مروری بر کاربرد ریزجلبک ها در تغذیه آبزیان جهت افزایش بهره وری

مریم آخوندیان[۱*]، فاطمه قلی زاده[۲]

[۱]گروه زیست شناسی دریا- دانشکده علوم دریایی و محیطی- دانشگاه مازندران- بابلسر- ایران

[۲]گروه پژوهشی زیست فناوری تولید و فراوری ریزجلبک ها-جهاد دانشگاهی مازندران-ساری-ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

امروزه مواد غذایی پرورشی با منبع دریایی، حدود نیمی از کل تقاضای جهانی تغذیه برای مصرف انسان را تشکیل می دهد. همانطور که صنعت آبزی پروری به رشد خود ادامه می دهد، بازار خوراک آبزیان نیز در حال توسعه است. در حال حاضر، برخی از مواد تشکیل دهنده خوراک آبزیان از ماهی های ارزان قیمت (به صورت پودر ماهی) و گیاهان تهیه می شود. تولید پودر ماهی را به دلیل افزایش فشار بر پایداری اکوسیستم های آبی، نمی‌توان افزایش داد. از این رو باید تولید منابعی جایگزین و سازگار با محیط زیست برای مواد تشکیل دهنده خوراک آبزیان توسعه یابد. زیست توده ریزجلبک ها پتانسیل بالقوه برای استفاده به عنوان منبع تغذیه جایگزین را نشان می دهد، زیرا متابولیت‌های سلولی این میکروارگانیسم ها حاوی ترکیبی از اسیدهای آمینه ضروری، اسید های چرب غیر اشباع، ویتامین ها و رنگدانه ها هستند. در کنار این خواص منحصر به فرد و ترکیبات فعال زیستی که یک جزء اصلی در تغذیه آبزیان می باشد، ریزجلبک ها می توانند باعث افزایش بقای گونه های پرورشی، بهبود رنگ و کیفیت فیله شوند. ریزجلبک ها بالاترین بهره وری زیست توده ای را در میان فتوسنتزکنندگان از جمله محصولات علوفه ای دارند و بنابراین از پتانسیل تجاری بالایی برخوردارند. همچنین، تولید ریزجلبک ها نیازی به زمین زراعی و منابع آب خاص نداشته، از این رو خوراک مبتنی بر ریزجلبک ها به پایداری محیط زیست کمک شایانی می نماید. این مقاله مروری بر مطالعات انجام شده در خصوص پتانسیل و کاربرد ریزجلبک ها در تغذیه آبزیان جهت افزایش بهره وری تولیدات آبزی پروری است.

کلمات کلیدی: آبزی‌پروری، بهره‌وری، تغذیه، ریزجلبک، زیست‌توده

* نویسنده مسئول: m.akhoundian@umz.ac.ir

مقدمه

آبزی پروری صنعتی رو به رشد در مبحث تغذیه جمعیت انسانی است، به گونه ای که ارزش جهانی بازار آبزی پروری در سال ۲۰۱۹ حدود ۳۱/۹۴ میلیارد دلار تخمین زده شد (Jolly & Clonts, 2020). این پیشرفت به دلیل تقاضای بازار و مصرف رو به رشد انسان ها از آبزیان است. امروزه گوشت ماهی به عنوان یک منبع کلیدی پروتئین در رژیم غذایی انسان در نظر گرفته می شود (Abdel-Latif *et al.*, 2020). بر اساس گزارش سازمان فائو در سال ۲۰۱۶، گوشت ماهی تقریباً ۲۰ درصد از پروتئین مورد نیاز بیش از ۳ میلیارد انسان را تامین می کند. بر اساس این آمار، پیش بینی می شود که تقاضای بالا برای گوشت ماهی باعث رشد آبزی پروری شده و تولید آبزیان پرورشی تا سال ۲۰۲۵ از مرز ۱۰۰ میلیون تن فراتر خواهد رفت (Pauly & Zeller, 2017). بر اساس مطالعات انجام شده، کمبود منابع آب شیرین و خوراک مناسب ماهیان پرورشی، باعث کاهش کیفیت گوشت ماهیان و کاهش نرخ رشد آنها در سال می شود. اگرچه روغن ماهی و پودر ماهی دارای بالاترین ارزش غذایی برای آبزیان پرورشی هستند، اما بسیار گران بوده و در دراز مدت باعث آسیب به اکوسیستم های آبی می شوند (Mo *et al.*, 2018). بر همین اساس، نیاز به مطالعات مختلف برای یافتن جایگزین های مناسب احساس می گردد.

در حال حاضر، گونه های تجاری ۷۰ درصد از کل ماهیان صنعت آبزی پروری را تشکیل می دهند، که پرورش حدود ۶۸ درصد از این گونه های تجاری به تغذیه از پودر ماهی متکی است (Tacon, 2020). پودر ماهی که هم از ماهی های کوچک و هم از مواد زائد ماهی به شکل سنتی تهیه می شود، به دلیل خواص زیر یک ماده غذایی بسیار مورد توجه برای پرورش دهندگان است: (الف) قابلیت هضم بالا و خوش خوراکی برای ماهی (ب) ترکیب و غلظت متعادل پروتئین، مواد معدنی، اسیدهای چرب ضروری و اسیدهای آمینه ضروری (پ) ضریب تبدیل خوراک پائین (به این معنی که درصد بالایی از خوراک به زیست توده ماهی تبدیل می شود) و این امر منجر به تولید ضایعات خوراکی کمتر می گردد و (ت) افزایش ایمنی که منجر به نرخ بقای بالاتر ماهیان خواهد شد (Nagappan *et al.*, 2021).

بر اساس گزارش ناپاگان و همکاران (Nagappan *et al.*, 2021) تقاضا برای خرید پودر ماهی توسط پرورش دهندگان طی یک دهه اخیر حدود ۳۰۰ درصد افزایش داشته است، در حالی که دیگر ماده غذایی مورد استفاده در خوراک ماهیان، یعنی کنجاله سویا، شاهد چنین رشد تقاضایی نبوده است. در حال حاضر اغلب پودر و روغن ماهی از ماهیان وحشی به دست می آید که امکان بهره برداری از آنها محدود است. باید توجه کرد که ماهی های پلاژیک که برای تهیه پودر ماهی صید می شوند، اغلب منبع تغذیه سایر ماهیان در اکوسیستم های طبیعی هستند و ذخایر آنها در نتیجه اثرات طبیعی مانند ال نینو و همچنین اثرات انسانی مانند صید بی رویه، رو به کاهش است (Bakun & Broad, 2003).

با توجه به مطالب ارائه شده، امروزه بسیاری از صنایع و محققان در جستجوی جایگزین‌هایی مناسب، پایدار و اقتصادی برای پودر ماهی، کنجاله سویا و روغن ماهی هستند. افزودنی های جایگزین در جیره آبزیان به طور قابل توجهی در بهبود بازدهی مزارع پرورش ماهی موثر است (Farag *et al.*, 2016; Naiel *et al.*, 2021) و لازم است قبل از پرداختن به استفاده از ریزجلبک ها توجهی به خوراک رایج و جایگزین های پیشنهادی داشته باشیم.

به دلیل این که تنها یک منبع غذایی قادر به تامین نیازهای تغذیه ای آبزیان پرورشی مانند کربوهیدرات، پروتئین، چربی و ... نیست، همواره از چندین منبع برای تولید غذای گونه های مختلف آبزیان استفاده می شود. کربوهیدرات جیره غذایی آبزیان معمولا از برنج، ذرت، گندم، نشاسته سیب زمینی و ... تامین می گردد (Hodar *et al.*, 2020). منابع پروتئینی خوراک عموما از گیاهان، حشرات، حیوانات و منابع میکروبی به دست می آید. پروتئین های گیاهی معمولاً شامل کنجاله سویا ، نخود فرنگی، گلوتن ذرت و گندم، مشتقات نیشکر، جلبک ها، کلزا و ... می باشد (Montoya-Camacho *et al.*, 2019). از پروتئین های حیوانی می توان به پودر ماهی، پودر خون، پودر پر، فضولات حیوانی و... (Mo *et al.*, 2018) و از پروتئین های میکروارگانیسم ها نیز به باکتری ها، مخمر ها و ریزجلبک ها اشاره نمود (Jones *et al.*, 2020). چربی و لیپید جیره آبزیان معمولا توسط روغن های ماهی، آفتابگردان، کلزا، سویا و سایر روغن های نباتی

تامین گشته و برای سایر فاکتور های جیره مثل فیبر، ویتامین، مواد معدنی و اسید های آمینه عموما از مواد اصلاح شده با مقادیر امگا-۳ بالا مثل کلزا و کاملینا استفاده می‌گردد (Jones *et al.*, 2020).

این منابع غذایی ذکر شده، مزیت هایی چون مغذی بودن، ترکیبات فعال زیستی و تولید پایدار دارند، اما استفاده از چنین جایگزین هایی دارای معایبی نیز می باشد. به عنوان مثال، یکی از معایب قابل توجه منابع گیاهی، وجود عوامل غیرغذایی و فیبرهای غیر قابل هضم فراوان است (Kokou & Fountoulaki, 2018). کنجاله های برگرفته شده از باکتری ها و پروتئین های تهیه شده از حشرات هزینه های بالایی برای تولید داشته و از نظر اقتصادی به صرفه نیستند. روغن های گیاهی اغلب غنی از اسیدهای چرب امگا ۶ هستند در حالی که از نظر اسیدهای چرب امگا ۳ ضعیف می باشند و باید در کنار آنها از مکمل های امگا ۳ استفاده نمود (Shah *et al.*, 2018). اگرچه مطالعات نشان داده است خوراک گیاهی در رشد ماهی موثر است، اما فاقد اسید آمینه های ضروری می باشد، که این امر در کاهش کیفیت ماهی پرورشی اثر گذار است. همچنین تحقیقات نشان داده که هضم پروتئین های گیاهی برای آبزیان مشکل می باشد (Nagappan *et al.*, 2021).

ریزجلبک ها به عنوان خوراک آبزیان

طبق مطالعات انجام شده، تقاضای جهانی برای ریزجلبک تا سال ۲۰۲۰ به ۳/۴ میلیارد دلار رسیده و انتظار می رود این میزان در هفت سال آینده حدود ۴/۳ درصد رشد داشته باشد (Nagappan *et al.*, 2021). تاکنون، استفاده صنعتی از ریزجلبک ها عمدتاً مبتنی بر محصولات غذایی و گونه های مرتبط با لوازم آرایشی مانند *Spirulina* sp. و *Dunaliella salina* بوده است. همچنین در استخر های پرورش لارو ماهی از گونه هایی مانند *Isochrysis* sp. و *Pavlova* sp. به عنوان خوراک زنده برای لاروها استفاده می کنند، اگرچه این گونه صنایع عمدتاً در مقیاس کوچک و انگشت شمار هستند. اخیرا مطالعاتی بر روی ریزجلبک‌ها به عنوان منبعی بالقوه برای خوراک ماهیان انگشت قد و ماهی های بالغ صورت گرفته است (Hodar *et al.*, 2020) که نتایج امیدوار کننده ای را نشان می دهد.

بازدهی خالص زیست توده ریز جلبک ها بیشتر از هر جاندار خشکی زی است (Rizwan *et al.*, 2018). برخلاف گیاهان خشک‌زی، ریزجلبک ها برای رشد به زمین های حاصلخیز نیاز ندارند و همچنین، ریزجلبک ها متکی به منابع آبی خاص نبوده و می توان آنها را در آب دریا و حتی آب های فاضلابی پرورش داد (Li *et al.*, 2019). بنابراین، الگوهای موجود برای پرورش ریز جلبک ها هیچگونه نیازی به تأمین زمین زراعی و آب شرب ندارند. همچنین نیاز به مواد مغذی ریزجلبک ها برای پرورش، نسبت به حشرات و باکتری ها، کمتر می باشد. این در حالی است که از ریزجلبک ها در حین پرورش می توان به عنوان پالایشگر زیستی نیز استفاده نمود (Arun *et al.*, 2020; Nagappan & Nakkeeran, 2020). ریزجلبک‌ها می‌توانند به طور مؤثر در پساب‌های مختلف، از جمله آب خروجی استخر های پرورشی رشد کنند (Dourou *et al.*, 2018; Malibari *et al.*, 2018).

ریزجلبک ها بر خلاف مخمر ها و باکتری ها، منبعی غنی از چربی و پروتئین می باشند (جدول ۱). این میکروارگانیسم های مفید، دارای ترکیب اسید آمینه های متعادلی بوده که نیاز به استفاده از مکمل های اسید آمینه با هزینه بالا در رژیم غذایی را برطرف می کند. به عنوان مثال می توان از ریزجلبک هایی چون کلرلا و کلامیدوموناس نام برد که دارای مقادیر زیادی متیونین هستند، در حالی که گیاهان فاقد این ترکیب می باشند (Wan *et al.*, 2019).

جدول ۱: مقایسه ترکیبات اصلی برخی از ریزجلبک ها در مقایسه با سایر خوراک های رایج در آبزی پروری

ریزجلبک/خوراک	کربوهیدرات (٪)	پروتئین (٪)	چربی (٪)	منبع
Anabaena cylindrica	۲۵ - ۳۰	۴۳ - ۵۶	۴ - ۷	(Becker, 2007)
Botryococcus braunii	۱۸/۵	۳۹/۹	۳۴/۴	Tavakoli *et al.*, 2021)
Chlamydomonas rheinhardii	۲/۹ - ۱۷	۴۳ - ۵۶	۱۴-۲۲	(Becker, 2007)
Chlorella vulgaris	۱۲-۱۷	۵۱-۵۸	۱۴-۲۲	
Dunaliella sp.	۲۰/۴۴	۴۰/۴۶	۱۵/۵۱	Madeira *et al.*, 2017)
Dunaliella salina	۴-۳۲	۴۹-۵۷	۶-۸	(Becker, 2007)
Euglena gracilis	۱۴-۱۸	۳۹-۶۱	۱۴-۲۲	
Nannochloropsis granulata	۳۶/۲	۳۳/۵	۲۳/۶	Tibbetts *et al.*, 2017)
Porphyridium aerugineum	۴۵/۸	۳۱/۶	۱۳/۷	Madeira *et al.*, 2017)
Scenedesmus obliqus	۱۰-۵۲	۵۰-۵۶	۱۴-۲۲	(Becker, 2007)
Spirulina platensis	۲۲/۲	۵۵/۸	۱۴/۲	Madeira *et al.*, 2017)
Spirulina maxima	۱۳-۱۶	۶۰-۷۱	۶-۷	
Spirogyra sp.	۳۳-۶۴	۶-۲۰	۱۱-۲۱	(Becker, 2007)
Tetraselmis sp.	۴۵/۴	۲۷/۲	۱۴	Tulli *et al.*, 2012)
پودر پر	-	۸۴/۲	۱۰/۴	Yu *et al.*, 2020)
Hermetia illucens	-	۴۳/۶	۳۳/۱	Varelas, 2019)
Saccharomyces cerevisiae	۴/۶	۵۰/۱	۱/۸	Blomqvist *et al.*, 2018)
پودر ماهی	-	۶۳	۱۱	Hodar *et al.*, 2020)
گلوتن ذرت	۱۸/۵	۶۲	۴	Liu *et al.*, 2020)
کنجاله سویا	۳۹	۴۴	۲/۲	El-Sayed, 1994)
کنجاله گندم	۶۹	۱۲/۲	۲/۹	Sørensen *et al.*, 2011)
جلبک قهوه ای	۳۸-۶۱	۲/۴-۱۶/۸	۰/۳-۹/۶	Wan, *et al.*, 2019)
جلبک سبز	۱۵-۶۵	۳۲/۲-۳۵/۲	۰/۳-۲/۸	
جلبک قرمز	۳۶-۶۶	۶/۴-۳۷/۶	۰/۲-۱۲/۹	

نوع کربوهیدرات یکی از ویژگی های مهم در ارزیابی خوراک آبزیان است. برای مثال، محتوای نشاسته - کربوهیدرات آسان هضم در گونه های ریزجلبکی از ۷ تا ۴۵ درصد است (Dragone *et al.*, 2011). بر اساس تحقیقات، گونه هایی مانند *Tetraselmis subcordiformis*، *Chlamydomonas rheinhardtii* و *Chlorella vulgaris* عموما دارای محتوای نشاسته بالاتری (۳۰ الی ۴۹ درصد) نسبت به سایر گونه های ریزجلبکی می باشند (Dragone *et al.*, 2011; Yao *et al.*, 2012). همچنین محتوای فیبر - کربوهیدرات های پیچیده در ریزجلبک ها از ۵ تا ۱۸ درصد متغیر است (Matos *et al.*, 2016) برخلاف گیاهان خشکزی، فیبر در ریزجلبک ها فاقد لیگنین بوده و حاوی مقدار اندکی همی‌سلولز می باشد که این امر موجب قابلیت هضم بهتر آنها می گردد (Niccolai *et al.*, 2019). برخی گونه های ریز جلبک از جمله *Spirulina* sp. و *Chlorella vulgaris* دارای محتوای فیبر کم (به ترتیب ۸/۵ و ۵/۶ درصد) هستند، در حالی که گونه های مختلف مانند *Tetraselmis* sp.، *Nannochloropis* sp. *Tisochrysis* sp. و *Phaeodactylum* sp. دارای محتوای فیبر بالاتری می باشند (Niccolai *et al.*, 2019). علاوه بر این، ثابت شده است که محدودیت وجود

مواد مغذی در محیط آبی، باعث افزایش محتوای کربوهیدرات و لیپید در ریزجلبک ها می شود (Chen *et al*., 2017; Nagappan *et al*.,2019; Nagappan *et al*., 2020). باید دانست که ریزجلبک ها دارای انواع رنگدانه ها با خواص آنتی اکسیدانی هستند (Akhoundian & Mirhasannia, 2017) و برخی از ریزجلبک ها، ویتامین ها و محرک های ایمنی فراوانی در سلول های خود تولید می کنند که می تواند به سلامت آبزیان پرورشی کمک کند (Prabha *et al*., 2020; Zhou *et al*., 2019). رنگدانه های ریزجلبکی چون آستازانتین می توانند رنگ جذابی نیز به فیله ماهیان پرورشی داده و بازار پسندی آنها را افزایش دهند (Posten & Schaub, 2009). برخی از ریزجلبک‌ها دارای مقادیر زیادی اسیدهای چرب امگا ۳ مانند اسید دوکوزاهگزانوئیک (DHA) و ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) هستند، این اسیدهای چرب نه تنها برای ماهیان پرورشی، بلکه برای سلامتی انسان نیز مفید می باشند (Ryckebosch *et al*., 2012). به طور طبیعی، میزان اسیدهای چرب امگا ۳ در ماهیان دریایی که رژیم غذایی حاوی جلبک دارند بسیار بالاست. در پژوهشی در خصوص انواع خوراک جایگزین برای ماهیان، ریزجلبک های غنی از اسید چرب امگا ۳ (همچون *Spirulina* sp.، *Cholorella* sp. و ...) جایگزینی مناسب برای لیپید های موجود در خوراک های رایج و روغن ماهی معرفی گردید (Cottrell *et al*., 2020).

اثر ریزجلبک ها بر رشد و افزایش وزن آبزیان پرورشی

طبق مطالعات صورت گرفته، هنگامی که آبزیان با جیره غذایی حاوی مقدار کم تا متوسط (۲ الی ۱۰ درصد) از ریزجلبک‌ها تغذیه شدند، افزایش وزن آنها مشابه و یا حتی بهتر از گونه های شاهد بود (جدول ۲). در یک مطالعه، محققان با افزودن ۵ درصد روغن ریز جلبک *Schizochytrium* sp. به جیره غذایی ماهی *Salmo salar* شاهد افزایش وزن ۳۱ درصدی آنها نسبت به ماهیان شاهد بودند (Wei *et al*., 2021). همچنین در مطالعه دیگری، افزودن تنها ۰/۷۵ درصد عصاره جلبک *Tetraselmis suecica* به خوراک میگوی *Litopenaeus vannamei* موجب افزایش وزن ۳۰ درصدی آنها نسبت به نمونه های شاهد گردید (Sharawy *et al*., 2020). در مقایسه با تمامی گونه های پرورشی، ماهی تیلاپیا تاکنون بیشترین و بهترین نتایج را در استفاده از جیره غذایی ریزجلبکی داشته است، مطالعات نشان داد که ۶۹، ۵۸ و ۴۹ درصد افزایش وزن در تیلاپیا با اضافه شدن به ترتیب ۱۵ درصد *Chlorella sp.*، ۱۴ درصد ترکیب *Nannochloropis sp.* و *Schizochytrium sp.* و ۱۰ درصد *Nannochloropis sp.* به جیره غذایی نسبت به نمونه های شاهد روی داده است (Nagappan *et al*., 2021). تحقیقات دیگر حاکی از آن است که استفاده از درصد های مختلف ریزجلبک اسپیرولینا در جیره کپور معمولی موجب افزایش وزن ۱۵ تا ۲۰ درصدی آنها نسبت به نمونه های شاهد گردیده است (Abdulrahman & Ameen, 2014). مطالعات بر روی ماهی *Acipenser baeri* نشان داد که با افزودن سطوح مختلف ریزجلبک *Spirulina* sp. به جیره غذایی، افزایش رشد نسبت به نمونه های شاهد رخ می دهد (Palmegiano *et al*., 2008).

باید توجه داشت که همواره اثر وجود ریزجلبک در جیره غذایی آبزیان مثبت نخواهد بود. غلظت بالای ریزجلبک در خوراک ماهی (به طور کل بیش از ۱۵ درصد) می تواند سرعت رشد و وزن ماهی را کاهش دهد، مطالعات نشان داده است که گنجاندن بیش از ۳۰ درصد زیست توده ریزجلبک *Arthospira* sp. در ترکیب با پودر ماهی nv جیره غذایی *Rhabdosargus sarba* موجب کاهش نرخ رشد می گردد (El-Sayed, 1994). تحقیقات مشابهی نشان داد که اضافه شدن ترکیب ریزجلبک های سبز و سیانوباکتری‌ها به مقدار ۱۵ تا ۲۰ درصد به جای پودر ماهی در جیره غذایی، ماهی قزل آلای رنگین کمان، کاهش رشد به همراه دارد (Dallaire *et al*., 2007). مطالعه دیگری نیز تأیید نموده که اگرچه افزودن ۵ درصد *Spirulina* sp. به جیره قزل آلای رنگین کمان موجب بهبود رشد می گردد، اما افزودن مقادیر بیشتر از این ریزجلبک به جیره غذایی، نتیجه ای معکوس دارد (Teimouri *et al*., 2013).

تاثیر استفاده از ریزجلبک ها بر ضریب تبدیل و مصرف خوراک

ضریب تبدیل خوراک یا FCR[1] به میزان خوراکی گفته می شود که به محصول مورد نظر تبدیل می گردد. به

[1] Feed Conversion Ratio

طور معمول، آبزیان در مقایسه با سایر جانوران به انرژی و غذای غنی از مواد مغذی بیشتری نیاز دارند (Cottrell *et al.*, 2020). بنابراین ضریب تبدیل خوراک آبزیان در مقایسه با سایر حیوانات پائین تر خواهد بود، با این حال، ضریب تبدیل خوراک، بسته به نوع ماده تشکیل دهنده آن، متفاوت است. در جدول ۳ نشان داده شده که ضریب تبدیل خوراک در گونه های آبزی تغذیه شده با ریزجلبک (۲ تا ۱۰ درصد) تحت تاثیر قرار نگرفته و در برخی موارد کاهش داشته است. به عنوان مثال، مطالعات کاهش تقریباً ۲۴ درصدی ضریب تبدیل خوراک میگوی *Litopenaeus vannamei* با رژیم غذایی حاوی ۰/۵ درصد *Tetraselmis suecica* در مقایسه با رژیم غذایی میگو های شاهد را نشان داد (Sharawy *et al.*, 2020). همچنین کاهش ۳۰ درصدی ضریب تبدیل با رژیم غذایی حاوی ۱۵ درصد *Chlorella* sp. در مقایسه با رژیم غذایی شاهد در ماهی *Oreochromis niloticus* مشاهده شد (Fadl *et al.*, 2020). در مطالعات فوق، مصرف خوراک توسط آبزیان مورد بررسی با پیشرفت مطالعه بهبود یافت. با این حال، میزان بالاتر ریزجلبک (بیش از ۲۵ درصد) در جیره غذایی باعث گرسنگی گونه هایی چون *Gadus morhua* شد (Walker & Berlinsky, 2011). پژوهش دیگری بر روی ماهی *Acipenser transmontanus* نشان داد که افزودن تنها ۰/۲ گرم به ازای هر کیلوگرم ریزجلبک *Spirulina* sp. به جیره غذایی، موجب بهبود بازده رشد و ضریب تبدیل غذا می گردد (Fakhabi *et al.*, 2014). به طور خلاصه، نوع و درصد ریزجلبک‌ها در خوراک آبزیان باید برای هر گونه آبزی بهینه سازی گردد تا گونه های پرورشی دارای ضریب تبدیل غذایی پائین و مصرف خوراک بهتری گردند.

تاثیر ریزجلبک ها بر قابلیت هضم آبزیان

مطالعات کمی نشان داد که ریزجلبک ها با افزایش قدرت هضم آبزیان می توانند در کاهش قیمت خوراک، ضریب تبدیل آن و اثرات نامطلوب تغذیه، مانند کمبود مواد مغذی موثر باشند (Moheimani *et al.*, 2018; Niccolai *et al.*, 2019). با این حال، پلی ساکاریدهای غیر نشاسته ای (فیبرهایی مثل پکتین، آلژنان، سلولز و...) که در ریزجلبک ها یافت می شوند، عمدتا غیرقابل هضم هستند (Gong *et al.*, 2018). همچنین دیواره سلولی مقاوم ریزجلبک ها عامل دیگری است که می تواند هضم غذا را در آبزیان تک معده مانند ماهی و میگو مختل کند (Niccolai *et al.*, 2019). ریخت‌شناسی دیواره سلولی ریزجلبک ها از گونه ای به گونه دیگر متفاوت است، به عنوان مثال، ریزجلبک های *Nannochloropsis gaditana* و *Desmodesmus* sp. به ترتیب حاوی دیواره سلولی غنی از پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای آلژنان و پکتین هستند (Becker, 2007; Kaur *et al.*, 2012; Scholz *et al.*, 2014) با این حال، دیواره سلولی ریزجلبک *Spirulina* sp. از موکوپپتیدها تشکیل شده است و از این رو به راحتی توسط آبزیان مصرف می شود (Becker, 2007; Bleakley & Hayes, 2017).

جدول ۲: اثر استفاده از ریزجلبک ها در جیره غذایی بر رشد و وزن آبزیان

آبزی	ریزجلبک	سطح گنجایش در جیره	جایگزین	افزایش وزن (٪) با خوراک مبتنی بر جلبک	افزایش وزن (٪) با جیره مرجع	درصد تفاوت بین افزایش وزن	رشد ویژه خوراک مبتنی بر جلبک	نرخ رشد ویژه جیره مرجع	درصد تفاوت بین نرخ رشد ویژه	منبع
Salmo salar	*Scenedesmus* sp.	۱۰	پودر ماهی	۹۵	۱۰۷	-۱۱	۰/۸	۰/۸۲	-۲	Gong *et al.*, 2019
Salmo salar	*Schizochytrium* روغن sp.	۵	روغن ماهی	۴۲۶	۳۲۶	۳۱	۱/۵	۱/۳	۱۵	Wei *et al.*, 2021
Oncorhynchus mykiss	*Scenedesmus* sp.	۵	پودر و روغن ماهی	۱۰۴	۱۰۸	-۳	۱/۸	۱/۹	-۵	Skalli *et al.*, 2020
Oncorhynchus mykiss	*Scenedesmus sp.*	۱۰	پودر ماهی	۳۲۵	۳۸۹	-۱۶	۱/۸	۱/۹	-۵	Tomás-Almenar *et al.*, 2018
Litopenaeus vannamei	*Schizochytrium* sp.	۷/۵	روغن ماهی	۶۳۷	۵۶۲	۱۳	۲/۳۶	۲/۲۴	۵	Allen *et al.*, 2019
Litopenaeus vannamei	*Tetraselmis* sp.	۰/۷۵	-	۱۶۲۵۵	۱۲۵۲۹	۳۰	۵/۵۶	۵/۳۸	۳	Sharawy *et al.*, 2020
Oreochromis niloticus	*Anabaena* sp.	۱/۵	پودر ماهی	۸۸	۷۳	۲۰	۶/۳۴	۶/۰۳	۵	Fadl *et al.*, 2020
Oreochromis niloticus	*Spirulina* sp.	۱۵	-	۱۸	۲۲	-۱۸	۰/۲۷	۰/۳۲	-۱۶	
Oreochromis niloticus	*Chlorella sp.*	۱۵	-	۳۸	۲۲	۶۹	۰/۵۱	۰/۳۲	۵۹	
Morone sp.	*Chlorella sp.*	۹/۵	پودر ماهی	۳۵۳	۳۸۶	-۹	۳/۰۸	۳/۲۳	-۵	de Cruz *et al.*, 2018
Carassius auratus gibelio	*Oedocladium sp.*	۴	روغن کنجاله سویا	۴۰	۴۳	-۸	۰/۸۵	۰/۹۲	-۸	Chen *et al.*, 2019
Carassius auratus gibelio	*Tribonema sp.*	۵	روغن کنجاله سویا	۴۰	۴۳	-۸	۰/۸۵	۰/۹۲	-۸	

جدول ۳- تأثیر رژیم غذایی مبتنی بر ریزجلبک بر ضریب تبدیل خوراک آبزیان

آبزی	ریزجلبک	سطح گنجایش در رژیم غذایی	ماده هدف برا جایگزینی	ضریب تبدیل جیره بر پایه ریزجلبک	ضریب تبدیل خوراک جیره مرجع	تفاوت ضریب تبدیل خوراک ریزجلبک به مرجع (٪)	منبع
Salmo salar	*Scenedesmus* sp.	۱۰	پودر ماهی	۰/۸۸	۰/۷۶	۱۶	Gong *et al*., 2019)
Salmo salar	روغن *Schizochytrium* sp.	۱۰	روغن ماهی	۰/۹	۰/۹	۰	Wei *et al*., 2021)
Oncorhynchus mykiss	*Scenedesmus* sp.	۵	روغن و پودر ماهی	۱/۱۴	۱/۱۵	-۱	Skalli *et al*., 2020)
Oncorhynchus mykiss	*Scenedesmus almeriensis*	۲/۵	پودر ماهی	۰/۸۹	۰/۸۴	۶	Tomás-Almenar et al., 2018)
Litopenaeus vannamei	*Schizochytrium* sp.	۷/۵	روغن ماهی	۲/۰۷	۲/۱۶	-۴	Allen *et al*., 2019)
Litopenaeus vannamei	*Tetraselmis* sp.	۰/۵	-	۱/۰۴	۱/۳۶	-۲۴	Sharawy *et al*., 2020)
Oreochromis niloticus	ترکیب *Spirulina* sp. و *Chlorella* sp.	۱۵-۱۵	-	۱/۴۹	۱/۷۸	-۱۶	Fadl *et al*., 2020)
Oreochromis niloticus	*Chlorella* sp.	۱۵	-	۱/۲۴	۱/۷۸	-۳۰	
Oreochromis niloticus	*Anabaena* sp.	۱/۵	پودر ماهی	۱/۱۴	۱/۳۴	-۱۵	
Scophthalmus maximus	*Nannochloropsis* sp.	۱۰	پودر ماهی	۰/۸۱	۰/۸۶	-۶	Qiao *et al*., 2019)
Dicentrarchus labrax	*Nannochloropsis* sp.	۸/۳	پودر ماهی، کنجاله	۱/۶	۱/۶	۰	Batista, Pereira, *et al*., 2020)

قابلیت هضم پروتئین، در تعیین فرمولاسیون خوراک مبتنی بر ریزجلبک مهم است. بر اساس مطالعات، قابلیت هضم پروتئین گونه های ریزجلبکی با دیواره سلولی سلولزی و ضخیم از جمله *Chlorella sp.* ، *Desmodesmus* sp. ،*Nannochloropsis* sp. و *Tetraselmis* sp. در گونه های آبزی به ترتیب ۸۰ الی ۸۹، ۵۴ الی ۶۷، ۶۹ الی ۸۱ و ۷۰ الی ۷۳ درصد است (Gong *et a*l., 2018; Moheimani *et al*., 2018; Niccolai *et al*., 2019; Skrede *et al*., 2011). از سوی دیگر گونه هایی با دیواره غیر سلولزی مانند *Isochrysis* sp. و *Spirulina* sp. قابلیت هضم پروتئین مشابه و بیش از ۸۶ درصد را نشان دادند (Niccolai *et al*., 2019; Skrede *et al*., 2011). در بررسی قابلیت هضم غذای خشک نیز، گونه های ریزجلبکی با دیواره غیر سلولزی در مقایسه با گونه هایی با دیواره سلولزی، هضم بهتری داشتند. مطالعات اخیر بر روی گونه های پرورشی دریایی نشان داده است که مکمل های غذایی با ریزجلبک های مختلف می توانند تا ۲۵ درصد بر مواردی چون بافت روده، وزن اندام ها، ارزیابی حسی و فعالیت آنزیم های گوارشی، اثرات مثبتی بگذارند (Patterson & Gatlin III, 2013; Tibaldi *et al*., 2015; Vizcaíno *et al*., 2018). همچنین مطالعات بر روی فیل ماهی *Huso huso* نشان داد که افزودن ۱۰ درصد ریزجلبک *Spirulina* sp. به جیره غذایی موجب افزایش رشد باکتری های مفید روده در کنار افزایش فعالیت آنزیم های پروتئاز و لیپاز گشته که این عوامل قدرت هضم و جذب غذا در این ماهی را افزایش می دهد (Adel *et al*., 2016).

شکستن دیواره سلولی می‌تواند قابلیت هضم ریزجلبک‌ها را افزایش دهد. میزان این شکست سلولی بر قابلیت هضم مواد مغذی آنها نیز تأثیر مستقیم دارد (*Agboola et al*., 2019). انتخاب مناسب ترین روش برای شکستن دیواره سلولی، بهبود دسترسی و افزایش قابلیت هضم ریزجلبک‌ها توسط آبزیان را ممکن می سازد (Batista *et al*., 2020). در یک مطالعه، از روش های پاستوریزاسیون گرم و سرد، ذوب کردن، خشک کردن انجمادی و آسیاب نمودن برای شکستن دیواره سلولی زیست توده *Nannochloropsis gaditana* استفاده شد و سپس از این زیست توده به عنوان ماده غذایی برای گربه ماهی آفریقایی و تیلاپیای نیل استفاده گردید. نتایج نشان داد که افزایش وزن ماهی و ضریب تبدیل خوراک برای جیره های تهیه شده با پاستوریزاسیون سرد و آسیاب، به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد نسبت به جیره شاهد بهبود یافت (Agboola *et al*., 2019). همچنین در مطالعه ای دیگر نتایج نشان داد که جیره های حاوی *Nannochloropsis oceanica* فرآوری شده به روش آنزیمی و *Chlorella vulgaris* و *Tetraselmis* sp. فرآوری شده به روش فیزیکی، قابلیت هضم پروتئین و انرژی بالاتری در مقایسه با نمونه های شاهد داشتند (Batista *et al*., 2020). فرآیند اکستروژن می‌تواند دیواره سلولی ریزجلبک ها را شکسته و به ماهیان اجازه دسترسی بیشتری به مواد مغذی دهد (Maehre *et al*., 2016; Shi *et al*., 2016; Venou *et al*., 2009). در یک بررسی علمی درخصوص تغذیه ماهی *Salmo salar* با زیست توده اکستروژن شده *Nannochloropsis* sp. نشان داده شد که زیست توده اکستروژنی نسبت به خوراک فرآوری شده غیراکستروژن به شکل های خاکستر و ماده خشک، برای ماهی قابل هضم تر است (Gong *et al*., 2018) در مطالعه دیگری که بر روی ماهی کپور انجام شد، مشخص شد که خوراک های اکسترود شده قابلیت هضم پروتئین و ماده خشک بالاتری نسبت به خوراک های پلت شده داشتند (Shi *et al*., 2016).

به دلیل تفاوت در الگوهای تغذیه ای و فیزیولوژی گوارشی در میان گونه های مختلف ماهی، فواید تغذیه‌ای یک گونه ریزجلبک در یک گونه هدف، معمولاً با سایر گونه‌ها یکسان نیست. برای مثال، میگو معده اسیدی ندارد و قزل آلا دارای دوره انتقال روده طولانی تری بوده که ممکن است منجر به هضم ضعیف اشکال پیچیده مواد مغذی ریز جلبکی شود (Tibbetts *et al*., 2017). در نتیجه، نیاز به تجزیه و تحلیل کامل قابلیت هضم ریزجلبک برای هرگونه وجود دارد.

تاثیر رژیم غذایی مبتنی بر ریزجلبک بر سلامت آبزیان

تاکنون چندین مطالعه نشان داده است که می توان طول عمر آبزیان را با رژیم غذایی حاوی ریزجلبک، بهبود بخشید. تحقیقات نشان داد که استفاده از ریزجلبک هایی مانند *Chaetoceros sp.* ، *Pavlova sp.*، *Nannochloropsis oculata* و *Isochrysis sp.*، در خوراک اسب دریایی *Hippocampus reidi* و صدف های*Pinctada margaritifera* موجب افزایش بقا و طول عمر آنها گشته است (*Martínez-Fernández* & Southgate, 2007; Mélo *et al.*, 2016). همچنین میزان بقای میگوی *Litopenaeus vannamei* با اضافه شدن ۱ تا ۲ درصد ریزجلبک *Dunaliella salina* به جیره غذایی آنها، افزایش یافت (Medina-Félix *et al.*, 2014). افزایش بقای آبزیان با خوراک‌های مبتنی بر ریزجلبک‌ها می‌تواند با ویژگی‌های عملکردی آن‌ها، از جمله اثرات پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها، محرک‌های ایمنی، ضد ویروسی، ضد باکتریایی و ... مرتبط باشد.

پروبیوتیک ها، انواع مختلفی از باکتری ها هستند که در تولید ویتامین ها و آنتی بیوتیک ها نقش داشته و موجب بهبود سلامت روده می گردند (Rachmilewitz *et al.*, 2004). مطالعات نشان داده است که ریزجلبک ها اثرات پروبیوتیکی بر روی آبزیان دارند. هنگامی که ماهی سلول های ریز جلبکی را مصرف می کند، میکروبیوم موجود در روده، سلول جلبکی را هضم کرده و مواد پروبیوتیک را آزاد می کند که این مواد می توانند عوامل بیماری‌زا را مهار کنند (Austin, 2006; Ghanbari *et al.*, 2015; Nayak, 2010). در یک مطالعه، از سلول‌های زنده *Tetraselmis suecica* در جیره غذایی میگوی سفید *Fenneropenaeus indicus* استفاده گردید، نتایج نشان داد که میزان باکتری‌های بیماری‌زا در روده میگوی تغذیه شده با ریزجلبک در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت (Regunathan & Wesley, 2004). تحقیقات دیگری نشان داد که با اضافه شدن تنها ۱/۲ درصد *Schizochytrium sp.* به جیره غذایی ماهی تیلاپیا، میکروبیوتای روده تحت تأثیر قرار گرفته و در نتیجه سلامت ماهی بهبود یافت (Souza *et al.*, 2020). مطالعات همچنین نشان داد، افزودن زیست توده خشک انجمادی *Chaetoceros* sp. به طور مستقیم در آب، باعث بهبود رشد باکتری های مفید در روده میگوی *Litopenaeus vannamei* گشته و همچنین بقای این گونه را در مراحل لاروی و پست لاروی افزایش می دهد (Nimrat *et al.*, 2011).

پری بیوتیک ها ترکیباتی در غذا هستند که باعث رشد یا فعالیت میکروارگانیسم های مفید روده مانند باکتری ها و قارچ ها می شوند (Hutkins *et al.*, 2016). مانند پروبیوتیک ها، پری بیوتیک ها برای سلامت و بهبود عملکرد روده آبزیان مفید هستند. تفاوت پری بیوتیک ها با پروبیوتیک ها در آن است که پری بیوتیک ها به طور ویژه بر پلی ساکاریدها و الیاف دیواره سلولی غیرقابل هضم اثر گذاشته و همچنین می توانند رشد باکتری های مفید مانند بیفیدوباکتری ها، لاکتوباسیل ها و... را در روده تحریک کنند (Dawood *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2017). علیرغم این واقعیت که وجود فیبر، پلی ساکارید و الیگوساکارید ریزجلبکی، مانند بتا گلوکان در *Chlorella vulgaris* و هومو گالاکتان در *Gyrodinium sp.*، به دفعات گزارش شده است، اما تاکنون اثر پری بیوتیکی آنها در آبزیان به طور کامل تأیید نگردیده است (Hemaiswarya *et al.*, 2011). از سوی دیگر، ثابت شده که کل زیست توده *Spirulina platensis* و *Isochrysis galbana* باعث رشد باکتری های مفید در مطالعات داخل آزمایشگاه و محیط بیرونی می شود (Dineshbabu *et al.*, 2019; Hemaiswarya *et al.*, 2011). در حال حاضر، شرکت‌های دانش بنیان فعال در زمینه جلبک به صورت تجاری اقدام به فروش بتا گلوکان استخراج شده از *Euglena sp.* به عنوان یک محصول پری بیوتیک می کنند. پس از ممنوعیت استفاده از آنتی بیوتیک ها در خوراک دام و آبزیان در چندین کشور، پری بیوتیک ها در کنار پروبیوتیک ها، شاهد رشد فروش چشمگیری در بازار جهانی بوده اند (Defoirdt *et al.*, 2007).

تغذیه از ترکیبات دیواره سلولی مانند گلوکان ها، پپتیدوگلیکان ها، لیپوپلی ساکاریدها، فوکویدان، کیتین و سلول های کامل جلبکی، می تواند سیستم ایمنی را در گونه های مختلف آبزیان تقویت کند (Dawood *et al.*, 2018). مطالعات نشان داده است که پلی ساکاریدهای دیواره سلولی با افزایش سیتوکین، فاگوسیتوز و تکثیر سلول های ایمنی، از جمله نوتروفیل ها و مونوسیت ماکروفاژها، در گونه های آبزی موجب افزایش پاسخ ایمنی بدن شده اند (Dawood *et al.*, 2018). همچنین پارامیلون که یک پلیمر گلوکزی موجود در دیواره سلولی *Euglena* sp. می باشد، به عنوان محرک سیستم ایمنی در گونه های زیادی همچون *Salmo salar*، ماسل ها، *Sciaenops ocellatus* و *Brycon sp.* عمل می کند (Bianchi *et al.*, 2015; Kiron *et al.*, 2016; Montoya *et al.*, 2017; Yamamoto *et al.*, 2018). جایگزینی ۶ تا ۸ درصد *Chlorella vulgaris* به جای پودر ماهی در جیره غذایی پست لاروهای *Macrobrachium rosenbergii*، موجب بهبود سیستم ایمنی و افزایش بقای آنها در برابر عفونت باکتریایی *Aeromonas hydrophila* گردید (Maliwat *et al.*, 2017). در مطالعه دیگری استفاده از ریزجلبک های *Tetraselmis chuii* ، *Nannochloropsis gaditana* و *Phaeodactylum tricornutum* در جیره غذایی، سبب افزایش فعالیت سیستم دفاعی در ماهی *Sparus aurata* گردید (Cerezuela *et al.*, 2012). در تحقیقی مشابه هنگامی که زیست توده *Euglena viridis* برای تغذیه ماهی *Labeo rohita* استفاده شد، اثرات ایمنی تحریک‌کننده مانند افزایش فعالیت ضدباکتریایی، لیزوزیم پاتوژن و تولید آنیون سوپراکسید علیه باکتری *Aeromonas hydrophila* مشاهده شد (Das *et al.*, 2009). تغذیه از ریزجلبک *Dunaliella salina* با افزایش فاکتورهای آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در میگو *Penaeus monodon* آلوده به سندرم لکه سفید، موجب افزایش بقای میگو های بیمار شد (Madhumathi & Rengasamy, 2011). مطالعات نشان داده است که رژیم غذایی ترکیبی باکتری *Latilactobacillus sakei* و ریزجلبک *Navicula sp.* موجب بهبود پارامترهای ایمنی هومورال با تولید لنفوسیت در ماهی *Lutjanus peru* گردید (Reyes-Becerril *et al.*, 2013). خوراک حاوی ریزجلبک *Parietochloris incisa* با افزایش سطح لیزوزیم در ماهی *Poecilia reticulata* موجب افزایش بقا گشت (Nath *et al.*, 2012). در برخی مطالعات نشان داده شده است که ریز جلبک *Spirulina* sp. در بسیاری از گونه های آبزی پاسخ های ایمنی غیراختصاصی علیه پاتوژن ها ایجاد می کند (Cao *et al.*, 2018; Sheikhzadeh *et al.*, 2019). تعداد گلبول های سفید، قرمز، هموگلوبین و سطح کل پروتئین آلبومین زمانی که ۱۰ درصد ریز جلبک *Arthrospira platensis* به جیره غذایی ماهی قزل آلای رنگین کمان *Oncorhynchus mykiss* اضافه شد، افزایش یافت (Yeganeh *et al.*, 2015). پاتوژن‌هایی که بر بقا و سلامت ماهی تأثیر می‌گذارند، می‌توانند توسط ویژگی‌های محرک سیستم ایمنی ریزجلبکی مهار شوند و این گونه به خوراک مبتنی بر جلبک، ارزش بیشتری می بخشند.

تاثیر ریزجلبک ها بر کیفیت آبزیان پرورشی

میزان سفتی فیله، یک ویژگی مهم برای مصرف کنندگان در هنگام خرید ماهیان پرورشی بوده و فیله های نرم و شل توسط صنایع غذایی بی ارزش شناخته می شوند. ایجاد ترک و بریدگی روی فیله زمانی رخ می دهد که بافت همبند بین لایه های عضلانی پاره شده و فیله حالتی نرم و نامطلوب به خود می گیرد. مطالعات نشان داده که استفاده از ریزجلبک ها، ترک های فیله را کاهش می دهند، به عنوان مثال در تحقیقی با افزودن ۵ درصد ریز جلبک *Schizochytrium sp.* به جیره ماهی *Salmo salar* مشاهده شد که ترک های فیله در این ماهیان به طور چشمگیری نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت (Kousoulaki *et al.*, 2016). تحقیقی مشابه نشان داد که افزودن تنها ۲ درصد ریزجلبک *Spirulina sp.* به خوراک ماهی *Oreochromis niloticus* باعث افزایش سفتی، کیفیت عضلانی و فیبری فیله آنها گشت

(Mustafa, 1995). همچنین مشخص شد که فیله ماهیان قزل آلای تغذیه شده با ریزجلبک *Schizochytrium limacinum* طعم و بوی مشابهی با فیله های ماهیان تغذیه شده با روغن ماهی دارند (Katerina *et al*., 2020).

ثابت شده است که مواد معدنی آلی مانند سلنیوم، گلوتامات، ویتامین E و اسید های چرب غیر اشباع، شکاف و ترک فیله را تا حد زیادی به حداقل می‌رسانند (Tavakoli *et al*., 2021). ریزجلبک ها می توانند سطوح بالایی از ویتامین های مختلف از جمله نوع E را در بافت ها رسوب دهند (Madeira *et al*., 2017). همچنین، ریزجلبک ها دارای ۲/۲ تا ۴/۸ درصد ترکیبات معدنی در وزن خشک خود هستند؛ کلسیم، پتاسیم، آهن، مس، سدیم، گوگرد، روی، فسفر و منیزیم همگی در ریزجلبک ها به وفور یافت می شوند (Dineshbabu *et al*., 2019; Guedes *et al*., 2015). طبق یک مطالعه، افزودن ریزجلبک های غنی از مواد معدنی به رژیم غذایی ماهی قزل آلا باعث افزایش کیفیت بافت فیله و بهبود طعم ماهی می شود (Guedes *et al*., 2015). با وجود اینکه کیفیت فیله پارامتر مهمی در قابلیت فروش ماهی است، مطالعات اندکی در مورد تأثیر جلبک ها و مواد جلبکی بر کیفیت فیله تاکنون انجام گردیده است.

به طور کلی، سطح لیپید در ریزجلبک ها در مقایسه با گونه های دیگر حدود ۲۰ الی ۶۰ درصد بیشتر است (Ferreira *et al*., 2019; Madeira *et al*., 2017; Nagappan *et al*., 2020). دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) و ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) از نظر تغذیه ای، اسید های چرب غیر اشباع مهمی هستند که می توان آنها را به مقدار زیاد در چندین ریزجلبک مشاهده کرد. از آنجایی که سنتز مصنوعی اسید های چرب غیر اشباع با زنجیره بلند دشوار است، ریزجلبک‌ها و روغن ماهی حاوی این لیپیدها، از نظر تجاری بسیار حائز اهمیت هستند (Nagappan *et al*., 2021). به طور کلی، روغن‌های گیاهی مانند دانه‌های کانولا، نخل و سویا فاقد اسیدهای چرب غیر اشباع بوده و یا مقدار کمی از آنها را دارا می باشند (Hashempour-Baltork *et al*., 2016).

ریزجلبک های غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع شامل *Schizochytrium* sp. و *Crypthecodinium* sp. بوده که DHA تولید کرده و گونه های *Phaeodactylum* sp.، *Nannochloropsis* sp.، *Isochrysis* sp.، *Nitzschia* sp.، *Diacronema* sp. که حاوی EPA می باشند؛ همچنین ریزجلبک *های Porphyridium* sp. و *Desmodesmus* sp. به ترتیب اسید آراشیدونیک و اسید آلفا-لینولنیک تولید می کنند (Lu *et al*., 2021; Nagappan & Kumar Verma, 2018). گونه هایی مانند *Aurantiochytrium sp.*، *Monodus* sp.، *Thraustochytrium sp.*، *Thalassiosira sp.*، *Isochrysis sp.*، *Phaeodactylum* sp.، و *Pavlova sp.* نیز حاوی مقدار قابل توجهی اسیدهای چرب غیر اشباع هستند (Lu *et al*., 2021). در حال حاضر برای تغذیه تجاری ماهیان آزاد پرورشی از برخی گونه های *Schizochytrium sp.* به منظور تامین اسیدهای چرب امگا ۳ استفاده میگردد (Ren *et al*., 2010).

مصرف کنندگان در هنگام انتخاب و خرید محصولات آبزیان از رنگ فیله به عنوان یکی از نشانه های کیفیت محصول استفاده می کنند. مطالعات نشان داده است که رنگدانه های آبزیان پرورشی می تواند تحت تأثیر زیست توده ریزجلبکی قرار گیرد (Nagappan *et al*., 2021). در این بین محبوب ترین ریزجلبکی که به طور خاص برای افزایش و بهبود رنگ استفاده می گردد *Haematococcus pluvialis* می باشد که سرشار از آستازانتین است؛ هم سلول کامل و هم آستازانتین استخراج شده از این ریزجلبک به عنوان افزودنی های خوراک در صنعت آبزی پروری استفاده می شود (Chen *et al*., 2017). همچنین رنگدانه لوتئین استخراج شده از ریزجلبک ها به عنوان افزودنی خوراک عمدتاً برای رنگ های زرد و قرمز استفاده می گردد؛ ریزجلبک های *Chlorella sp.* و *Scenedesmus sp.* دارای لوتئین زیادی در سلول خود هستند (Dawood *et al*., 2018). مطالعات گوناگونی نشان داد که رنگ آبزیان مختلفی مانند ماهی کوی، تیلاپیا قرمز، جک راه راه، گربه ماهی زرد و

میگوی ببری سیاه با مصرف *Spirulina* sp. افزایش و بهبود یافت (Ansarifard *et al*., 2018; Dineshbabu *et al*., 2019; Liu *et al*., 2021; Nur-E-Borhan, 1993). در مطالعه دیگری، رژیم غذایی حاوی ۲/۵ درصد دیاتومه *Phaeodactylum tricornutum* ، که دارای محتوای فوکوزانتین بالایی است، رنگدانه‌های زرد روشنی به فیله ماهیان *Pagrus* sp. می دهد (Ribeiro *et al*., 2017). اگرچه ریزجلبک‌ها می توانند در بهبود رنگ موثر باشند، پرورش دهندگان به دلیل قیمت کم تر، علاقه بیشتری به استفاده از افزودنی های مصنوعی دارند. با این حال، عواملی مانند ترجیح مصرف کننده برای استفاده از محصولات طبیعی می تواند قدرت نفوذ بیشتری به رنگدانه های جلبکی در بازار را بدهد.

چالش ها و آینده استفاده از ریزجلبک ها در آبزی پروری

به منظور اینکه ریزجلبک ها جایگزین موفقی برای پودر ماهی شوند، باید موانع موجود را از میان برداشت. مانند بسیاری از خوراک های جایگزین، استفاده از ریزجلبک ها درخوراک آبزیان خوش خوراکی جیره غذایی برای آبزیان پرورشی کاهش می یابد. با این حال می‌توان با تغییر بافت خوراک و افزودن مواد جاذب و محرک های شیمیایی حسی این مشکل را کاهش داد. ریزجلبک هایی مانند *Chlorella sp*. و *Nannochloropsis sp*. به دلیل وجود مواد غیر نشاسته ای و دیواره های سلولی سخت، قابلیت هضم کمی دارند (Skrede *et al*., 2011). دیواره های سخت سلولی را می توان با روش های مکانیکی شکسته و موجب افزایش قابلیت هضم و استفاده از مواد مغذی برای آبزیان شد. با این حال، تمامی روش های شکست دیواره سلولی هزینه های زیادی را برای تولید خوراک ماهی ایجاد می کند (Nagappan *et al*., 2021). همانطور که گفته شد، تغذیه ریزجلبکی بر سلامت آبزیان اثر گذار است، اما همیشه این اثر گذاری مثبت نیست. برای مثال، پلی ساکارید های خارج سلولی ریز جلبک *Dunaliella tertiolecta* باعث کاهش جذب مواد مغذی در ماهیان تغذیه شده با آن می گردد (Mohebbi *et al*., 2016). در برخی موارد، ریزجلبک ها محتوای پروتئین کمتر و کربوهیدرات بالاتری نسبت به جیره مناسب برای آبزی مورد نظر دارند (Skrede *et al*., 2011). همه موارد ذکر شده بیانگر آن است که انتخاب دقیق گونه و ارزیابی تاثیر آن بر رشد آبزیان هدف می تواند به کاهش هزینه های تولید کمک کند.

در بسیاری از موارد، زیست توده ریز جلبک ها برای استفاده مستقیم به عنوان خوراک ماهی نامناسب است. این امر به ویژه در رابطه با ریزجلبک های دریایی که دارای محتوای نمک بالایی هستند، صدق می کند. اغلب ممکن است که ریزجلبک ها دارای عناصر کمیاب انباشته شده ای باشند که باید قبل از مصرف آبزیان حذف شوند. برخی از ریزجلبک‌ها حاوی سمومی هستند که نه تنها برای ماهی ها، بلکه برای انسان های مصرف کننده از ماهیان تغذیه شده با آنها نیز مضر است (Caruana & Amzil, 2018). به طور کلی، تولید زیست توده ریزجلبکی برای تغذیه آبزیان، عمدتا در استخر های رو باز انجام می شود که درصد آلودگی استخر به ریزجلبک های سمی را افزایش می دهد؛ البته می توان با آزمایش زیست توده و بررسی در هنگام برداشت مانع از ورود ترکیبات سمی و ریزجلبک های سمی به خوراک شد (Caruana & Amzil, 2018). مشکل بعدی، رنگدانه های ریزجلبکی مانند کاروتنوئید ها هستند که خواص آنتی اکسیدانی به ماهی ها می دهند، زیرا به راحتی تجزیه می شوند (Chen *et al*., 2017). افزودن مواد نگهدارنده مناسب در طی فرآوری، استفاده از روش های خشک کردن مناسب و پلت سازی سرد می تواند از تخریب این مواد جلوگیری کند؛ اما باید در نظر داشت تمامی مراحل ذکر شده دارای هزینه هستند که موجب افزایش قیمت تمام شده خوراک مبتنی بر ریزجلبک می گردد (Guedes & Malcata, 2012).

یکی از اصلی ترین موانع در استفاده از ریزجلبک ها به عنوان خوراک ماهی، هزینه بالای تولید آنها است (Fasaei *et al*., 2018). بهره وری پائین در استخر های رو باز در مقیاس بزرگ، تکنیک های برداشت نیازمند انرژی زیاد و روش های فرآوری گران قیمت، همگی موجب افزایش

هزینه های تولید خوراک ریزجلبکی هستند (Muller-Feuga, 2013). تغییرات فصلی نور و دما نیز ممکن است بر بهره وری زیست توده اثر گذار باشد؛ اگرچه می توان با انتخاب گونه‌های مقاوم این مشکل را برطرف نمود (Das *et al*., 2019). همچنین آفت ها، چرندگان و پاتوژن ها باعث مشکلات آلودگی دائمی در تولیدات با مقیاس زیاد هستند (Hannon *et al*., 2010). روش های گوناگونی برای کاهش هزینه های تولید وجود دارد که برای استفاده از آنها نیاز به تحقیقات بیشتری می باشد. برای مثال روش هایی چون پالایش زیستی، استفاده از گازهای خروجی صنایع و روش های کشت هتروتروف برخی از رویکرد های پیشنهادی محققان هستند (Hemaiswarya *et al*., 2011). مسائل مرتبط با پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی را می توان با توسعه روش های کم هزینه برداشت مانند رسوب گذاری طبیعی و فیلتراسیون جریان متقاطع برطرف نمود (Bernard *et al*., 2015).

باید توجه داشت که تغذیه با ریزجلبک ها توصیه می شود، زیرا به سلامت روده و بقای آبزیان بهبود می بخشد؛ با این حال، اغلب مطالعات که بر روی اثر پرو یا پری‌بیوتیکی ریزجلبک ها انجام شده و آنها را پیشنهاد کرده اند، بر اساس ترکیب خوراکی از جلبک‌ها، باکتری‌ها و دیگر ارگانیسم‌ها بوده اند (Shah *et al*., 2018; Tacon, 2020). در نتیجه، مطالعات بیشتری برای اثبات اینکه پروبیوتیک ها و پری بیوتیک های ریز جلبکی موجب افزایش بقای ماهی با کاهش بار باکتری های بیماری زا می گردد، مورد نیاز است.

گونه های بسیاری از ریزجلبک ها وجود دارد که هنوز به منظور تغذیه آبزیان مورد بررسی قرار نگرفته است. با این حال، تحقیقات کنونی روی ریزجلبک های مختلف، طیف وسیعی از نسبت های ضریب تبدیل خوراک، قابلیت هضم، ارزش‌های تغذیه‌ای و عملکردی را نشان داده اند (Tavakoli *et al*., 2021). در نتیجه، مطالعات تخصصی بیشتر بر روی ریزجلبک های جدید و انتخاب خوراک مناسب می تواند پتانسیل واقعی آن ها را نشان دهد. در اکثر موارد، خوراک ریزجلبکی در مقایسه با پودر ماهی، مصرف کمتری را توسط آبزیان پرورشی دارد؛ با این وجود، اگر موادی مانند تورین به خوراک ریزجلبکی اضافه شود، خوش خوراکی آن برای آبزی افزایش یافته و در نتیجه عملکرد رشد بهتری را شاهد هستیم (Takagi *et al*., 2008). امروزه سیستم های تولید، برداشت، و روش های فرآوری در مقیاس بزرگ هنوز بهینه سازی نشده اند. امید است که در آینده، تولید نو آورانه همراه با فناوری های جدید فرآوری در تولید زیست توده ریزجلبک ها، منجر به ایجاد راه حلی پایدار برای جایگزینی خوراک مبتنی بر ریزجلبک با پودر ماهی گردد.

جمع بندی و توصیه ترویجی

خوراک های سنتی آبزیان پرورشی شامل پودر ماهی و کنجاله سویا به عنوان مواد رایج، ناپایدار و هزینه بر هستند. در حالیکه خوراک آبزیان تهیه شده از ریزجلبک ها پتانسیل زیادی برای جایگزینی به جای پودر ماهی و کنجاله سویا دارند. تهیه این خوراک دارای ویژگی های منحصر به فردی مانند سرعت و توانایی رشد بالا و عدم وابستگی به زمین های زراعی و آب شیرین برای کشت است. جدا از اینکه ریزجلبک ها منبع پروتئین، لیپیدها و کربوهیدرات ها هستند، حاوی تعدادی ترکیبات زیستی فعال و کاربردی نظیر پری بیوتیک ها، پروبیوتیک ها و عوامل ایجاد مقاومت در برابر بیماری ها نیز می باشند. ریزجلبک ها را می توان در آبزی پروری به روش های مختلفی از جمله خمیر جلبکی، پلت و پرورش توام آبزی و ریزجلبک استفاده نمود. انتخاب سویه های ریزجلبکی مناسب با ترکیب سلولی مطلوب می تواند هزینه تولید پائین‌تر را به همراه داشته باشد. امید است که با مطالعات کاربردی آینده، راه حلی دائمی و پایدار برای حل موانع استفاده از این میکروارگانیسم های ارزشمند برای تغذیه آبزیان یافت شده تا بتواند پاسخگوی تقاضای بازار برای خوراک آبزیان باشد.

منابع

Abdel-Latif, H. M., Soliman, A. A., Sewilam, H., Almeer, R., Van Doan, H., Alagawany, M., & Dawood, M. A. (2020). The influence of raffinose on the growth performance, oxidative status, and immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture Reports, 18, 100457.

Abdulrahman, N. M., & Ameen, H. J. H. (2014). Replacement of fishmeal with microalgae *Spirulina* on common carp weight gain, meat and sensitive composition and survival. Pakistan Journal of Nutrition, 13(2), 93.

Adel, M., Yeganeh, S., Dadar, M., Sakai, M., & Dawood, M. A. (2016). Effects of dietary *Spirulina platensis* on growth performance, humoral and mucosal immune responses and disease resistance in juvenile great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1754). Fish & shellfish immunology, 56, 436-444.

Agboola, J. O., Teuling, E., Wierenga, P. A., Gruppen, H., & Schrama, J. W. (2019). Cell wall disruption: an effective strategy to improve the nutritive quality of microalgae in African catfish (*Clarias gariepinus*). Aquaculture Nutrition, 25(4), 783-797.

Akhoundian, M., & Mirhasannia, S. D. (2017). Microalgal Biodiversity as a Biotechnology and Environmental Potential. Human & Environment, 15(2), 39-70.

Allen, K. M., Habte-Tsion, H.-M., Thompson, K. R., Filer, K., Tidwell, J. H., & Kumar, V. (2019). Freshwater microalgae (*Schizochytrium* sp.) as a substitute to fish oil for shrimp feed. Scientific reports, 9(1), 1-10.

Ansarifard, F., Rajabi Islami, H., Shamsaie Mehrjan, M., & Soltani, M. (2018). Effects of *Arthrospira platensis* on growth, skin color and digestive enzymes of Koi, *Cyprinus carpio*. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 17(2), 381-393.

Arun, J., Gopinath, K. P., SundarRajan, P., Felix, V., JoselynMonica, M., & Malolan, R. (2020). A conceptual review on microalgae biorefinery through thermochemical and biological pathways: bio-circular approach on carbon capture and wastewater treatment. Bioresource technology reports, 11, 100477.

Austin, B. (2006). The bacterial microflora of fish, revised. The Scientific World Journal, 6, 931-945.

Bakun, A., & Broad, K. (2003). Environmental 'loopholes' and fish population dynamics: comparative pattern recognition with focus on El Niño effects in the Pacific. Fisheries Oceanography, 12(4-5), 458-473.

Batista, S., Pereira, R., Oliveira, B., Baião, L. F., Jessen, F., Tulli, F., . . . Valente, L. M. (2020). Exploring the potential of seaweed Gracilaria gracilis and microalga *Nannochloropsis oceanica*, single or blended, as natural dietary ingredients for European seabass Dicentrarchus labrax. Journal of Applied Phycology, 32(3), 2041-2059.

Batista, S., Pintado, M., Marques, A., Abreu, H., Silva, J. L., Jessen, F., . . . Valente, L. M. (2020). Use of technological processing of seaweed and microalgae as strategy to improve their apparent digestibility coefficients in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Journal of Applied Phycology, 32(5), 3429-3446.

Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. Biotechnology advances, 25(2), 207-210.

Bernard, O., Mairet, F., & Chachuat, B. (2015). Modelling of microalgae culture systems with applications to control and

optimization. Microalgae Biotechnology, 59-87.

Bianchi, V. A., Castro, J. M., Rocchetta, I., Nahabedian, D. E., Conforti, V., & Luquet, C. M. (2015). Long-term feeding with Euglena gracilis cells modulates immune responses, oxidative balance and metabolic condition in *Diplodon chilensis* (Mollusca, Bivalvia, Hyriidae) exposed to living Escherichia coli. Fish & shellfish immunology, 42(2), 367-378.

Bleakley, S., & Hayes, M. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. Foods, 6(5), 33.

Blomqvist, J., Pickova, J., Tilami, S. K., Sampels, S., Mikkelsen, N., Brandenburg, J., . . . Passoth, V. (2018). Oleaginous yeast as a component in fish feed. Scientific reports, 8(1), 1-8.

Cao, S., Zhang, P., Zou, T., Fei, S., Han, D., Jin, J., . . . Xie, S. (2018). Replacement of fishmeal by *spirulina Arthrospira platensis* affects growth, immune related-gene expression in gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III), and its challenge against Aeromonas hydrophila infection. Fish & shellfish immunology, 79, 265-273.

Caruana, A. M., & Amzil, Z. (2018). Microalgae and toxins. In Microalgae in Health and Disease Prevention (pp. 263-305): Elsevier.

Cerezuela, R., Guardiola, F. A., Meseguer, J., & Esteban, M. (2012). Enrichment of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) diet with microalgae: effects on the immune system. Fish physiology and biochemistry, 38(6), 1729-1739.

Chen, B., Wan, C., Mehmood, M. A., Chang, J.-S., Bai, F., & Zhao, X. (2017). Manipulating environmental stresses and stress tolerance of microalgae for enhanced production of lipids and value-added products–a review. Bioresource technology, 244, 1198-1206.

Chen, W., Wang, Y., Han, D., Zhu, X., Xie, S., Han, D., & Hu, Q. (2019). Two filamentous microalgae as feed ingredients improved flesh quality and enhanced antioxidant capacity and immunity of the gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). Aquaculture Nutrition, 25(5), 1145-1155.

Cottrell, R. S., Blanchard, J. L., Halpern, B. S., Metian, M., & Froehlich, H. E. (2020). Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. Nature Food, 1(5), 301-308.

Dallaire, V., Lessard, P., Vandenberg, G., & De La Noüe, J. (2007). Effect of algal incorporation on growth, survival and carcass composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. Bioresource technology, 98(7), 1433-1439.

Das, B. K., Pradhan, J., & Sahu, S. (2009). The effect of Euglena viridis on immune response of rohu, *Labeo rohita* (Ham.). Fish & shellfish immunology, 26(6), 871-876.

Das, P., Thaher, M., AbdulQuadir, M., Khan, S., Chaudhary, A., & Al-Jabri, H. (2019). Long-term semi-continuous cultivation of a halo-tolerant *Tetraselmis* sp. using recycled growth media. Bioresource technology, 276, 35-41.

Dawood, M., Koshio, S., & Esteban, M. (2018). Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. Rev Aquac 10: 950–974. In.

De Cruz, C. R., Lubrano, A., & Gatlin III, D. M. (2018). Evaluation of microalgae concentrates as partial fishmeal replacements for hybrid striped bass Morone sp. Aquaculture, 493, 130-136.

CASPIAN STELLATE STURGEON (*ACIPENSER STELLATUS*) JUVENILES.

Farag, M. R., Alagawany, M., El-Hack, M., & Dhama, K. (2016). Nutritional and healthical aspects of *Spirulina* (Arthrospira) for poultry, animals and human. International Journal of Pharmacology, 12(1), 36-51.

Fasaei, F., Bitter, J., Slegers, P., & Van Boxtel, A. (2018). Techno-economic evaluation of microalgae harvesting and dewatering systems. Algal research, 31, 347-362.

Ferreira, G., Pinto, L. R., Maciel Filho, R., & Fregolente, L. (2019). A review on lipid production from microalgae: Association between cultivation using waste streams and fatty acid profiles. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109, 448-466.

Ghanbari, M., Kneifel, W., & Domig, K. J. (2015). A new view of the fish gut microbiome: advances from next-generation sequencing. Aquaculture, 448, 464-475.

Gong, Y., Guterres, H., Huntley, M., Sørensen, M., & Kiron, V. (2018). Digestibility of the defatted microalgae N *annochloropsis* sp. and D esmodesmus sp. when fed to A tlantic salmon, *S almo salar*. Aquaculture Nutrition, 24(1), 56-64.

Gong, Y., Bandara, T., Huntley, M., Johnson, Z. I., Dias, J., Dahle, D., ... & Kiron, V. (2019). Microalgae Scenedesmus sp. as a potential ingredient in low fishmeal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture, 501, 455-464.

Guedes, A. C., & Malcata, F. X. (2012). Nutritional value and uses of microalgae in aquaculture. Aquaculture, 10(1516), 59-78.

Guedes, A. C., Sousa-Pinto, I., & Malcata, F. X. (2015). Application of microalgae protein to aquafeed. In Handbook of marine microalgae (pp. 93-125): Elsevier.

Defoirdt, T., Boon, N., Sorgeloos, P., Verstraete, W., & Bossier, P. (2007). Alternatives to antibiotics to control bacterial infections: luminescent vibriosis in aquaculture as an example. Trends in biotechnology, 25(10), 472-479.

Dineshbabu, G., Goswami, G., Kumar, R., Sinha, A., & Das, D. (2019). Microalgae–nutritious, sustainable aqua-and animal feed source. Journal of Functional Foods, 62, 103545.

Dourou, M., Tsolcha, O. N., Tekerlekopoulou, A. G., Bokas, D., & Aggelis, G. (2018). Fish farm effluents are suitable growth media for *Nannochloropsis gaditana*, a polyunsaturated fatty acid producing microalga. Engineering in life sciences, 18(11), 851-860.

Dragone, G., Fernandes, B. D., Abreu, A. P., Vicente, A. A., & Teixeira, J. A. (2011). Nutrient limitation as a strategy for increasing starch accumulation in microalgae. Applied energy, 88(10), 3331-3335.

El-Sayed, A.-F. M. (1994). Evaluation of soybean meal, *spirulina* meal and chicken offal meal as protein sources for silver seabream (*Rhabdosargus sarba*) fingerlings. Aquaculture, 127(2-3), 169-176.

Fadl, S. E., Elsadany, A. Y., El-Shenawy, A. M., Sakr, O. A., El Gammal, G. A., Gad, D. M., . . . Eissa, I. (2020). Efficacy of cyanobacterium *Anabaena* sp. as a feed supplement on productive performance and immune status in cultured Nile tilapia. Aquaculture Reports, 17, 100406.

Fakhabi, M. A., Soltani, M., Kamali, A., Zamini, A. A., & Shamsaei, M. (2014). EFFECT OF *LACTOCOCCUS LACTIS* AND *SPIRULINA PLATENSIS* ON SOME GROWTH PERFORMANCESOF SOUTH

Hannon, M., Gimpel, J., Tran, M., Rasala, B., & Mayfield, S. (2010). Biofuels from algae: challenges and potential. Biofuels, 1(5), 763-784.

Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2016). Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects. Trends in Food Science & Technology, 57, 52-58.

Hemaiswarya, S., Raja, R., Ravi Kumar, R., Ganesan, V., & Anbazhagan, C. (2011). Microalgae: a sustainable feed source for aquaculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 27(8), 1737-1746.

Hodar, A., Vasava, R., Mahavadiya, D., & Joshi, N. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. J. Exp. Zool. India, 23(1), 13-21.

Hutkins, R. W., Krumbeck, J. A., Bindels, L. B., Cani, P. D., Fahey Jr, G., Goh, Y. J., . . . Rastal, R. A. (2016). Prebiotics: why definitions matter. Current opinion in biotechnology, 37, 1-7.

Jolly, C. M., & Clonts, H. A. (2020). Economics of aquaculture: CRC Press.

Jones, S. W., Karpol, A., Friedman, S., Maru, B. T., & Tracy, B. P. (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. Current opinion in biotechnology, 61, 189-197.

Katerina, K., Berge, G. M., Turid, M., Aleksei, K., Grete, B., Trine, Y., . . . Bente, R. (2020). Microalgal *Schizochytrium limacinum* biomass improves growth and filet quality when used long-term as a replacement for fish oil, in modern salmon diets. Frontiers in Marine Science, 7, 57.

Kaur, S., Sarkar, M., Srivastava, R. B., Gogoi, H. K., & Kalita, M. C. (2012). Fatty acid profiling and molecular characterization of some freshwater microalgae from India with potential for biodiesel production. New Biotechnology, 29(3), 332-344.

Kiron, V., Kulkarni, A., Dahle, D., Lokesh, J., & Elvebo, O. (2016). Recognition of purified beta 1, 3/1, 6 glucan and molecular signalling in the intestine of Atlantic salmon. Developmental & Comparative Immunology, 56, 57-66.

Kokou, F., & Fountoulaki, E. (2018). Aquaculture waste production associated with antinutrient presence in common fish feed plant ingredients. Aquaculture, 495, 295-310.

Kousoulaki, K., Mørkøre, T., Nengas, I., Berge, R., & Sweetman, J. (2016). Microalgae and organic minerals enhance lipid retention efficiency and fillet quality in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture, 451, 47-57.

Li, K., Liu, Q., Fang, F., Luo, R., Lu, Q., Zhou, W., ... & Addy, M. (2019). Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review. Bioresource technology, 291, 121934.

Liu, C., Li, Y., Chen, Z., Yuan, L., Liu, H., Han, D., ... & Zhu, X. (2021). Effects of dietary whole and defatted *Arthrospira platensis* (Cyanobacterium) on growth, body composition and pigmentation of the yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. Journal of Applied Phycology, 33(4), 2251-2259.

Liu, W.-Y., Fang, L., Feng, X.-W., Li, G.-M., & Gu, R.-Z. (2020). In vitro antioxidant and angiotensin I-converting enzyme inhibitory properties of peptides derived from corn gluten meal. European Food Research and Technology, 246(10), 2017-2027.

Lu, Q., Li, H., Xiao, Y., & Liu, H. (2021). A state-of-the-art review on the synthetic mechanisms, production technologies, and

& Sant'Anna, E. S. (2016). Chemical characterization of six microalgae with potential utility for food application. Journal of the American Oil Chemists' Society, 93(7), 963-972.

Medina-Félix, D., López-Elías, J. A., Martínez-Córdova, L. R., López-Torres, M. A., Hernández-López, J., Rivas-Vega, M. E., & Mendoza-Cano, F. (2014). Evaluation of the productive and physiological responses of Litopenaeus vannamei infected with WSSV and fed diets enriched with *Dunaliella* sp. Journal of invertebrate pathology, 117, 9-12.

Mélo, R. C. S., Santos, L. P. d. S., Brito, A. P. M., Gouveia, A. d. A., Marçal, C., & Cavalli, R. O. (2016). Use of the microalga *Nannochloropsis occulata* in the rearing of newborn longsnout seahorse *Hippocampus reidi* (Syngnathidae) juveniles. Aquaculture Research, 47(12), 3934-3941.

Mo, W. Y., Man, Y. B., & Wong, M. H. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. Science of the Total Environment, 613, 635-643.

Mohebbi, F., Hafezieh, M., Seidgar, M., Hosseinzadeh Sahhafi, H., Mohsenpour Azari, A., & Ahmadi, R. (2016). The growth, survival rate and reproductive characteristics of Artemia urmiana fed by *Dunaliella tertiolecta*, *Tetraselmis suecica*, *Nannochloropsis oculata*, *Chaetoceros* sp., *Chlorella* sp. and *Spirolina* sp. as feeding microalgae.

Moheimani, N. R., Vadiveloo, A., Ayre, J. M., & Pluske, J. R. (2018). Nutritional profile and in vitro digestibility of microalgae grown in anaerobically digested piggery effluent. Algal research, 35, 362-369.

practical application of polyunsaturated fatty acids from microalgae. Algal research, 55, 102281.

Madeira, M. S., Cardoso, C., Lopes, P. A., Coelho, D., Afonso, C., Bandarra, N. M., & Prates, J. A. (2017). Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: A review. Livestock Science, 205, 111-121.

Madhumathi, M., & Rengasamy, R. (2011). Antioxidant status of Penaeus monodon fed with *Dunaliella salina* supplemented diet and resistance against WSSV. Int. J. Eng. Sci. Technol, 3(10), 7249-7259.

Maehre, H. K., Edvinsen, G. K., Eilertsen, K.-E., & Elvevoll, E. O. (2016). Heat treatment increases the protein bioaccessibility in the red seaweed dulse (*Palmaria palmata*), but not in the brown seaweed winged kelp (*Alaria esculenta*). Journal of Applied Phycology, 28(1), 581-590.

Malibari, R., Sayegh, F., Elazzazy, A. M., Baeshen, M. N., Dourou, M., & Aggelis, G. (2018). Reuse of shrimp farm wastewater as growth medium for marine microalgae isolated from Red Sea–Jeddah. Journal of cleaner production, 198, 160-169.

Maliwat, G. C., Velasquez, S., Robil, J. L., Chan, M., Traifalgar, R. F., Tayamen, M., & Ragaza, J. A. (2017). Growth and immune response of giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii (De Man) postlarvae fed diets containing *Chlorella vulgaris* (Beijerinck). Aquaculture Research, 48(4), 1666-1676.

Martínez-Fernández, E., & Southgate, P. C. (2007). Use of tropical microalgae as food for larvae of the black-lip pearl oyster *Pinctada margaritifera*. Aquaculture, 263(1-4), 220-226.

Matos, Â. P., Feller, R., Moecke, E. H. S., de Oliveira, J. V., Junior, A. F., Derner, R. B.,

biofuel with value-added products. In Environmental Biotechnology Vol. 2 (pp. 23-52): Springer.

Naiel, M. A., Alagawany, M., Patra, A. K., El-Kholy, A. I., Amer, M. S., & Abd El-Hack, M. E. (2021). Beneficial impacts and health benefits of macroalgae *phenolic molecules* on fish production. Aquaculture, 534, 736186.

Nagappan, S., Das, P., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Khan, S., Mahata, C., ... Kumar, G. (2021). Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. Journal of Biotechnology, 341, 1-20.

Nath, P., Khozin-Goldberg, I., Cohen, Z., Boussiba, S., & Zilberg, D. (2012). Dietary supplementation with the microalgae *Parietochloris incisa* increases survival and stress resistance in guppy (*Poecilia reticulata*) fry. Aquaculture Nutrition, 18(2), 167-180.

Nayak, S. K. (2010). Role of gastrointestinal microbiota in fish. Aquaculture Research, 41(11), 1553-1573.

Niccolai, A., Zittelli, G. C., Rodolfi, L., Biondi, N., & Tredici, M. R. (2019). Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility. Algal research, 42, 101617.

Nimrat, S., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2011). Effects of probiotic forms, compositions of and mode of probiotic administration on rearing of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae and postlarvae. Animal Feed Science and Technology, 169(3-4), 244-258.

Nur-E-Borhan, S. A. (1993). Pigmentation of Cultured Black Tiger Prawn by Feeding with a *Spirulina*-Supplemented Diet. 日本水産学会誌, 59(1), 165-169.

Montoya-Camacho, N., Marquez-Ríos, E., Castillo-Yáñez, F. J., Cárdenas López, J. L., López-Elías, J. A., Ruíz-Cruz, S., ... Ocaño-Higuera, V. M. (2019). Advances in the use of alternative protein sources for tilapia feeding. Reviews in Aquaculture, 11(3), 515-526.

Montoya, L. N. F., Martins, T. P., Gimbo, R. Y., Zanuzzo, F. S., & Urbinati, E. C. (2017). β-Glucan-induced cortisol levels improve the early immune response in matrinxã (Brycon amazonicus). Fish & shellfish immunology, 60, 197-204.

Muller-Feuga, A. (2013). Microalgae for aquaculture: the current global situation and future trends. Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology, 613-627.

Mustafa, M. G. (1995). A review: dietary benefits of algae as an additive in fish feed. Isr J Aquacult, 47, 155-162.

Nagappan, S., & Kumar Verma, S. (2018). Co-production of biodiesel and alpha-linolenic acid (omega-3 fatty acid) from microalgae, Desmodesmus sp. MCC34. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 40(24), 2933-2940.

Nagappan, S., Devendran, S., Tsai, P.-C., Dahms, H.-U., & Ponnusamy, V. K. (2019). Potential of two-stage cultivation in microalgae biofuel production. Fuel, 252, 339-349.

Nagappan, S., Devendran, S., Tsai, P.-C., Jayaraman, H., Alagarsamy, V., Pugazhendhi, A., & Ponnusamy, V. K. (2020). Metabolomics integrated with transcriptomics and proteomics: Evaluation of systems reaction to nitrogen deficiency stress in microalgae. Process Biochemistry, 91, 1-14.

Nagappan, S., & Nakkeeran, E. (2020). Biorefinery: a concept for co-producing

Ren, L.-J., Ji, X.-J., Huang, H., Qu, L., Feng, Y., Tong, Q.-Q., & Ouyang, P.-K. (2010). Development of a stepwise aeration control strategy for efficient docosahexaenoic acid production by *Schizochytrium* sp. Applied microbiology and biotechnology, 87(5), 1649-1656.

Reyes-Becerril, M., Guardiola, F., Rojas, M., Ascencio-Valle, F., & Esteban, M. Á. (2013). Dietary administration of microalgae *Navicula* sp. affects immune status and gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata*). Fish & shellfish immunology, 35(3), 883-889.

Ribeiro, A. R., Gonçalves, A., Barbeiro, M., Bandarra, N., Nunes, M. L., Carvalho, M. L., . . . Silva, T. (2017). Phaeodactylum tricornutum in finishing diets for gilthead seabream: effects on skin pigmentation, sensory properties and nutritional value. Journal of Applied Phycology, 29(4), 1945-1956.

Rizwan, M., Mujtaba, G., Memon, S. A., Lee, K., & Rashid, N. (2018). Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 92, 394-404.

Ryckebosch, E., Bruneel, C., Muylaert, K., & Foubert, I. (2012). Microalgae as an alternative source of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids. Lipid Technology, 24(6), 128-130.

Scholz, M. J., Weiss, T. L., Jinkerson, R. E., Jing, J., Roth, R., Goodenough, U., ... Gerken, H. G. (2014). Ultrastructure and composition of the *Nannochloropsis gaditana* cell wall. Eukaryotic cell, 13(11), 1450-1464.

Shah, M. R., Lutzu, G. A., Alam, A., Sarker, P., Chowdhury, K., Parsaeimehr, A., ... Daroch, M. (2018). Microalgae in

Palmegiano, G. B., Gai, F., Daprà, F., Gasco, L., Pazzaglia, M., & Peiretti, P. G. (2008). Effects of Spirulina and plant oil on the growth and lipid traits of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) fingerlings. Aquaculture Research, 39(6), 587-595.

Patterson, D., & Gatlin III, D. M. (2013). Evaluation of whole and lipid-extracted algae meals in the diets of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). Aquaculture, 416, 92-98.

Pauly, D., & Zeller, D. (2017). Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture (SOFIA 2016). Marine Policy, 77, 176-181.

Posten, C., & Schaub, G. (2009). Microalgae and terrestrial biomass as source for fuels—a process view. Journal of Biotechnology, 142(1), 64-69.

Prabha, S. P., Nagappan, S., Rathna, R., Viveka, R., & Nakkeeran, E. (2020). Blue biotechnology: a vision for future marine biorefineries. In Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts (pp. 463-480): Elsevier.

Qiao, Y., Ge, W., Zheng, X., & Xie, Y. (2019). Analysis of the effects of different nutritional support methods on postoperative recovery in patients with gastric cancer. Zhonghua zhong liu za zhi [Chinese Journal of Oncology], 41(5), 378-383.

Rachmilewitz, D., Katakura, K., Karmeli, F., Hayashi, T., Reinus, C., Rudensky, B., ... Takabayashi, K. (2004). Toll-like receptor 9 signaling mediates the anti-inflammatory effects of probiotics in murine experimental colitis. Gastroenterology, 126(2), 520-528.

Regunathan, C., & Wesley, S. (2004). Control of *Vibrio* spp. in shrimp hatcheries using the green algae Tetraselmis suecica. Asian Fisheries Science, 17(1/2), 147-158.

aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. Journal of Applied Phycology, 30(1), 197-213.

Sharawy, Z. Z., Ashour, M., Abbas, E., Ashry, O., Helal, M., Nazmi, H., ... Rossi Jr, W. (2020). Effects of dietary marine microalgae, *Tetraselmis suecica*, on production, gene expression, protein markers and bacterial count of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Research, 51(6), 2216-2228.

Sheikhzadeh, N., Mousavi, S., Hamidian, G., Firouzamandi, M., Oushani, A. K., & Mardani, K. (2019). Role of dietary *Spirulina platensis* in improving mucosal immune responses and disease resistance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 510, 1-8.

Shi, Z., Li, X.-Q., Chowdhury, M. K., Chen, J.-N., & Leng, X.-J. (2016). Effects of protease supplementation in low fish meal pelleted and extruded diets on growth, nutrient retention and digestibility of gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. Aquaculture, 460, 37-44.

Skalli, A., Firmino, J. P., Andree, K. B., Salomón, R., Estévez, A., Puig, P., . . . Gisbert, E. (2020). The inclusion of the microalga *Scenedesmus* sp. in diets for rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*, juveniles. Animals, 10(9), 1656.

Skrede, A., Mydland, L., Ahlstrøm, Ø., Reitan, K., Gislerød, H., & Øverland, M. (2011). Evaluation of microalgae as sources of digestible nutrients for monogastric animals. J Anim Feed Sci, 20(1), 131-142.

Sørensen, M., Morken, T., Kosanovic, M., & Øverland, M. (2011). Pea and wheat starch possess different processing characteristics and affect physical quality and viscosity of extruded feed for Atlantic salmon. Aquaculture Nutrition, 17(2), e326-e336.

Souza, F. P. d., Lima, E. C. S. d., Urrea-Rojas, A. M., Suphoronski, S. A., Facimoto, C. T., Bezerra Junior, J. d. S., ... Oliveira, C. A. L. d. (2020). Effects of dietary supplementation with a microalga (*Schizochytrium* sp.) on the hemato-immunological, and intestinal histological parameters and gut microbiota of Nile tilapia in net cages. PloS one, 15(1), e0226977.

Tacon, A. G. (2020). Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 28(1), 43-56.

Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Endo, M., Yamashita, H., & Ukawa, M. (2008). Taurine is an essential nutrient for yellowtail Seriola quinqueradiata fed non-fish meal diets based on soy protein concentrate. Aquaculture, 280(1-4), 198-205.

Tavakoli, S., Regenstein, J. M., Daneshvar, E., Bhatnagar, A., Luo, Y., & Hong, H. (2021). Recent advances in the application of microalgae and its derivatives for preservation, quality improvement, and shelf-life extension of seafood. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1-14.

Teimouri, M., Amirkolaie, A. K., & Yeganeh, S. (2013). The effects of *Spirulina platensis* meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 396, 14-19.

Tibaldi, E., Zittelli, G. C., Parisi, G., Bruno, M., Giorgi, G., Tulli, F., ... Poli, B. (2015). Growth performance and quality traits of European sea bass (*D. labrax*) fed diets including increasing levels of freeze-dried *Isochrysis* sp.(T-ISO) biomass as a source of protein and n-3 long chain PUFA in

microalgae freeze-dried biomass. Fish physiology and biochemistry, 44(2), 661-677.

Walker, A. B., & Berlinsky, D. L. (2011). Effects of partial replacement of fish meal protein by microalgae on growth, feed intake, and body composition of Atlantic cod. North American Journal of Aquaculture, 73(1), 76-83.

Wan, A. H., Davies, S. J., Soler-Vila, A., Fitzgerald, R., & Johnson, M. P. (2019). Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. Reviews in Aquaculture, 11(3), 458-492.

Wang, T., Cheng, Y., Chen, X., Liu, Z., & Long, X. (2017). Effects of small peptides, probiotics, prebiotics, and synbiotics on growth performance, digestive enzymes, and oxidative stress in orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*, juveniles reared in artificial seawater. Chinese journal of oceanology and limnology, 35(1), 89-97.

Wei, M., Parrish, C. C., Guerra, N. I., Armenta, R. E., & Colombo, S. M. (2021). Extracted microbial oil from a novel *Schizochytrium* sp.(T18) as a sustainable high DHA source for Atlantic salmon feed: Impacts on growth and tissue lipids. Aquaculture, 534, 736249.

Yamamoto, F. Y., Yin, F., Rossi Jr, W., Hume, M., & Gatlin III, D. M. (2018). β-1, 3 glucan derived from Euglena gracilis and Algamune™ enhances innate immune responses of red drum (*Sciaenops ocellatus* L.). Fish & shellfish immunology, 77, 273-279.

Yao, C., Ai, J., Cao, X., Xue, S., & Zhang, W. (2012). Enhancing starch production of a marine green microalga *Tetraselmis subcordiformis* through nutrient limitation. Bioresource technology, 118, 438-444.

partial substitution of fish derivatives. Aquaculture, 440, 60-68.

Tibbetts, S. M., Yasumaru, F., & Lemos, D. (2017). In vitro prediction of digestible protein content of marine microalgae (*Nannochloropsis granulata*) meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Algal research, 21, 76-80.

Tomás-Almenar, C., Larrán, A., de Mercado, E., Sanz-Calvo, M., Hernández, D., Riaño, B., & García-González, M. (2018). Scenedesmus almeriensis from an integrated system waste-nutrient, as sustainable protein source for feed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 497, 422-430.

Tulli, F., Chini Zittelli, G., Giorgi, G., Poli, B., Tibaldi, E., & Tredici, M. (2012). Effect of the inclusion of dried Tetraselmis suecica on growth, feed utilization, and fillet composition of European sea bass juveniles fed organic diets. Journal of aquatic food product technology, 21(3), 188-197.

Varelas, V. (2019). Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: A review. Fermentation, 5(3), 81.

Venou, B., Alexis, M., Fountoulaki, E., & Haralabous, J. (2009). Performance factors, body composition and digestion characteristics of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed pelleted or extruded diets. Aquaculture Nutrition, 15(4), 390-401.

Vizcaíno, A., Rodiles, A., López, G., Sáez, M., Herrera, M., Hachero, I., ... Alarcón, F. J. (2018). Growth performance, body composition, and digestive functionality of Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858) juveniles fed diets including

Yeganeh, S., Teimouri, M., & Amirkolaie, A. K. (2015). Dietary effects of *Spirulina platensis* on hematological and serum biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Research in Veterinary Science, 101, 84-88.

Yu, R., Cao, H., Huang, Y., Peng, M., Kajbaf, K., Kumar, V., ... Wen, C. (2020). The effects of partial replacement of fishmeal protein by hydrolysed feather meal protein in the diet with high inclusion of plant protein on growth performance, fillet quality and physiological parameters of Pengze crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze). Aquaculture Research, 51(2), 636-647.

Zhou, R., Zhou, R., Zhang, X., Fang, Z., Wang, X., Speight, R., ... Ostrikov, K. (2019). High-Performance Plasma-Enabled Biorefining of Microalgae to Value-Added Products. ChemSusChem, 12(22), 4976-4985.

in order to increase A review of the application of microalgae as aquafeed the productivity of aquaculture products

Akhoundian M.[1*]; Gholizadeh F. [2]
[1]Department of Marine Biology, Faculty of Marine and Environmental Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
[2]Academic Center for Education, Culture, and Research, Mazandaran, Sari, Iran

Received: July 2022 Accepted:September 2022

Abstract
Nowadays, sea foods are considered to provide more than 50% of the nutritional demands of human communities. Therefore, with the development of the seafood market, the aquaculture industry continues to grow day by day. Currently, some aquaculture food ingredients are made from low price fishes (in the form of fish powder) and plants. But, the production of fish powder cannot be increased due to disruption of the stability of aquatic ecosystems; Therefore, alternative and environmentally friendly sources should be developed for aquaculture food ingredients. Microalgae biomass suggests as a natural source instead of fish powder because the cellular metabolites of these microorganisms contain a combination of essential amino acids, unsaturated fatty acids, vitamins, and pigments. In addition to these unique properties and bioactive compounds that are a major component of aquatic nutrition, microalgae can increase the survival of farmed species, and improve the color and quality of fillets. Microalgae have the highest biomass productivity among photosynthetic organisms, including forage crops, and therefore have high commercial potential. Also, the production of microalgae does not require special arable land and freshwater resources, which makes the feed based on microalgae contribute to environmental sustainability. This article is a review of studies on the potential and application of microalgae in aquatic nutrition to increase the productivity of aquaculture products.

Keywords: Aquaculture, Biomass, Microalgae, Nutrition, Productivity

*Corresponding author: m.akhoundian@umz.ac.ir