مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

مروری بر عملکرد پروبیوتیکی، پری‌بیوتیکی و متابیوتیکی ریزجلبک‌ها

نوع مقاله: مروری

بهاره نوروزی[1*]، فاطمه باقری[2]

۱- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه علوم پایه، دانشکده داروسازی و علوم داروئی، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد تهران، ایران

bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹

صفحه ۱۲۴-۹۹

چکیده

ترکیبات فعال زیستی در بیومس ریزجلبک‌ها مانند پروتئین، اسیدهای چرب اشباع نشده چندگانه، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها و مواد معدنی، نقش مهمی در مواد غذایی کاربردی ایفا می‌کنند. اثرات مطلوب آن‌ها بر سلامت انسان، از جمله اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، ضد میکروبی و ضد ویروسی و همچنین به‌عنوان پیشگیری از زخم معده، یبوست، کم خونی، دیابت و فشار خون بالا به اثبات رسیده‌است. امروزه با افزایش بیماری‌های سرطان، ترکیبات فعال زیستی به دست آمده از ریزجلبک‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای محصولات شیمیایی سنتز شده باشند. در واقع عملکرد پروبیوتیکی بسیاری از ریزجلبک‌ها به دلیل توانایی آن‌ها در تولید مواد فعال زیستی، از جمله هورمون‌ها، انتقال‌دهنده‌های عصبی و محرک‌های ایمنی است. علاوه‌بر آن، پلی‌ساکاریدهای جلبک‌ها، باعث تحریک رشد میکروارگانیسم‌های مفید روده می‌شوند، پس به‌عنوان پری‌بیوتیک بسیار کارآمد عمل می‌کنند. در نهایت، بسیاری از اجزای سلول‌های ریزجلبک‌ها و عوامل شیمیایی تولید شده توسط آن‌ها به خودی خود به‌عنوان متابیوتیک‌های بالقوه ارزشمند بسیار قابل توجه هستند. نتایج حاصل از مرور تعداد زیادی از مقالات در این زمینه نشان داد که با وجود پتانسیل اساسی ریزجلبک‌ها در فرمولاسیون غذا، هنوز پژوهش‌ها و تلاش‌های گسترده‌ای مورد نیاز است تا ریزجلبک‌ها به صورت تجاری در فرمولاسیون غذا و خوراک مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: پری‌بیوتیک؛ پروبیوتیک، متابیوتیک‌ها، ریزجلبک‌ها، زیست فناوری

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

مقدمه

سیانوباکتری‌ها از جمله ریزجلبک‌هایی هستند که به‌عنوان منابع دارویی، مواد مغذی (مانند افزودنی‌های غذایی)، لوازم آرایشی، سوخت زیستی، کودهای زیستی، خوراک دام و عوامل تصفیه فاضلاب از اهمیت بالایی برخوردار هستند. گونه‌هایی از سیانوباکتری‌ها مانند *آرتروسپیرا*، *نوستوک*، *آنابانا*، و *آفانیزومنون* سالها است که به‌عنوان غذا مورد استفاده قرار می‌گیرند. بازار جهانی محصولات ریزجلبکی در سال ۲۰۲۲ به ارزش ۳/۳ میلیارد دلار رسیده‌است و با در نظر گرفتن این واقعیت که مردم نگران سلامت خود هستند و علاقه‌مند به دوستدار محیط زیست هستند، مهمترین سهم را صنعت داروسازی و غذایی دارد (Jehuni Nejad and Karimi, 2023). این ترکیبات جایگزین‌هایی برای محصولات شیمیایی سنتز شده به‌ویژه به دلیل شیوع بیماری‌های مزمن به‌طور فزآینده‌ای در سراسر جهان هستند. شرکت‌های پیشرو در زمینه زیست فناوری جلبک عبارتند از Algae Tec (استرالیا)، Pond Biofuels Incorporated (کانادا)، Cyanotech (ایالات متحده)، و Algae Systems (ایالات متحده). کشت در مقیاس بزرگ ریزجلبک‌ها در دهه ۱۹۶۰ در ژاپن آغاز شد، در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، تولید صنعتی ریزجلبک‌ها به ایالات متحده آمریکا، چین، تایوان، استرالیا، هند، فلسطین آشغالی و آلمان گسترش یافت. در سال‌های اخیر تولید به حدود ۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰ تن زیست‌توده خشک رسید. ارزش عملکردی ریزجلبک‌هایی که به‌عنوان غذا استفاده می‌شوند از محتوای بالای پروتئین‌ها، اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه، پلی‌ساکاریدها، رنگدانه‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی، ترکیبات فنلی، ترکیبات فرار و استرول‌ها ناشی می‌شود (جدول ۱) (Kratzer and Murkovic, 2021).

ریزجلبک‌ها منابع اسیدهای چرب چند غیراشباع با زنجیره بلند هستند و بر این اساس، در صنایع غذایی به‌عنوان مکمل استفاده می‌شوند (fallah et al. 2022). ریزجلبک‌ها در واقع قادر به سنتز اعضای گروه امگا ۶ هستند – که شامل اسید لینولئیک، اسید γ لینولنیک (GLA) و اسید آراشیدونیک (ARA) و همچنین از خانواده امگا ۳ شامل اسید لینولنیک، ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) می‌شود. DHA و EPA با کاهش عوارض در بیماری‌های قلبی عروقی، آرتریت و فشار خون بالا مرتبط هستند. ARA و EPA مسئول انقباض عروق پلاکت‌ها و گشادکننده عروق در اندوتلیوم هستند (Hemantkumar and Rahimbhai, 2019). رنگدانه‌های ریزجلبک‌ها به‌طور کلی به یکی از سه دسته تعلق دارند: ۱) کلروفیل‌ها ۲) کاروتن‌ها و زانتوفیل‌ها ۳) فیکوبیلی پروتئین‌ها، مانند

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

فیکوسیانین و آلوفیکوسیانین. ویژگی‌های عمده آن‌ها شامل فعالیت‌های ضد التهابی، ضد فشار خون، ضد سرطان، آنتی‌اکسیدان، ضد افسردگی و ضد پیری است (Nowruzi. 2024). بتا-کاروتن در *آرتروسپیرا* و آستاگزانتین در *هماتوکوکوس پلوویالیس* ممکن است بیش از ۸۰ درصد (نسبت به زیست‌توده) از کل کاروتنوئیدها در سلول‌ها را تشکیل دهند (Mu et al. 2019). با این حال، کاربرد اصلی آن‌ها به‌عنوان رنگ‌های خوراکی است. انسان‌ها قادر به سنتز این رنگدانه‌ها نیستند، بنابراین با رژیم غذایی جلبک‌ها این ترکیبات را دریافت می‌کنند. امروزه با افزایش بیماری‌های سرطان ناشی از مصرف ترکیبات شیمیایی و رنگ‌کننده‌های مصنوعی، جستجو برای ترکیبات زیستی جدید و طبیعی افزایش یافته است، تا بتوان از آن‌ها به‌عنوان جایگزینی مناسب برای ترکیبات شیمیایی مضر استفاده کرد. به همین دلیل در این مقاله مروری، با تاکید بر عملکرد پروبیوتیکی، پری‌بیوتیکی و متابیوتیکی ریزجلبک‌ها، به‌طور مفصل کاربرد آن‌ها در ایمنی مواد غذایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۱- کاربردهای صنعتی بالقوه ریزجلبک‌ها در مواد غذایی کاربردی، شکل تجاری زیست‌توده، و ترکیب زیست فعال (Camacho et al. 2019)

ریزجلبک	محصول	اثرات حسی	شکل تجاری	ترکیب بیواکتیو	اثرات سلامتی
Chlorella sp. *Sprirulina* sp.	شیر	بهبود طعم و حس دهان	پودر یا مایع	پروتئین‌ها, PUFA-ω3, EPA, DHA	کاهش خطر کم خونی
Arthrospira platensis	ماست	بهبود بافت	مایع	فیکوسیانین	ضد سرطان؛ آنتی اکسیدان و ضد التهاب
Arthrospira platensis *Chlorella* sp.	پنیر	بهبود بافت	پودر	پروتئین و کربوهیدرات	ضد سرطان؛ کاهش خطر زخم معده، یبوست، کم خونی، فشار خون بالا، دیابت، سوء تغذیه نوزادان، روان رنجوری
Spirulina sp.	نوشیدنی بدون الکل	بهبود رنگ و طعم ترش	پودر یا مایع	PUFA-ω3	بهبود سیستم ایمنی و لنفاوی، محافظت در برابر سرطان و زخم
Arthrospira maxima *Chlorella protothecoides* *Haematococcus pluvialis*	دسر	بهبود رنگ و ثبات	پودر یا آرد	پروتئین، کلروفیل، فیکوسیانین	فعالیت آنتی اکسیدانی، پیشگیری از یبوست

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

فعالیت آنتی اکسیدانی	پروتئین، ویتامین‌ها، مواد معدنی	پودر یا آرد	بهبود رنگ، ثبات و بافت	کوکی و بیسکویت	*Arthrospira platensis* *Chlorella vulgaris* *Hematococcus pluvialis* *Phaeodactylum tricornutum* *Tetraselmis suecica*
کاهش سطح چربی و کلسترول، ایجاد سیری	پروتئین	پودر یا آرد	بهبود طعم، بافت و ظاهر	نان و کلوچه	*Arthospira platensis* *Chlorella* sp.
فعالیت آنتی اکسیدانی	PUFA-ω3، EPA، DHA، آستاگزانتین	پودر	طعم کمی جلبک دریایی	میسو	*Dunaliella* sp. *Spirulina* sp.
بهبود ایمنی و فشار خون	n.a.	پودر	بدون طعم و بو	کوجی	*Chlorella* sp. *Sprirulina* sp.
فعالیت آنتی اکسیدانی	پروتئین، کاروتنوئیدها	پودر	رنگ و بافت بهبود یافته است	پاستا	*Dunaliella salina*
محافظت در برابر زخم معده، پیشگیری از یبوست، کاهش کم خونی و دیابت، بهبود فشار خون	پروتئین،	پودر	بهبود رنگ، طعم، بافت و استحکام	پاستا	*Diacronena volkianum* *Isochrysis galbana*
فعالیت آنتی اکسیدانی	PUFA-ω3، EPA، DHA،	ژل	بهبود رنگ و استحکام	ژل غذای گیاهی	*Arthrospira maxima* *Diacronena volkianum* *Haematococcus pluvialis*
فعالیت آنتی اکسیدانی	کاروتنوئیدها	روغن یا امولسیون	بهبود رنگ و ثبات	سس مایونز گیاهی	*Chlorella vulgaris* *Haematococus pluvialis*
فعالیت آنتی اکسیدانی	کاروتنوئیدها	روغن	بهبود رنگ و ثبات	روغن سویا	*Chlorella vulgaris*
فعالیت های ضد میکروبی و ضد ویروسی	کاروتنوئیدها	روغن	n.a.	n.a.	*Arthrospira platensis*
فعالیت آنتی اکسیدانی	کاروتنوئیدها	پودر	بهبود طعم ب	چاشنی آشپزی	*Dunaliella salina*
پیشگیری از یبوست، القای سیری	پروتئین ها،	پودر، آرد، قرص یا مایع	n.a.	مکمل غذایی	*Chlorella* sp. *Schizochytrium* sp. *Thraustochytrium* sp.
n.a.	پروتئین	کپسول	n.a.	مکمل غذایی	*Dunaliella* sp. *Phaeodactylum tricornutum* *Nannochloris* sp. *Nannochloropsis* sp.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

بهبود سلامت چشم و مغز، محافظت در برابر اشعه ماوراء بنفش و سلامت پوست، اثرات ضد انعقادی و ضد التهابی در دیابت، تعدیل سیستم ایمنی، سلامت قلب و عروق	آستاگزانتین	کپسول	n.a.	مکمل غذایی	*Haematococcus pluvialis*

*n.a: اطلاعاتی در دسترس نیست

ارزش غذایی ریزجلبک‌ها

غذاهای دریایی (مانند ماهی قزل آلا، میگو، خرچنگ، سالامون) منبع اصلی آستاگزانتین هستند، اما مقدار آن‌ها معمولاً کافی نیست. سازمان غذا و داروی ایالات متحده (FDA) آستاگزانتین را به‌عنوان مکمل غذایی در سال ۱۹۹۹ تأیید کرد، زیرا ویژگی‌های آنتی اکسیدانی قوی دارد، علاوه‌بر آن اثرات ضد دیابت، ضد اکسیداتیو، ضد التهاب، ضد سرطان، ضد فشار خون، ضد پیری و تعدیل کننده سیستم ایمنی دارند. اثرات مثبت آن‌ها بر سیستم عصبی مرکزی، چشم‌ها و مغز نیز گزارش شده‌است. بیش از ۹۵ر درصد بازار آستاگزانتین برای اولین بار توسط آستاگزانتین مصنوعی به دست آمده از مشتقات پتروشیمی تحت سلطه بود. شرکت‌هایی مانند DSM در هلند، BASF در سوئیس، و NHU در چین بیشترین عرضه را به خود اختصاص دادند. با این حال، آستاگزانتین طبیعی مشتق شده از *هماتوکوکوس پلویالیس* نسبت به همتای مصنوعی خود برتری داشت. در واقع، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی درون سلولی آستاگزانتین استری شده طبیعی از *هماتوکوکوس پلویالیس* ۹۰ برابر آستاگزانتین مصنوعی است، علاوه‌بر اینکه فاقد سمیت است. خواص آنتی‌اکسیدانی آستاگزانتین منجر به محافظت در برابر اکسیداسیون نور ماوراء بنفش، التهاب، سرطان، زخم‌های ناشی از *هلیکوباکتر پیلوری*، و بیماری‌های مرتبط با افزایش سن یا ارتقاء پاسخ ایمنی و عملکرد کبد و همچنین سلامت قلب، چشم، مفاصل و پروستات می‌شود. (Kratzer and Murkovic, 2021).

فیکوسیانین رنگدانه دیگری است که دارای رنگ آبی منحصر به فرد است که به راحتی برای اهداف فرمولاسیون مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سلول‌های ریزجلبکی همچنین سرشار از ویتامین A، C، E و K، تیامین، پیریدوکسین، ریبوفلاوین، اسید نیکوتین، بیوتین و توکوفرول هستند (MU et al. 2019). نتایج چندین مطالعه در مورد استفاده از ریزجلبک‌ها به‌عنوان خوراک دام،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

از نظر کیفیت و عملکرد محصول بسیار قابل توجه بوده‌است. خوراک غنی شده با مقادیر کمی از زیست‌توده ریزجلبکی، با بهبود پاسخ ایمنی، مقاومت در برابر بیماری، و بهبود عملکرد روده حیوانات همراه است. علاوه‌بر این، فعالیت ضد ویروسی و ضد باکتریایی، و همچنین افزایش عملکرد تولید مثل و افزایش وزن را به همراه دارد. در واقع افزودن ریزجلبک‌ها به غذای بره‌ها و اسب‌ها، باعث افزایش محتوای اسید چرب گوشت آن‌ها می‌شود، در حالی‌که گنجاندن *آرتروسپیرا پلاتنسیس* در خوراک خوک‌ها و طیور، افزایش وزن را بهبود بخشید. کیفیت بهبود یافته گوشت به دست آمده، از نظر طعم، رنگ یا بافت، منجر به استقبال مصرف‌کنندگان شده‌است. آستاگزانتین به‌طور عمده در صنعت آبزی‌پروری برای افزایش رنگ ماهیان پرورشی و میگو بسیار پرکاربرد است. افزودن آستاگزانتین به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی، افزایش سرعت رشد و بقای لاروها در آبزی‌پروری و همچنین افزایش عملکرد تولیدمثلی و کیفیت تخم آبزیان از اهمیت بسیاری برخوردار است. همچنین منجر به افزایش مقاومت و پاسخ ایمنی در برابر بیماری‌های عفونی در ماهیان پرورشی می‌شود (Sidari and Tofalo, 2019).

ترکیبات ریزجلبک‌ها جایگزینی سازگار با محیط زیست برای درمان یا پیشگیری از بیماری‌های مختلف از جمله انواع مختلف دیابت، سندرم متابولیک و چاقی، مشکلات قلبی عروقی، تومورهای بدخیم، فرآیندهای التهابی، بیماری آلزایمر، افسردگی و سایر اختلالات روانپزشکی و همچنین انواع عفونت‌های باکتریایی، قارچی و ویروسی هستند. اثرات مفید پزشکی ریزجلبک‌ها ناشی از اجزای آن‌هاست که فعالیت‌های آنتی اکسیدانی، محافظ نور، ژل‌ساز، مرطوب‌کننده، ضد میکروبی و سایر فعالیت‌ها را نشان می‌دهند (Nowruzi et al. 2020b). آن‌ها شامل پلی ساکاریدها (به‌ویژه مشتقات سولفاته آن‌ها)، کاروتنوئیدها، فیکوبیلی‌پروتئین‌ها (در سیانوباکتری‌ها)، اجزای لیپیدی (به‌ویژه اسیدهای چرب چند غیراشباع (PUFA))، ویتامین‌ها و تعداد زیادی از ترکیبات شیمیایی دیگر هستند. ریزجلبک‌ها منابع پروتئینی مهمی هستند، تقاضای جهانی برای پروتئین جلبکی در سال ۲۰۱۹ از ۷۰۰ میلیون دلار فراتر رفت که همچنان رو به افزایش است. پیش‌بینی شده است که تا اواسط قرن بیست و یکم، تا ۱۸ درصد از پروتئین موجود در بازار جهانی توسط جلبک‌ها تامین می‌شود. ریزجلبک‌ها منابع ارزشمندی از اسیدهای آمینه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

ضروری، کربوهیدرات‌ها، به‌عنوان مثال، گلوکز و نشاسته، ویتامین‌های B1، B2، B5، B6، B9، B12، A، C، E و بیوتین و همچنین کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه‌های مهم تغذیه‌ای و دارویی از جمله فیکوبیلی پروتئین‌های سیانوباکتری‌ها هستند (Ampofo and Abbey, 2022).

ریزجلبک‌ها به‌عنوان مواد غذایی به شکل کشت مایع، کپسول، قرص، پودر یا به‌عنوان مواد افزودنی به محصولات غذایی متنوع مانند سس، دسر، ماست، پنیر از جمله پنیر کوتیج، ماکارونی، نان، استیک و سوسیس اضافه می‌شوند. خواص ژله‌ای و تثبیت‌کنندگی اجزای زیست‌توده بسیاری از جلبک‌ها و کاربرد آن‌ها به‌عنوان غلیظ‌کننده مواد غذایی، توسعه طیف وسیعی از محصولات مانند آلژینات و کاراگینان که از جلبک‌ها به دست می‌آید، به اثبات رسیده است (Koyande et al. 2019). جزء اصلی زیست‌توده *کلرلا*، β-1،3 گلوکان، یک محرک ایمنی و یک آنتی‌اکسیدان است که غلظت لیپید در خون را کاهش می‌دهد. استفاده از پلی‌ساکاریدها، به‌ویژه آن‌هایی که دارای گروه‌های سولفات و خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، تعدیل‌کننده ایمنی و ضد ویروسی هستند، بسیار مورد توجه است. اینها همچنین برای درمان مشکلات مفصلی استفاده می‌شوند. از مزایای زیست‌توده *کلرلا* می‌توان به غلظت بالای اسید اسکوربیک و یون‌های K^+، Na^+، Mn^{+2} و Ca_2 اشاره کرد. کشت در شدت نور کم، تجمع PUFAهای با ارزش، به‌ویژه اسید α-لینولنیک، در زیست‌توده *کلرلا* را تسهیل می‌سازد. بازار جهانی عرضه‌کننده‌ی مواد دارویی مهم ریزجلبکی مانند آستاگزانتین از *هماتوکوکوس پلاویالیس* با آرم تجاری اسپیرولینا است که برای کاهش محتوای لیپید توصیه می‌شود و سطح کلسترول خون را کاهش می‌دهد. همچنین اسید دوکوزاهگزانوئیک (DHA) از *سیزوکیتریوم لیماسینوم*، دارویی برای درمان آرتریت روماتوئید است. به غیر از آستاگزانتین، رنگدانه‌های ریزجلبکی مهم از نظر زیست فناوری شامل سایر کاروتنوئیدها، به‌ویژه بتاکاروتن، لیکوپن، زآگزانتین (zeaxanthin) و کانتاگزانتین هستند که به‌عنوان یک رنگ خوراکی با ارزش استفاده می‌شوند. ریزجلبک سبز *دانالیلا سالینا* حاوی ۱۲ تا ۱۴ درصد بتاکاروتن (با وزن خالص) است. β-کاروتن از *دانالیلا سالینا* توسط شرکت‌های Earthrise Nutritionals (ایالات متحده آمریکا) و و Nature Beta Technologies Cognis (استرالیا) تولید می‌شود. به دلیل فقدان دیواره سلولی سفت و سخت و محتوای پروتئین بالای آن، زیست‌توده جلبک‌های جنس *دانالیلا* به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

راحتی قابل بلع است و در صنعت نانوایی و همچنین به‌عنوان خوراک ماهی و گاو استفاده می‌شود (Lucakova et al. 2022). عصاره ریزجلبک‌ها در سالن‌های زیبایی، اسیدهای آلژینیک به‌عنوان ماسک و همچنین اسانس استفاده می‌شوند. اثرات مفید فرآورده‌های ریزجلبکی به دلیل کارایی آن‌ها به‌عنوان مرطوب‌کننده‌های پوست، قوام‌دهنده، رنگدانه‌ها، ضدآفتاب‌ها و عوامل جوان‌کننده و سفیدکننده پوست است (Ampofo and Abbey, 2022).

ریزجلبک‌ها به‌عنوان پروبیوتیک

پیدایش میکروبیوتاهای مقاوم به داروها و آنتی‌بیوتیک‌های مرسوم، راهبردهای جایگزین را برای مبارزه با آن‌ها به وجود آورده‌است. از سوی دیگر، مکمل‌های مولتی‌پلکس هنوز هم گران و ناخوشایند هستند. بنابراین، رویکردهای ساده و کم‌هزینه برای دستیابی به مزایای سلامتی به روشی پیشگیرانه به مکمل‌سازی با پروبیوتیک‌ها متوسل شده‌اند. واژه پروبیوتیک از کلمات یونانی "pro" و "bios" به معنای "برای زندگی" گرفته شده است و به‌طور کلاسیک به میکروارگانیسم‌های زنده‌ای اطلاق می‌شود که به‌طور طبیعی به بهبود سلامت ارگانیسم میزبان کمک می‌کنند (جدول ۲) (de Jesus Raposo et al. 2016; Seifzadeh. 2022).

جدول ۲. عملکرد خوراکی بالقوه ریزجلبک‌ها بر اساس نوع حیوان تغذیه شده، محصول غذایی حاصل و ترکیب فعال زیستی (Camacho et al. 2019; Anvar and Nowruzi, 2022b)

ریزجلبک	حیوان	محصول	اثر حسی	محصول تجاری	ترکیب بیواکتیو	اثر سلامتی
Schizochytrium sp.	گاو	گوشت	n.a.	پودر	PUFA-ω3, EPA, DHA	بهبود سیستم قلبی عروقی، مغز و چشم
Chlorella vulgarisa *Spirulina* sp.	خوکچه	گوشت	n.a.	پودر یا اسپری	Cu	افزایش خواص تغذیه‌ای
Arthrospira platensis *Isochrysis* sp.	بره	گوشت	بهبود رنگ، بو و طعم	پودر	پروتئین PUFA-ω3	پیشگیری از بیماری‌های قلبی عروقی
Arthrospira platensis *Schizochytrium* sp.	خرگوش	گوشت	n.a.	پودر	PUFA-ω3، γ- لینولنیک اسید	فعالیت ضد التهابی، افزایش خواص تغذیه‌ای
Arthrospira platensis *Chlorella vulgaris* *Staurosira* sp. *Schizochytrium* sp.	جوجه	گوشت	رنگ بهبودیافته (زردی گوشت و قرمزی کبد)	پودر یا اسپری	PUFA-ω3, EPA, DHA	فعالیت آنتی‌بیوتیکی، کاهش خطر بیماری‌های مزمن

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

بهبود ایمنی	پروتئین	تخمیر شده	رنگ بهبودیافته (زردی گوشت)	گوشت	اردک پکین	*Chlorella vulgaris*
پیشگیری از بیماری‌های قلبی عروقی، فعالیت‌های ضد التهابی، ضد فشار خون، ضد سرطانی، آنتی اکسیدانی، ضد افسردگی و ضد پیری	PUFA-ω3، EPA، DHA، کاروتنوئیدها	پودر یا اسپری	رنگ بهبودیافته (زرد تا نارنجی)	تخم مرغ	مرغ	*Arthrospira platensis* *Nannochloropsis gaditana*
بهبود خواص تغذیه‌ای	PUFA-ω3، EPA، DHA، γ-لینولنیک اسید	منجمد خشک شده	رنگ بهبودیافته (زرد تا نارنجی)	تخم مرغ	مرغ	*Porphyridium* sp.
فعالیت آنتی اکسیدانی، بهبود ایمنی	کاروتنوئیدها	منجمد خشک شده	n.a.	گوشت	میگو	*Dunaliella* sp.
فعالیت آنتی اکسیدانی	آستاگزانتین	منجمد خشک شده	n.a.	گوشت	میگو	*Tetraselmis chuii*
بهبود خواص تغذیه‌ای	پروتئین، لیپیدها	پودر	n.a.	گوشت	ماهی سالمون دریای آتلانتیک	*Nanofrustulum* sp. *Tetraselmis* sp.
فعالیت آنتی اکسیدانی	آستاگزانتین	پودر	بهبود رنگ	گوشت	ماهی قزل آلا	*Haematococcus pluvialis*
بهبود خواص تغذیه‌ای و ایمنی	ماده بیواکتیو	گلوله	n.a.	گوشت	ماهی قزل آلا	*Arthorospira platensis*
فعالیت آنتی اکسیدانی	کاروتنوئیدها	پودر	n.a.	رنگ بهبودیافته (قرمز)	ماهی قزل آلا	*Arthrospria maxima* *Chlorella vulgaris* *Haematococcus pluvialis*

چندین مطالعه نتایج امیدوارکننده‌ای را از پروبیوتیک‌ها، زمانی که در رژیم غذایی گنجانده شده‌اند، علیه بیمارگرهای روده‌ای مختلف نشان داده‌اند که به دلیل توانایی منحصربه‌فرد در رقابت برای مواد مغذی منجر به از بین بردن بیمارگرها با ترشح مواد ضد باکتری (مانند باکتریوسین‌ها، اسیدهای آلی) می‌شوند و آنتی‌توکسین تولید می‌کنند. هنگامی‌که پروبیوتیک‌ها در مقادیر قابل قبول بالاتر از حداقل حد آستانه ارائه شوند، همچنین می‌توانند سیستم خود ایمنی را تعدیل کنند، پاسخ آلرژیک بدن را تنظیم کنند، فشار خون را کاهش دهند، سطح کلسترول و گلوکز را عادی کنند، یبوست را کاهش دهند و تکثیر سلول‌های سرطانی را کاهش دهند (Ilikkan et al. 2022).

باکتری‌های اسید لاکتیک پروبیوتیک (LAB) در درجه اول از مدفوع نوزادان جدا شدند و بر این

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

اساس به‌عنوان بخش مهمی از میکروبیوتای روده در نظر گرفته می‌شوند. رایج ترین پروبیوتیک‌های مورد استفاده در صنایع غذایی باکتری‌ها و مخمرها به میزان کمتری هستند. آن‌ها به‌طور عمده از منابع انسانی و/یا حیوانات مشتق شده‌اند و به جنس *لاکتوباسیلوس* و *بیفیدوباکتریوم* تعلق دارند. (Amaro et al. 2011). افزودن ریزجلبک‌های زنده (پروبیوتیک) به غذا باعث بهبود سلامت و بقای جانوران دریایی در معرض خطر می‌شود، اما شواهد علمی برای فواید پروبیوتیکی برای بیشتر آن‌ها وجود ندارد و تأثیر آن‌ها بر میکروبیوتای روده حیوانات هنوز مشخص نشده است. تجویز خوراکی اسپیرولینا ظاهراً منجر به تعدیل میکروبیوتای روده و فعال کردن سیستم ایمنی (Anvar and Nowruzi, 2021)، مکانیسمی که در نهایت منجر به بهبود التهاب کبدی می‌شود. پژوهشگران ثابت کردند که کاهش باکتری‌های بیماری‌زا در روده میگوی سفید هندی را می‌توان با گنجاندن (سلول‌های زنده) در رژیم غذایی کنترل کرد (Cerezuela et al. 2012).

اگرچه این عملکرد پروبیوتیکی بسیار مهم است، اما در رابطه با ریزجلبک‌ها به اندازه کافی آزمایش نشده‌است. با این‌حال، مشخص شد که *آرتروسپیرا پلاتنسیس* باعث تحریک رشد باکتری‌های همزیست مفید دستگاه گوارش مانند *لاکتوباسیلوس کازئی*، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *بیفیدوباکتری* می‌شود. ریزجلبک‌ها، رشد بیمارگرهای فرصت طلب *پروتئوس وولگاریس*، *باسیلوس سوبتیلیس* و *باسیلوس پامولیس* را مهار می‌کنند. به دلیل پلی‌ساکاریدهایشان، *کلرلا پیرنوئیدوزا* و *کلرلا الیپسودیا* تکثیر سلول‌های باکتری بیماری‌زا *لیستریا مونوسیتوژنز* و مخمر *کاندیدا آلبیکنس* را سرکوب می‌کنند و تأثیر مثبت قابل توجهی بر میکروبیوتای روده توسط اسیدهای چرب غیراشباع امگا ۳ تولید شده توسط ریزجلبک‌ها اعمال می‌شود (Ilikkan et al. 2022). شواهدی برای اثر پروبیوتیکی ریزجلبک‌ها بر میکروبیوتای حیوانات وجود دارد. تجویز *نانوکلوروپسیس اوکولاتا* برای اسب دریایی هیپوکامپوس ریدی (*Hippocampus reidi*) یا تغذیه ریزجلبک‌های *کائتوسروس*، *پاولووا* و *ایزوکریسیس* (به‌طور جداگانه یا ترکیبی) به صدف‌ها باعث بقای این حیوانات و کاهش مقدار باکتری‌های بیماری‌زای زنده در ارگانیسم‌های آن‌ها شد. نکته مهم این است که پروبیوتیک‌ها برخلاف آنتی‌بیوتیک‌ها، عملکرد میکروبیوتای همزیست را مختل نمی‌کنند (Avendaño and Riquelme, 1999). پروبیوتیک‌ها سموم و متابولیت‌های مضر برای ارگانیسم میزبان را از بین می‌برند. این مشخصه پروبیوتیک‌های باکتریایی مرسوم است. با این وجود، می‌توان انتظار داشت که کشت مخلوط

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

جلبک-باکتری همچنان در از بین بردن مواد مضر کارآمدتر باشد، زیرا یک اثر تحریک‌کننده هم افزایی معمولی در چنین کشت مخلوطی است و هر دو جزء آن را شامل می‌شود. علاوه‌بر این، ریزجلبک‌ها به خودی خود و به‌طور فعال مواد مضر مختلفی را به خود جذب می‌کنند. آن‌ها به‌طور موثری محیط را از ترکیبات حاوی گوگرد، سلنیوم و مهم‌تر از آن، فلزات سنگین از جمله روی، مس، سرب، جیوه، کروم، کادمیوم، نیکل، آهن، منگنز و وانادیم پاک می‌کنند. همه این عناصر در آب و خاک تجمع پیدا می‌کنند و بر انسان و حیوانات کشاورزی تأثیر می‌گذارند. در این زمینه ماست‌ها، آب‌میوه‌ها و سایر نوشیدنی‌های مکمل با زیست‌توده ریزجلبک‌ها که امکان کاهش انتقال فلزات و سایر عوامل مضر به بدن انسان را به‌ویژه در شرایط شهری فراهم می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به لطف آنزیم‌های خود فعال، بسیاری از ریزجلبک‌ها می‌توانند ترکیبات آلی مضر را سم‌زدایی کنند، از جمله آن‌هایی که در آب آشامیدنی و غذا انباشته می‌شوند و از مواد دارویی و آرایشی به دست می‌آیند. به‌عنوان مثال، *سینیدسموس اوبلیکوس* و *کلرلا پیرنویدوسا* داروهای ضد بارداری مبتنی‌بر هورمون پروژسترون و نورژسترل را تجزیه می‌کنند (Eze et al. 2023). پروبیوتیک‌ها مواد مغذی با وزن مولکولی کم، آنتی اکسیدان‌ها، ترکیبات محافظ و سایر مواد فعال زیستی (BAS) را تشکیل می‌دهند. با این وجود، اجزای ریز جلبکی، به‌ویژه کاروتنوئیدها، بدون شک دارای خواص آنتی اکسیدانی هستند که اثرات محافظت‌کننده قلبی و ضد آترواسکلروتیک آن‌ها را ممکن می‌سازد. *دونالیلا سالینا* که حاوی ۱۰ تا ۱۳ درصد بتاکاروتن است، از موش‌ها و انسان‌ها در برابر ابتلا به آترواسکلروز محافظت می‌کند. ترکیب ویژه دی سالینا و سیس ایزومرهای β-کاروتن، سطوح کل لیپید، کلسترول و تری گلیسیرید را در ارگانیسم‌ها به میزان بیشتری نسبت به بتا-کاروتن مصنوعی که حاوی ترانس است، کاهش می‌دهد. ایزومر بتاکاروتن از *دانالیلا باردارویل*، پیشرفت تصلب شرایین را در موش‌های پیر که رژیم غذایی غنی از چربی داشتند، سرکوب کرد. خواص محافظت از قلب مشخصه PUFAها، به‌ویژه اسیدهای امگا ۳ تولید شده توسط تعدادی از گونه‌های ریزجلبک، به‌عنوان مثال، *پورفیریدیوم پورپورئوم* و *ایزوکریزیس گالبانا* است که سطح کلسترول خون را کاهش داده و فشار خون را عادی می‌کند (Avendaño and Riquelme, 1999). پروبیوتیک‌ها اثر ضد سرطانی دارند. این ویژگی برای تعداد زیادی ریزجلبک و اجزای آن‌ها مانند آستاگزانتین، بتاکاروتن، لوتئین، ویولاگزانتین، فوکوگزانتین، و سایر کاروتنوئیدهای ریزجلبکی و همچنین فیکوبیلی‌پروتئین‌های

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

سیانوباکتری‌ها از جمله *آرترونما آفریکانوم* و *آرتروسپیرا پلانتین* است. فیکوسیانین تأثیر مهاری روی رده‌های سلولی سرطان کبد، لوسمی و سرطان ریه دارد. نتایج مطالعات نشان داد که فیکوسیانین مستخرج از *لیمنوتریکس* (*Limnothrix* sp.) اثر داروی ضد تومور توپوتکان (topotecan) را بر روی رده سلولی سرطان پروستات تقویت می‌کند (Hemantkumar and Rahimbhai, 2019). در واقع مونوآسیل گلیسریدهایی که بخشی از لیپیدهای *اسکلتوما مارینو* را تشکیل می‌دهند، می‌توانند کاسپاز ۷/۳ را فعال کنند و بنابراین، آپوپتوز (مرگ برنامه‌ریزی‌شده) سلول‌های سرطان روده بزرگ (HCT-116) و سرطان خون (U-937) را به غیر از سلول‌های طبیعی القا کنند. لیپیدهای ریزجلبکی حاوی PUFA فعالیت ضد توموری بالقوه‌ای را در مقاله سرطان دهانه رحم و سینه نشان می‌دهند. EPA و DHA رشد عروق خونی را در بافت تومور سرکوب می‌کنند و استرس وابسته به پراکسید را در شبکه آندوپلاسمی افزایش می‌دهند که منجر به تخریب سلول‌های تومور می‌شود (Zabidi et al. 2021).

فوکویدان پلی‌ساکارید سولفاته شده از *فوکوس ویسکولوسیس*، *هنسووینوم سارگاسوم*، *کلادوسیفون* و *کوکوفورا لانگدورفی* با تحریک، از طریق فعال سازی کاسپاز ۷/۳، آپوپتوز لنفومالان، میلومالومالومیلومی، لنفومالونومی و لنفومالونومیال، تشکیل عروق خونی و توسعه متاستاز را در رده‌های سلولی سرطان پستان مهار می‌کند. فعالیت ضد سرطانی ویولاگزانتین که توسط *دانالیلا ترتیولکتا* سنتز می‌شود، به اثبات رسیده‌است (Patel et al. 2021). پروبیوتیک‌ها، فعالیت‌های ضد التهابی، ضد حساسیت و ضد دیابت دارند. اثرات ضد التهابی ایجاد شده به واسطه پلی‌ساکاریدهای سولفاته مستخرج از *کلرلا*، *تتراسلمیس*، *ایزوکریسیس* و *پورفیریدیوم* تا حد زیادی بر سیستم ایمنی تأثیر دارد. در آزمایش‌هایی با موش‌ها به‌عنوان مدل، پودر خشک شده زیست‌توده *دانالیلا بارداویل* التهاب روده کوچک ناشی از اسید استیک را کاهش داد. همانطوری‌که برای بیماران مبتلا به بیماری کبد چرب غیرالکلی (NAFLD)، درمان آن‌ها با زیست‌توده *کلرلا وولگاریس* کپسولی منجر به کاهش قابل تأیید در محتوای سیتوکین TNF-á پیش التهابی شد. فیکوسیانین‌های *آرتروسپیرا* آنزیم NADPH اکسیداز را که در فرآیندهای التهابی دخیل است، مهار می‌کنند. آستاگزانتین، یک رنگدانه قرمز (یک رنگ خوراکی و آرایشی) و یک آنتی اکسیدان که مشخصه *هماتوکوکوس پلوویالیس* است، "طوفان سیتوکین" (تولید بیش از حد فعال‌کننده سیستم ایمنی) را در طول عفونت ویروس کووید-۱۹ کاهش می‌دهد. علاوه‌بر آن PUFA جلبک‌ها درمان

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

بیماری‌های التهابی از جمله آرتریت را تسهیل می‌کند. یک اثر ضد دیابتی خاص پروبیوتیک‌های باکتریایی، به‌عنوان مثال، در سیانوباکتری‌های جنس *آرتروسپیرا* آشکار شد که به محتوای بالای ویتامین و اسید γ-لینولینیک آن‌ها نسبت داده شد. فعالیت ضد دیابتی نیز توسط رنگدانه‌های آستاگزانتین و فیکوسیانین به اثبات رسیده است (Patel et al. 2021).

پروبیوتیک‌ها، کاهش وزن بدن و درمان چاقی (سندرم متابولیک) را تسهیل می‌کنند. علاوه‌بر این، پروبیوتیک‌ها را می‌توان برای درمان مشکلات سلامتی کاملاً متضاد، مانند بی‌اشتهایی و لاغری استفاده کرد. همراه با کاهش تجمع چربی در ارگانیسم، درمان ریزجلبک سایر علائم را در افراد چاق از جمله افزایش سطح لیپید پلاسما، مقاومت به انسولین و التهاب سیستمیک مزمن خفیف کاهش می‌دهد. افزودن پودر زیست‌توده *آرتروسپیرا پلاتنسیس* و یا *کلرلا*، به نان یا کلوچه‌ها به کاهش سطح چربی و کلسترول کمک می‌کند و احساس گرسنگی را با احساس سیری جایگزین می‌کند (Gupta et al. 2017).

جلوگیری از علائم پیری پیشرونده با پروبیوتیک‌ها، مرتبط با تأثیر کاهش‌دهنده پیری و جوان‌کننده ریزجلبک‌ها است که به نوبه خود با اثرات آنتی‌اکسیدانی، محافظتی، ضد التهابی و عادی‌سازی متابولیسم آن‌ها مرتبط است. پیری پوست با کاهش سنتز اجزای ساختاری ماتریکس پوست (کلاژن، الاستین و اسید هیالورونیک) و فعال شدن همزمان پروتئازهایی که این اجزا را تجزیه می‌کنند، همراه است. بر این اساس، کاهش سرعت پیری و جوان‌سازی ناشی از آماده‌سازی‌های ریزجلبکی تا حدودی به دلیل اثر محدودکننده آن‌ها بر پروتئولیز اجزای ماتریکس است. همچنین این واقعیت مهم است که ریزجلبک‌ها حاوی مواد تولیدکننده اثرات آنتی اکسیدانی هستند که رادیکال‌های آزاد، به‌ویژه گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را کم می‌کنند. کاروتنوئیدهای ریزجلبکی شامل بتا کاروتن، لوتئین و لیکوپن از پوست در برابر اثر نور فرابنفش محافظت کرده، ROS را کم و پیری پوست را کند می‌کنند. تأثیر جوان‌سازی ریزجلبک‌ها نیز به اثر تنظیم‌کننده فیتوهورمون‌های آن‌ها (اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، اسید آبسیزیک، جیبرلین‌ها و غیره) بر بدن انسان نسبت داده می‌شود. پروبیوتیک‌ها با تولید فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) باعث رشد رگ‌های خونی (آنژیوژنز) در بافت روده می‌شوند. در طب سنتی چینی، *اسپیرولینا* و تعدادی از ریزجلبک‌های دیگر برای درمان زخم اثنی عشر استفاده می‌شود، زیرا باعث تسریع عروق، یعنی افزایش طول عروق خونی در دیواره روده می‌شود (Zabidi et al. 2021). برخی از پروبیوتیک‌ها اثر تسکین‌دهنده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

برجسته‌ای دارند. این اثر مشخصه عصاره آبی *کلرلا استیگماتوفورا* و *فائوداکتیلوم تریکورنوتوم* است که به اجزای پلی‌ساکارید آن‌ها نسبت داده می‌شود. این عصاره‌ها همچنین دارای فعالیت ضد التهابی هستند و می‌توانند رادیکال‌های آزاد را خاموش کنند. پروبیوتیک‌ها استرس را کاهش می‌دهند. چندین اقلام لبنی را می‌توان با مواد ریز جلبکی که اثرات ضد استرس ایجاد می‌کند، غنی‌سازی کرد. به‌عنوان مثال، شواهدی ارائه شد مبنی‌بر اینکه *کلرلا ولگاریس* نه تنها دارای خواص ضد عفونت و ضد سرطان، بلکه ضد استرس نیز است. در آزمایش‌هایی که با موش‌های ویستار که در معرض استرس قرار داشتند (قرار دادن در قفس‌ها یا مخازن مرطوب با آب سرد یا گرم و برهم زدن ریتم روز و شب)، نشان داده شد که تجویز *کلرلا ولگاریس*، پیامدهای رفتاری استرس را کاهش می‌دهد. به‌عنوان مثال، موش‌ها در هنگام استرس دیگر تمایلی به نوشیدن محلول ساکارز نشان نمی‌دهند، در حالی‌که آن را همیشه نوشیدنی خوش طعم می‌دانند، اما پس از مصرف *کلرلا* و کاهش علائم استرس، دوباره به رفتار طبیعی خود بازمی‌گردند و محلول شیرین را به آب ساده ترجیح می‌دهند. علاوه‌بر آن نتایج آزمایشات نشان داد که *کلرلا* حتی اثرات بیوشیمیایی استرس، مانند افزایش سطح کلسترول خون را نیز کاهش می‌دهد (Beheshtipour et al. 2013).

پروبیوتیک‌ها با سلول‌های اپیتلیال روده تعامل دارند و بنابراین، فعالیت سیستم ایمنی و به‌طور مستقیم بخش روده‌ای آن و بافت لنفاوی مرتبط با روده (GALT) را تنظیم می‌کنند. آن‌ها پاسخ‌های ایمنی را تعدیل می‌کنند، تعادل بین سیتوکین‌های ضد التهابی و پیش‌التهابی را عادی می‌کنند و فشار آنتی‌ژن اعمال شده بر GALT را کاهش می‌دهند. پروبیوتیک‌ها نفوذپذیری دیواره روده را کاهش می‌دهند، ترشح ایمونوگلوبولین IgA را افزایش می‌دهند، سلول‌های Treg ضد التهابی را فعال می کنند و تولید اینترلوکین ضد التهابی IL-10 را تسهیل می‌کنند. یکی از مکانیسم‌های تنظیم سیستم ایمنی شامل تحریک تکثیر مونوسیت‌ها، ماکروفاژها و نوتروفیل‌ها و افزایش فعالیت فاگوسیت‌ها و ترشح واسطه‌های ایمنی مانند سیتوکین‌ها است. پلی‌ساکارید حاوی عصاره *کلرلا استیگماتوفورا*، *اسکلتونما کاستاتوم* و *کلرلا دورنی* فاگوسیتوز وابسته به ماکروفاژ را در حفره شکمی موش فعال کرد. PUFA های امگا ۳ موجود در زیست‌توده ریز جلبکی نیز فعالیت ماکروفاژها را تحریک می‌کنند (Ilikkan et al. 2022).

تجویز زیست‌توده *کلرلا ولگاریس* به‌عنوان پودر خشک شده به افراد باعث افزایش فعالیت کشنده طبیعی در بخش مونوسیتی خون محیطی و اینترفرون γ و اینترلوکین IL-1β و IL-12 در سرم

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

خون شد. به روشی مشابه، تغذیه با زیست‌توده خشک شده *دانالیلا سالینا* به موش منجر به فعال شدن ماکروفاژها و کشنده‌های طبیعی (سلول‌های NK) و همچنین افزایش زنده‌مانی موش‌های مبتلا به سرطان خون شد. اثرات مفید پروبیوتیک‌ها بر سیستم عصبی، عملکرد مغز و ویژگی‌های روانشناختی از جمله ظرفیت‌های شناختی، حافظه و رفتار اجتماعی زمینه را برای طبقه‌بندی برخی از پروبیوتیک‌ها در زیر گروه سایکوبیوتیک‌ها فراهم می‌کند. اینها میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که وقتی در مقادیر کافی تجویز شوند، برای بیماران مبتلا به مشکلات روانپزشکی مزایای سلامتی ایجاد می‌کنند. پروبیوتیک‌ها می‌توانند بر مغز، رفتار، و مهم‌تر از همه، خلق و خو و ظرفیت‌های شناختی، هم در محیط تجربی و هم در محیط بالینی تأثیر بگذارند (Beheshtipour et al. 2013).

تا آنجایی‌که به ریزجلبک‌ها مربوط می‌شود، به‌تازگی داده‌های مهمی در مورد اثرات محافظت عصبی ریزجلبک‌های مختلف و اجزای آن‌ها مانند پلی‌ساکاریدها، لیپیدها (به‌ویژه آن‌هایی که دارای PUFA هستند)، کاروتنوئیدها، فیکوبیلین‌ها و سایر ترکیبات به دست آمده‌اند. سیستم عصبی توسط آن‌ها در برابر استرس اکسیداتیو، پیری و اختلالات عصبی محافظت می‌شود. جنس *آرتروسپیرا* دارای خواص محافظت‌کننده عصبی هستند و عملکرد طبیعی مغز را تسهیل می‌کنند. عصاره آن‌ها علائم خستگی مغز را بهبود می‌بخشد، از مشکلات گردش خون مغزی جلوگیری یا کاهش می‌دهد و ظرفیت‌های شناختی، حرکتی و کلامی را ارتقا می‌دهد. این در مطالعاتی مشخص شد که در آن کودکان کم‌تغذیه با داروهای *آرتروسپیرا* (اسپیرولینا) درمان شدند. PUFAهای ریزجلبکی، به‌ویژه DHA و EPA، برای رشد طبیعی سیستم عصبی ضروری هستند و به‌عنوان یک مکمل مهم برای شیر خشک، غذاها و نوشیدنی‌های غنی شده با ویتامین، و افزودنی‌های غذایی رژیمی عمل می کنند (Nowruzi et al. 2020a). به‌عنوان مثال، شیرخشک بچه که توسط شرکت معادن دولتی هلند (هلند) تولید می‌شود، حاوی فرآورده‌هایی از زیست‌توده دینوفلاژلات *کریپتکودینیوم کوهنی* است. (Patel et al. 2021).

بسیاری از گونه‌های جلبک مقادیر قابل توجهی از دوپامین، سروتونین، هیستامین، تیرامین، استیل کولین و سایر انتقال دهنده های عصبی را سنتز می‌کنند. چنین جلبک‌هایی باید به‌عنوان پروبیوتیک‌های بالقوه در نظر گرفته شوند و می‌توانند برای بهبود عملکرد مغز، ارتقای سلامت روان و درمان اختلالات مغزی، به‌عنوان مثال، بیماری پارکینسون مرتبط با کمبود دوپامین در جسم سیاه مغز مورد استفاده قرارگیرند. نکته مهم این است که اثرات مفید پروبیوتیک‌ها به دلیل ترکیب‌های پیچیده‌ای با وزن مولکولی پایین است

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

که توسط میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک به شکل عملکردی یا به‌عنوان پیش‌ساز تولید می‌شوند. در رابطه با نقش پروبیوتیکی ریزجلبک‌ها باید توجه داشت که فنل‌های مختلف، اسیدهای چرب، ایندول، ترپن‌ها، استوژنین‌ها و برخی هیدروکربن‌های هالوژنه فرار به دست آمده از ریزجلبک‌ها فعالیت ضد میکروبی از خود نشان می‌دهند (Beheshtipour et al. 2013).

ریزجلبک‌ها به‌عنوان پری‌بیوتیک

کربوهیدرات‌ها عمده محصولات حاصل از متابولیسم فتوسنتز و تثبیت کربن هستند. با این حال، مشخصات شیمیایی و مسیرهای متابولیکی شامل کربوهیدرات‌ها (به‌طور عمده نشاسته و سلولز) ممکن است از گونه‌ای به گونه دیگر ریزجلبک‌ها به‌طور قابل توجهی متفاوت باشد. به‌طور خاص، ضخامت و ترکیب دیواره سلولی به گونه‌های ریزجلبک، شرایط رشد و مرحله رشد بستگی دارد. پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی زیست‌توده ریز جلبکی را می‌توان تا حدی هیدرولیز کرد. این روش به‌طور گسترده در صنایع غذایی و خوراک برای تولید الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم استفاده می‌شود که نقش مهمی در سلامت و تغذیه انسان و دام دارد. در واقع، الیگوساکاریدهای ریزجلبکی به هیچ وجه نمی‌توانند توسط میکروبیوتای روده معمولی انسان یا حیوانات تخمیر شوند (Nowruzi et al. 2022). با این‌حال، آن‌ها به‌طور انتخابی رشد و فعالیت باکتری‌های مفید خاصی را در صورت وجود در روده بزرگ تحریک کرده، بنابراین به بهبود سلامت میزبان کمک و در این صورت، آنها به‌عنوان پری‌بیوتیک عمل می‌کنند. به‌خصوص یک پری‌بیوتیک ممکن است به‌عنوان یک ترکیب غذایی غیرقابل هضم دیده شود که بر تغییرات خاصی در ترکیب و/یا فعالیت میکروبیوتای دستگاه گوارش تأثیر می گذارد (Gupta et al. 2017).

چندین مطالعه نشان می‌دهد که پری‌بیوتیک‌ها ویژگی‌های مطلوبی مانند تسکین سندرم روده تحریک‌پذیر ، اثر ضد دردی و ضد درد محیطی و کمک به نئوواسکولاریزاسیون و محافظت کبدی را نشان می‌دهند، علاوه‌بر این که به‌عنوان عامل ویروس‌کشی، ضد باکتری، ضد التهابی و ضد قارچی، تعدیل‌کننده ایمنی، ضد انعقاد/ضد ترومبوتیک، ضد تکثیر/سرکوب‌کننده تومور، ضد چربی خون و عامل کاهش‌دهنده قند خون و همچنین عامل آپوپتوز و کاهش دهنده فشار خون عمل می‌کنند. مدتی است که مشخص شده است که باکتری‌های بیماری زا و مفید در دستگاه گوارش وجود دارند (Anvar and Nowruzi, 2022a).

روندهای پژوهش‌های کنونی به‌طور عمده با تغییرات در تعادل آن‌ها، یعنی ناشی از حضور

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

پری‌بیوتیک‌ها، که منجر به کاهش باکتری‌های خطرناک (بالقوه) می‌شود و در عین حال به توسعه سایر باکتری‌های مفید و در نتیجه، تقویت مقاومت در برابر عفونت‌ها یا کاهش خطر ابتلا به سرطان روده بزرگ منجر می‌شود، پرداخته است. علاوه‌بر این، نشان داده شده‌است که پری‌بیوتیک‌ها جذب کلسیم و منیزیم را افزایش می‌دهند، سطح گلوکز را تحت تاثیر قرار می‌دهند و لیپیدهای پلاسما را بهبود می‌بخشند (Patel et al. 2021). صنایع غذایی همیشه به دنبال فرآیندهای کارآمدتر، پایدارتر، ساده‌تر و کم هزینه‌تر برای کاربرد در مقیاس بزرگ بوده‌است. با این‌حال، تولید الیگوساکاریدهای پری‌بیوتیک می‌تواند به دلیل پیچیدگی ساختاری آن‌ها محدود شود، بنابراین هزینه‌های مرتبط ممکن است رقابت تولید صنعتی را به خطر بیندازند. از سوی دیگر، الیگوساکاریدهای پری‌بیوتیک را می‌توان در منابع غذایی کشاورزی معمولی یافت و یا از طریق سنتز آنزیمی از دی ساکاریدها یا هیدرولیز پلی‌ساکاریدها تولید کرد. جلبک‌های دریایی و ریزجلبک‌های دریایی یکی دیگر از منابع مرتبط (هر چند غیرمستقیم) اولیگوساکاریدها هستند و به شکل پلی‌ساکاریدها می‌باشند که در نهایت به الیگوساکاریدها تبدیل می‌شوند. آن‌ها توسط آنزیم‌های گوارشی در قسمت فوقانی دستگاه گوارش تجزیه نمی‌شوند، در حالی‌که دارای ویژگی‌های بیوشیمیایی و تخمیری منحصر به فرد هستند (de Jesus Raposo et al. 2016).

ترکیبات حاصل از منابع ریزجلبکی که دارای خواص پری‌بیوتیکی هستند عبارتند از: اینولین، گالاکتوالیگوساکاریدها، زایلوالیگوساکاریدها، اولیگوساکاریدهای مشتق شده از آگارز، نئوآگارو-الیگوساکاریدها، الیگوساکاریدهای مشتق شده از آلژینات، آرابینوکسیلان‌ها، بتا-گلوکان‌ها. مطالعات نشان داده‌اند که *آرتروسپیرا پلاتنسیس* اثر مثبتی بر زنده ماندن باکتری‌هایی مانند *لاکتوباسیلوس کازئی*، *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریا* دارد که بخشی از فلور روده هستند، در حالی‌که باکتری‌های بیماری‌زا از قبیل *پروتئوس ولگاریس*، *باسیلوس سوبتیلیس* و *باسیلوس پومیلوس* در طی مطالعات آزمایشگاهی سرکوب شده‌اند. هنگامی‌که *اسپیرولینا* به ماست اضافه می‌شود، رشد *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریا* را تقویت می‌کند. این واقعیت از افزایش تعداد باکتری‌های اسید لاکتیک در مدفوع موش‌ها، زمانی که قبلاً با ریزجلبک‌های مذکور درمان شده بود، نتیجه‌گیری شد (Sardari and Nordberg Karlsson, 2018).

عملکردهای زیستی خاصی که توسط گونه‌های ریزجلبکی انجام می‌شود به کمپلکس‌های قندی آن‌ها مانند مورد *کلرلا پیرنوئیدوزا* و *کلرلا*

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

الیپسودیا مربوط می‌شود. گلوکز و انواعی از مانوز، گالاکتوز، رامنوز، N-استیل گلوکوزامین، N-استیل گالاکتوزامین و آرابینوز در واقع وجود دارند. کمپلکس‌های یاد شده دارای اثرات محرک ایمنی و حتی ضد تکثیر علیه *لیستریا مونوسیتوژنز* و *کاندیدا آلبیکنس* هستند. کربوهیدرات دیگری از *کلرلا* که دارای فعالیت محرک ایمنی است β-1،3-گلوکان است، یعنی به‌عنوان پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد است. علاوه‌بر این، سطح چربی خون را کاهش می‌دهد. پلی‌ساکاریدهای استخراج شده از *نوستوک فلاگلیفورم* و *پورفیریدیوم* نیز در برابر ویروس هرپس سیمپلکس مؤثر بوده‌اند (Kaoud. 2015).

با این‌حال، استفاده از ریزجلبک‌ها به‌عنوان پری‌بیوتیک توسط صنایع غذایی تاکنون به محصولات لبنی محدود شده‌است، البته این انتظار می رود زیرا چنین محصولاتی اولین حامل سویه‌های پروبیوتیک (باکتریایی) هستند. مصرف‌کنندگان وگان به دنبال ماتریس‌های غیرلبنی هستند و پیشرفت‌های فناوری ادعا کرده است که الیگوساکاریدهای مشتق شده از مواد گیاهی دارای پتانسیل پری‌بیوتیکی هستند و برخی در حال حاضر به شکل تجاری در دسترس هستند. بنابراین، فرصتی برای توسعه پری‌بیوتیک‌ها از ریزجلبک‌ها وجود دارد تا در نهایت در غذاهای تخمیر شده با اسید لاکتیک به غیر از ماست یا پنیر استفاده شود. در آبزی‌پروری، از محرک‌های ایمنی برای تقویت سیستم ایمنی ماهیان تحت استرس استفاده شده‌است. این ترکیبات به‌طور کلی فعالیت سلولی و تکثیر لکوسیت‌هایی مانند مونوسیت ماکروفاژها و نوتروفیل‌ها و همچنین فعالیت فاگوسیتیک و ترشح واسطه‌های ایمنی (مانند سیتوکین ها) را افزایش می‌دهند. به‌عنوان مثال، پارامیلون (یک پلیمر خطی β-1،3 گلوکز) یکی از محرک‌های ایمنی مورد استفاده در آبزی‌پروری است (جدول ۳ و ۴) (Favela-Galindo et al. 2024).

جدول ۳. کاربردهای صنعتی بالقوه ریزجلبک‌ها به‌عنوان پری‌بیوتیک در تغذیه حیوانات، طبقه‌بندی شده براساس شکل تجاری زیست‌توده و نوع حیوان (Camacho et al. 2019)

اثرات سلامتی	حیوان	باکتری پروبیوتیک	ترکیب بیواکتیو	شکل تجاری	ریزجلبک
بهبود سیستم ایمنی و فعالیت آنتی اکسیدانی	ماهی سرخو اقیانوس آرام	*لاکتوباسیس ساکی*	الیگوساکاریدها	منجمد خشک‌شده	*Navicula* sp.
بهبود سیستم ایمنی و افزایش توانایی جذب روده	ماهی سر طلایی	*باسیلوس سوبتیلیس*	پروتئین	منجمد خشک‌شده	*Phaeodactylum tricornutum Tetraselmis chuii*

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

بهبود سیستم ایمنی مقاومت در برابر بیماری	میگو (*Litopenaeus vannamei*)	*ویبریو آلژینولیتیکوس*	سی فیکوسیانین	منجمد خشک‌شده	*Arthrospira platensis*
بهبود سیستم ایمنی و مقاومت در برابر بیماری	میگو (*Artemia franciscana*)	*باسیلوس*	بتا کاروتن	منجمد خشک‌شده	*Dunaliella tertiolecta*
بهبود سیستم ایمنی و فعالیت آنتی اکسیدانی	تیلاپیا نیل (*Oreochromis niloticus* L.)	*سودوموناس فلورسنس*	فیکوبیلین‌ها، فیکوسیانین، آلوفیکوسیانین، زانتوفیل‌ها و کاروتنوئیدها	پودر	*Arthrospira platensis*
فعالیت سیستم ایمنی	تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus* L.)	*استرپتوکوکوس اینیا*	پارامیلون	پودر	*Euglena gracilis*
بهبود سیستم ایمنی و مقاومت در برابر بیماری	ماهی سرخو Sciaenops	*باسیلوس سوبتیلیس*	الیگوساکاریدها	پودر	*Arthrospira platensis*
بهبود سیستم ایمنی بدن	طیور، گاو، اسب، سگ، گربه، خزندگان، پرندگان	*باسیلوس سابتیلیس* یا *باسیلوس لیسنیفورمیس*	بتا گلوکان	پودر	*Euglena gracilis*

جدول ۴. کاربردهای صنعتی بالقوه ریزجلبک‌ها به‌عنوان پری‌بیوتیک در غذا، طبقه‌بندی شده براساس نوع غذا (Camacho et al. 2019)

مزیت سلامتی	اثر حسی	محصول	باکتری های پروبیوتیک مورد هدف	ترکیب زیست‌فعال	شکل تجاری زیست‌توده	جنس / گونه
پیشگیری از یبوست، بهبود سیستم ایمنی، افزایش جذب مواد معدنی و لاکتوز، کاهش کلسترول	بهبود رنگ، ثبات و بافت	ماست	*لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس بیفیدوباکتریوم لاکتیس لاکتوباسیلوس دلبروکی استرپتوکوک ترموفیلوس*	گلوکز، رامنوز،	پودر	*Arthrospira platensis Chlorella vulgaris*
بهبود خواص تغذیه‌ای	n.a. *	شیر	*استرپتوکوک ترموفیلوس گونه های لاکتوباسیلوس دلبروکیس*	مانوز، زایلوز و گالاکتوز PUFA-ω6	پودر	*Arthrospira platensis*
فعالیت‌های ضد سرطان و ضد التهابی، سطح خون و کلسترول را بهبود می‌بخشد	n.a.	شیر	*لاکتوباسیلوس دلبروکی لاکتوباسیلوس بولگاریکوس بیفیدوباکتریوم بیفیدوم لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*	فیکوسیانین، ویتامین C	پودر یا منجمد، خشک‌شده	*Cryptheiconidium cohnii*

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

بهبود خواص تغذیه‌ای	بهبود رنگ (سبز-آبی) و بافت	پنیر	*لاکتوباسیلوس پلانتاروم* *بیفیدوباکتریوم*	Se ،Zn ،Fe ، Mg	پودر	*Chlorella* sp. *Scenedesmus* sp. *Spirulina* sp.

با وجود ریزجلبک‌ها به‌عنوان پری‌بیوتیک و جدا از داده‌های ذکر شده در حمایت از عملکرد پروبیوتیک ریزجلبک‌ها، این سوال در مباحث علمی مطرح می‌شود که‌آیا اجزای پلی‌ساکاریدی ریزجلبک و سایر اجزای آلی، عملکرد پری‌بیوتیکی را انجام می‌دهند یا خیر. پری‌بیوتیک‌ها اجزای غذایی غیرقابل هضم هستند که تغییرات خاصی در ترکیب و/یا فعالیت میکروبیوتای دستگاه گوارش ایجاد می‌کنند و بنابراین تأثیر مثبتی بر سلامتی دارند. مطابق با تعریف رسمی سازمان بهداشت جهانی، پری‌بیوتیک‌ها باید به‌عنوان محصولات خوراکی غیرزنده تعبیر شوند که با تغییر میکروبیوتا، سلامت را بهبود می‌بخشند. پری‌بیوتیک‌ها الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم قابل تجزیه توسط میکروارگانیسم‌های مفید در روده هستند که اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه و سایر ترکیبات با ارزش را برای میزبان تولید می‌کنند (Oleskin and Boyang, 2022).

بهینه‌سازی رژیم غذایی با غنی‌سازی آن در پری‌بیوتیک‌هایی مانند فروکتان‌ها باید به تکثیر باکتری‌های مفیدی مانند *بیفیدوباکتریوم* کمک کند. پری‌بیوتیک‌ها می‌توانند اثرات ضدالتهابی داشته باشند که به ظرفیت پلی‌ساکاریدها برای تعامل مستقیم با اپیتلیوم روده، بدون توجه به باکتری‌های روده نسبت داده می‌شود، که به‌طور قابل توجهی تولید سایتوکین‌های پیش التهابی را کاهش می‌دهد. نکته مهم این است که اجزای پلی‌ساکارید ریزجلبک‌ها را می‌توان به قطعات کوتاه (الیگوساکاریدها) که دارای خواص پری‌بیوتیکی هستند، تجزیه کرد. نمونه آن‌ها اینولین، گالاکتولیگوساکاریدها، زایلولیگوساکاریدها و الیگوساکاریدهایی است که از آگارز، آلژینات و کاراژینان و همچنین آرابینوکسیلان‌ها، گالاکتان‌ها و بگلوکان‌ها به دست می‌آیند (Lopez-Santamarina et al. 2020).

الیگوساکاریدهای ریزجلبک‌ی یا تخمیر نمی شوند یا فقط تا حدی توسط میکروبیوتای معمول روده انسان یا حیوانات تجزیه می‌شوند. با این‌حال، این ترکیبات به‌طور انتخابی باعث تحریک رشد و فعالیت باکتری‌های مفید خاص می‌شوند که نمونه‌ای از *لاکتوباسیل*‌ها و *بیفیدوباکتری*‌ها هستند. احتمالاً، اجزای پری‌بیوتیکی ریزجلبک‌ها به میکروبیوتای میزبان کمک می‌کنند، همانطوری‌که اثر تحریک‌کننده‌ای *آرتروسپیرا پلاتنسیس* بر روی زنده‌مانی باکتری‌ها به اثبات رسیده‌است. نقش پری‌بیوتیک و پروبیوتیک ریزجلبک‌ها مکمل یکدیگر هستند:

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

جلبک‌ها می‌توانند به‌عنوان کشت‌های زنده استفاده شوند و اثرات پروبیوتیکی که در بالا ذکر شد را ایجاد کنند. علاوه‌بر این، اجزای کربوهیدراتی آن‌ها می‌توانند مواد خام را برای تهیه پری‌بیوتیک‌های کارآمد به‌منظور تحریک میکروبیوتای مفید و در نتیجه، ارتقای سلامت انسان فراهم کنند (Oleskin and Boyang, 2022).

ریز جلبک‌ها به‌عنوان متابیوتیک‌ها

متابیوتیک‌ها به‌عنوان مواد فعال زیستی تعریف می‌شوند که در نتیجه‌ی فعالیت‌های متابولیکی میکروارگانیسم‌های همزیستی (پروبیوتیک) تولید می‌شوند و تأثیر مثبتی بر انواع مختلف فرآیندهای فیزیولوژیکی دارند. متابیوتیک‌ها حاوی باکتریوسین‌ها، اسیدهای آلی، اتانول و دی استیل هستند و به‌طور کلی محصولات ارزشمند تولید شده توسط ریزجلبک‌ها هستند که سلامت جسمی و روانی انسان را بهبود می‌بخشد، که عبارتند از کاروتنوئیدها (β-کاروتن، آستاگزانتین، لیکوپن، لوتئین، زآگزانتین، ویولاگزانتین، کانتاگزانتین، فوکوگزانتین، کلروفیل‌ها؛ فیکوبیلیپروتئین‌ها (به‌ویژه فیکوسیانین، آلوفیکوسیانین و فیکواریترین)؛ کربوهیدرات‌ها (به‌عنوان نمونه بتا گلوکان، فوکویدان و سایر پلی‌ساکاریدهای سولفاته) لیپیدها (به خصوص تری اسیل گلیسریدهای حاوی PUFA)؛ ویتامین‌ها؛ هورمون‌های گیاهی (اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها) و سایر مولکول‌های تنظیم‌کننده؛ جالب توجه است که PUFAها درمان بیماری‌های قلبی عروقی، فشار خون بالا، ترومبوز عروق کرونر قلب، تومورهای بدخیم، آسم، بیماری‌های التهابی روده و مشکلات روانپزشکی مانند اسکیزوفرنی و اختلالات اضطرابی را تسهیل می‌کنند (Oleskin and Boyang, 2022).

تجاری‌سازی محصولات مبتنی‌بر ریزجلبک‌ها و تولید در مقیاس صنعتی محصولات مبتنی‌بر ریزجلبک باید با حمایات بازار در زمینه مولکول‌های فعال زیستی باشد که تاکنون تحت سلطه مولکول‌های مصنوعی یا مولکول‌های استخراج‌شده از منابع حیوانی و گیاهی است. تولید رنگدانه‌های ریزجلبکی در دهه ۱۹۸۰ از طریق کشت *دانالیلا* رونق گرفت. این ترکیبات با تمرکز بر β-کاروتن و آستاگزانتین، به‌عنوان افزودنی به غذا یا خوراک بودند. تولید PUFAها، به‌طور عمده اسید دوکوزاهگزانوئیک (DHA) و ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) در اوایل دهه ۱۹۹۰ برای استفاده نهایی در خوراک آبزیان و غنی‌سازی محصولات غذایی آغاز شد (Sharma et al. 2020).

فرآیندهای تولید محصولات با ارزش بالا از ریزجلبک‌ها که معمولاً برای مصرف انسان یا حیوان در نظر گرفته می‌شوند، باید با طیف وسیعی از مقررات و استانداردها مطابقت داشته

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

باشد. مسائل برچسب‌گذاری مشکل را بدتر می‌کند، زیرا از کشوری به کشور دیگر بسیار متفاوت است و می‌تواند به هزینه کلی تولید یک محصول قابل فروش اضافه کند. به‌تازگی تعدادی از مطالعات به موفقیت تجارت ریزجلبک‌ها در صنایع غذایی/خوراکی بر اساس پایداری محصولات پرداخته‌اند. یکی از راه‌های جالب برای کاهش هزینه بالای تولید زیست‌توده ریز جلبکی برای خوراک دام این است که ابتدا لیپیدهای آن‌ها را برای تولید بیودیزل استخراج کرد، به دلیل محتوای چربی ذاتاً بالا، و سپس بقیه مواد بدون چربی را برای به دست آوردن محصولات غنی از پروتئین پردازش کرد. پژوهشگران نشان دادند که *کلرلا ولگاریس* را می‌توان به‌طور موثر در فاضلاب تصفیه نشده صنایع فرآوری ماهی، بدون نیاز به افزودن مواد مغذی اضافی، کشت و در پایین دست برای تولید بیودیزل، قبل از تبدیل شدن به خوراک غنی از پروتئین، استفاده‌کرد. *کلرلا بوتریوکوکوس* و *سندسموس* نیز در این زمینه بسیار پرکاربرد هستند (جدول ۵) (Pooleetal. 2020).

جدول ۵- نمونه‌هایی از کاربردهای تجاری ریزجلبک‌ها در غذا و خوراک، طبقه‌بندی شده براساس ریزجلبک (Camacho et al. 2019)

صنایع	محصول اصلی	شرکت‌های تولیدکننده	کاربرد محصول اصلی	محصول اصلی	جنس/گونه
Blue Biotech (Germany) Ocean Nutrition (Canada)	مکمل خوراکی	A4F-Algae 4 Future (پرتغال) Blue Biotech (آلمان) DIC Lifetec (ژاپن) E.I.D Parry (هند) نکتون (پرتغال) تغذیه اقیانوس (کانادا)	رنگ و مکمل غذایی	فیکوسیانین	*Arthrospira plantensis*
Blue Biotech (Germany) Necton (Portugal)	مکمل خوراکی	A4F-Algae 4 Future (پرتغال) Algomed (آلمان) Buggypower (پرتغال) E.I.D Parry (هند) Phycom (هلند) شرکت کلرلا (تایوان)	مکمل غذایی	لوتئین	*Chlorella vulgaris*
Blue Biotech (Germany) Necton (Portugal) Algalimento SL (Canary Islands)	مکمل خوراکی	BASF (آلمان) شرکت نیکن سوهونسا (ژاپن) Wonder Care Pvt. Ltd. (هند) Solazyme, Inc. (سانفرانسیسکو)	رنگ و مکمل غذایی	بتا کاروتن	*Dunaliella salina*

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

Haematococcus pluvialis	آستاگزانتین	مکمل غذایی	AlgaTech (فلسطین اشغالی) شرکت AstraReal (ژاپن) Blue Biotech (آلمان) فوجی مواد شیمیایی (ژاپن) E.I.D Parry (هند) Solix Inc. (ایالات متحده آمریکا)	مکمل خوراک (افزایش‌دهنده رنگدانه برای ماهی)	Blue Biotech (Germany)
Labosphaera incisa	ARA	مکمل غذایی	A4F-Algae 4 Future (پرتغال)	n.a. ****	n.a.
Nannochloropsis sp.	EPA و DHA(ω-3)	مکمل غذایی	شرکت AstraReal (ژاپن) AlgaTech (فلسطین اشغالی) سیانوتک (ایالات متحده، هاوایی) E.I.D Parry (هند)	افزودنی خوراکی	Blue Biotech (Germany) Innovative Aqua (Canada)
Euglena gracilis	پارامیلون/ خطی بتا-۱،۳-گلوکان	مکمل غذایی	Algaeon Inc. (USA) Kemin Industries (USA) Valensa International (USA)	n.a.	n.a.
Phaeodactylum tricornutum	EPA (ω-3، فوکوگزانتین	مکمل غذایی	A4F-Algae 4 Future (پرتغال) AlgaTech (فلسطین اشغالی)	n.a.	n.a.

نتیجه‌گیری کلی

از نظر تغذیه‌ای، پروتئین‌های ریزجلبک‌ها قابل مقایسه با پروتئین‌های گیاهی هستند، با این‌حال، توسعه تجاری آن‌ها به دلیل هزینه‌های تولید بالاتر، مشکلات فنی در استخراج و تصفیه، مسائل حسی و خوش طعمی، هزینه و زمان برای فرموله کردن محصولات غذایی جدید با مشکل مواجه شده است.

علاوه‌بر چالش‌های فناوری و اقتصادی که برای تولید ریزجلبک‌ها در مقیاس بزرگ برای مصارف غذایی و خوراکی ایجاد می‌شود، موضوع پایداری باید به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد. استفاده از سلول‌های ریزجلبک‌ها برای تولید بیودیزل یا استفاده از فاضلاب‌ها به‌عنوان محیط کشت برای رشد ریزجلبک‌ها، از لحاظ اقتصادی در آینده بسیار مقرون به صرفه خواهد بود. در واقع بر خلاف آنچه که در مورد باکتری‌های پروبیوتیک و (به‌تازگی) مخمرها اتفاق می‌افتد، مطالعات در مورد استفاده از ریزجلبک‌ها به‌عنوان پروبیوتیک در غذا بسیار کمیاب است. بر اساس استفاده احتمالی از ریزجلبک‌ها به‌عنوان پروبیوتیک در صنایع غذایی در آینده‌ای نزدیک، پژوهش‌های بیشتر ضروری به نظر می‌رسد. علاوه‌بر آن، از آنجایی‌که برای بررسی خواص ریزجلبک‌ها به‌عنوان پری‌بیوتیک و متابیوتیک در صنایع غذایی، علی‌رغم اثرات بالقوه مفید آن‌ها بر سلامت انسان، از طریق کنترل میکروفلور روده میزبان نیز فعالیت بسیار کمی انجام شده است،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

بنابراین تلاش‌های پژوهشی بیشتری بر این اساس موردنیاز است.

References فهرست منابع

Amaro HM, Guedes AC, Malcata FX. 2011. Antimicrobial activities of microalgae: an invited review. Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances. 2: 1272-1284.

Ampofo J and Abbey L. 2022. Microalgae: Bioactive composition, health benefits, safety and prospects as potential high-value ingredients for the functional food industry. Foods. 11: 1744.

Anvar A and Nowruzi B. 2021. Bioactive properties of *Spirulina*: A review. Microb. Bioact. 4: 134-142.

Anvar A and Nowruzi B. 2022a. A review of microalgae as dietary and medicinal useful complements. Food Technology & Nutrition. 19: 2-12

Anvar A and Nowruzi B. 2022b. A review of the use of cyanobacteria in increasing effects of prebiotic and probiotic on food. Journal of Food Microbiology. 2: 15-24.

Avendaño RE and Riquelme CE. 1999. Establishment of mixed- culture probiotics and microalgae as food for bivalve larvae. Aquaculture Research. 30: 893-900.

Beheshtipour H, Mortazavian AM, Mohammadi R, Sohrabvandi S, Khosravi- Darani K. 2013. Supplementation of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* algae into probiotic fermented milks. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 12: 144-154.

Camacho F, Macedo A, Malcata F. 2019. Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: A short review. Marine Drugs. 17: 312.

Cerezuela R, Fumanal M, Tapia-Paniagua ST, Meseguer J, Moriñigo MÁ, Esteban MÁ. 2012. Histological alterations and microbial ecology of the intestine in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) fed dietary probiotics and microalgae. Cell And Tissue Research. 350: 477-489.

De Jesus Raposo MF, De Morais AMMB, De Morais RMSC. 2016. Emergent sources of prebiotics: Seaweeds and microalgae. Marine Drugs. 14: 27.

Eze CN, Onyejiaka CK, Ihim SA, Ayoka TO, Aduba CC, Nwaiwu O, Onyeaka H. 2023. Bioactive compounds by microalgae and potentials for the management of some human disease conditions. AIMS Microbiology. 9: 55.

Fallah N, Mohammadi B, Pirsa S. 2022. The Use of Macro and Microalgae and Their Bioactive and Phytochemical Compounds in the Food Industry to Prepare Perishable Foods. Journal of Biosafety. 15: 97-120.

F**avela-Galindo Y, DE Jesús Martínez-Roldán A, González-Herrera SM. 2024.** Effect of dietary supplementation with microalgae biomass on gastrointestinal tract health. Biotechnological processes for green energy, and high value bioproducts by microalgae, and *Cyanobacteria* cultures. Springer. 13: 121-132.

Gupta S, Gupta C, Garg A, Prakash D. 2017. Prebiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms. J. Microbiol. Exp. 4: 4-7.

Hemantkumar JN and Rahimbhai MI. 2019. Microalgae and its use in nutraceuticals and food supplements. Microalgae-from Physiology to Application. 10.

Ilikkan Ö, Bağdat E, Yalçin D. 2022. Evaluation of prebiotic, probiotic, and synbiotic potentials of microalgae. Food and Health. 8: 161-171.

Jehuni Nejad Z and Karimi J. 2023. The effects of azithromycin, tetracycline and erythromycin antibiotics on some microalgae. Journal of Biosafety. 16: 1-14.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

Kaoud HA. 2015. Effect of *Spirulina platensis* as a dietary supplement on broiler performance in comparison with prebiotics. Specialty Journal of Biological Sciences. 1: 1-6.

Koyande AK, Chew KW, Rambabu K, Tao Y, Chu DT, Show PL. 2019. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. Food Science and Human Wellness. 8: 16-24.

Kratzer R and Murkovic M. 2021. Food ingredients and nutraceuticals from microalgae: Main product classes and biotechnological production. *Foods,* 10, 1626.

Lopez-Santamarina A, Miranda JM, Mondragon ADC, Lamas A, Cardelle-Cobas A, Franco CM, Cepeda A. 2020. Potential use of marine seaweeds as prebiotics: A review. Molecules. 25: 1004.

Lucakova S, Branyikova I, Hayes M. 2022. Microalgal proteins and bioactives for food, feed, and other applications. Applied Sciences. 12: 4402.

Mu N, Mehar JG, Mudliar SN, Shekh AY. 2019. Recent advances in microalgal bioactives for food, feed, and healthcare products: commercial potential, market space, and sustainability. Comprehensive reviews in food science and food safety. 18: 1882-1897.

Nowruzi B. 2024. Industrial application of natural phycocyanin edible pigment isolated from *Spirulina platensis* in preparation of fortified ice cream with emphasize on microbial and antioxident properties. Journal of Food Science and Technology (Iran). 21: 54-80.

N**owruzi B, Jafari M, Babaie S, Motamedi A, Anvar A. 2020a.** *Spirulina*: A healthy green sun with bioactive properties. Journal of Microbial World. 13: 322-348.

Nowruzi B, Khoshnood N, Sory S, Fard SG, Rezaei MR, Nejad FA, Fard NF. 2022. Microbial secondary metabolites to control disease: A mini-review. Biotechnological Journal of Environmental Microbiology. 1.

Nowruzi B, Sarvari G, Blanco S. 2020b. Applications of *Cyanobacteria* in biomedicine. Handbook of Algal Science, Technology and Medicine. Elsevier.

Oleskin A and Boyang C. 2022. Microalgae in terms of biomedical technology: probiotics, prebiotics, and metabiotics. Applied Biochemistry and Microbiology. 58: 813-825.

Patel AK, Singhania RR, Awasthi MK, Varjani S, Bhatia SK, Tsai ML, Hsieh SL, Chen CW, Dong CD. 2021. Emerging prospects of macro-and microalgae as prebiotic. Microbial Cell Factories. 20: 112.

Poole LB, Parsonage D, Sergeant S, Miller LR, Lee J, Furdui CM, Chilton FH. 2020. Acyl-lipid desaturases and Vipp1 cooperate in *Cyanobacteria* to produce novel omega-3 PUFA-containing glycolipids. Biotechnology for Biofuels. 13: 1-15.

Sardari RR and Nordberg Karlsson E. 2018. Marine poly-and oligosaccharides as prebiotics. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 66: 11544-11549.

Seifzadeh M. 2022. Introducing the Application of Probiotic Bacteria to Maintain the Quality of Aquatic Fillets. Journal of Biosafety. 15: 15-36.

Sharma J, Sarmah P, Bishnoi N. R. 2020. Market perspective of EPA and DHA production from microalgae. Nutraceutical Fatty Acids from Oleaginous Microalgae: A Human Health Perspective. 281-297.

Sidari R and Tofalo R. 2019. A comprehensive overview on microalgal-fortified/based food and beverages. Food Reviews International. 35: 778-805.

Zabidi A, Rosland NA, Yaminudin J, Karim M. 2021. In vitro assessment of bacterial strains associated with microalgae as potential probiotics. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 44.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

An Overview of the Probiotics, Prebiotics, and Metabiotics Functions of Microalgae

Bahareh Nowruzi*[1] and Fatemeh Bagheri[2]

1- Associate Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2- Assisstant Professor, Department of Basic Sciences, Faculty of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, ،Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

Abstract

Bioactive compounds in microalgae biomass, such as protein, polyunsaturated fatty acids, carotenoids, vitamins and minerals, play an important role in functional food. Their favorable effects on human health, including antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and antiviral effects, as well as prevention of stomach ulcers, constipation, anemia, diabetes, and high blood pressure, have been proven. With the increase in cancer diseases, bioactive compounds extracted from microalgae can be a suitable alternative to synthesized chemical products. The probiotic function of many microalgae is due to their ability to produce biologically active substances, including hormones, neurotransmitters, and immune stimulants. In addition, algae polysaccharides stimulate the growth of beneficial intestinal microorganisms, so they act as very efficient prebiotics. Finally, many components of microalgae cells and the chemical agents they produce, can be very significant in their own right as potentially valuable metabiotics. The results of reviewing a large number of articles in this field showed that despite the basic potential of microalgae in food formulation, extensive research and efforts are still needed so that microalgae can be used commercially in food and feed formulation.

Keywords: Prebiotic; Probiotics, Metabiotics, Microalgae, Biotechnology

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]