Packaging Sciences and Techniques
Vol. 15, No. 3, Autumn 2024, Serial No. 59
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

A Review of the Use of Algae in Active Food Packaging

Bahareh Nowruzi *

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

(Received: 01/07/2024, Revised: 29/07/2024, Accepted: 26/08/2024, Published: 10/12/2024)

DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.59.5.8

ABSTRACT

The accumulation of food packaging plastics in the surrounding environment has a great impact on environmental pollution. This review article examines the use of microalgae compounds in the active food packaging process. In addition, the benefits of algal polysaccharides, which not only lead to increased mechanical, physical, thermal, antioxidant, antimicrobial, and chemical properties of active packaging, but also lead to increased hydrophilicity and improved mechanical properties such as tensile strength, have also been discussed. In this review article, relevant articles published in 2020-2023 in Springer, Science Direct, Scopus, and John Wiley databases were reviewed to obtain the latest findings in the field of biodegradable compounds, algae, and polysaccharides extracted from them. In addition, the effect of adding algal polysaccharides in increasing the mechanical, physical, thermal, antioxidant, antimicrobial, and chemical properties of packaging materials has been investigated. The results of a recent review of articles showed that polysaccharides found in algae increase the shelf life and nutritional value of foods by minimizing lipid oxidation and reducing free radicals that may have carcinogenic, mutagenic, or cytotoxic effects.

Keywords: Algae, Active Food Packaging, Antioxidant Properties, Shelf Life

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: bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

«علوم و فنون بسته‌بندی»
سال پانزدهم، شماره ۵۹، پاییز ۱۴۰۳؛ ص ۵۲-۴۳
شاپای چاپی: ۲۲۲۸-۶۶۷۵| شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۷۸۲۴

علمی – مروری

مروری بر کاربرد جلبک‌ها دربسته بندی فعال مواد غذایی

بهاره نوروزی*

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

DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.59.5.8

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

چکیده

تجمع پلاستیک‌های بسته‌بندی مواد غذایی در محیط اطراف، تأثیر زیادی بر آلودگی‌های محیط زیستی دارد. در این مقاله مروری استفاده از ترکیبات ریز جلبک‌ها در فرایند بسته‌بندی فعال مواد غذایی موردبررسی قرارگرفته است. علاوه براین، مزایای حاصل از پلی‌ساکاریدهای جلبک‌ها که نه‌تنها منجر به افزایش خواص مکانیکی، فیزیکی، حرارتی، آنتی‌اکسیدانی، ضدمیکروبی و شیمیایی بسته‌بندی‌های فعال می‌شود، بلکه منجر به افزایش آب‌دوستی و بهبود خواص مکانیکی مانند استحکام کششی می‌شوند نیز بحث شده است. در مقاله مروری حاضر، مقالات مرتبط منتشرشده در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۳ در بانک‌های اطلاعاتی Springer، Science direct، Scopus و John Wiley جهت به دست آوردن آخرین یافته‌ها درزمینه ترکیبات زیستی تخریب پذیر، جلبک‌ها و پلی‌ساکاریدهای مستخرج از آن‌ها موردبررسی قرارگرفته است. علاوه بر آن اثر افزودن پلی‌ساکاریدهای جلبک‌ها در افزایش خواص مکانیکی، فیزیکی، حرارتی، آنتی‌اکسیدانی، ضدمیکروبی و شیمیایی مواد بسته‌بندی بررسی‌شده است. نتایج حاصل از مرور مقالات اخیر نشان داد که پلی‌ساکاریدهای موجود در جلبک‌ها با به حداقل رساندن اکسیداسیون لیپیدها، کاهش رادیکال‌های آزاد که ممکن است اثر سرطان‌زا، جهش‌زا یا سیتوتوکسیک داشته باشند، منجر به افزایش عمر مفید و ارزش غذایی مواد غذایی می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: جلبکها، بسته بندی فعال مواد غذایی، خواص آنتی اکسیدانی، زمان ماندگاری

۱- مقدمه

بسته‌بندی بخش مهمی از صنعت غذایی مدرن است که برای حفظ غذا و تضمین امنیت و یکپارچگی غذا بسیار ضروری است. شیشه، کاغذ، فلزات مختلف و پلاستیک معمولاً موادی هستند که برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند، بااین‌حال، پلاستیک پس از کاغذ بیش‌ترین ماده مورداستفاده است. بر اساس گزارش Europe Plastics از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹، حدود ۵۱/۲ میلیون تن پلاستیک در اروپا مورداستفاده قرار گرفت که ۳۹/۹ درصد آن برای بسته‌بندی مورداستفاده قرار گرفت[۱]. پلاستیکی که بیشتر دربسته بندی مواد غذایی استفاده می‌شود، ترموپلاستیک است که در اثر قرار گرفتن در معرض حرارت نرم می‌شود و پس از سرد شدن به حالت قبلی خود بازمی‌گردد. رایج‌ترین ترموپلاستیک ها، پلی‌اتیلن با چگالی بالا، پلی‌اتیلن با چگالی پایین، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات هستند که در زمان کمتر از یک سال تخریب‌شده و این امر منجر به تجمع سریع زباله‌های پلاستیکی در محیط‌زیست می‌شود. سالانه حدود ۱۰ تا ۲۰ میلیون تن پلاستیک به اقیانوس می‌رسد که ناشی از جریان‌ها و باد است و در سراسر محیط دریایی پخش می‌شود و درنتیجه به اکوسیستم و حیات‌وحش آن آسیب می‌رساند. همچنین منجر به انتقال میکرو پلاستیک، حاوی افزودنی‌های سمی، به زنجیره غذایی می‌شود [۲].

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در مورد جایگزین‌های پایدار و سازگاربامحیط‌زیست مانند پلیمرهای تخریب پذیر زیستی و / یا مبتنی بر زیست انجام‌شده است و پیشرفت قابل‌توجهی در این راستا حاصل‌شده است. پلیمرهای تخریب پذیر زیستی مانند پلی لاکتیک اسید (PLA)، پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) و غیره از منابع طبیعی و فسیلی ساخته می‌شوند. این پلیمرهای تخریب پذیر زیستی می‌توانند توسط میکروارگانیسم‌ها متابولیزه شوند و پس‌ازآن در مدت‌زمان کوتاهی به طبیعت بازگردند. درحالی‌که پلاستیک‌های زیست‌پایه صرفاً از منابع زیست‌پایه مانند پروتئین / پلی‌ساکاریدها / پلی‌استرهای

* رایانامه نویسنده مسئول: bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

میکروبی ساخته می‌شوند که از گیاهان، موجودات دریایی استخراج می‌شوند یا توسط میکروارگانیسم‌ها از طریق فرآیند تخمیر تولید می‌شوند. پلی‌ساکاریدهای مورداستفاده در پلیمرهای زیست‌پایه ازنظر بیولوژیکی قابل‌تجزیه و غیر سمی هستند [۳].

پلی‌ساکاریدها به‌دلیل خاصیت ضدمیکروبی ذاتی، آنتی‌اکسیدانی و بسیاری از خواص بیولوژیکی دیگر نیز گزینه‌ای پایدار برای بسته‌بندی فعال فراهم می‌کنند[۴]. علاوه براین که فیلم‌های خوراکی ساخته‌شده با پلی‌ساکاریدها می‌توانند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کنند بلکه همچنین به‌عنوان یک مکمل کاربردی (مواد مغذی) برای خود محصول نیز عمل کنند. علاوه بر سازگاری با محیط‌زیست، بسیاری از این مواد خوراکی جدید می‌توانند منبع خوبی از ویتامین‌ها یا مواد معدنی نیز باشند، اما همچنین می‌توانند طعم محصولات غذایی را بهبود بخشند [۴].

جلبک‌ها منبع غنی از پلی‌ساکاریدها هستند و بنابراین یک ماده خام پایدار برای بسته‌بندی فعال هستند، به‌خصوص زمانی که با پلیمرهای تخریب پذیر زیستی ترکیب می‌شوند، یک جایگزین پایدار برای بسته‌بندی فعال مواد غذایی را ارائه می‌دهند[۵].

در این مقاله مروری خلاصه‌ای از آخرین مقالات تحقیقاتی در مورد بسته‌بندی فعال با استفاده از ترکیبات جلبک‌ها دربسته بندی مواد غذایی را ارائه‌شده است. علاوه بران، اهمیت حاصل از افزودن پلی‌ساکاریدهای جلبک‌ها را در خواص مکانیکی، فیزیکی، حرارتی، آنتی‌اکسیدانی، ضدمیکروبی و شیمیایی مواد بسته‌بندی موردبحث قرار داده‌شده است.

۲- ترکیبات مؤثر جلبک‌ها دربسته‌بندی فعال مواد غذایی

جلبک‌ها چه میکروسکپی و چه ماکروسکپی، تک‌سلولی، چند سلولی و بنتیک هستند که در مقایسه با گیاهان خشکی، در فتوسنتز که باعث تجمع سریع زیست‌توده به دلیل سرعت رشد سریع‌تر می‌شود، بسیار کارآمد هستند. استفاده مجدد از مواد زائد بسیار مهم است، زیرا رهاسازی این محصولات در طبیعت می‌تواند تأثیر زیادی بر محیط‌زیست دریایی داشته باشد. علاوه براین نشان‌دهنده پتانسیل بالای استفاده از جلبک‌ها به‌عنوان منبع تجدید پذیر انرژی و دیگر محصولات باارزش بالا است. بیش از ۱۰ هزار گونه مختلف جلبک دریایی در سراسر جهان وجود دارد که تا عمق صد و هشتاد متری روی بسترهای جامد مانند سنگ رشد می‌کنند. جلبک‌ها را می‌توان بر اساس نوع رنگدانه به سه گروه تقسیم کرد که عبارت‌اند از: قرمز (رودوفیتا)، قهوه‌ای (فئوفیتا) و سبز (کلروفیتا). این جلبک‌های دریایی منبع ترکیبات زیست فعال متعدد با کاربردهای متنوع در زمینه‌های مختلف مانند داروسازی، کشاورزی و صنعت پزشکی هستند[۶].

انواع مختلف پلی‌ساکاریدها در جلبک‌ها، آلژینات ها[1]، فوکوئیدان ها[2]، لامینارین[3]، آگار[4] و کاراگینان[5] هستند. جلبک‌های دریایی قرمز و قهوه‌ای حاوی گالاکتان های سولفاته مانند کاراگینان و آگار هستند که به‌طور گسترده‌ای برای کاربردهای صنعتی غذایی استفاده می‌شوند. آگار و کاراگین به‌عنوان الیگوساکاریدهای غیرقابل‌هضم در نظر گرفته می‌شوند که در انسان غیر کاریوژنیک هستند، دارای خواص پری بیوتیک، ضد تومور، آنتی‌اکسیدان و دارای خواص تعدیل‌کننده سیستم ایمنی هستند و اجزای اصلی آگار، آگارز و آگاروپکتین هستند که ازنظر ساختار و عملکرد مشابه کاراگینان هستند. این ترکیبات حاوی خواص ژل‌مانند، امولسیون کننده و غلیظ کننده هستند و همچنین برای استفاده تجاری در مواد غذایی، کاربردهای پزشکی و غیره مفید می‌کند[۷].

جلبک‌های دریایی قهوه‌ای ازنظر اندازه، گونه‌ها و مورفولوژی کلی بسیار متفاوت هستند، بااین‌حال، آن‌ها معمولاً به دلیل رنگدانه فتوسنتزی رنگ قهوه‌ای دارند. انواع گسترده جلبک‌های دریایی قهوه‌ای کلپ[6] هستند مانند لامیناریا پالیدا[7]، گونه فوکوس[8] و گونه زوناریا[9]. پلی‌ساکاریدها که در جلبک‌های دریایی قهوه‌ای یافت می‌شوند آلژینات، لامینارین ها و فوکوئیدان ها (FUC) هستند. آلژینات ها اجزای دیواره سلولی و ماتریکس داخل سلولی جلبک دریایی قهوه‌ای هستند که از بلوک‌های متناوب اسید مانورونیک D-ß و اسید L-α-گولورونیک تشکیل‌شده است [۸].

لامینارین پلی ساکارید اصلی مورداستفاده برای ذخیره گلوکز در جلبک دریایی قهوه‌ای است و طیف متنوعی از فعالیت‌های زیستی گزارش‌شده مانند فعالیت ضد تومور، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غیره را دارد. پلی ساکارید دیگری که می‌تواند از جلبک دریایی قهوه‌ای استخراج شود، FUC متشکل از پلی‌ساکاریدهای سولفاته پیچیده و ناهمگن متشکل از گروه‌های L - fucose و سولفات استر با مقادیر کمی از مولکول‌های مختلف مانند (اسیدی -)/ منوساکاریدها، پروتئین‌ها و گروه‌های استیل است [۹]. ترکیب و خواص پلی ساکارید به‌شدت به گونه، فصل، منشا جغرافیایی و همچنین روش استخراج بستگی دارد.

[1] alginate
[2] fucoidans
[3] laminarians
[4] agar
[5] carrageenan
[6] kelp
[7] Laminaria pallida
[8] Fucus
[9] Zonaria

بااین‌حال، برخی از خواص احتمالی عبارت‌اند از: ضد تومور، ضدویروسی، ضد انعقاد و ضدالتهاب، بنابراین، عمدتاً در زمینه‌های مرتبط با پزشکی مورداستفاده قرار می‌گیرد. اجزای دیگر جلبک‌ها شامل لیپیدها، اسیدهای چرب، استرول‌ها، ترکیبات فنولی، رنگدانه ها، آلکالوئیدها، ترپن ها و ترکیبات هالوژنه است [۱۰].

در کل جلبک‌ها در آینده‌ای نزدیک می‌توانند برای تولید پلیمرهای زیستی و باهدف کاهش استفاده از پلاستیک‌های مبتنی بر فسیل‌ها مورداستفاده قرار گیرد. بااین‌حال تحقیقات گسترده نشان می‌دهد که با توجه به پتانسیل بالای استفاده از جلبک‌ها، تقاضا برای استفاده بیشتر این پتانسیل در زمینه‌های مختلف مانند بسته‌بندی فعال مواد غذایی وجود دارد [۱۱].

۳- بسته‌بندی فعال

بسته‌بندی فعال، دستگاهی است که در آن محصول، بسته‌بندی می‌شود و منجر به افزایش ماندگاری، بهبود ایمنی و همچنین خواص حسی و حفظ کیفیت محصول می‌شود. این سیستم شامل اجزایی است که تبادل مواد از محصول به محیط، محیط به محصول یا بسته‌بندی به محصول را ممکن می‌سازد. بسته‌بندی فعال می‌تواند تک لایه یا چندلایه باشد. در سیستم تک لایه ترکیب فعال با پلیمر ترکیب می‌شود، درحالی‌که در چندلایه، ترکیب فعال بین لایه‌های پلیمر به دام می‌افتد تا آزاد شدن آن را کنترل کند. این فرآیند متکی بر راهبردهایی مانند کنترل دما و افزودن مواد شیمیایی است. در حال حاضر، دستگاه‌های بسته‌بندی فعال متعددی مانند بسته‌بندی کننده اکسیژن، دستگاه‌های تولیدکننده دی‌اکسید کربن، بسته‌بندی فعال ضدمیکروبی، بسته‌بندی کنترل رطوبت و بسته‌بندی جاذب بو وجود دارد. کپسول‌های اکسیژن (OS)، رایج‌ترین شکل بسته‌بندی فعال باهدف جذب اکسیژن در محیط و درنتیجه جلوگیری از واکنش اکسیژن با محصول هستند. در غیر این صورت باعث رشد میکروب‌های هوازی، تغییر رنگ، کاهش عمر مفید و بقای حشرات خواهد شد [۱۲] .

دربسته بندی‌های ضدمیکروبی تمایل به کاهش، مهار یا کند کردن رشد میکروارگانیسم‌ها از طریق ترکیب یا پوشش‌دار کردن عوامل ضدمیکروبی در / روی بسته‌بندی مواد غذایی و درنتیجه منجر به جلوگیری از گسترش فاز تأخیر و کاهش رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود. ۴ سامانه دسته‌بندی وجود دارد: پد ضدمیکروبی، ادغام مستقیم در پلیمر، پوشش ضدمیکروبی و پلیمر ضدمیکروبی[۱۳].

در پد ضدمیکروبی یا ماده ضدمیکروبی پد در کیسه قرار می‌گیرد و به بسته‌بندی اضافه می‌شود. دسته دیگر، ترکیب مستقیم عامل ضدمیکروبی در پلیمر است که به‌تدریج عامل را در فضای بسته‌بندی یا سطح غذا آزاد می‌کند. دسته ۳ پوشش بسته‌بندی با ماتریسی است که به‌عنوان حامل ماده ضدمیکروبی عمل می‌کند و سپس یا از بالا تبخیر می‌شود و یا از طریق نفوذ به غذا وارد می‌شود. استفاده از پلیمرهایی که ذاتاً ضدمیکروبی هستند، آخرین دسته برای دستیابی به خواص ضدمیکروبی است. چند نمونه از ضدمیکروبی هایی که مورداستفاده قرار می‌گیرند اتانول هستند که در محصولات نانوایی، پنیر و ماهی کاربرد دارد که از کیسه‌ها به‌صورت بخار منتشر می‌شود [۱۴]. یکی دیگر از عوامل ضدمیکروبی مؤثر در برابر ویروس‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها، دی‌اکسید کلر است. یک مثال برای پلیمرهای ضدمیکروبی، کیتوزان / پلی آل لاکتیک اسید است که پتانسیل آن به‌عنوان یک فیلم بسته‌بندی فعال جدید مواد غذایی به دلیل خصوصیت ضد باکتریایی آن در برابر *استافیلوکوکوس اورئوس* است. سایر عوامل ضدمیکروبی می‌توانند آنزیم‌ها (به‌عنوان‌مثال لیزوزیم)، اسانس‌ها (به‌عنوان‌مثال اسانس دارچین)، اسیدهای آلی (به‌عنوان‌مثال اسیدسیتریک) و نانو ذرات (به‌عنوان‌مثال نقره) باشند. میزان رطوبت یک محصول فاکتور مهمی است که باید به‌دقت کنترل شود تا از سلامت و کیفیت مواد غذایی مختلف اطمینان حاصل شود. محصولات خشک ممکن است حتی در سطوح رطوبت نسبی پایین‌تر (RH) خراب شوند و ظاهر یا بافت خود را از دست می‌دهد، درنتیجه عمر مفید و ماندگاری را کاهش می‌دهد [۱۴].

RH محصولاتی مانند ماهی یا گوشت باید بالا باشد، بااین‌حال، این امر منجر به تجمع مایع در داخل بسته‌بندی می‌شود و محصول را برای مشتریان کم‌تر مطلوب می‌کند. بسته‌بندی کنترل‌کننده رطوبت را می‌توان به دودسته تقسیم کرد، مانند، کنترل‌کننده‌های RH که رطوبت را در فضای سطحی حذف می‌کنند و دیگری حذف‌کننده‌های رطوبت که مایعات را در داخل بسته‌بندی جذب می‌کنند. مواد اولی معمولاً خشک‌کننده‌هایی مانند سیلیکاژل، اکسید کلسیم و همچنین پدهای نمک معدنی هستند و در غذاهای خشک مانند آجیل، چیپس، آب‌نبات و غیره استفاده می‌شوند. جاذب‌های رطوبت به شکل پد و ورقه متشکل از دولایه هستند. ۱ پلیمر ریز متخلخل مانند پلی‌اتیلن و دیگری ۱ پلیمر فوق جاذب مانند گرانول‌های آزاد، آن‌ها دربسته بندی ماهی، گوشت و طیور استفاده می‌شوند [۱۴].

اتیلن مولکول کوچکی است که به‌عنوان هورمون محرک رشد عمل می‌کند و درنتیجه فرآیند رسیدن میوه و سبزی‌ها را تسریع می‌کند. این امر منجر به کاهش عمر ماندگاری در طول ذخیره‌سازی پس از برداشت، افزایش نرم شدن غذا و افزایش تخریب کلروفیل در سبزی‌های برگ‌دار می‌شود. یک‌راه برای کاهش مقدار اتیلن در اطراف محصول، اضافه کردن یک کیسه حاوی مواد معدنی بی‌اثر پرمنگنات پتاسیم است که اتیلن را

اکسید / غیرفعال می‌کند. بااین‌حال، این ماده هرگز در تماس مستقیم با غذا به دلیل سمیت پتاسیم پرمنگنات قرار نمی‌گیرد. سیستم‌های جایگزین می‌توانند شامل نانو ذراتی مانند Nano – TiO_2 باشند که می‌توانند اتیلن را به H_2O و CO_2 اکسید کنند. در طول نگهداری محصولاتی مانند ماهی و مرغ، تجزیه پروتئین و دیگر اجزای آلی می‌تواند آمین‌ها، آلدئیدها و سولفیدها را تولید کند. این ترکیبات فرار را می‌توان پاک‌سازی کرد تا از ترکیب بوهای محصولات مختلف در طول حمل‌ونقل جلوگیری شود. آمین‌هایی که دربسته بندی ماهی به دلیل تجزیه پروتئین تولید می‌شوند، می‌توانند از طریق ترکیب اسیدسیتریک یا دیگر ترکیبات اسیدی در فیلم پلیمری حذف شوند [۱۵].

مطالعات نشان می‌دهد که ترکیبی از کاراگینان و عصاره گریپ فروت خواص مانع UV، محتوای رطوبت و نفوذپذیری بخارآب را در فیلم‌های پلیمری افزایش داده است. نتایج همچنین فعالیت ضدمیکروبی، به‌ویژه در برابر باکتری‌های گرم مثبت و کاهش قدرت کششی را نشان داد. باهدف ایجاد بسته‌بندی مواد غذایی ضدمیکروبی، فیلمی با ترکیب کیتوزان/کاراجینان و آویشن شیرازی تولید کردند که اثر مهاری در مقابل *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *اشریشیا کلای*، *استافیلوکوکوس تیفی موریوم* و *سودوموناس آئروژینوزا* را نشان داد. علاوه براین، خواص فیلم شامل رطوبت کم‌تر، کاهش حلالیت آب، افزایش نفوذپذیری بخارآب و استحکام کششی بود. محققان یافتند که ترکیبی از آگار، نانو کریستال سلولز و اسانس مزه دار منجر به کاهش حلالیت آب، نفوذپذیری بخارآب، استحکام کششی و مدول الاستیک می‌شود. بسته‌بندی ایمنی و ماندگاری مواد غذایی را بهبود بخشید و همچنین ویسکوزیته را افزایش داد [۱۴].

۴-کاربرد جلبک‌ها دربسته بندی مواد غذایی

استفاده از مواد شیمیایی به‌عنوان یک عامل فعال دربسته بندی می‌تواند به دلیل ورود مواد شیمیایی از پلیمر به غذا سمی باشد؛ بنابراین، تمرکز تحقیقات برای استفاده از ترکیب طبیعی به‌عنوان یک عامل فعال به‌جای هر ماده شیمیایی است. جلبک‌ها به‌عنوان یک عامل فعال بالقوه یا ماده خام در نظر گرفته می‌شوند زیرا منبع غنی پلی‌ساکاریدها هستند. آن‌ها جایگزین‌های بهتری برای مواد سنتی در ترکیب با هر پلیمر تجزیه‌پذیر هستند زیرا پایداری، عملکرد و ویژگی حسی محصول را افزایش می‌دهد[۱۶].

جلبک‌ها می‌توانند برای بسته‌بندی پایدار، پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر، بسته‌بندی فعال، بسته‌بندی خوراکی و کیسه‌ها استفاده شوند. ترکیب جلبک دریایی با دیگر پلیمرها خواص مکانیکی، حرارتی، نوری و شیمیایی مواد را تغییر می‌دهد. این اثرات وابسته به پلی‌ساکاریدهای جلبک دریایی هستند که اضافه‌شده‌اند و باید به‌طور کامل ارزیابی شوند تا یک بسته‌بندی ایمن و مؤثر ایجاد شود. این اثرات نه‌تنها به نوع پلی ساکارید جلبک دریایی که برای ترکیب استفاده می‌شود، بلکه به پلیمری که در آن ترکیب خواهد شد نیز بستگی دارد [۷].

استفاده از فیلم کیتوزان و کاراگینان در بسته‌بندی مواد غذایی، منجر به انعطاف‌پذیری بیشتر، کاهش حلالیت در آب و نفوذپذیری بخارآب، بهبود آب‌گریزی سطح و افزایش استحکام کششی می‌شود. مرغ‌های بسته‌بندی‌شده با کاراگینان منجر به افزایش فعالیت ضدمیکروبی علیه باسیلوس سرئوس و باسیلوس سوبتیلیس می‌شود. استفاده از آلژینات برای بسته‌بندی مواد غذایی، منجر به افزایش استحکام کششی، کاهش ازدیاد طول در هنگام شکست، کاهش نفوذپذیری بخارآب، کاهش خاصیت تورم و بهبود خواص مکانیکی، سدی و حرارتی و همچنین فعل‌وانفعالات شیمیایی می‌شود. استفاده از آگار در بسته‌بندی مواد غذایی زیست‌تخریب‌پذیر منجر به افزایش استحکام کششی، کاهش نفوذپذیری بخارآب، زاویه تماس آب، جذب بخارآب و حلالیت در آب و افزایش سفتی و کاهش تغییر رنگ می‌شود. استفاده از آلژینات حتی منجر به حفظ کیفیت آناناس می‌شود. استفاده از فوکویدان در ترکیب فیلم‌ها منجر به توزیع همگن، انعطاف‌پذیری بالاتر، برهمکنش زیاد بین پلیمرهای زیستی، افزایش آب‌دوستی، افزایش استحکام کششی و افزایش پایداری حرارتی می‌شود [۱۲].

۵-تأثیر ریز جلبک‌ها بر خواص مکانیکی فیلم‌ها

کیفیت فیلم‌های پلیمری در نظر گرفته‌شده برای بسته‌بندی مواد غذایی به‌شدت وابسته به خواص مکانیکی مانند مقاومت کششی است. افزایش مقاومت کششی منجر به افزایش توانایی فیلم در مقاومت در برابر تنش‌های مختلفی می‌شود که در طول پردازش، حمل و نگهداری مواد غذایی بسته‌بندی‌شده بدون از دست دادن یکپارچگی آن ایجاد می‌شود. تاکنون مطالعات متعددی برای بررسی اثرات ترکیب پلی ساکارید جلبک دریایی بر خواص مکانیکی انجام‌شده است (جداول دو و سه). در بیش از نیمی از مطالعات مرور شده، ترکیب پلی‌ساکاریدهای جلبک دریایی در پلیمر مربوطه منجر به افزایش مقاومت کششی شده است [۱۲].

مدول کششی PVA خالص پانصد مگا پاسکال بود که پس از افزودن SA به هفتصد و ده مگا پاسکال افزایش یافت که منجر به افزایش کلی دویست و ده مگا پاسکال شد. استحکام کششی نیز افزایش اندکی را از چهل‌ودو MPa (مگا پاسکال) به چهل‌وپنج MPa پس از ترکیب پلی ساکارید نشان داد درحالی‌که ازدیاد طول در شکست صد و پنجاه‌ودو درصد بود و پس از اضافه کردن SA به پنجاه‌وشش درصد کاهش یافت. علی‌رغم کاهش انعطاف‌پذیری ناشی از ترکیب پلی ساکارید سفت‌وسخت، این

مطالعه نشان داد که ترکیب پلیمر هنوز هم برای اکثر کاربردها مناسب است [۱۷].

۶- تأثیر ریز جلبک‌ها بر خواص شیمیایی فیلم‌ها

خواص شیمیایی مانند آب‌گریزی یا آب‌دوستی، ترکیب فیلم با گروه‌های عملکردی در یک بسته‌بندی نقش مهمی در ارزیابی ایمنی و کارایی بسته‌بندی مواد غذایی دارد. محققان از طیف‌سنجی اشعه ایکس پراکنده‌کننده انرژی (EDX)، در ترکیب با یک SEM و همچنین یک انتشار میدانی SEM -(FE) برای تعیین ترکیب شیمیایی فیلم‌ها استفاده کردند[۷]. زوایای تماس نشان داد که افزودن پلی‌ساکاریدهای جلبک دریایی منجر به افزایش آب‌دوستی می‌شود. طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FT - IR) برای تشخیص تغییرات در گروه‌های عملکردی در فیلم پس از ترکیب آگار در SPS مورداستفاده قرار گرفت. نتایج طیف‌ها هیچ تغییر قابل‌توجهی را در پیک اندازه‌گیری شده نشان ندادند، بااین‌حال تغییر پیک کوچک به تعداد موج کم‌تر موردتوجه قرار گرفت[۱۸]. این‌ها نشان‌دهنده افزایش پیوند هیدروژنی بین‌مولکولی است که به سازگاری و تعامل بین دو جز اشاره دارد. جذب رطوبت فیلم پس از ترکیب آگار افزایش یافت که ممکن است به این واقعیت نسبت داده شود که آن‌یک پلی ساکارید سولفاته با آب‌دوستی بالاتر است. به‌طورکلی، این مطالعات نشان می‌دهد که افزایش آب‌دوستی شایع‌ترین تغییر در خواص شیمیایی پس از افزودن جلبک بوده است. این به دلیل ماهیت آنیونی جلبک‌ها است و منجر به افزایش جذب رطوبت، تورم و کاهش زاویه تماس با آب می‌شود. بااین‌حال، نتایج نشان می‌دهد که تغییرات در کریستالی بودن نه‌تنها به نوع جلبک، بلکه به تعامل بین پلیمر و پلی ساکارید بستگی دارد [۱۲].

۷- تأثیر ریز جلبک‌ها بر خواص حرارتی فیلم‌ها

خواص حرارتی مانند دمای ذوب (Tm) و دمای انتقال شیشه (Tg)، خواص مهمی هستند که نشان‌دهنده سطح ارتباط بین زنجیره‌های پلیمری مختلف هستند. روش‌های آزمایشگاهی باید نشان دهد که آیا پلیمرها در بسته‌بندی مواد غذایی مناسب هستند یا نه.

به‌عنوان‌مثال نتایج نشان می‌دهد که در ترکیب فوکویدان با کلاژن، خواص حرارتی بهبودیافته‌ای پس از افزودن جلبک مشاهده می‌شود. تأثیر ترکیب جلبک بر خواص حرارتی به‌شدت به مواد مورداستفاده در مخلوط بستگی دارد. به‌طوری‌که افزودن FUC به کلاژن منجر به بهبود خواص حرارتی شد، گنجاندن آلژینات در PHB منجر به کاهش شد، درحالی‌که نتایج مخلوط آلژینات / PLA هیچ تغییری را نشان نداد [۱۸].

۸-تأثیر ترکیب پلی ساکارید بر خاصیت ضدمیکروبی

بسته‌بندی ضدمیکروبی، یک عامل کلیدی در مورد بسته‌بندی فعال است، زیرا ایمنی مواد غذایی، یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌ها در صنعت غذا است. برای اطمینان از بسته‌بندی پایدار و ایمن، ترکیب عوامل ضدمیکروبی طبیعی مانند کیتوزان و غیره یک عامل کلیدی است که باید در نظر گرفته شود. مطالعات متعددی بر روی عصاره‌های جلبک دریایی خام حاوی ترکیبی از پلی ساکارید برای نشان دادن فعالیت ضدمیکروبی به اثبات رسید. در مطالعه‌ای، پلی‌ساکاریدهای جلبک دریایی قهوه‌ای از طریق روش‌های مرسوم و غیرمرسوم برای ارزیابی تأثیر روش‌های مختلف استخراج بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و ترکیب پلی ساکارید استخراج شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که مخلوط فوکوئیدهای استخراج‌شده از طریق ماکروویو، مانع رشد ای کولای می‌شوند. درحالی‌که فوکوئیدهای استخراج‌شده از طریق سونوگرافی آنزیمی، ماکروویو اولتراسوند، اثرات ضدمیکروبی علیه *سودوموناس آئروژینوزا* با حداقل غلظت مهاری (MIC) دو میلی‌گرم بر میلی‌لیتر داشتند [۱۹].

نتایج همچنین اثر ضدویروسی را علیه عفونت‌های HSV-۲ از تمام فوکویدان ها مستقل از روش استخراج نشان داد. محققان نشان دادند که فوکویدان خام که از جلبک دریایی قهوه‌ای *ساراگاسوم پلی کیستوم* استخراج‌شده بود، به ترتیب دارای MIC ۰/۱۲، ۱/۲ و ۰/۶ میلی‌گرم در میلی‌لیتر، اثرات مهاری علیه *V. harveyi*، *S. aureus* و *E. coli* نشان داد. همچنین رشد *E coli* توسط پلی ساکارید سولفاته خام از جلبک قرمز *G. ornota* مهار شد [۲۰]. عصاره‌هایی که فعالیت ضدمیکروبی را نشان می‌دادند در مرحله سوم استخراج در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد استخراج شدند. بااین‌حال، این مطالعات تنها از عصاره جلبک دریایی خام استفاده کردند نه پلی‌ساکاریدها. پلی‌ساکاریدهای خالص مانند کاراگینان، آلژینات و غیره که در یک فیلم پلیمری گنجانده‌شده‌اند، اثر بازدارندگی کم یا بدون اثر در برابر باکتری‌هایی مانند *E. coli* را نشان می‌دهد [۲۱].

مطالعه دیگری همچنین هیچ خاصیت ضدمیکروبی را در برابر باکتری‌های بیماری‌زای گرم مثبت و گرم منفی نشان نداد. تنها پس از افزودن مخلوطی حاوی شش نانوذره مس مختلف که فعالیت ضدمیکروبی قوی از خود نشان می‌دهند. مطالعه‌ای با استفاده از عصاره آبی جلبک دریایی، فعالیت ضدمیکروبی عصاره خام را در برابر باکتری‌های گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* و *باسیلوس سرئوس* با مهار بالاتر *استافیلوکوکوس اورئوس* نشان داد [۲۲].

آزمون انتشار دیسک هیچ فعالیت ضد باکتریایی را در برابر باکتری‌های گرم منفی مانند *E. coli* نشان نداد. علاوه براین، عصاره جلبک دریایی را در فیلم PVA گنجاندند، نتایج منطقه مهار خوبی در برابر هر دو باکتری گرم مثبت نشان داد. این نتایج ثابت می‌کند که فعالیت ضدمیکروبی عصاره می‌تواند حفظ شود. به‌طورکلی، مطالعات مربوط به عصاره خام جلبک دریایی پتانسیل زیادی در فعالیت ضدمیکروبی پلی‌ساکاریدهای جلبک دریایی نشان داده است، بااین‌حال تحقیقات بیشتری برای تعریف توانایی‌های زیست فعال پلی‌ساکاریدهای جلبک دریایی خالص موردنیاز است [۷]. درحالی‌که مطالعات مربوط به فیلم پلی ساکارید هیچ‌گونه مهاری از پاتوژن های منتقل‌شده از غذا مانند *E. coli*، *لیستریا مونوسیتوژنز* یا *استافیلوکوک اورئوس* را نشان نداد، اما هنوز نشان می‌دهد که اجزایی مانند نانو خاک رس و نانو ذرات مس می‌توانند به‌راحتی در پلیمر گنجانده شوند و از این طریق امکان استفاده به‌عنوان بسته‌بندی ضدمیکروبی فعال را فراهم می‌کند [۲۳].

۹- تأثیر ترکیب پلی‌ساکارید بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی

جلبک‌ها دارای آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی به‌عنوان بخشی از سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی خود هستند. آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیماتیک با وزن مولکولی پایین که از سیانوباکتری ها به دست می‌آیند، کاربردهای مختلفی در صنایع مختلف دارند. سیانوباکتری ها به دلیل فراوانی و مزایای بالقوه سلامتی، جایگزین ارجح آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی مورداستفاده در محصولات دارویی و غذایی مختلف محسوب می‌شوند. یکی از معروف‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی که توسط سیانوباکتری ها تولید می‌شود، فیکوسیانین است. فیکوسیانین یک رنگدانه آبی‌رنگ است که در دستگاه فتوسنتز سیانوباکتری ها یافت می‌شود و ازنظر ساختار شبیه به مولکول بیلی‌روبین انسان است. تحقیقات نشان داده است که فیکوسیانین خواص آنتی‌اکسیدانی قوی از خود نشان می‌دهد و از سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو که توسط گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) ایجاد می‌شود، محافظت می‌کند. علاوه براین، گزارش‌شده است که فیکوسیانین دارای خواص ضدالتهابی، ضدسرطان و محافظ عصبی است. تحقیقات تأیید کرده‌اند که c - phycocyanin را می‌توان از سویه‌های مختلف سیانوباکتری ها با استفاده از روش‌های انجماد و ذوب استخراج کرد. کاروتنوئیدها دسته مهم دیگری از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که توسط سیانوباکتری ها سنتز می‌شوند. این میکروارگانیسم‌ها انواع کاروتنوئیدها مانند بتا-کاروتن، زآگزانتین و آستاگزانتین که مسئول رنگ‌های قرمز، نارنجی و زرد میوه‌ها و سبزی‌ها مختلف هستند را تولید می‌کنند. مطالعات علمی ثابت کرده‌اند که کاروتنوئیدها فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی از خود نشان می‌دهند و از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از ROS محافظت می‌کنند. علاوه براین، گزارش‌شده است که کاروتنوئیدها مزایای سلامتی متعددی ازجمله خواص ضدالتهابی، ضدسرطان و ضد دیابتیک دارند. ترکیبات فنولیک که از محیط دریایی تأمین می‌شوند در منابع طبیعی مختلف ازجمله آب دریا، ماکرو و میکرو جلبک‌ها، سیانوباکتری ها، جلبک‌ها، علف‌های دریایی و اسفنج‌ها فراوان هستند. عصاره‌های حاوی ترکیبات فنولی از پلی فنول های جلبک دریایی را می‌توان بر اساس شکل‌های مختلف پلیمری آن‌ها به شش نوع ساختاری طبقه‌بندی کرد. تنوع و ویژگی‌های ساختاری مشترک آن‌ها این است که همگی حاوی گروه‌های هیدروکسیل فنولی هستند. با توجه به تعداد و موقعیت گروه‌های هیدروکسیل فنولیک، آن‌ها را می‌توان به چهار نوع تقسیم کرد: پلی فنول های جلبک قهوه‌ای، فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک و فنول های هالوژنه و همه آن‌ها فعالیت آنتی‌اکسیدانی خاصی دارند [۲۴].

سیانوباکتری‌ها طیف متنوعی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی را باقابلیت‌های جذب رادیکال آزاد قوی فراهم می‌کنند. این ترکیبات با مزایای سلامتی مختلفی ازجمله خواص ضدالتهابی، ضدسرطان و محافظ عصبی همراه بوده‌اند. طیف گسترده ترکیبات آنتی‌اکسیدانی تولیدشده توسط سیانوباکتری ها فرصت‌های امیدوارکننده‌ای را برای توسعه داروهای جدید، غذاهای کاربردی و لوازم‌آرایشی فراهم می‌کند. بااین‌حال، تحقیقات بیشتر برای کشف کامل پتانسیل سیانوباکتری ها به‌عنوان منبع آنتی‌اکسیدان‌ها و روشن کردن مکانیسم‌های اساسی فعالیت‌های بیولوژیکی آن‌ها ضروری است. اکسیداسیون لیپید، تأثیر زیادی بر کیفیت مواد غذایی و محصولات غذایی دارد. ترکیباتی که در فرآیند اکسیداسیون ایجاد می‌شوند مانند رادیکال‌های آزاد دارای خواص جهش‌زا، سرطان‌زا و سیتوتوکسیک هستند و مشکلات سلامتی شدیدی ایجاد می‌کنند. اکسیداسیون لیپید همچنین می‌تواند منجر به کاهش طول عمر و ارزش غذایی مواد غذایی شود. بسته‌بندی آنتی‌اکسیدان برای کاهش میزان اکسیداسیون لیپید و تخریب پروتئین در بسته‌بندی استفاده می‌شود. بسته‌بندی فعال با خواص آنتی‌اکسیدانی یک جایگزین امیدوارکننده برای بسته‌بندی سنتی است که در آن آنتی‌اکسیدان‌ها در فیلم ترکیب یا پوشش قرار داده می‌شوند. آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند عصاره‌های گیاهی و اسانس‌ها به دلیل تمایل به کاهش افزودنی‌های مصنوعی در بسته‌بندی موردتوجه بیشتری قرار می‌گیرند زیرا افزودنی‌های طبیعی ایمن‌تر هستند و مزایای سلامتی متعددی را ارائه می‌دهند [۲۵].

پلی‌ساکاریدهای جلبک دریایی سبز (*اولوا لاکتیکا*)، جلبک‌های دریایی قرمز (*Gracilaria lemaneiformis* و *Sarcodia Ceyclonensis*) و جلبک قهوه‌ای (*Durvillaea anta*) از طریق استخراج با کمک ماکروویو استخراج می‌شوند. سپس فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق سنجش فعالیت DPPH و ABTS اندازه‌گیری شد. نتایج DPPH نشان داد که پلی ساکارید مستخرج از جلبک دریایی سبز بیش‌ترین فعالیت را نشان می‌دهد، درحالی‌که پلی ساکارید استخراج‌شده از جلبک دریایی قهوه‌ای نیز اثر قابل‌توجهی بر DPPH نشان می‌دهد. *گراسیلیا لمانیفورمیس* تنها فعالیت‌های‌آنتی‌اکسیدانی ضعیفی از خود نشان داد، زیرا یک پلی ساکارید غیر سولفاته است. *سرکودیا سایکلونسیس* و پلی ساکارید جلبک سبز فعالیت برش رادیکال هیدروکسیل بالایی را نشان دادند، درحالی‌که پلی ساکارید جلبک دریایی قهوه‌ای قدرت کاهش بیشتری داشت [۷].

نتایج حاصل از اندازه‌گیری عصاره‌های جلبک دریایی با سنجش DPPH، نشان داد که عصاره جلبک دریایی آبی فعالیت آنتی‌اکسیدانی خوبی دارد، به‌خصوص در مقایسه با عصاره جلبک دریایی متانولی یا اتانولی. عصاره جلبک آبی در یک فیلم PVA گنجانده شد و همچنین با استفاده از سنجش DPPH بر روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی آزمایش شد. نتایج نشان داد که افزودن عصاره جلبک دریایی آبی فعالیت برش رادیکال را به‌طور قابل‌توجهی در مقایسه با PVA خالص و همچنین جلبک دریایی استخراج‌شده از طریق اتانول، متانول یا آب را افزایش می‌دهد [۱۲].

مطالعات بیشتر نشان داده است که کاراگینان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد و ثابت کرده است که زوال اکسیداتیو مواد غذایی را می‌توان از طریق گنجاندن پلی‌ساکاریدهای غنی از آنتی‌اکسیدان را دفع کرد. چندین مطالعه خواص آنتی‌اکسیدانی یک فیلم عصاره کاراگینان / توت را از طریق سنجش DPPH موردبررسی قراردادند. نتایج یک فعالیت آنتی‌اکسیدانی وابسته به مقدار کلی کاراگینان را نشان داد که از طریق افزودن عصاره توت تقویت شد. نتایج مشابهی در مطالعه‌ای با بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی یک فیلم κ-کاراگینان حاوی اسانس‌های گیاهی به دست آمد. نتایج سنجش DPPH نشان‌دهنده فعالیت آنتی‌اکسیدانی اندک فیلم κ-کاراگینان خالص به دلیل پلی فنول های طبیعی آن بود، بااین‌حال، این نتایج از طریق افزودن اسانس‌های گیاهی افزایش یافت. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که بیشتر پلی‌ساکاریدها فعالیت آنتی‌اکسیدانی را تا درجات مختلفی از خود نشان می‌دهند، این خواص می‌تواند در بسته‌بندی آنتی‌اکسیدانی مورداستفاده قرار گیرد. بااین‌حال، برای افزایش خواص آنتی‌اکسیدانی، اجزایی مانند روغن‌های گیاهی، عصاره توت و غیره را می‌توان برای تضمین کاهش اکسیداسیون لیپید و افزایش ایمنی غذا اضافه کرد. علاوه براین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی پلی‌ساکاریدهای / عصاره‌های مختلف جلبک دریایی باید بیشتر موردبررسی قرار گیرد تا به پتانسیل کامل جلبک دریایی به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدان در بسته‌بندی فعال مواد غذایی برسد [۱۲].

۱۰- خروج ترکیبات فعال از بسته‌بندی به غذا

بسته‌بندی‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی اغلب به اجزای فعال موجود در فیلم متکی هستند تا اثر موردنظر را بر روی محصول آشکار کند. برای تعیین اینکه آیا تولید چنین فیلمی امکان‌پذیر است یا خیر، بررسی میزان انتشار و نفوذ عامل فعال از فیلم به غذا موردنیاز است. برای این منظور لازم است که آزادسازی آن ترکیب نه خیلی سریع باشد و نه باعث ورود به بخش داخلی غذا شود و نه خیلی کند باشد، به این معنی که نتوان به غلظت مهاری و بازدارنده رسید [۲۶].

۱۱- نقش سیانوباکتری‌ها در فرآیند تخمیر و تأثیر آن‌ها بر خواص طعمی و تغذیه‌ای غذاهای تخمیر شده

سیانوباکتری‌ها به خاطر توانایی‌شان در تثبیت نیتروژن اتمسفر و تولید اسیدهای آلی از طریق فتوسنتز معروف هستند. در طول فرآیند تخمیر، سیانوباکتری ها می‌توانند به تولید اسیدلاکتیک، اسید استیک و سایر اسیدهای آلی کمک کنند که نقش مهمی در حفظ و کیفیت طعم غذاهای تخمیر شده دارند. این اسیدهای آلی می‌توانند رشد باکتری‌های بیماری‌زا را مهار کنند، طعم و عطر غذاهای تخمیر شده را افزایش دهند و طعم ترش خاص محصولات تخمیر شده را منتقل کنند. سیانوباکتری ها چندین مسیر تخمیر دارند که در طی این مسیر محصولات جانبی مختلفی مانند CO_2، H_2، فورمات، استات، لاکتات و اتانول تولید می‌کنند. علاوه براین، برخی از سیانوباکتری ها توانایی استفاده از گوگرد را به‌عنوان یک پذیرنده الکترون رادارند که منجر به بازده ATP بالاتر در طول تخمیر می‌شود [۲۷].

سیانوباکتری ها می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بر خواص حسی غذاهای تخمیر شده ازجمله طعم، عطر و بافت تأثیر بگذارند. طعم و عطر غذاهای تخمیر شده عمدتاً با تولید اسیدهای آلی، استرها، الکل‌ها و دیگر ترکیبات فرار در طول فرآیند تخمیر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. سیانوباکتری ها می‌توانند به تولید این ترکیبات کمک کنند و طعم و عطر کلی محصول نهایی را افزایش دهند. به‌عنوان‌مثال، ماست، یک فراورده لبنی تخمیر شده پرمصرف است که با استفاده از باکتری‌های اسیدلاکتیک ساخته می‌شود. این باکتری‌ها با تولید اسیدلاکتیک که pH را پایین می‌آورد و

منجر به انعقاد پروتئین‌های شیر می‌شود، نقش مهمی در تولید ماست ایفا می‌کنند. علاوه بر اسیدلاکتیک، متابولیت‌های تولیدشده توسط این باکتری‌ها ازجمله ترکیبات کربونیل، اسیدهای غیر فرار یا فرار و اگزوپلی ساکاریدها عوامل مهمی هستند که بر کیفیت ماست تأثیر می‌گذارند. به‌طور مشابه، در تولید نان نیز خمیرترش از باکتری‌های اسیدلاکتیک و مخمر به‌عنوان کشت‌های شروع‌کننده استفاده می‌کند که کربن دی‌اکسید، اتانول و اسید استیک تولید می‌کنند. این ترکیبات به طعم، بافت و عطر محصول نهایی کمک می‌کنند [۲۸].

سیانوباکتری ها نیز می‌توانند تأثیر قابل‌توجهی بر خواص تغذیه‌ای غذاهای تخمیر شده داشته باشند. در طول فرآیند تخمیر، آن‌ها می‌توانند با کاهش سطح مواد مغذی مانند فیتات و اگزالات، قابلیت زیستی مواد مغذی مانند روی و کلسیم را افزایش دهند. این کار می‌تواند کیفیت تغذیه‌ای محصول نهایی را بهبود بخشد و مزایای سلامتی آن را افزایش دهد. سیانوباکتری ها می‌توانند با کاهش سطح فیتات، ترکیبی که می‌تواند به آهن متصل شود و مانع جذب آن در بدن شود، قابلیت زیستی آهن در فرنی ذرت تخمیر شده را تا چهار برابر افزایش دهند. علاوه بر آن، سیانوباکتری ها می‌توانند قابلیت زیستی کلسیم را در محصولات شیر تخمیر شده افزایش دهند. کلسیم یک ماده معدنی حیاتی برای سلامت استخوان است و در غلظت‌های بالا در شیر یافت می‌شود. بااین‌حال، قابلیت زیستی کلسیم در شیر نسبتاً کم است زیرابه کازئین، یک پروتئین شیر محدود می‌شود [۲۹].

سیانوباکتری ها می‌توانند در طول فرآیند تخمیر، اسیدلاکتیک تولید کنند که می‌تواند pH شیر را کاهش دهد و باعث تراکم کازئین، آزاد شدن کلسیم و در دسترس قرار گرفتن آن برای جذب در بدن شود. علاوه براین، سیانوباکتری ها در محصولات شیر تخمیر شده نیز می‌توانند فولات تولید کنند که یک ویتامین B مهم لازم برای رشد و نمو سلول است. به‌طور خلاصه، سیانوباکتری ها نقش مهمی در فرآیند تخمیر غذاهای مختلف ازجمله محصولات لبنی، غلات و نوشیدنی‌ها دارند. آن‌ها به تولید اسیدهای آلی کمک می‌کنند، طعم و عطر غذاهای تخمیر شده را افزایش می‌دهند و قابلیت زیستی مواد مغذی را بهبود می‌بخشند. استفاده از سیانوباکتری ها به‌عنوان کشت‌های آغازین در تولید غذاهای تخمیر شده تأثیر مثبتی بر خواص حسی و تغذیه‌ای محصول نهایی دارد. بااین‌حال، تحقیقات بیشتری برای درک کامل مکانیسم‌هایی که سیانوباکتری ها به‌وسیله آن‌ها به فرآیند تخمیر کمک می‌کنند و کشف کاربردهای بالقوه جدید برای این میکروارگانیسم‌ها در صنعت غذا موردنیاز است [۲۷].

در سال‌های اخیر، فرایندهای تخمیر توسط سیانوباکتری ها به دلیل پتانسیل آن‌ها برای افزایش خواص تغذیه‌ای و عملکردی غذاها موردتوجه زیادی قرارگرفته است. بااین‌حال، استفاده از سیانوباکتری ها در فرایندهای تخمیر به دلیل تحمل کم آن‌ها به تنش‌های محیطی مانند تغییرات دما، pH و شوری محدود می‌شود. محققان برای رفع این محدودیت‌ها و بهبود کارایی تخمیر سیانوباکتری ها، اثرات هم‌افزایی بالقوه ترکیب سیانوباکتری ها با سایر میکروارگانیسم‌های غذایی مانند باکتری‌های اسیدلاکتیک(LAB) ، مخمر و قارچ‌ها را بررسی کرده‌اند. LAB معمولاً در تخمیر مواد غذایی به دلیل توانایی آن‌ها در تولید اسیدلاکتیک استفاده می‌شود که می‌تواند PH را کاهش داده و رشد باکتری‌های مضر را مهار کند. هنگامی‌که LAB با سیانوباکتری ها ترکیب می‌شود، می‌تواند تولید ترکیبات زیست فعال مانند اگزوپلی ساکاریدها (EPS) و فیکوبیلی‌پروتئین‌ها را از طریق تعاملات هم‌زیستی افزایش دهد. به‌عنوان‌مثال، مطالعه‌ای توسط محققان نشان داد که کشت هم‌زمان *سینکوکوس* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* منجر به افزایش قابل‌توجه در تولید EPS و همچنین بهبود فعالیت‌های‌آنتی‌اکسیدانی و آنتی باکتریال در مقایسه با کشت واحد می‌شود. مخمرها و قارچ‌ها نیز معمولاً در تخمیر غذا استفاده می‌شوند و نشان داده‌شده است که خواص تغذیه‌ای و عملکردی غذاهای تخمیر شده را افزایش می‌دهند. مخمرها و قارچ‌ها وقتی با سیانوباکتری ها ترکیب می‌شوند، می‌توانند بافت، طعم و عطر غذاهای تخمیر شده را بهبود بخشند و همچنین تولید ترکیبات زیست فعال را افزایش دهند. برای مثال، مطالعه‌ای توسط محققان دیگر نشان داد که کشت مشترک *اسپیرولینا پلینسیس* و *ساکارومایسس سرویزیه* منجر به افزایش قابل‌توجهی در تولید اسید گاما-آمینو بوتیریک (GABA) شد که با مزایای مختلف سلامتی، ازجمله اثرات ضدالتهابی و ضد اضطراب همراه بوده است. اسپیرولینا، سیانوباکتریوم فتوسنتزی با توزیع گسترده در طبیعت، به دلیل ارزش غذایی بالا، قرن‌هاست که به‌عنوان یک مکمل غذایی مورداستفاده قرار می‌گیرد. این باکتری منبع غنی از ویتامین‌ها، مواد معدنی، ۷۸ درصد پروتئین‌ها، ۴ تا ۷ درصد چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها و رنگدانه های طبیعی است[۳۰]. مصرف اسپیرولینا با مزایای سلامتی متعددی ازجمله خواص درمانی در برابر سرطان، فشارخون، هایپرکلسترولمی، دیابت و کم‌خونی همراه است. تحقیقات اخیر نشان داده است که محصولات خارج سلولی تولیدشده توسط *اسپیرولینا پلینسیس* می‌توانند رشد میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک مانند *لاکتوکوکوس لاکتیس*، *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*، *لاکتوباسیلوس کازی*، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* را افزایش دهند.

استفاده از کشت مشترک با ترکیب ریز جلبک‌ها و باکتری‌ها منجر به تولید زیست‌توده بیشتر و سنتز ترکیبات فعال می‌شوند. میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک به دلیل اثرات مفیدشان بر سلامتی شناسایی‌شده‌اند. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که جلبک‌ها پربیوتیک هایی هستند که می‌توانند عملکرد پروبیوتیک ها را افزایش دهند. علاوه براین، استفاده از جلبک‌ها و پروبیوتیک ها باهم برای بهبود میکروبیوتا، ارتقای سلامت روده و افزایش عملکرد در آبزی‌پروری، به‌ویژه در ماهی، میگو و صدف مفید گزارش‌شده است [۳۱].

بیش از ۶۰۰ گونه از جلبک‌های ماکرو در محصولات غذایی استفاده می‌شود که بر اساس رنگ آن‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. ترکیبات زیست فعال استخراج‌شده از جلبک‌ها، به‌ویژه از انواع قهوه‌ای، قرمز و سبز، پتانسیل خود را در پیش‌گیری و درمان بیماری‌های عصبی نشان داده‌اند. فیتواسترول ها، ازجمله فوکسترول، دارای مزایای سلامتی مانند اثرات ضدسرطان، ضد دیابتیک و محافظ عصبی و غیره هستند. علاوه براین، رنگدانه های استخراج‌شده از انواع مختلف جلبک‌های ماکرو خواص آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند. کاروتنوئیدها ازجمله زآگزانتین، بتاکاروتن، کانتاگزانتین و نوستوکزانتین به‌وفور در سیانوباکتری ها یافت می‌شوند و ترکیبات ارزشمندی در محصولات مختلف مانند مکمل‌های غذایی، رنگدانه ها، افزودنی‌های غذایی و خوراک حیوانات هستند.

کاروتنوئیدهای مشتق از سیانوباکتری ها معمولاً به شکل قرص، گرانول و کپسول در دسترس هستند و تولید آن‌ها در حال افزایش است. به‌عنوان‌مثال، مکمل‌هایی مانند بتا- کاروتن، ریبوفلاوین، ویتامین B_{12} و تیامین از سیانوباکتری هایی مانند اسپیرولینا به دست می‌آیند. همچنین، سیانوباکتری ها به‌عنوان منبع مواد معدنی، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، قندهای پیچیده، کربوهیدرات‌ها، فیکوسیانین، آنزیم‌های فعال، اسیدهای چرب ضروری و کلروفیل مورداستفاده قرار می‌گیرند و به‌عنوان مکمل‌های غذایی یا مواد مغذی کامل استفاده می‌شوند [۳۱].

۱۲- نتیجه‌گیری

استفاده از پلیمرهای مستخرج از جلبک‌ها در آینده‌ای نزدیک در بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند مقدار آلودگی محیط‌زیست را با ترکیبات پلاستیکی کاهش دهد. درواقع استفاده از جلبک‌ها برای بسته‌بندی، جایگزین قابل‌توجهی برای روش‌های فعلی است و می‌تواند در آینده تبدیل به یک رقیب احتمالی در بازار شود. علاوه بر آن خواص آنتی‌اکسیدانی / ضدمیکروبی جلبک‌ها می‌تواند اثر مفیدی بر ماندگاری غذا داشته باشد و میزان ضایعات غذایی ناشی از فساد را کاهش دهد. بااین‌حال پیشنهاد می‌شود برای استفاده گسترده‌تر از جلبک‌ها در مواد غذایی و بسته‌بندی باید تحقیقات بیشتری درزمینهٔ جذب فلزات سنگین مضر توسط جلبک‌ها انجام شود تا استفاده از جلبک‌ها را ایمن و عاری از خطر سازد.

۱۳- مراجع

[1] E. PlasticsEurope, "Plastics—the facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data," PlasticEurope, 2019. https://doi.org/10.216/۰۸jfds.2021.175653.

[2] N. Jabeen, I. Majid, and G. A. Nayik, "Bioplastics and food packaging: A review," Cogent food & agriculture, vol .1 ,no. 1, p. 1117749, 2015. DOI: 10.1080/23311932.2015.1117749

[3] P. Nechita and M. Roman, "Review on polysaccharides used in coatings for food packaging papers," Coat., vol. 10, no. 6, p. 566, 2020. https://doi.org/10.3390/coatings10060566

[4] A. Nešić, G. Cabrera-Barjas, S. Dimitrijević-Branković, S. Davidović, N. , and C. Delattre, "Prospect of polysaccharide-based materials as advanced food packaging," Mol., vol. 25, no. 1, p. 135, 2019. "Prospect of polysaccharide-based materials as advanced food packaging," Mol., vol. 25, no. 1, p. 135, 2019. DOI: 10.3390/molecules25010135

[5] B. Nowruzi, "A review of the use of microscopic algae as biological sensors for identifying environmental pollutants and smart packaging of food materials," IFSTRJ, vol. 20, no. 1, pp. 165-181, 2024. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81939.1250

[6] B. Nowruzi, "A review of biosensors based on Anthocyanins, betalains and Curcumins in smart food packaging," J. Food Eng, 2024. https://doi.org/10.22092/fooder.2024.362829.1370

[7] P. Thiviya et al., "Algal polysaccharides: Structure, preparation and applications in food packaging," Food Chem. vol. 405, p. 134903, 2023. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134903

[8] A. Tahreen, S. A. Adli, H. Anuar, J. Jamaluddin, R. Mohan, and F. Ali, "Algae materials for food and food packaging," in Algae Materials: Elsevier, 2023, pp. 85-91. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18816-9.00006-X

[9] A. M. Costa, J. M. Rodrigues, M. M. Perez-Madrigal, A. P. Dove, and J. F. Mano, "Modular functionalization of laminarin to create value-added naturally derived macromolecules," J. Am. Chem. Soc., vol. 142, no. 46, pp. 19689-19697, 2020. https://doi.org/10.1021/jacs.0c09489

[10]B.-T. Dang et al., "Current application of algae derivatives for bioplastic production: A review," Bioresour. Technol., vol. 347, p. 126698, 2022. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.126698

[11]X. Y. Yap, L. T. Gew, M. Khalid, and Y.-Y. Yow, "Algae-based bioplastic for packaging: a decade of development and challenges (2010–2020)," J. Environ. Polym. Degrad., vol. 31, no. 3, pp. 833-851, 2023. DOI: 10.1007/s10924-022-02620-0

[12]D. Carina, S. Sharma, A. K. Jaiswal, and S. Jaiswal, "Seaweeds polysaccharides in active food packaging: A review of recent progress," Trends Food Sci., vol. 110, pp. 559-572, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.022

[13]J. Wyrwa and A. Barska, "Innovations in the food packaging market: Active packaging," Eur. Food Res. Technol., vol. 243, pp. 1681-1692, 2017. https://doi.org/10.1007/s00217-017-2878-2

[14]S. Yildirim et al., "Active packaging applications for food," CRFSFS, vol. 17, no. 1, pp. 165-199, 2018. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322

[15]K. Marsh and B. Bugusu, "Food packaging—roles, materials, and environmental issues,« J. Food Sci., vol. 72, no. 3, pp. R39-R55, 2007. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x

[16]B. Nowruzi, "Application of Cyanobacteria in the Production of Degradable Products," JREH, 2024. Doi: 10.22038/jreh.2024.24340

[17]M. Carpintero, I. Marcet, M. Rendueles, and M. Díaz, "Algae as an additive to improve the functional and mechanical properties of protein and polysaccharide-based films and coatings. A review of recent studies," Food Packag. Shelf Life, vol. 38, p. 101128, 2023. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101128

[18] A. M. Tedeschi, F. Di Caprio, A. Piozzi, F. Pagnanelli, and I. Francolini, "Sustainable bioactive packaging based on thermoplastic starch and microalgae," Int. J. Mol. Sci., vol. 23, no. 1, p. ۲۰۲۱ ,۱۷۸ .. https://doi.org/10.3390/ijms23010178
[19] A. M. Khaneghah, S. M. B. Hashemi, and S. Limbo, "Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions," Food Bioprod. Process., vol. 111, pp. 1-19, 2018. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.05.001
[20] A. Srisa et al., "Antibacterial, antifungal and antiviral polymeric food packaging in post-COVID-19 era," Polym., vol. 14, no. 19, p. 4042, 2022. https://doi.org/10.3390/polym14194042
[21] J. H. Han, "Antimicrobial food packaging," Novel food packaging techniques, vol. 8, pp. 50-70, 2003. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003
[22] M. Krepker, R. Shemesh, Y. D. Poleg, Y. Kashi, A. Vaxman, and E. Segal, "Active food packaging films with synergistic antimicrobial activity," Food control, vol. 76, pp. 117-126, 2017. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.01.014
[23] D. Surendhiran, C. Li, H. Cui, and L. Lin, "Marine algae as efficacious bioresources housing antimicrobial compounds for preserving foods-A review," Int. J. Food Microbiol., vol. 358, p. 109416, 2021. doi: 10.3390/md20060403.
[24] K. Mondal, S. K. Bhattacharjee, C. Mudenur, T. Ghosh, V. V. Goud, and V. Katiyar, "Development of antioxidant-rich edible active films and coatings incorporated with de-oiled ethanolic green algae extract: a candidate for prolonging the shelf life of fresh produce," RSC Adv., vol. 12, no. 21, pp. 13295-13313, 2022. https://doi.org/10.1039/D2RA00949H
[25] M. A. Andrade et al., "Novel active food packaging films based on whey protein incorporated with seaweed extract: Development, characterization, and application in fresh poultry meat," Coat., vol. 11, no. 2, p. 229, 2021. DOI: 10.3390/coatings11020229
[26] L. Tovar, J. Salafranca, C. Sánchez, and C .Nerín, "Migration studies to assess the safety in use of a new antioxidant active packaging," J. Agric. Food Chem., vol. 53, no. 13, pp. 5270-5275, 2005. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.019
[27] M. Barkallah et al., "Effect of Spirulina platensis fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage," Lwt, vol. 84, pp. 323-330, 2017. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.071
[28] C. Garofalo, A. Norici, L. Mollo, A. Osimani, and L. Aquilanti, "Fermentation of microalgal biomass for innovative food production," Microorganisms, vol. 10, no. 10, p. 2069, 2022. https://doi.org/10.3390/microorganisms10102069
[29] E. de Marco Castro, E. Shannon, and N. Abu-Ghannam, "Effect of fermentation on enhancing the nutraceutical properties of Arthrospira platensis (Spirulina)," Ferment., vol. 5, no ,۱ .p. 28, 2019. https://doi.org/10.3390/fermentation5010028
[30] B. Nowruzi, "Industrial application of Natural Phycocyanin Edible Pigment isolated from Spirulina platensis in Preparation of fortified ice cream with emphasize on microbial and antioxident properties," IJFST, vol. 21, no. 149, pp. 54-80, 2024. 10.22034/FSCT.21.149.54.
[31] S. S. Behera, R. C. Ray, and N. Zdolec, "Lactobacillus plantarum with functional properties: an approach to increase safety and shelf- life of fermented foods," Biomed Res. Int., vol. 201 ,۸no. 1, p. 9361614, 2018. doi: 10.1155/2018/9361614