2025, 1(2): 13-22

JAER

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

Research Article

Combined Effects of Autolyzed Baker's Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and Button Mushroom Powder (*Agaricus bisporus*) on Growth, Digestive Enzyme Activity, and Intestinal Histology of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fry

Mansour Lotfi [1], Mohammad Sudagar [*1], Hamed Paknejad [1], Shahram Dadgar [2], Hamideh Zakariaee [1]

[1] Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran

[2] Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Key Words

Rainbow trout
Yeast
Button mushroom powder
Digestive enzymes
Intestinal morphology
Prebiotic

Abstract

Introduction: In this regard, the purpose of this research was to study the combined effects of autolyzed baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and edible mushroom powder (*Agaricus bispirus*) on growth parameters, digestive enzymes activity and intestinal histology of rainbow trout fingerlings (*Oncorhynchus mykiss*).

Materials & methods: This research was conducted in one of the Urmia Rainbow Trout Breeding Farms (Golden Pond Fish Breeding). This research was evaluated in the form of 4 experimental treatments each with 4 replicates. Rainbow trout with an average weight of 15 ± 2 g were fed with experimental diets including: control group (treatment 1), autolyzed yeast at the rate of 2% of the diet (treatment 2), edible mushroom powder at the rate of 1% diet (Treatment 3) and 2% autolyzed yeast combination together with 1% edible mushroom powder (Treatment 4) for 10 weeks. At the end of the rearing period, growth indices, nutritional efficiency, digestive enzyme activity (protease, amylase and lipase) and intestinal morphology indices (villi length, muscle layer thickness and number of goblet cells) were measured and evaluated.

Results: The results showed that the addition of 2% autolyzed yeast and 1% edible mushroom powder could not make a significant difference in the indicators of final weight, weight obtained, food conversion ratio, activity of digestive enzymes protease, amylase, intestinal lipase and villi length indicators as well as the thickness of the muscle layer and the number of goblet cells in the small intestine of fish compared to the control group ($P>0.05$). Also, the results showed that the simultaneous adding of 2% autolyzed yeast and 1% edible mushroom powder in the diet of rainbow trout could significantly enhanced growth indicators, nutritional efficiency, digestive enzymes activity and intestinal morphology indicators in comparison with other experimental groups ($P<0.05$).

Conclusion: According to the results of this research, adding of 2% autolyzed yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) along with 1% edible mushroom powder (*Agaricus bispirus*) as a prebiotic is recommended to improve growth indicators, digestive tract function and feeding efficiency.

Article info

* Corresponding Author's email: sudagar_m@gau.ac.ir

Received: 27 March 2024
Reviewed: 1 May 2024
Revised: 4 July 2024
Accepted: 6 August 2024

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر ترکیبی مخمر نانوایی اتولیز شده (*Saccharomyces cerevisiae*) و پودر قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) بر رشد، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و بافت‌شناسی روده بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

منصور لطفی[۱]، محمد سوداگر[۱*]، حامد پاک‌نژاد[۱]، شهرام دادگر[۲]، حمیده زکریایی[۱]

[۱] گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۲] مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

کلمات کلیدی

قزل‌آلای رنگین‌کمان
مخمر
پودر قارچ دکمه ای
آنزیم‌های گوارشی
مورفولوژی روده
پروبیوتیک

چکیده

مقدمه: هدف از این پژوهش تعیین اثرات مخمر نانوایی اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای بر رشد، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و بافت‌شناسی روده بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در مزرعه پرورش ماهی برکه طلایی ارومیه بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در قالب ٤ تیمار آزمایشی و هر تیمار با ٤ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی ۲±۱۵ گرم به‌مدت ۱۰ هفته با جیره‌های آزمایشی شامل: گروه شاهد (تیمار ۱)، مخمر اتولیزشده به‌میزان ۲٪ جیره (تیمار ۲)، پودر قارچ دکمه‌ای به‌میزان ۱٪ جیره (تیمار ۳) و تلفیق مخمر اتولیزشده ۲٪ به‌همراه ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای (تیمار ٤) تغذیه شدند. در انتهای دوره پرورشی شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه‌ای، فعالیت آنزیم‌های گوارشی (پروتئاز، آمیلاز و لیپاز) وشاخص های مورفولوژی روده (طول پرز، ضخامت لایه موکوسی روده و تعداد سلول های جامی شکل) مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد افزودن ۲٪ مخمر اتولیز شده و ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای به‌صورت جداگانه نتوانست تفاوت معنی‌داری را در شاخص‌های وزن نهایی، وزن به‌دست آمده، ضریب تبدیل غذایی، فعالیت آنزیم‌های گوارشی پروتئاز، آمیلاز و لیپاز روده و شاخص‌های طول پرز، ضخامت لایه عضلانی و تعداد سلول‌های جامی شکل روده باریک ماهیان در مقایسه با گروه شاهد ایجاد نماید($P>۰/۰۵$). هم‌چنین نتایج نشان داد افزودن هم‌زمان ۲٪ مخمر اتولیز شده و ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای در جیره ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان می‌تواند سبب بهبود معنی‌دار شاخص‌های رشدی، کارایی تغذیه‌ای، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و شاخص‌های مورفولوژی روده در مقایسه با سایر گروه‌های آزمایشی گردد ($P<۰/۰۵$).

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، افزودن حاوی ۲٪ مخمر اتولیز شده به‌همراه ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای به‌عنوان پربیوتیک با هدف بهبود شاخص‌های رشد، کارکرد دستگاه گوارش و کارایی تغذیه‌ای ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان توصیه می‌گردد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
sudagar_m@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸ فروردین ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۱۲ اردیبهشت ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۴ تیر ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۶ مرداد ۱۴۰۳

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

مقدمه

توسعه سیستم‌های پایدار تولید مواد غذایی با افزایش جمعیت به بیش از ۸ میلیارد نفر تا سال ۲۰۳۰ ضروری است (۱). آبزی پروری، با چالش‌هایی مانند افزایش تراکم ماهی و بروز بیماری‌ها، نیازمند استفاده از مکمل‌های پربیوتیکی مانند مخمر نانوایی اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای برای بهبود شرایط پرورش و تقویت سیستم ایمنی ماهیان است. بنابراین استفاده از روش‌های نوین و دانش روز در آبزی‌پروری برای افزایش تولید و کاهش هزینه‌ها به‌ویژه با انتخاب پروبیوتیک‌ها (Probiotic) و پربیوتیک‌های (Prebiotics) مناسب ضروری است. پروبیوتیک‌ها، میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که به بهبود توازن میکروبی روده و تقویت سیستم ایمنی کمک می‌کنند، و در اروپا به‌دلیل ممنوعیت آنتی‌بیوتیک‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. یک پروبیوتیک مناسب باید در شرایط مختلف بقا یابد، بیماری‌زا نباشد و اثرات مثبتی بر سلامت میزبان داشته باشد (۲). پربیوتیک‌ها، مواد غذایی غیرقابل هضم، با تحریک رشد باکتری‌های مفید در روده و تولید اسیدهای چرب زنجیره کوتاه، به بهبود میکروفلور روده و جذب مواد غذایی کمک می‌کنند. کربوهیدرات‌هایی مانند: اینولین و الیگوفروکتوز با تخمیر گزینشی توسط باکتری‌های مفید، سلامتی و مقاومت در برابر بیماری‌ها را ارتقا می‌دهند. تحقیقات بیش‌تری برای بهینه‌سازی افزودن پربیوتیک‌ها به جیره غذایی ماهیان نیاز است (۳). تحقیقات نشان داده‌اند که پربیوتیک‌ها می‌توانند رشد و بازماندگی ماهیان پرورشی را بهبود بخشند و آن‌ها را در برابر بیماری‌ها و استرس‌های محیطی مقاوم کنند. تأثیر پربیوتیک‌ها بسته به گونه ماهی، شرایط پرورش و ویژگی‌های فیزیولوژیک متفاوت است. کیفیت جیره غذایی و جمعیت‌های میکروبی میکروفلور روده نیز در تأثیرگذاری پربیوتیک‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند (۴). مخمرها، اعضای گروه Ascomycetes از تک‌سلولی‌های یوکاریوتی هستند که به خانواده Saccharomycetaceae تعلق دارند؛ آن‌ها اغلب از طریق تقسیم سلولی یا جوانه‌زدن تکثیر می‌شوند و اسکوسپورها را در آسک تولید می‌کنند (۵). مخمرها از جمله *Saccharomyces cerevisiae*، که در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، معروف‌ترین اعضای این خانواده هستند. آن‌ها در مناطق مختلف جهان یافت می‌شوند، اغلب بر روی سطوح مواد قندی مانند: شهد گل‌ها، میوه‌ها، و در دستگاه گوارشی حیوانات حضور دارند و در صنایع غذایی و به‌عنوان مکمل غذایی برای جانوران استفاده می‌شوند (۶، ۷). مخمرها حاوی اجزای زیستی مانند-α گلوکان، بتا-گلوکان، و آنتی‌اکسیدان‌ها، به‌عنوان اجزای عملکردی مؤثر در سیستم ایمنی ماهیان عمل می‌کنند. استفاده از مخمرها، به‌خصوص *Saccharomyces cerevisiae*، در تغذیه آبزیان از دهه ۱۹۹۰ به‌عنوان منبع غنی از نیتروژن مورد استفاده قرار گرفته است و تقاضای بیش تر برای مخمرهای تغذیه‌ای، توسعه فن‌آوری‌های جدید را برای تولید آن‌ها تحریک کرده است (۸، ۹). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مخمرها و اجزای دیواره سلولی آن‌ها می‌توانند با تحریک ایمنی سلولی و هومورال غیراختصاصی، سیستم ایمنی ماهی را تقویت کنند، اما یکی از چالش‌های استفاده از مخمرها در تغذیه آبزیان، کاهش قابلیت هضم مواد مغذی آن ها به دلیل دیواره سلولی مخمر است که می‌توان با هیدرولیز شیمیایی، آنزیمی یا میکروبی این مشکل را حل کرد و زیست فراهمی مواد مغذی را افزایش داد (۱۰، ۱۱). به طورکلی، مخمرها به‌دلیل محتوای پروتئین، انرژی و ریزمغذی بالا به‌عنوان مکمل غذایی مناسب هستند و می‌توانند به بهبود عملکرد رشد ماهی، کارایی غذا و افزایش سطح مخاط روده کمک کنند. مخمرها، با ترکیباتی هم‌چون β-گلوکان‌ها و مانان الیگوساکاریدها، بهبود دهنده پاسخ‌های ایمنی و تحمل استرس ماهیان هستند (۱۲). این قارچ‌ها از دسته بازیدومیست‌ها (Basidiomycetes) و ساپروفیت‌ها (Saprophyte) به‌شمار می‌روند و به‌عنوان منابع غذایی مورد استفاده در نظر گرفته می‌شوند. قارچ دکمه‌ای، یکی از معروف‌ترین قارچ‌های خوراکی است که منبع غنی ویتامینی و مواد معدنی ازجمله ویتامین‌های B کمپلکس، D، K، E و کلسیم، فسفر، آهن، منیزیم، مس، کروم و اسید فولیک می‌باشد. این قارچ، با رطوبت بالایی که دارد، به تقویت سیستم ایمنی بدن کمک می‌کند و به‌عنوان یک پربیوتیک طبیعی شناخته می‌شود، زیرا حاوی پلی‌ساکاریدهای غیرقابل هضم است که رشد و بهبود فلور میکروبی روده را تحریک می‌کنند، و هم‌چنین دارای ترکیباتی مانند کیتین، بتاگلوکان و هتروپلی‌ساکاریدها هستند که از خواص پربیوتیکی برخوردارند (۱۳). قارچ‌ها دارای ترکیبات فعال بیولوژیکی مانند گلیکوپروتئین‌ها، تریترپن‌ها، پلی‌ساکاریدها و آنتی‌بیوتیک‌ها هستند. قارچ‌ها به‌دلیل داشتن پلی‌ساکاریدهای غیرقابل هضم می‌توانند به‌عنوان منابع طبیعی پربیوتیک عمل کنند. این ترکیبات باعث بهبود میکروفلور روده و افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی می‌شوند (۱۴). قارچ دکمه‌ای سفید به‌دلیل وجود ترکیبات فعال زیستی مانند پلی‌فنل‌ها، ارگوتیونئین، ویتامین‌ها و مواد معدنی به‌عنوان یک گیاه دارویی نیز مورد توجه است (۱۵). قارچ دکمه‌ای اثرات مفیدی بر تقویت سیستم ایمنی و سایر فواید دارد، اما اطلاعات محدودی در مورد استفاده از آن در آبزی‌پروری وجود دارد. قارچ‌ها می‌توانند باعث افزایش باکتری‌های مفید روده مانند لاکتوباسیلوس‌ها و بایفیدوباکترها شوند و از فعالیت باکتری‌های بیماری‌زا جلوگیری کنند و جذب مواد معدنی را افزایش دهند (۱۶، ۱۷). از طرفی سین‌بیوتیک‌ها (Synbiotic) ترکیبی از پروبیوتیک‌ها و پربیوتیک‌ها هستند که با بهبود حیات و رشد باکتری‌های مفید روده و تقویت متابولیسم میزبان، اثرات مثبتی

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]
[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

دارند. این ترکیبات جدید در آبزی‌پروری برای افزایش کارایی دستگاه گوارش استفاده می‌شوند، اما نیاز به تحقیقات بیش‌تری درباره تأثیرات آن‌ها بر میکروفلور روده‌ای آبزیان وجود دارد (۱۶، ۱۷). پست‌بیوتیک‌ها محصولات غیرزنده‌ای هستند که از متابولیک میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی به‌دست می‌آیند و برای میزبان مفید هستند. یکی از این محصولات باکیفیت، ®Levabon است که از اتولیز مخمر *Saccharomyces cerevisiae* تولید می‌شود و حاوی مواد مغذی مانند ویتامین B، اسیدهای آمینه ضروری، پپتیدها، کربوهیدرات‌های دیواره سلولی و نوکلئوتیدها است (۱۸، ۱۹). این پربیوتیک به‌عنوان افزودنی کاربردی در تغذیه آبزیان استفاده می‌شود. ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بومی آمریکای شمالی و اقیانوس آرام است و در آب‌های سرد و جاری زندگی می‌کند. این ماهی گوشتخوار با دستگاه گوارش تخصصی برای هضم پروتئین‌های حیوانی بوده و دمای مطلوب زیستی آن ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. تولید این ماهی در ایران در سال ۱۴۰۱ به ۲۰۸۸۰ تن رسیده و بچه‌ماهی مورد نیاز آن از کشورهای مختلفی مانند فرانسه و ایتالیا تأمین می‌شود (۲۰). تاکنون استفاده ترکیبی از مخمر اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای به‌عنوان مکمل پربیوتیکی در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بررسی نشده است. این تحقیق به بررسی اثرات هم‌افزایی این مکمل‌ها در بهبود کارایی جیره، فعالیت آنزیم‌های گوارشی، شاخص‌های مورفولوژیک روده و عملکرد دستگاه گوارش ماهی می‌پردازد. بنابراین این تحقیق با هدف تعیین اثرات تلفیقی مخمر نانوایی اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای بر پارامترهای رشد، بافت‌شناسی روده و فعالیت آنزیم‌های گوارشی بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شده است تا به بهبود شرایط پرورش و افزایش کارایی جیره غذایی کمک کند.

مواد و روش‌ها

تهیه ماهی و طراحی آزمایش: در این تحقیق، ۳۰۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی ۲±۱۵ گرم از یک کارگاه تکثیر در ارومیه تهیه و به مزرعه پرورش ماهی برکه طلایی منتقل شدند. ماهیان در استخرهای ضدعفونی شده رهاسازی و با محلول نمک ضدعفونی شده و پس از ارزیابی انگل‌های خارجی، به‌مدت دو هفته در قرنطینه برای سازگاری نگه‌داری شدند (شکل ۱). سپس ماهیان به چهار گروه، گروه شاهد، تیمار با ۲٪ مخمر اتولیزشده، تیمار با ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای، و تیمار ترکیبی از ۲٪ مخمر اتولیزشده و ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای با چهار تکرار و هر تکرار شامل ۱۵ ماهی تقسیم شدند. تغذیه ماهیان براساس توده زنده و دمای آب، روزانه سه وعده به‌مدت ۷۵ روز انجام شد. آب استخرها از یک حلقه چاه تأمین شده و میانگین دما ۱۴/۱ درجه‌سانتی‌گراد، شوری ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر، pH ۷/۶ و اکسیژن محلول ۱۰/۳ میلی‌گرم در لیتر بود.



شکل ۱: آماده‌سازی استخرهای پرورشی (مزرعه پرورش ماهی برکه طلایی)

Figure 1: Preparation of culture ponds (Golden Pond Fish Farm)

آماده‌سازی غذا: جهت تغذیه ماهیان از غذای تجاری به‌صورت پلت FFT-2 محصول شرکت فرادانه استفاده شد که آنالیز تقریبی آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: آنالیز تقریبی غذای تجاری مورد استفاده

Table 1: Approximate analysis of commercial food used

Compositions	Percentage
Crude protein	43
Crude fat	15
Ash	13
Fiber	3.7
Phosphorus	0.85
Moisture	10

مخمر اتولیز شده از شرکت بایومین اتریش و قارچ دکمه‌ای از مراکز خصوصی در آذربایجان‌غربی تهیه شد. قارچ‌ها پس از خرد شدن و خشک‌شدن در آون، آسیاب شده و به پودر تبدیل گردیدند. خوراک ماهی از کارخانه فرادانه تهیه و با مکمل‌ها مخلوط شد. خمیر حاصل از این مخلوط با چرخ‌گوشت به رشته‌های نازک تبدیل، خشک و به قطعات کوچک‌تر شکسته شد (۲۱). سپس خوراک در کیسه‌های یک کیلوگرمی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد. ژلاتین ۵ درصد برای پوشش‌دهی خوراک استفاده شد و خوراک تازه هر سه روز تهیه و در یخچال نگه‌داری می‌شد (شکل ۲).

شستشوی استخرها: استخرهای مورد استفاده هر هفته با کاهش ارتفاع آب استخر واستفاده از هواده ساید چانل بدون وارد آوردن استرس به ماهی مورد شتشو قرار گرفت.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]



شکل ۲: آماده‌سازی جیره‌های آزمایشی

Figure 2: Preparation of experimental diets

زیست‌سنجی ماهیان: برای ارزیابی فاکتورهای رشد، در روزهای صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵، هر تیمار زیست‌سنجی شد. از هر تکرارِ تیمارها، ده ماهی به‌طور تصادفی انتخاب و با محلول پودر گل میخک بی‌هوش شدند. طول و وزن ماهی‌ها اندازه‌گیری و شاخص‌های رشد مانند درصد افزایش وزن، ضریب رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی، شاخص کبدی و احشایی، ضریب چاقی، کارایی غذایی و نسبت کارایی پروتئین محاسبه شد (۲۲).

(افزایش وزن (گرم) / غذای خورده شده (گرم)) = ضریب تبدیل غذایی

۱۰۰ × (وزن اولیه (گرم) / (وزن اولیه ــ وزن ثانویه)) = درصد افزایش وزن

۱۰۰× ((زمان اولیه (گرم) – زمان ثانویه (گرم)) / (وزن اولیه Ln - وزن ثانویه Ln)) = ضریب رشد ویژه

(وزن کبد ماهی (گرم) ÷ وزن ماهی (گرم)) ×۱۰۰ = شاخص‌های کبدی

(وزن بدن (گرم) ÷ طول کل بدن^3) × ۱۰۰ = ضریب چاقی

(افزایش وزن (گرم) ÷ غذای مصرف شده (گرم)) ×۱۰۰ = کارایی غذایی

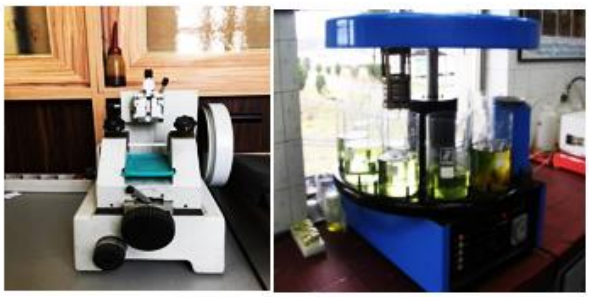
پروتئین مصرف شده (گرم) / وزن بدست آمده (گرم) = نسبت کارایی پروتئین

سنجش فعالیت‌های آنزیمی: برای بررسی فعالیت آنزیم‌های گوارشی، در پایان دوره پرورشی در روز ۷۵ نمونه‌برداری انجام شد. غذادهی ۲۴ ساعت قبل از نمونه‌برداری قطع و از هر استخر سه ماهی به‌طور تصادفی انتخاب شدند. ماهی‌ها با پودر گل میخک بی‌هوش و پس از ثبت طول و وزن، کشته شدند. روده باریک ماهیان پس از جدا کردن چربی‌های زاید، توزین و کدگذاری شده و برای سنجش به فریزر ۷۰- درجه منتقل شد (۲۳).

تهیه عصاره آنزیمی و سنجش فعالیت آنزیم‌های گوارشی: برای اندازه‌گیری آنزیم‌های گوارشی (پروتئاز کل، آمیلاز و لیپاز) در ماهیان پرورشی، یک گرم بافت با ۹ میلی‌لیتر بافر خاص هموژن شد و سپس هموژنات به‌مدت ۳۰ ثانیه سانتریفیوژ شد. سوپرناتانت در ویال‌های اپندورف تقسیم و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد. برای تعیین میزان پروتئین از کیت BIONIK و برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها از کیت‌های API-ZYM، DIALAB و BIONIK استفاده شد (۲۴).

بافت‌شناسی روده ماهیان: در پایان دوره پرورش، از هر تیمار ۹ قطعه ماهی به‌طور تصادفی انتخاب و نمونه‌های روده باریک آن‌ها در فرمالین ۱۰ درصد فیکس شدند و سپس در اتانول ۷۰ درصد نگه‌داری شدند. نمونه‌ها پس از آبگیری با الکل، در پارافین قالب‌گیری و با گزیلین شفاف‌سازی شدند. برش‌های عرضی نمونه‌ها با میکروتوم انجام و با ائوزین-هماتوکسیلین رنگ‌آمیزی شدند (شکل ۳ الف و ب). طول پرزهای روده، ضخامت لایه عضلانی و تعداد سلول‌های جامی شکل با میکروسکوپ نوری اندازه‌گیری شد. تمامی مراحل در انیستیتو تحقیقاتی بین‌المللی ماهیان خاویاری انجام شد (۲۳).

ب الف



شکل ۳: الف: دستگاه عمل آوری بافت (مراحل شستشو، آبگیری و شفاف سازی بافت‌ها) ب: دستگاه میکروتوم (Leitz, 1512) جهت تهیه اسلایدهای بافتی

Figure 3: A: Tissue processing device (steps of washing, dehydration and clarification of tissues) B: Microtome device (Leitz, 1512) for preparing tissue slides

تجزیه و تحلیل آماری: این تحقیق در قالب یک طرح آماری کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش و نرمال بودن آن‌ها با معادله توزیع نرمال بررسی شد. تمام داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) ارزیابی شدند و در صورت معنی‌دار بودن اختلافات ($P<0/05$)، از آزمون Duncan برای مقایسه میانگین‌ها استفاده می‌شود. تمامی تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS 20 انجام می‌شود.

نتایج

فاکتور کیفی آب: منبع آب این مطالعه چاه بود و فاکتورهای کیفی آب برای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مناسب بودند. برای اطمینان بیشتر، این فاکتورها هر دو هفته یک‌بار اندازه‌گیری شدند (جدول ۲).

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

جدول۲: میزان شاخص‌های کیفی آب

Table 2: Water quality indicators

Indicator	Rate
Oxygen	10.3 mg/L
Temperature	14°C
Salinity	0.5 mg/L
pH	7.6

شاخص‌های رشد: اثرات استفاده از مخمر اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای بر شاخص‌های رشد و تغذیه ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان پس از ۱۰ هفته تغذیه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: مقایسه میانگین شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه‌ای ماهیان در گروه‌های مختلف آزمایشی

Table 2: Comparison of average growth indices and feeding efficiency of fish in different experimental groups

Factors/Treatments	Treatment 1 (control)	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
Initial weight (grams)	15.96 ± 2.15	15.92 ± 2.21	16.11 ± 1.82	15.88 ± 1.78
Final weight (grams)	92.93 ± 3.15 ^{c}	90.25 ± 1.72 ^{c}	100.1 2.08 ^{b}	120.9 ± 5.25 ^{a}
Fish length (cm)	20.52 ± 1.25 ^{c}	20.27 ± 0.10 ^{c}	21.05 ± 0.05 ^{b}	22.64 ± 1.31 ^{a}
Weight gain (grams)	76.97 ± 3.15 ^{c}	74.29 ± 1.72 ^{c}	84.20 ± 2.09 ^{b}	104.9 ± 5.25 ^{a}
Specific growth rate (% per day)	2.34 ± 0.41 ^{c}	2.31 ± 0.03 ^{c}	2.44 ± 0.02 ^{b}	2.70 ± 0.05 ^{a}
Feed conversion ratio	1.19 ± 0.02 ^{a}	1.23 ± 0.01 ^{a}	1.13 ± 0.02 ^{b}	0.97 ± 0.02 ^{c}
Fatness ratio	1.07 ± 0.01	1.07 ± 0.02	1.07 ± 0.01	1.04 ± 0.06
Liver index (%)	1.34 ± 0.05 ^{c}	1.30 ± 0.02 ^{c}	1.44 ± 0.03 ^{b}	1.65 ± 0.07 ^{a}
Feed efficiency (%)	83.5 ± 1.85 ^{c}	81.1 ± 0.78 ^{c}	87.9 ± 1.53 ^{b}	98.7 ± 2.77 ^{a}
Protein efficiency ratio	1.94±0.04 ^{c}	1.89±0.01 ^{c}	2.04 ± 0.04 ^{b}	2.19 ± 0.06 ^{a}
Survival (%)	100	100	100	100

*Different letters in each row indicate a significant difference between the means of the data (P < 0.05).
*Data are expressed as (standard deviation ± mean).
*Treatment 1 (control), Treatment 2 (diet containing 2% autolyzed yeast), Treatment 3 (diet containing 1% button mushroom powder) and Treatment 4 (diet containing 2% autolyzed yeast + 1% button mushroom powder).

نتایج این مطالعه نشان‌داد که بهترین عملکرد رشد (وزن نهایی، طول ماهیان و میزان افزایش وزن) در تیمار ۴ با مخمر اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان رشد در تیمارهای شاهد و جیره حاوی ۲٪ مخمر اتولیز شده دیده شد. هم‌چنین، تیمار ۳ با جیره حاوی ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای نسبت به گروه شاهد رشد معنی‌داری بالاتری داشت اما نسبت به تیمارهای ۲ و ۴ رشد کم‌تری نشان داد (P<۰/۰۵).

فعالیت آنزیم‌های گوارشی روده: اثرات استفاده از مخمر اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای بر میزان فعالیت آنزیم‌های گوارشی در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پس از ۱۰ هفته تغذیه در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج مطالعه نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم پروتئاز در تیمار ۴ (تغذیه با ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای و مخمر اتولیزشده) مشاهده‌شدکه با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵) و کم‌ترین میزان در تیمار ۲ (جیره حاوی مخمر اتولیز شده) بود که با گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (P<۰/۰۵). فعالیت آنزیم پروتئاز در تیمار ۳ (جیره حاوی ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای) نیز به‌طور معنی‌داری کم‌تر از تیمار ۴ بود (P<۰/۰۵). اما با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (P<۰/۰۵).

جدول ۳: نتایج میزان فعالیت آنزیم‌های گوارشی روده باریک ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان

Digestive enzymes Umg/protein	Treatment 1 (control)	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
Alkaline protease	6.67±0.16 ^{bc}	6.32±0.39 ^{c}	6.92±0.16 ^{b}	7.51±0.33 ^{a}
Lipase	2.86±0.11 ^{bc}	2.50±0.10 ^{c}	2.90±0.16 ^{ab}	3.10±0.18 ^{a}
α-amylase	29.90±0.55 ^{b}	29.13±0.83 ^{b}	31.33±1.79 ^{b}	38.93±4.24 ^{a}

* Different letters in each row indicate a significant difference between the mean data (P<0.05).
* Data are expressed as (mean ± SD).
* Treatment 1 (control), Treatment 2 (diet containing 2% autolyzed yeast), Treatment 3 (diet containing 1% button mushroom powder) and Treatment 4 (diet containing 2% autolyzed yeast + 1% button mushroom powder).

هیستومورفولوژی روده: نتایج نشان داد که بیش‌ترین طول پرز روده در تیمار ۴ (تغذیه با مخمر اتولیزشده‌و پودرقارچ دکمه‌ای) مشاهده‌شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵)، ولی بین تیمارهای ۱، ۲ و ۳ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴، شکل ۴). هم چنین، در ضخامت لایه موکوسی روده بین گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P<۰/۰۵).

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

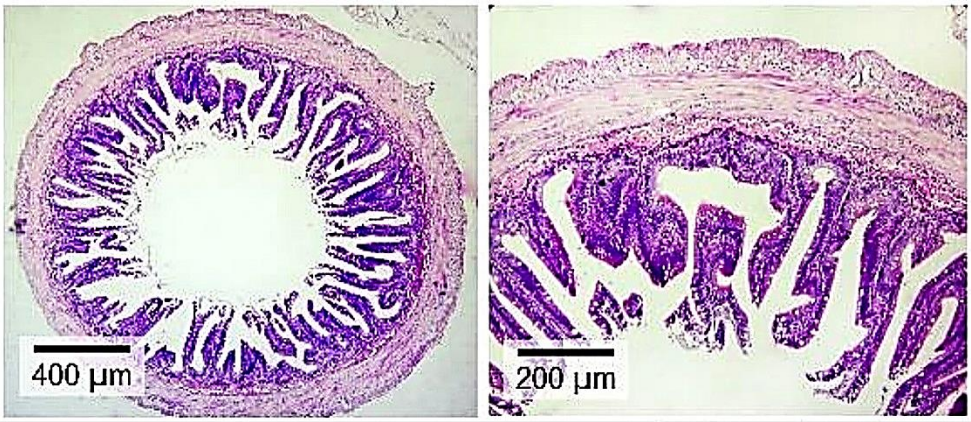
[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

جدول ۴: نتایج شاخص‌های مورفومتری روده ماهیان تغذیه شده با جیره‌های مختلف آزمایشی

Table 4: Results of intestinal morphometric indices of fish fed different experimental diets

Factors/Treatments	Treatment 1 (control)	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
Villi length (µm)	329.8±8.45 ^{b}	346.2±11.4 ^{ab}	334.7±5.12 ^{b}	371.1±7.63 ^{a}
Mucosa thickness (µm)	86.29±10.2	94.43±5.57	88.92±7.38	95.61±9.46
Number of goblet cells (mm2)	123±11 ^{b}	132±7 ^{b}	129±6 ^{b}	146±5 ^{a}

* Different letters in each row indicate a significant difference between the mean data (P<0.05).
* Data are expressed as (mean ± SD).
* Treatment 1 (control), Treatment 2 (diet containing 2% autolyzed yeast), Treatment 3 (diet containing 1% button mushroom powder) and Treatment 4 (diet containing 2% autolyzed yeast + 1% button mushroom powder).



شکل ۴: تصویر مقطع بافت‌شناسی روده ماهیان تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی

Figure 4: Histological cross-section of the intestine of fish fed experimental diets

نتایج نشان داد که تعداد سلول‌های جامی شکل در تیمارهای ۲ و ۳ با گروه‌شاهد اختلاف‌معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). بیش‌ترین تعداد سلول‌های جامی شکل در تیمار ۴ مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری از سایر گروه‌های آزمایشی بیش‌تر بود (P<۰/۰۵).

بحث

با رشد سریع صنعت‌آبزی‌پروری، یافتن‌منابع پروتئین جایگزین برای پودر ماهی ضروری است (۲۵). منابع گیاهی مانند کنجاله و کنسانتره سویا به دلیل مشکلاتی مانند عدم تعادل اسید آمینه و فاکتورهای ضدتغذیه‌ای، جایگزین مناسبی برای ماهیان گوشت‌خوار نیستند. پروتئین‌های تک سلولی مانند ریزجلبک‌ها، باکتری‌ها و مخمرها به‌عنوان جایگزین‌های بالقوه مطرح شده‌اند. مخمر، به‌ویژه *Saccharomyces cerevisiae*، به دلیل قابلیت تبدیل زیست‌توده به موادغذایی با ارزش، جایگزین‌مناسبی است (۸). مخمرها‌حاوی‌اجزای فعال زیستی هستند که می‌توانند به‌عنوان اجزای عملکردی عمل کنند. از دهه ۱۹۹۰، مخمر به‌عنوان منبع نیتروژن در خوراک آبزی‌پروری استفاده می‌شود و توسعه فن‌آوری‌های جدید برای تولید آن در حال افزایش است. شواهد نشان می‌دهد مخمر و اجزای دیواره سلولی آن می‌توانند سیستم ایمنی ماهی را تحریک کنند، هر چند این اثرات بسته به سویه و فناوری پردازش متفاوت است (۲۶). هیدرولیز پروتئین‌ها به روش‌های شیمیایی، آنزیمی یا میکروبی پپتیدهای باکیفیت تولید می‌کند (۲۷). مخمر اتولیز شده با تخریب دیواره سلولی، زیست‌فراهمی مواد مغذی را افزایش داده و به‌عنوان منبع نیتروژن‌مناسب برای‌جایگزینی‌پودرماهی در آبزیان‌گوشت‌خوار استفاده می‌شود (۲۲). مطالعات نشان داده‌اند که پروتئین مخمر *S. cerevisiae* می‌تواند تا ۵۰ درصد جایگزین پروتئین پودر ماهی شود و گنجاندن ۳۰ درصد مخمر آبجو کارایی خوراک را بهبود می‌بخشد (۲۸). برای بهبود قابلیت هضم پروتئین مخمری، از استراتژی‌هایی مانند اختلال مکانیکی، اتولیز و درمان آنزیمی استفاده شده است (۱۱). ماهیان می‌توانند به‌دلیل فعالیت مؤثر اوریکاز کبدی، سطوح بالای اسیدهای نوکلئیک را تحمل کنند (۲۹). مخمرهای غیرفعال، علاوه بر تحریک سیستم ایمنی، خواص پربیوتیکی دارند و به افزایش باکتری‌های مفید و مهار باکتری‌های بیماری‌زا کمک می‌کنند. با این حال، تاثیر مخمر اتولیز شده بر جوامع میکروبی روده ماهی هنوز به خوبی بررسی نشده است (۳۰). در سال‌های اخیر، توجه زیادی به استفاده از مخمر و مشتقات آن به‌عنوان مکمل پروبیوتیکی و پربیوتیکی در آبزی‌پروری شده است. این توجه به‌دلیل تأثیرات مثبت مخمر در بهبود فلور میکروبی روده و شاخص‌های رشد گونه‌های مختلف ماهی بوده است. مطالعه فعلی نشان داد که این ترکیب به‌طور معنی‌داری

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه‌ای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را بهبود می‌بخشد که اثر هم‌افزایی بین این پربیوتیک‌ها را نشان می‌دهد. Eslamifar و همکاران در مطالعه خود روی تأثیر مکمل غذایی ®Levabon بر کارایی رشد و بیان ژن‌های مرتبط با رشد، ایمنی و آنتی‌اکسیدان در کپور معمولی نشان دادند که مکمل ®Levabon موجب افزایش بیان ژن‌های مرتبط با رشد، سیستم ایمنی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد و بهبود قابل توجهی در کارایی رشد و شاخص‌های رشد (وزن و طول) ایجاد کرد (۳۱). Barnes و همکاران، بیان کردند که اسیدهای آمینه موجود در مخمر *Saccharomyces cerevisiae* به‌عنوان جاذب غذایی عمل کرده و خوش‌خورایی غذا را افزایش می‌دهند، که می‌تواند به رشد بهتر ماهیان از طریق افزایش مصرف خوراک و ذخیره‌سازی چربی کمک کند (۳۲). مطالعه Sonmez نشان داد که استفاده از ۲ درصد مخمر نانوایی اتولیز شده در جیره ماهی قزل‌آلا باعث بهبود شاخص‌های رشدی بدون تأثیرات منفی بر ترکیب شیمیایی لاشه و بافت‌شناسی کبد می‌شود (۳۳). مطالعه Yuan و همکاران، نشان داد که افزودن ۳۰ گرم در کیلوگرم مخمر هیدرولیز شده به جیره ماهی کپور، منجر به بهبود ۲۱ و ۲۴ درصدی شاخص‌های وزن نهایی و افزایش وزن شد (۳۴). Guven و Yalcin نیز نشان دادند که استفاده از مکمل اتولیز شده مخمر به‌مدت هشت هفته باعث بهبود وزن نهایی، ضریب تبدیل غذایی و نرخ رشد ویژه در ماهیان قزل‌آلا گردید (۳۵). Abdel-Tawwab و همکاران، نیز اظهار داشتند که خوراک‌های مکمل‌شده با مخمرها به دلیل افزایش قابلیت هضم مواد مغذی، رشد ماهیان را بهبود می‌بخشند (۳۶). مطالعه Eleraky و همکاران، نشان داد که تغذیه با پربیوتیک‌های حاوی مانان الیگوساکارید و β-گلوکان به‌طور قابل توجهی شاخص‌های وزن بدن، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، مصرف خوراک و ضریب تبدیل غذایی بچه ماهیان کپور معمولی را بهبود می‌دهد (۳۷). Fronte و همکاران، نشان دادند که جایگزینی پودر ماهی با مخمر اتولیز شده و پودر ماهی هیدرولیز شده در جیره غذایی ماهی باس‌دریایی، تراکم سلول‌های جامی و سطح جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد (۳۸). Adeoye و همکاران، نیز گزارش کردند که مخمر اتولیز شده در جیره گربه‌ماهی آفریقایی، عملکرد رشد و مورفولوژی روده را بهبود می‌بخشد، بدون تأثیر منفی بر عملکرد کبد و با کاهش استرس‌های محیطی (۳۹). این نتایج نشان می‌دهد که مخمر اتولیز شده، با بهبود مورفولوژی روده و افزایش قابلیت جذب مواد مغذی، عملکرد رشد و سلامت عمومی ماهیان را ارتقا می‌بخشد و این نتایج با مطالعات پیشین هم‌خوانی دارد. تحقیقات متعددی به تأثیر مکمل‌های پربیوتیکی بر رشد آبزیان پرداخته‌اند، اما مطالعات کمی به شاخص‌های بافت شناسی روده، مانند اندازه و قطر ویلی‌ها (پرز) که نشان‌دهنده وضعیت فیزیولوژیک روده هستند، توجه داشته‌اند. افزایش اندازه و طول ویلی‌ها نشان‌دهنده بهبود سطح جذب و کارایی غذایی است. در ماهی باس اروپایی، افزودن مانان الیگوساکارید به جیره غذایی، تعداد سلول‌های جامی شکل روده و تولید مخاط را افزایش می‌دهد و بهبود شاخص‌های رشد و ایمنی را به همراه دارد. استفاده هم‌زمان از مخمر اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای در جیره ماهی قزل‌آلا، به طور قابل توجهی طول پرز و تعداد سلول‌های جامی شکل روده را افزایش داده است. این اثرات به ترکیباتی مانند بتا گلوکان‌ها، مانان الیگوساکاریدها و نوکلئوتیدهای موجود در مخمر اتولیز شده نسبت داده می‌شود. بررسی‌ها نشان داده‌اند که مصرف مخمر اتولیز شده در جیره گربه ماهیان آفریقایی، باعث افزایش فراوانی لکوسیت‌ها و سلول‌های جامی شکل در روده شده و این تغییرات ممکن است عملکرد فیزیولوژیکی روده را بهبود بخشد. هم‌چنین، مکمل غذایی مخمر آبجو می‌تواند به‌عنوان محرک رشد در شرایط خاصی مانند عفونت‌های مزمن عمل کند (۴۰). مانان‌الیگوساکارید موجود در مکمل می‌تواند باعث بهبود هضم و سلامت روده و رشد مثبت باکتری‌های مفید و کاهش باکتری *E.coli* شود (۴۱). هم‌چنین Mohammad و همکاران، نشان دادند که رابطه خطی بین سطح مخمر در جیره و عملکرد رشد در بچه‌ماهیان تیلاپیای نیل وجود دارد (۴۲). مطالعه حاضر که به‌مدت ۱۰ هفته ادامه یافت، نشان داد عدم استفاده از مخمر اتولیز شده در جیره غذایی ماهیان به مرگ و میر آن‌ها مرتبط نیست. نتایج این مطالعه با تحقیق Hisano و همکاران، که استفاده از مکمل مخمر تأثیری بر بقا نداشت، هم‌خوانی دارد (۴۱). هم‌چنین نتایج مطالعه Hoseinifar و همکاران، نشان داد که افزودن ۳٪ فروکتوالیگوساکارید به جیره غذایی فیل‌ماهیان باعث افزایش بازماندگی شد، اما تأثیری بر پارامترهای رشد نداشت (۴۳). اما، Eleraky و همکاران، گزارش کردند که پربیوتیک‌ها می‌توانند به‌طور قابل توجهی میزان بقا را در ماهیان کپور معمولی بهبود بخشند (۴۴). هم‌چنین، مطالعه Adeoye و همکاران، نشان داد که مخمر اتولیز شده تعداد سلول‌های جامی ترشح‌کننده مخاط در روده گربه ماهی آفریقایی را افزایش می‌دهد (۳۹). Zhou و همکاران، نیز افزودن پلی‌ساکاریدهای مخمری به جیره گربه‌ماهی کانالی را موجب افزایش تعداد سلول‌های جامی و چین‌های روده‌ای دانستند (۴۵). این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از مخمر اتولیز شده و پلی ساکاریدهای مخمری می‌تواند بهبود مورفولوژی روده و ترشح مخاط در ماهیان را تحت شرایط خاصی افزایش دهد. در مطالعه Rimoldi و همکاران، جایگزینی پودر ماهی با مخمر اتولیز شده در جیره ماهی باس‌دریایی تنوع باکتریایی روده را کاهش داد اما باکتری‌های مفید مانند Prevotellaceae، Bacillaceae و Veillonellaceae را افزایش داد (۴۶). Zhou و همکاران،

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

نیز نشان دادند که مخمر آبجو هیدرولیز شده در جیره غذایی ماهیان تأثیر مثبتی بر تنوع و جمعیت باکتریایی روده دارد و باعث بهبود سلامت روده آن‌ها می‌شود (۳۰). قارچ‌های خوراکی،منابع غنی از پلی‌ساکاریدهای مفید، فیبرها، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها هستند. قارچ دکمه‌ای سفید به‌دلیل ترکیبات زیستی متنوع، در پزشکی و تغذیه آبزیان استفاده می‌شود. پلی‌ساکاریدهای قارچ باعث افزایش باکتری‌های مفید اسیدلاکتیک در روده و بهبود جذب مواد معدنی می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که افزودن قارچ به جیره ماهیان مانند کپور، تیلاپیا و گربه‌ماهی باعث بهبود رشد و کارایی تغذیه‌ای می‌شود. Muin (۴۷) و Harikrishnan (۴۸) عدم تأثیر مثبت قارچ بر رشد ماهیان را گزارش کردند، اما برخی مطالعات نشان دادند که قارچ دکمه‌ای و صدفی می‌توانند ایمنی و عملکرد رشد ماهیان را بهبود بخشند. پژوهش‌ها هم چنین نشان دادند که قارچ دکمه‌ای باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی و تقویت سیستم ایمنی ماهیان می‌شود. قارچ‌ها با تغییر تعادل میکروبیوتای روده و افزایش باکتری‌های مفید، به بهبود پاسخ ایمنی کمک می‌کنند و در مقابله با عوامل بیماری‌زا مؤثر هستند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزودن جداگانه ۲٪ مخمر اتولیز شده یا ۱٪ پودر قارچ دکمه‌ای به جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه‌ای، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و مورفولوژی روده ایجاد نکرد. با این‌حال، ترکیب این دو مکمل پربیوتیکی به‌طور قابل توجهی موجب بهبود شاخص‌های مذکور شد. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب مخمر اتولیز شده و پودر قارچ دکمه‌ای می‌تواند به عنوان یک مکمل پربیوتیکی مؤثر برای بهبود رشد و سلامت ماهیان مورد استفاده قرار گیرد. بهبود فعالیت آنزیم‌های گوارشی و ساختار مورفولوژیک روده نشان‌دهنده بهبود هضم و جذب مواد مغذی است که در نهایت به افزایش کارایی تغذیه‌ای و رشد بهتر ماهیان منجر می‌شود. بر این اساس، استفاده از این ترکیب در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان برای بهینه‌سازی شرایط پرورش و ارتقاء سلامت عمومی ماهیان توصیه می‌شود.

منابع

1. **Dawood, M.A.O. and Koshio, S., 2016.** Recent advances in the role of probiotics and prebiotics in carp aquaculture: A review. *Aquaculture*. 454: 243-251. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.033
2. **Karimzadeh, S., Yansari, A.T. and Karimzadeh, Q., 2009.** Benefits and application of probiotics in livestock, poultry and aquatic animal nutrition. Avay Masih Publications. 117-156. (In Persian)
3. **Mahious, A. and Ollevier, F., 2005.** Probiotics and Prebiotics in Aquaculture. 1st Regional Workshop on Techniques for Enrichment of Live Food for Use in Larviculture-2005, AAARC, Urmia, Iran. 67 p.
4. **Li, P. and Gatlin, D.M., 2004.** Dietary brewer's yeast and perbiotic GroBiotic™ AE influence growth performance, immune responses and resistance of hybrid Striped bass (*Moron crypsos* × *M. saxatilis*) to *Sterptococcus iniae* infection. *Aquaculture*. 231: 445-456. doi: 10.1016/j.aquaculture.2003.08.021
5. **Klis, F.M., Mol, P., Hellingwerf, K. and Brul, S., 2002.** Dynamics of cell wall structure in Saccharomyces cerevisiae. FEMS Microbiology Reviews. 26(3): 239-247. doi: 10.1111/j.1574-6976.2002.tb00613.x
6. **Hagler, A.N. and Ahearn, D.G., 1987.** Ecology of Aquatic Yeasts. Eds Ros, A.H. and Hamilton, J.S., Acadomic, London. 1: 181-250.
7. **Phaff, H.J. and Starmer, W.T., 1987.** Yeasts Associated with Plants, Insect and Soil. 123-180.
8. **Navarrete, P. and Tovar-Ramrez, D., 2014.** Use of yeasts as probiotics in fish aquaculture. In: *Sustain Aquac Tech*. 5: 11-16. doi: 10.5772/57196
9. **Øverland, M. and Skrede, A., 2016.** Yeast derived from lignocellulosic biomass as a sustainable feed resource for use in aquaculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97(3): 33-42. doi: 10.1002/jsfa.8007
10. **Ferreira, I.M.P.L.V.O., Pinho, O., Vieira, E. and Tavarela, J.G., 2010.** Brewer's Saccharomyces yeast biomass: Characteristics and potential applications. *Trends in Food Science and Technology*. 21: 77-84. http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.008
11. **Shurson, G.C., 2018.** Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal Feed Science and Technology*. 235: 60-76. https ://doi.org/10. 1016/j.anife edsci.2017.11.010.
12. **Gong, Y., Yang, F., Hu, J., Liu, C., Liu, H. and Han, D., 2019.** Effects of dietary yeast hydrolysate on the growth, antioxidant response, immune response and disease resistance of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Fish Shellfish Immunol*. 94: 48-57. doi: 10. 1016/j.fsi.2019.09.044
13. **Mohan, K., Karthick Rajan, D., Muralisankar, T., Ramu Ganesan, A., Marimuthu, K. and Sathishkumar, P., 2022.** The potential role of medicinal mushrooms as prebiotics in aquaculture: A review. *Reviews in Aquaculture*. 14(3): 1300-1333. doi: 10.1111/ raq.12651
14. **Van Doan, H., Doolgindachbaporn, S. and Suksri, A., 2016.** Effects of Eryngii mushroom (*Pleurotus eryngii*) and *Lactobacillus plantarum* on growth performance, immunity and disease resistance of Pangasius catfish (*Pangasius bocourti*, Sauvage 1880). *Fish Physiology Biochemistry.* 42(5): 1427-1440. doi: 10.1007/s10695-01 6-0230-6
15. **Liu, J., Wu, Y.C., Kan, J., Wang, Y. and Jin, C.H., 2013.** Changes in reactive oxygen species production and antioxidant enzyme activity of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 93(9): 2201-2206. doi: 10.1002/jsfa.6027
16. **Harikrishnan, R., Balasundaram, C. and Heo, M.S., 2011.** Diet enriched with mushroom *Phellinus linteus* extract enhances the growth, innate immune response, and disease resistance of kelp grouper, *Epinephelus bruneus* against vibriosis. *Fish & Shellfish Immunology*. 30(1): 128-134. doi: 10.1016/j.fsi.2010.09.013

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

juveniles. *Aquaculture*. 202(3-4): 269-278. doi: 10.1016/S0044-8486(01)00777-3

30. **Zhou, M., Liang, R., Mo, J., Yang, S., Gu, N.A., Wu, Z. and Lin, L.I., 2018.** Effects of brewer's yeast hydrolysate on the growth performance and the intestinal bacterial diversity of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture*. 484: 139-144. https://doi.org/10.1016/j. aquaculture.2017.

31. **Eslamifar, A., Paknejad, H., Sudagar, M., Hoseinifar, S.H. and Shabani, A., 2024.** The effect of Levabon®diet supplement on growth efficiency and growth, immune and antioxidant related genes expression in common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*. 13(1): 127-139. doi: 10.22069/japu.2024.20392.1693 (In Persian)

32. **Fournier, V., Gouillou-Coustans, M.F., Metailler, R., Vachot, C., Moriceau, J., Le Delliou, H., Huelvan, C., Desbruyeres, E. and Kaushik, S.J., 2002.** Nitrogen utilization and ureogenesis as affected by dietary nucleic acid in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). *Fish Physiol. Biochem*. 26: 177-188. doi: 10.1023/A:1025465603604.

33. **Sonmez, A.Y., 2017.** Evaluating two different additive levels of fully autolyzed yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth performance, liver histology and fatty acid composition. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 17(2): 379-385. doi: 10.4194/1303-2712-v17_2_17

34. **Yuan, X.Y., Liu, W.B., Liang, C., Sun, C.X., Xue, Y.F., Wan, Z.D. and Jiang, G.Z., 2017.** Effects of partial replacement of fish meal by yeast hydrolysate on complement system and stress resistance in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Fish and Shellfish Immunology*. 67: 312-321. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.028.

35. **Guven, A. and Yalcin, S., 2017.** Effects of dietary yeast autolysate on performance, some blood parameters and lysozyme activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 64(3): 177-182. doi: 10.1501/Vetfak_0000002796

36. **Abdel-Tawwab, M., Abdel-Rahman, M.A. and Nahla Ismael, E.M., 2008.** Evaluation of commercial live bakers' yeast, *Saccharomyces cerevisiae* as a growth and immunity promoter for Fry Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) challenged in situ with *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*. 280(1-4): 185-189. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.03.055.

37. **Eleraky, W., Yahya, M. and Rahsa, M.R., 2014.** Evaluation of prebiotic and probiotic dietary supplementation on growth performance and some blood parameters of *Cyprınus carpio* Frys. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 18(2): 29-38. doi: 10.12816/0011074

38. **Fronte, B., Abramo, F., Brambilla, F., De Zoysa, M. and Miragliotta, V., 2019.** Effect of hydrolysed fish protein and autolysed yeast as alternative nitrogen sources on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) growth performances and gut morphology. *Italian Journal of Animal Science*. 18(1): 799-808. doi: 10.1080/1828051X.2019.1581584

39. **Adeoye, A.A., Obasa, S.O., Fawole, F.J., Wan, A.H.L. and Davies, S.J., 2020.** Dietary supplementation of autolysed yeast enhances growth, liver functionality and intestinal morphology in African catfish. *Aquaculture Nutrition*. 00: 1-9. doi: 10.1111/anu.13036.

17. **Kühlwein, H., Merrifield, D.L., Rawling, M.D., Foey, A.D. and Davies, S.J., 2014.** Effects of dietary β- (1,3) (1,6)-D-glucan supplementation on growth performance, intestinal morphology and haemato-immunological profile of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.). *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 98(2): 279-289. doi: 10.1111/jpn.12078

18. **Patel, R.M. and Denning, P.W., 2013.** Therapeutic use of prebiotics, probiotics, and postbiotics to prevent necrotizing enterocolitis: what is the current evidence? *Clinics in Perinatology*. 40(1): 11-25. doi: 10.1016/j.clp.2012.12.002

19. **Passos, R.M.H., 2017.** Effect of Levabon® Aquagrow E on the growth performance and immune response of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) under stress conditions. M.Sc. Thesis, Instituto Politecnico De Leiria. 45 p.

20. **Fornshell, G., 2002.** Rainbow Trout- Challenges and Solutions. *Reviews in Fisheries Science*. 10(10): 545-557. doi: 10.1080/20026491051785

21. **Sevik S., Aktas M., Dogan H. and Kocak S., 2013.** Mushroom drying with solar assisted heat pump system. *Energy Conversion and Management*. 72: 171-178. doi: 10.1016/j.enconman.2012.09.035

22. **Espe, M., Ruohonen, K. and El-Mowafi, A., 2012.** Hydrolysed fish protein concentrate (FPC) reduces viscera mass in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed plant protein-based diets. *Aquaculture Nutrition*. 18(6): 599-609. doi: 10.1111/j.1365-2095.2012.00944.x

23. **Heidarieh, M., Mirvaghefi, A.R., Akbari, M., Farahmand, H., Sheikhzadeh, N., Shahbazfar, A.A. and Behgar, M., 2012.** Effect of dietary Ergosan on growth performance, digestive enzymes, intestinal histology, hematological parameters and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish physiology and biochemistry*. 38(4): 1169-1174. doi: 10.1007/s10695-012-9602-8.

24. **Hoseini, S.M., Pagheh, E., Aghaei Moghaddam, A., Hosseinpour Delavar, F., Hafezieh, M. and Sharifian, M., 2022.** The effect lactic acid supplementation in diet of rainbow trout on growth parameters, activity of digestive enzymes and intestinal bacterial flora. *Journal of Applied Ichthyological Research*. 10(2): 31-40. doi: 10.22034/jair.10.2.31 (In Persian)

25. **Gatlin, D.M., 2002.** Nutrition and fish health. In: Fish Nutrition. (ed. By Halver, J.E. and Hardy, R.W.,). Academic Press, San Diego, CA. 671-702.

26. **Sahlmann, C., Djordjevic, B., Lagos, L., Mydland, L.T., Morales-Lange, B. and Øvrum Hansen, J., 2019.** Yeast as a protein source during smoltification of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), enhances performance and modulates health. *Aquaculture*. 513: 73-96. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734396

27. **Hou, Y., Wu, Z., Dai, Z., Wang, G. and Wu, G., 2017.** Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides & functional significance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 8(1): 24-28. doi: 10.1186/s40104-017-0153-9

28. **Craig, S.R. and McLean, E., 2005.** The organic aquaculture movement: a role for NuProTM as an alternative protein source. In: Nutritional biotechnology in the feed and food industries. Proceedings of Alltech's 21st annual symposium. Lexington: Alltech UK. 285-293.

29. **Oliva-Teles, A. and Gonçalves, P., 2001.** Partial replacement of fishmeal by brewer's yeast (*Saccaromyces cerevisae*) in diets for sea bass (*Dicentrarchus labrax*)

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]

40. **Li, P. and Gatlin, D.M., 2005.** Evaluation of the prebiotic GroBiotic-A and brewer's yeast as dietary supplements for sub-adult hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) challenged in situ with *Mycobacterium marinum*. *Aquaculture*. 248(1): 197-205. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.03.005

41. **Hisano, H., Falcon, D.R. and Barros, M.M., 2008.** Influence of yeast and yeast derivatives on growth performance and survival of juvenile prawn *Macrobrachium amazonicum*. *Ciencia Animal Brasileira*. 9(3): 657-662.

42. **Asadi Rad, M., Zakeri, M., Yavari, V. and Mosavi, S.M., 2012.** Effect of different levels of dietary supplementation of *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance, feed utilization and body biochemical composition of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Journal of the Persian Gulf* (Marine Science). 3(9): 15-24.

43. **Hoseinifar, S.H., Mirvaghefi, A. and Merrifield, D.L., 2011.** The effects of dietary inactive brewer's yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. ellipsoideus on the growth, physiological responses and gut microbiota of juvenile beluga (*Huso huso*). *Aquaculture*. 318: 90–94. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.04.043.

44. **Eleraky, W., Yahya, M., Rasha, M.R. and Eletreby, S., 2014.** Evaluation of prebiotic and probiotic dietary supplementation on growth performance and some blood parameters of *Cyprinus carpio* Frys. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 18(2): 29-38. doi: 10.21608/ejabf.2014.2203

45. **Zhou, Q.C., Buentello, J.A. and Gatlin, D.M., 2010.** Effects of dietary prebiotics on growth performance, immune response and intestinal morphology of red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*. 309(1-4): 253-257. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.003

46. **Rimoldi, S., Gini, E., Koch, J.F.A., Iannini, F., Brambilla, F. and Terova, G., 2020.** Effects of hydrolyzed fish protein and autolyzed yeast as substitutes of fishmeal in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*) diet, on fish intestinal microbiome. *BMC Veterinary Research*. 16(1): 118-126. https://doi.org/10.1186/s12917-020-02335-1.

47. **Muin, H., Taufek, N.M., Abiodun, R.A., Yusuf, H.M. and Razak, S.A., 2015.** Effect of partial and complete replacement of fishmeal with mushroom stalk meal and soy bean meal on growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Sains Malaysiana.* 44(4): 511-516. doi: 10.17576/jsm-2015-4404-05

48. **Harikrishnan, R., Balasundaram, C. and Heo, M.S., 2012.** Effect of Inonotus obliquus enriched diet on hematology, immune response, and disease protection in kelp grouper, *Epinephelus bruneus* against *Vibrio harveyi*. *Aquaculture*. 344-349: 48-53. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.03.010

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/aer.1.2.13]