* بر فاکتورهای بیوشیمیایی سرم

پارامترهای بیوشیمیایی خون ماهی نشانگرهای قابل توجهی از وضعیت سلامت عمومی ماهی است (Mao et al., 2015). در این تحقیق میزان اوره، توتال بیلیروبین و کلسترول در سرم تاس‌ماهی سبیری تغذیه شده با سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis* بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$). افزایش اوره، توتال بیلیروبین و کلسترول در پلاسمای خون نشانگر عملکرد ضعیف کلیه‌ها و کبد است (Wedemeyer and Ross 1973). افزایش کلسترول سرم به‌عنوان شاخصی برای تخریب ساختار سلولی در غشای سلولی کلیه و عضله در نظر گرفته می‌شود (Üner et al., 2006). در این راستا مطالعات Abdelkhalek و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد در تیمار DZN-SP ۵ و ۱ درصد، کلسترول و گلوکز سرم دوباره غلظت طبیعی خود را به دست آوردند، این امر نشان‌دهنده نقش ضد استرس اسپیرولینا در برابر سمیت زنبوبتیک و همچنین اثر محافظتی آن بر بافت کبد و کلیه است (Nachankar et al., 2005). به‌علاوه Youssef و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان دادند سطح سرمی اوره با مصرف مکمل اسپیرولینا در ماهی *Oreochromis niloticus* کاهش یافت ($P > 0.05$).

در مطالعه حاضر مقادیر تری‌گلیسیرید در سرم تاس‌ماهی سبیری تغذیه شده با استفاده از سطوح مختلف مکمل غذایی جلبک *Spirulina platensis* در مقایسه با گروه کنترل تفاوت معنی‌داری را نشان داد و با افزایش مقدار جلبک (SP5 و SP10) این میزان کاهش یافته است ($P > 0.05$). اندازه‌گیری تری‌گلیسیرید در تشخیص بیماری‌ها و استرس اهمیت دارد. میزان تری‌گلیسیرید در بیماری‌های مختلف کبدی، کلیوی، پانکراتیک و قلبی افزایش می‌یابد (Babaei et al., 2020). نتایج حاضر مطابق با یافته‌های adel و همکاران ۲۰۱۶ است. در مطالعه Yu و همکاران (۲۰۱۸) نیز گروه‌های درمانی در مقایسه با گروه شاهد، سطوح کلسترول و تری‌گلیسیرید را کاهش دادند. زیرا *S. platensis* حاوی α -لینولنیک اسید، اسید لینولئیک و بتاکاروتن است که می‌تواند سطح کلسترول و تری‌گلیسیرید را کاهش داده و از هیپرکلسترولمی و تصلب شرایین جلوگیری کند (Xiang et al., 2002; Colla et al., 2008). به علاوه مطالعات نشان داده اند که اسپیرولینا حاوی ترکیبات فعالی مانند فیکوسیانین و اسیدهای چرب غیراشباع است که می‌توانند آنزیم کلیدی در مسیر سنتز کلسترول یعنی HMG-CoA Reductase را مهار کنند (Ramos-Romero et al., 2021).

در مطالعه حاضر، گلوکز خون در همه گروه‌های آزمایشی روند روبه‌رشدی را نشان می‌دهد که بیشترین میزان آن در ماهیانی که از ۱۰ درصد جلبک *Spirulina platensis* تغذیه شده‌اند، بود. سطح گلوکز خون به‌عنوان شاخص حساس به استرس عمل می‌کند. ماهی‌هایی که در معرض عوامل استرس‌زای خارجی قرار می‌گیرند، هورمون‌هایی مانند آدرنالین و کورتیزول ترشح می‌کنند، مسیره‌های گلیکوژنز و گلیکوژنولیز را تحریک می‌کنند و در نتیجه تولید گلوکز را افزایش می‌دهند (Abozaid et al., 2023). بنابراین مدیریت استرس برای بهبود سلامت و حال عمومی ماهی امری ضروری است که در سیستم‌های پرورشی امری بسیار مهم است، چنین رویکرد مدیریتی در امر استرس باعث بهبود کیفیت محصولات نهایی نیز می‌شود، زیرا این امر عوامل درمانی را در محیط پرورشی کاهش می‌دهد (Rosas et al., 2019). این امر خلاف نتایج Raji و همکاران (۲۰۱۸) است که نشان دادند سطح گلوکز پلاسما با مصرف مکمل جلبک به طور قابل توجهی کاهش یافت. Yu و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که تفاوت معنی‌داری در سطوح کورتیزول و گلوکز در تمام گروه‌های آزمایشی مکمل *S. platensis* دیده نشده و باعث پاسخ استرس به *P. Leopardus* نمی‌شود.

تأثیر سطوح مختلف جلبک *Spirulina platensis* بر آنزیم‌های کبدی

Spirulina platensis با ارزش غذایی بالا با عملکرد محافظتی قوی hepato-reno مشخص می‌شود. علاوه بر ایندیر چندین مطالعه سم‌شناسی نقش موثری دارد (Mazokopakis et al., 2014). آنزیم‌های ALT، AST و ALP از جمله مهم‌ترین آنزیم‌های کبدی هستند که در موارد آسیب به کبد و نکرور سلول‌های کبدی مقادیر آنها افزایش می‌یابد (Bandyopadhyay et al., 2016). هنگامی که سلول‌های کبدی تخریب می‌شود، این آنزیم‌ها به خون نشت می‌کنند. بر اساس نتایج به دست آمده، در مطالعه حاضر مقادیر آنزیم‌های کبدی تحت تأثیر سطوح مختلف جلبک *S. Platensis* اضافه شده به جیره ماهیان قرار نگرفته و در انتهای روز ۵۶، اختلاف معنی‌داری در مقادیر آنزیم‌های

کبدی AST، ALT و ALP در بین تیمارهای مختلف مورد مطالعه مشاهده نشد ($P > 0.05$) ولی روند کاهشی مقادیر آن‌ها در تیمار ۱۰ درصد، حاکی از فقدان مواد آسیب‌رسان کبدی در مکمل جلبکی می‌باشد. هر چند که انجام مطالعات هیستوپاتولوژی بر روی بافت‌های کبدی، کلیه، طحال و روده جهت تأیید تکمیلی این مطلب می‌تواند مفید واقع شود. طبق برخی مطالعات، *S. platensis* ممکن است دارای خواص سم‌زدایی باشد که ممکن است پردازش موثرتر و حذف سموم توسط کبد را تسهیل کند. سطوح پایین تر ALT و AST می‌تواند نتیجه این فرآیند سم‌زدایی باشد (Carneiro et al., 2022). مطالعات قبلی همچنین نشان داده‌اند که *S. platensis* دارای ترکیبات فعال زیستی است که دارای ویژگی‌های ضد التهابی و آنتی‌اکسیدانی است. این ویژگی‌ها ممکن است به محافظت از سلول‌های کبد در برابر آسیب، کاهش التهاب و در نهایت منجر به کاهش سطح ALT و AST کمک کند (El-Araby et al., 2022). مانند ALT، کاهش سطح ALP ممکن است نشان‌دهنده عملکرد بهتر کبد باشد. افزایش ALP همچنین می‌تواند به بافت‌های دیگر مانند روده و استخوان مرتبط باشد و به اندازه ALT مختص کبد نیست (Siddik et al., 2022). مطالعه Adel و همکاران در سال (۲۰۱۶) نیز همسو با نتایج فوق، مقادیر آنزیم‌های کبدی (ALT، AST) و ALP در تیمارهای فیل ماهی (*Husohuso*) حاوی جلبک *S. Platensis* در جیره به مراتب نسبت به تیمار شاهد کمتر بود. در مطالعه Khani و همکاران (2017) نیز با استفاده از جلبک *Chlorella vulgaris* در جیره *Cyprinus carpio* اختلاف معنی‌داری را در ALT و AST مشاهده نگردید که همسو با نتایج مطالعه حاضر است. در مطالعه Abdelkhalek و همکاران (۲۰۱۷)، مکمل غذایی با *S. Platensis* بهبود قابل توجهی در عملکرد کبد از طریق کاهش فعالیت ترانس آمینازهای کبدی و آلکالین فسفاتاز و کاهش غلظت نشانگرهای آسیب کلیوی به ویژه در گروه DZN-SP1 نشان داد. این اثر محافظتی به فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی آن نسبت داده می‌شود. ترکیب شیمیایی آنتی‌اکسیدانی موجود در *S. Platensis* مانند بتا کاروتن، C-فیکوسیانین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی نقش مهمی در محافظت از بافت‌های کلیوی از سمیت در برابر زئوئوتیک‌ها ایفا می‌کند (Karadeniz et al., 2009). در *O. Niloticus* نیز *S. Platensis* یک اثر محافظتی کبدی بر روی ماهیان در معرض دلتامترین از طریق کاهش میزان فعالیت آنزیمی ترانس آمینازهای کبدی و ALP نشان داده شده است (Abdelkhalek et al., 2015). Awad و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان دادند فعالیت بیومارکرهای کبدی در گروه‌های اسپرولینا و بتائین نسبت به گروه کنترل به طور قابل توجهی کاهش یافت. با این حال، به دنبال عفونت، همه بیومارکرهای کبدی و کلیوی (ALT، ALP) در گروه کنترل به طور قابل توجهی بالاتر از سایر تیمارها بود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، ریزجلبک آب شیرین *S. platensis* (به‌ویژه در ۱۰٪ مکمل تغذیه شده) قادر به بهبود شاخص‌های عملکرد رشد تاسماهی سبیری (*Acipenserbaerii*) به مدت ۵۶ روز هستند. نتایج آماری پارامترهای بیوشیمیایی خون مانند میزان اوره، بیلی‌روبین کل، کلسترول لیپاز بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$). اما میزان گلوکز و تری‌گلیسیرید تحت تأثیر جیره‌ها قرار گرفتند ($P < 0.05$) و بیشترین مقادیر گلوکز خون در تیمار Sp10 مشاهده شد که اختلاف معناداری با تیمار شاهد داشت ($P < 0.05$) و افزودن سطوح مختلف جلبک *Spirulinaplantensis* به جیره موجب کاهش سطح تری‌گلیسیرید خون شد و کم‌ترین مقدار این پارامتر در تیمار Sp10 مشاهده شد ($P < 0.05$). به علاوه *S. platensis* تغییری را در روند آنزیم‌های کبدی: ALT، AST و ALP بین تیمارهای مختلف مورد مطالعه مشاهده نشد ($P > 0.05$) با این حال کم‌ترین میزان در تیمار Sp10 مشاهده شد. در مجموع، تأثیر جلبک *Spirulinaplantensis* قادر به بهبود شاخص‌های رشد، تغذیه، خونی، بیوشیمیایی و آنزیم‌های کبدی کاملاً مثبت و معنی‌دار ارزیابی می‌شود و پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری برای بررسی تأثیر جایگزینی پودر ماهی با *S. platensis* بر سایر پارامترهای خونی و آنزیم‌های اکسیداتیو در شرایط مختلف فیزیولوژیکی صورت گیرد، زیرا این امر کمک قابل توجهی به صنعت آبرزی پروری می‌کند و *S. platensis* را به عنوان منابع پایدار پروتئین قابل قبول‌تر می‌کند. زیرا در آینده، اسپرولینا با توجه به قیمت موجود، می‌تواند یک گزینه استراتژیک برای صرفه‌جویی در پودر ماهی باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از تیم علمی و آزمایشگاهی مزرعه خاویار طلایی دیلم که در راستای اعتلای یافته‌های این مقاله گام برداشتند و همکاری شایانی در انجام بخشی از پژوهش حاضر داشتند، قدردانی می‌گردد.

References

1. Abdelkhalek, N. K., Eissa, I. A., Ahmed, E., Kilany, O. E., El-Adl, M., Dawood, M. A., ... & Abdel-Daim, M. M. (2017). Protective role of dietary *Spirulina platensis* against diazinon-induced Oxidative damage in Nile tilapia; *Oreochromis niloticus*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 54, 99-104.
2. Abdelkhalek, N. K., Ghazy, E. W., & Abdel-Daim, M. M. (2015). Pharmacodynamic interaction of *Spirulina platensis* and deltamethrin in freshwater fish Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: impact on lipid peroxidation and oxidative stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 3023-3031.
3. Abdel-Tawwab, M. O. H. S. E. N., Ahmad, M. H., Abdel-Hadi, Y. M., & Seden, M. E. (2008, September). Use of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) as a growth and immunity promoter for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fry challenged with pathogenic *Aeromonas hydrophila*. In 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Cairo, Egypt (pp. 1015-1032).
4. Abozaid, H., Elnady, A., Aboelhassan, D. M., Mansour, H., Abedo, A., Ghaly, I. S., ... & Farag, I. M. (2023). Impact of *Spirulina platensis* as a dietary supplement on growth performance, blood biochemical parameters, and expression of growth-related genes in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 54(6), 1265-1277.
5. Adel, M., Yeganeh, S., Dadar, M., Sakai, M., & Dawood, M. A. (2016). Effects of dietary *Spirulina platensis* on growth performance, humoral and mucosal immune responses and disease resistance in juvenile great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1754). *Fish & Shellfish Immunology*, 56, 436-444.
6. Akhoundian, M., Younesi, H. A., & Gorjian, M. H. (2023). *Spirulina Platensis* Supplementation: A Nutritional Boost for Enhancing Survival and Hemato-Biochemical Parameters of Persian Sturgeon (*Acipenser Persicus*). *Available at SSRN 4684170*.
7. Al Mamun, M., Hossain, M. A., Saha, J., Khan, S., Akter, T., & Banu, M. R. (2023). Effects of spirulina *Spirulina platensis* meal as a feed additive on growth performance and immunological response of Gangetic mystus *Mystus cavasius*. *Aquaculture Reports*, 30, 101553.
8. Al-Deriny, S. H., Dawood, M. A., Abou Zaid, A. A., El-Tras, W. F., Paray, B. A., Van Doan, H., & Mohamed, R. A. (2020). The synergistic effects of *Spirulina platensis* and *Bacillus amyloliquefaciens* on the growth performance, intestinal histomorphology, and immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 17, 100390.
9. Allam, B. W., Khalil, H. S., Mansour, A. T., Srour, T. M., Omar, E. A., & Nour, A. A. M. (2020). Impact of substitution of fish meal by high protein distillers dried grains on growth performance, plasma protein and economic benefit of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Aquaculture*, 517, 734792.
10. AlMulhim, N. M., Virk, P., Abdelwarith, A. A., & AlKhulaifi, F. M. (2023). Effect of incorporation of *Spirulina platensis* into fish diets, on growth performance and biochemical

- composition of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(4), 537-541.
11. Altmann, B. A., & Rosenau, S. (2022). Spirulina as animal feed: Opportunities and challenges. *Foods*, 11(7), 965.
 12. Awad, L. Z., El-Mahallawy, H. S., Abdelnaeim, N. S., Mahmoud, M. M., Dessouki, A. A., & ElBanna, N. I. (2022). Role of dietary Spirulina platensis and betaine supplementation on growth, hematological, serum biochemical parameters, antioxidant status, immune responses, and disease resistance in Nile tilapia. *Fish & Shellfish Immunology*, 126, 122-130.
 13. Babaei, A. A., Rafiee, M., Khodagholi, F., Ahmadpour, E., & Amereh, F. (2020). Physiological stress response of the Wistar albino rats orally exposed to polystyrene nanoparticles.
 14. Bandyopadhyay, K. Marrero, I. and Kumar, V. (2016). NKT cell subsets as key participants in liver physiology and pathology. *Cellular & Molecular Immunology* (2016) 13, 337-346.
 15. Belal, E. B., Khalafalla, M. M. E., & El-Hais, A. M. A. (2012). Use of spirulina (*Arthrospira fusiformis*) for promoting growth of Nile Tilapia fingerlings. *African Journal of Microbiology Research*, 6(35), 6423-6431.
 16. Carneiro, W. F., Castro, T. F. D., Reichel, T., de Castro Uzeda, P. L., Martínez-Palacios, C. A., & Murgas, L. D. S. (2022). Diets containing *Arthrospira platensis* increase growth, modulate lipid metabolism, and reduce oxidative stress in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) exposed to ammonia. *Aquaculture*, 547, 737402.
 17. Colla, L. M., Muccillo-Baisch, A. L., & Costa, J. A. V. (2008). Spirulina platensis effects on the levels of total cholesterol, HDL and triacylglycerols in rabbits fed with a hypercholesterolemic diet. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51, 405-411.
 18. de Cruz, C. R., Lubrano, A., & Gatlin III, D. M. (2018). Evaluation of microalgae concentrates as partial fishmeal replacements for hybrid striped bass *Morone* sp. *Aquaculture*, 493, 130-136.
 19. El-Araby, D. A., Amer, S. A., Attia, G. A., Osman, A., Fahmy, E. M., Altohamy, D. E., ... & Tolba, S. A. (2022). Dietary Spirulina platensis phycocyanin improves growth, tissue histoarchitecture, and immune responses, with modulating immunoexpression of CD3 and CD20 in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 546, 737413.
 20. Frayn, K. N. (2010). Metabolic regulation: a human perspective.
 21. Gatlin, D. I. (2010). Principles of fish nutrition.
 22. Goda, A. A. S., Srour, T. M., Omar, E., Mansour, A. T., Baromh, M. Z., Mohamed, S. A., ... & Davies, S. J. (2019). Appraisal of a high protein distiller's dried grain (DDG) in diets for European sea bass, *Dicentrarchus labrax* fingerlings on growth performance, haematological status and related gut histology. *Aquaculture Nutrition*, 25(4), 808-816.
 23. Haxton, T. J., & Friday, M. J. (2019). Are we overestimating recovery of sturgeon populations using mark/recapture surveys?. *Journal of Applied Ichthyology*, 35(1), 336-343.
 24. Hodar, A. R., Vasava, R. J., Mahavadiya, D. R., & Joshi, N. H. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. *Journal of Experimental Zoology India*, 23(1).
 25. Holman, B. W. B., & Malau-Aduli, A. E. O. (2013). Spirulina as a livestock supplement and animal feed. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 97(4), 615-623.

26. Hoseinifar, S.H., Mirvaghefi, A. And Merrifield, D.L. (2011). The study of some haematological and serum biochemical parameters of juvenile beluga (*Huso huso*) fed oligofructose. *Fish Physiol Biochem* 37, 91-96.
27. Jang, W. J., Lee, J. M., Hasan, M. T., Lee, B. J., Lim, S. G., & Kong, I. S. (2019). Effects of probiotic supplementation of a plant-based protein diet on intestinal microbial diversity, digestive enzyme activity, intestinal structure, and immunity in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Fish & shellfish immunology*, 92, 719-727.
28. Jannathulla, R., Rajaram, V., Kalanjiam, R., Ambasankar, K., Muralidhar, M., & Dayal, J. S. (2019). Fishmeal availability in the scenarios of climate change: Inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources. *Aquaculture Research*, 50(12), 3493-3506.
29. Karadeniz, A., Cemek, M., & Simsek, N. (2009). The effects of *Panax ginseng* and *Spirulina platensis* on hepatotoxicity induced by cadmium in rats. *Ecotoxicology and environmental safety*, 72(1), 231-235.
30. Khalila, H. Khalila, H. S., Fayed, W. M., Mansour, A. T., Srour, T. M., Omar, E. A., Darwish, S. I., & Nour, A. (2018). Dietary supplementation of *Spirulina*, *Arthrospira platensis*, with plant protein sources and their effects on growth, feed utilization and histological changes in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *J. Aquac. Res. Dev*, 9(2).
31. Khani, M., Soltani, M., Shamsaie Mehrjan, M., Foroudi, F., & Ghaeni, M. (2017). The effects of *Chlorella vulgaris* supplementation on growth performance, blood characteristics, and digestive enzymes in Koi (*Cyprinus carpio*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(2), 832-843.
32. Khanzadeh, M., Esmaeili Fereidouni, A., & Seifi Berenjestanaki, S. (2016). Effects of partial replacement of fish meal with *Spirulina platensis* meal in practical diets on growth, survival, body composition, and reproductive performance of three-spot gourami (*Trichopodus trichopterus*) (Pallas, 1770). *Aquaculture international*, 24, 69-84.
33. Kim, S. S., Rahimnejad, S., Kim, K. W., & Lee, K. J. (2013). Partial replacement of fish meal with *Spirulina pacifica* in diets for parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13(2).
34. Mahmoud, M. M., El-Lamie, M. M., Kilany, O. E., & Dessouki, A. A. (2018). *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) supplementation improves growth performance, feed utilization, immune response, and relieves oxidative stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) challenged with *Pseudomonas fluorescens*. *Fish & shellfish immunology*, 72, 291-300.
35. Mandal, R. N., Datta, A. K., Sarangi, N., & Mukhopadhyay, P. K. (2010). Diversity of aquatic macrophytes as food and feed components to herbivorous fish- a review. *Indian Journal of Fisheries*, 57(3), 65-73.
36. Mansour, A. T., Alsaqufi, A. S., Alkhamis, Y. A., Al-Gazar, F. F., Zaki, M. A., Nour, A. A. M., & Ramadan, K. M. (2021). The evaluation of *Arthrospira platensis* bioactivity and their dietary supplementation to Nile tilapia vegetarian diet on growth performance, feed utilization, body composition and hemato-biochemical parameters. *Annals of Animal Science*, 21(3), 1061-1080.
37. Mazokopakis, E. E., Starakis, I. K., Papadomanolaki, M. G., Mavroeidi, N. G., & Ganotakis, E. S. (2014). The hypolipidaemic effects of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*)

- supplementation in a Cretan population: a prospective study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(3), 432-437.
38. **Mohammadiarzam, H., Maniat, M., Ghorbanijezeh, K., & Ghotbeddin, N. (2021).** Effects of spirulina powder (*Spirulina platensis*) as a dietary additive on Oscar fish, *Astronotus ocellatus*: Assessing growth performance, body composition, digestive enzyme activity, immune-biochemical parameters, blood indices and total pigmentation. *Aquaculture nutrition*, 27(1), 252-260.
39. **Nachankar, R.S., Juvekar, A.R. and Sonawane, A. (2005).** Prevention of cold stress induced adrenal hypothyroidism by *Spirulina platensis*. *Trad. Med. Nutr.*, 6(3):101-107.
40. **Nakagawa, H., Mustafa, G., Takii, K., Umino, T., & Kumai, H. (2000).** Effect of dietary catechin and Spirulina on vitamin C metabolism in red sea bream. *Fisheries science*, 66(2), 321-326.
41. **Nandeesh, M. C., Gangadhar, B., Varghese, T. J., & Keshavanath, P. (1998).** Effect of feeding *Spirulina platensis* on the growth, proximate composition and organoleptic quality of common carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture Research*, 29(5), 305-312.
42. **Nayak, S. K. (2010).** Probiotics and immunity: a fish perspective. *Fish & shellfish immunology*, 29(1), 2-14.
43. **Ng, W. K., & Romano, N. (2013).** A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Reviews in Aquaculture*, 5(4), 220-254.
44. **Plaza, I., García, J. L., & Villarreal, M. (2018).** Effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth and stress responsiveness under hypoxia.
45. **Rahman, M., Al Mamun, M. A., Rathore, S. S., Nandi, S. K., Kari, Z. A., Wei, L. S., ... & Kabir, M. A. (2023).** Effects of dietary supplementation of natural *Spirulina* on growth performance, hemato-biochemical indices, gut health, and disease resistance to *Aeromonas hydrophila* of Stinging catfish (*Heteropneustes fossilis*) fingerling. *Aquaculture Reports*, 32, 101727.
46. **Raji, A. A., Alaba, P. A., Yusuf, H., Bakar, N. H. A., Taufek, N. M., Muin, H., ... & Razak, S. A. (2018).** Fishmeal replacement with *Spirulina Platensis* and *Chlorella vulgaris* in African catfish (*Clarias gariepinus*) diet: Effect on antioxidant enzyme activities and haematological parameters. *Research in veterinary science*, 119, 67-75.
47. **Ramírez-Carmona, M., Rendón-Castrillón, L., Ocampo-López, C., & Sánchez-Osorno, D. (2022).** Fish Food Production Using Agro-Industrial Waste Enhanced with *Spirulina* sp. *Sustainability*, 14(10), 6059.
48. **Ramos-Romero, S., Torrella, J. R., Pagès, T., Viscor, G., & Torres, J. L. (2021).** Edible microalgae and their bioactive compounds in the prevention and treatment of metabolic alterations. *Nutrients*, 13(2), 563.
49. **Roohani, A. M., Abedian Kenari, A., Fallahi Kapoorchali, M., Borani, M. S., Zoriezahra, S. J., Smiley, A. H., ... & Rombenso, A. N. (2019).** Effect of spirulina *Spirulina platensis* as a complementary ingredient to reduce dietary fish meal on the growth performance, whole-body composition, fatty acid and amino acid profiles, and pigmentation of Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius*) juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 25(3), 633-645.

50. Rosas, V. T., Poersch, L. H., Romano, L. A., & Tesser, M. B. (2019). Feasibility of the use of Spirulina in aquaculture diets. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1367-1378.
51. Rosenau, S., Oertel, E., Mott, A. C., & Tetens, J. (2021). The effect of a total fishmeal replacement by *Arthrospira platensis* on the microbiome of african catfish (*Clarias gariepinus*). *Life*, 11(6), 558.
52. Saleh, H. A., Gaber, H. S., El-Khayat, H. M. M., Abdel-Motleb, A., Mohammed, W. A. A., & Okasha, H. (2021). Influences of dietary supplementation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* on growth-related genes expression and antioxidant enzymes in *Oreochromis niloticus* fish exposed to heavy metals. *Aquaculture Studies*, 22(2).
53. Siddik, M. A., Vatsos, I. N., Rahman, M. A., & Pham, H. D. (2022). Selenium-enriched spirulina (SeE-SP) enhance antioxidant response, immunity, and disease resistance in juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Antioxidants*, 11(8), 1572.
54. Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. S. (2017). Spirulina—From growth to nutritional product: A review. *Trends in food science & technology*, 69, 157-171.
55. Taati, R., Soltani, M., & Bahmani, M. (2014). Evaluation of growth indices, survival and carcass composition of farmed great sturgeon juveniles (*Huso huso*) fed prebiotic Immunoster. *Iranian Journal of Biology: Journal of Animal Research*, 27(1), 71-79. <https://doi.org/10.2717.In Farsi>
56. Tan, C. Y., Galaz, G. B., & Shapawi, R. (2017). Effects of dietary inclusion of Spirulina meal on growth and hematological parameters of cultured Asian sea bass, *Lates calcarifer*. *Borneo Journal of Marine Science and Aquaculture (BJoMSA)*, 1.
57. Teimouri, M., Yeganeh, S., Mianji, G. R., Najafi, M., & Mahjoub, S. (2019). The effect of Spirulina platensis meal on antioxidant gene expression, total antioxidant capacity, and lipid peroxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish physiology and biochemistry*, 45, 977-986.
58. Tessier, R., Calvez, J., Khodorova, N., & Gaudichon, C. (2021). Protein and amino acid digestibility of 15 N Spirulina in rats. *European Journal of Nutrition*, 60, 2263-2269.
59. Wedemeyer, G. A., & Ross, A. J. (1973). Nutritional factors in the biochemical pathology of corynebacterial kidney disease in the coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 30(2), 296-298.
60. Xiang, Y., Shuning, H., Lingke, Z., & Cheng, H. (2002). The analysis of the effect of reducing triglyceride level in serum of hyperlipidemiademia model rats by feeding Spirulina maxima. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 38(2), 182-186.
61. Youssef, I. M., Saleh, E. S., Tawfeek, S. S., Abdel-Fadeel, A. A., Abdel-Razik, A. R. H., & Abdel-Daim, A. S. (2023). Effect of Spirulina platensis on growth, hematological, biochemical, and immunological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical Animal Health and Production*, 55(4), 275.
62. Yu, W., Wen, G., Lin, H., Yang, Y., Huang, X., Zhou, C., ... & Li, T. (2018). Effects of dietary Spirulina platensis on growth performance, hematological and serum biochemical parameters, hepatic antioxidant status, immune responses and disease resistance of Coral trout *Plectropomus leopardus* (Lacepede, 1802). *Fish & shellfish immunology*, 74, 649-655.
63. Zahan, N., Hossain, M. A., Islam, M. R., Saha, J., Akter, T., Fatema, U. K., & Haque, F. (2024). Effects of dietary Spirulina platensis on growth performance, body composition,

haematology, immune response, and gut microflora of stinging catfish *Heteropneustes fossilis*. *Aquaculture Reports*, 35, 101997.