

Protective effect of probiotics *Lactobacillus acidophilus* and *L. plantarum* in reducing the effects of dietary aflatoxin B₁ on growth, hematology, biochemical and carcass quality indices in common carp fingerlings (*Cyprinus carpio*)

Hasanpour Fattahi A.¹; Meshkini S.^{2*}; Atashbar Kangarlooei B.³

*s.meshkiniy@urmia.ac.ir

1-Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Urmia, Urmia, Iran

2-Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, University of Urmia, Urmia, Iran

3-Department of Ecology and Resources Management, Artemia and Aquatic animals Institute, University of Urmia, Urmia, Iran

Received: June 2025

Accepted: September 2025

Published: January 2026



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

Introduction

The aquaculture industry faces challenges from feed contamination with mycotoxins, particularly aflatoxin B₁, a potent carcinogen that impairs growth, immunity, liver function, and overall health in fish (Williams *et al.*, 2004; Ayyat *et al.*, 2018; Tasa *et al.*, 2020). Cost-driven use of animal-derived feed ingredients increases the risk of fungal toxins, making mitigation strategies crucial (Allameh *et al.*, 2005). Probiotics, especially *Lactobacillus acidophilus* and *L. plantarum*, can bind aflatoxin B₁ (AFB₁) via cell wall components, reducing its bioavailability and enhancing growth, nutrient utilization, and survival in fish (Haskard *et al.*, 2001; Dawood *et al.*, 2015; Gudadappanavar *et al.*, 2017). This study evaluates the protective effects of these probiotics on growth, hematology, biochemistry, and carcass quality in common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings fed AFB₁ contaminated diets.

Methodology

The study was conducted at the Artemia and Aquaculture Research Institute (AARI), Urmia, Iran. A total of 240 fish (mean weight: 8 g) were randomly assigned to four dietary treatments: control, 50 ppb aflatoxin B₁ (AFB₁), 50 ppb AFB₁ + *L. acidophilus* (5×10^8 CFU/kg), and 50 ppb AFB₁ + *L. plantarum* (5×10^8 CFU/kg). Fish were maintained under controlled conditions for eight weeks. Growth performance (specific growth rate, weight gain, feed conversion ratio) was evaluated (Hamza *et al.*, 2008). Hematological parameters, including WBC, RBC, hemoglobin, and hematocrit, were measured following standard protocols (Blaxhall and Daisley, 1973; Rehulka, 2000; Lewis *et al.*, 2006). Serum triglycerides, cholesterol, and glucose were determined via enzymatic assays (Borges *et al.*, 2004). Carcass composition was analyzed according to AOAC (2005). Data were analyzed using one-way ANOVA in SPSS.

Results

Growth indices were significantly affected by aflatoxin B₁ (AFB₁) ($p < 0.05$). Fish fed AFB₁ showed higher final weight (FW), weight gain (WG), and specific growth rate (SGR), with a lower feed conversion ratio (FCR) compared to control ($p < 0.05$). Moreover, FCR was further reduced in fish receiving AFB₁ combined with *L. acidophilus* versus the AFB₁-only group ($p < 0.05$). The number of white blood cells (WBC) and red blood cells (RBC) in fish fed the experimental diets decreased significantly ($p < 0.05$) compared to the control diet. Hemoglobin and hematocrit levels in fish fed diets containing AFB₁ and AFB₁ + *L. plantarum* were also significantly lower than those in the control group ($p < 0.05$). Blood biochemical indices were significantly affected by aflatoxin B₁ (AFB₁) and the probiotics ($p < 0.05$). Triglyceride, cholesterol, and glucose levels were reduced in the AFB₁-treated group compared to the control ($p < 0.05$). Moreover, the combination of AFB₁ with probiotics resulted in a significant increase in triglyceride and cholesterol levels compared to the AFB₁-only group ($p < 0.05$). Analysis of the mean carcass composition revealed that protein and lipid contents in the diet containing AFB₁ and *L. plantarum* were significantly reduced compared to the control group ($p < 0.05$).

Discussion and conclusion

The study demonstrated that diets contaminated with aflatoxin B₁ (AFB₁) significantly impaired fish growth performance. AFB₁, along with other mycotoxins, disrupts growth by damaging critical organs including the liver, kidneys, and gastrointestinal tract that are essential for nutrient absorption, metabolism, and overall physiological homeostasis (Aggarwal *et al.*, 2013). Consistent with these effects, hematological parameters such as red blood cell count, hemoglobin concentration, and hematocrit were significantly reduced in exposed fish, indicating cytotoxic impacts on hematopoietic organs, including the kidney and spleen (Moccia *et al.*, 1984). Biochemical analyses revealed that AFB₁ exposure disrupted fish metabolism, lowering serum triglycerides and cholesterol while raising glucose, reflecting hepatotoxicity and stress-related metabolic changes (Riche, 2007). AFB₁ impairs liver enzymes, induces oxidative stress, and alters lipid and carbohydrate metabolism, leading to hyperglycemia. In contrast, dietary probiotics in common carp fingerlings improved these parameters, restoring triglyceride and cholesterol levels and reducing glucose, indicating enhanced metabolic balance. Probiotics likely exert protective effects by reducing stress, supporting gut health, and modulating metabolic pathways such as gluconeogenesis and lipolysis (Larsson & Lewander, 1973; Palmegiano *et al.*, 1993), highlighting their potential to counteract aflatoxin-induced metabolic disruptions. No significant effects of AFB₁ were observed on the fish carcass composition, though dietary toxins may disrupt protein and lipid metabolism (Ellis *et al.*, 1991). In conclusion, AFB₁ negatively impacted growth, hematological and biochemical parameters in common carp. Supplementation with probiotics was able to partially mitigate these adverse effects, suggesting a protective role in maintaining physiological homeostasis and improving resilience against AFB₁-induced stress.

Conflict of interest

All authors declare that they have no competing interests.

Acknowledgement

We wish to express our sincere gratitude to the officials of the Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, for their support and the resources provided throughout the course of this study. We also extend our special thanks to the colleagues at the Artemia Reference Center for their invaluable guidance and contributions during the research process.

مقاله علمی - پژوهشی:

اثر حفاظتی پروبیوتیک‌های *Lactobacillus acidophilus* و *L. plantarum* در کاهش تأثیر آفاتوکسین B₁ خوراک بر شاخص‌های رشد، خون‌شناسی، بیوشیمیایی و کیفیت لاشه کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) انگشت‌قد

احمد حسن‌پور فتاحی^۱، سعید مشکینی^{۲*}، بهروز آتشبار کنگرلوئی^۳

*s.meshkiniy@urmia.ac.ir

۱- گروه شیلات و آبزیان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه ایران

۲- گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه ایران

۳- گروه اکولوژی و مدیریت ذخایر آبی، پژوهشکده آرتیمیا و آبزی‌پروری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ چاپ: دی ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۴

چکیده

یکی از مشکلات مهم صنعت آبزی‌پروری، آلوده شدن خوراک آبزیان به سموم تولیدی از عوامل قارچی و مایکوتوکسین‌هاست. در سال‌های اخیر با توجه به جایگزینی منابع گیاهی با جانوری به منظور دستیابی به خوراک کم هزینه، احتمال آلودگی خوراک آبزیان با آفاتوکسین‌ها افزایش یافته است. از این‌رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات حفاظتی پروبیوتیک‌های *Lactobacillus plantarum* و *L. acidophilus* در کاهش تأثیر آفاتوکسین B₁ خوراک بر شاخص‌های رشد، خون‌شناسی، بیوشیمیایی و کیفیت لاشه بچه‌ماهیان کپور معمولی انجام شد. بدین منظور، ۲۴۰ عدد ماهی با میانگین وزنی ۱۵ گرم در قالب ۴ تیمار آزمایشی شامل: ۱ (شاهد: کنترل)، ۲ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفاتوکسین B₁)، ۳ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی‌لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. acidophilus*)، ۴ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی‌لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. plantarum*) به مدت ۸ هفته تغذیه شدند. در پایان دوره آزمایش شاخص‌های رشد، خون‌شناسی، بیوشیمیایی و کیفیت لاشه مورد سنجش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که شاخص‌های رشد تحت تأثیر آفاتوکسین B₁ قرار گرفتند ($p < 0.05$) به‌طوری‌که شاخص‌های وزن نهایی، نرخ رشد ویژه و افزایش وزن بدن در ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی آفاتوکسین، کاهش یافته و ضریب تبدیل خوراک افزایش یافتند ($p < 0.05$). شاخص‌های خون‌شناسی (گلبول‌های سفید، گلبول‌های قرمز، هموگلوبین و هماتوکریت) نیز تحت تأثیر آفاتوکسین B₁ قرار گرفت و کاهش یافت ($p < 0.05$). بر اساس نتایج مطالعه حاضر، از شاخص‌های بیوشیمیایی سرم، تری‌گلیسیرید و کلسترول در ماهیان تغذیه شده با آفاتوکسین B₁ کاهش و در ماهیان تغذیه شده با پروبیوتیک‌های *L. plantarum* و *L. acidophilus* افزایش یافتند ($p < 0.05$). گلوکز در ماهیان تغذیه شده با آفاتوکسین B₁ افزایش یافته و در ماهیان تغذیه شده با پروبیوتیک‌های *L. acidophilus* و *L. plantarum* کاهش یافت ($p < 0.05$). همچنین کاهش پروتئین و چربی و افزایش رطوبت لاشه در ماهیان تغذیه شده با آفاتوکسین B₁ به همراه پروبیوتیک *L. plantarum* مشاهده شد ($p < 0.05$). بر اساس نتایج، افزودن پروبیوتیک‌های *L. acidophilus* و *L. plantarum* به خوراک، منجر به بهبود شاخص‌های رشد، بیوشیمیایی و کیفیت لاشه بچه‌ماهیان کپور معمولی شد.

لغات کلیدی: آفاتوکسین B₁، پروبیوتیک، *Lactobacillus acidophilus*، *Lactobacillus plantarum* کپور معمولی

*نویسنده مسئول

مقدمه

امروزه صنعت آبی‌پروری در سرتاسر جهان با مشکلاتی مانند آلوده شدن خوراک آبزیان به سموم تولیدی از عوامل قارچی و مایکوتوکسین‌ها مواجه است (Ayyat et al., 2018). مایکوتوکسین‌ها متابولیت‌های قارچی ثانویه هستند که گونه‌های جنس *Aspergillus* آنها را تولید می‌کنند. با توجه به جایگزینی منابع گیاهی با جانوری و فرمولاسیون جیره‌های کم هزینه، احتمال وجود متابولیت‌های قارچی (آلاتوکسین‌ها) در خوراک‌های آبزیان بیشتر است (Tasa et al., 2020). آلاتوکسین B₁ سمی‌ترین و فراوان‌ترین ترکیب سرطان‌زای طبیعی تلقی می‌شود (Williams et al., 2004) و یکی از مهم‌ترین مایکوتوکسین‌های تحت نظارت سازمان غذا و داروی آمریکا است (Celik and Sur, 2003). مشخص شده است که قرار گرفتن ماهیان در معرض آلاتوکسین B₁ باعث تغییرات فیزیولوژیک از جمله کاهش وزن، کاهش رشد، کم‌خونی، سرکوب سیستم ایمنی، آسیب‌های کبدی و افزایش واکنش‌های التهابی در بافت‌ها می‌شود (Hussein et al., 2000; Khan et al., 2001; Pietsch et al., 2020; Tasa et al., 2020). کاهش آثار آلاتوکسین‌ها در تغذیه آبزیان یکی از جنبه‌های مهم تحقیقات محسوب شده و بدین منظور روش‌های متنوعی به کار گرفته شده است (Allameh et al., 2005). برای مثال، Tasa و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که افزودن پودر تیمول و رزماری به خوراک ماهی کپور معمولی، منجر به کاهش اثرات آلاتوکسین بر فعالیت آنزیم‌های گوارشی این گونه شد. یافته‌های Ghafarifarsani و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد که استفاده از اسانس آویشن به میزان یک درصد در خوراک ماهی کپور معمولی، اثرات منفی آلاتوکسین بر عملکرد رشد و پاسخ‌های ایمنی ذاتی را در این گونه کاهش داد. در مطالعه Mahmoudikia و همکاران (۲۰۱۸) نیز افزودن ۴ درصد پودر گیاهان رزماری و آویشن به خوراک ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان منجر به کاهش آثار آلاتوکسین B₁ شد. استفاده از پروبیوتیک‌ها در خوراک آبزیان نیز یکی از راهکارهای زیستی مطرح‌شده در کاهش آثار آلاتوکسین‌هاست (Salim et al., 2011). پروبیوتیک‌ها، افزودنی‌های خوراکی حاوی

میکروارگانیزم‌های زنده طبیعی و غیربیماری‌زا هستند که در صورت مصرف، می‌توانند سلامت دستگاه گوارش و سلامت عمومی میزبان را تقویت کنند (Manafi, 2012). محققین قابلیت پروبیوتیک‌ها را در تقویت سیستم ایمنی، تعادل فلور میکروبی روده، خواص آنتی‌اکسیدانی در خوراک موجودات گزارش کرده‌اند (Bagherzadeh Kasmani et al., 2012; Manafi, 2012; Manafi, 2018 al.). با توجه به این که پلی‌ساکاریدها و پپتیدوگلیکان‌های دیواره سلولی پروبیوتیک‌ها از توانایی اتصال به آلاتوکسین B₁ برخوردارند (Haskard et al., 2001)، پس می‌توانند در کاهش آثار سم آلاتوکسین نیز مؤثر باشند (Salim et al., 2011). باکتری‌های *Lactobacillus acidophilus* و *L. plantarum* شایع‌ترین گونه‌های *Lactobacillus* در روده جانوران مختلف هستند و تعدادی از این گونه‌ها به عنوان پروبیوتیک معرفی می‌شوند (Gudadappanavar et al., 2017). پروبیوتیک *L. plantarum* موجود در دستگاه گوارش ماهیان، به دلیل خواص پروبیوتیک در صنعت آبی‌پروری مفید است. اثر این باکتری به عنوان پروبیوتیک برای افزایش مقاومت در برابر بیماری، افزایش دفاع ایمنی غیراختصاصی و بهبود عملکرد رشد در ماهیان مشخص شده است (Soltani et al., 2019). این پروبیوتیک یکی از مهم‌ترین گونه‌های پروبیوتیک محسوب می‌شود که قادر به تولید ترکیبات ضد میکروبی مانند پلانترایسین است که می‌توانند دامنه وسیعی از پاتوژن‌ها را نابود نماید (Cebeci and Gurakan, 2003). نتایج مطالعات متعدد نشان داد که مصرف پروبیوتیک *L. plantarum* در خوراک گونه‌های مختلفی از ماهیان موجب بهبود عملکرد شاخص‌های رشد، تغذیه و افزایش بازماندگی شد (Dawood et al., 2015; Duc et al., 2016; Zheng et al., 2017). همچنین در مطالعه‌ای که بر ماهی تیلاپای نیل (*Oreochromis niloticus*) انجام گرفت، مشخص شد که افزودن سطوح مختلف پروبیوتیک *L. acidophilus* به جیره این گونه، منجر به بهبود شاخص‌های رشد و ضریب تبدیل خوراک شد (Lara-Flores et al., 2003). افزودن پروبیوتیک *L. acidophilus* به خوراک گربه ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) نیز منجر به افزایش سطح هماتوکریت،

و *L. acidophilus* تهیه شده از شرکت توسعه بن‌دا با نام تجاری بایولوننس، بر اساس جدول ۲ به خوراک‌ها افزوده شدند (Tasa et al., 2020; Pandey et al., 2022; Gabr et al., 2023). در مرحله بعد با افزودن رطوبت، خمیر به‌دست آمده با استفاده از چرخ گوشت صنعتی، به صورت رشته‌هایی به اندازه ۲ میلی‌متر درآمده و پس از خشک شدن در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، برای تغذیه ماهیان استفاده شدند. غذادهی ماهیان تحت آزمایش به صورت روزانه ۳ درصد وزن بدن و در سه نوبت انجام گرفت (Hung et al, 2008).

جدول ۱: تجزیه و تحلیل تقریبی خوراک

Table 1: Approximate diet analysis

No	Factor	% in dry matter
1	Protein	35
2	Lipid	6
3	Phosphorus	1.2
4	Ash	10
5	Fiber	5.5
6	Moisture	10

جدول ۲: گروه‌های آزمایشی

Table 2: Experimental groups

No	Treatment	Aflatoxin and probiotic content
1	Control	Diet without aflatoxin B ₁ and probiotics
2	Afla	Diet containing 50 ppb of aflatoxin B ₁
3	Afla+L.acid	Diet containing 50 ppb of aflatoxin B ₁ and 10 ⁸ CFU/ml/kg of probiotic <i>Lactobacillus acidophilus</i>
4	Afla+L.plan	Diet containing 50 ppb of aflatoxin B ₁ and 10 ⁸ CFU/ml/kg of probiotic <i>Lactobacillus plantarum</i>

چاه و با میانگین دمایی ۲۰±۰/۵ درجه سانتی‌گراد بود. در طول دوره پرورش، روزانه ۳۰ درصد از حجم آب تانک‌ها به صورت سیفون خارج شده و آب تازه جایگزین می‌شد.

محاسبه شاخص‌های رشد

در پایان دوره پرورش، برای بررسی تغییرات شاخص‌های رشد، زیست‌سنجی بر ماهیان انجام شد. با استفاده از داده‌های مربوط به وزن نهایی (FW) و مقدار غذای مصرفی، شاخص‌های نرخ رشد ویژه (SGR)، درصد افزایش وزن بدن (WG) و ضریب تبدیل غذا (FCR) براساس روابط ذیل محاسبه شدند (Hamza et al., 2008):

هموگلوبین و تعداد کل گلبول‌های قرمز و سفید این گونه شد (Al-Dohail et al., 2009).

مطالعه حاضر، با هدف بررسی آثار حفاظتی پروبیوتیک‌های *La. acidophilus* و *L. plantarum* بر شاخص‌های رشد، خون‌شناسی، بیوشیمیایی و کیفیت لاشه بچه‌ماهیان کپور معمولی تغذیه شده با خوراک آلوده به آفلاتوکسین B₁ طراحی و انجام گرفت.

مواد و روش کار

تهیه مواد مورد نیاز و ساخت خوراک‌های آزمایشی

برای ساخت خوراک‌های آزمایشی، ابتدا خوراک تجاری FFC3 شرکت بهدانه شمال مخصوص ماهی کپور معمولی پس از تجزیه و تحلیل تقریبی (جدول ۱) آسیاب شده و در ادامه آفلاتوکسین B₁ تهیه شده از آزمایشگاه میکروتوکسین پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی و پروبیوتیک‌های *L. plantarum*

تهیه بچه‌ماهیان و شروع دوره پرورش

این مطالعه در سالن تکثیر و پرورش آبزیان پژوهشکده آرتمیا و آبی‌پروری دانشگاه ارومیه انجام گرفت. ابتدا تعداد ۲۴۰ عدد بچه‌ماهی کپور معمولی با میانگین وزنی ۸ گرم از مرکز تکثیر و پرورش ماهیان گرمابی شهید کاظمی (پلدشت، آذربایجان غربی) تهیه و پس از ضدعفونی با محلول نمک ۳ درصد به صورت تصادفی با تراکم ۲۰ عدد درمخازن ۳۰۰ لیتری ذخیره‌سازی شدند. در ادامه پس از طی یک هفته سازگاری ماهیان با محیط جدید دوره پرورش شروع شد. این مطالعه در قالب یک طرح کاملاً تصادفی شامل ۴ تیمار در ۳ تکرار برای هر تیمار آزمایشی به مدت ۲ ماه اجرا شد. منبع تامین آب جهت پرورش بچه‌ماهیان آب

ترکیب شیمیایی لاشه

برای سنجش ترکیبات شیمیایی لاشه (چربی خام، پروتئین خام، خاکستر و رطوبت) در انتهای آزمایش از ۳ عدد ماهی کامل برای هر تکرار و با استفاده از روش استاندارد AOAC (۲۰۰۵) استفاده شد. بدین منظور برای سنجش پروتئین از روش کجلدال، اندازه‌گیری چربی کل با استفاده از حلال هگزان، سنجش خاکستر به وسیله کوره با دمای ۵۵۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت و تعیین رطوبت نیز به روش خشک کردن در آون طی دمای ۱۰۲-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸-۱۶ ساعت انجام شد.

روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های به دست آمده از مطالعه حاضر با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون توکی مورد بررسی قرار گرفتند. البته پیش از انجام تجزیه و تحلیل، نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون‌های شاپیروویلک و لون صورت گرفت. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها در محیط نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام پذیرفت و سطح خطای نوع اول در آزمون‌ها ۰/۰۵ انتخاب شد. همچنین نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شدند.

نتایج

عملکرد رشد

نتایج مربوط به شاخص‌های رشد نشان داد که این شاخص‌ها تحت تاثیر سم آفلاتوکسین B₁ قرار گرفتند ($p < 0.05$) به طوری که وزن نهایی (FW)، افزایش وزن بدن (WG) و نرخ رشد ویژه (SGR) در تیمار ۲ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بلیون آفلاتوکسین B₁) در مقایسه با تیمار ۱ (شاهد) کاهش و شاخص ضریب تبدیل خوراک (FCR) در تیمار ۲ در مقایسه با تیمار ۱ افزایش یافت ($p < 0.05$). همچنین بر اساس این نتایج ضریب تبدیل خوراک در تیمار ۳ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بلیون آفلاتوکسین B₁) و ۱۰^۸ واحد کلنی/ میلی لیتر/ کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. acidophilus* در مقایسه با تیمار ۲ کاهش یافت ($p < 0.05$) (شکل ۱).

وزن اولیه (گرم) - وزن نهایی (گرم): FW

۱۰۰ × (طول دوره پرورش (روز)/ (لگاریتم طبیعی SGR:

وزن اولیه - لگاریتم طبیعی وزن نهایی))

۱۰۰ × (وزن اولیه (گرم)/(وزن اولیه (گرم) - وزن WG:

نهایی (گرم))

مقدار غذای خشک داده شده (گرم)/افزایش وزن FCR: (گرم)

سنجش شاخص‌های خون‌شناسی

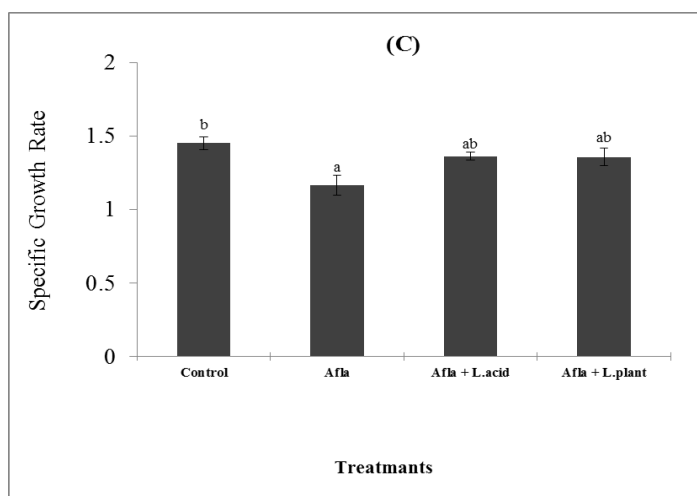
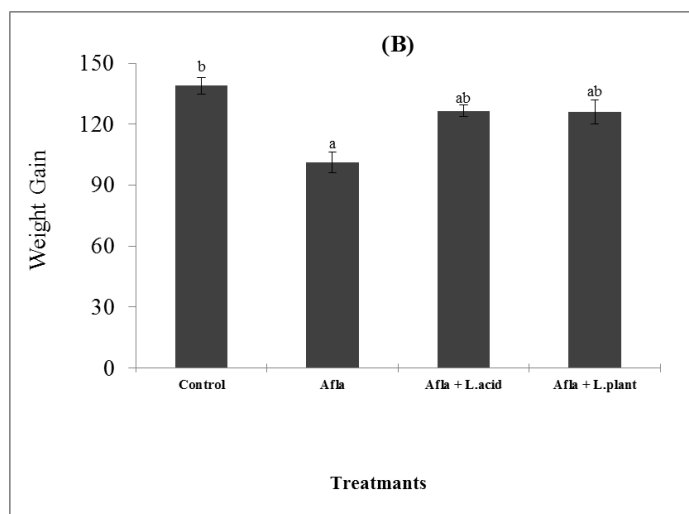
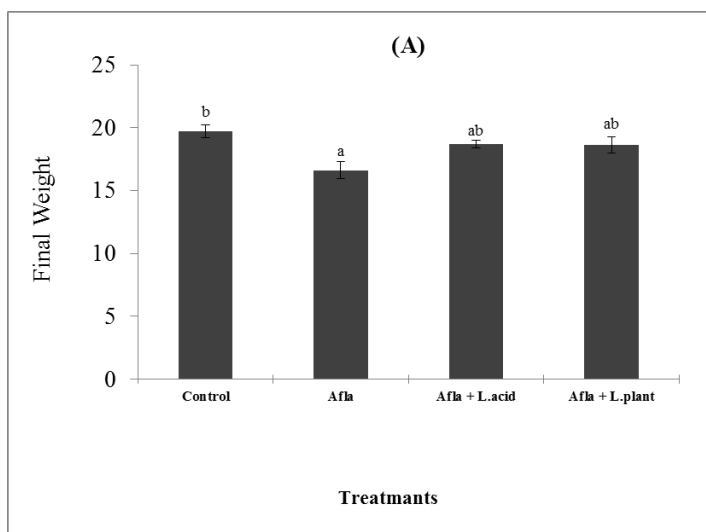
در انتهای دوره آزمایش، پس از بیهوشی ماهیان با استفاده از محلول پودر گل میخک به غلظت ۲۵۰ قسمت در میلیون، با استفاده از سرنگ آغشته به هپارین از ساقه دمی خون‌گیری به عمل آمد (Akhlaghi and Mirab Brojerdi, 1997). در ادامه خون‌ها به میکروتیوب‌های ۱/۵ سی‌سی منتقل شده و در دمای یخچال نگهداری شدند. تعداد گلبول‌های سفید (WBC) و قرمز (RBC) با استفاده از محلول هایم و توسط ملانژور بر اساس روش Lewis و همکاران (۲۰۰۶) مقدار هموگلوبین (Hb) از روش استاندارد سیانومت هموگلوبین بر اساس روش Blaxhall و Daisley (۱۹۷۳) و میزان درصد هماتوکریت (%Htc) نیز با استفاده از میکروهماتوکریت و بر اساس روش Rehulka (۲۰۰۰) به دست آمد.

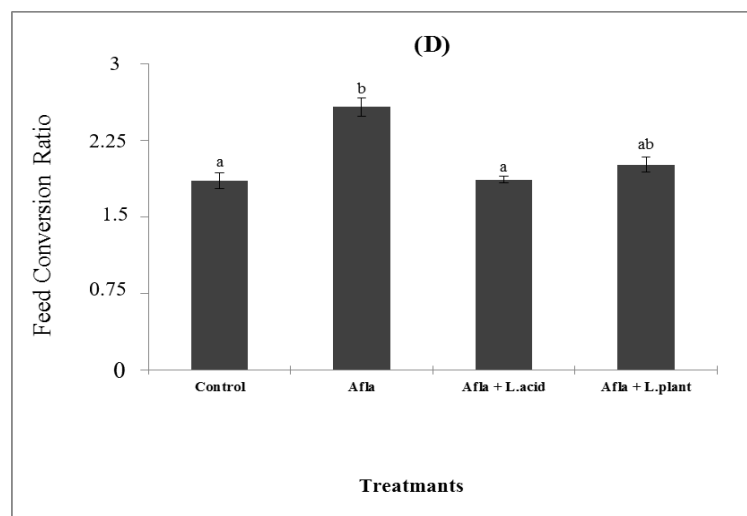
سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی

برای اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی سرم پس از بی‌هوشی ماهیان، خون‌گیری از ساقه دمی انجام شد. در ادامه پس از این که خون‌ها لخته شدند با استفاده از سانتریفیوژ (۳۵۰۰ دور در ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) سرم به دست آمده جداسازی شده و به میکروتیوب منتقل شده و تا انجام آزمایش در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Klontz, 1994). اندازه‌گیری تری‌گلیسیرید به روش آنزیمی لیپاز^۱، کلسترول به روش کلسترول اکسیداز^۲ و سنجش گلوکز نیز به روش آب اکسیژنه و آنزیم گلوکز اکسیداز انجام گرفت (Borges et al., 2004).

¹ Lipase/GPO-PAP

² Cholesterol oxidase





شکل ۱: شاخص‌های رشد بچه ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در تیمارهای مختلف پرورشی. وزن نهایی: FW (A)، افزایش وزن بدن: WG (B)، نرخ رشد ویژه: SGR (C)، ضریب تبدیل خوراک: FCR (D). ۱: شاهد (خوراک بدون آفلاتوکسین B₁ و پروبیوتیک)، ۲: آفلاتوکسین (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁ و بدون پروبیوتیک)، ۳: آفلاتوکسین و پروبیوتیک *Lactobacillus acidophilus* (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. acidophilus*), ۴: آفلاتوکسین و پروبیوتیک *Lactobacillus plantarum* (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. plantarum*). حروف غیر یکسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ بود (میانگین ± انحراف معیار، n=۳).

Figure 1: Growth indices of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings in different treatments. Final Weight: FW (A), Weight Gain: WG (B), Specific Growth Rate: SGR (C), Feed Conversion Ratio: FCR (D). 1: Control (Diet without aflatoxin B₁ and probiotics), 2: Afla (Diet containing 50 ppb of aflatoxin B₁ and no probiotics), 3: Afla+L.acid (Diet containing 50 ppb of aflatoxin B₁ and 10⁸ CFU/ml/kg of probiotic *Lactobacillus acidophilus*), 4: Afla+L.plant (Diet containing 50 ppb of aflatoxin B₁ and 10⁸ CFU/ml/kg of probiotic *Lactobacillus plantarum*). Data (Mean ± SE) with different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

شاخص‌های خون‌شناسی

مقایسه آزمون میانگین شاخص‌های خون‌شناسی نشان داد که این شاخص‌ها تحت تاثیر سم آفلاتوکسین B₁ قرار گرفتند و کاهش یافتند ($p < 0.05$) به‌طوری‌که تعداد گلبول‌های سفید (WBC) و تعداد گلبول‌های قرمز (RBC) در تیمارهای ۲ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁), ۳ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. acidophilus*) و ۴ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. plantarum*) در مقایسه با تیمار ۱ (شاهد) کاهش یافتند ($p < 0.05$). همچنین بر اساس این نتایج میزان هموگلوبین (Hb) در تیمارهای ۲ و ۴ در مقایسه با تیمار ۱ و درصد هماتوکریت

(Hct) در تیمار ۲ در مقایسه با تیمار ۱ کاهش یافتند ($p < 0.05$) (جدول ۳).

شاخص‌های بیوشیمیایی

نتایج مربوط به شاخص‌های بیوشیمیایی نشان داد که این شاخص‌ها تحت تاثیر سم آفلاتوکسین B₁ و پروبیوتیک‌های *L. acidophilus* و *L. plantarum* قرار گرفتند ($p < 0.05$) به‌طوری‌که تری‌گلیسیرید، کلسترول و گلوکز در تیمار ۲ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁) در مقایسه با تیمار ۱ (شاهد)، کاهش یافتند ($p < 0.05$). همچنین بر اساس این نتایج تری‌گلیسیرید در تیمارهای ۳ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. acidophilus*) و ۴ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بیلیون

افزایش و گلوکز در این تیمارها کاهش یافتند ($p < 0.05$).
 آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی/ میلی لیتر/ کیلوگرم
 خوراک پروبیوتیک (*L. plantarum*) در مقایسه با تیمار ۲
 کلسترول نیز در تیمار ۳ در مقایسه با تیمار ۲ افزایش یافت
 ($p < 0.05$) (شکل ۲).

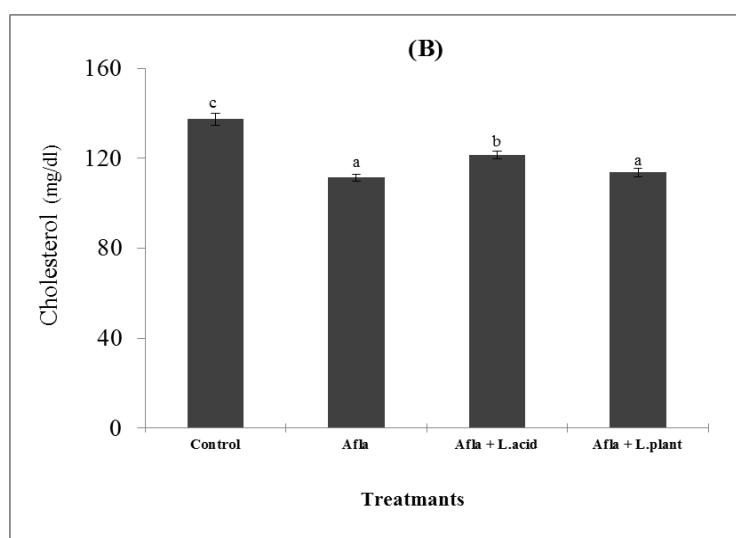
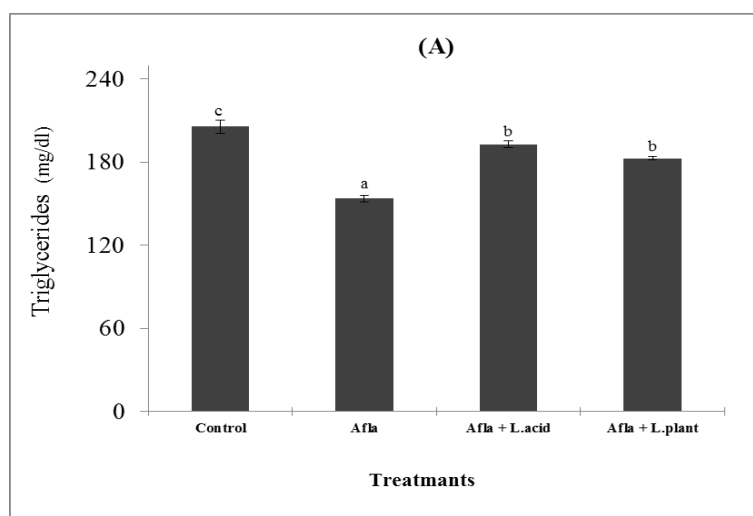
جدول ۳: شاخص‌های خون‌شناسی بچه‌ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در تیمارهای مختلف پرورشی (میانگین $\pm$ انحراف معیار، n=۳)

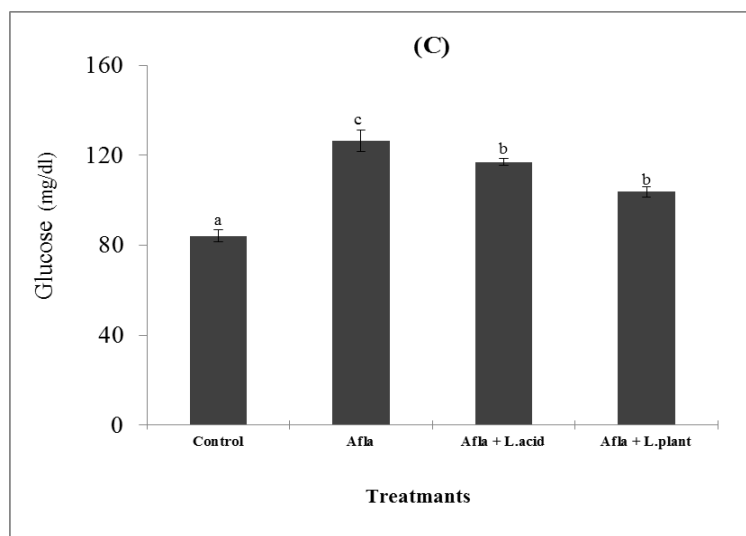
Table 3: Hematology indices of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings in different treatments (Mean $\pm$ SD, n=3).

Treatment	Nomenclature	WBC ($\times 10^4/\text{mm}^3$)	RBC ($\times 10^6/\text{mm}^3$)	Hb (g/dL)	Hct (%)
1	Control	2.7 $\pm$ 0.05 ^b	1.14 $\pm$ 0.01 ^b	6.04 $\pm$ 0.1 ^b	30.5 $\pm$ 0.5 ^b
2	Afla	2.22 $\pm$ 0.03 ^a	0.98 $\pm$ 0.02 ^a	5.26 $\pm$ 0.07 ^a	27.2 $\pm$ 0.6 ^a
3	Afla+L.acid	2.32 $\pm$ 0.04 ^a	1.05 $\pm$ 0.01 ^a	5.67 $\pm$ 0.07 ^{ab}	29.1 $\pm$ 0.3 ^{ab}
4	Afla+L.plan	2.28 $\pm$ 0.03 ^a	1.03 $\pm$ 0.04 ^a	5.56 $\pm$ 0.12 ^a	28.4 $\pm$ 0.5 ^{ab}

حروف غیریکسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ بود (میانگین $\pm$ انحراف معیار)

Data (Mean $\pm$ SE) with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)





شکل ۲: شاخص‌های بیوشیمیایی بچه‌ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در تیمارهای مختلف پرورشی. تری‌گلیسرید (A)، کلسترول: (B)، گلوکز (C). ۱: شاهد (خوراک بدون آفلاتوکسین B₁ و پروبیوتیک)، ۲: آفلاتوکسین (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بلیون آفلاتوکسین B₁ و بدون پروبیوتیک)، ۳: آفلاتوکسین و پروبیوتیک *Lactobacillus acidophilus* (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی‌لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. acidophilus*), ۴: آفلاتوکسین و پروبیوتیک *Lactobacillus plantarum* (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی‌لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. plantarum*). حروف غیر یکسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ بود (میانگین $\pm$ انحراف معیار، n=۳).

Figure 2: Hematology indices of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings in different treatments. Triglycerides (A), Cholesterol (B), Glucose (C). 1: Control (Diet without aflatoxin B₁ and probiotics), 2: Afla (Diet containing 50 ppb of aflatoxin B₁ and no probiotics), 3: Afla+L.acid (Diet containing 50 ppb of aflatoxin B₁ and 10⁸ CFU/ml/kg of probiotic *Lactobacillus acidophilus*), 4: Afla+L.plant (Diet containing 50 ppb of aflatoxin B₁ and 10⁸ CFU/ml/kg of probiotic *Lactobacillus plantarum*). Data (Mean $\pm$ SE) with different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

ترکیب شیمیایی لاشه

مقایسه آزمون میانگین ترکیب تقریبی لاشه) نشان داد که پروتئین و چربی در تیمار ۴ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی‌لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. plantarum*) اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱ (شاهد) داشت و کاهش یافت ($p < 0.05$). همچنین بر اساس این نتایج خاکستر لاشه در

تیمار ۳ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بلیون آفلاتوکسین B₁ و ۱۰^۸ واحد کلنی / میلی‌لیتر / کیلوگرم خوراک پروبیوتیک *L. acidophilus*) با تیمارهای ۲ (خوراک حاوی ۵۰ قسمت در بلیون آفلاتوکسین B₁) و ۴ دارای اختلاف معنی‌داری بود ($p < 0.05$). رطوبت نیز در تیمار ۴ در مقایسه با تیمار ۱ افزایش یافت ($p < 0.05$) (جدول ۴).

جدول ۴: ترکیب شیمیایی لاشه بچه‌ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در تیمارهای مختلف پرورشی (میانگین $\pm$ انحراف معیار، n=۳)

Treatment	Nomenclature	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)	Moisture (%)
1	Control	0.1 ^b $\pm$ 15.4	0.2 ^b $\pm$ 9.1	0.1 ^{ab} $\pm$ 2.7	0.2 ^a $\pm$ 72.7
2	Afla	0.1 ^{ab} $\pm$ 15.2	0.2 ^{ab} $\pm$ 8.1	0.1 ^b $\pm$ 2.8	0.2 ^a $\pm$ 73.9
3	Afla+L.acid	0.1 ^{ab} $\pm$ 15.3	0.3 ^b $\pm$ 8.8	0.1 ^a $\pm$ 2.4	0.4 ^a $\pm$ 73.5
4	Afla+L.plan	0.4 ^a $\pm$ 14.4	0.2 ^a $\pm$ 7.2	0.2 ^b $\pm$ 2.9	0.3 ^b $\pm$ 75.5

حروف غیر یکسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ بود (میانگین $\pm$ انحراف معیار)
Data (Mean $\pm$ SE) with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

بحث

یکی از نیازها برای دستیابی به توسعه پایدار در آبی پروری، استفاده از خوراک با کیفیت است (Engle *et al.*, 2017). آلودگی اقلام اولیه غذایی و خوراک آبریان به سموم قارچی مانند آفلاتوکسین‌ها از مشکلات مهم کیفیت خوراک در آبی پروری محسوب می‌شود (Ayyat *et al.*, 2018). با توجه به تاثیر منفی آفلاتوکسین خوراک بر عملکرد فیزیولوژی ماهیان (Tasa *et al.*, 2020)، در سال‌های اخیر استفاده از مکمل‌های غذایی برای کاهش آثار این سموم مورد توجه قرار گرفته است (Allameh *et al.*, 2005). در این بین انواع باکتری‌های پروبیوتیک به واسطه اثر تقویت سیستم ایمنی و خواص آنتی‌اکسیدانی می‌توانند به عنوان یک عامل زیستی در حذف آفلاتوکسین‌ها مورد استفاده قرار بگیرند (Bagherzadeh Kasmani *et al.*, 2012; Manafi, 2018).

بررسی روند تغییرات شاخص‌های رشد در مطالعه حاضر، نشان‌دهنده کاهش این شاخص‌ها در ماهیان تغذیه شده با خوراک آلوده به آفلاتوکسین B₁ بود. در مطالعات Ayyat و همکاران (۲۰۱۸) و Naiel و همکاران (۲۰۱۹) مشخص شد که خوراک حاوی آفلاتوکسین B₁ منجر به کاهش شاخص‌های رشد ماهی تیلاپیی نیل (*Oreochromis niloticus*) شد. نتایج مطالعه Fan و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد که تغذیه ماهی کپور معمولی با خوراک آلوده به ۵۰ قسمت در بلبیون آفلاتوکسین B₁ باعث کاهش رشد و افزایش ضریب تبدیل غذایی شد. اثرات مخرب سموم قارچی بر عملکرد رشد ماهیان معمولاً به تاثیر این سموم بر کاهش مصرف غذا، جذب مواد مغذی، ساخت پروتئین، اختلال در کارکرد کبد و به افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها نیز نسبت داده می‌شود (Santacroce *et al.*, 2008). علاوه بر این، اثرات سمی ناشی از آفلاتوکسین B₁ ممکن است به دلیل افزایش غلظت رادیکال‌های آزاد در کبد طی متابولیسم این سم باشد (Towner *et al.*, 2003). همچنین مشخص شده است که سموم با اختلال و آسیب بر اندام‌های حیاتی منجر به کاهش رشد می‌شوند (Aggarwal *et al.*, 2013). بر اساس نتایج مطالعه حاضر، افزودن پروبیوتیک به خوراک بچه‌ماهیان کپور معمولی منجر به

بهبود غیرمعنی‌دار شاخص‌های رشد شد. در مطالعات Lara-Flores و همکاران (۲۰۰۳) و Al-Dohail و همکاران (۲۰۰۹) افزودن پروبیوتیک‌های *L. acidophilus* و *L. plantarum* به ترتیب در خوراک گربه‌ماهیان آفریقایی (*Clarias gariepinus*) و بچه‌ماهیان تیلاپیی نیل منجر به بهبود شاخص‌های رشد شد. نتایج مطالعه Ayyat و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد که غنی‌سازی خوراک با پروبیوتیک‌های باکتوسل منجر به کاهش آثار آفلاتوکسین بر شاخص‌های رشد بچه‌ماهیان تیلاپیی نیل شد. پیشتر مشخص شد که پروبیوتیک‌ها در بهبود سلامت دستگاه گوارش و سلامت عمومی ماهیان موثر هستند (Bagherzadeh Kasmani *et al.*, 2012; Manafi, 2018). پروبیوتیک‌ها با اتصال به آفلاتوکسین B₁ به وسیله پلی‌ساکاریدها و پپتیدوگلیکان‌های دیواره سلولی، در حذف آثار این سم موثر هستند (Haskard *et al.*, 2001).

نتایج مربوط به شاخص‌های خون‌شناسی در مطالعه حاضر، نشان‌دهنده کاهش این شاخص‌ها در ماهیان تغذیه شده با آفلاتوکسین B₁ بود. نتایج مطالعه Varior (۲۰۰۳) نشان داد که آفلاتوکسین منجر به کاهش میزان هموگلوبین، هماتوکریت و تعداد گلبول‌های قرمز خون تیلاپیی موزامبیک (*Oreochromis mossambicus*) شد. همچنین در مطالعات Sherif و Gad (۲۰۱۳) و Ayyat و همکاران (۲۰۱۸) مشخص شد که خوراک حاوی آفلاتوکسین B₁ منجر به کاهش تعداد گلبول‌های قرمز، میزان هموگلوبین و درصد هماتوکریت ماهی تیلاپیی نیل (*Oreochromis niloticus*) شد. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزودن پروبیوتیک به خوراک بچه‌ماهیان کپور معمولی منجر به افزایش غیرمعنی‌دار برخی شاخص‌های خون‌شناسی شد. در مطالعه Ringo و Grama (۲۰۰۵) مشخص شد که غنی‌سازی خوراک بچه‌ماهیان تیلاپیی نیل با پروبیوتیک *Pediococcus acidilactici* منجر به بهبود شاخص‌های خون‌شناسی شد. در مطالعه El-Mokhlesany و همکاران (۲۰۲۳) نیز استفاده از مخمر (*Saccharomyces cerevisiae*) در خوراک آلوده به آفلاتوکسین منجر به بهبود شاخص‌های خونی ماهی کفال (*Liza ramada*) شد. از مهم‌ترین عوامل سلامت فیزیولوژیک ماهیان، بررسی

داد (Tanaka *et al.*, 2001). تغییر در سطح تری‌گلیسیرید، کلسترول و گلوکز سرم در مواجهه با عوامل تنش‌زا به تغییر در میزان متابولیسم و آسیب سلولی نسبت داده می‌شود (Riche, 2007). علت افزایش گلوکز سرم ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان مواجهه‌شده با شرایط استرسی در مطالعه Jasour و همکاران (۲۰۱۸) به افزایش آن در سرم برای تامین انرژی برای مقابله با شرایط تنش عنوان شد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، افزودن پروبیوتیک به خوراک بچه‌ماهیان کپور معمولی منجر به افزایش سطوح تری‌گلیسیرید و کلسترول و کاهش گلوکز سرم شد. در مطالعه Weisi و همکاران (۲۰۲۲) نیز افزودن پروبیوتیک‌های *L. acidophilus* و *Candida utilis* به خوراک بچه‌ماهیان کپور معمولی منجر به بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی سرم شد. پیش‌تر نیز مشخص شد که مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی خوراک منجر به بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی سرم می‌شوند (Dhingra and Bansal, 2011; Gul *et al.*, 2006). کاهش شرایط استرسی به‌وسیله پروبیوتیک‌ها منجر به تحریک ترشح هورمون‌های اپی‌نفرین و گلوکاکون و باعث فعال شدن گلوکوکورتیزول و لیپولیز شده و تری‌گلیسیرید تجزیه می‌شود و غلظت آن تغییر می‌یابد. سپس اسیدهای چرب آزاد شده وارد گردش خون می‌شوند و در فرآیند چرخه اسید سیتریک، تولید انرژی می‌کنند. ادامه این روند منجر به تولید کلسترول می‌گردد (Larsson and Lewander, 1973; Palmegiano *et al.*, 1993).

یافته‌های مطالعه حاضر، نشان‌دهنده تاثیر غیرمعنی‌دار آفلاتوکسین بر ترکیب شیمیایی لاشه بود به‌طوری‌که پروتئین و چربی لاشه در ماهیان تغذیه شده با خوراک آلوده به آفلاتوکسین B₁، کاهش یافتند. مطالعات متعددی کاهش کیفیت لاشه ماهیان تغذیه شده با آفلاتوکسین را گزارش کردند که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. در مطالعات Mahfouz و Sherif (۲۰۱۵) و Ayyat و همکاران (۲۰۱۸) مشخص شد که خوراک حاوی آفلاتوکسین B₁ منجر به کاهش کیفیت لاشه بچه‌ماهیان تیلاپای نیل شد. در مطالعه Tasa و همکاران (۲۰۲۰) نیز تغذیه بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان با خوراک حاوی

شاخص‌های خونی است که با نوع تغذیه، گونه و عوامل محیطی در ارتباط است و می‌توان با ارزیابی این شاخص‌ها، به شرایط تغذیه‌ای ماهیان پی برد (Fanouraki *et al.*, 2007). کاهش تعداد گلبول‌های قرمز و بالتبع کاهش هموگلوبین و هماتوکریت به کمبود انتشار اکسیژنی به بافت‌ها در ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی آفلاتوکسین نسبت داده شده است (Van der Oost *et al.*, 2003). همچنین عنوان شد که کاهش شاخص‌های خونی در مواجهه با سموم و عوامل تنش‌زا، به دلیل آسیب‌های بافتی به اندام‌های مسئول ساخت این شاخص‌هاست (Moccia *et al.*, 1984). افزایش شاخص‌های خونی در اثر عوامل تغذیه‌ای مانند پروبیوتیک‌ها، بر مکانیسم erythropoiesis^۱ و کاهش حجم پلاسما ارتباط داده شده است (Yildirim-Aksoy *et al.*, 2008). تصور محققان بر این است که افزایش شاخص‌های خونی می‌تواند به دلیل تحریک سیستم ایمنی به‌وسیله مکمل‌های غذایی (پروبیوتیک) باشد (Silva *et al.*, 2009).

بررسی روند تغییرات شاخص‌های بیوشیمیایی مطالعه حاضر، نشان‌دهنده کاهش سطح تری‌گلیسیرید و کلسترول و افزایش گلوکز سرم در ماهیان تغذیه شده با آفلاتوکسین B₁ بود. نتایج مطالعه Varior (۲۰۰۳) نشان داد که آفلاتوکسین منجر به تغییر در سطح برخی شاخص‌های بیوشیمیایی سرم در تیلاپای موزامبیک شد. تغییر در سطوح شاخص‌های بیوشیمیایی سرم بچه‌ماهیان کپور معمولی تغذیه شده با آفلاتوکسین B₁ در مطالعه Pradeepkiran و همکاران (۲۰۱۵) نیز مشاهده شد. همچنین نتایج بررسی‌های Alinezhad و همکاران (۲۰۱۷) و Ghafarifarسانی و همکاران (۲۰۲۱) نشان‌دهنده تغییر در سطح شاخص‌های بیوشیمیایی بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با ۵۰ قسمت در بیلیون آفلاتوکسین B₁ بود. با توجه به این‌که سطوح غلظت شاخص‌های بیوشیمیایی، به عنوان یکی از مولفه‌های وضعیت سلامت ماهیان مطرح هستند، می‌توان در مطالعه حاضر کاهش تری‌گلیسیرید و کلسترول و افزایش گلوکز سرم را به اثر مواجهه با شرایط استرسی و اثر سم آفلاتوکسین B₁ نسبت

^۱ آزاد شدن اریتروسیت‌ها از بافت‌های خون‌ساز

- and Toxicology, 107-140. DOI:10.1007/978-1-4614-5577-6-5
- Akhlaghi, M. and Mirab Brojerdi, M., 1997.** Investigating the effect of anesthetizing clove in fish and determining its LC₅₀. *Journal of Veterinary Research*, 54(2):49-52.
- Al-Dohail, M.A. Hashim, R. and Aliyu-Paiko, M., 2009.** Effects of the probiotic, *Lactobacillus acidophilus*, on the growth performance, haematology parameters and immunoglobulin concentration in African Catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) fingerling. *Aquaculture Research*, 40(14):1642-1652. DOI:10.1111/j.1365-2109.2009.02265.x
- Alinezhad, S., Faridi, M., Falahatkar, B., Nabizadeh, R., and Davoodi, D., 2017.** Effects of nanostructured zeolite and aflatoxin B₁ in growth performance, immune parameters and pathological conditions of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fish and Shellfish Immunology*, 70:648-655. DOI:10.1016/j.fsi.2017.08.021
- Allameh, A., Safamehr, A.R., Mirhadi, S.A., Shivazad, M., Razzaghi-Abyaneh, M. and Afshar-Naderi, A., 2005.** Evaluation of biochemical and production parameters of broiler chicks fed ammonia treated aflatoxin contaminated maize grains. *Animal Feed Science Technology*, 122:289-301. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2005.03.005
- AOAC, 2005.** Official methods of analysis of association of official agriculture chemists. 18th ed, Washington, Gaithersburg. 25 P.
- آفلاتوکسین B₁ منجر به کاهش پروتئین و چربی لاشه شد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، افزودن پروبیوتیک‌ها به خوراک ماهیان بر کاهش اثرات آفلاتوکسین موثر نبود. در مطالعه Dash و همکاران (۲۰۱۴) بررسی تاثیر پروبیوتیک *L. plantarum* بر میگوی *Macrobrachium rosenbergii* نشان داد که افزودن این پروبیوتیک به خوراک باعث تغییر در کیفیت لاشه میگوها نشد. همچنین در مطالعه Weisi و همکاران (۲۰۲۲) افزودن پروبیوتیک‌های *L. acidophilus* و *Candida utilis* به خوراک بچه‌ماهیان کپور معمولی، باعث تغییرات معنی‌داری بر ترکیب شیمیایی لاشه نشد. تصور بر این است که خوراک‌های حاوی سموم و آلاینده‌ها باعث اختلال در سنتز پروتئین و متابولیسم چربی می‌شوند و بر ترکیب بدن ماهیان اثر می‌گذارند (Ellis et al., 1991). پایین بودن درصد چربی بدن در ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی آفلاتوکسین به اختلال مسیر متابولیک چربی‌ها و کاهش نرخ لیپوژنز نسبت داده شده است. همچنین ذخیره‌سازی کمتر چربی در بدن می‌تواند به مفهوم نیاز بالای متابولیک حیوان به انرژی جهت مقابله با عوامل تنش‌زا (خوراک آلوده به آفلاتوکسین B₁) باشد (Peng et al., 2009).
- با توجه به نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر، می‌توان بیان کرد که آلودگی خوراک به آفلاتوکسین B₁ تاثیر منفی بر شاخص‌های رشد، خون‌شناسی، بیوشیمیایی و کیفیت لاشه بچه‌ماهیان کپور معمولی داشت. همچنین افزودن پروبیوتیک‌های *L. plantarum* و *L. acidophilus* به خوراک تا حدودی توانست بر بهبود شاخص‌های رشد و بیوشیمیایی موثر باشد. البته پروبیوتیک *L. acidophilus* در مقایسه با *L. plantarum* موثرتر بود.

منابع

- Aggarwal, V., Deng, X., Tuli, A. and Goh, K.S., 2013.** Diazinon- chemistry and environmental fate: A California perspective. *Reviews of Environmental Contamination*

- Ayyat, M.S., Ayyat, A.M.N., Al-Sagheer, A.A. and El-Hais, A.E.A.M., 2018.** Effect of some safe feed additives on growth performance, blood biochemistry, and bioaccumulation of aflatoxin residues of Nile tilapia fed aflatoxin-B₁ contaminated diet. *Aquaculture*, 495:27-34. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.05.030
- Bagherzadeh Kasmani, F., Karimi Torshizi, M.A., Allameh, A. and Shariatmadari, F., 2012.** A novel aflatoxin-binding *Bacillus* probiotic: Performance, serum biochemistry, and immunological parameters in Japanese quail. *Poultry Science*, 91(8):1846. DOI:10.3382/ps.2011-01830
- Blaxhall, P.C. and Daisley, K.W., 1973.** Routine hematological methods for use with fish blood. *Journal of Fish Biology*, (5):771-781. DOI:10.1111/j.1095-8649.1973.tb04510.x
- Borges, A., Scotti, L.V., Siqueira, D.R., Jurinitz, D.F. and Wassermann, G.F., 2004.** Hematologic and Serum biochemical values for jundia (*Rhamdia quelen*). *Fish Physiology and Biochemistry* 30:21-25. DOI:10.1007/s10695-004-5000-1.
- Cebeci, A. and Gürakan, C., 2003.** Properties of potential probiotic *Lactobacillus plantarum* strains. *Food Microbiology*, 20(5):511-518. DOI:10.1016/S0740-0020(02)00174-0
- Celik, I. and Sur, E., 2003.** Effects of aflatoxin B₁ on the development of the bursa of Fabricius and blood lymphocyte acid phosphatase of the chicken. *Journal of British Poultry Science*, 44:558-66. DOI:10.1080/00071660310001618352
- Dash, G. Raman, R.P. Prasad, K.P. Makesh, M. Pradeep, M.A. and Sen, S., 2014.** Evaluation of *Lactobacillus plantarum* as feed supplement on host associated microflora, growth, feed efficiency, carcass biochemical composition and immune response of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879). *Aquaculture*, 432:225-236. DOI:10.1016/j.aquaculture.2014.05.011
- Dawood, M.A., Koshio, S., Ishikawa, M. and Yokoyama, S., 2015.** Interaction effects of dietary supplementation of heat-killed *Lactobacillus plantarum* and β -glucan on growth performance, digestibility and immune response of juvenile red sea bream, *Pagrus major*. *Fish and Shellfish Immunology*, 45(1):33-42. DOI:10.1016/j.fsi.2015.01.033
- Dhingra, S. and Bansal, M.P., 2006.** Attenuation of LDL receptor gene expression by selenium deficiency during hypercholesterolemia. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 282:75-82. DOI:10.1007/s11010-006-1266-1.
- Duc, P.M., Nhan, H.T., Thi, T., Hoa, T., Mong, H., Chau, H. and An, C.M., 2016.** Effects of heat-killed *Lactobacillus plantarum* strain L-137 on growth performance and immune responses of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) via dietary administration. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6:270-280.

- Ellis, W.O., Smith, J.P., Simpson, B.K., Oldham, J.H. and Scott, P.M., 1991. Aflatoxin in food: Occurrence, biosynthesis, effects on organisms, detection and methods of control. *Food and Nutrition*, 30:403-439. DOI:10.1080/10408399109527551.
- El-Mokhlesany, S.A., Ibrahim, M.A., Amer, A.A., Gewaily, M.S., Zaineldin, A.I., Soliman, A. and Dawood, M.A., 2023. The protective effects of *Saccharomyces cerevisiae* on the growth performance, intestinal health, and antioxidative capacity of mullet (*Liza ramada*) fed diets contaminated with aflatoxin B₁. *Annals of Animal Science*, 23(3):859-868. DOI:10.2478/aoas-2023-0005
- Engle, C.R., D'Abramo, L., Ponniah, A.G. and Slater, M., 2017. Global aquaculture 2050. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(1):3-6. DOI:10.1111/jwas.12400
- Fan, Y., Liu, L., Zhao, L., Wang, X., Wang, D., Huang, C. and Ma, Q. 2018. Influence of *Bacillus subtilis* ANSB060 on growth, digestive enzyme and aflatoxin residue in Yellow River carp fed diets contaminated with aflatoxin B₁. *Food and Chemical Toxicology*, 113:108-114. DOI:10.1016/j.fct.2018.01.033.
- Fanouraki, B. P., Divaach, M. and Pavlidis, M., 2007. Baseline values for acute and chronic stress indicators in sexually immature red porgy (*Pargrus pagrus*). *Aquaculture*, 265:294-304. DOI:10.1016/j.aquaculture.2007.01.006
- Gabr, G.A., Ibrahim, Y.S., Al-Shawi, S.G., Abosooda, M., Gupta, J., Oudaha, K.H. and Dadras, M., 2023. Single or combined consumption of resveratrol and the probiotic, *Lactobacillus acidophilus* attenuate the effects of crowding stress on growth, immune characteristics, and antioxidant defense in the common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture Reports*, 29:101471. DOI:10.1016/j.aqrep.2023.101471
- GhafariFarsani, H., Kachuei, R. and Imani, A., 2021. Dietary supplementation of garden thyme essential oil ameliorated the deteriorative effects of aflatoxin B₁ on growth performance and intestinal inflammatory status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 531:735928. DOI:10.1016/j.aquaculture.2020.735928
- Grama, L. and Ringo, E., 2005. Prospects of fish probiotics. In *Biology of growing animals*, 2:379-417. DOI:10.1111/j.1365-2095.2009.00731.x
- Gudadappanavar, A.M., Hombal, P.R., Timashetti, S.S. and Javali, S.B., 2017. Influence of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus plantarum* on wound healing in male Wistar rats-an experimental study. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, 7(4):233-238. DOI:10.4103/ijabmr.IJABMR_329_16.
- Gul, Y., Gao, Z.X., Qian, X.Q. and Wang, W.M., 2011. Haematological and serum biochemical characterization and comparison of wild and cultured northern snakehead (*Channa argus* Cantor, 1842). *Journal of Applied Ichthyology*, 27(1):122-128. DOI:10.1111/j.1439-0426.2010.01565.x

- Hamza, N., Mhetli, M., Ben, I., Cahu, C. and Kestemont, P., 2008.** Effect of dietary phospholipid levels on performance, enzyme activities and fatty acid composition of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae. *Aquaculture*, 275(1-4):274–282. DOI:10.1016/j.aquaculture.2008.01.014
- Haskard, C.A., El-Nezami, H.S., Kankaanpää, P.E., Salminen, S. and Ahokas, J.T., 2001.** Surface binding of aflatoxin B₁ by lactic acid bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(7):3086-3091. DOI:10.1128/AEM.67.7.3086-3091.2001
- Hung, S.S.Y., Fu, C.H.L., Higgs, D.A., Blfry, S.K., Schulte, P.M. and Brauner, C.J., 2008.** Effects of dietary canola oil level on growth performance, fatty acid composition and ionoregulatory development of spring Chinook salmon parr, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture*, 274:109-117. DOI:10.1016/j.aquaculture.2007.11.011
- Hussein, S.Y., Mekki, I.A.A., Moktar, Z.Z. and Mubarak, M., 2000.** Protective effect of *Nigella sativa* seed against aflatoxicosis in *Oreochromis niloticus*. Proc. Conf. Mycotoxins and Dioxins and the Environment, Bydgoszcz, pp. 25-27.
- Jasour, M.S., Wagner, L., Sundekilde, U.K., Larsen, B.K., Rasmussen, H.T., Hjermitsev, N.H., Hammershoj, M., Dalsgaard, A.J.T. and Dalsgaard, T.K., 2018.** Fishmeal with different levels of biogenic amines in aqua feed: comparison of feed protein quality, fish growth performance, and metabolism. *Aquaculture*, 488:80-89. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.01.030
- Khan, M.J., Renata, U.C., Christine, I. and Bohm, J., 2001:** Occurrence of aflatoxins in some common concentrate feeds in bangladesh. *Journal of Bangladesh Veterinarian*, 18(2):130-135.
- Klontz, G. W., 1994.** Fish hematology. In: Stolen, J.S., Fletcher, T.C., Rowley, A.F., Kelikoff, T.C., Kaatari, S.L. and Smith, S.A. (eds) Techniques in fish immunology. Vol. 3. SOS Publications, Fair Haven, New Jersey, USA. pp. 21–132.
- Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M.A., Guzman-Mendez, B.E. and Lopez-Madrid, W., 2003.** Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 216(1-4):193-201. DOI:10.1016/S0044-8486(02)00277-6
- Larsson A. and Lewander K., 1973.** Metabolic effects of starvation in the eel, *Anguilla anguilla* L. *Comparative Biochemistry and Physiology* (A), 44:367–374. DOI:10.1016/0300-9629(73)90489-1
- Lewis, S., Bain, B. and Bates, I., 2006.** Dacie and Lewis Practical Hematology. Tenth Edition. Philadelphia, PA. Churchill Livingstone, Elsevier. 722 P. DOI:10.1016/B0-44-306660-4/50007-6
- Mahfouz, M.E. and Sherif, A.H., 2015.** A multiparameter investigation into adverse effects of aflatoxin on *Oreochromis niloticus* health status. *The Journal of Basic and*

- Applied Zoology*, 71:48-59.
DOI:10.1016/j.jobaz.2015.04.008
- Mahmoudikia, Z., Imani, A., Sarvi Moghanlou, K. and Razi, M., 2018.** Simultaneous effect of stocking density, dietary aflatoxin B₁ and medicinal plant multiblend on digestive physiology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 28(1):107-118.
DOI:10.22092/ISFJ.2019.118888 (in Persian)
- Manafi, M., 2012.** Counteracting effect of highgrade sodium bentonite during aflatoxicosis in broilers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 539-547. DOI: 20.1001.1.16807073.2012.14.3.4.8
- Manafi, M., 2018.** Impact of application of natural toxin binder on performance, humoral immune response, cecal microbial population and changes in small intestine morphology of broilers fed with diet contaminated with aflatoxin B₁. *Journal of Veterinary Research*, 73(3):273-282.
DOI:10.22059/jvr.2018.128340.2327
- Moccia, R.D., Hung, S.S.O., Slinger, S.J. and Ferguson, H.W., 1984.** Effect of oxidized fish oil, vitamin E and ethoxyquin on the histopathology and haematology of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Diseases*, 7: 269-282.
DOI:10.1111/j.1365-2761.1984.tb00932.x
- Naiel, M.A., Ismael, N.E. and Shehata, S.A., 2019.** Ameliorative effect of diets supplemented with rosemary (*Rosmarinus officinalis*) on aflatoxin B₁ toxicity in terms of the performance, liver histopathology, immunity and antioxidant activity of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 511:734264.
DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.734264
- Palmegiano, G.M., Bianchini, M., Boccignone, M., Forneris, G., Sicuro, B. and Zoccarato, I., 1993.** Effects of starvation and meal timing on fatty acid composition in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Rivista Italian Aquaculture*, 28:5-11.
- Pandey, A., Tyagi, A. and Khairnar, S.O., 2022.** Oral feed-based administration of *Lactobacillus plantarum* enhances growth, haematological and immunological responses in *Cyprinus carpio*. *Emerging Animal Species*, 3:100003.
DOI:10.1016/j.eas.2022.100003
- Peng, S., Chen, L., Qin, J.G., Hou, J., Yu, N., Long, Z., Li, E. and Ye, J., 2009.** Effect of dietary vitamin E supplementation on growth performance, lipid peroxidation and tissue fatty acid composition of black sea bream (*Acanthopagrus schlegeli*) fed oxidized fish oil. *Aquaculture Nutrition*, 15:329-337.
DOI:10.1111/j.1365-2095.2009.00657.x
- Pietsch, C., Müller, G., Mourabit, S., Carnal, S. and Bandara, K., 2020.** Occurrence of fungi and fungal toxins in fish feed during storage. *Toxins*, 12(3):171.
DOI:10.3390/toxins12030171
- Pradeepkiran., J.A. Kumar., A.S., Ismail., S.M., Madhuri., E. and Bhaskar., M., 2015.** Amelioration effect of probiotics (cheese) and prebiotic (garlic) on aflatoxin B₁ induced hematological alterations in fresh

- water fish *Cyprinus carpio* L. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 5(4):117-124.
- Rehulka, 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
- Riche, M., 2007.** Analysis of refractometry for determining total plasma protein in hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) at various salinities. *Aquaculture*, 264:279–284. DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.12.018
- Salim, A.B., Zohair, A., Hegazy, A.E.S. and Said, A., 2011.** Effect of some strains of probiotic bacteria against toxicity induced by aflatoxins in vivo. *The Journal of American Science*, 7(1):1-12.
- Santacroce, M.P., Conversano, M.C., Casalino, E., Lai, O., Zizzadoro, C., Centoducati, G. and Crescenzo, G., 2008.** Aflatoxins in aquatic species: metabolism, toxicity and perspectives, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 18(1):99–130. DOI:10.1007/s11160-007-9064-8.
- Sherif, A.H. and Gad, M.D., 2013.** Studies on the effect of acidifier on cultured *Oreochromis niloticus* fish. *Journal of the Arabian Aquaculture Society*, 8(1):229-236.
- Silva, B.C., Martins, M.L., Jatobá, A., Buglione Neto, C.C., Vieira, F.N., Pereira, G.V., Jerônimo, G.T., Seiffert, W.Q. and Mourinho, J.L.P., 2009.** Hematological and immunological responses of Nile tilapia after polyvalent vaccine administration by different routes. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 29:874–880. DOI:10.1590/S0100-736X2009001100002
- Soltani, M., Kane, A., Taheri-Mirghaed, A., Pakzad, K. and Hosseini-Shekarabi, P., 2019.** Effect of the probiotic, *Lactobacillus plantarum* on growth performance and haematological indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) immunized with bivalent *streptococcosis/lactococcosis* vaccine. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 18(2):283-295. DOI:10.22092/ijfs.2018.117757 (in Persian)
- Tanaka, Y., Sakurai, E. and Lizuka, Y., 2001.** Effect of selenium on serum, hepatic and lipoprotein lipids concentration in rats fed on a high-cholesterol diet. *Yakugaku Zasshi*, 121:93–96. DOI:10.1248/yakushi.121.93.
- Tasa, H., Imani, A., Moghanlou, K.S., Nazdar, N. and Moradi-Ozarlou, M., 2020.** Aflatoxicosis in fingerling common carp (*Cyprinus carpio*) and protective effect of rosemary and thyme powder: Growth performance and digestive status. *Aquaculture*, 527:735437. DOI:10.1016/j.aquaculture.2020.735437
- Towner, R.A., Qian, S.Y., Kadiiska, M.B. and Mason, R.P., 2003.** *In vivo* identification of aflatoxin-induced free radicals in rat bile. *Free Radical Biology and Medicine*, 35(10):1330-1340. DOI:10.1016/j.freeradbiomed.2003.08.002.
- Van der Oost, R., Beyer, J. and Vermeulen, N.P.E., 2003.** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review, *Environ. Toxicology and Applied Pharmacology*, 13:57-149. DOI:10.1016/S1382-6689(02)00126-6.

- Varior, S., 2003.** Biochemical and histopathological effects of aflatoxin on *O. mossambicus*. Thesis for Ph.D. Department of Marine Biology, Microbiology and Biochemistry Cochin University of Science and Technology, India. 184 P.
- Weisi, T., Ahmadifard, N., Atashbar Kangharloei, B. and Tukmechi, A., 2022.** Effects of probiotic *Lactobacillus acidophilus* and *Candida utilis* on mucus immunity indices, liver enzymes, and growth of common carp, *Cyprinus carpio*. *Journal of Aquatic Animals Nutrition*, 8(3):1-15. DOI:10.22124/janb.2023.24077.1190 (In Persian)
- Williams, J.H., Phillips, T.D., Jolly, P.E., Stiles, J.K., Jolly, C.M. and Aggarwal, D., 2004.** Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(5):1106-1122. DOI:10.1093/ajcn/80.5.1106
- Yildirim-Aksoy, M., Lim, C., Li, M.H. and Klesius, P.H., 2008.** Interaction between dietary levels of vitamins C and E on growth and immune responses in channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). *Aquaculture Research*, 39(11):1198-1209. DOI:10.1111/j.1365-2109.2008.01984.x
- Zheng, X., Duan, Y., Dong, H. and Zhang, J., 2017.** Effects of dietary *Lactobacillus plantarum* in different treatments on growth performance and immune gene expression of white shrimp *Litopenaeus vannamei* under normal condition and stress of acute low salinity. *Fish and Shellfish Immunology*, 62:195-201. DOI:10.1016/j.fsi.2017.01.015