ژلاتین ماهی: یک ماده تجدیدپذیر برای تولید پوشش‌های زیست تخریب‌پذیر فعال (ترجمه)

رامین هاشمی طباطبایی[1*]، حبیب اله میرزایی[2]، عبدالرضا محمدی نافچی[3]

تاریخ دریافت مقاله: دی ماه ۱۳۹۱
تاریخ پذیرش مقاله: اردیبهشت ماه ۱۳۹۲

چکیده

اغلب پوشش‌هایی که برای حفظ مواد غذایی استفاده می‌شوند، از مواد پلاستیکی سنتزی[4] ساخته شده‌اند. با این حال، به دلایل زیستی، اخیراً توجّه به پوشش‌های با قابلیت زیست تخریب‌پذیری معطوف گردیده است. ژلاتین[5] به‌طور گسترده به دلیل توانایی تهیه فیلم یکنواخت به عنوان یک پوشش و تناسب به عنوان یک پوشش خارجی برای محافظت غذا در برابر خشکی، نور و اکسیژن مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌علاوه، یکی از اولین موادی است که به‌عنوان حامل ترکیبات فعال زیستی پیشنهاد شده است. اخیراً ژلاتین با منبع ماهیان دریایی، به عنوان جایگزین ژلاتین پستانداران مورد توجّه قرار گرفته است. ویژگی‌های مکانیکی و ممانعتی این پوشش‌ها به میزان زیادی وابسته به ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی ژلاتین به ویژه ترکیب اسید آمینه[6] که بسته به گونه، به میزان زیادی تفاوت دارد و توزیع وزن مولکولی که اساساً به فراوری بستگی دارد، می‌باشد. فرمولاسیون‌های[7] متفاوت پوششی می‌توانند برای گسترش ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و اضافه نمودن کاربردهای جدید تبیین گردند. این مقاله به مرور جدیدترین منابع علمی مربوط به فیلم‌ها بر اساس ژلاتین حاصل از گونه‌های متفاوت ماهی پرداخته و راهکارهای گوناگونی را برای ارتقای ویژگی‌های فیزیکی چنین پوشش‌هایی با ترکیب ژلاتین ماهی با دیگر پلی‌مرهای زیستی همانند پروتئین ایزوله[8] سویا، روغن، اسیدهای چرب و پلی‌ساکاریدهای[9] خاص در نظر می‌گیرد. ضمن اینکه در ارتباط با استفاده از نرم‌کننده‌ها و مواد فعال سطحی مختلف نیز بحث می‌گردد. ویژگی‌های خاص همانند فعالیت‌های ضداکسیدانی[10] و ضدمیکروبی نیز می‌توانند از ترکیب ژلاتین با کیتوزان[11]، لیزوزیم[12]، اسانس[13]، عصاره‌های گیاهی یا ویتامین C به‌منظور تولید یک ماده زیستی برای بسته‌بندی مد نظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی

ژلاتین ماهی، بسته‌بندی و فیلم خوراکی.

۱- مقدمه

بسته‌بندی علاوه بر هدف ارائه اطّلاعات به مشتری و مسائل مربوط به بازاریابی، مرزی فیزیکی بین محصولات غذایی و محیط بیرون ایجاد می‌کند، از این رو موجب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
(* نویسنده مسئول: Ramin.htabatabaei@gmail.com)
۲- عضو هیات علمی گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۳- عضو هیات علمی گروه پژوهشی بایوپلی‌مر، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان.

4- Synthetic
5- Gelatin
6- Amino-acid
7- Formulation
8- Isolate
9- Polysaccharide
10- Anty oxidant
11- Chitosan
12- lysozyme
13- Essensial oil

حصول اطمینان از بهداشت و افزایش دوره مصرف مواد فاسد شدنی مخصوصاً موادی که حساس به فساد اکسیداتیو[1] و میکروبیولوژیکی[2] هستند، می‌شود. رایج‌ترین مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی کاغذ، فیبر[3]، پلاستیک، شیشه، استیل[4] و آلومینیوم هستند. معمولاً پلاستیک‌های سنتتیک[5] از نفت مشتق می‌شوند زیرا آن‌ها مزایای متعدّدی بر دیگر مواد بسته‌بندی در زمینه استحکام و وزن کم دارند. با این حال، آن‌ها به خاطر تولید مقادیر زیادی از باقیمانده‌های تجزیه‌ناپذیر، یک مسئله جدّی زیست محیطی جهانی محسوب می‌شوند. همچنین، علاوه بر ایمنی و مسائل محیطی، بازیافت پلاستیک‌ها به دلایل تکنیکی و اقتصادی پیچیده است.

بنابراین، فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر جدید تهیه شده از پلی‌مرهای زیستی خوراکی حاصل از منابع تجدیدپذیر می‌توانند شاخصی مهم در کاهش اثر محیطی پسماند پلاستیکی محسوب شوند. پروتئین‌ها، لیپیدها و پلی‌ساکاریدها، پلی‌مرهای زیستی اصلی به کار گرفته شده جهت تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌باشند. اینکه کدام ترکیبات به چه نسبتی استفاده شوند، تعیین‌کننده ویژگی‌های ماده به‌عنوان سدّی در برابر بخار آب، اکسیژن، دی اکسید کربن و انتقال لیپیدی در سامانه‌های غذایی می‌باشد. فیلم‌هایی که اساساً از پروتئین‌ها یا پلی‌ساکاریدها تشکیل شده‌اند، خواص مکانیکی و نوری مناسبی دارند، اما بسیار به رطوبت حساس بوده و ممانعت کمی را در برابر تبخیر آب ایجاد می‌کنند. این امر می‌تواند زمانی که از آن‌ها برای محصولات غذایی با میزان رطوبت بالا استفاده می‌شوند یک اشکال محسوب شود، زیرا فیلم‌های مذکور باد کرده، حل شده یا در اثر تماس با آب تجزیه می‌شوند. فیلم‌های لیپیدی نسبت به رطوبت مقاوم‌تر هستند ولی آن‌ها معمولاً مات و کمی سفت بوده و بیشتر مستعد اکسیداسیون[6] می‌باشند. به جهت حصول ویژگی‌های خاص (مانع رطوبتی و سد گازی، قابلیت حل در آب یا لیپید، رنگ، ظاهر و نیز ویژگی‌های مکانیکی و رئولوژیکی[7]) و تا حد امکان نزدیک به پلاستیک‌های تجزیه ناپذیر روش کنونی در طراحی مواد زیست تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی مواد غذایی به سمت ترکیب پلی‌مرهای زیستی، نرم‌کننده‌ها[8] واکنش‌دهنده‌ها[9] و حتّی ذرّات غیر ارگانیک رفته است.

به علاوه، غنی‌سازی این فیلم‌ها با افزودنی‌های اساسی، افزایش ارزش غذایی را به منظور ارتقا بدون تأثیر بر کیفیت محصول غذایی می‌دهد. در این رابطه، برخی از مطالعات اخیر به بررسی گسترش خصوصیات کاربردی فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر از طریق افزودن مواد طبیعی با فعالیت‌های ضداکسیدانی یا ضدمیکروبی به منظور تولید یک ماده زیستی بسته‌بندی فعال پرداختند.

ژلاتین به طور گسترده در زمینه توانایی تولید فیلم و سودمندی به عنوان یک پوشش خارجی برای محافظت غذا از خشک شدن، نور و اکسیژن مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه، ژلاتین یکی از اولین مواد مورد استفاده به عنوان یک حامل ترکیبات فعال زیستی بود. مقادیر زیادی ژلاتین سالیانه در صنعت غذا در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و به دلیل فراوانی، هزینه تقریباً کم و ویژگی‌های عملکردی عالی هر ساله به این میزان افزوده می‌شود. در سال ۲۰۰۷ تولید جهانی ژلاتین ۳۶۲۰۰۰ تن بود که از آن ۱۲۱۸۰۰ تن در اروپا تولید گردیده است. رشد سالیانه تولید ژلاتین در هفت سال گذشته حدود ٤-۳ ٪ بوده است. فراوان‌ترین منابع ژلاتین پوست گاو (۲۹/٤٪) و استخوان‌های گاو (۲۳/۱٪) می‌باشند. دیگر منابع که شامل ژلاتین ماهی نیز می‌شود، ۱/۵ ٪ کل تولید ژلاتین در سال ۲۰۰۷ را تشکیل می‌دهند. با این‌حال این درصدها در مقایسه با اطّلاعات بازاریابی مربوط سال ۲۰۰۲ دو برابر شده است شایان توجّه است زیرا این امر نشان می‌دهد که اهمیت تولید ژلاتین از منابع

1- Oxidative
2- Microbiological
3- Fiber
4- Steel
5- Synthetic
6- Oxidation
7- Rheological
8- Emollients
9- The reaction of

جایگزین گونه‌های پستانداران در حال افزایش است. پوست و استخوان، که عمدتاً شامل کلاژن هستند، در حدود ۳۰٪ ضایعات ماهی را در صنعت غذاهای دریایی تشکیل می‌دهند. افزایش علاقه به استفاده مناسب از محصولات جانبی صنعت ماهی یکی از دلایلی است که موجب رشد صنعت تولید ژلاتین ماهی در چند سال اخیر شده است.

به علاوه، به لحاظ اجتماعی- فرهنگی، ژلاتین دریایی به عنوان جایگزینی برای ژلاتین پستانداران خشکی‌زی محسوب می‌شود.

به عنوان یک قاعده، ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های ژلاتینی به ویژگی‌های مواد خام استخراج شده از گونه‌های متفاوت حیوانی و شرایط فراوری تولید ژلاتین بستگی دارد. همچنین آن‌ها به شاخص‌های فیزیکی مورد استفاده در فراوری فیلم، همانند دما و مدّت زمان خشک کردن و فرمولاسیون مواد تشکیل‌دهنده، مثل تلقیح نرم‌کننده‌ها یا واکنش‌دهنده‌ها وابسته هستند. سوربیتول[1] و گلیسرول[2] نرم‌کننده‌هایی هستند که به طور گسترده در تولید فیلم‌های بر پایه ژلاتین استفاده می‌شوند. کاک[3]، گانتارد[4] و گیلبرت[5] (۱۹۹۷) گزارش دادند که مولکول‌های هیدروفیلی[6] با وزن مولکولی کم همانند گلیسرول و سوربیتول می‌توانند به آسانی در شبکه‌های پروتئینی جای گرفته و پیوندهای هیدروژنی[7] با گروه‌های واکنش‌دهنده یا اسید آمینه‌های باقیمانده تشکیل دهند تا موجب کاهش واکنش‌های پروتئین-پروتئین شوند. به طور معمول، افزایش غلظت نرم‌کننده در یک محلول تشکیل‌دهنده فیلم، منجر به تولید فیلمی می‌شود که دارای خشکی و زبری کمتر بوده و حتّی با کاهش واکنش‌های بین دو زنجیره پلی‌مر زیستی قابلیت کشش بیشتری را دارد. با توجّه به مقاله تومازین[8] و همکاران (۲۰۰۵)؛ پوشش‌های ژلاتینی نرم شده با گلیسرول در مقایسه با موارد حاوی سوربیتول کاملاً به آب حساس بوده، به اندازه کافی مستحکم نیستند و دارای قابلیت کشش بیشتری هستند، در حالی که ترکیب گلیسرول و سوربیتول موجب تولید پوشش‌هایی با ویژگی‌های متوسطی از نظر مکانیکی، ویسکوالاستیکی[9] و محافظتی در برابر بخار آب، در مقایسه با فیلم‌های نرم شده توسط گلیسرول یا سوربیتول به تنهایی می‌شود. دیگر نرم‌کننده‌ها همانند پروپیلن گلیکول[10]، دی اتیلن گلیکول[11]، و اتیلن گلیکول نیز با ژلاتین سازگارند ولی در زمینه نتایج ویژگی‌های کاربردی، آن‌ها در مقایسه با گلیسرول بازده کمتری داشته و همچنین نرم کننده‌های با کیفیتی کمتر هستند.

فیلم‌های خوراکی می‌تواند با دو فرآیند اصلی تهیه شوند که عبارتند از: کاستینگ[12] و اکستروژن[13]فرایند تهیه فیلم که اغلب در منابع علمی گزارش می‌شود، روش کاستینگ است. به طور خلاصه، این مورد شامل حل پلی‌مر زیستی و ترکیب آن با نرم‌کننده و یا افزودنی‌ها به جهت حصول یک محلول تشکیل‌دهنده فیلم است که در پلیت‌هایی قالب‌ریزی شده و سپس با برداشت حلال، خشک می‌گردد. روش اکستروژن بر رفتار ترموپلاستیک پروتئین‌ها در سطوح رطوبت پایین تکیه دارد. فیلم‌ها می‌توانند با اکستروژن به دنبال پرس حرارتی در دماهایی که معمولاً بالاتر از ۸۰ درجه سانتی‌گراد هستند، تولید گردند. این فرایند می‌تواند بر ویژگی‌های فیلم تأثیر بگذارد ولی کاربرد آن موجب بهبود پتانسیل تجاری فیلم‌ها با ارائه مزایایی در برابر روش کاستینگ می‌گردد به عنوان مثال کار در یک سامانه پیوسته با کنترل دائم متغیرهای فرایند همانند دما، رطوبت، اندازه، شکل، و غیره را می توان نام برد. در مطالعه اخیر پارک، اسکات وایت ساید و چو[14]

1- Sorbitol
2- Glycerol
3- Cuq
4- Gontard
5- Guilbert
6- Hydrophili
7- Hydrogen
8- Thomazine

9- Viscoelastic
10- Propylene glycol
11- Dethylene glycol
12- Casting
13- Extrusion
1- Park, J. W., Scott Whiteside, W., & Cho

(۲۰۰۸)، ویژگی فیلم‌های ژلاتینی تهیه شده از پوست حیوانات به روش اکستروژن/ پرس حرارتی را با روش کاستینگ مقایسه نمودند و دریافتند که فیلم‌های تهیه شده به روش اکستروژن دارای استحکام کششی کمتر و کشیدگی بیشتر و مقادیر نفوذپذیری بخار آب (WVP)[1] بالاتر و در مقایسه با فیلم‌های تهیه شده به روش کاستینگ هستند. آن‌ها این تفاوت‌ها را بر اساس میزان تبخیر رطوبت، که در فیلم‌های تهیه شده به روش کاستینگ کمتر بوده، و وجود فضاهای کوچک در فیلم‌های تهیه شده به روش اکستروژن را تبیین نمودند.

اغلب منابع علمی در زمینه فیلم‌های ژلاتین خوراکی و یا زیست تخریب‌پذیر در ارتباط با ژلاتین‌های تجاری پستانداران هستند.

مطالعات در زمینه تولید و تعیین خصوصیات فیلم‌های تولید شده با استفاده از ژلاتین ماهی جدید بوده و تمامی ژلاتین‌های ماهی دارای ویژگی‌های تهیه فیلم مناسب، شفاف، تقریباً بدون رنگ، قابلیت حل در آب و با قابلیت کشش بالا بودند.

طبیعت نم‌گیر ژلاتین نشان‌دهنده عیب اصلی فیلم‌های ژلاتینی است زیرا آن‌ها تمایل به تورم یا حل در تماس با سطح مواد غذایی، دارای میزان رطوبت بالا هستند. جهت اجتناب از این امر، کاربرد پوشش‌های خوراکی بر پایه ژلاتین می‌تواند راهی برای طویل کردن مدّت عرضه گوشت تازه، ناگت ماهی یا آووکادو[2] برداشت شده باشد. با این حال، رویه‌های کنونی بیشتر بر فرمولاسیون فیلم‌های ژلاتینی با بهبود مقاومت در برابر آب تکیه دارند.

این مقاله به مرور جدیدترین منابع مرتبط با ژلاتین‌های ماهی و فیلم‌های تهیه شده از ژلاتین گونه‌های متفاوت ماهی پرداخته و راهکارهای گوناگونی برای ارتقای ویژگی‌های فیزیکی این فیلم‌ها و خصوصیات خاص همانند فعالیت ضدمیکروبی و ضد اکسیدانی به جهت تولید یک زیست ماده بسته‌بندی تجدیدپذیر، فعال با منشأ دریایی را مد نظر قرار می‌دهد.

۲- ژلاتین

ژلاتین یک پروتئین حاصله از هیدرولیز[3] کلاژن[4] موجود در استخوان‌ها و پوست است. منبع، سن حیوان، نوع کلاژن و روش تولید، همه به میزان زیادی بر روی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی ژلاتین تأثیر می‌گذارند. جهت تبدیل کلاژن طبیعی نامحلول به ژلاتین نیاز به پیش تیمار به منظور تجزیه پیوندهای غیرکووالانسی و بهم زدن ساختار پروتئینی داریم تا موجب تورم و شکست پیوندهای بین و درون مولکولی برای حلالیت کلاژن شویم. تیمار حرارتی متعاقب، پیوندهای کووالانسی و هیدروژنی را می‌شکند تا هلیکس[5] سه گانه بی‌ثبات شود و انتقال فرم هلیکس به کویل[6] رخ دهد و تبدیل به ژلاتین محلول صورت پذیرد. درجه تبدیل کلاژن به ژلاتین به شدّت به پیش تیمار و فرایند استخراج مرتبط است و به pH[7]، دما، و زمان استخراج بستگی دارد. دو نوع ژلاتین بسته به پیش تیمار حاصل می‌شوند. این موارد به صورت تجاری به نام ژلاتین نوع A که از شرایط پیش تیمار اسیدی حاصل می‌شود و ژلاتین نوع B که از شرایط پیش تیمار قلیایی حاصل می‌گردد، شناخته می‌شوند. کاربردهای صنعتی یک نوع ژلاتین یا نوع دیگر آن، بسته به درجه اتصالات عرضی کلاژن در مواد خام و به طبع آن به تعدادی از شاخص‌ها همانند نوع کلاژن، نوع بافت، گونه، سن حیوان و غیره بستگی دارند. مواد کلاژنی حاصل از پوست ماهی دارای درجه کم اتصال کووالانسی درون و بین زنجیری، عمدتاً باقیمانده‌های لیزین و هیدروکسی

2- Water vapor permeability
3- Avocado

4- Hydrolysis
5- Collagen
6- Helix
7- Coil

۸- یک کمیت لگاریتمی که میزان اسیدی یا بازی بودن مواد را مشخص می‌کند.

جدول ۱- شرایط استخراج و برخی ویژگی‌های ژل(به غلظت ٦/٦٧ ٪) ژلاتین پوست چندین گونه دریایی

گونه	استحکام ژل (گرم)	دمای تبدیل به ژل (درجه سانتی‌گراد)	دمای ذوب شدن (درجه سانتی‌گراد)	پیش تیمار شرایط استخراج
کاد آتلانتیک[1]	۹۵			۰/۳ ٪ سولفوریک اسید/سیتریک اسید ۰/۷ ٪ ٤٥ درجه سانتی‌گراد- ۱۲ ساعت
کاد، ماهی روغنی هـداک و مـــاهی روغنـــی پـــولاک (ژلاتین ماهی[2])		4^a	13^a	ژلاتین تجاری نوع A
		10^a	16^a	
کاد آتلانتیک[3]	۷۱	۱۰		۰/۱۲ M سولفوریک اسید/۰/۰۰۵ M سیتریک اسید ٥٦ درجه سانتی‌گراد- دو ساعت
سالمون آتلانتیک[4]	۱۰۸	۱۲		۰,۱۲ M سولفوریک اسید/۰,۰۰۵ M سیتریک اسید ٥٦ درجه سانتی‌گراد-دو ساعت
پولاک آلاسکا[5]	98^b 217^b		21.2^b 16.1^b	۰/۱ M کلسیم هیدروکسید/۰/۰۵ M استیک اسید ۵۰ درجه سانتی‌گراد-۱۸۰ دقیقه
پولاک آلاسکا[6]	186^c	4.6		۰/۲ N سولفوریک اسید/۰/۷ ٪ سیتریک اسید ٤٥ درجه سانتی‌گراد- ۱۲ ساعت
سالمون صورتی آلاسکایی[7]	216^c	5.3		۰/۲ N سولفوریک اسید /۰/۷ ٪ سیتیک اسید ٤٥ درجه سانتی گراد -دوازده ساعت
کاد[8]	۷۲	۱۲	۱۳	۰/۰۵ M استیک اسید ٤٥ درجه سانتی‌گراد- دوازده ساعت
سپرماهی[9]	۳٤۱	۱۹	۲۱	۰/۰۵ M استیک اسید ٤٥ درجه سانتی‌گراد- دوازده ساعت
مگریم[10]	۳٥۳	۱۷	۲۱	۰/۰۵ M استیک اسید ٤٥ درجه سانتی گراد- ۱۲ ساعت
هک[11]	۱۰۳	۱۱	۱٥	۰/۰۵ M استیک اسید ٤٥ درجه سانتی‌گراد- ۱۲ ساعت
مرکب[12]	۱۰	۱۳	۱۹	۰/۰۵ M استکی اسید ٤٥ درجه سانتی‌گراد- ۱۲ ساعت
مرکب[13]	۱٤۷	۱۲	۱۷	پپسین (۱/۸۰۰۰ w/w) + ۰/۰۵ M استیک اسید ٦۰ درجه سانتی‌گراد-۱۲ ساعت
اسنپر چشم درشت[14]	۱۰٦			۰,۰۵ M استیک اسید ٤٥ درجه سانتی گراد-۱۲ ساعت
اسنپر قرمز نوار قهوه ای	۲۱۹			۰,۰۵ M استیک اسید ٤٥ درجه سانتی گراد-۱۲ ساعت
پرچ نیل[15]	217^d 240^d			سولفوریک اسید تغلیظ شده ۵۰ درجه سانتی‌گراد- ns
تیلاپیا سیاه[16]	۱۸۱		۲۸/۹	۰/۲ ٪ سولفوریک اسید / ۱ ٪ سیتریک اسید ٤٥ درجه سانتی‌گراد- ۱۲ ساعت
تیلاپیا قرمز[17]	۱۲۸		۲۲/٤	۰/۲ ٪ سولفوریک اسید/۱ ٪ سیتریک اسید ٤٥ درجه سانتی‌گراد -۱۲ ساعت
کوسه (غضروف)[18]	112^e			۱/٦ N سدیم هیدروکسید ٦٥ درجه سانتی‌گراد- ۳,٤ ساعت

Ns: نامشخص **a** به ترتیب محلول ژلاتینی ۱۰ و ۳۰ ٪ **b** ژل‌ها بترتیب در ۱۰ و ۲ درجه سانتی‌گراد حاصل می‌شوند.

c ژل‌ها در دو درجه سانتی‌گراد حاصل می‌شوند. **d** ژلاتین به ترتیب از ماهی جوان و بالغ حاصل شده است.

e بر حسب **kPa** **f** محلول ژلاتینی ۳/۳ ٪ **G** به ترتیب محلول ژلاتینی ۱۰، ۷، ۵ و ۳ ٪

1- Gadus morhua 2- Norland HMW 3- G.morhua 4- Salmo salar 5- Theragra chalcogramma 6- T.chalcogramma 7- Oncorhynchus gorbuscha 8- G.morhua 9- Solea vulgaris 10- Lepidorhombus boscii 11- Merluccius merluccius 12- Dosidicus gigas 13- D.gigas 14- Priacanthus macracanthus 15- Lates niloticus 16- Oreochromis mossambicus 17- Oreochromis nilotica 18- Isurus oxyrinchus

ادامه جدول ۱

گونه	استحکام ژل (گرم)	دمای تبدیل به ژل (درجه سانتی‌گراد)	دمای ذوب شدن (درجه سانتی‌گراد)	پیش تیمار شرایط استخراج
ماهی تن باله زرد[1]	٤٢٦	١٨/٧	٢٤/٣	١,٩ ٪ سدیم هیدروکسید ٥٨ درجه سانتی‌گراد- ٤/٧ ساعت
ماهی تن[2]	١٢٦			M ٠,٢ استیک اسید ٥٠ درجه سانتی‌گراد- ١٢ ساعت
ماهی چهارگوش[3]	٧٤	١٦	١٩	١/٥ ٪ کلسیم هیدروکسید ٥٠ درجه سانتی‌گراد- ٣ ساعت
ماهی کانال[4]	252[f]			M ٠/٢ سدیم هیدروکسید/ M ٠,١١٥ استیک اسید ٥٥ درجه سانتی‌گراد- ١٨٠ دقیقه
ماهی برگ[5]	٢٣٠	18.8[g] 15.3[g] 11.8[g] 8.1[g]		٠/٢ ٪ سولفوریک اسید/ ٠,٧ ٪ سیتریک اسید ٤٥ درجه سانتی‌گراد- ١٢ ساعت
ماهی کپور علفی[6]	٢٦٧	١٩/٥	٢٦/٨	١/٢ ٪ HCl ٥٣ درجه سانتی‌گراد- ٥ ساعت
گاو	٢١٦	٢٣/٨	٣٣/٦	صنعتی

Ns: نامشخص **a** به ترتیب محلول ژلاتینی ١٠ و ٣٠ ٪ **b** ژل‌ها بترتیب در ١٠ و ٢ درجه سانتی‌گراد حاصل می‌شوند.

c ژل‌ها در دو درجه سانتی‌گراد حاصل می‌شوند. **d** ژلاتین به ترتیب از ماهی جوان و بالغ حاصل شده است.

e بر جسب **kPa** **f** محلول ژلاتینی ٣/٣ ٪ **G** به ترتیب محلول ژلاتینی ١٠، ٧، ٥ و ٣ ٪

1- Thunnus albacares 2- skipjack Katsuwonus pelamis 3- Raja kenojei 4- Ictalurus punctatus 5- Trachurus trachurus 6- Catenopharyngoddon idella

لیزین[1] (Hyl)، به همراه مشتقات آلدئیدی می‌باشند. با توجّه به این امر، معمولاً یک پیش تیمار تقریباً اسیدی برای استخراج ژلاتین نوع A از پوست ماهی استفاده می‌گردد. در ده سال اخیر، تلاش زیادی به منظور مطالعه استخراج ژلاتین از گونه‌های مختلف ماهی همانند کاد، تیلاپیا، حلوا سفید مرکب و حلوا، پولاک، سوف نیل ماهی تن باله زرد، سالمون قطبی، ماهی تن سطح آبی، کوسه، سفره ماهی، کپور علفی، اسنپر چشم بزرگ و اسنپر قرمز نوار قهوه‌ایو گربه ماهی کانال شده است. جدول(١) به طور خلاصه به بیان استحکام ژل و ثبات حرارتی(دماهای ژل شدگی و ذوب) ژلاتین‌های متفاوت استخراج شده از پوست چندین گونه ماهی می‌پردازد و به طور خلاصه برخی جزئیات شرایط استخراج آب و پیش تیمار را نشان می‌دهد. مقایسه دقیق سخت است زیرا محققان ممکن است تفاوت زیادی بین یک کار و کار دیگر قائل شوند. با این حال، در زمینه استانداردسازی اهداف، شاخص‌ها به کرّات در غلظت ژلاتین مد نظر (٦/٦٧ ٪) و دما (حدود ١٠ درجه سانتی‌گراد) آزمایش می‌شوند که در برخی موارد اجازه استحکام ژل در میزان تولید ناگهانی نرمال را می‌دهد. فرایندهای استخراج برای بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی[2] یا میزان استخراج برای مثال با استفاده از اسیدهای ارگانیک[3] متفاوت برای پیش تیمار پوست، نمک‌های متفاوت برای شستشوی پوست، تیمار با فشار بالا و هضم با کمک پپسین بیان شده‌اند.

اثر روش مورد استفاده جهت حفظ پوست ماهی(انجماد یا خشک کردن) بر ویژگی‌های ژلاتین نیز بررسی گردیده است. گزارش شده است که انجماد پوست "کفشک ماهی" بر روی ترکیب مولکولی ژلاتین‌های حاصله با کاهش میزان پلی‌مرهای با وزن مولکولی بالا و ترکیبات β و γ تأثیر دارد. این اثر استحکام ژل و توانایی بازسازی مجدّد ژلاتین را کاهش می‌دهد و با دمای نگه‌داری انجماد(٢- در برابر ٢٠- درجه سانتی‌گراد) بیشتر رشد می‌کند. در مقابل، خشک کردن پوست سفره ماهی داور با گلسیرول[4]، اتانول[5] یا نمک خشک کمی ویژگی‌های

1- Hydroxylysine

2- Rheology
3- Organic
4- Glycerol
5- Etanol

ویسکولاستیک و نقاط ذوب و ژل‌سازی را پایین می‌آورد ولی تأثیری بر روی ویژگی‌های ویسکوالاستیک[1] یا استحکام ژلی تحت تغییرات انجام شده در دمای اتاق به مدّت ۱۶۰ روز مشاهده نگردید.

ویژگی‌های فیزیکی ژلاتین عمدتاً به دو عامل بستگی دارد:

۱) ترکیب اسید آمینه که بسیار اختصاصی است (جدول ۲ را مشاهده کنید).

۲) توزیع وزن مولکولی که عمدتاً از شرایط فراوری منشأ می‌گیرد.

ژلاتین‌های دریایی خصوصاً در مورد ژلاتین‌های برگرفته از گونه‌های ماهیان سردآبی همانند کاد، سالمون یا پولاک آلاسکا از دیرباز ویژگی‌های رئولوژیکی بدتری در مقایسه با ژلاتین‌های پستاندارن را از خود نشان دادند.

این امر خصوصاً در ماهیان سردآبی عمدتاً ناشی از تعداد کمتر نواحی کلاژن غنی از پرولین و هیدروکسی پرولین است که در تشکیل نواحی هسته مسئول تشکیل ساختارهای هلیکس سه گانه نقش دارند، است. با این حال، مطالعات اخیر نشان می‌دهند که برخی ژلاتین‌های ماهیان خاص(برای مثال از تن باله زرد، تیلاپیا، و گربه ماهی)، در حالی که برتر از ژلاتین‌های پستانداران نیستند، می‌توانند سطوح مشابه کیفیت بسته به گونه‌ای که ژلاتین از آن استخراج شده و شرایط فراوری فراهم نمایند. در این منظر، گونه‌های گرم آبی همانند سفره ماهی، تیلاپیا و کپور علفی ژلاتین‌هایی را تولید می‌نمایند که دارای ویژگی‌های رئولوژیکی و ثبات دمایی

بهتری در مقایسه با ژلاتین‌های حاصله از گونه‌های سردآبی همانند کاد، سالمون یا پولاک آلاسکا هستند.

جدول ۲- ترکیب اسید آمینه ژلاتین‌های چندین گونه دریایی و پستانداران

اسید آمینه	کاد آتلانتیک	سالمون آتلانتیک	پولاک آلاسکایی	هالیبوت	سپرماهی	کپور	تیلاپیا	ماهی تن	پرچ نیل	مرکب غول پیکر	اسنپر چشم درشت	اسنپر قرمز
Hyp	۵۰	٦۰	۵۹	٦٤	٦۱	۷۳	۷۹	۷۸	۸,۰۵	۸۰	۹۱	۸٤
Asx	۵۲	۵٤	۵٤	۵۱	٤۸	٤۷	٤۸	٤٤	۵,۹۱	٦۵	٦۱	۵٦
Thr	۲۵	۲۳	۲٤	۲۲	۲۰	۲۷	۲٤	۲۱	۳,۰٤	۲٤	۳۲	۳۱
Ser	٦٤	٤٦	٦۵	٦۹	٤٤	٤۳	۳۵	٤۸	۳,۳٤	۳۷	۳۸	۳۹
Glx	۷۸	۷٤	۷۵	۹٦	۷۲	۷٤	٦۹	۷۱	۹,۸۵	۹۰	۱۰۳	۱۰۵
Pro	۱۰٦	۱۰٦	۹٦	۸٦	۱۱۳	۱۲٤	۱۱۹	۱۰۷	۱۲,۰	۹۵	۱۳٤	۱٤۱
Gly	۳٤٤	۳٦٦	۳٦۵	۳۵٦	۳۵۲	۳۱۷	۳٤۷	۳۳٦	۲۲,۱	۳۲۷	۱۹۳	۲۰٤
Ala	۹٦	۱۰٤	۱۱٤	۱۰۸	۱۲۲	۱۲۰	۱۲۳	۱۱۹	۱۰,۱	۸۹	۱۰۳	۱۰۸
Val	۱۸	۱۵	۱۱	۱۹	۱۷	۱۹	۱۵	۲۸	۲,۳۵	۲۱	۲۱	۱۷
Met	۱۷	۱۸	۱۲	۷	۱۰	۱۲	۹	۱٦	۱,۵۸	۱۳	۱۷	۱۵
Ile	۱۱	۹	۹	۸	۸	۱۲	۸	۷	۱,۲٦	۱۸	۱۰	۹
Leu	۲۲	۱۹	۱۹	۲۰	۲۱	۲۵	۲۳	۲۱	۲,۸۳	۳۲	۲۷	۲۵
Tyr	۳	۳	۲	۳	۳	۳	۲	۳	۰,۸٦	٦	٦	۵
Phe	۱٦	۱۳	۱۰	۱۲	۱٤	۱٤	۱۳	۱۳	۲,۳۱	۱۰	۲۱	۲۰
His	۸	۱۳	٦	٦	۸	٤,۵	٦	۷	۱,۱۰	۸	۱۲	۹
Hyl	٦	Nd	nd	nd	۵	٤,۵	۸	٦	۱,٤۳	۱۵	nd	nd
Lys	۲۹	۲٤	۲۷	۲۳	۲۷	۲۷	۲۵	۲۵	۳,۷۷	۱۳	۳۸	۳۸
Arg	۵٦	۵۳	۵۱	۵۰	۵۵	۵۳	٤۷	۵۲	۸,۱۵	۵۷	۹۲	۹٤

1- Viscoelastic

۳- فیلم‌های بر پایه ژلاتین ماهی

اطّلاعات برگرفته از منابع علمی تقریباً به دلیل تفاوت در نحوه آماده‌سازی فیلم، نوع و غلظت نرم‌کننده، نوع ژلاتین، روش‌های اندازه‌گیری و غیره قابل مقایسه نیستند. با توجّه به این امر، به نظر می‌رسد این امر پذیرفته شده باشد که ژلاتین‌های پستانداران فیلم‌های مستحکم‌تری را تولید می‌نمایند، در حالی که ژلاتین‌های ماهیان فیلم‌های فرم پذیرتری را تولید می‌کنند.

با این حال، همان طور که در بالا در زمان صحبت در ارتباط با ویژگی‌های ژلاتینی بیان گردید، تفاوت‌های کاربردی بسته به گونه ماهی و زیستگاه آن می‌تواند وجود داشته باشد. برای مثال، فیلم‌های تهیه شده از ژلاتین استخراج شده از پوست سوف نیل، یک گونه ماهی گرم آبی، دارای مقادیر کشیدگی و شکست مشابه ژلاتین استخوان گاو هستند. همچنین، فیلم‌های تهیه شده از گربه ماهی کانال نیز ویژگی‌های مکانیکی و محافظتی در برابر بخار آب قابل مقایسه با فیلم‌های تهیه شده از یک ژلاتین تجاری پستانداران ارائه می‌کند.

آونا- بوستیلوس[1] و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که نفوذپذیری بخار آب(WVP) فیلم‌های ژلاتینی ماهیان سردآبی به میزان بارزی کمتر از فیلم‌های تهیه شده از ژلاتین ماهیان گونه‌های گرم آبی یا ژلاتین پستاندارن می‌باشد و تمایل فیلم‌های ژلاتینی ماهی به ارائه WVP کمتر از فیلم‌های ژلاتینی حیوانات خشکی بر اساس ترکیب اسید آمینه نشان داده شد، زیرا ژلاتین‌های ماهی، به خصوص ژلاتین‌های ماهیان سردآبی، دارای مقادیر بالاتر اسید آمینه‌های آب گریز و مقادیر کمتر هیدروکسی پرولین[2] هستند. همچنین، با استفاده از فرایند یکسان و شرایط نرم‌کنندگی برابر(سوربیتول یا گلیسرول، ۳۰-۲۵ ٪ محتوای ژلاتینی)، WVP پوشش‌های ژلاتینی پوست ماهی هالی بوت و فیلم‌های ژلاتینی پوست ماهی تن(گومز-گیلن[3] و همکاران، ۲۰۰۸) نیز مقادیری کمتر از فیلم‌های ژلاتین پستانداران داشتند. نوع و غلظت نرم‌کننده یک عامل حیاتی است و به دلیل گروه‌های OH- آب دوست، سوربیتول و گلیسرول موجب افزایش نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های ژلاتین صرف‌نظر از منبع ژلاتین می‌شوند و این اثر مستقیماً به غلظت نرم‌کننده برمی‌گردد.

٤- اثر ویژگی‌های ژلاتین بر خصوصیات فیلم

همان طور که ذکر گردید، توزیع وزن مولکولی و ترکیب اسید آمینه، عوامل اصلی تأثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری ژلاتین هستند و از این رو آن‌ها نقشی کلیدی در ویژگی‌های محافظتی و رئولوژیکی فیلم‌های حاصله بازی می‌کنند. با بررسی توزیع وزن مولکولی، مویونگا[4] و همکاران (۲۰۰٤ الف، ۲۰۰٤ ب) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فیلم‌های تهیه شده از ژلاتین‌های استخراج شده از پوست و استخوان سوف نیل را به دنبال پیش تیمار اسید ضعیف با M ۰/۰۱ سولفوریک اسید و متعاقب آن گرم کردن در دماهای مختلف در آب(از ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد) مقایسه نمودند. آن‌ها مشاهده کردند که ژلاتین استخراج شده از استخوان‌های سوف نیل که حاوی نسبت بالاتری از اجزا با وزن مولکولی کم در نتیجه حرارت شدید مورد نیاز برای استخراج است، نیروی کششی کمتر ولی درصد کشیدگی بالاتر از فیلم‌های تهیه شده از ژلاتین استخراجی پوست می‌باشند. از آنجایی که ترکیبات اسید آمینه مشابه بود، تفاوت در ویژگی‌های عملکردی بین فیلم‌های ژلاتین استخوانی و پوستی عامل تفاوت در توزیع وزن مولکولی ژلاتین‌های مرتبط است.

در مطالعه اخیر، ژلاتین‌های با کیفیت متفاوت از پوست گربه ماهیان با استفاده از روش‌های پیش تیمار قلیایی و یا اسیدی به دنبال استخراج ژلاتین در آب گرم در ۵۰ درجه سانتی‌گراد آماده گردید. پیش تیمار ترکیبی

1- Avena-Bustillos
2- Hydroxy prolin
3- Avena-Bustillos
4- Muneca

قلیایی (۰/۲۵ M سدیم هیدروکسید)/ اسید (۰/۰۹ M استیک اسید) ژلاتین با اجزای دارای وزن مولکولی بالاتر که دو باند پروتئینی اصلی را نشان داد که به زنجیره‌های آلفا و بتا کلاژن نسبت داده شد. فیلم‌های حاصله در مقایسه با فیلم‌های حاصل از ژلاتین حاوی اجزای دارای وزن مولکولی کمتر، دارای مقادیر کشیدگی کمتر و نیروی کششی بیشتر بود.

اخیراً، کاروالیو[1] و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که اضافه نمودن یک سطح غلظت با تبخیر در ۶۰ درجه سانتی‌گراد پیش از خشک کردن پاششی ژلاتین پوست هالیبوت قطبی[2] موجب تفاوت‌های قابل اندازه‌گیری در ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های حاصله شد. تفاوت در رفتار مکانیکی این فیلم‌ها به تفاوت‌های ناچیز در توزیع وزن مولکولی دو نوع ژلاتین، ناشی از رسوب حرارتی پروتئین حین مرحله تبخیر با از دست دادن ترکیبات بتا، گاما و تجزیه نسبت طبیعی 2α1:α2 نسبت داده شد. در ادامه، این مؤلفین نتیجه گرفتند که ژلاتین با ویژگی غالب بودن شکست با وزن مولکولی کمتر بر اثر نرم‌کنندگی بیشتر با مولکول‌های سوربیتول، موجب به حداکثر رسانی طول شکست و کاهش نیروی کششی فیلم‌های حاصله می‌گردد.

نقش توزیع وزن مولکولی در ژلاتین در تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی فیلم‌ها نیز بسته به وجود و غلظت نرم‌کننده در فرمولاسیون دارد. تمامی مطالعات فوق‌الذکر مشمول نرم‌کننده یعنی گلیسرول یا سوربیتول می‌شدند.

با توجّه به این امر، برای غلظت مورد نظر یک نرم‌کننده، فیلم‌های تهیه شده با استفاده از یک پلی‌مر زیستی دارای وزن مولکولی کم می‌توانند تا درجه بیشتری نرم شوند، زیرا نسبت مولار[3] نرم‌کننده: پلی‌مر زیستی بالاتر بود.

اثر نوع و غلظت نرم‌کننده بر فیلم‌های ژلاتین ماهی نیز بررسی گردید. در فیلم‌های حاصله از ژلاتین پوست اسنپر چشم درشت یا اسنپر قرمز نوار قهوه‌ای، گلیسرول بیشترین طول شکست را داد در حالی که فیلم‌های نرم شده با استفاده از اتیلن گلیکول بیشترین نیروی کششی را داشتند. نیروی کششی هر دوی این فیلم‌های ژلاتین پوست ماهی با غلظت گلیسرول یا سوربیتول کاهش می‌یافت در حالی که طول شکست با افزایش غلظت نرم‌کننده از ۲۵ تا ۷۵ ٪ میزان پروتئین افزایش یافت. هر دو ژلاتین دارای یک آمینو اسید مشابه(پرولین و هیدروکسی پرولین) بودند ولی بر اساس توزیع وزن مولکولی، ژلاتین پوست اسنپر چشم درشت با غلظت کمتر اجزا دارای وزن مولکولی بالا با افزایش همراه پپتیدهای رسوبی، در مقایسه با ژلاتین پوست اسنپر قرمز نوار قهوه‌ای مشخص بود. نیروی کششی فیلم‌های تهیه شده از ژلاتین پوست اسنپر چشم درشت کمتر از فیلم‌های ژلاتین پوست اسنپر قرمز نوار قهوه‌ای بود. همان طور که قبلاً تشریح گردید، غالب بودن اجزا دارای وزن مولکولی بالا در ژلاتین عامل اصلی در افزایش استحکام فیلم‌های حاصله است، گرچه در این مطالعه مقادیر کشیدگی برای دو ژلاتین دقیقاً مشابه بود.

در مطالعه‌ای دیگر که به مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی فیلم‌های حاصل شده از ژلاتین پوست هالیبوت[4] و ماهی تن پرداخت، هر دو پیش تیمار با اسید ملایم(۰/۰۵ M استیک اسید) و استخراج متعاقب با حرارت‌دهی در آب به دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، دارای وزن میانه مولکولی کمتر از ژلاتین هالیبوت بود که عاملی مهم برای کاهش شکست استحکام و میزان تغییر شکل بالاتر فیلم‌های مرتبط محسوب می‌شود. ضمناً لازم به ذکر است که هر دو با ۲۵-۱۵ ٪ سوربیتول نرم شده بودند.

وقتی که ژلاتین از گونه‌های متفاوت ماهی حاصل گردید، باید توجّه خاصی نه تنها به توزیع وزن مولکولی بلکه به ترکیب اسید آمینه خصوصاً اسید آمینه‌های شاخص در ژلاتین مثل گلیسین[5]، پرولین[6] و هیدروکسی پرولین(این ترکیب سه گانه اسید آمینه در مولکول‌های کلاژن غالب

1- Carvalho
2- Hippoglossus hippodlossus
3- Molar
4- Halibut
5- Glycine
6- Proline

است.) مبذول گردد. حلقه‌های پیرولیدین[1] آمینواسیدها می‌توانند محدودیت‌های ترکیبی را القا نمایند و موجب القای درجه خاصی از استحکام مولکولی شوند که می‌توانند بر روی شکل‌پذیری فیلم تأثیر بگذارد. مطالعه اخیر به مقایسه فیلم‌های ساخته شده از ژلاتین پوست ماهی تن[2] و ژلاتین پوست گاو در شرایط یکسان پرداخت. هر دو فیلم با ترکیبی از گلیسرول و سوربیتول نرم شده و دارای مقادیر حداکثری استحکام شکست مشابه بودند ولی فیلم‌های ژلاتین پوست ماهی تن دارای مقادیر تغییر شکل شکست[3] ده برابر بیشتر از مقادیر فیلم‌های ژلاتین پوست گاو بودند. میزان پرولین و هیدروکسی پرولین در ژلاتین پوست گاو (۲۱۰/۱۰۰۰ باقی‌مانده) بالاتر از ژلاتین پوست ماهی تن (۱۸۵/۱۰۰۰ باقی‌مانده) بود. هر دو ژلاتین دارای مقادیر مناسب پلی‌مرهای با وزن مولکولی بالا (بیش از ۲۰۰ kDa) بودند. ترکیبات β بسیار بیشتری در ژلاتین ماهی بود، در حالی که شکست پلی‌پپتیدی کمتر از ۱۰۰ kDa در ژلاتین پوست گاو بیشتر دیده شد. ویژگی‌های ویسکوالاستیک محلول‌های تشکیل‌دهنده فیلم نشان‌دهنده توانایی ژل‌پذیری بیشتر ژلاتین پوست گاو بر طبق ویژگی‌های اسید آمینه پرولین و هیدروکسی پرولین به میزان غنی‌تری بوده است. با این حال، این تفاوت برای بیان استحکام قطعاً بالاتر در مورد فیلم‌های ژلاتینی پستانداران کافی نبود که دلیل آن شاید این باشد که نقش تثبیت‌کنندگی مولکول‌های آب و دمای سرد در فیلم‌ها دارای اهمیت کمتری در مقایسه با هیدروژل‌ها است. در این منظر، ساختار هلیکس سه گانه با دهیدراسیون[4] هم دما[5]ی فیلم‌ها کاهش یافت. به علاوه، میزان بالاتر ترکیبات β در ژلاتین ماهی نیز می‌تواند به میزان قابل توجّهی سبب استحکام فیلم‌های حاصله شود. با این حال، مقادیر تغییرپذیری بسیار بالاتر برای ژلاتین پوست ماهی تن نمی‌تواند بر اساس توزیع وزن مولکولی توجیه شود زیرا ژلاتین پوست گاو دارای مقادیر بالاتر شکست پپتیدی هیدرولیز شده است که تقریباً با مولکول‌های نرم‌کننده واکنش نشان می‌دهند. از این رو، میزان پایین‌تر آمینو اسید ژلاتین پوست ماهی تن به عنوان محتمل‌ترین دلیل برای میزان بالاتر تغییرپذیری محسوب می‌شود.

تمامی این مطالعات تأیید می‌کنند که علاوه بر تفاوت‌های موجود در فرایندهای تهیه فیلم، نوع و غلظت نرم‌کننده و غیره، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ژلاتین، خصوصاً در ارتباط با ترکیب اسید آمینه و توزیع وزن مولکولی، نقشی کلیدی در تعیین خصوصیات فیلم‌ها ایفا می‌کند.

۵- ترکیب ژلاتین ماهی و دیگر پلی‌مرهای زیستی

ویژگی‌های مکانیکی و محافظتی فیلم‌های ژلاتین ماهی می‌تواند با تولید فیلم‌های ترکیبی با استفاده از پلی‌مرهای زیستی متفاوت همانند پروتئین‌ها، لیپیدها، و پلی‌ساکاریدها بهبود یابد. صرف نظر از جنبه‌های تکنیکی، می‌تواند دلایل اقتصادی برای در نظر داشتن تولید فیلم‌های ترکیبی با ترکیب ژلاتین با دیگر پلی‌مرهای زیستی نیز وجود داشته باشد.

به عنوان یک پروتئین حیوانی، ژلاتین گران‌تر از پروتئین‌های با منبع گیاهی همانند ایزوله پروتئین سویا (SPI)[6] است که ترکیبی از تعدادی آلبومین[7] و گلوبولین‌ها[8] از جمله اجزا 7S و 11S می‌باشد که به ترتیب حدود ۳۷ و ۳۱٪ کل پروتئین قابل استخراج را تشکیل داده‌اند. ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های مخلوط ژلاتین استخوان گاو و ایزوله پروتئین سویا (SPI) توسط کائو[9] و همکاران (۲۰۰۷ الف) تشریح گردید و دریافتند که افزایش نسبت SPI در فیلم مذکور موجب کاهش نیروی کششی،

1- Pyrrolidine
2- Thynnus thynnus
3- The failure
4- Dehydration
5- The temperature

6- Soy protein isolate
7- Albumin
8- Globulin
9- Cao

طول شکست و قابلیت تورم فیلم‌ها می‌شود. در واقع، فیلم‌های SPI با ویژگی‌های تقریباً ضعیف و شکننده شناخته می‌شوند. در مطالعه اخیر با استفاده از ژلاتین پوست کاد، فیلم‌های مخلوط با افزودن نسبت‌های متفاوت یک SPI آماده شده در آزمایشگاه (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ w/w) و مخلوط گلیسرول- سوربیتول به عنوان نرم‌کننده حاصل گردیدند. (دناوی[1] و همکاران، ۲۰۰۷) فرمولاسیون ۲۵٪ SPI/ ۷۵٪ ژلاتین پوست کاد دارای حداکثر نیروی شکست (تقریباً ۷ نیوتن) در مقایسه با فیلم‌های ۱۰۰ ٪ ژلاتین و ۱۰۰ ٪ SPI بود.(به ترتیب ۱/۸ و ۲/۸ برابر بالاتر) به علاوه، این فرمولاسیون درصد تغییر شکل مشابه فیلم ژلاتینی(تقریباً ۸۰ ٪) و نفوذپذیری بخار آب تقریباً پایینی را مشابه فیلم ۱۰۰ ٪ SPI (2×10^{-8} gmm h^{-1} cm^{-2} Pa^{-1}) فراهم نمود. از این رو، فیلم‌های مرکب ساخته شده از ژلاتین و SPI می‌توانند دارای اغلب ویژگی‌های مثبت هر ترکیب پروتئینی به طور مجزا باشند.

ویژگی آبدوستی فیلم‌های ژلاتینی می‌تواند مشکلی در کاربردهای خاص محسوب شود، از این رو علاقه به تولید ترکیباتی جهت تقویت نواحی آبدوست در فیلم‌ها و متعاقباً کاهش WVP و قابلیت انحلال در آب با استفاده از ترکیباتی نظیر روغن یا موم وجود دارد. دو روش اصلی اضافه‌سازی روغن به فرمولاسیون فیلم (با امولسیون نمودن محلول‌های تشکیل‌دهنده فیلم) یا با تهیه فیلم‌های دولایه ترکیبی ژلاتین‌های پوست اسپنر چشم درشت و اسپنر قرمز نوار قهوه‌ای با اسیدهای چرب(اسید پالمتیک و اسید استئاریک) یا استرهای ساکاروز اسیدهای چرب[2](FASEs) وجود دارد.

خاصیت نفوذپذیری به بخار آب (WVP) در فیلم‌های مخلوط حاصله به طور محسوسی کاهش می‌یابد. با اضافه‌سازی اسیدهای چرب نیروی کششی کاهش می‌یابد، در حالی که با اضافه‌سازی استرهای ساکاروز اسیدهای چرب نیروی کششی به طور پیشرونده رو به افزایش است. افزایش بارز طول شکست نیز در زمان اضافه نمودن استرهای ساکاروز اسیدهای چرب به فیلم‌ها به نسبت ۲۵ ٪ ثبت گردیده است.

محلول‌های امولسیون شده تشکیل‌دهنده فیلم که از ژلاتین پوست کاد و نسبت‌های افزایشی روغن آفتابگردان (۰، ۰/۳، ۰/۶ و ۱ ٪ w/w) ساخته شده‌اند، فیلم‌های مرکب مات سفید با میزان WVP کمتر تولید می‌نمایند. ماکزیمم نیروی شکست بسته به میزان روغن اضافه شده ۶۰-۳۰ ٪ کاهش می‌یابد. این محققین همچنین گزارش نمودند که هر چه غلظت روغن در فیلم بیشتر باشد، اجزاء پروتئینی در ماده محلول در آب کمتر است که به احتمال زیاد نتیجه واکنش‌های ژلاتین- روغن در فیلم است که موجب انحلال‌ناپذیری پروتئین می‌گردد. واکنش‌های پروتئین- لیپید(پیوندهای هیدروژنی و تشکیل استر) و نیز اکسیداسیون زود هنگام روغن که با اسپکتروسکوپی[3] FTIR مشاهده گردیده است، مرتبط با تغییرات ساختار فیلم‌های مرکب ژلاتین- روغن است. تغییرات مذکور پس از نگه‌داری فیلم در دمای اتاق به مدّت یک ماه بیشتر مشخص گردید و موجب کاهش ناچیز در نفوذ پذیری بخار آب و خواص رئولوژیکی گردید. لازم به ذکر است که فیلم‌های ژلاتینی پوست کاد که تقریباً به طور کامل در آب حل می‌شوند، در طی زمان نگه‌داری تقریباً غیرمحلول می‌گردند. انحلال بالای فیلم‌های خوراکی که به تازگی از ژلاتین پوست کاد ساخته شده‌اند نیز توسط پیوتروزاکا[4]، کولودزیسکا[5] و وجاتس- پاجاک[6] (۲۰۰۵) گزارش گردیده است.

همچنین ژلاتین ماهی با تعدادی از پلی‌ساکاریدها همانند ژلان[7] و کاپاکاراگینان[8]، پکتین یا کیتوزان ترکیب شده است. اضافه‌سازی ژلان یا کاپاکاراگینان سبب افزایش نیروی کششی و ویژگی‌های محافظتی در برابر بخار آب

1- Denavi
2- Sucrose esters of fatty acids

3- Spectroscopy
4- Piotrowska
5- Kolodziejska
6- Wojtasz-Pajak
7- Zhlan
8- Kappa-carrageenan

در پوشش‌های ژلاتین پوست تیلاپیا می‌شود ولی در همین حال، فیلم‌هایی کمی تیره‌تر تولید می‌کند. این محققین میزان کشیدگی پایینی (۵٪) برای فیلم ژلاتینی تیلاپیا[1]، پایین‌تر از فیلم‌های ژلاتینی پستانداران گزارش نموده‌اند. با این حال، باید ذکر نمود که هیچ جا اشاره به استفاده از هر گونه نرم‌کننده نشده است و در این حالت، کشیدگی کمی با اضافه‌سازی ژلان یا کاپاکاراگینان افزایش می‌یابد. آنالیز[2] FTIR و کالری‌متری روبشی افتراقی[3] (DSC) نشان‌دهنده واکنش مؤثر بین مولکول‌های ژلاتین و پلی‌ساکاریدها است که ژلان در ارتقای ویژگی‌های مکانیکی و محافظتی در برابر آب بهتر عمل می‌کند.

فیلم‌های مرکب نیز از ژلاتین ماهی نوع B و پکتین مرکبات به منظور ارتقای ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های خوراکی بر پایه پکتین تهیه گردیده‌اند. در مقایسه با فیلم‌های پکتینی، فیلم‌های مرکب استحکام بیشتر و قابلیت انحلال و میزان انتقال آب کمتری را نمایش داده‌اند. ویژگی‌های مکانیکی و مقاومت در برابر آب به میزان زیادی با تیمار فیلم‌های مرکب با گلوتارآلدئید[4]/ متانول[5] بهبود یافت که باعث کاهش فضای درون شبکه‌ای در میان ماکرومولکول‌ها به دلیل اتصال گسترده شیمیایی گردید.

استفاده از عوامل اتصال‌دهنده متفاوت نیز برای فیلم‌های ژلاتین ماهی گزارش گردیده است. یی، کیم، بی، وایت ساید و پارک[6] (۲۰۰۶) فیلم‌هایی با استفاده از یک ژلاتین ماهی سردآبی دارای وزن مولکولی بالا که با سوربیتول نرم شده بود به وسیله القای اتصال آنزیمی با یک ترانس گلوتامیناز میکروبی[7] (MTGase) تهیه نمودند. نیروی کششی و میزان نفوذ اکسیژن فیلم‌های بهبود یافته با MTGase افزایش، در حالی که کشیدگی کاهش یافت. ویژگی‌های محافظتی و مکانیکی فیلم‌های ژلاتینی بر اساس میزان کلی ماتریکس فیلم آزاد قابل توجیه بودند. به دلیل ساختارهای هلیکس سه گانه موجود در مولکول‌های ژلاتین، ماتریکس ژلاتین معمولاً فشرده است و موجب نفوذ کم اکسیژن می‌گردد. پیوندهای کووالانسی درون و برون مولکولی تشکیل شده توسط MTGase می‌تواند سبب افزایش میزان ماتریکس آزاد پلی‌مر با جلوگیری از تشکیل ساختار هلیکال[8] گردد. تعداد پایین‌تر ساختارهای هلیکال می‌تواند سبب کاهش انعطاف‌پذیری ماتریکس ژلاتینی گردد، در حالی که درجه بالاتر اتصال می‌تواند استحکام آن را افزایش دهد.

اتصال آنزیمی و شیمیایی که به ترتیب به وسیله ۱- اتیل-۳- (۳- دی متیل آمینوپروپیل[9])کربودیمید[10] (EDC) و MTGase القا می‌گردند می‌توانند حلالیت فیلم‌های کیتوزان-ژلاتین کاد را کاهش دهند و به لحاظ شیمیایی اتصال با تیمار آنزیمی کارآمدتر است. به علاوه، اتصال آنزیمی شکنندگی فیلم را افزایش داده و استفاده از نرم‌کننده‌ها را ضروری می‌نماید. در مطالعه اخیر همین مؤلفین گزارش نمودند که اضافه نمودن گلیسرول به غلظت حداکثر ۳۰٪ حلالیت یا WVP فیلم‌های بهبود یافته با MTGase را تغییر نمی‌دهد بلکه ضمن افزایش توأم کشیدگی، موجب کاهش نیروی کششی می‌گردد. طبیعت آبدوست نرم‌کننده‌های اضافه شده می‌تواند WVP را افزایش داده و اثر اتصال القایی توسط MTGase را بپوشاند. به نظر می‌رسد این فیلم‌های دارای پیوند کیتوزان-ژلاتین کاملاً زیست تخریب‌پذیر باشند زیرا آن‌ها به تجزیه توسط پروتئیناز N از باسیلوس سوبتیلیس[11]، یک میکروارگانیسم موجود در طبیعت حساس هستند.

کیتوزان نیز به عنوان یک ترکیب ارزشمند برای استفاده در تولید فیلم‌های بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر محسوب

1- Tilapia
2- Fourier transform infrared
3- Differential scanning calorimetry
4- Aldehyde
5- Methanol
6- Yi, Kim, Bae, Whiteside , Park
7- Microbial transglutaminase

8- Helical
9- Aminopropyl
10- Ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl)carbodiimide
ترکیبی که برای فعال کردن گروه‌های کربونیل به ویژه بنیان کربوکسیلیک اسید به کار می‌رود.
11- Bacillus subtilis

می‌شود زیرا اثبات شده که این ماده غیرسمی، زیست تخریب‌پذیر و سازگار با محیط زیست است. این پلی‌مر N-استیل-D- گلوکوزامین[1] از کیتین طبیعی(یکی از فراوان‌ترین پلی‌مرهای طبیعی در ارگانیسم‌های طبیعی موجود در سخت‌پوستان، حشرات و قارچ‌ها) پدید می‌آید. مطالعاتی در زمینه فیلم‌های خوراکی با ترکیب ژلاتین و کیتوزان(معمولاً از صدف‌های سخت‌پوستان) انجام شده است. ژلاتین و کیتوزان اساساً با پیوندهای یونی و هیدروژنی واکنش می‌دهند از این رو بر ویژگی‌های فیزیکی ترکیبات تأثیر گذاشته و به کاربردهای درمانی و دارویی برای تولید نسل جدید از ایمپلنت‌های[2] مصنوعی، پوشاننده‌های زخم، پوست مصنوعی، لنزهای تماسی، داروهای کپسولی، بخیه‌های جراحی و از این قبیل کمک می‌کنند.

ژلاتین استخراج شده از پوست ماهی تن به منظور تولید فیلمی مرکب با کیتوزان(۹۵ ٪ استیل‌زدایی شده) برگرفته از کیتین پوسته میگو به نسبت ژلاتین: کیتوزان ۲:۱/۵ توسط مونترو و گومز-گویلن[3] (۲۰۰۰) استفاده گردید. فیلم‌های مذکور با گلیسرول+ سوربیتول (۳۰ گرم سوربیتول + گلیسرول به ازای هر ۱۰۰ گرم ژلاتین + کیتوزان) نرم شدند. آنالیزهای دینامیک[4] ویسکوالاستیسیته[5] که در محلول‌های تشکیل‌دهنده فیلم اجرا شده، نشان‌دهنده واکنش محسوس بین پلی‌مرها است که فیلم‌های مستحکم‌تری با ژلاتین پوست ماهی تن در مقایسه با ژلاتین پوست گاو تولید می‌نمایند. این واکنش موجب افزایش استحکام و کاهش شکل‌پذیری و حلالیت در آب فیلم مرکب در مقایسه با یک فیلم خالص ژلاتینی می‌شود. گرچه WVP بدون تغییر باقی می‌ماند.

٦- ترکیب ژلاتین ماهی و ترکیبات ضداکسیدانی و ضدمیکروبی

تا به امروز، کیتوزان به طور گسترده نه تنها به دلیل توانایی تولید فیلم آن بلکه به دلیل ویژگی‌های ضد اکسیدانی و ضدمیکروبی آن مورد استفاده قرار گرفته است. از فیلم خوراکی ژلاتین (حیوانی) محتوی کیتوزان، برای افزایش عمر نگه‌داری ساردین دودی سرد[6] استفاده شد. استفاده از فیلم مذکور موجب کاهش تعداد میکروب‌های هوازی و میکروارگانیسم‌های تولیدکننده H_2S تا ۳-۲ log چرخه در طی دوره نگه‌داری در ۵ درجه سانتی‌گراد به مدّت ۲۰ روز در مقایسه با ساردین دودی سرد فاقد فیلم شد. با این حال، این فیلم از اکسیداسیون لیپید که توسط روش TBARs[7] (مواد رآکتیو اسید تیوباربیتوریک[8]) و میزان پراکسید اندازه‌گیری شد، جلوگیری نکرد. گزارش شده است که فیلم‌های کیتوزان اکسیداسیون اولیه و ثانویه لیپید را در شاه ماهی و کاد قطبی جلوگیری می‌کند. که اغلب در نتیجه ویژگی‌های مناسب محافظتی در برابر اکسیژن می‌باشد. به علاوه، ژو، یو، هیراتا، ترائو و لین[9] (۱۹۹۸) گزارش نمودند که مکانیسم ضداکسیدانی کیتوزان می‌تواند دارای فعالیت درگیرکنندگی[10] یون‌های فلزی و یا پیوند با لیپیدها باشد. از این رو، احتمالاً از هر دو مکانیسم ضداکسیدانی در نتیجه واکنش‌های کیتوزان-ژلاتین در فیلم‌های مرکب جلوگیری می‌شود.

پوششی تهیه شده از ترکیب کیتوزان و ژلاتین پوست حلوا سفید برای ناگت ماهی به کار گرفته شد تا پتانسیل پوشش به عنوان یک محافظ ارزیابی شود.، شرایط توصیه شده جهت نگه‌داری ناگت‌های ماهی(تحت شرایط نگه‌داری در یخچال)، این ترکیب قادر به تشکیل یک ژل

1- Glucosamine
2- Implants
3- Gomez-Guille
4- Dynamic
5- Viscoelasticity

6- Sardina pilchardus
7- Thiobarbituric acid reactive substances
8- Thiobarbituric acid reactive
9- Xue, Yu, Hirata, Terao, Lin
10- Chilating

قوی است که به عنوان یک سد محافظتی باریک که در پخت و پز آب می‌شود، عمل می‌کند. اثر پوشش مذکور بر رنسیدیتی[1] مقادیر TBARs پایین ثبت شده در کاد تیمار نشده، قطعاً تعیین نشده است. با این حال، پوشش مذکور از فساد ناگت ماهی جلوگیری می‌کند و فساد ماهی را به تأخیر می‌اندازد.

اسانس‌ها در فرمولاسیون فیلم خوراکی تهیه شده از پلی‌مرهای گوناگون تشکیل‌دهنده فیلم، همانند کیتوزان و پروتئین‌های شیر منظور گردیده‌اند و به عنوان مواد ضدمیکروبی برای بسته‌بندی مواد غذایی نتایجی در بر داشته‌اند. گومز- استاکا، لوپز دلاسی، گومز-گویلن، لوپز-کابالرو و مونترو[2](۲۰۰۸) فیلم‌هایی از یک ژلاتین گربه ماهی تجاری ترکیبی با کیتوزان و روغن ضروری میخک تهیه کردند و به نتایج خوبی در برابر سودوموناس فلورسانس[3]، لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس[4]، لیستریا اینوکوآ[5] و اشرشیاکلی[6] در محیط آزمایشگاهی رسیدند. همچنین فرمولاسیون مشابهی تعداد باکتری کلی را تا ۲ log چرخه در زمان استفاده برای نگه‌داری سالمون برش یافته خام در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد به مدّت ۱۱ روز به تأخیر انداخت.

فیلم‌های خوراکی با ویژگی‌های ضدمیکروبی نیز از ژلاتین پوست ماهیان سردآبی با لیزوزیم اضافه شده، یک آنزیم ضدمیکروبی ایمن، ساخته‌اند. فیلم‌های دارای لیزوزیم در مقایسه با فیلم‌های شاهد، کمی افزایش در نفوذپذیری به آب نشان دادند و در برابر باکتری‌های گرم مثبت همانند باسیلوس سوبتیلیس[7] و استرپتوکوکوس کرموریس[8] مؤثر بودند. با این حال، این فیلم‌ها رشد اشریشیا کلی را غیرفعال نمی‌کردند زیرا لیزوزیم قادر به نفوذ به لایه لیپوپلی‌ساکاریدی[9] باکتری‌های گرم منفی نیست.

ترکیبات شیمیایی نامناسب و طعم تندشدگی در غذا حاصل از اکسیداسیون لیپیدها می‌باشد که باعث کاهش کیفیت و مدّت زمان نگه‌داری می‌شود. به دلیل ملاحظات "برچسب‌گذاری شفاف"، توجّه رو به افزایشی به استفاده از عصاره‌های گیاهی به عنوان ترکیبات پلی‌فنولی به جای ضداکسیدان‌های سنتزی جهت حفظ غذا شده است. پلی‌فنول‌ها تقریباً با فرمولاسیون‌های فیلم ژلاتین خوراکی به جهت تولید مواد بسته‌بندی فعال مخلوط می‌شوند. برای مثال، اخیراً مشخص گردیده است که قسمت قابل توارث نطفه مورتا[10]، یک بوته وحشی در شیلی جنوبی، منبعی از ضداکسیدان‌های پلی‌فنولی است. دو عصاره آبی استخراج شده از برگ‌های گونه‌های متفاوت مورتا ([11] و[12]) به فیلم‌های ژلاتینی پوست ماهی تن اضافه شدند. میزان فنول بالای این عصاره‌ها موجب رنگی شدن فیلم‌های مرکب حاصله به رنگ زرد-قهوه‌ای و ارتقای ویژگی‌های محافظتی آن‌ها در برابر نور گردید که این امر با قرار دادن فیلم‌ها در معرض نور با طول موج ۶۹۰ تا ۲۰۰ نانومتر و اندازه‌گیری جذب مشخص گردید. میزان پلی‌فنول بالاتر گونه سلویا چیکو[13]، فعالیت ضداکسیدانی فیلم را که با روش FRAP (توانایی کاهش آهن پلاسما) اندازه‌گیری شده، افزایش داد، اما موجب کاهش ویژگی‌های مکانیکی فیلم به دلیل واکنش شدیدتر بین پلی‌فنول‌ها و پروتئین‌های مذکور گردید.

مطالعه‌ای دیگر با استفاده از عصاره‌های آبی پونه کوهی[14] و رزماری[15] از برگ‌های خشک شده به روش انجمادی تهیه گردید. فیلم‌های مذکور از ژلاتین پوست ماهی تن تهیه گردیده و عصاره‌های رزماری و پونه کوهی

1- Rancidity
2- Gomez-Estgca, Lopez-Delacey, Gomez-Guillen , Montero
3- Pseudomonas fluorecsence
4- Lactobacillus acidophilus
5- Listeria innocua
6- Escherichia coli
7- Bacillus subtilis
8- Streptococcus cremoris

9- Lipo polysaccharide
10- Urni molinae Turcz
11- Soloyo Grande
12- Soloyo Chico
13- Soloyo Chico
14- Organum vulgare
15- Rosmarinus officinalis

به غلظت مشابه فنـول اضـافه گردیدنـد. متعاقبـاً عـصاره‌هـا، موجب افزایش فعالیت ضداکسیدانی فیلم‌ها شدند که این امر به روش توانایی کاهش آهن پلاسما[1] FRAP اندازه‌گیری شد. ضمناً عـصاره پونـه کـوهی موجـب افـزایش ۱/۷ برابـری در مقایسه با عصاره رزماری گردید. از آنجایی که غلظـت کلـی فنول مشابه بود، تفاوت به ترکیب کیفی عصاره‌ها نـسبت داده شد. برای مثال، اسید رزمارینیک[2]، فراوان‌ترین فنول در هر دو عصاره، در عصاره پونه کوهی بیشتر از عصاره رزمـاری بـود. همچنین عصاره پونه کوهی حاوی مقادیر محـسوس گالیـک اسید[3] و پروتوکاتچویک اسید[4] و عصاره رزمـاری تنهـا دارای کلروژنیک[5] اسـید بودنـد. ایـن تفـاوت‌هـا بـر روی فعالیـت ضداکسیدانی عصاره‌ها و نیز درجه واکنش ژلاتین- پلی‌فنـول تأثیر گذاشتند که بر اساس تعیین مقـدار کلـی فنولیـک‌هـای موجود در فیلم‌ها، در فیلم ژلاتین-رزماری ایـن تـأثیر بیـشتر بود. متعاقباً، فعالیت بالقوه ضـداکـسیدانی فـیلم‌هـای حـاوی عصاره رزماری کمتر از فیلم‌های حاوی عصاره پونـه کـوهی بود.

جهت حصول اطمینان از تأثیر فیلم‌های ژلاتینی غنی شده با عصاره‌های آبی پونه کوهی یـا رزمـاری بـر مـدّت قابلیـت نگه‌داری ماهی، آزمایشی با استفاده از سـاردین دودی سـرد[6] تحت فشار بالا (300 MPa/20°C/15min)، به تنهـایی یـا بـه همراه فیلم فعـال انجـام شـد. مـاهی فاقـد پوشـش مقاومـت خاصی را به اکسیداسیون حاصـل از رسـوب فنـول‌هـا حـین دودی کردن نشان داد. میزان فنول و مقاومت به اکسیداسیون ماهی دودی زمانی که محصول با فـیلم‌هـای حـاوی عـصاره پونه کوهی یا رزماری پوشـانده شـد، افـزایش یافتنـد. تـأثیر مذکور زمانی که فیلم‌ها همراه بـا فـشار بـالا اسـتفاده شـدند احتمالاً به دلیل مهاجرت بیشتر مواد ضداکسیدانی از فیلم‌های مـذکور افـزایش یافـت. در نتیجـه، فـیلم‌هـای خـوراکی بـا عصاره‌های گیاهی اضافه شده در کاهش میزان اکسیداسیون لیپید در ساردین دودی سرد حین نگه‌داری در فریزر مـؤثر بودند. لازم به ذکر است که غنی‌سازی فیلم‌های ژلاتینی بـا عصاره‌های گیاهی، خصوصاً مـوارد حاصـله از بـرگ‌هـای گیاهان معطّر، می‌توانند طعمی خاص به ماهی دودی دهند، با این حال از نظر ارگانولپتیکی[7]، این امر می‌تواند برای این نوع محصولات کاملاً قابل قبول باشد.

علاوه بر عصاره‌های پلی‌فنـولی گیـاهی، علاقـه رو بـه افزایشی به استفاده از دیگر ضداکسیدان‌های طبیعی همانند ویتامین E (آلفا- توکوفرول[8]) در سامانه‌های غذایی وجـود دارد. در ایـن رابطـه، حانـگ جارونـارک، بجـانکول، ویسانگوان و تاناکا[9](۲۰۰۸) فیلم‌هـایی دارای خـصوصیات ضد اکسیدانی از ژلاتین پوست اسپر چشم درشت و اسپر قرمز نوار قهوه‌ای تهیه نمودند کـه دارای آلفـا توکـوفرول یـا[10] BHT (هیدروکـسی تولـوئین بوتیلـه) بـود. بـا تهیـه غلظت‌های افزودنی یکسان (۲۰۰ ppm)، فیلم‌هـای حـاوی آلفـا توکـوفرول توانـایی مهـار رادیکـال آزاد بیـشتری(بـه روش[11] DPPH) در مقایـسه بـا فـیلم‌هـای حـاوی BHT داشـت. آنـالیز[12] FTIR فـیلم‌هـای مرکـب نـشان داد کـه واکنش‌های بین دو نوع ژلاتین و افزودنی‌ها متفاوت بودند و موجـب تغییـرات متفـاوت در سـاختار ثانویـه پـروتئین می‌گردیدند. در مورد آلفا توکوفرول، این واکنش‌ها موجب کاهش ویژگی‌های مکانیکی و WVP گردیدند. فـیلم‌هـای ژلاتین پوست ماهی در سـطح چربـی حیـوانی، بـه انـدازه کافی به عنوان مرزی در برابر نفوذ اکسیژن عمل کردند. در هر مورد، هیچ تفاوتی در مقادیر TBARs بـین نمونـه‌هـای چربـی حیـوانی پوشـیده شـده بـا پوشـش ژلاتینـی دارای ضداکسیدان و فاقد ضداکسیدان‌ها مشاهده نشد که این امر

1- Plasma iron
2- Rosmarinic
3- Gallic acid
4- Protocatechuic acid
5- Chlorogenic acid
6- S.pilcchardus

7- Organoleptic
8- ά-Tocopherol
9- Jongjareanrak, Benjakal, Visessanguan,Tanaka
10- Butylated hydroxy toluene
11- 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
آزمونی جهت اندازه‌گیری خاصیت ضداکسیدانی
12- Fourier transform infrared

به مقادیر پایین آزادسازی افزودنی‌ها از فیلم‌ها نسبت داده شد.

۷- نتیجه گیری

ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های ژلاتین ماهی به میزان زیادی به ویژگی‌های ژلاتین(که به نوبه خود وابسته به ویژگی‌های ذاتی گونه ماهی و فرایند اعمال شده جهت تولید ژلاتین است)، بستگی دارد. تفاوت‌های محسوسی در ویژگی‌های محافظتی در برابر بخار آب و نیز خواص مکانیکی برای ژلاتین‌های تهیه شده از ماهیان سردآبی(کاد[1]، سالمون[2] یا پولاک آلاسکا[3]) و گرم آبی(تیلاپیا، کپور[4] یا گربه ماهی) گزارش گردید که عمدتاً به دلیل تفاوت در ساختار اسید آمینه خصوصاً میزان آمینو اسید(که در گونه‌های گرم آبی بالاتر است) گزارش گردید که می‌تواند عامل تعیین‌کننده استحکام و انعطاف‌پذیری کلی فیلم باشد. از این نظر، فیلم‌های بر پایه ژلاتین ماهی معمولاً دارای قابلیت تغییرپذیری بیشتری در مقایسه با ژلاتین پستانداران هستند. توزیع وزن مولکولی که به میزان زیادی تحت تأثیر فرایند تولید ژلاتین است، نیز یک عامل کلیدی در تعیین ویژگی‌های مکانیکی محسوب می‌شود. به عنوان یک قاعده، غالب بودن ذرّات با وزن مولکولی کم در یک ژلاتین آماده‌سازی شده با فیلم‌های دارای تغییرپذیری بیشتر،خصوصاً زمانی که نرم‌کننده‌هایی همانند سوربیتول یا گلیسرول در فرمولاسیون فیلم مذکور جای داشته باشند، کمتر به وقوع می‌پیوندد.

ویژگی‌های فیلم می‌توانند با افزودن برخی از ترکیبات به فرمولاسیون ژلاتین ماهی بهبود یابند. پروتئین‌های گوناگون (ایزوله پروتئین سویا)، روغن‌ها(روغن آفتابگردان، اسیدهای چرب، اسانس‌های روغنی)، پلی‌ساکاریدها(ژلان، کاپا کاراگینان، پکتین، کیتوزان) و اتصال‌دهنده‌ها (گلوتارآلدئید، MTGase، EDC) به منظور ارتقای ویژگی‌های ویژگی‌های رئولوژیکی[5](تغییر شکلی)، ویژگی محافظتی و مقاومت به آب فیلم‌های ژلاتین ماهی مرکب استفاده گردیدند. به علاوه، افزودن ترکیبات فعال(کیتوزان، اسانس میخک، لیزوزیم، عصاره‌های آبی مورتا، پونه کوهی یا رزماری، آلفا توکوفرول) می‌توانند توانایی‌های خاص ضدمیکروبی و یا ضداکسیدانی را موجب شوند که قابلیت استفاده به منظور طراحی مواد بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر فعال را داشته باشند. با این حال، در چنین مواردی توجّه خاصی باید به واکنش‌های محتمل ترکیبات فعال مبذول شود که متعاقباً می‌توانند به طور بالقوه قابلیت تخریب ویژگی‌های ضدمیکروبی و ضداکسیدانی فیلم حاصله را داشته باشند.

۸- منابع

1. M.C.Gomez. Guillen/ M. perez Mateos. J. Gomez Estaca. E. Lopez-Caballero. B.Gimenez and P. Montero. "Fish gelatin: a renewable material for developing active biodegradable films". Instituto delfrio(CSIC) C/Josen antonion novais 10/ 28040. madril / spain, 2009.

آدرس نویسنده

تهران- خیابان شهر آرا- خیابان سی و یکم- پلاک ۲۲.

1- Cod
2- Samone
3- Alaska pollack
4- Carpio

۵- رئولوژی علم بررسی جریان و تغییر شکل سیّالات تحت اثر میدان تنش اعمال شده بر آن‌ها می‌باشد.