

مروری بر اهمیت ماکروجلبک‌ها در صنعت آبی پروری (با تاکید بر ماهیان)

رضوان تمدنی، وحید مرشدی* و محمد صراف

بوشهر، دانشگاه خلیج فارس، پژوهشکده خلیج فارس

چکیده

افزایش قیمت آرد ماهی و همچنین کاهش دسترسی به آن موجب شده تا طی سالیان گذشته جستجو برای جایگزین‌های مناسب گیاهی به سرعت در حال توسعه باشد. در این میان ماکروجلبک‌ها به دلیل سهولت پرورش و قیمت مناسب جایگزین مناسبی محسوب می‌شوند. ماکروجلبک‌ها به عنوان مکمل‌های غذایی به منظور افزایش سلامتی و عملکرد رشد و تغذیه بسیاری از گونه‌های ماهیان دریایی، آب شیرین و ماهیان زینتی استفاده می‌شوند. اکثر مطالعات صورت گرفته نیز نتایج قابل قبولی را در استفاده از ماکروجلبک‌ها به عنوان جایگزین نسبی آرد ماهی گزارش کرده‌اند. نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد هرچند در پرورش برخی گونه‌ها مانند شانک قرمز (*Pagrus major*)، سی باس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) و سی باس آسیایی (*Lates calcarifer*) استفاده از تا حد ۱۰ درصد آرد جلبک باعث افزایش عملکرد رشد و تغذیه گردیده اما در استفاده بیشتر آرد جلبک در جیره غذایی برخی گونه‌ها تفاوت بین تیمارها مشاهده نشد و حتی تأثیرات منفی داشته است. بنابراین به نظر می‌رسد پژوهش‌های بیشتری در این زمینه مورد نیاز است.

کلیدواژه‌گان: آبی پروری، ماکروجلبک، جیره ماهی، خلیج فارس

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: v.morshedi@gmail.com

مقدمه

آبزیان یکی از منابع اصلی غذای انسان به شمار می‌روند (آیولا^۱، ۲۰۱۰). در حال حاضر سرانه مصرف جهانی آبزیان ۲۰ کیلوگرم برآورد شده است که تقریباً نصف آن توسط آبزیان پرورشی تأمین می‌شود (فائو^۲، ۲۰۱۶). از طرفی با توجه به پیشرفت صنعت آبی پروری در دهه‌های اخیر، بخش مهمی از صید جهانی جهت تولید آرد و روغن ماهی به عنوان مواد اولیه در ساخت جیره غذایی آبزیان پرورشی، اختصاص یافته است. با توجه به افزایش تقاضای جهانی برای تولید آرد و روغن ماهی و برآورد میزان تولید آبی پروری با رشد سالانه ۶/۵ درصد تا سال ۲۰۲۵، پیش بینی می‌شود در مدت زمان کوتاهی، آبی پروری تمام مصارف آرد و روغن ماهی تولید شده را به خود اختصاص خواهد داد (کولینز^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر این، پیش بینی شده است که در آینده به دلیل کاهش ذخایر دریاها و افزایش قیمت آرد و روغن ماهی، توسعه صنعت آبی پروری تا حد زیادی محدود خواهد شد و در نتیجه حفظ وضعیت و پایداری صنعت آبی پروری تنها با استفاده از این منابع، دشوار خواهد شد (بوراوی^۴ و همکاران،

۲۰۱۱). بنابراین هر نوع جایگزین نمودن این ماده گران قیمت (آرد ماهی) حتی در درصدهای پایین، می‌تواند تأثیر معنی‌داری در کاهش قیمت غذا و محصول تولیدی داشته باشد. متأسفانه به دلایل متعدد در بسیاری از موارد، صید آبزیان بی‌کیفیت در دستور کار کارخانه‌های تولید کننده آرد ماهی قرار گرفته است (হারدی^۵، ۱۹۹۹)، و در نتیجه استفاده از منابع جایگزین در غذای آبزیان باید مورد توجه و بحث قرار بگیرد.

صنعت پرورش گیاهان آبی و به طور ویژه جلبک‌های دریایی به سرعت در حال رشد است. در حال حاضر این جلبک‌ها در ۵۰ کشور جهان پرورش داده می‌شوند و در بین گروه‌های آبزیان پرورشی، جلبک‌های دریایی با حجمی حدود ۲۷ میلیون تن بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است (فائو، ۲۰۱۶). در میان مواد مغذی، میزان پروتئین و چربی عامل مهمی است که آن‌ها را به عنوان مکمل ایده آل برای جیره غذایی آبزیان تبدیل می‌کند. پروتئین یکی از گران‌ترین و مهم‌ترین مواد تشکیل دهنده جیره غذایی آبزیان است. میزان پروتئین ماکروجلبک‌ها در محدود ۵ تا ۴۰ درصد وزن خشک (در موارد

¹ Ayoola, A.A.

² FAO

³ Collins, S.A.

⁴ Bouraoui, L.

⁵ Hardy, R.W.

های دریایی در جنوب کشور شناسایی شده است که در دسته‌های جلبک قرمز (Rhodophytes)، جلبک قهوه‌ای (Phaeophytes) و جلبک سبز (Chlorophytes) طبقه بندی شده‌اند (قرنجیک و آبکنار، ۱۳۷۹). مهم‌ترین جلبک‌های دریایی پرورشی جهان عبارت‌اند از: *Echeuma spp.*، *Porphyra* و *Undaria spp.*، *Gracilaria spp.*، *Saccharina spp.* از جمله خصوصیات بارز و مهم جلبک‌ها که موجب اهمیت کاربرد آنها به عنوان مکمل یا یکی از اقلام اصلی در جیره غذایی آبزیان شده عبارت‌اند از: غنی بودن آنها از مواد فعال زیستی، پروتئین و کربوهیدرات‌ها که از اجزاء مهم غذایی در انسان و حیوانات هستند. از سوی دیگر جلبک‌ها حاوی درصد بالایی از اسیدهای چربی هستند که استفاده از آنها در جیره غذایی آبزیان بسیار با اهمیت و حیاتی است (ناکاگاوا^۳ و مونت گومری^۴، ۲۰۰۷).

ماکرو و میکروجلبک‌ها به عنوان مکمل‌های غذایی به منظور افزایش سلامتی و عملکرد تغذیه‌ای بسیاری از گونه‌های ماهیان پرورشی استفاده می‌شوند (گوری^۵ و همکاران، ۲۰۱۱). ماکروجلبک‌ها در مقایسه با میکروجلبک‌ها پروتئین کمتری دارند، با این حال تأثیر استفاده از آنها به لحاظ بهبود رشد، سوخت‌وساز چربی‌ها و بهبود کیفیت گوشت قابل توجه بوده است (واصف^۶ و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین ماکروجلبک‌ها حاوی پروتئین، کربوهیدرات (نشاسته، گلوکز، قندها و پلی ساکاریدهای غیر قابل هضم همچون آگار، کارآزینان و آلژینات)، چربی (گلیسرول و اسیدهای چرب سری n-3 (امگا-۳) و n-6 (امگا-۶) با خاصیت ضد باکتریایی، ضد ویروسی و ضد قارچی، ویتامین‌های ضروری (A, B₁, B₂, B₆, B₁₂, C, E، بیوتین، فولیک اسید و پنتوتنیک اسید)، مواد معدنی (فسفر، روی، آهن، کلسیم، سلنیوم و منگنز) و همچنین آنتی اکسیدان‌ها هستند (کومار و همکاران، ۲۰۰۸). رنگ پوست یا گوشت ماهیان از ویژگی‌های مهم در صنعت آبی پروری است که موجب ایجاد ظاهری جذاب و در نتیجه جلب رضایت مصرف کننده می‌شود. از این نظر وجود رنگدانه‌های طبیعی در ماکروجلبک‌ها و استفاده از آن در جیره غذایی ماهی می‌تواند رنگ موثری در گوشت و پوست ایجاد کند (تیواری و تروی، ۲۰۱۵). بهبود رشد،

معدودی بیش از ۴۰ درصد) گزارش شده است. در حالی که میزان چربی آنها تنها بین ۲ تا ۵ درصد وزن خشک ثبت شده است. با وجود سطح پایین چربی کل، بخش زیادی از این منابع چربی شامل اسیدهای چرب غیراشباع است که برای رشد و نمو آبزیان بخصوص در دوران لاروی و بچه ماهی ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر موارد مذکور وجود ویتامین‌ها، مواد معدنی، رنگ دانه‌ها، آنتی اکسیدان و برخی از پلی ساکاریدها با قابلیت اتصال به مواد معدنی نقش مهمی در تعادل تغذیه‌ای و بهبود رشد در جیره‌های حاوی ماکروجلبک دارد (تیواری و تروی^۱، ۲۰۱۵). اکثر مطالعات صورت گرفته نتایج قابل قبولی را در استفاده از ماکروجلبک‌ها به عنوان جایگزین نسبی آرد ماهی گزارش کرده‌اند. تحقیقات مختلف نشان داده است که حوزه تأثیر استفاده از ماکروجلبک‌ها در جیره غذایی آبزیان به گونه جلبک مورد استفاده، گونه ماهی مورد مطالعه و هم چنین سطح جایگزینی بستگی دارد (پیرا^۲ و همکاران، ۲۰۱۲).

اهمیت ماکروجلبک‌ها

کشت جلبک‌های دریایی می‌تواند به عنوان یک فعالیت اقتصادی و سودآور به خصوص برای جوامع ساحلی باشد؛ چرا که چرخه تولید آن کوتاه، نیاز به سرمایه گذاری کم و تکنولوژی پرورش آن نسبتاً ساده است. از طرفی ماکروجلبک‌ها در زیستگاه طبیعی خود یعنی در دریاها و اقیانوس‌ها به فراوانی رشد می‌کنند. از طرف دیگر آب‌های کم عمق قسمت‌های ساحلی در سراسر جهان غنی از مواد غذایی و آلودگی‌ها می‌باشد که ناشی از فعالیت‌های اکوسیستمی نظیر جریان‌های ساحلی و گردش آب از پایین به بالا (upwelling) و یا ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و تخلیه فاضلاب در سواحل است. پرورش جلبک در این نواحی می‌تواند به عنوان یک فعالیت دوستدار محیط زیست موجب جذب این مواد مغذی باشد. علاوه بر موارد مذکور، پرورش جلبک‌های دریایی برخلاف فعالیت‌های کشاورزی که در خشکی صورت گرفته و نیاز به حجم بالای آب شیرین دارد، بدون نیاز به آب شیرین می‌تواند کاهش فشار بر منابع آبی و تولیدات کشاورزی را به همراه دارد (تیواری و تروی، ۲۰۱۵). تقریباً ۳۰۰ گونه از جلبک-

³ Nakagawa, H.
⁴ Montgomery, W.L.
⁵ Guroy, D.
⁶ Wassef, E.A.

¹ Tiwari, B. K., & Troy, D. J.
² Pereira, R.

و سدیم و همچنین عناصر کمیاب (مس، منگنز، روی و آهن) می‌باشند که نقش مهمی در ساخت بافت‌های موجودات و به عنوان کوفاکتور در تنظیم بسیاری از واکنش‌های حیاتی دارد.

جدول ۱- ترکیب بیوشیمیایی برخی ماکرو جلبک‌ها

ترکیب شیمیایی	جلبک قهوه‌ای ^a	جلبک سبز ^b	جلبک قرمز ^c
رطوبت	۹۴۰-۶۱۰	۹۲۰-۷۸۰	۹۱۰-۷۲۰
پروتئین خام	۱۶۸-۲۴	۳۵۲-۳۲	۳۷۶-۶۴
چربی خام	۹۶-۳	۲۸-۳	۱۲۹-۲
پلی ساکارید	۶۱۰-۳۸۰	۶۵۰-۱۵۰	۶۶۰-۳۶۰
خاکستر	۴۵۰-۱۵۰	۵۵۰-۱۱۰	۴۲۲-۱۲۰

* مقادیر بر حسب گرم بر کیلوگرم

- a- مقادیر برای گونه‌های خاص جلبک قهوه‌ای می‌باشد که شامل: *Fucus, Saccharina, Laminaria, Ascophyllum, Alaria, Pelvetia and Undaria spp.*
- b- مقادیر برای گونه‌های خاص جلبک سبز که شامل: *spp Cladophora, Enteromorpha Ulva,*
- c- مقادیر برای گونه‌های خاص جلبک قرمز می‌باشد که شامل: *Porphyra, Chondrus, Palmaria, Vertebrata, Vertebrata,*

جلبک‌ها به دلیل دارا بودن پلی ساکاریدهای سطحی سلولی (مانند آگار، کارگینان، آلژینات و سلولز) قادر به جذب مواد معدنی از محیط هستند و بر همین اساس میزان مواد معدنی در ماکرو جلبک‌ها ممکن است چندین برابر بیشتر از عناصر مشابه موجود در اکوسیستم است. میزان عناصر معدنی در ماکرو جلبک‌ها نیز بسته به جنس جلبک، تغییرات فصلی، موقعیت جغرافیایی، شدت نور می‌تواند متفاوت باشد (تیواری و تروی، ۲۰۱۵).

ماکرو جلبک‌ها مقادیر نسبتاً اندکی چربی دارند ولی چربی‌ها به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع اهمیت بالای دارند. اسیدهای چرب ایکوزهگزانوئیک اسید (EPA) و دکوزا پنتانونیک اسید (DHA) به دلیل کاربردهای فراوان در جیره غذایی تمام مراحل زندگی آبزیان شامل لاروی، بچه ماهی، ماهی پروراری و مولد و همچنین کاربردهای دارویی جز مهم‌ترین اسیدهای چرب چند غیراشباع (HUFA) در نظر گرفته می‌شوند. تحقیقات نشان می‌دهد که وجود اسیدهای چرب چند غیراشباع در روغن ماهی از مصرف فیتوپلانکتون‌ها توسط زئوپلانکتون‌ها و از طریق زنجیره غذایی دریایی حاصل می‌شود. بنابراین تحقیقات در

مصرف غذا، عملکرد کبد، متابولیسم چربی، فعالیت‌های فیزیولوژیک، پاسخ‌های استرس، مقاومت در برابر بیماری و کیفیت گوشت در جیره‌های حاوی ۵-۱٪ ماکرو جلبک گزارش شده است. همچنین برخی گزارش‌ها اضافه کردن مخلوطی از ماکرو جلبک‌های دریایی را در جیره به جای استفاده از یک گونه ماکرو جلبک توصیه کرده‌اند که در نتیجه بهبود عملکرد رشد و طعم بهتر ماهی را به همراه دارد (ناکاگاوا و مونت‌گومری، ۲۰۰۷).

با وجود موارد مذکور در تأیید ارزش تغذیه‌ای بالای ماکرو جلبک‌ها و تاثیرات مثبت آن بر سلامت آبزیان و انسان باید عنوان کرد جلبک‌ها دارای چالش‌های خاصی نیز هستند و قبل از استفاده از آن‌ها در جیره‌های غذایی آبزیان یا انسان جانب احتیاط باید رعایت شود. به عنوان مثال در میان بیش از ۲۰۰ هزار گونه جلبک تنها کمتر از ۲۰ درصد آن‌ها به عنوان جلبک‌های غیرسمی گزارش شده‌اند. بسیاری از گونه‌های جلبک حاوی فلزات سنگین (جیوه، سرب و آرسنیک) بوده و در برخی موارد غلظت آن‌ها از محیط اطراف نیز بالاتر می‌رود. همچنین برخی گونه‌های جلبک با قابلیت تولید سم نیز گزارش شده است که با تولید سموم بیوزنیک و متابولیت‌های ثانویه ممکن است اختلالات عصبی را در موجود میزبان ایجاد کند (تیواری و تروی، ۲۰۱۵).

ترکیبات بیوشیمیایی ماکرو جلبک‌ها

ترکیب بیوشیمیایی ماکرو جلبک‌ها بین گونه‌ها، فصل برداشت، زیستگاه رشد و شرایط محیطی به میزان قابل توجهی متفاوت است. حتی در یک منطقه جغرافیایی کوچک، سرعت رشد و ترکیبات بیوشیمیایی ممکن است بسته به فصل برداشت، نور خورشید، شوری، عمق، جریان آب محلی در ماکرو جلبک‌ها متفاوت باشد. گزارش‌ها نشان داده است که ترکیب بیوشیمیایی جلبک‌ها حتی می‌تواند در جنس‌های مشابه جلبک تفاوت‌های چشمگیر داشته باشند. ترکیب بیوشیمیایی برخی ماکرو جلبک‌ها در جدول ۱ آورده شده است (اورلند^۱ و همکاران، ۲۰۱۹).

ماکرو جلبک‌ها حاوی مقادیر بالای مواد معدنی (۱۰ تا ۵۰ درصد وزن خشک) ضروری شامل کلسیم، منیزیم، پتاسیم

¹ Overland, M.

دیگر در مورد میزان پروتئین ماکروجلبک ها به هضم کامل پروتئین جلبک توسط آبزیان یا سایر موجودات برمی گردد. با وجود میزان بالای پروتئین در ماکروجلبک ها، همه بخش های پروتئینی جلبک دارای اهمیت بیولوژیک نیستند؛ چرا که حدود ۱۰ درصد از پروتئین خام شامل پروتئین های غیرحقیقی مثل آمین ها، اسیدهای نوکلئیک و دیواره های سلولی حاوی نیتروژن است. پروتئین ماکروجلبک ها دارای همه اسیدهای آمینه از جمله گلیسین، آرژینین، آلانین و گلوتامیک اسید می باشند. میزان اسیدهای آمینه ضروری ماکروجلبک ها با میزان نیاز پروتئینی اعلام شده توسط سازمان های فائو و بهداشت جهانی قابل مقایسه است (اورلند و همکاران، ۲۰۱۹). یک مقایسه کلی در نسبت بین اسیدهای آمینه ضروری در پودر ماهی، پودر سویا، جلبک قرمز جلبک سبز و جلبک قهوه ای در نمودار ۱ آورده شده است (اورلند و همکاران، ۲۰۱۹).

محتوی کربوهیدرات ماکروجلبک ها

کربوهیدرات ها زیست مولکول هایی هستند که از اتم های کربن، هیدروژن و اکسیژن تشکیل شده اند و به سه شکل مونوساکارید، الیگوساکارید و پلی ساکارید تقسیم بندی می شوند. ماکروجلبک ها امروزه به عنوان منبعی غنی از کربوهیدرات ها در صنایع مختلف استفاده می شوند. در بین جلبک های قرمز *Gracilaria sp.* و *Hypnea sp.* به دلیل دارا بودن پلی ساکارید هایی همچون آگار و کاراگینان (با استفاده های متعدد دارویی) بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته است. از طرفی جلبک های سبز و قهوه ای حاوی مقادیر قابل توجهی از پلی ساکاریدها و دیگر کربوهیدرات ها هستند که در جدول ۲ آمده است. ماکروجلبک ها به علت داشتن مقادیر بالای پلی ساکارید غیرقابل هضم معمولاً به عنوان منابع مناسب فیبر شناخته می شوند (۳۰ تا ۶۰ درصد وزن خشک). در میان فیبرها هیدروکلئیدها مانند آلژینات، آگار، کاراگینان، فوکویدان و لامینارین به میزان زیادی در جلبک ها وجود دارند. فیبر معمولاً به کربوهیدرات های غیرقابل هضم غذا نسبت داده می شود. این ترکیبات به صورت دست نخورده از دستگاه گوارش عبور کرده و در انتهای روده تخمیر خواهند شد. بخشی از پلی ساکاریدها که از دیواره سلولی عبور کرده و در آب نیز محلول اند به عنوان فیبر محلول و بخشی که از

زمینه استفاده مستقیم از ماکروجلبک ها در جیره غذایی آبزیان به منظور ارتقاء سطح اسیدهای چرب چندغیراشباع در ماهیان شروع شده است. لی و همکاران (۲۰۰۹) افزایش سطح اسیدهای چرب چند غیراشباع را همراه با افزایش وزن و مصرف جیره غذایی ماهی حتی با مقادیر بسیار پایین (۱ تا ۱.۵ درصد) در گربه ماهی گزارش شده است. با این حال، نتایج مطالعات نشان می دهد با توجه به پایین بودن سطح EPA در جلبک های دریایی نمی توان از آن ها به عنوان جایگزین اسیدهای چرب چند غیراشباع در جیره ماهیان استفاده کرد (تیواری و تروی، ۲۰۱۵).

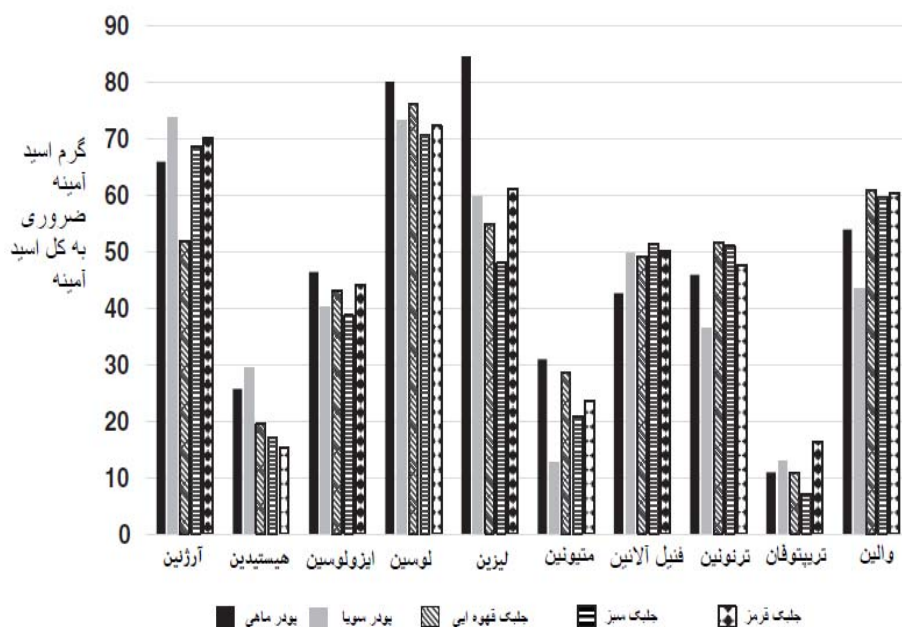
محتوی پروتئین و آمینو اسید ماکروجلبک ها

میزان پروتئین موجود در ماکروجلبک ها در دامنه بین ۵ تا ۴۰ درصد وزن خشک است و در فصول و گونه های مختلف نیز نوسان پیدا می کند. عموماً بالاترین میزان پروتئین در طول زمستان و اوایل بهار و کمترین مقدار آن نیز در تابستان و اوایل پاییز به دست می آید. به طور کلی جلبک های قرمز محتوای پروتئین ماکروجلبک قهوه ای به طور کلی کم است (معمولاً کمتر از ۱۵۰ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در حالی که ماکروجلبک سبز و به خصوص ماکروجلبک قرمز دارای محتوای پروتئینی بالاتری است (گارسیا و کترو و هاییز، ۲۰۱۶). برخی از ماکرو جلبک های قرمز، مانند پورفیرا (*Porphyra sp.*)، سطح پروتئینی قابل مقایسه با پودر سویا دارند (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۰). مقایسه نتایج متفاوت پروتئین ماکروجلبک ها در مطالعات انجام گرفته می تواند ناشی از روش های مختلف اندازه گیری باشد. نیتروژن در پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک و چندین ترکیبات آلی مانند کلروفیل یافت می شود. علاوه بر این، ماکروجلبک ها خود نیز حاوی مقادیر قابل توجهی از نیتروژن غیر پروتئینی معدنی (به عنوان مثال آمونیاک، نترات و نیتريت) می باشند. روش های اسپکتروسکوپی (طیف سنجی) اغلب برای تعیین پروتئین استفاده می شود، اما بسیاری از پروتئین های ماکروجلبک ها می تواند استخراج و حاوی چندین ماده رنگی باشند که ممکن است روی اندازه گیری تأثیر بگذارد (آنجل و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال برای اهداف تغذیه ای، تجزیه و تحلیل اسید آمینه از جلبک باید انجام شود. موضوع چالش برانگیز

است (اورلند و همکاران، ۲۰۱۹). میزان پلی ساکارید جلبک‌ها تحت تأثیر چندین فاکتور مختلف شامل زیستی، فیزیکی و محیطی قرار دارد به عنوان مثال زمان برداشت، گونه‌های جلبک و دستورالعمل و شیوه استخراج پلی ساکارید ممکن است میزان و ساختار آن را تحت تأثیر قرار دهد. این مسئله تأثیر قابل توجهی بر عملکرد و خواص پلی ساکاریدها می‌گذارد (هولدت (Holdt, S.L.) و کرن، ۲۰۱۱).

ابتدای دستگاه گوارش عبور کرده و به انتهای روده می‌رسد فیبر نامحلول اطلاق می‌شود که اولی منجر به افزایش وزیکوزیته در روده و دومی منجر به افزایش حجم مدفوع و کاهش زمان انتقال آن می‌شود. بنابراین زمانی که ماکروجلبک در جیره غذایی استفاده می‌شود فیبر بخش مهمی از آن می‌باشد.

در جدول ذیل اورلند و همکاران (۲۰۱۹) نشان داده‌اند که به طور متوسط فیبر محلول، فیبر نامحلول و فیبر کل در گونه‌های جلبک‌های قرمز کمتر از انواع سبز و قهوه‌ای



نمودار ۱- مقایسه کلی در نسبت بین اسیدهای آمینه ضروری در پودر ماهی، پودر سویا، جلبک قرمز جلبک سبز و جلبک قهوه ای

جدول ۲- محتوی کربوهیدرات و پلی ساکارید در ماکروجلبک‌ها (اورلند و همکاران، ۲۰۱۹)

ماده شیمیایی تشکیل دهنده a	جلبک قهوه ای	جلبک سبز	جلبک قرمز
انواع پلی ساکاریدها	آلژینات، لامینارین، فوکوئیدان، سلولوز، منیتال	الوان، مانن، گالاکتان، نشاسته، سلولوز، لیگنین	کاراجینان، آگار، گلوکان، سلولوز، لیگنین، فونوران
انواع مونو ساکاریدها	گلوکز، گالاکتوز، فوکوز، زایلوز، ارونیک اسید، مونوریک اسید، گولورونیک اسید، گوکونوریک اسید	مانوز، رامنوز، گلوکز، زایلوز، اوریک اسید، گلوکورونیک	گلوکز، گالاکتوز، آگارز
فیبر کل	۱۷۰-۶۹۰	۲۹۰-۶۷۰	۱۵۰-۵۹۰
فیبر محلول	۲۵۷-۳۷۰	۱۷۰-۲۴۰	۸۰-۳۷۰
فیبر نامحلول	۴۷-۴۰۰	۱۶۰-۱۹۰	۸۰-۲۷۰

* مقادیر بر حسب گرم در کیلوگرم a مقادیر بر حسب جلبک‌های خاص قرمز، قهوه ای و سبز

کاربرد ماکرو جلبک‌ها در جیره ماهیان

از دهه ۱۹۶۰ تا کنون تحقیقات زیادی به منظور دستیابی به منابع پروتئینی ارزان قیمت جهت تغذیه جمعیت انسانی در حال رشد و نیز تغذیه حیوانات از جمله آبزیان صورت گرفته است. از آنجایی که آرد ماهی فراوانترین و در عین حال گرانترین منبع پروتئین حیوانی در تولید جیره غذایی طیور، دام‌های پرورشی و آبزیان است، بازارهای جهانی همیشه به دنبال یک منبع جایگزین مناسب بوده‌اند (فراز د آرودا و همکاران، ۲۰۰۷). منابع گیاهی و جانوری جایگزین برای آرد ماهی مانند آرد سویا، آرد کتان، آرد گلوتن ذرت، آردهای اسکوئید، میگو، استخوان و گوشت، آرد هیدرولیز شده پر، خون و ضایعات طیور در تحقیقات متعددی به منظور جایگزینی جزئی یا کامل با آرد ماهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ اما حتی این منابع پروتئینی برای صنعت رو به رشد آبی پروری کافی نخواهند بود (رانگاچارپولو و همکاران، ۲۰۰۳). با وجود تحقیقات گسترده‌ای که انجام شده، تا کنون منبع پروتئین جانوری یا گیاهی مناسب که بتواند بصورت کامل جایگزین آرد ماهی شود، گزارش نشده است. همانطور که گفته شد، کاهش وابستگی به آرد ماهی امری ممکن است، اما جایگزینی کامل آرد ماهی با سایر جایگزین‌ها بدون تأثیر بر عملکرد رشد ماهی و میگو، امری غیر ممکن است (ماکار و همکاران، ۲۰۱۶). در ارتباط با جایگزینی آرد ماهی با پروتئین‌های گیاهی مانند سویا، کلزا، ذرت و... در جیره آبزیان پرورشی، تحقیقات گسترده‌ای در دنیا صورت گرفته و نتایج ارزشمند و سطوح بهینه متفاوتی نیز گزارش شده است. در این میان بیشتر تحقیقات در ارتباط با جایگزینی آرد ماهی با آرد سویا بوده و در مورد دیگر پروتئین‌های گیاهی از جمله جلبک‌های دریایی، تحقیقات کمتری صورت گرفته است. از سوی دیگر، کمبودهای موجود در پروفیل اسیدهای آمینه و وجود برخی مواد ضد تغذیه‌ای (Anti-nutrients) در اکثر محصولات کشاورزی دامنه استفاده از آنها را محدود می‌سازد و امروزه محققین با استفاده از تکنولوژی بدنال حذف این عوامل ضد تغذیه‌ای هستند (هاردی، ۱۹۹۹).

استفاده از آرد جلبک دریایی در غذای دام و آبزیان، اولین بار در سال ۱۹۶۰ در کشور نروژ بوده است که از جلبک‌های قهوه‌ای خشک و آسیاب شده در غذای آبزیان

استفاده شد. همچنین مصطفی و همکاران در سال ۱۹۹۵ بعد از نروژی‌ها اهمیت ماکرو جلبک‌ها را به عنوان اقلام غذایی در جیره ماهیان مطرح کردند. پس از آن چندین مطالعه به منظور استفاده از ماکرو جلبک‌های دریایی (سارگاسوم، پورفیرا، اولوا، گراسیلاریا و پادینا) در جیره غذایی آبزیان انجام گرفت که تعدادی از آنها در ذیل اشاره خواهد شد.

مرشدی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کرده‌اند که گنجاندن *گراسیلاریا پالویناتا* (*Gracilaria pulvinata*) در جیره غذایی سی ب‌اس آسیایی (*Lates calcarifer*) بر پارامترهای خون و ایمنی اثرگذار بوده ولی بر ترکیب لاشه ماهی تأثیر نداشت. در این مطالعه رژیم غذایی حاوی ۳٪ *گراسیلاریا پالویناتا* (*Gracilaria pulvinata*) بر عملکرد رشد، ترکیب بدن و پارامترهای سلامت ماهی اثر بهتری را نشان داد (مرشدی و همکاران، ۲۰۱۸). در مطالعه دیگر روی سی ب‌اس آسیایی، با جایگزینی ماکرو جلبک های *Kappaphycus alvarezii* و *Euचेuma denticulatum* در *Sargassum polycystum* در سطح ۵٪، اختلاف معنی داری در پارامترهای رشد دیده نشد (شپاوی و زمی، ۲۰۱۶). مطالعه سولر ویلا و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان داده است که میزان ماکرو جلبک قرمز پورفیرا (*Porphyra dioica*) اثر منفی روی رشد ماهی قزل آلابی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در سطح ۱۵ درصد داشته است اما در سطح ۱۰ درصد جایگزینی ماکرو جلبک پورفیرا بدون تأثیر منفی بر روی عملکرد رشد و تغذیه، ترکیب لاشه ماهی و رنگ گوشت ماهی را از نظر میزان رنگدانه بهبود بخشید. همچنین فام و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کرده‌اند که استفاده از ۶٪ پودر ماکرو جلبک *هیزیکیا فسیفرم* (*Hizikia fusiformis*) در جیره غذایی ماهی کفشک زیتونی (*Paralichthys olivaceus*) عملکرد رشد را در مقایسه با بقیه تیمارها (سطوح صفر، ۲ و ۴٪) افزایش داد. نتایج مطالعه واصف و همکاران (۲۰۰۵) روی دو ماکرو جلبک *الوا لاکتوکا* (*Ulva lactuca*) و *پیتروکلادیا کاپیلاسیا* (*Pterocladia capillacea*) نشان داده است که استفاده ۵ درصدی از دو ماکرو جلبک مذکور در جیره غذایی ماهی سی ب‌اس (*Dicentrarchus labrax*) باعث بهبود رشد و افزایش بقا شد. همچنین نتایج پژوهش مصطفی و همکاران (۱۹۹۵) روی ماهی شانک قرمز (*Pagrus major*) نشان داد که تغذیه با سه نوع ماکرو جلبک

نیازهای غذایی آبی ایفا کند. به طور کلی ماکرو جلبک‌ها پتانسیل بالایی برای استفاده به عنوان مکمل یا ماده اولیه در جیره غذایی آبزیان و سایر حیوانات دارند. با این حال استفاده تجاری از آن‌ها به دسترسی اولیه بیشتر به محصول خام آن و کیفیت محصول از نظر ترکیب بیوشیمیایی دارد. علاوه بر این استفاده از پتانسیل بالقوه ماکرو جلبک‌های دریایی در جیره آبزیان به هزینه‌های درگیر در تولید، برداشت و فرآوری آنها پیش از استفاده در جیره‌های غذایی آبزیان در مقایسه با محصولات کنونی استفاده شده در جیره‌ها بستگی دارد. از این نظر عوامل محدود کننده‌ای که باعث کاهش و حتی مانع هضم و مصرف ماکرو جلبک‌ها توسط آبزیان می‌شود را باید در تحقیقات مختلف شناسایی کرده و اثرات تغذیه‌ای و فیزیولوژیک آن‌ها در دراز مدت مورد ارزیابی قرار گیرد. اکثر مطالعات صورت گرفته نتایج قابل قبولی را در استفاده از ماکرو جلبک‌ها به عنوان جایگزین نسبی آرد ماهی (به میزان حداکثر ۱۰ درصد) گزارش کرده‌اند. با این حال نتایج تحقیقات نشان داده است که حوزه تأثیر استفاده از ماکرو جلبک‌ها در جیره غذایی آبزیان به گونه جلبک مورد استفاده، گونه ماهی مورد مطالعه و هم چنین سطح جایگزینی بستگی دارد و باید برای هر کدام از گونه‌های ماهیان پرورشی نوع و میزان استفاده از جلبک مورد مطالعه قرار گیرد.

اسکوفیلوم نودوسوم (*Ascophyllum nodosum*)، پوفیرا یزونسیس (*Porphyra yezoensis*)، الو پرتوسا (*Pertusa pertusa*) به میزان ۵٪ باعث بهبود رشد شد. در اکثر تحقیقات انجام گرفته، جایگزینی ماکرو جلبک به میزان ۱۰-۵ درصد نقشی مثبت و تاثیرگذار داشته و در سطوح بالاتر از این مقدار عملکرد رشد و تغذیه ماهیان به صورت منفی و قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌گرفت (پیرا و همکاران، ۲۰۱۲) و این روند در مطالعات گوناگون گزارش شده (حسن و چکراپارتی، ۲۰۰۹) و علت آن کاهش قابلیت هضم پروتئین و چربی به دلیل خاصیت ضد تغذیه‌ای پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای محلول (Non-Starch Polysaccharide) در جلبک‌ها ذکر شده است که میزان آن با افزایش درصد ماکرو جلبک در جیره غذایی، افزایش می‌یابد. پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای با مانع شدن از فعالیت آنزیم‌های گوارشی یا با اتصال به اسیدهای صفراوی، موجب کاهش هضم و جذب نوترینت‌ها می‌شوند.

نتیجه گیری

از آنجا که تغذیه نقش مهمی در رشد آبزیان دارد، استفاده از جیره غذایی مناسب می‌تواند نقش بسزایی در تأمین

منابع

۱. قرنچیک، ب.م، آبکنار، ع.م. ۱۳۷۹. "شناسایی جلبک‌های دریایی سواحل استان سیستان و بلوچستان". مجله علمی شیلات ایران، سال نهم، شماره ۱، صفحه ۳۷-۴۸.
2. Ayoola, A.A. 2010. Replacement of Fish Meal with Alternative Protein Source in Aquaculture Diets. M.Sc. Thesis, North Carolina State University, North Carolina, USA.
3. Angell, A. R., Mata, L., de Nys, R., & Paul, N. A. 2016. The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *Journal of Applied Phycology*, 28(1): 511-524.
4. Bouraoui, L., Sánchez-Gurmaches, J., Cruz-García, L., Gutiérrez, J., Benedito-Palos, L., Pérez-Sánchez, J., & Navarro, I. 2011. Effect of dietary fish meal and fish oil replacement on lipogenic and lipoprotein lipase activities and plasma insulin in gilthead sea bream (*Sparus auratus*). *Aquaculture Nutrition*, 17: 54-63.
5. Collins, S.A., Shand, P.J., & Drew, M.D. 2011. Stabilization of linseed oil with vitamin E, butylated hydroxytoluene and lipid encapsulation affects fillet lipid composition and sensory characteristics when fed to rainbow trout. *Animal Feed Science and Technology*, 170: 53-62.
6. FAO. (2016). The State of World Fisheries and Aquaculture 2016-Meeting the sustainable development goals: FAO Rome, Italy.
7. Ferraz de Arruda, L., Borghesi, R., & Otterer, M. 2007. Use of Fish Waste as Silage - A Review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50: 879-886.
8. Garcia-Vaquero, M., & Hayes, M. 2016. Red and green macroalgae for fish and animal feed and human functional food development. *Food Reviews International*, 32(1): 15-45.
9. Güroy, D., Güroy, B., Merrifield, D.L., Ergün, S., Tekinay, A.A., & Yiğit, M. 2011. Effect of dietary *Ulva* and *Spirulina* on weight loss and body composition of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), during a

- starvation period. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95: 320–327.
10. Hasan, M.R., & Chakrabarti, R. 2009. Use of Algae and Aquatic Macrophytes as Feed in Small-Scale Aquaculture: A Review. Food and Agriculture Organization of the United.
 11. Holdt, S.L., & Kraan, S. 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23: 543–597.
 12. Hardy, R.W. 1999. Aquaculture's rapid growth requirements for alternative protein sources. *Feed Management Journal*, 50: 25-28.
 13. Kumar, C.S., Ganesan, P., Suresh, P.V., & Bhaskar, N. 2008. Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds- a review. *Journal Food Science Technology*, 45:1-13.
 14. Li, M. H., Robinson, E. H., Tucker, C. S., Manning, B. B., & Khoo, L. 2009. Effects of dried algae *Schizochytrium* sp., a rich source of docosahexaenoic acid, on growth, fatty acid composition, and sensory quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 292: 232-236.
 15. Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuze, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., & Ankers, Ph. 2016. Seaweeds for livestock diets: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 212:1–17.
 16. Morshedi, V., Nafisi Bahabadi, M., Sotoudeh, E., Azodi, M., & Hafezieh, M. 2018. Nutritional evaluation of *Gracilaria pulvinata* as partial substitute with fish meal in practical diets of barramundi (*Lates calcarifer*). *Journal of Applied Phycology*, 30(1): 619-628.
 17. Mustafa, G., Wakamatsufa, S., Takeda, T., Umino, T., & Nakagawa, H. 1995. Effects of algae meal as feed additive on growth, feed efficiency, and body composition in red sea bream. *Fisheries Science*, 61(1): 25-28.
 18. Nakagawa, H., & Montgomery, W.L. 2007. Algae. In: H. Nakagawa, M. Sato, Gatlin III D. M. (eds), *Dietary supplements for the health and quality of cultured fish*. Cabi International, Cambridge, USA, pp. 133–167.
 19. Overland, M., Mydland, L.T., & Skrede, A. 2019. Marine macroalgae as a source of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *Norwegian University of Life Sciences*, 99(1): 13-24.
 20. Pereira, R., Valente, L.M.P., Sousa-Pinto, I., & Rema, P. 2012. Apparent nutrient digestibility of seaweeds by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Algal Research*, 1: 77–82.
 21. Pham, M. A., Lee, K. J., Lee, B. J., Lim, S. J., Kim, S. S., Lee, Y. D., & Lee, K. W. (2006). Effects of dietary *Hizikia fusiformis* on growth and immune responses in juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 19(12), 1769-1775.
 22. Rangacharyulu, P.V., Giri, S.S., Paul, B.N., Yashoda, K.P., Rao, R.J., Mahendrakar, N.S., Mohanty, S.N., & Mukhopadhyay, P.K. 2003. Utilization of fermented silkworm pupae silage in feed for carps. *Bioresource Technology*, 86: 29–32.
 23. Shapawi, R., & Zamry, A.A. 2016. Response of Asian seabass, *Lates calcarifer* juvenile fed with different seaweed-based diets. *Journal of Applied Animal Research*, 44 (1): 121-125.
 24. Smith, J.L., Summers, G., & Wong, R. 2010. Nutrient and heavy metal content of edible seaweeds in New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38: 19–28.
 25. Soler-Vila, A., Coughlan, S., Guiry, M.D., & Stefan, K. 2009. The red algae *Porphyra dioica* as a fish-feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effects on growth, feed efficiency, and carcass composition. *Journal of Applied Phycology*, 21: 617–624.
 26. Tiwari, B. K., & Troy, D. J. 2015. *Seaweed sustainability*. Academic Press. Elsevier Science. p 472.
 27. Wassef, E.A., Elmasry, M.H., & Mikhail, F.R. 2001. Growth enhancement and muscle structure of striped mullet, *Mugil cephalus* L., fingerlings by feeding algal meal-based diets. *Aquaculture Research*, 32: 315–322.