Journal of Aquaculture Development
Vol. 19, No. 3, 2025, Pages: 36-48
DOI: 10.71901/jad-2025-3-906

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Dietary effect of brown macroalga (*Dictyota dichotoma*) on growth performance and related gene expression (GH and IGF-1) in common carp (*Cyprinus carpio*)

Safari, R.[1*], Hoseinifar, S.H.[1], Shabani, A.[1], Ghafarifarsani, H.[2], Raissy, M.[3], Khaleghi, S.R.[1], Doan, H.V.[4], Yazici, M.[5], Rahbar, M.[1], Nouri, M.[6]

1- Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Department of Animal Science, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, Iran
3- Department of Animal Science and Aquaculture, Faculty of Agriculture, Dalhousie University, Nova Scotia, Canada
4- Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand
5- Department of Animal Sciences, skenderun Technical University, Faculty of Marine Sciences and Technology, Iskenderun, Hatay, Turkey
6- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 10 June 2025 **Accepted: 2 August 2025**

Abstract

Introduction: The present study was conducted to investigate the effects of dietary inclusion of the brown macroalga Dictyota dichotoma on growth performance and the expression of growth-related genes (GH and IGF-1) in common carp (*Cyprinus carpio*). Given the limited scientific evidence regarding the effects of *D. dichotoma* on fish growth and molecular physiology, this research was designed to explore its potential as a functional feed additive to enhance aquaculture performance.

Materials and Methods: A total of 120 juvenile common carp (average weight 22 ± 1 g) were randomly assigned to four dietary treatments: a control (0%) and three diets supplemented with *D. dichotoma* powder at 0.25%, 0.5%, and 1%. The macroalga was collected from the Mediterranean Sea (Iskenderun Bay, Turkey), shade-dried, ground, and incorporated into a commercial basal diet. Fish were fed twice daily at 3% of body weight for 8 weeks under controlled rearing conditions. Growth indices were measured at the beginning and end of the trial. Additionally, at the end of the 8-week feeding trial, expression levels of GH and IGF-1 were analyzed using quantitative real-time PCR on liver and brain tissues, respectively.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

Results and Discussion: The dietary inclusion of *D. dichotoma* significantly improved final weight, weight gain, specific growth rate (SGR) and feed conversion ratio (FCR) compared to the control group ($p<0.05$). The highest weight gain was observed in the 0.5% and 1% treatments, but there were no significant differences in final weight and SGR among the macroalga-treated groups ($p>0.05$). Additionally, FCR was significantly better in all macroalga-containing treatments than in the control group ($p<0.05$), with the best performance observed in the 0.5% and 1% treatments. Survival rate also improved with increasing macroalga dosage and showed a significant difference compared to the control ($p\leq0.05$). Molecular analyses revealed that GH and IGF-1 expression levels were significantly elevated in all treatment groups ($p<0.05$). GH expression peaked in the 1% group, while IGF-1 was upregulated in all algae-fed groups without significant differences among them ($p>0.05$). These findings suggest that *D. dichotoma* may exert its growth-promoting effects through stimulation of the GH–IGF-1 axis.

Conclusion: These findings suggest that the dietary inclusion of brown macroalga, particularly at 0.5% and 1%, can enhance growth performance, feed efficiency, and survival in common carp. Additionally, the supplement may exert its beneficial effects by stimulating growth pathways through the upregulation of growth-related genes.

Keywords: Brown algae, Growth, Gene expression, Common carp

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

* *Corresponding Author: rsafari@gau.ac.ir*

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

DOI: 10.71901/jad-2025-3-906

"مقاله پژوهشی"

اثر خوراکی ماکروجلبک قهوه‌ای (*Dictyota dichoyoma*) بر عملکرد رشد و بیان ژن‌های مرتبط با رشد (GH و IGF-1) در کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

رقیه صفری [۱*]، سید حسین حسینی‌فر [۱]، علی شعبانی [۱]، حامد غفاری فارسانی [۲]، مهدی رییسی [۳]، سیدرضا خالقی [۱]، هن وان دوآن [۴]، متین یاشیزی [۵]، مینا رهبر [۱]، مهدی نوری [۶]

۱-گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲-گروه علوم جانوری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد، شهرکرد، ایران
۳-گروه علوم جانوری و آبزی پروری، دانشگاه دالهوس، نوا سوتیا، کانادا
۴-گروه شیلات، دانشگاه چیانگ مای، چیانگ مای، تایلند
۵-گروه علوم جانوری، دانشگاه اسکندرون، حایات، ترکیه
۶-گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۱۱

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات به‌کارگیری ماکروجلبک قهوه‌ای (*Dictyota dichoyoma*) بر عملکرد رشد و بیان ژن‌های مرتبط با رشد (GH و IGF-1) در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) پایه‌ریزی گردید. بدین منظور آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل سطوح صفر (شاهد)، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد ماکروجلبک قهوه‌ای با ۴ تیمار و ۳ تکرار و به مدت ۸ هفته اجرا گردید، که در آن ۱۲۰ عدد ماهی کپور با میانگین وزن ۱ ± ۲۲ گرم مورد استفاده قرارگرفت. در پایان دوره شاخص‌های رشد، میزان بقا و بیان ژن‌های مرتبط با رشد مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد که استفاده از جیره حاوی مکمل ماکروجلبک قهوه‌ای موجب بهبود معنی‌دار وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی در مقایسه با گروه شاهد شد ($p<0.05$). بیشترین افزایش وزن در تیمارهای ۰/۵ درصد و ۱ درصد ماکروجلبک مشاهده شد. همچنین ضریب تبدیل غذایی در تمام تیمارهای حاوی ماکروجلبک به‌طور معنی‌داری بهتر از گروه شاهد بود ($p<0.05$) و بهترین عملکرد مربوط به تیمارهای ۰/۵ درصد و ۱ درصد بود. درصد بقا نیز با افزایش دوز ماکروجلبک بهبود یافت و تفاوت معنی‌داری با گروه شاهد نشان داد ($p<0.05$). در بررسی بیان ژن‌های رشد، سطوح مختلف ماکروجلبک تأثیر معنی‌داری بر افزایش بیان هورمون رشد (GH) و فاکتور رشد شبه انسولینی-۱ (IGF-1) داشت ($p<0.05$). در بیان IGF-1، گروه‌های دریافت‌کننده ماکروجلبک نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند ($p<0.05$)، اما بین خود این گروه‌ها تفاوتی مشاهده نگردید ($p>0/05$). همچنین، بیان ژن GH در تمام تیمارهای حاوی ماکروجلبک به‌طور معنی‌داری بالاتر از شاهد بود ($p<0.05$) و بیشترین میزان مربوط به تیمار ۱٪ ماکروجلبک بود. یافته‌ها نشان داد که افزودن ماکروجلبک قهوه‌ای به‌ویژه در سطوح ۰/۵ درصد و ۱ درصد به جیره غذایی ماهی کپور معمولی می‌تواند موجب بهبود عملکرد رشد، بازده تغذیه‌ای و بقا شود. همچنین، این مکمل با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با رشد، احتمالاً از طریق تحریک مسیرهای رشد، اثرات مثبت خود را اعمال می‌کند.

کلمات کلیدی: جلبک قهوه‌ای، رشد، بیان ژن، ماهی کپور

* عهده‌دار مکاتبات: rsafari@gau.ac.ir

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

مقدمه

صنعت آبزی‌پروری به‌عنوان یکی از منابع اصلی تأمین غذای بشر، علی‌رغم رشد قابل‌توجه در دهه‌های اخیر، همواره با چالش‌های متعددی مواجه بوده‌است (FAO, 2022). یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، بهینه‌سازی جیره‌های غذایی به‌منظور بهبود شاخص‌های رشد و سلامت ماهیان پرورشی می‌باشد (Niroomand *et al*., 2011). در این راستا، استفاده از افزودنی‌های غذایی به‌ویژه ترکیبات طبیعی، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای ارتقای عملکرد رشد، بازماندگی و کارایی تغذیه‌ای مورد توجه قرارگرفته است (Imanpoor and Roohi, 2015).

در سال‌های اخیر، کاربرد مکمل‌هایی نظیر پروبیوتیک‌ها، پربیوتیک‌ها، سین بیوتیک‌ها، اسیدهای آلی، هورمون‌ها و عصاره‌های جلبکی و گیاهی در جیره غذایی آبزیان گسترش یافته‌است (Ajdari *et al*., 2022; Rahimi *et al*., 2022; Yousuf *et al*., 2023). جلبک‌ها به‌ویژه ماکروجلبک‌های دریایی، به‌دلیل دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال نظیر پلی‌ساکاریدهای ارزشمند (مانند کاراگینان، آگار و اسید آلژینیک)، ویتامین‌ها و مواد معدنی، پتانسیل بالایی در تغذیه آبزیان دارند (Afonso *et al*., 2019; Saleh *et al*., 2020; Tziveleka *et al*., 2021).

جلبک قهوه‌ای *Dictyota dichotoma* از رده Phaeophyceae، راسته Dictyotales و خانواده Dictyotaceae نمونه‌ای از این منابع ارزشمند است. جلبک‌های قهوه‌ای عمدتاً ماکروجلبک‌های دریایی هستند که رنگدانه فوکوگزانتین عامل رنگ قهوه‌ای آن‌ها محسوب می‌شود. این جلبک‌ها علاوه بر ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌هایی مانند لامینارین، حاوی ترکیباتی نظیر مانیتول، ساکارز و گلیسرول هستند که در متابولیسم و رشد آبزیان نقش مؤثری ایفا می‌کنند (Ibraheem *et al*., 2017; Benfares *et al*., 2019; Mekinic *et al*., 2021).

تاکنون ترکیبات زیست‌فعال متعددی با کاربردهای گسترده از جمله خواص ضدمیکروبی، ضدویروسی، ضدقارچی و ضدسرطانی از جلبک‌های پرسلولی شناسایی و استخراج شده‌اند. بسیاری از این متابولیت‌های اولیه و ثانویه قابلیت تبدیل به مواد مؤثره با ارزش برای صنایع دارویی را دارند (Ibraheem *et al*., 2017; Benfares *et al*., 2019; Mekinic *et al*., 2021; Mahmoudi *et al*., 2022; Imran *et al*., 2023). اثرات مثبت جلبک‌ها و مواد استخراج شده از آنها بر رشد و ایمنی ماهیان در مطالعات مختلف از جمله جلبک‌های قهوه‌ای *Sargassum bovianum*، *Polycladia myrica* (Kazemi *et al*., 2018) و *Sargassum cristaefolium* در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) (Sotoudeh *et al*., 2020) و جلبک قهوه‌ای در ماهی گورخری (*Danio rerio*) (Mahmoudi *et al*., 2022) اشاره کرد. با توجه به خلأ پژوهشی موجود در مورد تأثیر ماکروجلبک قهوه‌ای (*D. dichoyoma*) بر شاخص‌های رشد و بیان ژن‌های کلیدی هورمون رشد (GH) و فاکتور رشد شبه انسولینی-۱ (IGF-1) در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، این مطالعه طراحی شد تا نقش این مکمل غذایی را در بهبود عملکرد رشد این گونه با ارزش پرورشی بررسی نماید.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

مواد و روش‌ها

جلبک قهوه‌ای تازه *D. dichotoma* در فاصله زمانی ماه‌های مه تا ژوئن ۲۰۱۹، از طریق غواصی آزاد در عمق صفر تا ۲۰ متر از خلیج اسکندرون واقع در ساحل دریای مدیترانه کشور ترکیه جمع‌آوری شد. پس از جمع‌آوری، جلبک‌ها از موجودات اپیفیتیک و مواد جانبی مانند شن و گل جدا شدند که این فرآیند مطابق روش ارائه شده توسط Sayin و همکاران (۲۰۲۰) انجام گردید. نمونه‌های تمیز شده در مکانی سایه‌دار و دور از نور مستقیم خورشید خشک شدند. شناسایی گونه جلبک قهوه‌ای *D. dichotoma* در آزمایشگاه بیوتکنولوژی جلبک‌ها در دانشگاه فنی اسکندرون ترکیه با استفاده از میکروسکوپ نوری معکوس استریو مدل Olympus Ckx41sf صورت گرفت. پس از خشک شدن، نمونه‌های جلبکی با استفاده از هموژنیزر به طور کامل آسیاب شدند و سپس از الک ۰/۲ میلی‌متری عبور داده شدند. نمونه‌های آسیاب شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان استفاده برای افزودن به جیره نگهداری شدند.

آنالیزهای بیوشیمیایی خوراک پایه تجاری بیومار شامل ۹۳/۶ درصد ماده خشک ، ۳۸/۹ درصد پروتئین خام، ۱۵ درصد چربی خام و ۱۱ درصد خاکستر بود. جیره‌های آزمایشی با افزودن پودر جلبک آسیاب شده به صورت اسپری در مقادیر صفر (جیره پایه)، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد به خوراک پایه تهیه شدند و سپس ژلاتین ۲٪ روی آنها اسپری گردید. پلیت‌ها پس از خشک شدن در معرض هوا، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و در بسته‌بندی‌های پوشیده تا زمان انجام آزمایش نگهداری شدند. این روش مطابق با مطالعه پیشین Aski و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد.

تیماربندی و شرایط پرورش

تعداد ۱۲۰ عدد ماهی کپور با میانگین وزن ۱± ۲۲ گرم از کارگاه تکثیر و پرورش خصوصی استان گلستان تهیه و به سالن آبزی پروری شهید ناصر فضلی برآبادی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شد. ماهیان به‌مدت دو هفته برای سازگاری با شرایط آزمایش نگهداری شدند و در این مدت، دوبار در روز با جیره تجاری بیومار تغذیه شدند. سپس بچه ماهیان به طور تصادفی در ۱۲ تانک فایبرگلاس ۴۰۰ لیتری با حجم آبگیری ۱۰۰ لیتر به تعداد ۱۰ ماهی در هر تانک و در ۴ گروه تیمار با ۳ تکرار تقسیم شدند. در طول دوره آزمایش، ماهیان روزی دو بار و هر بار به میزان ۳ درصد وزن بدن به مدت ۸ هفته با سطوح مورد بررسی به‌صورت روزانه تغذیه شدند. پارامترهای کیفی آب شامل اکسیژن محلول، دما و pH به طور منظم اندازه‌گیری و در سطح بهینه برای ماهی کپور حفظ شدند (اکسیژن محلول ۰/۴۵ ± ۶/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر، دما ۱/۱۹ ± ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۰/۶۹ ± ۷/۴۲). همچنین دوره نوری به صورت ۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی تنظیم گردید.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشد و بازماندگی

در ابتدا و پایان دوره ۸ هفته‌ای، همه ماهیان در هر تکرار به وسیله ترازو دیجیتالی وزن شدند و میزان افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذا با استفاده از فرمول‌های زیر به‌عنوان شاخص‌های عملکرد رشد محاسبه شدند:

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

وزن اولیه (گرم) – وزن نهایی (گرم)) = افزایش وزن (گرم)

۱۰۰× [طول دوره‌ی آزمایش÷ (لگاریتم طبیعی وزن اولیه – لگاریتم طبیعی وزن نهایی)] = نرخ رشد ویژه

۱۰۰× [میزان افزایش وزن (گرم) ÷ میزان غذای مصرف شده (گرم)] = ضریب تبدیل غذا

۱۰۰× [تعداد ماهیان ابتدای دوره ÷ تعداد ماهیان باقی مانده در انتهای دوره] = درصد بقا

بیان ژن‌های رشد

در پایان دوره آزمایش، از بافت کبد (IGF-1) و مغز (GH) ۹ عدد ماهی از هر گروه آزمایشی (۳ عدد ماهی از هر تکرار) نمونه‌برداری انجام و بلافاصله در ازت مایع قرار داده شد. سپس تا شروع آزمایش به فریزر ۸۰- منتقل شد. RNA کل از ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه بافت کبد (جهت مطالعه ژن رشد) و مغز (ژن مرتبط با فاکتور رشد شبه انسولینی) هموژن شده با ازت مایع با استفاده از کیت زیست فن آزما و طبق دستورالعمل شرکت سازنده استخراج شد. کیفیت RNA کل با استفاده از الکتروفورز روی ژل آگارز ۱/۵ درصد و فقدان آلودگی DNA ژنومی با استفاده از نسبت جذب در طول موج (۲۶۰ به ۲۸۰) نانومتر به‌دست آمده از دستگاه نانوفتومتر (IMPLEN-P100) انجام گرفت. ساخت رشته اول cDNA بر اساس کیت سنتز cDNA iScript (شرکت Bio-Rad) و روش پیشنهادی شرکت انجام شد. cDNA های سنتز شده و تا شروع آزمایش‌ها در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. واکنش qPCR بعد از بهینه‌سازی دما و مواد مصرفی، در حجم نهایی ۲۰ میکرولیتر با استفاده از پرایمر qPCR طراحی شده برای ژن‌های مذکور و پرایمر ژن رفرنس بتا اکتین (جدول ۱) (Safari *et al*., 2017) توسط کیت سایبر شرکت امپلیکون در دستگاه iQ5 (شرکت BIO-RAD, USA) و با استفاده از نرم‌افزار بایورد iQ5 اپتیکال برای بافت‌های مغز و کبد در ۴ تکراردر دمای بهینه برای پرایمرها انجام شد. به‌منظور اطمینان از بهینه بودن شرایط qPCR، سری غلظت‌های مختلف (۱، ۱/۲، ۱/۵، ۱/۱۰، ۱/۲۰ و ۱/۵۰) از نمونه‌های cDNA مخلوط از تیمارهای متفاوت از بافت‌های مذکور تهیه و با هر دو پرایمر هدف و رفرنس در ۳ تکرار تکثیر و منحنی استاندارد جهت تخمین کارایی (E) و تکرار پذیری آزمایش برای هر پرایمر ترسیم شد (Bustin *et al*., 2009).

جدول ۱: مشخصات پرایمرهای مورد استفاده در مطالعه

Table: Characteristics of the primers used in the study

Primer name	Accession No	Primer sequence	Primer efficiency	Annealing Temp (°C)
GH (Growth Hormone)	M27000.1	F: TCTTCGCATCTCTTTTCACC R: AGTCGGCCAGCTTCTCA	99%	59
IGF-1 (Insulin-like Growth Factor 1)	KP661168.1	F: GGCATTGGTGTGATGTCTTT R: CATATCCTGTCGGTTTGCTG	99%	59
Beta-actin (Housekeeping gene)	M24113.1	F: AGACATCAGGGTGTCATGGTTGGT R: CTCAAACATGATCTGTGTCAT	99%	59

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های مربوط به رشد و داده‌های مربوط به بیان نسبی ژن بعد از محاسبه با فرمول $2^{-\Delta\Delta Ct}$ ($\Delta\Delta Ct$ برابر است با ΔCt ژن هدف منهای ΔCt کالیبراتور) جهت بررسی نرمالیتی با استفاده از آزمون کولوموگروف اسمیرنوف تست گردید. سپس با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه درسطح اطمینان ۹۵ درصد تست و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS (ویرایش ۲۲) انجام گرفت و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ترسیم گردید.

نتایج

پارامترهای رشد

نتایج حاصل از اندازه‌گیری برخی پارامترهای رشد در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج میزان وزن اولیه در بین تیمارها اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ($p>0.05$). در ماهیان تغذیه‌شده با جیره حاوی مکمل ماکروجلبک، بهبود معنی‌داری در عملکرد رشد شامل وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی در مقایسه با گروه شاهد مشاهده شد ($p<0.05$). بیشترین میزان شاخص افزایش وزن در تیمارهای ۱ درصد و ۰/۵درصد ماکروجلبک بود. اما در وزن نهایی و نرخ رشد ویژه اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های دریافت کننده ماکروجلبک مشاهده نشد ($p>0.05$). در مورد ضریب تبدیل غذایی، میزان آن در تمام گروه‌های دریافت‌کننده ماکرو جلبک به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($p<0.05$) و بهترین آن در تیمارهای ۱٪ و ۰/۵٪ مشاهده گردید. درصد بقا در تیمارهای حاوی ماکروجلبک با افزایش دوز افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری را با گروه شاهد نشان داد ($p<0.05$) و بین میزان این شاخص در تیمارهای ۱ درصد و ۰/۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0.05$).

جدول ۲: عملکرد رشد ماهی کپور تغذیه شده با سطوح مختلف ماکروجلبک قهوه‌ای (*D. dichoyomas*)

Table 2: Growth performance of carp fed with different levels of brown macroalgae (*D. dichoyomas*)

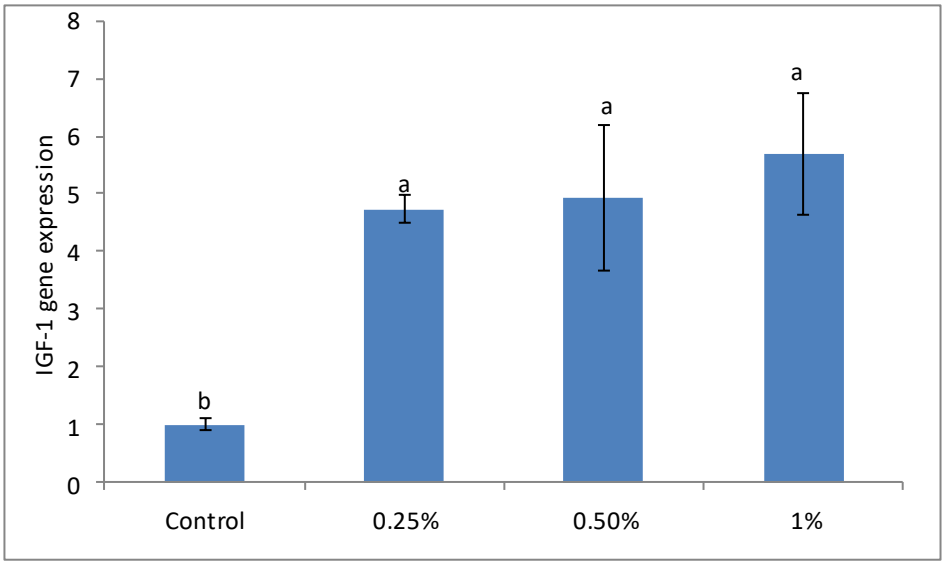
Parameter	Control	0.25%	0.5%	1%
Initial Weight (g)	21.50±0.44	20.97±0.16	21.03±0.44	21.39±0.21
Final Weight (g)	45.46±0.23 ^{b}	48.89±0.13 ^{a}	49.44±0.49 ^{a}	49.82±0.21 ^{a}
Weight gain (g)	23.95±0.10 ^{c}	27.91±0.03 ^{b}	28.41±0.14 ^{a}	28.43±0.23 ^{a}
SGR (% d^{-1})	3.30±0.11 ^{b}	3.59±0.11 ^{a}	3.63±0.12 ^{a}	3.62±0.12 ^{a}
FCR	2.14±0.08 ^{c}	1.96±0.04 ^{b}	1.76±0.04 ^{a}	1.76±0.06 ^{a}
Survival (%)	84.44±2.22 ^{b}	97.77±2.22 ^{b}	100.00±0.00 ^{a}	100.00±0.00 ^{a}

بیان ژن هورمون رشد (GH) و فاکتور رشد شبه انسولین ۱ (IGF-1)

نتایج حاصل از بیان ژن‌های هورمون رشد (GH) و فاکتور رشد شبه انسولین ۱ (IGF-1) نشان داد که در پایان دوره تغذیه با سطوح مختلف ماکرو جلبک قهوه‌ای در بیان این ژن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p<0.05$). در بیان ژن IGF-1 اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های حاوی ماکروجلبک با گروه شاهد وجود داشت ($p<0.05$) ولی گروه‌های تغذیه شده با ماکروجلبک اختلاف معنی داری در بیان این ژن نشان ندادند ($p>0.05$). همچنین در بیان ژن GH بین گروه شاهد و بقیه گروه‌ها اختلاف معنی داری مشاهده شد ($p<0.05$) به‌طوری‌که بیشترین میزان مربوط به تیمار ۱ درصد بود (شکل های ۱ و ۲).

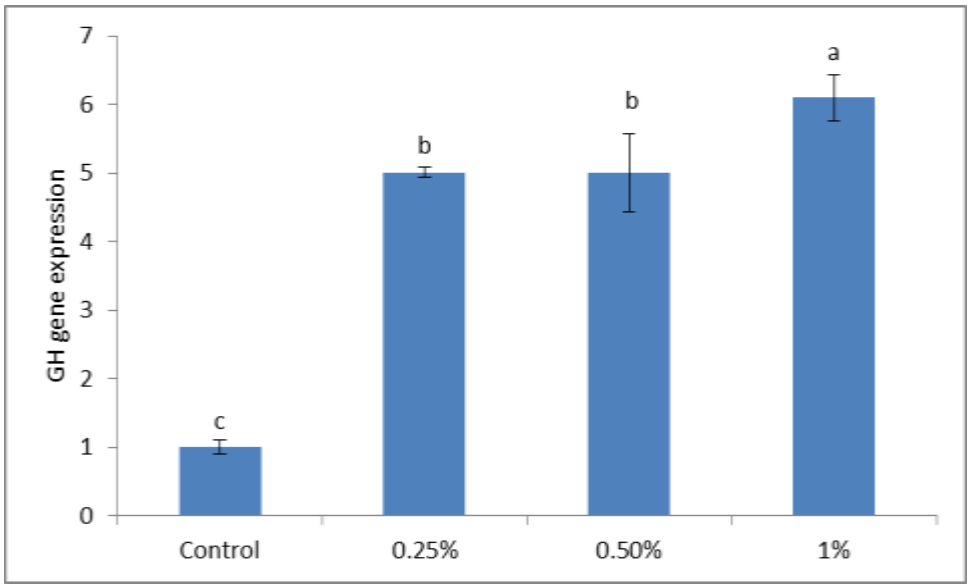
[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]



شکل ۱: سطوح بیان نسبی ژن IGF-1 ماهی کپور تغذیه شده با درصدهای مختلف ماکروجلبک قهوه‌ای *D. dichoyomas*

Figure 1: Relative expression levels of IGF-1 gene in common carp fed different percentages of brown macroalgae (*D. dichotoma*)



شکل ۲: سطوح بیان نسبی ژن GH ماهی کپور تغذیه شده با درصدهای مختلف ماکروجلبک قهوه‌ای *D. dichoyomas*

Figure 2: Relative expression levels of GH gene in common carp fed different percentages of brown macroalgae (*D. dichotoma*)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

بحث

تغذیه مناسب در آبزی‌پروری پایدار برای افزایش تولید، تضمین بازده اقتصادی و کاهش وابستگی به منابع سنتی مانند پودر ماهی، ضروری است. در این راستا، استفاده از منابع طبیعی جایگزین مانند ماکروجلبک‌ها، به‌ویژه به‌دلیل اثرات مثبت آن‌ها بر اشتها، بازده غذایی و سلامت آبزیان، مورد توجه قرارگرفته‌است (Sony *et al*., 2019; Safari *et al*., 2025). این جلبک‌ها منبع غنی از ترکیبات ارزشمندی مانند رنگدانه‌ها، پروتئین‌ها، مواد معدنی، لیپیدها، پلی‌ساکاریدها و آنتی‌اکسیدان‌ها هستند (Abdelrhman *et al*., 2022) و به‌همین دلیل، کاربرد آن‌ها به‌عنوان افزودنی غذایی عملکردی در جیره‌های آبزیان افزایش یافته‌است (Mahmoudi *et al*., 2022). علاوه‌بر این، جایگزینی یا مکمل‌سازی با جلبک‌ها می‌تواند فشار بر منابع دریایی محدود را کاهش داده و گامی مؤثر در جهت پایداری زیست‌محیطی آبزی‌پروری باشد.

در مطالعه حاضر، افزودن زیست‌توده خشک *D. dichotoma* به جیره غذایی ماهی کپور معمولی موجب بهبود معنی‌دار شاخص‌های رشد شد. این نتایج با یافته‌های Kamunde و همکاران (۲۰۱۹) که گزارش کردند افزودن ۳ درصد و ۱۰ درصد جلبک قهوه‌ای به جیره ماهی آزاد آتلانتیک (*Salmo salar*) موجب افزایش نرخ رشد ویژه، وزن نهایی و کاهش ضریب تبدیل غذایی شد، هم‌راستا است. همچنین، Yeganeh و Adel (۲۰۱۹) نشان دادند که مکمل‌سازی با ۷/۵ تا ۱۰ درصد *Sargassum ilicifolium* در جیره فیل‌ماهی (*Huso huso*) رشد را بهبود می‌دهد. مطالعات دیگر نیز گزارش کرده‌اند که *D. dichotoma* در سطح ۱ درصد می‌تواند رشد ماهی زبرا را افزایش دهد (Mahmoudi *et al*., 2022; Rouhani *et al*., 2022). با این حال، پژوهش‌هایی نیز وجود دارند که در آن‌ها افزودن ۰/۵، ۲ و ۴ درصد *Sargassum filipendula* و *Undaria pinnatifida* به جیره میگوی سفید وانامی (*Litopenaeus vannamei*) اثری بر رشد نداشته است (Schleder *et al*., 2018). این اختلاف نتایج ممکن است ناشی از عوامل مختلفی از جمله گونه آبزی، نوع جلبک، سطح مکمل‌سازی، قابلیت هضم دیواره سلولی جلبک‌ها، ترکیبات شیمیایی متغیر بین گونه‌ها و شرایط متفاوت آزمایشگاهی باشد (Abdelrhman *et al*., 2022). این تنوع، لزوم طراحی دقیق مطالعات با در نظر گرفتن ویژگی‌های گونه و جلبک را نشان می‌دهد.

یکی از مکانیسم‌های احتمالی اثر مثبت جلبک‌ها بر رشد، نقش آن‌ها به‌عنوان پری‌بیوتیک و تحریک رشد باکتری‌های مفید روده است که منجر به بهبود هضم و جذب مواد مغذی می‌شود (Kamunde *et al*., 2019). همچنین، ترکیبات زیست‌فعال موجود در آن‌ها می‌توانند از طریق تقویت سیستم ایمنی، به‌صورت غیرمستقیم عملکرد رشد را بهبود بخشند (Safavi *et al*., 2019). در مطالعه حاضر، افزایش معنی‌دار بیان ژن‌های GH و IGF-1 در گروه‌های تغذیه‌شده با جلبک نشان می‌دهد که این جلبک به‌طور مستقیم بر محور رشد اثرگذار بوده است. Safari و همکاران (۲۰۲۵) نیز گزارش کردند که افزودن ۱ درصد جلبک سبز *Ulva intestinalis* به جیره کپور معمولی موجب افزایش بیان ژن‌های مذکور می‌شود. یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج آن‌ها در مورد جلبک قهوه‌ای *D. dichotoma* همخوانی دارد و نشان می‌دهد که ترکیبات زیست‌فعال ماکروجلبک‌ها فارغ از گونه، قادر به تحریک محور GH/IGF-1 هستند. به‌طور مشابه، Mahmuodi و

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

همکاران (۲۰۲۲) نیز در ماهی زبرا افزایش معنی‌دار این ژن‌ها را در پاسخ به مکمل‌سازی جلبکی گزارش کردند. این یافته‌ها تأکیدی بر ارتباط مستقیم بین بیان ژن‌های رشد و عملکرد فیزیولوژیکی و رشد ظاهری ماهی‌هاست.

نتایج برخی مطالعات داخلی نیز از یافته‌های این پژوهش حمایت می‌کنند. Farhoudi و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که جایگزینی ۶ درصد جلبک قرمز *Gracilaria* در جیره بأس دریایی آسیایی (*Lates calcarifer*) موجب افزایش وزن نهایی شد. Akbari (۲۰۱۹) نیز پیشنهاد کرد که افزودن ۱۵ گرم جلبک *Sargassum* به جیره ماهی طلال (*Ratrelliger kanagurta*) می‌تواند شاخص‌های رشد و کیفیت لاشه را بهبود بخشد. همچنین، Sotoudeh و Mardani (۲۰۱۷) نشان دادند که سطح ۶ درصد جلبک قرمز *Gracilaria pygmaea* در جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) موجب افزایش وزن نهایی شد، در حالی که سطح ۱۲ درصد اثر منفی داشت. این نتایج نشان می‌دهد که سطح بهینه مکمل‌سازی جلبک‌ها برای هر گونه باید به‌دقت تعیین شود.

در مقابل، Younis و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که جایگزینی پودر ماهی با جلبک قرمز *Gracilaria arcuate* در جیره تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) موجب کاهش رشد شد. همچنین، Yildirim و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که افزودن ۱۰ درصد جلبک *Ulv* و *Enteromorpha* به جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان نه‌تنها رشد را بهبود نداد بلکه باعث کاهش آن شد. این یافته‌های متناقض می‌تواند ناشی از تفاوت در ترکیبات متابولیتی جلبک‌ها، قابلیت هضم، سازگاری گونه‌های مختلف با ترکیبات جلبکی، و یا انتخاب سطوح نامناسب مکمل‌سازی باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان داد که ماکروجلبک قهوه‌ای (*D. dichotoma*) به‌ویژه در سطوح ۰/۰۵ و ۱ درصد جیره غذایی، می‌تواند به‌عنوان مکملی مؤثر در بهبود معنی‌دار عملکرد رشد (افزایش وزن نهایی و نرخ رشد ویژه)، بازده تغذیه‌ای (کاهش ضریب تبدیل غذایی) و نرخ بقا در کپور معمولی استفاده شود. این اثرات احتمالاً از طریق تحریک بیان ژن‌های کلیدی GH و IGF-1 و فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ رشد اعمال می‌شود. با این حال، برای تعیین دقیق‌ترین سطح مؤثر مکمل‌سازی (مقایسه دقیق بین سطوح ۰/۵ و ۱ درصد)، همچنین برای بررسی اثرات این جلبک بر شاخص‌های ایمنی، استرس اکسیداتیو و سلامت کلی ماهی، انجام مطالعات تکمیلی ضروری است. همچنین پیشنهاد می‌شود که مطالعات آینده، در مقیاس‌های بزرگ‌تر و تحت شرایط واقعی مزرعه‌ای نیز انجام گیرد تا قابلیت کاربرد صنعتی این جلبک در آبزی‌پروری تجاری تأیید شود.

سپاسگزاری

در اینجا برخود لازم می‌دانیم از حمایت های دوستان گرامی تشکر نماییم.

منابع

1. Abdelrhman, A.M., Ashour, M., Al-Zahaby, M.A., Sharawy, Z.Z., Nazmi, H., Zaki, M. A., Ahmed, N.H., Ahmed, S.R., El-Haroun, E., Van Doan, H. and Goda, A. M., 2022. Effect of polysaccharides derived

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

from brown macroalgae *Sargassum dentifolium* on growth performance, serum biochemical, digestive histology and enzyme activity of hybrid red tilapia. *Aquaculture Reports, 25*, 101212. DOI:10.1016/j.aqrep.2022.101212

2. Afonso, N.C., Catarino, M.D., Silva, A.M. and Cardoso, S.M., 2019. Brown macroalgae as valuable food ingredients. *Antioxidants, 8*(9), 365. DOI:10.3390/antiox8090365
3. Ajdari, A., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Javahery, S., Narimanizad, F., Gatphayak, K. and Van Doan, H., 2022. Effects of dietary supplementation of primaLac, inulin, and biomin imbo on growth performance, antioxidant, and innate immune responses of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture Nutrition, 13,* 8297479. DOI:10.1155/2022/8297479
4. Akbari, A., 2019. The effect of supplementation of algae (*Sargassum ilicifolium*) on growth, feed and body chemical composition of the Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*). *Experimental Animal Biology, 8*(2), pp.143-151. DOI:10.30473/eab.2019.6212 [In Persian]
5. Aski, H. S., Hoseinifar, S.H., Bayani, M., Reeisi, M., Khalili, M., El-Haroun, E. and Van Doan, H., 2022. The effects of dietary stachyose as prebiotic on immunity and antioxidant related genes' expression and lipid metabolism in zebrafish. *Annals of Animal Science*, *22*(3), pp.1097-1104. DOI: 10.2478/aoas-2022-0019
6. Benfares, R., Kord, A., Boudjema, K., Bouarab, M., Benrabah, S., Boudjemaa, K. and Švarc-Gajić, J., 2019. Chemical characterization of essential oils and antioxidant activity of *Dictyota dichotoma* and *Dictyopteris membranacea*. *Acta Periodica Technologica, 50*, pp.33-42. DOI:10.2298/APT1950033B
7. Bustin, A.S., Benes, V., Garson, J.A., Healmans, J., Huggett, J., Kubista, M., Muller, R., Nolaan, T., Pfaffl, M., Shipley, G., Vandesompele, J. and Wittwer, C.T., 2009. The MIQE Guidelines: Minimum Information for Publication of Quantitative Real-Time PCR Expriments. *Clinical Chemistry, 55*(4), pp.611-622. 10.1373/clinchem.2008.112797
8. FAO., 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. DOI:10.4060/cc0461en
9. Farhoudi, A., Sourinejad, I., Nafisi Bahabadi, M. and Sajjadi, M. M., 2017. Effect of partial substitution of fishmeal by red algae Gracilaria pygmaea on the growth performance, hematology and serum biochemistry parameters of Asian Seabass Lates calcarifer (Bloch, 1790). *Iranian Scientific Fisheries Journal, 26*(3), pp.77-89. 10.22092/ISFJ.2017.113524 [In Persian]
10. Ibraheem, I.B.M., Abdel-Raouf, N., Mohamed, H.M., Fassihy, R. and Hamed, S., 2017. Impact of the microbial suppression by using the brown alga *Dictyota dichotoma* extract. *Egyptian Journal of Botany, 57* (7th International Conf.), pp.205-214.
11. Imanpoor, M.R. and Roohi, Z., 2015. Effect of a multi-strain probiotic (Primalac) on growth performance, some blood biochemical parameters, survival and stress resistance on Caspian kutum (*Rutilus kutum*) fry. *Iranian Scientific Fisheries Journal, 24* (2), pp.95-102. 10.22092/ISFJ.2015.103133 [In Persian]
12. Imran, M., Iqbal, A., Badshah, S.L., Sher, A.A., Ullah, H., Ayaz, M., Mosa, O.F., Mostafa, N.M. and Daglia, M., 2023. Chemical and Nutritional Profiling of the Seaweed *Dictyota dichotoma* and Evaluation of Its Antioxidant, Antimicrobial and Hypoglycemic Potentials. *Marine Drugs, 21*(5), 273.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

DOI:10.3390/md21050273
13. Kamunde, C., Sappal, R. and Melegy, T.M., 2019. Brown seaweed (AquaArom) supplementation increases food intake and improves growth, antioxidant status and resistance to temperature stress in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *PLoS One, 14*, e0219792. DOI:10.1371/journal.pone.0219792
14. Kazemi, M., Abediankenari, A. and Rabiei, R., 2018. Effect of Marine Macroalgae on Growth Performance and Immune Response in Rainbow Trout Fingerlings. *Journal of Fisheries Science and Technology, 7* (1), pp.9-16. 20.1001.1.23225513.1396.7.1.1.6 [In Persian]
15. Mahmoudi, N., Safari, R., Shabani, A., Hoseinifar, S. H., Yazici, M. and El-Haroun, E., 2022. Can dietary Dictyota dichotoma powder affect performance, serum, and mucus immune parameters, and antioxidant defense in Zebrafish (*Danio rerio*)?. *Aquaculture Reports, 26*, 101279. DOI:10.1016/j.aqrep.2022.101279
16. Mekinic, I.G., Simat, V., Botic, V., Crnjac, A., Smoljo, M., Soldo, B., Ljubenkov. I., Čagalj, M. and Skroza, D., 2021. Bioactive phenolic metabolites from Adriatic brown algae *Dictyota dichotoma* and *Padina pavonica* (Dictyotaceae). *Foods, 10*, 1187. DOI:10.3390/foods10061187
17. Niroomand, N., Sajadi, M.M., Yahyavi, M. and Asadi, M., 2011. Effects of dietary Betaine on growth, survival, body composition and resistance of fry rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under environmental stress. *Iranian Scientific Fisheries Journal, 20* (1), pp.135-146. 10.22092/ISFJ.2017.109982 [In Persian]
18. Rahimi, N.M. ., Natrah, I., Loh, J.Y., Ervin Ranzil, F.K., Gina, M., Lim, S. H.E., Lai, S.K., Chong, C.M., 2022. Phytocompounds as an Alternative Antimicrobial Approach in Aquaculture. *Antibiotics*, *11*, 469. DOI:10.3390/antibiotics11040469
19. Rouhani, E., Safari, R., Imanpour, M. R., Hoseinifar, S.H., Yazici, M. and El-Haroun, E., 2022. Effect of Dietary Administration of Green Macroalgae (*Ulva intestinalis*) on Mucosal and Systemic Immune Parameters, Antioxidant Defence, and Related Gene Expression in Zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Nutrition. 1*, 7693468. DOI:10.1155/2022/7693468
20. Safari, R., Hoseinifar, S.H., Shabani, A., Ghafarifarsani, H., Raissy, M., Khaleghi, S.R., Van Doan, H., Yazici, M., Rahbar, M. and Nouri, M., 2025. Dietary administration of green macroalgae (*Ulva intestinalis*) on growth performance, serum immune parameters, and gene expression in Common carp (*Cyprinus carpio*). *Annals of Animal Science*. DOI: https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0070
21. Safari, R., Hoseinifar, S.H., Van Doan, H. and Dadar, M., 2017. The effects of dietary Myrtle (*Myrtus communis*) on skin mucus immune parameters and mRNA levels of growth, antioxidant and immune related genes in zebrafish (*Danio rerio*). *Fish and Shellfish Immunology, 66,* pp.264-269. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.05.007
22. Safavi, S. V., Kenari, A. A., Tabarsa, M. and Esmaeili, M., 2019. Effect of sulfated polysaccharides extracted from marine macroalgae (*Ulva intestinalis* and *Gracilariopsis persica*) on growth performance, fatty acid profile, and immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Applied Phycology, 31*, pp.4021-4035. DOI:10.1007/s10811-019-01902-w
23. Saleh, H.H., 2020. Review on Using of Macro Algae (seaweeds) in Fish Nutrition. *Journal of Zoological Research, 2*, pp.23-26.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]

DOI:10.30564/jzr.v2i2.205

24. Schleder, D.D., Peruch, L.G.B., Poli, M.A., Ferreira, T.H., Silva, C.P., Andreatta, E.R., Hayashi, L. and do Nascimento Vieira, F., 2018. Effect of brown seaweeds on Pacific white shrimp growth performance, gut morphology, digestive enzymes activity and resistance to white spot virus. *Aquaculture, 495*, pp.359-365. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.06.020
25. Sony, N.M., Ishikawa, M., Hossain, M.S., Koshio, S., and Yokoyama, S., 2019. The effect of dietary fucoidan on growth, immune functions, blood characteristics and oxidative stress resistance of juvenile red sea bream, Pagrus major. *Fish Physiology and Biochemistry, 45*, pp.439-454. DOI:10.1007/s10695-018-0575-0
26. Sotoudeh, E. and Mardani, F., 2017. Antioxidant-related parameters, digestive enzyme activity and intestinal morphology in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry fed graded levels of red seaweed (*Gracilaria pygmaea*). *Aquaculture Nutrition, 24,* pp.777–785. 10.1111/anu.12606
27. Sotoudeh E., Eshaghnezhad, Z., Bahadori, R. and Moradiyan, S.H., 2020. Growth performance and blood indices of juvenile Rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) fed diets containing Sargassum cristaefolium and Gracilaria pygmaea extracts. *Journal of Applied Ichthyological Research, 8*(1), pp.80-89. 10.29252/jair.8.1.80 [In Persian]
28. Sayin, S., Kohlhaas, T., Veziroglu, S., Okudan, E.Ş., Naz, M., Schröder, S., Saygili, E.I., Açil, Y., Faupel, F., Wiltfang, J. and Aktas, O.C., 2020. Marine Algae-PLA composites as de novo alternative to porcine derived collagen membranes. *Materials Today Chemistry, 17*, 100276. DOI:10.1016/j.mtchem.2020.100276
29. Tziveleka, L. A., Tammam, M. A., Tzakou, O., Roussis, V., and Ioannou, E., 2021. Metabolites with antioxidant activity from marine macroalgae. *Antioxidants, 10*, 1431. DOI:10.3390/antiox10091431
30. Yeganeh, S. and Adel, M., 2019. Effects of dietary algae (*Sargassum ilicifolium*) as immunomodulator and growth promoter of juvenile great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1758). *Journal of Applied Phycology, 31*, pp.2093-2102. DOI:10.1007/s10811-018-1673-1
31. Yildirim, O., Ergun, S., Yaman, S. and Turker, A., 2009. Effects of two seaweeds (*Ulva lactuca* and *Enteromorpha linza*) as a feed a additive in diets on growth performance, feed utilization, and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, 15* (3), pp.455-460. https://hdl.handle.net/20.500.12809/4843
32. Younis, E.M., Al-Quffail, A.S., Al-Asgah, N.A., Abdel-Warith, A.A. and Al-Hafedh, Y.S., 2018. Effect of dietary fish meal replacement by red algae, (*Gracilaria arcuate*), on growth performance and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Saudi Journal of Biological Sciences, 25* (2), pp.198-203. 10.1016/j.sjbs.2017.06.012
33. Yousuf, S., Tyagi, A. and Singh, R., 2023. Probiotic supplementation as an emerging alternative to chemical therapeutics in finfish aquaculture: A Review. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *15*, pp.1151-1168. DOI:10.1007/s12602-022-09971-z

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-906]