Packaging Sciences and Techniques
Vol. 15, No. 2, Summer 2024, Serial No. 58
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

A Review on the Packaging of Dairy Products with Extracts and Pigments of Cyanobacteria and Microalgae

Bahareh Nowruzi * , Hassan Beiranvand

*Associate professor, Department of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

(Received: 23/01/2024, Revised: 12/03/2024, Accepted: 21/08/2024, Published: 15/09/2024)

DOR:20.1001.1.22286675.1403.15.57.5.4

ABSTRACT

Bioactive compounds and natural food pigments such as astaxanthin (red), lutein (yellow), chlorophyll (green), and phycocyanin (light blue), extracted from cyanobacteria, are rich in fatty acids, proteins, and antioxidant compounds. These bioactive components are used as dietary supplements in the form of paste, powder, tablets, or capsules. Fermented dairy products, beyond their nutritional and sensory properties, serve as a potential source of probiotics. However, in recent years, growing consumer concerns over the negative effects of animal-based dairy products and the instability of probiotics have significantly reduced dairy consumption. This review examines articles published between 2020 and 2023 in databases such as Springer, ScienceDirect, Scopus, and John Wiley to assess the potential of cyanobacteria in enhancing the physicochemical composition, colorimetric and antioxidant properties, texture, rheological behavior, sensory characteristics, and the viability of starter cultures and probiotics in yogurt, cheese, and ice cream by incorporating microalgal biomass and its derivatives. Relevant keywords were selected using the MeSH database, and based on these, thirty new review and research articles were compiled. The findings from the synthesis of various studies suggest that incorporating microalgae into cheese, fermented milk, and other dairy products represents an innovative approach for developing hybrid products enriched with plant-based compounds and animal proteins, providing a valuable source of bioactive ingredients.

Keywords: Microalgae, Dairy Products, Bioactive Compounds, Cyanobacteria

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: bahare77biol@gmail.com

«علوم و فنون بسته‌بندی»
سال پانزدهم، شماره ۵۸، تابستان ۱۴۰۳؛ ص ۶۲-۴۷
شاپای چاپی: ۲۲۲۸-۶۶۷۵| شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۷۸۲۴

علمی – مروری

مروری بر بسته‌بندی محصولات لبنی با عصاره و رنگدانه سیانوباکتری‌ها و ریزجلبک‌ها

بهاره نوروزی[۱*]، حسن بیرانوند[۲]

۱- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.58.5.6

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

چکیده

ترکیبات زیست‌فعال و رنگ‌های طبیعی غذایی مانند آستاگزانتین (قرمز)، لوتئین (زرد)، کلروفیل (سبز) یا فیکوسیانین (آبی روشن) مستخرج از سیانوباکتری‌ها، غنی از اسیدهای چرب، پروتئین و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که به عنوان مکمل‌های غذایی به شکل خمیر، پودر، قرص، کپسول استفاده می‌شوند. محصولات لبنی تخمیرشده، فراتر از مشخصات غذایی و حسی خود، منبع بالقوه‌ای از پروبیوتیک‌ها هستند. با این‌حال، درسال‌های اخیر با افزایش نگرانی مصرف‌کنندگان عام نسبت به تاثیرات سوٗ مواد لبنی با منشا حیوانی و عدم پایداری پروبیوتیک‌ها، مصرف محصولات لبنی کاهش بسزایی یافته است. در مقاله حاضر، مقالات مرتبط منتشر شده در سالهای ۲۰۲۰-۲۰۲۳ در بانکهای اطلاعاتی Springer، Science direct، Scopus و John Wiley جهت به‌دست آوردن آخرین یافته‌ها در زمینه پتانسیل سیانوباکتری‌ها در زمینه افزودن زیست‌توده ریزجلبک‌ها و مشتقات آنها بر ترکیب فیزیکی شیمیایی، خواص رنگ‌سنجی و آنتی‌اکسیدانی، بافت و رفتار رئولوژیکی، مشخصات حسی و دوام کشت‌های آغازگر و پروبیوتیک‌ها در ماست، پنیر و بستنی مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله مروری با جستجو در سایت MeSH، کلمات کلیدی مناسب انتخاب گردید و بر اساس آنها، سی مقاله جدید مروری و تحقیقاتی، جمع‌آوری گردید. نتایج یافته‌های حاصل از جمع‌بندی مقالات مختلف نشان داد که ترکیب ریزجلبک‌ها در پنیر، شیرهای تخمیری و سایر محصولات لبنی، بیانگر رویکردی نوآورانه در جهت توسعه محصولات هیبریدی با ارزش افزوده مبتنی بر پروتئین‌های حیوانی و غنی‌شده با موادی با منشا گیاهی است که به عنوان منبع بسیار ارزشمند ترکیبات زیست‌فعال شناخته می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: ریزجلبک‌ها، محصولات لبنی، ترکیبات زیست‌فعال، سیانوباکتری‌ها

۱- مقدمه

ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های فتوسنتزی پروکاریوتی یا یوکاریوتی هستند که توانایی رشد در شرایطی را دارند که برای سایر گونه‌ها مطلوب نیست. زیست‌توده این میکروارگانیسم‌ها به عنوان منبع قابل توجهی از ترکیبات فعال زیستی شناخته می‌شوند. اگرچه تقریباً ۱۰ میلیون گونه ریزجلبک در طبیعت شناخته شده است، تاکنون تنها ۵۰ گونه از این گونه‌ها (عمدتاً از آرتروسپیرا (اسپیرولینا)، کلرلا، پورفیری، نانوکلروپسیس، هماتوکوکاسه وجنس های دونالیلا) در رابطه با استفاده زیست‌فناورانه به طور دقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. ترکیب غذایی ریزجلبک‌ها بسیار متفاوت است و بسیار به گونه و شرایط رشد (ترکیب محیط، دما و نور) بستگی دارد [۱]. ترکیب ریزجلبک‌ها مشابه سایر باکتری‌ها است و معمولاً حاوی مقادیر بالای پروتئین با تمام اسیدهای آمینه ضروری موجود هستند.

برخی از آنها محتوای بسیار بالایی از پروتئین با مقادیر بالاتر از سویا، ذرت و گندم دارند. اسیدهای چرب اشباع نشده از جمله اسید لینولئیک، لینولنیک اسید (GLA)، ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA)، دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) و اسید آراشیدونیک را به میزان قابل توجهی دارند. به طور کلی، ریزجلبک‌ها محتوای بالای پروتئین، لیپیدها وکربوهیدرات را زمانی که در محیط‌هایی با غلظت‌های بالای نیتروژن کشت می‌شود، در خود تجمع می‌سازند [۲]. زیست‌توده خشک شده با اسپری *Arthrospira maxima* را می‌توان به عنوان یک ماده تشکیل دهنده برای بیسکویت استفاده کرد که می‌تواند کیفیت تغذیه را بهبود بخشد و محتوای آهن را به موازات محتوای پروتئین و چربی بهبود قابل توجهی دهد. علاوه بر آن می‌توان با افزودن ریزجلبک‌ها به پاستا و نودل، محتوای پروتئین، چربی، خاکستر و فیبر غذایی را افزایش داد. افزون بر آن نتایج نشان داده است که نودل‌های تولید شده دارای خواص قابل قبولی مانند بافت، رنگ، عطر و طعم نیز هستند. علاوه بر این، زیست‌توده ریزجلبکی به دلیل محتوای بالای پروتئین و کربوهیدرات، در خوراک دام نیز استفاده شده است (جدول یک) [۳]

* رایانامه نویسنده مسئول: bahare77biol@gmail.com

جدول (۱): ترکیب فیزیکی شیمیایی مورد مطالعه‌ترین گونه ریزجلبک‌ها [۴]

ترکیب فیزیکی شیمیایی	گونه‌ها						
	Tetraselmis chuii	*Dunaliella bardawil*	*Euglena gracilis*	*AuxenoChlorella protothecoides*	*Arthrospia platensis*	*Nannochloropsis gaditana*	*Chlorella vulgaris*
پروتئین (ماده خشک٪)	11-46	29-31	41-47	6-43	50-70	18-50	12-44
چربی (ماده خشک٪)	0/3-23	10-19	13-23	7-59	8-9/3	10-17	22-46
کربوهیدرات (ماده خشک٪)	30-54	11-12	34-43	15-35	13-48	15-31	24-39
لوتئین (mg/kg)	624	4/2-6/7	n.r	n.r	n.r	n.r	0/2-5
کلروفیل (mg/L)	353-400	7/9-9/1	1-5/3	0/1-4	5-14	0/3-2/3	6-18
فیکوسیانین (mg/mL)	n.r	n.r	n.r	n.r	0/5-2/3	n.r	n.r
بتاکاروتن (mg/g)	0/1-1	0/8-1/5	0/1-52	0/1-1/1	n.r	0/1-2/9	n.r
ویتامین‌ها: (mg/kg)	5/3	n.r	n.r	n.r	34-81	25-62	20-34
B3	80	n.r	n.r	n.r	0/1-55	51-70	0/2-0/3
B9	200	n.r	n.r	n.r	2/6-7/9	17-26	0/7-1
B12	78-195	0/42	n.r	n.r	1/6-3/2	0/9-1/7	0/3-2/4
E	0/2	1/5-2	0/2-1/6	n.r	n.r	n.r	n.r
C	0/8	1/8-2/2	0/9-1/3	n.r	n.r	n.r	n.r
اسیدهای چرب: (درصد)	19-36	15-17	14-16	11-25	43-57	13-41	20-30
C18:3 n-3 (alpha-linolenic)	22-28	22-31	0/1-0/3	2/4-30	1/3-23	0/9-3	22-24
C18:3 (linolenic)	n.r	3/2-3/7	n.r	22-35	14-19	0/3-7/4	26-28
C16:2 (hexadecadienoic)	1/8-5	12-14	1-2/5	0/4-3/5	2/2-6	0/1-2	12-23
C18:1 (oleic)	12/5-20	5/3-8/9	3/7-6/4	7/6-50	1-19	1/6-7/3	29-33

یکی دیگر از کاربردهای امیدوارکننده ریزجلبک‌ها، استفاده از آنها در زمینه پزشکی است که برای تامین سلامت با خواص ضد سرطانی، ضد التهابی و ضد فشارخون بسیار قابل توجه هستند. به علاوه، از ریزجلبک‌ها به دلیل محتوای بالای چربی و پروتئین در زمینه‌هایی مثل زیست‌سوخت‌ها یا تولید پلاستیک‌های زیستی نیز استفاده می‌شود [۵].

درسال‌های اخیر، توسعه محصولات جدید با ویژگی‌های تغذیه‌ای، ساختاری و حسی به شدت مورد تقاضای مصرف‌کنندگان بوده است. صنایع غذایی به طور مستمر در حال بررسی پتانسیل مواد تشکیل دهنده جدید هستند و برخی از این مواد نوآورانه به عنوان ترکیبات کاربردی یا مغذی شناخته می‌شوند، زیرا علاوه بر ارزش غذایی، فوایدی نیز برای بدن انسان دارند و خطر ابتلا به بیماری را کاهش می‌دهند یا سلامت مصرف‌کنندگان را بهبود می‌بخشند. در دهه‌های گذشته، علاقه روزافزونی به یافتن منابع طبیعی نوآورانه، مغذی و پایدار برای تولید مواد غذایی وجود داشته است. از این نظر، ریزجلبک‌ها به‌عنوان یکی از منابع امیدوارکننده مواد غذایی کاربردی در نظر گرفته می‌شوند که ناشی از مقادیر زیاد ترکیبات زیست‌فعال آنها است [۶].

از سوی دیگر، محصولات لبنی یک منبع غذایی کامل در نظر گرفته می‌شوند و به‌طور گسترده توسط بخش بزرگی از جمعیت جهان مصرف می‌شوند. علاوه بر این، این محصولات فواید زیادی برای سلامت انسان دارند. به عنوان مثال، تاثیرات مثبت براستخوان‌ها و دندان‌ها، فشارخون بالا، بیماری‌های قلبی عروقی، سلامت دستگاه گوارش، ترمیم عضلات پس از ورزش و سیستم ایمنی بدن[۷].

علاوه بر این، محصولات لبنی تخمیرشده توجه ویژه‌ای را به‌خود جلب کرده‌اند، زیرا فراتر از مشخصات غذایی و حسی خود، منبع بالقوه‌ای از پروبیوتیک‌ها با تاثیر قابل توجه در محور غذا-روده هستند. با این‌حال، درسال‌های اخیر مصرف محصولات لبنی کاهش یافته است، زیرا دربین مصرف‌کنندگان عام نسبت به تاثیرات مواد لبنی بر روی سلامتی تردید وجود دارد و همچنین نگرانی مردم در مورد پایداری آنها از آنجایی که آنها دارای منشاء حیوانی هستند، افزایش یافته است. به همین دلیل، جستجو برای راه حل‌های جدید، سالم‌تر و تجدیدپذیر ضروری است [۸]. هدف از این مقاله مروری، نشان دادن آخرین تحقیقات مربوط به استفاده از ریزجلبک‌ها و مشتقات آنها در محصولات لبنی است. با اینکه تاکنون مقالات مروری متعددی وجود دارد که کاربرد های ریزجلبک‌ها را در مواد غذایی، تولید سوخت های زیستی و صنایع پزشکی نشان می دهد، اما مقاله ای در زمینه استفاده از ریزجلبک‌ها و مشتقات آنها در محصولات لبنی وجود ندارد، بنابراین در این مقاله مروری تاثیر افزودن ریزجلبک‌ها بر روی خواص تغذیه‌ای، رئولوژیکی و حسی محصولات لبنی مورد بررسی و بحث قرار می گیرد.

۲- کاربردهای زیست‌توده ریزجلبکی و مشتقات آن درماست

شیرهای تخمیرشده مثل ماست با میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک که اثرات مثبتی بر سلامتی دارند، در حال حاضر دارای تقاضای زیادی هستند. بنابراین، پیدا کردن آنها در بازارهای مختلف در سراسر جهان امکان‌پذیر است. به منظور افزایش خواص مفید آنها، مطالعاتی بر روی ترکیب ماتریکس‌های مختلف غنی از ترکیبات مغذی در شیرهای تخمیرشده صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، زیست‌توده میکروجلبکی یا مشتقات آن در این مطالعات، دو راه برای افزودن زیست‌توده ریزجلبکی به ماست شناسایی شده: افزودن به شیر قبل از فرآیند تخمیر، یا افزودن به محصول نهایی پس از فرآیند تخمیر. انتخاب هر رویکرد می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، حسی یا مکانیکی محصول نهایی تاثیر بگذارد [۹].

۲-۱- تغییرات ترکیب فیزیکوشیمیایی

افزودن بیومس *Arthrospira platensis* یا مشتقات آن در فرمولاسیون ماست، منجر به افزایش محتوای پروتئین شد. این نتیجه مورد انتظار بود، زیرا *A. platensis* دارای محتوای پروتئین بالایی است. (حدود ٪۷۰ در بسیاری از موارد). به طوریکه مقادیر پروتئین برای نمونه شاهد ٪۵/۴ و برای ماست غنی‌شده با یک درصد *A. platensis* اضافه شده قبل از فرآیند تخمیر ٪۶/۲ بود. با این‌حال در ماست‌هایی با *A. platensis* که پس از فرآیند تخمیر اضافه شده بود، هیچ تفاوت قابل توجهی در محتوای چربی و کربوهیدرات بین نمونه شاهد و نمونه ماست غنی‌شده مشاهده نشد، زیرا کمترین غلظت چربی و کربوهیدرات در *A. platensis* وجود داشت [۱۰].

جدول (۲): مطالعات مربوط به کاربرد زیست‌توده یا مشتقات میکروجلبک در ماست. BFP: قبل از فرآیند تخمیر/ AFP: پس از فرآیند تخمیر [۱۱]

ریزجلبک یا مشتقات آن	خصوصیات فیزیکی شیمیایی، حسی، رئولوژی، بافتی یا عملکردی	میزان افزودن
کلرلا ولگاریس	اسیدیته نهایی و پتانسیل ردوکس نهایی بالاتر از گروه شاهد بود، مقادیر pH و اسیداستیک نسبت به گروه شاهد تفاوتی نداشت. بافت در دهان و احساس آن در دهان، ظاهر و بافت کلی کمتر از شاهد بود.	0/25, 0/50 & 1% (w/v) BFP
ایزوکریزیس گالبانا	درصد پروتئین و بقایا بیشتر از گروه شاهد بود، درصد چربی نسبت به شاهد تفاوتی نداشت. میزان اسیدهای چرب بالاتر از شاهد بود.	2% (w/w) AFP
پاولوا لوتری	میزان رطوبت، کربوهیدرات، پروتئین و چربی در مقایسه با شاهد تفاوتی نداشت. مقادیر pH در طول نگهداری (۲۸ روز) مشابه شاهد بود. میزان افزودن در نمونه‌ها به صورت منفی با رنگ، طعم، تایید بافت، بافت و پذیرش کلی ارتباط داشت.	0/25 , 0/5% (w/v) AFP
فیکوسیانین از *Arthrospira platensis*	نمونه‌ها مقادیر pH بالاتری از شاهد را در طی ۲۱ روز نگهداری نشان دادند. ماست‌های مکمل در ۲۱ روز نگهداری ویسکوزیته کمتری نسبت به شاهد نشان دادند. نمونه با ۴ درصد فیکوسیانین بیشترین پذیرش را در بین داورها داشت.	2, 4 & 8% (w/w) BFP
Arthrospira platensis	میزان کل مواد جامد، پروتئین، بقایا و چربی بیشتر از شاهد بود. مقدار pH نمونه‌ها نسبت به شاهد کاهش یافت. نمونه‌های غنی‌شده ویسکوزیته کمتری نسبت به شاهد نشان دادند. ماست‌های حاوی ۲ درصد *A. platensis* بالاترین امتیاز مقبولیت را داشتند.	0/25, 0/50, 0/75 & 1% (w/v) BFP
Arthrospira platensis	سطوح رطوبت، چربی، پروتئین، لاکتوز و بقایا در مقایسه با شاهد بالاتر بود. مقادیر pH در نمونه‌های غنی‌شده نیز بیشتر از شاهد بود.	1% (w/w) AFP
Arthrospira platensis	سطح اسیدیته در ماست غنی‌شده در طول ۱۶ روز نگهداری بیشتر از شاهد بود. مقبولیت کلی با مقدارهای بالاتر *A. platensis* کاهش یافت. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طول ذخیره‌سازی کاهش یافت.	0/13, 0/25, 0/38 & 0/5% (w/v) BFP
Arthrospira platensis	میزان بقایا، میزان کل جامدات، چربی و پروتئین نسبت به شاهد افزایش داشت. هیچ تغییر قابل توجهی در مقدار اسیدیته و pH وجود نداشت. محتوای فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در نمونه‌های با *A. platensis* افزایش یافت. مقدار ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های غنی‌شده بیشتر از شاهد بود	1% (w/w) BFP
اسپیرولینا پلاتنسیس	میزان جامدات، پروتئین، چربی، خاکستر، کربوهیدرات و اسیدیته در ماست‌های مکمل بالاتر از شاهد بود. کاهش در مقدار pH نسبت به شاهد مشاهده شد. مقدار سختی و ویسکوزیته نمونه‌های غنی‌شده نسبت به شاهد افزایش یافت.	0/1, 0/3 & 0/5% (w/v) BFP

فیکوسیانین یک رنگدانه جداشده از اسپیرولینا نیز به شدت مورد بررسی قرار گرفته است. این رنگدانه می‌تواند به عنوان یک ماده کاربردی و همچنین به دلیل خواص درمانی آن استفاده شود: ضد سرطان، ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان و نفروپروتکتیو. در صنایع غذایی، این فیکوفیلی‌پروتئین به دلیل رنگ مایل به آبی به عنوان یک رنگ طبیعی استفاده می‌شود و جایگزین مناسبی برای رنگ‌آمیزی‌های سمی و مصنوعی است. در تحقیقی، مقادیر pH در ماست‌های غنی‌شده با فیکوسیانین، با افزایش غلظت فیکوسیانین (۲ و ۴ و ۸ ٪)، نسبت به شاهد افزایش معناداری یافت. این افزایش pH باید ناشی از pH فیکوسیانین (۶/۵۵) باشد. علاوه بر این، اثر ذخیره‌سازی بر روی PH ماست‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفت، که نشان دهنده افزایش جزئی PH در تمام ماست‌های شاهد و غنی‌شده در طول ذخیره‌سازی است و احتمالاً تولید برخی متابولیت‌ها، مانند اسیدهای

آمینه و باکتریوسین‌ها در پایان زمان نگهداری، ممکن است بر افزایش pH تاثیر بگذارد [۱۲].

۲-۲- تغییر پارامترهای رنگی

رنگ یک ویژگی مهم در ماست است که با مقبولیت این محصول بسیار مرتبط است. مطالعات مختلف با استفاده از مقیاس CIELab اثر افزودن ریزجلبک‌ها را بر رنگ محصولات نهایی نشان داده‌اند.

*L درجه روشنی، *a درجه قرمزی و سبزی و *b درجه زردی و آبی بودن را نشان می‌دهد. محققان پارامترهای رنگی ماست‌های غنی‌شده با *A. platensis* را ارزیابی کردند و گزارش کردند که نمونه‌های غنی‌شده با ۰/۲۵ ٪ پودر *A. platensis* به دلیل داشتن کمترین مقادیر a* وb* متمایز می‌شوند که علت تغییر رنگ نمونه‌های رنگی از زرد به سبز است. این بخاطر غلظت بالای کلروفیل در *A. platensis* است. محققان دیگر همچنین روند مشابهی را در رنگ نمونه‌های ماست غنی‌شده با ۰/۲۵ ٪ و ۰/۵٪ *Pavlova lutheri* در ۲۸ روز نگهداری مشاهده کرد. از سوی دیگر عواملی مانند اسیدیته و PH نیز می‌توانند بر رنگ ماست در انبار تاثیر بگذارند [۱۳]. فیکوسیانین موجود در *A. platensis* می‌تواند به عنوان رنگدانه در غذاهایی با pH بالاتر از ۴/۰ استفاده شود، اگر در معرض گرما یا نور قرار نگیرد. نتایج به‌دست آمده توسط محققان دیگر نیز با این اطلاعات همسو هستند، زیرا مقادیر L،a* وb* در ماست‌های غنی‌شده با ۴٪ و ۲٪ و ۸٪ فیکوسیانین با مقادیر pH بالاتر از ۴/۰ در طول ۲۸ روز نگهداری تفاوت بارزی نشان ندادند. به دلیل ناپایداری رنگدانه‌های موجود در *A. platensis*، محققان دیگر، تغییرات رنگ در ماست‌هایی با ۰/۵٪ و ۰/۲۵ ٪ *A. platensis* را با ماده ای به نام صمغ جدا شده از *Amygdalus scoparia* مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که به دلیل تعامل بین پروتئین‌های شیر و پلی ساکارید آنیونی اضافه شده، در زیست‌توده ریزجلبکی، پایداری وجود دارد. همه مطالعات فوق به این نتیجه مشترک رسیدند که رنگدانه‌های *A. platensis* را می‌توان به عنوان رنگ دهنده‌های طبیعی در شیرهای تخمیرشده استفاده کرد و در نتیجه محصولاتی با رنگ‌های نوآورانه تولید کرد [۱۴].

۲-۳- تاثیر بر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی

افزودن ریزجلبک به ماست، با افزایش خواص آنتی‌اکسیدانی مانند بتاکاروتن، آستاگزانتین و لوتئین همراه است. ماست ذاتاً به دلیل وجود اسیدهای آمینه حاوی گوگرد، کاروتنوئیدها، روی، سلنیوم و برخی آنزیم‌های تولید شده در فرآیند تخمیر، دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی جالبی است. با این وجود، برخی از مطالعات افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ماست‌ها را هنگامی که با زیست‌توده میکروجلبکی غنی می‌شوند، گزارش کرده‌اند [۱۵]. محققان به این نتیجه رسیدند که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در ماست‌های غنی‌شده با ۱٪ *A. platensis* در مقایسه با شاهد (ماست بدون افزودن ریزجلبک) ۱۵۰٪ افزایش یافت. به همین ترتیب، محققان دیگر نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی ماست غنی‌شده با ۱/۰ و ۰/۵ درصد پودر *A. platensis* را مورد مطالعه قرار دادند و افزایش شدیدی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۲۰۰/۰۲٪ و ۱۱۰/۸۸٪ برای هر کدام مشاهده کردند. این ناشی از حضور کلروفیل، کاروتنوئید ها و فیکوسیانین موجود در زیست‌توده *A. platensis* است ،که آزادسازی آن را میتوان با برهمکنش با باکتری‌های اسید لاکتیک موجود در لبنیات تخمیرشده افزایش داد. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که افزودن ریزجلبک به ماست می‌تواند برای سلامتی مصرف‌کنندگان سودمند باشد [۱۶].

۲-۴- تغییرات در روند رشد کشت‌های آغازگر و پروبیوتیک‌ها

ترکیب ریزجلبک‌ها در ماست به دلیل توانایی آنها در تامین بسیاری از مواد مغذی برای رشد و زنده ماندن اسید لاکتیک و باکتری‌های پروبیوتیک، محیط رشد مطلوبی را برای میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند. موادی مانند اگزوپلی‌ساکاریدها، آدنین، هیپوگزانتین، اسیدهای آمینه آزاد، مواد معدنی و ویتامین‌ها توسط گونه‌های مختلف ریزجلبک‌ها تامین می‌شوند. افزودن زیست‌توده ریزجلبکی همچنین بر ظرفیت بافر محیط تاثیر می‌گذارد، که می‌تواند بر زنده ماندن میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک در فرآیند تخمیر تاثیر بگذارد، اگرچه بسته به نوع ریزجلبک مورد استفاده، این پارامترها ممکن است متفاوت باشد. آزمایشاتی با ظرفیت بافر کمتر، معمولاًباعث کاهش شدیدتر pH در طول فرآیند تخمیر و نگهداری می‌شوند که منجر به شوک افت pH بر باکتری‌های پروبیوتیک می‌شود و در نتیجه باعث کاهش زنده ماندن آنها و کاهش بیشتر زمان رشد تا پایان تخمیر می‌شود [۱۷].

محققان دیگر همچنین ترکیب *A. platensis* در ماست‌ها را مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که در نمونه‌های غنی‌شده با ریزجلبک‌های ۰/۱۳٪ تا ۰/۵ ٪، نرخ رشد بالاتری از میکروارگانیسم‌های شروع کننده با مقادیر بالاتر از g/CFU ۱۰ در مقایسه با نمونه شاهد (ماست بدون ریزجلبک اضافه شده) با مقادیر بالای g/CFU ۱۰۶ وجود داشت که منجر به افزایش تولید اسید لاکتیک در طول فرایند تخمیر شد [۱۸].

۲-۵- تاثیرات بر روی سینرزیس، بافت و ویسکوزیته

محصولات لبنی مانند ماست بر اساس سه ویژگی که بر کیفیت آن تاثیر می‌گذارد مورد مطالعه قرار می‌گیرند: سینرزیس، بافت و

ویسکوزیته. سینرزیس، یک ویژگی نامطلوب در محصولات تخمیری مانند ماست به حساب می‌آید و به طور کلی به شدت با تغییرات در شبکه کازئین-ژل مرتبط است. برخی از مطالعات گزارش می‌دهند که درصد بالایی از پروتئین و گلبول‌های چربی در شیر منجر به سطوح پایین‌تر سینرزیس می‌شود. افزودن زیست‌توده ریزجلبکی می‌تواند بر سینرزیس در محصول نهایی تاثیر بگذارد. افزایش مقدار *A. platensis* می‌تواند نرخ سینرزیس ماست را به دلیل غلظت بالای کربوهیدرات‌ها وپروتئین های ریزجلبک‌ها و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب بالا کاهش دهد [۱۹].

علاوه بر این، محققان دیگر مقادیر سینرزیس را به‌ترتیب ۱/۶۶ و ۲/۶۸ درصد برای ماست غنی‌شده با ۰/۲۵ درصد *Pavlova lutheri* و نمونه شاهد گزارش کردند که نشان دهنده کاهش این خاصیت است. بنابراین، حدس زده می‌شود که زیست‌توده ریزجلبکی به عنوان تثبیت کننده در ماست‌ها برای کاهش سینرزیس عمل می‌کند که تاثیر مثبتی بر ویژگی‌های محصول نهایی دارد. ترکیب ماست با ریزجلبک‌ها و مشتقات آنها نیز می‌تواند بر خواص بافتی ماست تاثیر بگذارد [۲۰].

محققان دیگر گزارش کردند که در ماست‌هایی با غلظت بالای ۰/۳ درصد *A. platensis*، افزایش سختی ژل با مقادیر بیشتر از N ۰/۶۷ در مقایسه با نمونه شاهد N ۰/۶ وجود داشت، که نشان دهنده تقویت شبکه سه‌بعدی ژل بود. افزایش سختی می‌تواند ناشی از اسیدی شدن در حضور باکتری لاکتیک باشد که شبکه ژل را از طریق جذب آب و همچنین به دلیل تراکم بالای پروتئین جلبک‌ها محکم می‌کند. افزایش غلظت پروتئین می‌تواند برهمکنش این مولکول‌های زیستی را بهبود بخشد و در نتیجه ژل سفت‌تر ایجاد شود. با این‌حال، نتایج مطالعه دیگر نشان داد که افزایش درصد افزودن *A. platensis* می‌تواند به دلیل شکستن شبکه سه‌بعدی منجر به سفتی کمتر شود [۲۱].

رفتار رئولوژی ماست نقش اساسی در به‌دست آوردن فرمولاسیون‌های جدید دارد، چرا که نتیجه تشکیل یک شبکه سه‌بعدی متشکل از کازئین، پروتئین‌های دناتوره شده و گلبول‌های چربی است. ویسکوزیته ماست به عوامل متعددی مانند گونه‌های کشت آغازگر، غلظت میکروارگانیسم‌های شروع کننده، جابجایی، افزودن تثبیت کننده‌ها و ذخیره‌سازی بستگی دارد. علاوه بر این، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌ها، ویسکوزیته ظاهری است که به سطح و نوع ریزجلبک گنجانده شده بستگی دارد [۲۲]. مقادیر بیشتر ریزجلبک اضافه شده میتواند منجر به افزایش ویسکوزیته ظاهری شود. در مطالعه ای که توسط محققان انجام شد مشاهده شد که در نمونه های غنی‌شده با ۰/۵ ٪ *A. platensis* مقدار ویسکوزیته ظاهری در نرخ برش ۲۰۰ rpm، 903 mPa.s بوده، در حالی که برای نمونه های غنی نشده مقدار به‌دست آمده ۷۰۰ mPa.s بود ($p < 0/05$). این تفاوت‌ها در ویسکوزیته را می‌توان به افزایش غلظت پروتئین در ماست‌های غنی‌شده نسبت داد، که ممکن است دلیل افزایش ویسکوزیته آنها باشد. با این‌حال، محققان دیگر گزارش کردند که اضافه کردن فیکوسیانین منجر به کاهش ویسکوزیته ظاهری میشود. طبق این مطالعه، این اتفاق ممکن است به دو دلیل رخ دهد: (۱) ممکن است فیکوسیانین باعث شکستن شدن شبکه سه‌بعدی، کاهش ویسکوزیته و در نتیجه کشش سطحی شده باشد، و (۲) در فرآیند ادغام فیکوسیانین، مرحله همزدن با سرعت بالا انجام شده باشد که منجر به مقادیر ویسکوزیته کمتر از کنترل شده است [۲۳].

۲-۶- تأثیر بر ویژگی‌های حسی

با توجه به ویژگی‌های حسی برجسته مانند طعم ماهی در بسیاری از ترکیبات و رنگدانه‌های معطر، انتظار می رود که ترکیب ریزجلبک‌ها و مشتقات آنها در ماست تاثیر بسزایی بر ویژگیهای حسی این نوع محصول داشته باشد. افزودن ۰/۵٪ و ۰/۲۵٪ (w/v)*P. lutheri* به طور قابل توجهی بر خواص رنگی ماست به دلیل وجود کاروتنوئیدها، کلروفیل، بتاکاروتن‌ها و فوکوگزانتین تاثیر داشت. این نتیجه در تجزیه و تحلیل توسط ۴۰ شرکت کننده بی‌تجربه، که طعم ماهی و طعم ماست را به خوبی دریافت نکردند، تایید شد و در مقایسه با شاهد (ماست‌های بدون ریزجلبک) به ویژگی‌ها و مقبولیت کلی ماست غنی‌شده امتیاز ضعیفی دادند [۲۴]. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر به‌دست آمد که گزارش کردند که بالاترین درصد افزودن *A. platensis* (۰/۵% w/w)، باعث رنگ بسیار سبز و رسوب ریزجلبکی در ماست شد. این عوامل قطعا باعث کسب امتیاز پایین از نظر ظاهر و مقبولیت کلی (به‌ترتیب نمره ۴/۷ و ۴/۸۷ در سیستم امتیاز دهی ۱ تا ۷) می شوند. در واقع، ماست‌های غنی‌شده با ۰/۵٪ *A. platensis* دارای تمام ویژگی‌های حسی با امتیاز پایین بودند [۲۵].

محققان دیگر همچنین گزارش کردند که ماست‌های غنی‌شده با ۰/۱٪ *A. platensis* کمترین امتیاز را از نظر تمام ویژگی‌های حسی (۴۰/۳۳، ۳۸/۳۳، ۶/۸۳ و ۸۵/۵۰ درصد برای طعم، غلظت و بافت، ظاهر و مقبولیت کلی) در مقایسه با ماست‌های غنی‌شده با پروتئین‌وی (آب پنیر) و سدیم‌کازئین گرفتند. در واقع، برخی از نویسندگان استفاده از تکنیک‌های ریزپوشانی (میکروکپسولاسیون) را به منظور بهبود ویژگی‌های حسی محصولات غنی‌شده با موادی با

منشاء دریایی را پیشنهاد می‌کنند [۲۶]. از سوی دیگر، در رابطه با فیکوسیانین، یکی از ترکیبات مهم پرفایده برای سلامتی که از ریزجلبک‌ها به‌دست می آید، آنالیز حسی ماست‌های غنی‌شده با فیکوسیانین توسط ۱۵ تحلیلگر، غلظت بالاتری را در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد، اما این تفاوت‌ها از نظر آماری قابل توجه نبود. علاوه بر این، ماست‌های غنی‌شده با ۴٪ فیکوسیانین به دلیل دارا بودن بالاترین میزان مقبولیت کلی توسط اعضای هیات، انتخاب شدند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که افزودن ریزجلبک‌ها به ماست یک فرآیند پیچیده است که باید ویژگی‌های زیادی را که میتواند کیفیت حسی محصول نهایی را تحت تاثیر قرار دهد، در نظر گرفت. بنابراین، برای دور زدن این مسائل و افزایش مقبولیت کلی محصولات لبنی تخمیری غنی‌شده با ریزجلبک‌ها، لازم است مطالعات بیشتری انجام شود و راهکارهایی برای به حداقل رساندن طعم و عطر جلبک که در این نوع محصولات انتظار نمی رود، یافت شود [۲۷].

۳- کاربردهای زیست‌توده ریزجلبکی و مشتقات آن دربستنی

بستنی، یک فرآورده لبنی است که به دلیل خواص تغذیه‌ای و اثر طراوت بخشی آن به ویژه در روزهای گرم‌تر در سراسر جهان مصرف زیادی دارد. این محصول از شیر، شیرین کننده‌ها، تثبیت کننده‌ها، امولسیفایرها، طعم دهنده‌ها و رنگ کننده‌ها ساخته می‌شود. برخی مطالعات استفاده از زیست‌توده‌های ریزجلبکی را در بستنی به دلیل حضور زیاد رنگدانه‌ها و ترکیبات با نقش تثبیت کننده، نشان داده است. از آن جایی که رنگ‌های خوراکی در صنعت تولید مواد غذایی رایج شده است، بحث‌هایی در مورد مضرات رنگ‌های خوراکی مصنوعی مطرح شده است. بنابراین، استفاده از رنگدانه‌های طبیعی و کاربردی در سال‌های اخیر افزایش یافته است. جدول (۳) برخی تحقیقات را در مورد ترکیب ریزجلبک‌ها و مشتقات آنها در بستنی ارائه می‌کند [۲۸].

جدول (۳): مطالعات مربوط به کاربرد زیست دهیا مشتقات میکروجلبک در بستنی [۲۹]

ریزجلبک‌ها یا مشتقات آن	خصوصیات فیزیکی شیمیایی، حسی، رئولوژی، بافتی یا عملکردی	نرخ افزودن
Nannochloropsis oculata	رنگ نمونه‌های غنی‌شده مایل به سبز بود. هیچ تغییری در رفتار ذوبی نمونه‌های غنی‌شده وجود نداشت. مقادیر شاخص سازگاری (K) نمونه‌ها نزدیک به شاهد بود.	0/1, 0/2 & 0/3% (w/w)
Arthrospira platensis	اسیدیته در بستنی غنی‌شده نسبت به شاهد افزایش یافت. مقادیر pH نمونه‌های غنی‌شده کمتر از نمونه شاهد بود. مقادیر بیشتر ریزجلبک منجر به کاهش ویسکوزیته می‌شود. بیش از حد در نمونه‌های مکمل در مقایسه با شاهد افزایش یافته است.	0/075, 0/15, 0/23 & 0/3% (w/w)
Arthrospira platensis	پروتئین، چربی و میزان کل جامدات در بستنی با اسپیرولینای ریزکپسوله شده یا خالص نسبت به شاهد افزایش یافت. مقبولیت کلی در بستنی بدون اسپیرولینای ریزپوشانی یا خالص بالاتر بود. زمان ذوب در نمونه‌های دارای ریزجلبک خالص کمتر از نمونه‌های دارای اسپیرولینا ریزپوشانی شده بود	خالص و میکروکپسوله شده با مالتودکسترین و صمغ عربی
Arthrospira platensis	محتوای جامد، پروتئین و چربی کل در بستنی غنی‌شده نسبت به شاهد افزایش یافت. نقطه سرریز بستنی و نقطه‌ذوب در نمونه‌های غنی‌شده بالاتر بود. تجزیه و تحلیل حسی نشان داد که شرکت کنندگان بستنی بدون ریزجلبک را ترجیح می‌دهند.	0/6 & 1/2%
Diacronema vlkianum	بستنی غنی‌شده به رنگ سبز بود. اعضای پانل در نمونه‌های غنی‌شده طعم تلخی پیدا کردند. بستنی با ریزجلبک مقادیر K کمتری را نسبت به شاهد نشان داد.	0/1, 0/2 & 0/3% (w/w)
فیکوسیانین از *Arthrospira platensis*	رنگ بستنی غنی‌شده مایل به آبی (میزان b* منفی بود) در حالی که نمونه‌های شاهد به رنگ زرد (میزان b* مثبت) بودند. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های غنی‌شده پس از هضم نسبت به شاهد بهبود یافته بود.	۰/۰۲۵%
Porphyridium cruentum	پروتئین، چربی و کل جامدات در بستنی با اسپیرولینای میکروکپسوله شده یا خالص نسبت به شاهد افزایش یافت. ترکیبات فنلی با مقدار بیشتر ریزجلبک افزایش یافت. مقدار بیشتری از ریزجلبک‌ها بر پارامترهای حسی عمومی بستنی تاثیر منفی گذاشت.	0/1, 0/2 & 0/3% (w/w)
فیکوسیانین از *Arthrospira platensis*	تفاوتی در میزان چربی نمونه‌های غنی‌شده در مقایسه با شاهد مشاهده نشد. زمان ذوب در نمونه‌های حاوی فیکوسیانین در مقایسه با شاهد کمتر بود. مقبولیت کلی در نمونه‌های غیر غنی‌شده بیشتر بود.	۰/۰۱۳%

۳-۱- تغییرات در ترکیب فیزیکی شیمیایی

برخی از مطالعات گزارش می‌دهند که افزودن ریزجلبک به بستنی بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی آن تاثیر می‌گذارد. خواصی مانند pH و اسیدیته مخلوط بستنی می‌تواند به دلیل افزایش مواد جامد غیر چربی ناشی از ترکیب زیست‌توده ریزجلبکی متفاوت باشد. محققان گزارش کردند که افزایش اسیدیته اسید لاکتیک از ۰/۱٪ به ۰/۲۵٪ و کاهش pH از ۶/۲۰ به ۶/۱۱ در مخلوط بستنی، زمانی که غلظت *A. platensis* بین ۰/۰۷۵٪ تا ۰/۳٪ w/w است، رخ می‌دهد. این می‌تواند به دلیل ظرفیت بافر *A. platensis* و ترکیب فیزیکی شیمیایی آن باشد. علاوه بر این، در تحقیقات انجام شده محققان، مشاهده شد که افزودن ۱٪ *A. platensis* خالص یا میکروکپسوله به بستنی منجر به افزایش محتوای پروتئین و چربی در مقایسه با نمونه‌های غیر غنی‌شده می‌شود. از آنجایی که زیست‌توده ریزجلبکی *A. platensis* دارای محتوای پروتئین و چربی بالایی است، این اتفاق انتظار می‌رفت [۳۰].

محققان دیگر همچنین رفتار مشابهی را در نمونه‌های غنی‌شده با این سویه گزارش کردند. یکی دیگر از موارد بسیار مهم در کیفیت و ویژگی‌های انجمادی بستنی، زمان ذوب شدن است. این پارامتر به عوامل مختلفی مانند کل جامدات، اندازه بلورهای یخ، مقدار و اندازه گلبول‌های چربی، وجود تثبیت کننده‌ها، امولسیفایرها و نگهداری بستگی دارد. محققان دیگر مدت زمان ذوب ۲۴/۲۶ و ۲۸/۰۸ دقیقه را به‌ترتیب به ازای ۱۰ گرم بستنی غنی‌شده با ۰/۶٪ و ۱/۲٪ *A. platensis* و برای نمونه کنترل، ۲۱/۳۸ دقیقه به ازای ۱۰ گرم را گزارش کردند. این کاهش در زمان ذوب می‌تواند نتیجه محتوای چربی بالای نمونه‌های غنی‌شده باشد که سرعت انتقال حرارت را کاهش داده و در نتیجه زمان‌های ذوب بالاتری ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، هنگامی که مشتقات ریزجلبک مانند رنگدانه‌ها ترکیب می‌شوند، رفتار متفاوتی را می‌توان در زمان ذوب بستنی مشاهده کرد. رودریگز و همکاران گزارش کردند که استفاده از ۰/۵٪ w/v فیکوسیانین به عنوان جایگزینی برای تثبیت کننده‌ها در بستنی، باعث شد زمان چکیدن اولین قطره (کمتر از ۱۰ ثانیه بر گرم) در مقایسه با نمونه کنترل (۱۳ ثانیه بر گرم) کوتاه‌تر شود. که نشان می‌دهد این رنگدانه میزان استحکام را بهبود نمی‌بخشد [۳۱].

علاوه بر این، سرریزشدن، که با عنوان افزایش حجم بستنی به دلیل ادغام هوا تعریف می‌شود، نیز نقش مهمی در کیفیت بستنی ایفا می‌کند. افزودن زیست‌توده ریزجلبکی ممکن است بر این پارامتر تاثیر بگذارد. محققان دیگر مشاهده کردند که مقدار سرریز شدن در نمونه‌های غنی‌شده با ۰/۶٪ و ۱/۲٪ *A. platensis* w/w بالاتر (به‌ترتیب ۲۵/۳۵ و ۶۲/۳۷ درصد) از مقدار موجود در محصول غنی نشده (۹۹/۳۳ درصد) بود. یکی از دلایل این اتفاق ممکن است ویژگی‌های فنی-عملکردی پروتئین‌های ریزجلبک باشد. *A. platensis* دارای ظرفیت امولسیون کنندگی ۱/۱۳ میلی لیتر چربی/گرم پروتئین، ظرفیت کف ۲۰۷٪ و پایداری کف ۲۷٪ است و احتمالاً مسئول ترکیب مقدار بیشتری از هوا در مخلوط و در نتیجه افزایش حجم آن است [۳۲].

۳-۲- تغییرات در پارامترهای رنگی

استفاده از ریزجلبک‌ها به عنوان عوامل رنگ دهنده به محصولاتی مانند سس مایونز، ماست، پاستا و آدامس گسترش یافته است.

در محصولات لبنی مانند بستنی مطالعاتی انجام شده است. وجود رنگ‌های طبیعی مانند فیکوسیانین، کلروفیل، فوکوسیانین، فوکوگزانتین و آنتوسیانین‌ها در ریزجلبک‌ها می‌تواند بر رنگ محصول نهایی تاثیر بگذارد. محققان، تغییرات رنگ را در بستنی غنی‌شده با ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد زیست‌توده *P. cruentum* مشاهده کردند که منجر به نمونه‌هایی با رنگ صورتی شد. علت این تغییر رنگ به حضور فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، یعنی فیکوسیانین، رنگدانه قرمز محلول در آب، ارتباط داشت. در همین مطالعه، مشاهده شد که پارامترهای رنگی L*، a* و b* به طور متفاوتی تحت تاثیر غلظت ریزجلبک‌ها قرار گرفتند. در حالی که مقادیر L* به طور قابل توجهی تحت تاثیر غلظت *P. cruentum* قرار نگرفت، مقادیر b* و a* به‌ترتیب از ۸/۴۰ به ۸/۷۳ و ۶/۲۰ به ۱۱/۴۱ با افزایش محتوای زیست‌توده ریزجلبکی، افزایش یافت که باعث تشدید رنگ قرمز شد. پایداری رنگ در نگهداری نیز یک پارامتر مهم در توسعه بستنی است [۳۳].

در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از فیکوسیانین به عنوان یک رنگ دهنده طبیعی در بستنی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار کل پارامتر اختلاف رنگ (ΔE*)، در نمونه‌هایی با ۰/۰۲۵ درصد فیکوسیانین پس از ۱۴ و ۱۸۲ روز به‌ترتیب ۵۰/۴ و ۴۶/۹ بود، در حالی که نمونه‌های شاهد به‌ترتیب ۲۸/۲ و ۲۰/۱۵ را نشان دادند که گواه تفاوت کمتر درمقادیر ΔE* نمونه‌های حاوی فیکوسیانین بود که پایداری مناسب این رنگدانه طبیعی را در طول ذخیره‌سازی ثابت می‌کند. علاوه بر این، عواملی مانند pH نیز بر پایداری رنگ تاثیر می‌گذارد. فیکوسیانین در محدوده ۵ pH پایدار است و مقدار بالاتر یا کمتر از این محدوده می‌تواند باعث از بین رفتن رنگ شود. با در نظر داشتن این که بستنی یک محصول خنثی است، [۷-۶ pH] انتظار می‌رود که فیکوسیانین به عنوان یک عامل رنگ دهنده طبیعی در این محصول استفاده امیدوارکننده‌ای داشته باشد [۳۴].

۳-۳- تاثیر بر پارامترهای رئولوژی

پارامترهای رئولوژیکی مخلوط بستنی نقش اساسی در حفظ همه اجزا در حالت همگن دارند. افزودن زیست‌توده ریزجلبکی می‌تواند بر رفتار رئولوژیکی بستنی تاثیر بگذارد. محققان مشاهده کردند که افزایش غلظت *A. platensis* به عنوان جایگزینی برای پایدار کننده‌ها در بستنی منجر به کاهش ویسکوزیته می‌شود. نویسندگان توضیح می‌دهند که *A. platensis* در مقایسه با پایدار کننده‌های سنتی، به عنوان مثال کازئین (۲/۵ گرم، آب/گرمِ‌پروتئین) ظرفیت جذب آب پایینی دارد (۱/۴۵ گرم آب /گرمِ‌پروتئین). به همین دلیل، توانایی تشکیل ساختار ژل با آب، با اضافه شدن ریزجلبک‌ها کاهش یافته و در نتیجه ویسکوزیته نمونه کاهش یافت [۳۵].

۳-۴- تاثیر بر ویژگی‌های حسی

ویژگی‌های حسی مانند رنگ، عطر، طعم، مزه و بافت ممکن است تحت تاثیر ترکیب زیست‌توده ریزجلبکی در بستنی قرار گیرند.

محققان گزارش کردند که افزودن *P. cruentum* به دلیل رنگ صورتی ناشی از رنگدانه‌های طبیعی ریزجلبک‌ها، باعث تاثیر مثبتی بر رنگ بستنی شد. با این‌حال، با توجه به استنباط داوران، مقدار بیش از حد ریزجلبک می‌تواند بر ویژگی‌های حسی مانند طعم، عطر و مقبولیت کلی تاثیر منفی بگذارد. طعم بستنی عمدتاً به چربی شیر بستگی دارد. افزودن ۰/۳ درصد *P. cruentum* باعث ایجاد بوی نامطلوب ماهی در بستنی می‌شود. در همین مطالعه، *N. oculata* و *D. vlkianum* نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و نتایج نشان داد که افزایش مقدار ریزجلبک بر طعم بستنی تاثیر منفی می‌گذارد زیرا به گفته داوران، طعم تلخ آن قوی‌تر بود. این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط محققان دیگر در ماکارونی و نتایج به‌دست آمده توسط محققان دیگر در ماست، مطابقت دارد که نمرات پایینی را برای طعم، عطر و مقبولیت عمومی نمونه‌های غنی‌شده مشاهده کردند [۳۶].

برخی از رویکردها استفاده از فرآیند های عطر زدایی در دمای پایین و خلاء را به منظور حذف ترکیبات از عوامل تولید کننده بوی نامطلوب در زیست‌توده میکروجلبکی و همچنین افزودن ترکیبات پوشاننده یا محصورکننده که باعث کاهش درک این عطرها می‌شود را، پیشنهاد می‌کنند. با این‌حال، در مطالعه انجام شده توسط محققان دیگر مشاهده شد که افزودن *A. platensis* ریزکپسوله (میکروکپسوله) شده با صمغ عربی یا مالتودکسترین، در مقایسه با نمونه‌های دارای ریزجلبک‌های بدون کپسول، تاثیر قابل توجهی بر نمره عطر آن نداشت. در واقع، مطالعات بیشتری برای تعیین مناسب‌ترین درصد افزودن ریزجلبک بدون تاثیر زیاد بر خواص حسی محصول نهایی، مورد نیاز است [۳۷].

۴- کاربردهای زیست‌توده ریزجلبکی در پنیر

پنیر یک محصول لبنی پرمصرف در سراسر جهان با تنوع قابل توجهی از رایحه‌ها و شکل‌های مرتبط با برهمکنش پروتئین‌های شیر، کربوهیدرات‌ها و چربی است. به منظور بهبود ویژگی‌های حسی، تغذیه‌ای و عملکردی پنیرها، در سال‌های اخیر مطالعاتی بر روی ترکیب کردن زیست‌توده ریزجلبکی انجام شده است. جدول (۴) برخی ازاین تحقیقات اخیر را نشان می‌دهد [۳۸].

جدول (۴): مطالعات کاربرد زیست‌توده ریزجلبکی در پنیرها [۳۹]

ریزجلبک یا مشتقات آن	خصوصیات فیزیکی شیمیایی، حسی، رئولوژی، بافتی یا عملکردی	نرخ افزودن
Chlorella vulgaris	تفاوت‌های قابل توجهی بین شاهد و تمام اجزای شیمیایی (رطوبت، چربی، کربوهیدرات و محتوای نمک) پنیر غنی‌شده با زیست‌توده ریزجلبکی *C. vulgaris* 3% وجود داشت. پروتئین ریزجلبک و کربوهیدرات‌ها باعث افزایش سفتی و کاهش شاخص‌های جداسازی روغن پنیر می‌شوند.	1, 2 & 3% (w/w)
Chlorella vulgaris	PH پنیر با افزایش درصد ریزجلبک اضافه شده افزایش یافت. افزودن ریزجلبک به پنیر فرآوری‌شده درجه ذوب پنیر را در مقایسه با نمونه شاهد قبل و بعد از ذخیره‌سازی افزایش داد.	2, 4 & 6% (w/w)
Arthrospira platensis	افزایش میزان ریزجلبک‌ها منجر به کاهش رطوبت و افزایش محتوای پروتئین و چربی در پنیر نرم شد. پنیرهای غنی‌شده با اسپیرولینا مقادیر بیشتری از بتاکاروتن را نسبت به شاهد نشان دادند.	0/5, 1 & 1/5% (w/w)
Arthrospira platensis	میزان پروتئین و چربی در نمونه‌های غنی‌شده نسبت به شاهد افزایش داشت. پنیرهایی با ۰/۲۵٪ و ۰/۵٪ اسپیرولینا بیشتر توسط داوران تایید شد. pH نمونه‌های غنی‌شده نسبت به شاهد اندکی کاهش یافت. چربی، پروتئین و محتوای کل جامد در نمونه‌های دارای ۳ درصد ریزجلبک افزایش یافت.	0/25, 0/5 & 1% (w/w)
Arthrospira maxima	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌های غنی‌شده در نگهداری نسبت به شاهد افزایش یافت. مقبولیت کلی برای همه نمونه‌ها و شاهد نمرات بالایی گرفت.	1, 2 & 3% (w/w)
Arthrospira platensis	محتوای پروتئین و بقایای پنیرهای غنی‌شده تحت تاثیر افزودن ریزجلبک قرار نگرفت. مقادیر L* نمونه‌های غنی‌شده با اسپیرولینا با افزایش غلظت ریزجلبک کاهش یافت. نمونه‌های غنی‌شده با اسپیرولینا درجات سختی کمتری نسبت به شاهد، هم در ابتدا و هم در پایان ذخیره‌سازی نشان دادند.	0/5, 1 & 1/5% (w/w)
Arthrospira platensis	محتوای چربی و پروتئین پنیرهای غنی‌شده با ریزجلبک نسبت به شاهد بهبود یافت. افزودن ریزجلبک به پنیر باعث افزایش ترکیب فنلی و محتوای فلاونوئید و همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن شد.	0/5, 1 & 1/5% (w/w)

۴-۱- تغییرات در ساختار فیزیکی شیمیایی

ترکیب زیست‌توده ریزجلبکی می‌تواند بر خواص فیزیکی شیمیایی پنیرها تاثیر بگذارد. محققان، افزایشی را در مقدار پروتئین از ۱۴/۳۸ تا ۱۵/۷۰ درصد و کاهش مقدار pH از ۵/۴۲ به ۵/۳۹ را درمشابه پنیر غنی‌شده با *C. vulgaris* در ۱، ۲ و ۳٪ w/w ، در مقایسه با نمونه شاهد (۱۳/۵۶٪ پروتئین، ۵/۸۰ PH) مشاهده کردند. بدین صورت که نمونه‌های مشابه پنیر با استفاده از پنیر مایه، اسید و شیر دلمه شده بدون نمک (۴۳/۰۱٪ پروتئین و ۴/۷ PH) ساخته شد، در حالی که نمونه کنترل با مخلوطی از پنیر راس (۲۲/۶٪ پروتئین) و پنیر چدار رسیده (۲۵/۴۷٪ پروتئین) ساخته شده بود. بنابراین، شیر بسته شده اسیدی و محتوای پروتئین بیشتر آن بر کاهش مقدار pH و همچنین در افزایش میزان پروتئین در نمونه‌های غنی‌شده تاثیر داشت. علاوه بر این، محتوای پروتئین در زیست‌توده *C. vulgaris* نیز به افزایش مقدار پروتئین کمک کرد. رفتار مشابهی نیز توسط محققان دیگر در سایر آنالوگ‌های پنیر مشاهده شد. به همین ترتیب، که با افزایش محتوای پروتئین (بالاتر از ۲۲٪) را در پنیر نرم غنی‌شده با ۱/۵٪ *A. platensis* در مقایسه با نمونه شاهد (۳/۸٪) نشان دادند [۴۰].

تاثیر ذخیره‌سازی بر روی PH پنیر نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. محققان مشاهده کردند که پس از ۱۵ روز نگهداری، مقادیر pH پنیرهای فتای غنی‌شده با ۰/۵ و ۱/۰ و ۱/۵٪ *A. platensis* به‌ترتیب ۴/۸۱، ۴/۸۲ و ۴/۸۶ بود، در حالی که نمونه شاهد ۴/۶ بود. این رفتار ممکن است به ظرفیت بافر *A. platensis* ناشی از اجزای فیزیکی شیمیایی آن مانند پروتئین‌ها، پپتیدها و اسیدهای آمینه مربوط باشد. علاوه بر این، باکتری آغازگر می‌تواند در اواخر یک فاز لگاریتمی و یا در اوایل فاز تاخیری رشد در فرایند اسیدی بوده باشد و در

نتیجه، فرآیند رشد ممکن است باعث تشکیل پپتیدها و سرانجام افزایش pH شود. از سوی دیگر، ذوب یک خاصیت بسیار مطالعه شده در آنالوگ‌های پنیر است. محققان دیگر کاهشی را در مقدار شاخص ذوب (۹۱، ۸۸ و ۸۶ mm) آنالوگ‌های پنیر غنی‌شده با *A. platensis* با افزایش غلظت جلبک (۱، ۲ و ۳٪ w/w) را در مقایسه با شاهد (۱۱۱/۰mm) گزارش کردند [۴۱].

در نهایت، شاخص جداسازی روغن در پنیرهای فرآوری‌شده نیز می‌تواند تحت تاثیر ریزجلبک‌ها قرار گیرد. این ویژگی فیزیکی شیمیایی تا حد زیادی به وضعیت چربی و پروتئین موجود در امولسیون، نوع و کمیت مواد استفاده شده در فرمولاسیون، زمان و دمای پخت، نوع نمک امولسیون‌کننده و pH نهایی محصول بستگی دارد و برای اندازه گیری پایداری امولسیون در پنیر استفاده می‌شود. افزودن *C. vulgaris* ۳٪ به آنالوگ‌های پنیر فرآوری‌شده منجر به کاهش نرخ جداسازی روغن (۱۷٪) در مقایسه با نمونه شاهد (۲۵٪) شد. یکی از عواملی که ممکن است بر این رفتار تاثیر گذاشته باشد، ترکیب غذایی *C. vulgaris* است، زیرا زیست‌توده آن غنی از پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها است که منجر به ایجاد امولسیون‌های پایدارتر در نمونه‌های غنی‌شده می‌شود. محمد و همکاران همچنین روند مشابهی را در پنیر فرآوری‌شده غنی‌شده با *A. platensis* مشاهده کردند [۴۲].

۴-۲- تغییرات در پارامترهای رنگ

در فرآورده‌های لبنی مانند پنیر، بین رنگ و پذیرش مصرف‌کننده رابطه مستقیم وجود دارد، بنابراین، تغییر در رنگ این محصول سنتی می‌تواند بر ویژگی‌های حسی آن و در نتیجه تمایل به خرید تاثیر بگذارد. ترکیب ریزجلبک‌ها در پنیر به دلیل وجود تعداد متنوعی از رنگدانه‌ها در زیست‌توده ریزجلبک، باعث رنگ‌آمیزی این محصول می‌شود. محققان مطالعه‌ای را در مورد ترکیب *A. platensis* در پنیرKareish، که یک محصول بسیار محبوب در شهرهای مصر است، انجام دادند و نتایج نشان داد زمانی که غلظت جلبک افزایش یافت، تغییراتی در پارامترهای رنگی L*،a* و b* به وجود آمد. نمونه‌های حاوی ۱/۵٪ *A. platensis* رنگ مایل به سبز قوی‌تری را نمایان کردند که نشان دهنده کاهش مقدار a* از ۱/۰۲ برای نمونه کنترل، تا ۱۰/۶۹- برای نمونه غنی‌شده بود. این تغییرات رنگ توسط رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل و فیکوسیانین موجود در زیست‌توده میکروجلبک ایجاد می‌شود [۴۳].

۴-۳- تاثیر بر ویژگی‌های بافتی

بافت غذایی یکی از ویژگی‌های ضروری پنیر است و مصرف‌کنندگان از آن استقبال می‌کنند. افزودن ریزجلبک‌ها به پنیر می‌تواند بر پارامترهای بافتی این محصول لبنی تاثیر بگذارد. ادغام *C. vulgaris* در آنالوگ‌های پنیر فرآوری‌شده منجر به سفتی بیشتر شد. این گونه دارای سطح بالایی از پروتئین است و بنابراین، نقش مهمی در ظرفیت جذب آب دارد که باعث افزایش سفتی پنیر می‌شود. این روند همچنین در مطالعات انجام شده توسط محققان مشاهده شد که نشان داد ادغام *A. platensis* در پنیر منجر به افزایش سفتی می‌شود (۴/۴ نیوتن برای نمونه شاهد و ۴/۹ نیوتن برای نمونه غنی‌شده با ۱/۵٪ *A. platensis*). محققان دیگر همچنین رفتار مشابهی را به‌ترتیب در ماکارونی و نان نشان دادند. بنابراین، استفاده از ریزجلبک‌ها برای بهبود خواص بافتی پنیر برای توسعه محصولات جدید امیدوارکننده است [۴۴].

۴-۴- تاثیر بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی

آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیباتی هستند که به مبارزه با آسیب سلولی و DNA که به سرطان، بیماری‌های عروقی، کرونرقلبی و سایر بیماری‌های مزمن تبدیل می‌شوند، کمک می‌کند. محصولات لبنی مانند پنیر سرشار از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند و تقویت آنها با ریزجلبک‌ها می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها را بهبود بخشد [۴۵].

افزودن *C. vulgaris* (4% w/w) به پنیر فرآوری‌شده منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی از ۵۴/۸۵٪ در نمونه‌های شاهد، به ۶۸/۳٪ از ظرفیت حذف رادیکال، در نمونه‌های غنی‌شده با ریزجلبک شد. این تفاوت را می‌توان به ترکیب *C. vulgaris* نسبت داد که سرشار از چندین آنتی‌اکسیدان مانند لوتئین، کلروفیل و سلنیوم است. در همین مطالعه، نویسندگان نشان می‌دهند که دمای پخت پنیر فرآوری‌شده نیز ممکن است در تفاوت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نقش داشته باشد، زیرا دمای بالا (۹۰–۱۵۰ C°) بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی تاثیر می‌گذارد. محققان دیگر ظرفیت فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالای ۵۷٪ را در آنالوگ‌های پنیر فرآوری‌شده غنی‌شده با ۳٪ *A. platensis* و ۵/۵۲٪ برای نمونه شاهد گزارش کردند که نشان می‌دهد فعالیت آنتی‌اکسیدانی بهبود یافته است. *A. platensis* دارای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مختلفی مانند فیکوسیانین، توکوفرول‌ها و ترکیبات فنلی است که باعث این افزایش می‌شوند [۴۶].

۴-۵- تغییرات در ویژگی‌های حسی

مطالعه پارامترهای حسی تا حد زیادی به بازاریابی احتمالی پنیر کمک می‌کند زیرا چشم‌اندازی از پتانسیل پذیرفته شدن از نظر مصرف‌کننده را نشان می‌دهد. ادغام زیست‌توده ریزجلبکی در پنیرها منجر به تغییرات در پارامترهای ارگانولپتیک می‌شود، به عنوان مثال،

غلظت بالای ریزجلبک (*C. vulgaris* ≤۴٪) می‌تواند منجر به پنیرهایی با بافت‌دانه‌ای شود که مورد استقبال مصرف‌کنندگان قرار نمی‌گیرد. خواصی مانند طعم نیز می‌تواند تحت تاثیر ترکیب ریزجلبک‌ها در پنیر قرار گیرد. محققان گزارش کردند که افزودن *A. platensis* به پنیر نرم یونانی در سطح ۱٪ به دلیل ویژگی ریزجلبک ها، باعث عطر و طعم تلخ شد. علاوه بر این، هنگام مطالعه خواص حسی پنیرهای غنی شده با ریزجلبک، باید اثرات نگهداری نیز در نظر گرفته شود. در مطالعه‌ای که توسط محققان دیگر انجام شد پنیر فتا غنی‌شده با ۰/۵، ۱ و ۱/۵٪ *A. platensis* تولید شد و نتایج آنالیز حسی نشان داد که تلخی نمونه‌ها با افزایش مقدار ریزجلبک‌ها و افزایش زمان ذخیره‌سازی تشدید شد. این را می‌توان به ویژگی‌های فیزیکی ریزجلبک‌ها، و همچنین به اثر پروتئولیز که در طول ذخیره‌سازی رخ می‌دهد، نسبت داد، که ممکن است باعث تجمع پپتیدهایی شود که طعم تلخی به پنیر می‌دهد. به منظور کاهش عطر جلبک، برخی از محققین روش‌های مختلفی مانند گرم کردن، هیدرولیز آنزیمی، گنجاندن بتا سیکلودکسترین‌ها، تخمیر و استخراج با حلال را پیشنهاد کرده‌اند. با این‌حال، مطالعات بیشتری در مورد ویژگی‌های حسی پنیرهای غنی‌شده با ریزجلبک‌ها باید انجام شود و در نتیجه بهترین روش برای حذف ویژگی‌های نامطلوب در محصول نهایی پیدا شود [۴۷].

۵- سایر محصولات لبنی

اثر ترکیب ریزجلبک‌ها در برخی از محصولات لبنی که در دسته‌بندی‌های فوق الذکر قرار نمی‌گیرند نیز، مورد مطالعه قرار گرفته است، به عنوان مثال: شیرخشک تخمیرشده، کفیر، نوشیدنی دوغ [۴۸].

محققان یک نوشیدنی تخمیرشده بر پایه‌ی دوغ غنی‌شده با ۱/۰، ۱/۵، ۲/۰ و ۲/۵٪ *A. platensis* تولید کردند و نتایج نشان داد که نمونه‌های با درصد زیست‌توده میکروجلبکی کمتر از ۲ درصد مقدار اسیدیته قابل قبولی را نشان دادند (DT ۷۵–۸۰). اگرچه، تیمارهای با غلظت جلبک بیش از ۲٪ منجر به مقادیر اسید بسیار بالا شدند. (DT ۸۷–۹۰). با توجه به غلظت سوبسترای بالاتر، باکتری‌های اسید لاکتیک قادر به تولید مقدار بیشتری از اسید لاکتیک در طول تخمیر بودند. مقدار چربی برای تمام تیمارها و شاهد ۰/۴٪ بود. ($p < 0/05$). محققان دیگر اثر افزودن (۰/۲۵ و ۰/۵ w/v) *A. platensis* و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* را در پودر شیر تخمیرشده بازسازی شده (10% w/v) گزارش کردند و مشاهده شد که کاهش قابل توجهی در مقدار PH (از ۴/۳ به ۴/۱) هنگامی که غلظت ریزجلبک افزایش یافت، اتفاق افتاد. این رفتار مشابه آنچه توسط محققان دیگر گزارش شده، است که کاهش مقادیر pH را در شیر حاوی *A. platensis* و آغشته به *S. thermophilus* و *L. bulgaricus* هنگامی که غلظت جلبک افزایش یافت، مشاهده کردند [۴۹].

محققان یک پروتئین با کیفیت بالا لبنه، غنی‌شده با ۰/۵٪ *A. platensis* ایجاد کردند و نتایج نشان داد که افزایش قابل توجهی در محتوای پروتئین (۱۳/۰۸٪) در مقایسه با نمونه شاهد وجود دارد. (۱۰/۶۰٪) زیست‌توده ریزجلبکی *A. platensis* به داشتن سطح بالایی از پروتئین معروف است بنابراین، ترکیب آن در لبنه منجر به افزایش میزان محتوای این درشت مغذی شد. روند مشابه توسط Laela و همکاران رویت شد که محتوای پروتئین ۵/۵۳٪ در کفیر غنی‌شده با ۲٪ *A. platensis*، را در مقایسه با نمونه شاهد ۴/۰۲٪ گزارش کردند. علاوه بر این، تاثیر ذخیره‌سازی بر سطح اسیدیته لبنه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. محمد و همکاران مشاهده کردند که در نمونه‌های غنی‌شده با ۰/۵٪ *A. platensis* اسید لاکتیک از ۲/۲٪ در روز ۰، به ۲/۸٪ در روز ۲۷ افزایش یافته است. این افزایش بیشتر از نمونه شاهد بود (به‌ترتیب از ۱/۷٪ به ۱/۸٪ در روز ۰ و ۲۷) که نشان می‌دهد تولید اسید لاکتیک به طور سودمند تحت تاثیر افزودن زیست‌توده ریزجلبکی قرار گرفت [۵۰].

۶- مسائل مربوط به مقررات زیست‌توده ریزجلبکی یا مشتقات در محصولات لبنی

زیست‌توده ریزجلبکی و مشتقات آن به دلیل خواص عملکردی و مغذی آنها، به محصولات لبنی اضافه می‌شوند. با این‌حال، غنی‌سازی مواد غذایی با مواد نوین توسط مقامات مختلف در سراسر جهان مطابق جدول (۵)، یعنی سازمان ایمنی غذای اروپا (EFSA)، سازمان غذا و دارو (FDA)، سازمان ایمنی و استانداردهای غذایی هند (FSSAI) و اداره غذای استرالیا نیوزیلند (ANZFA)، تنظیم می‌شود. به منظور اطمینان از ایمن بودن این مواد افزوده شده، ایمنی محصولات باید قبل از عرضه به بازار ارزیابی شود، اما الزامات نظارتی محدودکننده، می‌تواند تجاری سازی آنها را به تاخیر بیندازد [۵۱].

جدول (۵): ریزجلبک‌ها یا مشتقات تایید شده برای افزودن به شیر و محصولات لبنی [۵۲]

سازمان غذا	الزامات خاص برچسب گذاری	بیشترین مقدار یا بیشترین میزان مصرف روزانه	دسته غذا	ریزجلبک یا مشتقات آن
EFSA (EU)	-	نامحدود	شیر و لبنیات	*Arthrospira platensis*
	-	نامحدود	شیر و لبنیات	*Chlorella luteoviridis*
	برچسب باید حاوی عبارت "زیست‌توده خشک جلبک *Euglena gracilis*" باشد.	0/15 g/100 g	ماست و نوشیدنی‌های ماستی	*Euglena gracilis*
	برچسب باید حاوی عبارت "روغن حاصل از ریزجلبک *Schizochytrium sp.*" باشد.	۰/۶ g/100 g برای پنیر; ۰/۲ g/100 g برای محصولات شیر (از جمله شیر و فوم فریس و محصولات ماستی)	محصولات لبنی به جز نوشیدنی‌های حاوی شیر	*Schizochytrium sp.* (غنی از روغن DHA و EPA)
	برچسب باید حاوی عبارت "روغن حاصل از ریزجلبک *Ulkenia sp.*"باشد.	0/06 g/100 mL DHA	نوشیدنی‌های مبتنی بر شیر	*Ulkenia sp.* (غنی از روغن DHA)
FDA (USA)	-	۰/۰۱ g/100 g	پنیر کم‌چرب، پنیر نرم و پنیر دلمه شده	*Dunaliella bardawil*
	-	۳ گرم در هر وعده	شیر و لبنیات	*Arthrospira platensis*
	-	۰/۲۰۸ g/100 g برای پروبیوتیک و نوشیدنی‌های ماستی، ۰/۲۲۲ g/100 g برای ماست	شیر و لبنیات	*Euglena gracilis*
		1 g/100 gبرای شیر ۱/۳۵ g/100 g برای ماست پنیر و بستنی	شیر و لبنیات	*Chlorella protothecoides*
	-	۱/۵g/100 g	شیر	*Chlorella vulgaris*
	-	20 g/100 g برای کره; 2 g/100 g برای محصولات شیری	شیر و لبنیات	*Prototheca moriformis*
	-	۴ گرم در هر روز	شیر و لبنیات	*Chlorella vulgaris*
	-	۳ گرم در هر روز	شیر و لبنیات	*Arthrospira platensis*
	-	۵۰ میلی‌گرم در هر روز	شیر و لبنیات	فیکوسیانین به‌دست آمده از پودر خشک *Arthrospira platensis*
	-	۴ میلی‌گرم در هر روز	شیر و لبنیات	پودر Astaxanthin به‌دست آمده از *Haematococcus pluvalis*
	-	۰/۰۷۵ g/100 g	محصولات شیر	*Schizochytrium* sp.
	-	260 mg of DHA روزانه در استرالیا	محصولات شیر	*Schizochytrium* sp.

با توجه به ترکیب زیست‌توده ریزجلبکی و مشتقات آن در محصولات لبنی، اتحادیه اروپا (EU)، از طریق مقررات ۹۷/۲۵۸ سازمان EFSA تعیین کرد که ریزجلبک‌هایی که قبل از ۱۵ می ۱۹۹۷ به عنوان مواد غذایی استفاده می‌شدند، "غذای نوین" یا "مواد جدید" در نظر گرفته نمی‌شوند و می‌توانند در غلظت‌های نامحدود در تمام محصولات لبنی اضافه شوند. به همین دلیل، اضافه کردن زیست‌توده ریزجلبک یا مشتقات *Arthrospira platensis*، *Chlorella vulgaris* *Chlorella luteoviridis* و *Chlorella luteoviridis* در ابعاد وسیع مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر این، غذاهای غنی‌شده با ریزجلبک‌ها ممکن است دارای ادعاهای تغذیه‌ای مانند «پروتئین بالا» یا «منبع پروتئین» طبق تعریف مقررات ۲۰۰۶/۱۹۲۴ (EC) باشند، زیرا ثابت شده است که این مواد دارای محتوای پروتئین بالایی هستند. به علاوه، ترکیب مشتقات *E. gracilis* و *Ulkenin sp.* در محصولات لبنی توسط EFSA طبق مقررات ۲۴۷۰/۲۰۱۷ با حداکثر میزان نشان داده شده در جدول (۵) تایید شده است [۵۳].

از سوی دیگر، در ایالات متحده آمریکا (USA) بسیار متداول است که موادی که به عنوان بی‌خطر شناخته میشوند (GRAS) به غذاها اضافه شوند. FDA چندین اعلان GRAS در رابطه با استفاده از زیست‌توده ریزجلبکی در طیف گسترده ای از محصولات از جمله محصولات لبنی دریافت کرده است. برای مثال، طبق جدول (۵)، زیست‌توده های *A. platensis*، *E. gracilis* و *C. prototheocoides* میتوانند در شیر ومحصولات لبنی با غلظت های مختلف گنجانده شوند [۵۴, ۵۵].

۷- اظهارات پایانی

افزودن ریزجلبک‌ها به محصولات لبنی منجر به تغییراتی در خواص فیزیکی شیمیایی این غذاها، یعنی محتوای پروتئین و pH می‌شود. با توجه به بررسی متون، افزایش درصد جلبک اضافه شده باعث کاهش سینرزیس ماست می‌شود که اثر مطلوبی در این نوع محصول به حساب می‌آید. در بستنی، غنی‌سازی با زیست‌توده ریزجلبکی منجر به کاهش زمان ذوب در کنار جایگزینی رنگ‌های مصنوعی با رنگ‌های طبیعی حاضر در ریزجلبک‌ها می‌شود و طبق مطالعات متعدد، پایداری این رنگدانه‌ها در طول نگهداری بسیار بالا است. پنیر غنی‌شده با ریزجلبک‌ها به دلیل ترکیبات فنلی بالا و محتوای کاروتنوئید موجود در زیست‌توده ریزجلبک، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری دارد. علی‌رغم این مزایا، ویژگی‌های حسی محصولات لبنی تحت تاثیر افزودن ریزجلبک‌ها قرار می‌گیرد که یک عامل محدود کننده اساسی است که انجام مطالعات بیشتر در این زمینه را ضروری می‌سازد تا محصولاتی با استقبال خوب مصرف‌کننده ایجاد شود. با این وجود، بر اساس اطلاعات گزارش شده در مقاله، غنی‌سازی محصولات لبنی با ریزجلبک‌ها یا مشتقات آن می‌تواند رویکردی با پتانسیل بالا برای دستیابی به غذاهای پایدارتر و سالم‌تر باشد. روشن شدن تاثیر ریزجلبک‌ها بر روی رشد، زنده ماندن و متابولیت‌های ثانویه باکتری اسید لاکتیک و سایر میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک و همچنین اثر آنها بر طعم و فاسد شدن در طی نمو و ذخیره‌سازی، می‌تواند برای صنعت ریزجلبک و لبنیات ارزش زیادی داشته باشد.

۸- مراجع

[1] Y. Torres-Tiji, F. J. Fields, and S. P. Mayfield, "Microalgae as a future food source," Biotechnology advances, vol. 41, p. 107536, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107536.

[2] W. M. Qazi, S. Ballance, A. K. Uhlen, K. Kousoulaki, J-.E. Haugen, and A. Rieder, "Protein enrichment of wheat bread with the marine green microalgae Tetraselmis chuii–Impact on dough rheology and bread quality," LWT, vol. 143, p. 111115, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111115.

[3] S. P. de Souza da Silva, D. Perrone, and A. F. do Valle, "Optimization of Arthrospira maxima cultivation for biomass and protein production and biomass technological treatment to color, flavor, and aroma masking for addition to food products," Journal of Applied Phycology, vol. 34, no. 1, pp. 65-80, 2022, doi: https://doi.org/10.1007/s10811-021-02601-1.

[4] V. Dolganyuk et al., "Microalgae: A promising source of valuable bioproducts," Biomolecules, vol. 10, no. 8, p. 1153, 2020, doi: https://doi.org/10.3390/biom10081.۱۵۳

[5] C. J. L. Rocha, E. Álvarez-Castillo, M. R. E. Yáñez, C. Bengoechea, A. Guerrero, and M. T. O. Ledesma, "Development of bioplastics from a microalgae consortium from wastewater," Journal of environmental management, vol. 263, p. 110353, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110353.

[6] M. A. Alam, J.-L. Xu, and Z. Wang, Microalgae biotechnology for food, health and high value products. Springer, 2020.

[7] M. C. Rosa et al., "Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties," International Dairy Journal, vol. 117, p. 105009, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105009.

[8] K. P. Scott et al., "Developments in understanding and applying prebiotics in research and practice—an ISAPP conference paper," Journal of applied microbiology, vol. 128, no. 4, pp. 934-949, 2020, doi: https://doi.org/10.1111/jam.14424.

[9] S. Mehariya, R. K. Goswami, O. P. Karthikeysan, and P. Verma, "Microalgae for high-value products: A way towards green nutraceutical and pharmaceutical compounds," Chemosphere, vol. 280, p. 130553, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130553.

[10] W. Pan-utai, J. Atkonghan, T. Onsamark, and W. Imthalay, "Effect of Arthrospira Microalga Fortification on Physicochemical Properties of Yogurt," Current Research in Nutrition and Food Science Journal, vol. 8, no. 2, pp. 531-540, 2020, doi: https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.2.19.

[11] H. Hernández, M. C. Nunes, C. Prista, and A. Raymundo, "Innovative and healthier dairy products through the addition of microalgae: A review," Foods, vol. 11, no. 5, p. 755, 2022, doi: https://doi.org/10.3390/foods11050755.

[12] R. Arslan and S. Aksay, "Investigation of sensorial and physicochemical properties of yoghurt colored with phycocyanin of Spirulina platensis," Journal of Food Processing and Preservation, vol. 46, no. 6, p. e15941, 2022, doi: https://doi.org/10.1111/jfpp.15941.

[13] H. Debbabi, B. Boubakerº, T. Gmatº, M. Chouaibi, A. Boubaker, and A. Snoussiº, "Yogurt enrichment with

75-86, 2022, doi: https://doi.org/10.21608/ejvs.2021.95209.1293.
[28] E. F. Rodrigues, L. P. Vendruscolo, K. Bonfante, C. O. Reinehr, E. Colla, and L. M. Colla, "Phycocyanin as substitute for texture ingredients in ice creams," British Food Journal, vol. 122, no. 2, pp. 693-707, 2019, doi: https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2019-0553.
[29] Y. Durmaz, M. Kilicli, O. S. Toker, N. Konar, I. Palabiyik, and F. Tamtürk, "Using spray-dried microalgae in ice cream formulation as a natural colorant: Effect on physicochemical and functional properties," Algal Research, vol. 47, p. 101811, 2020, doi: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.algal.2020.101811.
[30] C. B. V. Tiepo, F. M. Gottardo, L. M. Mortari, C. D. Bertol, C. O. Reinehr, and L. M. Colla, "Addition of Spirulina platensis in handmade ice cream: Phisicochemical and sensory effects/Adição de Spirulina platensis em sorvete caseiro: Efeitos físico-químicos e sensoriais," Braz. J. Dev, vol. 7, pp. 88106-88123, 2021, doi: https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-121.
[31] L. da Silva Faresin, R. J. B. Devos, C. O. Reinehr, and L. M. Colla, "Development of ice cream with reduction of sugar and fat by the addition of inulin, Spirulina platensis or phycocyanin," International Journal of Gastronomy and Food Science, vol. 27, p. 100445, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100445.
[32] G. Voronin, G. Ning, J. Coupland, R. Roberts, and F. Harte, "Freezing kinetics and microstructure of ice cream from high-pressure-jet processing of ice cream mix," Journal of dairy science, vol. 104, no. 3, pp. 2843-2854, 2021, doi: https://doi.org/10.3168/jds.2020-19011.
[33] P. Boyanova, A. Bosakova-Ardenska, D. Gradinarska, N. Petkova, and P. Panayotov, "Ice cream supplemented with Spirulina platensis: Antioxidant and color stability," in AIP Conference Proceedings, 2023, vol. 2889, no. 1: AIP Publishing, doi: https://doi.org/10.1063/5.0 .١٧٣٣٢٩
[34] B. Nowruzi, M. Jafari, S. Babaie, A. Motamedi, and A. Anvar, "Spirulina: A healthy green sun with bioactive properties," Journal of Microbial World, vol. 13, no. 4, pp. 322-348, 2020. [Online]. Available: https://dorl.net/dor/20.1001.1.20083.٠٦٨,١٣٩٩,١٣,٤٥,٢,٠
[35] P. Boyanova, D. Gradinarska, V. Dobreva, P. Panayotov, M. Momchilova, and G. Zsivanovits, "Effect of Spirulina platensis on the quality and antioxidants characteristics of ice cream," in BIO Web of Conferences, 2022, vol. 45: EDP Sciences, p. 01009, doi: https://doi.org/10.1051/bioconf/20224501009.
[36] P. Poursani, S. M. Razavi, M. Mazaheri Tehrani, and F. Javidi, "Rheological, physical, and sensory properties of non- fat ice creams as affected by selected fat replacers," Journal of Food Processing and Preservation, vol. 45, no. 1, p. e15010, 2021, doi: https://doi.org/10.1111/jfpp.15010.
[37] P. Boyanova, D. Gradinarska, I. Milkova-Tomova, P. Panayotov, and D. Buhalova, "Application of functional additives in ice cream production," Scientific Works of UFT-Plovdiv, vol. 67, 2020.
[38] S. Jalili, S. Aryan, S. A. Mousavinezhad, H. Moeini, and D. Dehnad, "Optimizing Spirulina platensis, Chlorella vulgaris microalgae and curcumin application in functional cheese production and investigating its physicochemical properties and sensory evaluation by RSM," Journal of Food Measurement and Characterization, pp. 1-14, 2023, doi: https://doi.org/10.1007/s11694-023-02231-w.
[39] A. G. Mohamed, B. El-Salam, and W. Gafour, "Quality Characteristics of Processed Cheese Fortified with Spirulina Powder," Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS, vol. 23, no. 4, pp. 533-541, 2020, doi: https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.533.541
[40] N. Iry, B. Nowruzi, and S. Ghazi, "Study of the Effect of Phycocyanin Pigment on Physicochemical, Sensory, Microbial and Antioxidant Properties of Cheese," Research and Innovation in Food Science and Technology, vol. 12, no. 1, pp. 55-76, 2023, doi: https://doi.org/10.22101/JRIFST.2022.347104.1374.
Spirulina (Arthrospiraplatensis): effect on physicochemical, textural properties and consumers acceptance."
[14] B. A. Goyudianto, C. Meliana, D. Muliani, J. Jeslin, Y. E. Sadeli, and N. R. P. Ratnasari, "The Stability of Phycocyanin, Phycoerythrin, and Astaxanthin from Algae Towards Temperature, pH, Light, and Oxygen as a Commercial Natural Food Colorant," Indonesian Journal of Life Sciences, pp. 28-42, 2021, doi: https://doi.org/10.54250/ijls.v3i2.126.
[15] M. Stobiecka, J. Król, and A. Brodziak, "Antioxidant activity of milk and dairy products," Animals, vol. 12, no. 3, p. 245, 2022, doi: https://doi.org/10.3390/ani12030245.
[16] A. Stunda-Zujeva and M. Berele, "Algae as a Functional Food: A Case Study on Spirulina," in Value-added Products from Algae: Phycochemical Production and Applications: Springer, 2023, pp. 563-594.
[17] B. Nowruzi, "A review of the probiotic properties of microalgae," Journal of Aquatic Sciences, vol. 2, no. 2, p. 0, 2022.
[18] F. Nazir et al., "Development, quality assessment and nutritive valorization of Spirulina platensis in yogurt spread," Food Science and Applied Biotechnology, vol. 5, no. 2, pp. 106-118, 2022. https://doi.org/10.30721/fsab2022.v5.i2.173.
[19] A. El-Sattar, N. A. Ghafar, and A. Ali," Impact of Functional Stirred Low Fat Yoghurt Supplemented With Spirulina platensis Powder on Some Quality Characteristics and Therapeutic Effects In Vivo," Journal of Food and Dairy Sciences, vol. 12, no. 4, pp. 99-110, 2021, doi: https://doi.org/10.216/٠٨jfds.2021.175653.
[20] N. Nourmohammadi, S. Soleimanian- Zad, and H. Shekarchizadeh, "Effect of Spirulina (Arthrospira platensis) microencapsulated in alginate and whey protein concentrate addition on physicochemical and organoleptic properties of functional stirred yogurt," Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 100, no. 14, pp. 5260-5268, 2020, doi: https://doi.org/10.1002/jsfa.10576.
[21] E. E. Mesbah, A. A. Matar, and A. A. Karam-Allah, "Functional Properties of Yoghurt Fortified with Spirulina platensis and Milk Protein Concentrate," Journal of Food and Dairy Sciences, vol. 13, no. 1, pp. 1-7, 2022. https://doi.org/10.21608/JFDS.2022.114135.1032.
[22] M. A. Hashim, L. A. Nadtochii, M. B. Muradova, A. V. Proskura, K. A. Alsaleem, and A .R. Hammam, "Non-fat yogurt fortified with whey protein isolate: Physicochemical, rheological, and microstructural properties," Foods, vol. 10, no. 8, p. 1762, 2021, doi: https://doi.org/10.3390/foods10081762.
[23] A. K. Rashwan, A. I. Osman, and W. Chen" ,Natural nutraceuticals for enhancing yogurt properties: a review," Environmental Chemistry Letters, vol. 21, no. 3, pp. 1907-1931, 2023, doi: https://doi.org/10.1007/s10311-023-01588-0.
[24] G. Shanthi, M. Premalatha, and N. Anantharaman, "Potential utilization of fish waste for the sustainable production of microalgae rich in renewable protein and phycocyanin-Arthrospira platensis/Spirulina," Journal of Cleaner Production, vol. 294, p. 126106, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126106.
[25] M. Alizadeh Khaledabad, Z. Ghasempour, E. Moghaddas Kia, M. Rezazad Bari, and R. Zarrin, "Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics," International Journal of Dairy Technology, vol. 73, no. 1, pp. 67-75, 2020, doi: https://doi.org/10.1111/1471-0307.12625.
[26] A. A. Atallah, O. M. Morsy, and D. G. Gemiel, "Characterization of functional low-fat yogurt enriched with whey protein concentrate, Ca-caseinate and spirulina," International Journal of Food Properties, vol. 23, no. 1, pp. 1678-1691, 2020, doi: https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1823409.
[27] M. Sangian, M. Soltani, H. Hanifi, and N. Abdali, "Investigation of The effect of Phycocyanin Extracted From Spirulina platensis and Persimmon Powder on Physicochemical and Sensory Characteristics of Yogurt," Egyptian Journal of Veterinary Sciences, vol. 53, no. 1, pp.

[41] S. Khemiri, I. Bouchech, N. Berrejeb, M. Mejri, I. Smaali, and N. Khelifi, "Effects of growth medium variation on the nutri-functional properties of microalgae used for the enrichment of ricotta," Food Technology and Biotechnology, vol. 60, no. 1, pp. 29-40, 2022, doi: https://doi.org/10.17113/ftb.60.01.22.7105.

[42] R. Lousada Falcão, V. Pinheiro, C. Ribeiro, I. Sousa, A. Raymundo, and M. C. Nunes, "Nutritional improvement of fresh cheese with microalga Chlorella vulgaris: impact on composition, structure and sensory acceptance," Food Technology and Biotechnology, vol. 61, no. 2, pp. 259-270, 2023, doi: https://doi.org/10.17113/ftb.61.02.23.7851.

[43] H. A. Ismail, T. H. El-Sawah, M. Ayyash, B. Adhikari, and W. F. Elkot, "Functionalization of Ricotta cheese with powder of spirulina platensis: physicochemical, sensory, and microbiological properties," International Journal of Food Properties, vol. 26, no. 1, pp. 1968-1983, 2023, doi: https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2238916.

[44] L. Bosnea et al., "Incorporation of Spirulina platensis on traditional greek soft cheese with respect to its nutritional and sensory perspectives," in Proceedings, 2020, vol. 70, no. 1: MDPI, p. 99, doi: https://doi.org/10.3390/foods_2020-07600.

[45] M. Davoodi, S. Amirali, B. Nowruzi, and L. Golestan, "The Effect of Phycocyanin on the Microbial, Antioxidant, and Nutritional Properties of Iranian Cheese," International Journal on Algae, vol. 25, no. 2, 2023, doi: https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i2.60.

[46] A. Anvar and B. Nowruzi, "Bioactive properties of spirulina: A review," Microb. Bioact, vol. 4, pp. 134-142, 2021, doi: https://doi.org/10.25163/microbbioacts.412117B0719110521.

[47] M. S. Bajestani, S. A. A. Anvar, B. Nowruzi, and L. Golestan, "Production of cheese and ice cream enriched with biomass and supernatant of Spirulina platensis with emphasis on organoleptic and nutritional properties 5," doi: https://doi.org/10.22059/IJVM.2023.355737.1005364.

[48] I. Vlasenko, V. Bandura, T. Semko, L. Fialkovska, O. Ivanishcheva ,and V. Palamarchuk, "INNOVATIVE APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF A NEW SOUR MILK PRODUCT," Slovak Journal of Food Sciences, vol. 15, 2021, doi: https://doi.org/10.5219/1688.

[49] F. Martelli, M. Alinovi, V. Bernini, M. Gatti, and E. Bancalari, "Arthrospira platensis as natural fermentation booster for milk and soy fermented beverages," Foods, vol. 9, no. 3, p. 350, 2020, doi: https://doi.org/10.3390/foods9030350.

[50] H. Rose et al., "Development and Characterization of Cultured Buttermilk Fortified with Spirulina plantensis and Its Physico-Chemical and Functional Characteristics," Dairy, vol. 4, no. 2, pp. 271-284, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/dairy4020019.

[51] S. Öztekin, K. Anaya, and A. Yurdunuseven-Yıldız, "Regulation of Natural Food Additives," in Natural Additives in Foods: Springer, 2022, pp. 343-372.

[52] [۵۲] A. F. Olaniran et al., "Algae Utilization as Food and in Food Production: Ascorbic Acid, Health Food, Food Supplement and Food Surrogate," Next- Generation Algae: Volume I: Applications in Agriculture, Food and Environment, pp. 225-239, 2023, doi: https://doi.org/10.1002/9781119857839.ch9.

[53] [۵۳] A. Vettorazzi, A. López de Cerain, J. Sanz-Serrano, A. G. Gil, and A. Azqueta, "European regulatory framework and safety assessment of food-related bioactive compounds," Nutrients, vol. 12, no. 3, p. 613, 2020, doi: https://doi.org/10.3390/nu12030613.

[54] T. Prüser, P. Braun, and C. Wiacek, "Microalgae as a novel food. Potential and legal framework," Ernahr. Umsch, vol. 68, pp. 78-85, 2021, doi: https://doi.org/10.4455/eu.2021.016.

[55] a. bayati and N. Sedaghat, "Review of Antimicrobial Food Packaging and its Application in Dairy Products," Packaging Science and Art, vol. 11, no. 44, pp. 68-79, 2021, doi: https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286675. (In Persian)