



University of Tehran

Preparation of coating films from brown algae (*Sargassum* sp.) and (*Laminaria* sp.) and their evaluation for preserving farmed Vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) after capture

Mojtaba Rajabi¹ | Seraj Bitar² | Mehran Avakh Keysami³

1. Department of Fisheries, Faculty of Marine Sciences, Chabahar University of Marine and Maritime Sciences, Email: mojtaba.r276@gmail.com
2. Department of Fisheries, Faculty of Marine Sciences, Chabahar University of Marine and Maritime Sciences, Email: serajbita@yahoo.com
3. Department of Fisheries and Aquatics, Mirzakocheh Khan Fisheries Sciences and Industries Training Unit, Agricultural Research, Education and Extension Organization Rasht, Rasht, Iran. Email: dr.keysami@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received: 15 February 2026

Revised: 06 May 2026

Accepted: 20 April 2026

Published online: 23 September 2026

Keywords:

Alginate,
Fucoidan,
Brown algae,
Sargassum,
Laminaria,
Litopenaeus vannamei.

ABSTRACT

The film-forming capability and protective properties of alginate extracted from *Sargassum* and fucoidan extracted from *Laminaria* have led to their use as antimicrobial and antioxidant coatings in modern packaging methods to prevent the rapid spoilage of aquatic products. In this study, alginate and fucoidan were extracted from the brown algae *Sargassum* and *Laminaria* through a combined chemical process in the laboratory, and coatings were prepared from them. Subsequently, alginate films, fucoidan films, and composite alginate/fucoidan films were produced, and their properties were evaluated using microbial analyses, FTIR, SEM, and DSC characterization techniques. In the next stage, the effect of the prepared alginate and fucoidan films in four treatments on the shelf life and quality of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) including total bacterial count, psychrophilic bacteria count, thiobarbituric acid index, free fatty acids, TVBN, pH, TMA, and sensory evaluation was statistically compared with coated samples (treatments 1–3) and the control sample (polymer plastic coating) during 18 days of refrigerated storage. Based on the results obtained in this study, all measured variables showed significant differences between shrimp fillets coated with alginate (T1), fucoidan (T2), and the composite alginate/fucoidan film (T3) compared to the control sample (T4) and also among each other ($P < 0.05$). Furthermore, the use of the composite alginate–fucoidan film (T3) significantly increased the shelf life of white leg shrimp during refrigerated storage compared to the other treatments and the control.

Cite this article: Rajabi, M., Bitar, S., Avakh Keysami, M. (2026). Preparation of coating films from brown algae (*Sargassum* sp.) and (*Laminaria* sp.) and their evaluation for preserving farmed Vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) after capture. *Journal of Fisheries*, 79 (3), 191-202. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.397200.1462>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2026.108948>



دانشگاه تهران

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۸۰۹

سایت نشریه: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

تهیه فیلم‌های پوششی از جلبک‌های قهوه‌ای (*Sargassum* sp.) و (*Laminaria* sp.) و ارزیابی آنها در نگهداری میگوی وانامی پرورشی (*Litopenaeus vannamei*) پس از صید

مجتبی رجبی کلوانی^۱ | سراج بیتا^{۲*} | مهران آوخ کیسمی^۳

۱. گروه شیلات، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم دریایی و دریانوردی چابهار، رایانامه: Mojtaba.r276@gmail.com

۲. گروه شیلات و آبزیان، واحد علوم و صنایع شیلاتی میرزا کوچک خان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: dr.keysami@gmail.com

۳. گروه شیلات، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم دریایی و دریانوردی چابهار، رایانامه: serajbita@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

قابلیت تشکیل لفاف و خواص محافظتی آلژینات از جلبک سارگاسوم و فوکوئیدان از جلبک لامیناریا باعث شده است که از آنها به عنوان پوشش‌های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی برای جلوگیری از فسادپذیری سریع آبزیان در روش‌های جدید بسته‌بندی استفاده شود. در این تحقیق، آلژینات و فوکوئیدان طی یک فرآیند ترکیبی شیمیایی در آزمایشگاه از جلبک‌های قهوه‌ای سارگاسوم و لامیناریا استخراج و پوشش‌هایی از آنها تهیه گردید. سپس، فیلم‌های آلژینات، فوکوئیدان و فیلم ترکیبی آلژینات/فوکوئیدان تولید و خواص آنها با مشخصه‌یابی‌های میکروبی، FTIR، SEM و DSC مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد، تأثیر فیلم‌های تهیه شده از آلژینات و فوکوئیدان در چهار تیمار بر ماندگاری و سلامت میگوی سفید غربی (وانامی)، با باکتریایی کل و باکتری‌های سایکروفیل، میزان شاخص‌های اسید تیوباریتوریک و اسیدهای چرب آزاد، pH، TVBN، TMA و ارزیابی حسی در نمونه‌های با پوشش‌دهی (تیمارهای ۱-۳) در مقایسه با نمونه کنترل (پوشش داده شده با پلاستیک پلیمری)، در طول دوره نگهداری ۱۸ روزه در یخچال از نظر آماری مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق در کلیه متغیرهای اندازه گیری شده بین فیلم‌های میگوی پوشش داده شده با آلژینات (T₁) و فوکوئیدان (T₂) و فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان (T₃) در مقایسه با نمونه کنترل (T₄) و با همدیگر، اختلاف معنی‌دار بود ($P < 0.05$). ضمن اینکه استفاده از فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان (T₃) در مقایسه با سایر تیمارها و کنترل، بطور معنی داری ماندگاری میگوی وانامی را در یخچال افزایش داد.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه:

آلژینات،

فوکوئیدان،

جلبک‌های قهوه‌ای،

سارگاسوم،

میگوی سفید غربی،

زمان ماندگاری.

استاد: رجبی کلوانی؛ مجتبی، بیتا؛ سراج؛ آوخ کیسمی؛ مهران (۱۴۰۵). تهیه فیلم‌های پوششی از جلبک‌های قهوه‌ای (*Sargassum* sp.) و (*Laminaria* sp.) و ارزیابی آنها در نگهداری میگوی وانامی پرورشی (*Litopenaeus vannamei*) پس از صید. نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۹ (۳)، ۱۹۱-۲۰۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.397200.1462>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان. مجتبی رجبی کلوانی | سراج بیتا* | مهران آوخ کیسمی^۳

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2026.108948>



۱. مقدمه

غذاهای دریایی در شرایط معمولی بسیار فسادپذیر و دارای ماندگاری کوتاهی هستند و در طول نگهداری آنها، واکنش‌های متعددی مانند واکنش‌های شیمیایی ذاتی و واکنش‌های آنزیمی رخ می‌دهد که منجر به تغییر در کیفیت آنها می‌شود. ایمنی و ماندگاری آنها به وجود میکروارگانیسم‌های عامل فساد مواد غذایی و بیماری‌زا مربوط می‌شود و با وجود پیشرفت در تأسیسات تولیدی و اجرای روش‌های مؤثر، کنترل فرآیند مانند تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی (HACCP) توسط کارخانه‌های فرآوری غذاهای دریایی، تعداد بیماری‌های مرتبط با غذاهای دریایی افزایش یافته است (Roy et al., 2025). پوشش‌های خوراکی می‌توانند با مهار رشد میکروبی، کاهش اکسیداسیون چربی و کاهش رطوبت، کیفیت محصولات تازه و منجمد را بهبود بخشند. آنها همچنین می‌توانند به عنوان حامل افزودنی‌های غذایی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها و عوامل ضد میکروبی عمل کنند و روند جهانی رو به رشدی برای بررسی رویکردهای جدید برای افزایش ماندگاری محصولات شیلاتی و حفظ تازگی و کیفیت آنها پس از برداشت وجود دارد. فیلم‌ها و پوشش‌های بیوپلیمری با ترکیبات فعال اخیراً مورد توجه قرار گرفته‌اند، زیرا از مواد غذایی در برابر عوامل زیستی، شیمیایی و آسیب فیزیکی محافظت می‌کنند و آنها همچنین با ارائه خواص آنتی‌اکسیدانی و مهار رشد میکروبی، به حفظ طعم و عطر غذا و مواد غذایی کمک می‌کنند. در سال‌های اخیر، برای گسترش قابلیت‌های مواد بیوپلیمری مبتنی بر زیست که از منابع مختلف به دست می‌آیند، مطالعات گسترده‌ای انجام شده است (Rhein et al., 2021). فیلم‌های خوراکی را می‌توان بر اساس آب پنیر، کلاژن، ژلاتین، سویا، ذرت یا گندم تهیه کرد. اثرات پروتئین ماهی استخراج شده با استفاده از فرآورده‌های اسیدی و قلیایی به عنوان یک ماده پوشش‌دهنده زیست‌تخریب‌پذیر روی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در طول نگهداری در سرما و انجام بررسی شد، بیان شد که تعداد کل باکتری‌های زنده در فیله‌های بدون پوشش سریع‌تر از فیله‌های پوشش‌دار زیاد می‌شود. آنها همچنین گزارش دادند که پوشش‌های مبتنی بر پروتئین از کاهش pH، کل نیتروژن فرار (TVB-N) و مقادیر اسیدهای چرب آزاد جلوگیری می‌کنند. با این حال، فیلم‌های خوراکی پروتئین ماهی محلول در آب، نفوذپذیری آب کمتری نسبت به بسیاری دیگر دارند و در سال‌های اخیر، از روغن‌های ضروری با اجزای فنی و غیرفنی به دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی آنها در محصولات غذایی آبرزی استفاده شده است. علاوه بر این، در طول تشکیل فیلم، ترکیب روغن‌های ضروری ممکن است با اشغال حفره‌های کوچک سطحی، زبری سطح را کاهش دهد و همچنین در لیمو، مرزنجوش، کارواکرول، دارچین، سیر، میخک، زنجبیل، رزماری، پوست پرتقال و پونه کوهی همگی با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، فیلم‌های کیتوزان غنی شده با آویشن (*Origanum minutiflorum*) و رزماری به دلیل تأثیر آنها بر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری قزل‌آلای رنگین‌کمان دودی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Farhan et al., 2017). فیلم بسته‌بندی خوراکی به عنوان لایه‌های نازک پوشش یا مواد ترکیب شده در غذا تعریف می‌شود که می‌توانند بدون به خطر انداختن سلامت انسان مصرف شوند. این بسته‌ها می‌توانند به عنوان بسته‌بندی اولیه عمل کنند، فعالیت آبی یک غذا را کنترل کنند، انتقال جرم را در غذاهای فرآوری شده تنظیم کنند، سیستمی برای اجزای زیست فعال فراهم کنند و به عنوان منبع جذابیت حسی عمل کنند (Sabry et al., 2025). تحقیقات در مورد فیلم‌ها و پوشش‌های کاربردی برای حفظ و نظارت بر کیفیت میگو در طول ذخیره‌سازی در طول دهه گذشته به سرعت پیشرفت کرده است. غذاهای مختلف مانند سبزیجات، میگو و غذاهای دریایی مکانیسم‌های فساد متفاوتی دارند، بنابراین عملکرد فناوری‌ها ممکن است برای غذاهای مختلف متفاوت باشد و بسیاری از محققان کاربرد موفقیت‌آمیز پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی ساخته شده با استفاده از بیوپلیمرها را برای حفظ خواص تغذیه‌ای و ارگانولپتیک محصولات غذایی مختلف مستند کرده‌اند (Kongjiao et al., 2016). در مطالعه‌ای که توسط Immirzi و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد، عصاره جلبک دریایی از *Sargassum Kappaphycus alvarezii* و *tenerrimum* (جلبک قرمز) برای پوشش گوجه فرنگی فیتونوترینت تجزیه و تحلیل وجود تانن‌ها، ساپونین‌ها، استروئیدها و فلاونوئیدها را در هر دو جلبک دریایی تأیید کرد. فعالیت ضد قارچی و ضد باکتری جلبک قرمز *K. alvarezii* منطقه مهار بالاتری را در مقایسه با جلبک *S. tenerrimum* در برابر پاتوژن‌های رایج نشان داد. به منظور حفظ طعم و رنگ میگوی پرورشی و انامی پس از برداشت (از نظر فساد)، استخراج آلژینات و فوکوئیدان از دو گونه جلبک قهوه‌ای سارگاسوم و لامیناریا، و استفاده در نگهداری میگو پس از صید گردید. هدف از این فیلم، حفظ کیفیت میگوی و انامی پرورشی و در عین حال افزایش ارزش غذایی آن، حفظ شاخص‌های کیفی و ظاهری محصول و ماندگاری آن بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. تهیه جلبک‌های قهوه‌ای

جلبک‌های قهوه‌ای از گونه‌های *Laminaria digitata* و *Sargassum boveanum* در دی ماه سال ۱۴۰۲ از منطقه بین جزر و مدی سواحل دریای عمان در منطقه دریای بزرگ چابهار در زمان حداکثر جزر در فصل زمستان دو مرحله جمع‌آوری و سپس با آب شیرین سه مرحله شستشو گردیدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده در جعبه‌های یونولیتی حاوی پودر یخ به آزمایشگاه فرآوری شیلات دانشگاه میرزا کوچک خان استان گیلان منتقل گردید. سپس نمونه‌ها بار دیگر در آزمایشگاه به منظور حذف مقادیر زیاد نمک، گل و لای با آب شیرین مجدداً شستشو شدند و سپس در آون الکتریکی (ممرت UFB 500، آلمان) در دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و با آسیاب (بوش TSM 6 A011 W، آلمان) پودر و در کیسه‌های پلاستیکی استریل به صورت جداگانه بسته‌بندی و تا شروع آزمایش در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

۲-۲. تهیه میگو

تعداد ۹۰ نمونه میگوی پرورشی و انامی با اندازه طول 10 ± 0.3 و با عرض $1/75 \pm 0.3$ سانتیمتر در مهر ماه ۱۴۰۳ از مزارع پرورش میگوی سایت گمیشان با طول جغرافیایی $70/37$ و با عرض جغرافیایی $54/078$ استان گلستان با میانگین خطای استاندارد و با وزن 14 ± 3 گرم به صورت تازه خریداری و فوراً با آب سرد شستشو گردید. نمونه‌های میگو و یخ به نسبت وزنی ۱ به ۱ در جعبه‌های یونولیتی فوراً به آزمایشگاه فرآوری شیلات واقع در دانشگاه علوم و صنایع شیلاتی میرزا کوچک خان استان گیلان منتقل گردیدند و با اجرای دقیق و پروتکل‌های کنترل دما، استریلیزاسیون، و تقسیم‌بندی نمونه‌ها تحت شرایط عاری از آلودگی میکروبی، برای آزمایش آماده شدند.

۲-۳. استخراج آلزینات

برای استخراج آلزینات مقدار ۵۰ گرم پودر جلبک *Sargassum boveanum* در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۵ درجه به منظور حذف رنگدانه‌ها و پروتئین مخلوط به مدت ۱۲ ساعت روی شیکر (MX-S، آلمان)، قرار داده شد و بعد از سانتریفیوژ (DM0408، آلمان)، با ۸۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، رسوب باقی مانده جمع‌آوری و خشک گردید. در مرحله بعد، ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل خنک شده به جلبک پودر شده اضافه شد و روی شیکر حرارتی در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت با سه مرتبه تکرار انجام شد. سپس سانتریفیوژ با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، رسوب حاصله جمع‌آوری و به آن کربنات سدیم Na_2CO_3 سه درصد به حجم یک لیتر به رسوب اضافه شد و pH آن روی ۱۱ تنظیم گردید. مجدداً روی شیکر حرارتی با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار گرفت و در مرحله آخر بعد از سانتریفیوژ، برابر با حجم مایع رویی جدا شده به آن اتانول ۷۰ درجه اضافه شد و بعد از ۱۲ ساعت، رسوب حاصل شده به عنوان آلزینات دو مرحله توسط اتانول و استون جهت حذف آب، شستشو و در زیر هود در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد خشک شد (Mazumder et al., 2016).

۲-۴. استخراج فوکوئیدان

مقدار ۲۰ گرم پودر جلبک خشک *Laminaria digitata* در ۲۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد، به منظور حذف رنگدانه‌ها و پروتئین، مخلوط شد و در دمای اتاق روی شیکر قرار خواهد گرفت. عصاره گیری از جلبک با آب مقطر و در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از سانتریفیوژ با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. مایع رویی جمع‌آوری شد و با کمک آون تحت خلأ غلیظ شد، سپس با کلرید کلسیم ۱ درصد مخلوط شد و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، ۱۲ ساعت، به منظور ته‌نشست فوکوئیدان، قرار گرفت. پس از سانتریفیوژ مایع رویی جمع‌آوری و با اتانول ترکیب و ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. بعد از سانتریفیوژ مواد باقی مانده که همان ترکیبات پلی‌ساکارید مد نظر هستند، با استون و اتانول آب‌زدایی و در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد خشک شد (Chee and Wong et al., 2016).

۵-۲. تهیه فیلم‌های آلژینات، فوکوئیدان و فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان

۵-۲-۱. تهیه فیلم آلژینات از جلبک *Sargassum boveanum*

فیلم آلژینات به روش Chen و همکاران (۲۰۲۰) تهیه گردید. بدین ترتیب که دو گرم پودر آلژینات و کلرید کلسیم به ترتیب با غلظت‌های ۰/۰۸ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با هم زدن مداوم و حرارت دادن تا دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حل شدند. سپس، ۱ درصد (حجمی/حجمی) گلیسرول اضافه شد. محلول به طور مداوم هم زده شد و تا دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و به مدت ۱ دقیقه قبل از برداشتن صفحه داغ در آنجا ماند. محلول به روش ریخته‌گری در یک ظرف پتری ریخته شد و قبل از جدا شدن، به مدت ۱۲ ساعت در خشک‌کن در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. فیلم‌های مبتنی بر آلژینات سدیم و فوکوئیدان، با کلرید کلسیم ترکیب شد تا فیلم‌های متقاطع تشکیل دهد (Lee and Mooney, 2012).

۵-۲-۲. تهیه فیلم فوکوئیدان از جلبک *Laminaria digitata*

محلول فوکوئیدان با حل کردن ۲ درصد وزنی حجمی فوکوئیدان به دست آمده از جلبک‌های قهوه‌ای در اسید استیک ۱ درصد حجمی به دست آمد. محلول به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق با همزن مغناطیسی هم زده شد و به منظور نرم شدن و انعطاف پذیرتر شدن پوشش‌ها ۷۵ درصد حجمی گلیسرول به عنوان نرم کننده به محلول اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد، لاف با قالب‌ریزی در قالب‌های فویلی آلومینیومی نجسب و خشک کردن تهیه گردید. بدین ترتیب که ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول در قالب ریخته و در دمای ۲۰ درجه اتاق خشک شد.

۵-۲-۳. تهیه فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان

محلول آلژینات و فوکوئیدان با حل کردن ۲ درصد وزنی حجمی آلژینات و فوکوئیدان به دست آمده از جلبک‌های قهوه‌ای در اسید استیک ۱ درصد حجمی، به دست آمد. محلول به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق با همزن مغناطیسی هم زده شد. به منظور نرم شدن و انعطاف پذیرتر شدن پوشش‌ها ۲۵ درصد حجمی گلیسرول به عنوان نرم کننده به محلول اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شدند، لاف با قالب‌ریزی در قالب‌های فویلی آلومینیومی نجسب و خشک کردن تهیه گردید، بدین ترتیب که ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول در قالب ریخته و در دمای ۲۰ درجه دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند، سپس فیلم‌ها جدا و در کیسه‌های استو میکرونگهداری شدند (Lee and Mooney, 2012).

تیمارها به شکل زیر تعریف می‌گردد:

- ۱) فیلم آلژینات ۲٪
- ۲) فیلم فوکوئیدان ۲٪
- ۳) فیلم ترکیبی آلژینات ۱٪ + فوکوئیدان ۱٪

۶-۲. اندازه گیری خواص فیزیکی فیلم‌ها

۶-۲-۱. اندازه گیری ضخامت فیلم‌ها

مورفولوژی سطح نمونه فیلم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscopy)، مدل VEGA3 ساخت شرکت TESCAN تحت شرایط استاندارد خلأ بالا مورد بررسی قرار گرفت. برای عکس‌برداری از نمونه‌های فیلم توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی، ابتدا از هر نمونه، برش‌هایی در ابعاد مشخص تهیه گردید و نمونه‌ها پس از ثابت شدن روی پین‌های مخصوص با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی با ولتاژ ۱۵ کیلو وات عکس‌برداری گردید (García-Domínguez et al., 2020). برای اندازه گیری ضخامت از میکرو متر با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده شد. میزان ضخامت در ۵ نقطه اندازه گیری و میزان میانگین آن گزارش شد.

۲-۶-۲. اندازه گیری میزان رطوبت فیلم‌ها

نمونه‌های فیلم با وزن مشخص درون پلیت‌ها شیشه‌ای، که از قبل به وزن ثابت رسیده و توزین شده بودند (W_1)، قرار داده شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون الکتریکی (ممرت UFB 500، آلمان)، خشک گردید. نمونه همراه با پلیت پس از این مدت خارج شد و پس از سرد شدن در دسیکاتور مجدداً توزین گردید (W_2). محتوای رطوبت فیلم‌ها بر پایه وزن مرطوب از طریق رابطه ۱ محاسبه گردید.

رابطه ۱:

$$\text{درصد رطوبت} = \left(\frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \right)$$

۲-۶-۳. نفوذ پذیری فیلم‌ها در برابر بخار آب

آزمایش‌های جذب آب تحت شرایط رطوبت کنترل شده طبق روش Chen و همکاران (۲۰۲۰) تشریح شده طبق جدول ۲ انجام شد. به منظور سنجش میزان نفوذپذیری فیلم‌ها نسبت به بخار آب (ASTME96-02)، ابتدا ۱۰ میلی لیتر آب مقطر درون سلول‌های اندازه گیری نفوذ پذیری ریخته شد و سپس سلول‌های شیشه‌ای که سطح آنها توسط فیلم و به کمک گریس درزبندی شده بود، درون دسیکاتور حاوی سیلیکاژل قرار گرفتند، آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رطوبت ۱۰۰ درصد ایجاد می‌کند. سنجش تغییرات وزن سلول‌ها در طی زمان با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی (EK610I، ژاپن)، با دقت ۱/۰۰۰ گرم صورت گرفت.

۲-۶-۴. مقاومت کششی فیلم‌ها

مقاومت کششی یکی از شاخص‌های کلیدی است که در حین تهیه فیلم‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نشان دهنده توانایی آن‌ها در مقاومت در برابر پارگی هنگام قرارگیری در معرض نیروی خارجی است. دوام ساختاری استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست با استفاده از دستگاه تست جهانی (UTM) مطابق با استانداردهای ASTM (ASTM D638) اندازه‌گیری شد. از FTIR برای تعیین گروه عاملی موجود و تأیید قابلیت کشش از طیفی که ساختار اجزای فیلم و تعامل بین اجزای ترکیب شده را نشان می‌دهد استفاده شد. آزمون‌های مکانیکی فیلم‌ها بر اساس روش اصلاح شده ASTM D0882-02 صورت گرفت و فیلم‌ها در قطعات ۷۶۱ سانتی‌متر بریده و تحت شرایط رطوبت نسبی ۵۰ درصد و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشروط شدند. ضخامت متوسط آنها تعیین گردید. ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها (مقاومت به کشش) با استفاده از دستگاه اینستران (STM-1، آلمان)، اندازه گیری شد.

۲-۶-۵. تجزیه حرارتی

کالری سنجی روبشی تفاضلی (DSC) و تجزیه گرما وزن سنجی (TGA) برای ارزیابی پایداری حرارتی طبق رویه‌های ذکر شده توسط Ching و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد. اندازه گیری ویژگی حرارتی فیلم‌ها با DSC انجام شد و نمونه‌ها در نیتروژن مایع پودر شد و به مدت ۲ تا ۳ روز در خشک کن نگهداری گردید. پس از آن، خواص حرارتی فیلم‌ها با استفاده از کالریمتر اسکن تفاضلی (Lico ساخت کمپانی hach) در محدوده دمایی ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ گرمایش ۱۰ °C/min اندازه‌گیری شد.

۲-۷. طرح آزمایش و تیمار بندی

این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و با چهار تیمار در سه تکرار شامل میگوهای بسته‌بندی شده در فشار اتمسفر، بسته‌بندی با پلاستیک‌های معمولی (تیمار شاهد)، میگو با پوشش آلژینات و بسته‌بندی شده در فشار اتمسفر (پوشش ۲ درصد تیمار ۱)، میگو با پوشش فوکوئیدان و بسته‌بندی شده در فشار اتمسفر (پوشش ۲ درصد تیمار ۲)، میگو با پوشش ترکیبی آلژینات/فوکوئیدان و بسته‌بندی شده در فشار اتمسفر (تیمار ۳) در نظر گرفته شدند. همه گروه‌ها در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۴ روز نگهداری شدند و شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی، میکروبی و ارزیابی حسی نمونه‌ها هر سه روز یکبار اندازه گیری شد.

۱-۷-۲. ارزیابی فعالیت‌های ضد میکروبی

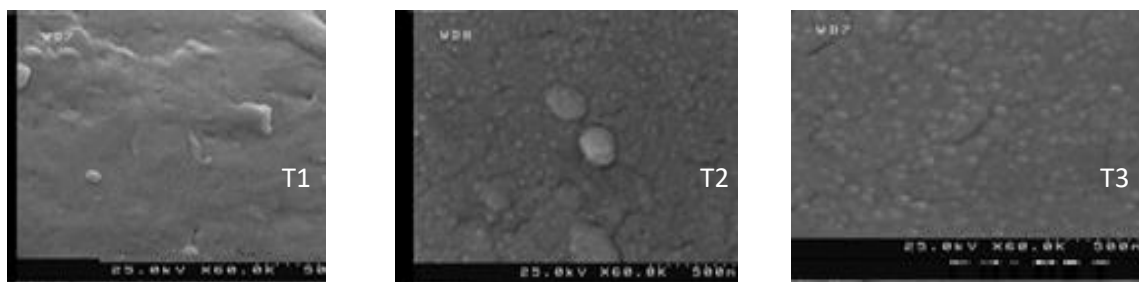
برای ارزیابی اثربخشی ضد میکروبی فیلم‌ها در برابر پاتوژن‌های انتقالی از غذا مانند لیستریا مونوسیتوژنز (*Listeria monocytogenes*) و اشریشیا کلی (*Escherichia coli* ATCC ۲۵۹۲۲) پس از خرید محیط کشت باکتری‌های مورد استفاده که از دانشکده دامپزشکی تهران تهیه شدند. باکتری‌ها روی محیط نوترینت آگار شیب‌دار (مرک آلمان) کشت شد و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. جهت تهیه محیط کشت مایع مورد استفاده در آزمون‌های میکروبی از روش دابل استرنگ استفاده شد. در واقع محیط کشت در محلول دو برابر میزان توصیه شده توسط شرکت تولیدکننده در نظر گرفته شدند، سنجش‌های انتشار در آگار بر اساس روش‌های شرح داده شده توسط Roy و همکاران (۲۰۲۵) انجام شد. مطالعات افزایش طول عمر مفید میگو (وانامی) پیچیده شده در این فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر در شرایط یخچالی با دمای تقریبی ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد. افزایش طول عمر مفید با نظارت بر شاخص‌های فساد مانند تغییرات بافت یا رشد میکروبی به مدت ۱۴ روز در مقایسه با نمونه‌های کنترل پیچیده شده در بسته‌بندی پلاستیکی معمولی و با پیروی از پروتکل‌های مشابه پروتکل‌های استفاده شده توسط Wang و همکاران (۲۰۱۸) تعیین شد.

۸-۲. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تحقیق در سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و مقایسه میانگین متغیرها، با آزمون واریانس یک طرفه برر سی گردید و نتایج به صورت میانگین با انحراف معیار بیان گردید. با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk Test از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل شد و سپس همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون بررسی گردید. جهت تعیین سطح معنی داری در مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ استفاده گردید.

۳. یافته‌های پژوهش

بازده استخراج فوکوئیدان و آلژینات در این تحقیق شامل میانگین بازده آلژینات 21.5 ± 1.7 درصد بود که در محدوده آلژینات و فوکوئیدان حاصل از *Sargassum sp.* و *Laminaria sp.* به ترتیب 16 ± 0.6 و 21.5 ± 0.5 درصد بود. مورفولوژی سطح بیوفیلم‌های تهیه شده در تیمارهای مختلف به شرح تصویر شکل ۱ بدست آمد.



شکل ۱- تصاویر مورفولوژی سطح بیوفیلم‌های آلژینات (T1) و فوکوئیدان (T2) و فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان (T3)

ضخامت فیلم‌های تهیه شده برحسب میکرو متر با دقت ۰/۰۱ میلی متر در ۵ نقطه هر فیلم اندازه گیری و میانگین آن توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscopy)، VEGA3 ساخت شرکت TESCAN گزارش گردید. حساسیت به رطوبت فیلم‌ها که با اندازه‌گیری جذب آب در رطوبت نسبی ۸۴ درصد ارزیابی شد (جدول ۱). مقاومت کششی فیلم‌ها یا توانایی آن‌ها در مقاومت در برابر پارگی هنگام قرار گیری در معرض نیروی خارجی در جدول (۳) ارائه گردید.

جدول ۱- میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) حساسیت به رطوبت فیلم‌ها با اندازه‌گیری جذب آب در رطوبت نسبی ۸۴ درصد

نوع فیلم	(%) جذب آب
آلژینات	$25/2 \pm 1/6^b$
فوکوئیدان	$22/3 \pm 1/6^c$
ترکیب آلژینات و فوکوئیدان	$30/2 \pm 1/0^a$

حروف غیر همسان انگلیسی در بالای اعداد در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

جدول ۲- نتایج نفوذ پذیری فیلم‌ها در برابر بخار آب که با آزمایش‌های جذب آب تحت شرایط رطوبت کنترل شده انجام شد

نوع فیلم	مقدار ضخامت (میلی‌متر)	نفوذپذیری به بخار آب	میزان رطوبت (درصد)
آلژینات خالص	$0/15 \pm 0/100^c$	$8/95 \pm 0/13^a$	$69/1 \pm 95/21^a$
فوکوئیدان خالص	$0/17 \pm 0/098^b$	$5/04 \pm 0/18^c$	$17/59 \pm 2/11^b$
فیلم ترکیبی آلژینات/فوکوئیدان	$0/19 \pm 70/00^a$	$4/55 \pm 0/21^b$	$15/47 \pm 2/89^c$

حروف غیر همسان انگلیسی در بالای اعداد در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

جدول ۳- میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) مقاومت کششی فیلم‌های تیمار و شاهد در برابر پارگی هنگام قرار گیری در معرض نیروی خارجی

نوع فیلم	استحکام کششی (مگاپاسکال)	ازدیاد طول در نقطه پارگی
فیلم آلژینات	$3/3 \pm 2/4^c$	$25/3 \pm 2/4^a$
فیلم فوکوئیدان	$19/5 \pm 0/3^b$	$19/5 \pm 0/3^c$
فیلم آلژینات/فوکوئیدان	$20/6 \pm 0/4^a$	$20/6 \pm 0/4^b$

حروف غیر همسان انگلیسی در بالای اعداد در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

نتایج تجزیه حرارتی فیلم‌ها در جدول ۴ ارائه گردید.

جدول ۴- نتایج تجزیه حرارتی فیلم‌ها (میانگین $\pm$ انحراف معیار)

نوع بسته‌بندی (تیمارها)	دمای انتقال شیشه‌ای ($^{\circ}\text{C}$)	ترکیب حرارتی
بر پایه آلژینات (تیمار ۱)	$195 \pm 1/05^b$	$548 \pm 1/06^b$
بر پایه فوکوئیدان (تیمار ۲)	$290/4 \pm 3/5^a$	$696 \pm 2/90^a$
فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان (تیمار ۳)	$132/8 \pm 13/0^c$	$30/6 \pm 2/2^c$

حروف غیر همسان انگلیسی در بالای اعداد در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

نتایج فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های بر پایه آلژینات، فوکوئیدان و فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان در برابر *E. coli* و *L. monocytogenes* با استفاده از روش‌های انتشار در آگار ارزیابی شد و به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار به شرح جدول ۵ بود. براساس نتایج جدول (۵)، فیلم‌های آلژینات و فوکوئیدان دارای فعالیت ضد میکروبی موثری در برابر دو باکتری‌های مورد آزمون بود.

جدول ۵- میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های بر پایه آلژینات، فوکوئیدان و آلژینات و فوکوئیدان

نوع بسته‌بندی (تیمارها)	<i>E. coli</i>	<i>Monocytogenes</i>
آلژینات خالص	$12/95 \pm 89/9^c$	$45/115 \pm 54/5^b$
فوکوئیدان خالص	$12/109 \pm 56/23^b$	$34/125 \pm 87/32^c$
فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان	$9/154 \pm 67/2^a$	$67/166 \pm 76/17^a$

حروف غیر همسان انگلیسی در بالای اعداد در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش جلبک *Sargassum boveanum* پتانسیل زیادی برای مطالعه بیشتر نشان داد و روکش‌های خوراکی نازک و انعطاف‌پذیری از آن تولید شدند، تمام روکش‌ها به راحتی از پلیت جدا و سطوح صافی را نشان دادند، روکش‌های حاوی مخلوط آلژینات و فوکوئیدان به طور معنی‌داری ضخامت بیشتری داشتند. میزان رطوبت موجود در پوشش‌های خوراکی تعیین شد، میزان رطوبت موجود در روکش‌ها به نوع روکش یا ترکیبی به کار رفته بستگی داشت. میزان رطوبت روکش‌ها در محدوده ۱۴/۱ و ۲۱/۹۵ درصد قرار داشت. در روکش ترکیبی میزان رطوبت موجود در روکش‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت. علت این پدیده افزایش میزان مواد جامد و نیز اثر دافع ترکیبات موجود در آن بود. در مورد تولید فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر از آلژینات، مقادیر اضافی نرم‌کننده تاثیر منفی روی ساختار فیلم داشت و باعث شکنندگی بیشتر آن شد. همچنین مشخص شد که فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر هنگام ترکیب با کلرید کلسیم قوی‌ترند و بهترین حالت زمانی بود که ۰/۱۲ گرم کلرید کلسیم اضافه شد. فیلم‌های مبتنی بر آلژینات به دلیل ساختار پلیمری قوی و پیوند هیدروژنی بین زنجیره‌های پلی‌ساکارییدی، بالاترین استحکام کششی را نشان دادند. فیلم‌های مبتنی بر آلژینات انعطاف‌پذیری بیشتری را نشان دادند که به گلیسرول به عنوان نرم‌کننده نسبت داده می‌شود. فیلم‌های مبتنی بر فوکوئیدان استحکام کششی بالایی را نشان دادند، اما به دلیل پیوند عرضی با کلرید کلسیم، انعطاف‌پذیری کمتری داشتند. درحالی که قابلیت‌های مقاومتی بیوفیلم از نظر استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی با استفاده از تست ماشین جهانی اندازه‌گیری و تعیین شد. بر اساس داده‌های به دست آمده، می‌توان مشاهده کرد که افزودن نمک کلرید کلسیم، استحکام کششی را افزایش می‌دهد. این افزایش را می‌توان با ایجاد پیوند عرضی بین گروه‌های کربوکسیل موجود در آلژینات و مولکول‌های کلسیم توضیح داد (Hu et al., 2022). در غیاب دو ظرفیتی، آلژینات ویسکوزیته را افزایش می‌دهد، به عنوان مثال Ca^{2+} و Mg^{2+} با این حال، هنگامی که یون‌های دو ظرفیتی به ویژه کلسیم وجود داشته باشند، آلژینات یک ژل قوی تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، اسید گلورونیک همچنین می‌تواند با کلسیم حتی قوی‌تر تعامل را داشته باشد و یک "پل نمکی" دو ظرفیتی بین پلیمرهای آلژینات تشکیل دهد (Pathak et al., 2014). استحکام کششی در مقایسه با وزن ۰/۰۲ گرم $CaCl_2$ افزایش قابل توجهی نشان نداد، اما پس از افزودن، در مقایسه با نمونه کنترل که در فشار ۰/۵۲ مگاپاسکال حاصل شد، به طور چشمگیری افزایش یافت. این مطالعه نشان داد که افزودن نمک با بهبود استحکام کششی، بر خواص مکانیکی بیوفیلم‌های مبتنی بر آلژینات تأثیر می‌گذارد. با این حال، هنگامی که وزن $CaCl_2$ به ۰/۰۴ گرم افزایش یافت، قرائت استحکام کششی کاهش قابل توجهی معادل ۳/۵۹ مگاپاسکال را نشان داد. این استحکام کششی به دلیل کاهش استحکام اتصال و سستی محل‌های اتصال در شبکه فیلم آلژینات بود و این عملکرد ممکن است به دلیل شکنندگی فیلم در آماده‌سازی برای تجزیه و تحلیل نیز باشد، زیرا ترک‌های کوچک در کناره‌های نمونه، جداسازی فیلم را تسهیل می‌کنند (Hanry et al., 2022). این کاهش همچنین ممکن است به دلیل یون‌های کلسیم باشد که می‌توانند تحت تأثیر حضور مولکول‌های آب قرار گیرند. در مرحله بعد، هنگامی که وزن کل $CaCl_2$ به ۰/۱۲ گرم افزایش یافت، قرائت استحکام کششی نیز افزایش ۹/۴۳ مگاپاسکال را نشان داد که می‌تواند به دلیل پیشرفت در پیوندهای عرضی بین گروه‌های آلژینات و Ca^{2+} کربوکسیل باشد (McCarthy and Kavalali., 2024).

بر اساس نتایج بدست آمده، مشخص شد که افزودن کلرید کلسیم باعث کاهش توانایی کشش قبل از پارگی می‌شود. عوامل ایجاد پیوند عرضی باعث کاهش کشیدگی فیلم می‌شوند و با این حال، اثرات قابل توجهی از مطالعات قبلی ایجاد می‌کنند و از طریق این مطالعه همچنین می‌توان نتایج مشابهی را نشان داد، که کاهش از بیوفیلم کنترل تا ۰/۰۸ گرم بیوفیلم کلرید کلسیم را نشان می‌دهد، با مقادیر به ترتیب ۷/۷ میلی‌متر، ۷/۴ میلی‌متر، ۵/۵۰ میلی‌متر و ۴/۹۷ میلی‌متر، سپس افزایش به ۸/۶۱ میلی‌متر در ۰/۱۲ گرم $CaCl_2$ که نشان‌دهنده ویژگی سفت و کمی الاستیک آلژینات است (Sabry et al., 2025).

توانایی تورم و جذب آب بیوفیلم‌ها در این مطالعه انجام شد. تمام نمونه‌ها پس از ۱ ساعت به طور کامل در آب مقطر حل شدند. از این رو، داده‌ها قابل ثبت نبودند. بنابراین، آزمایش توانایی تورم با شکست مواجه شده است. از طریق این روش همچنین می‌توان نتیجه گرفت که بیوفیلم آلژینات سدیم یک فیلم بسیار محلول در آب است. آلژینات سدیم یک فیلم قوی تشکیل می‌دهد؛ با این حال، به دلیل ماهیت پلیمر آب‌دوست که به عنوان یک گونه محلول در آب آلژینات در نظر گرفته می‌شود، مقاومت کمی در برابر

آب نشان می‌دهد (Hurtado et al., 2022). توانایی بیوفیلم در تشکیل یک ژل قوی و نامحلول، یعنی در حضور کاتیون‌های دو ظرفیتی، می‌تواند برای اصلاح این نقص استفاده شود. به عنوان مثال، کلرید کلسیم به عنوان مؤثرترین عامل اتصال عرضی در تشکیل لایه‌های ژل آلژینات طبقه‌بندی می‌شود (Li et al., 2018). آلژینات یکی از کربوهیدرات‌های امیدوارکننده برای کاربردهای بسته‌بندی، به ویژه آنهایی است که به نفوذ گاز حساس هستند. علاوه بر این، کاربرد آلژینات را می‌توان در زمینه سیستم رهایش دارو و برای کپسوله کردن علف‌کش‌ها، میکروارگانسیم‌ها و سلول‌ها نیز یافت (Hariyadi et al., 2020). افزودن نرم‌کننده‌ها منجر به کاهش نیروهای بین مولکولی در امتداد زنجیره پلیمری نیز می‌شود که انعطاف‌پذیری و حرکت زنجیره را افزایش می‌دهد. با این حال، مطالعات متعددی نیز اثرات نامطلوب نرم‌کننده‌ها را بر خواص فیلم‌های زیستی خوراکی نشان داده‌اند (Eslami et al., 2023). مورفولوژی تمام بیوفیلم‌های ایجاد شده همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل SEM تغییرات در مورفولوژی سطح آلژینات کلسیم را با تغییر وزن یا غلظت اتصال‌دهنده‌های عرضی در بزرگنمایی یکسان نشان داد. تصویر SEM نشان داد که سطح بیوفیلم کنترل به دلیل حذف ذرات آلژینات سدیم که به طور کامل در حلال حل نمی‌شوند، صاف نبوده است. در واقع، به طور مقایسه‌ای، تنها بیوفیلم کنترل، بدون CaCl_2 ، قطرات نامنظمی را در شکل نشان داد. در مرحله بعد، بیوفیلم‌های با ۰/۰۴ گرم CaCl_2 ، هیچ تفاوت معنی‌داری از نظر مورفولوژی در دو تصویر مشاهده نشد. در واقع، نمودارها ویژگی‌های مشابهی را نشان داد که در آن ساختار در فیلم خشک متراکم است، اما مقداری مسطح شدن وجود دارد. مطالعات متعددی گزارش داده‌اند که میکروپلت‌های تولید شده با روش ژل داخلی، ماتریس همگن‌تر، اما با چگالی کمتر و اندازه بزرگتری دارند، مکمل کلسیم موجود در آلژینات سدیم به دلیل اندازه آن در قطرهای مختلف، یعنی منافذ از چند نانومتر تا صد نانومتر، می‌تواند در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد (Hecht et al., 2016).

بیوفیلم‌های بعدی ۰/۰۴ گرم CaCl_2 نشان می‌دهند که با استفاده CaCl_2 ، نفوذ و تخلخل کاهش می‌یابد. این به دلیل آرایش متراکم‌تر مولکول‌های آلژینات با استفاده از CaCl_2 است (Hanry et al., 2022). در یک مطالعه قبلی، با افزایش غلظت پیوندهای عرضی مانند روی و کادمیوم، میزان نفوذ و تخلخل کاهش می‌یابد (Somerton et al., 2015). طبق تحقیقات انجام شده توسط مک‌کارتین و همکارانش، کلسیم باعث ایجاد بافت ظریف در اندازه‌های کوچک منافذ می‌شود. منافذ پس از افزودن CaCl_2 بازتر هستند که می‌توان آنها را تحت Cryo-SEM مشاهده کرد. در واقع، وقتی CaCl_2 اضافه می‌شود، ژل ضعیف‌تر نشان می‌دهد. تصاویر منافذ یافت شده در این مطالعه به دلیل استفاده از میکروسکوپ الکترونی Cryo-SEM به دست آمده است (McCarthy et al., 2024). تفاوت در بازده هیدروکلوئیدها بین مطالعات مختلف به دلیل تطبیق پذیری ویژگی‌های جلبک‌های دریایی است. اگرچه آنها از یک گونه هستند، اما نتیجه با توجه به فصل، زمان برداشت، جغرافیا و سایر عوامل متفاوت بود. آلژینات استخراج شده از *Sargassum spp.* با استفاده از ATR-FTIR برای بررسی گروه‌های عاملی آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین، گونه *Laminaria spp.* نیز برای مقایسه گروه عاملی آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه حرارتی فیلم‌ها بر پایه آلژینات بالاترین دمای انتقال شیشه‌ای و تجزیه حرارتی را نشان دادند که نشان‌دهنده پایداری حرارتی برتر است. فیلم‌های بر پایه فوکوئیدان کمترین پایداری حرارتی را نشان دادند که احتمالاً به دلیل ساختار شیمیایی ضعیف‌تر آنها است (Jancikova et al., 2019). فیلم‌های بر پایه فوکوئیدان به دلیل گروه‌های هیدروکسیل آزاد در ساختارشان، بیشترین آب را جذب کردند. فیلم‌های بر پایه آلژینات کمترین جذب آب را نشان دادند که به ماهیت نسبتاً آب‌گریز آنها نسبت داده می‌شود (Jin, 2012).

خاصیت ضد میکروبی آلژینات و فوکوئیدان به ترکیبات مختلفی از جمله آمینو اسیدها، تریپنوئیدها، فلوروئان‌ها و ترکیبات فنولی نسبت داده می‌شود (Tayel et al., 2019). با توجه به ساختار زنجیره‌ای خود، فوکوئیدان و آلژینات می‌توانند به دیواره باکتری‌ها نفوذ کنند یا روی غشا آنها ژل تشکیل دهند که این ویژگی‌ها به جلوگیری از تبادلات غذایی و ایجاد اثرات بازدارنده روی پاتوژن‌های باکتریایی کمک می‌کند. با توجه به افزایش مقاومت باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌های معمول، جستجو برای ترکیبات جدید ضد میکروبی اهمیت زیادی دارد و آلژینات و فوکوئیدان به عنوان منابع بالقوه برای تولید داروهای ضد میکروبی مورد توجه قرار گرفته‌اند. به طور کلی نتایج ارزیابی خواص مکانیکی، تجزیه حرارتی، حساسیت به رطوبت، فعالیت ضد میکروبی تأثیر این نوع فیلم‌ها را بر افزایش ماندگاری میگوی وانامی نشان داد.

۵. نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت مصرف آبزیان در برنامه غذایی و مسئله فسادپذیری سریع آن، نیاز به استفاده از روش‌های جدید بسته‌بندی رو به افزایش است؛ استفاده از پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش فیلم‌های میگوی پوشش داده شده با آلژینات و فوکوئیدان در مقایسه با نمونه کنترل، ماندگاری بیشتری در یخچال داشتند و استفاده از فیلم ترکیبی آلژینات و فوکوئیدان به عنوان پوشش و فیلم خوراکی برای افزایش ماندگاری میگوی وانامی در یخچال پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان نامه دکتری تخصصی فرآوری محصولات شیلاتی در دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار است نویسندگان در انجام تحقیق و نگارش این مقاله از همکاری و مساعدت کارکنان آزمایشگاه بیوتکنولوژی آبزیان واحد آموزش عالی علوم شیلاتی میرزا کوچک خان استان گیلان و دانشکده علوم دریایی چابهار بهره‌مند گردیده‌اند که بدینوسیله قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

- Chee, P. K. Wong., C. L., Wong, "Extraction and characterisation of alginate from brown seaweeds (Fucales, Phaeophyceae) collected from Port Dickson, Peninsular Malaysia, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104142>
- Chen, H. Z., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. H., 2020. Novel pH-sensitive films containing curcumin and anthocyanins to monitor fish freshness. *Food Hydrocolloids*, 100, 105438. DOI: 10.3390/cryst16050287
- Ching, N. Bansal., B. Bhandari, "Alginate gel particles—A review of production techniques and physical properties," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition Journal.*, 57(6), 1133–1152, DOI: 10.1080/10408398.2014.965773.
- Eslami, Z., Elkoun, S., Robert, M., Adjallé, K., 2023. A review of the effect of plasticizers on the physical and mechanical properties of alginate-based films. *Molecules*, 28(18), 6637. DOI: 10.1080/10408398.2014.96573.
- Farhan, N. Hani, M., 2017. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol," *Food Hydrocoll.*, 64, 48–58, DOI:10.1016/j.foodhyd.2016.10.034.
- García-Domínguez, J. Claver, A. M. Camacho, and M. A. Sebastián., 2020. "Considerations on the applicability of test methods for mechanical characterization of materials manufactured by FDM," *Materials (Basel).*, 13 (1), DOI:10.3390/ma13010028.
- Hu, C., Lu, W., Sun, C., Zhao, Y., Zhang, Y., Fang, Y., 2022. Gelation behavior and mechanism of alginate with calcium: Dependence on monovalent counterions. *Carbohydrate Polymers*, 294, 119788. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.119788.
- Hariyadi, D. M., Islam, N., 2020. Current status of alginate in drug delivery. *Advances in pharmacological and pharmaceutical sciences*, 2020(1), 8886095. <https://doi.org/10.1155/2020/8886095>.
- Hanry, E. L., Redzwan, N. F. M., Badeges, N. F. A. K., Surugau, N., 2022, August. Characterization of biofilms developed from alginate extracted from *Padina sp.* incorporated with calcium chloride (CaCl₂). In *Journal of Physics: Conference Series*, 2314(1), 012022. IOP Publishing. doi: 10.1088/1742-6596/2314/1/012022.
- Hecht, H., Srebnik, S., 2016. Structural characterization of sodium alginate and calcium alginate. *Biomacromolecules*, 17(6), 2160–2167. DOI:10.1021/acs.biomac.6b00378
- Hoson, M., Kongjao, S., Damronglerd, S., 2016. Purification of crude glycerol derived from waste used-oil methyl ester plant Purification of crude glycerol derived from waste used-oil methyl ester plant, *Korean Journal of Chemical Engineering | Springer Nature Link.*, vol. 27, no. 3, pp. 944–948, 2016. DOI 10.1088/1742-6596/2314/1/012022.

- Hurtado, A., Aljabali, A. A., Mishra, V., Tambuwala, M. M., Serrano-Aroca, Á., 2022. Alginate: Enhancement strategies for advanced applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 4486. DOI:10.3390/pharmaceutics16030370.
- Immirzi, G. Santagata, G. Vox., E., 2009. Schettini Preparation, characterisation and field-testing of a biodegradable sodium alginate-based spray mulch,” *Journal of Biosystems Engineering.*, 102(4), 461–472, Apr. 2009. DOI: 10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2008.12.008.
- Jancikova, S., Jamróz, E., Kulawik, P., Tkaczewska, J., Dordevic, D., 2019. Furcellaran/gelatin hydrolysate/rosemary extract composite films as active and intelligent packaging materials. *Intern J. Biol Macrom*, 131, 19-28. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2019.03.050.
- Jin, M., 2012. Plant protein-based nanocomposite materials: modification of layered nanoclay by surface coating and enhanced interactions by enzymatic and chemical cross-linking. DOI: 10.22104/ift.2023.6374.2145
- Lee, J.Y., Mooney, D. J., 2011. Alginate: Properties and biomedical applications, *Progress in Polymer Science*, 37(1), 106–126, 2012. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003.
- Li, X., Wu, B., Chen, H., Nan, K., Jin, Y., Sun, L., Wang, B., 2018. Recent developments in smart antibacterial surfaces to inhibit biofilm formation and bacterial infections. *Journal of materials chemistry b*, 6(26), 4274-4292. DOI:10.1039/C8TB01245H.
- Mazumder, S. L. Holdt, D. De Francisci, M. Alvarado-Morales, H. N. Mishra, I. Angelidaki., 2018. Extraction of alginate from *Sargassum muticum*: process optimization and study of its functional activities, *Journal of Applied Phycology | Springer Nature Link.*, 28, (6), 3625–3634, Dec., 2016. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.232.
- McCarthy, C. I., Kavalali, E. T., 2024. Nano-organization of synaptic calcium signaling. *Biochemical Society Transactions*, 52(3), 1459-1471. <https://doi.org/10.1042/BST20231385>.
- Pathak, C. Sneha., Mathew, B. B., 2014. Bioplastics: Its Timeline Based Scenario and amp; Challenges, *Journal of Polym. Biopolym. Physical Chemistry Chemical Physics*vol. 2(4), 84–90, 2014. DOI: 10.12691/jpbpc-2-4-5.
- Rhein-Knudsen, Meyer, A. S., 2021. Chemistry, gelation, and enzymatic modification of seaweed food hydrocolloids, *Trends Food Science and Technology*, 109, 608–621, DOI:10.1016/j.tifs. 2021.01.052
- Roy, A., Roy, P. K., Park, S. Y., 2025. The Role of Fucoidan in Controlling *Listeria monocytogenes* Biofilms on Seafood-Contact Surfaces. *Applied Sciences*, 15(11), 5799. <https://doi.org/10.3390/app15115799>.
- Roy, P. K., Roy, A., Jeon, E. B., DeWitt, C. A. M., Park, J. W., Park, S. Y., 2024. Comprehensive analysis of predominant pathogenic bacteria and viruses in seafood products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(4), e13410. <https://doi.org/10.3390/app15115799>.
- Sabry, R., Sayed, A., El-Sayed, I. E., Mahmoud, G. A., 2025. Optimizing pectin-based biofilm properties for food packaging via E-beam irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 229, 112474. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2024.112474.
- Sabry, R., Sayed, A., El-Sayed, I. E., Mahmoud, G. A., 2025. Optimizing pectin-based biofilm properties for food packaging via E-beam irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 229, 112474. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2024.112474.
- Somerton, B., Lindsay, D., Palmer, J., Brooks, J., Flint, S., 2015. Changes in sodium, calcium, and magnesium ion concentrations that inhibit *Geobacillus* biofilms have no effect on *Anoxybacillus flavithermus* biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(15), 5115-5122. DOI:10.1128/AEM.01037-15.
- Tayel, A. A., EL-TRAS, W. F., Moussa, S., EL-BAZ, A. F., Mahrous, H., Salem, M. F., Brimer, L., 2011. Antibacterial action of zinc oxide nanoparticles against foodborne pathogens. *Journal of Food Safety*, 31(2), 211-218. DOI 10.1111/J.1745-4565.2010.00287.X .
- Wang, N., Liu, W., Zhang, T., Jiang, S., Xu, H., Wang, Y., ... Chen, X., 2018. Transcriptomic analysis of red-fleshed apples reveals the novel role of MdWRKY11 in flavonoid and anthocyanin biosynthesis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry | ACS Publications*, 66(27), 7076- 7086. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01273>.