

بررسی کاربرد و تأثیر گالاکتومانان بر ویژگی‌های فیلم‌ها

و پوشش‌های خوراکی

مجتبی یوسفی اصلی^۱، سیده معصومه عرب^۲، مهدی فرهودی^۳، نسیم خورشیدیان^{۴*}

تاریخ دریافت مقاله: فروردین ماه ۱۳۹۴

تاریخ پذیرش مقاله: مرداد ماه ۱۳۹۴

چکیده

نوآوری‌ها همچنان در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی در حال افزایش است و هدف آن، ایجاد سامانه نگهداری مناسب برای غذا، حفظ ایمنی و کیفیت میکروبی و شیمیایی غذا و در عین حال ایجاد جذابیت بیشتر به منظور بازاریابی محصول می‌باشد. استفاده از منابع تخریب‌پذیر در محیط زیست به عنوان مواد مورد استفاده در بسته‌بندی مانند هیدروکلوئیدها با منشأ طبیعی، یکی از اهداف اصلی این صنعت می‌باشد. تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به عنوان یکی از فنآوری‌های بالقوه که می‌توانند به منظور افزایش مدت نگهداری مواد غذایی و اطمینان از کیفیت آن در برابر عوامل محیطی به کار روند، مورد توجه قرار گرفته است. یکی از منابعی که به منظور تهیه فیلم و پوشش خوراکی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، گالاکتومانان استخراج شده از منابع مختلف (مانند صمغ لوبیای لوکاست یا صمغ گوار) است که به دلیل دارا بودن خواص مکانیکی و نفوذپذیری مناسب، قابلیت کاربرد در مواد غذایی را دارا است. در این مقاله مروری، ویژگی‌های فیلم‌های تهیه شده از گالاکتومانان مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی

۱- مقدمه

بسته‌بندی، فیلم خوراکی، گالاکتومانان^۵، زیست

تخریب‌پذیر

بسته‌بندی بر پایه مواد سنتزی^۶ معمول، موجب ایجاد مشکلات زیست محیطی جدی به دلیل عدم زیست‌پذیری این مواد می‌گردد. در دهه گذشته، پیشرفت رو به رشدی در توسعه مواد ترموپلاستیک^۷ از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر به ویژه مواد مشتق شده از منابع تجدیدپذیر ایجاد شده است [۱]. امروزه در بسته‌بندی مواد غذایی، فیلم‌های خوراکی به طور روز افزون جایگزین فیلم‌های پلیمری سنتزی می‌شوند. از آن جمله می‌توان به پوشش دادن انواع این فیلم‌ها بر سطح فرآورده‌های غذایی نظیر فرآورده‌های قنادی، میوه‌ها، سبزی‌های تازه و گوشتی، برخی فرآورده‌های لبنی، شکلات، تنقلات، غلات صبحانه،

۱- دانشجوی دوره دکتری رشته علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی (m.yousefi2006@gmail.com).

۲- دانشجوی دوره دکتری رشته علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی (arab.sepideh@gmail.com)

۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران (farhoodi@smbu.ac.ir)

۴- دانشجوی دوره دکتری رشته علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

* (نویسنده مسئول: nkhorshidian85@yahoo.com)

5- Galactomannan

6- Synthetic

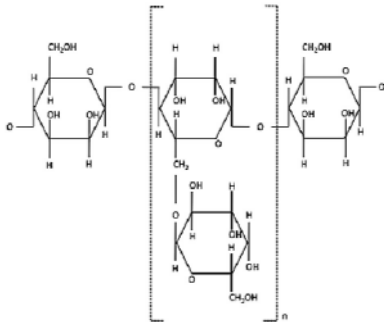
7- Thermoplastic

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

ویژگی ها و کاربردهای آن در فیلم ها و پوشش های خوراکی پرداخته شده است.

۲- ویژگی های گالاکتومانان

گالاکتومانان ها، پلی ساکاریدهای طبیعی معمول مورد استفاده در صنعت غذا اغلب به عنوان پایدارکننده، و امولسیفایر^{۱۰} یکی از مواد جایگزین هستند که می توانند در تولید فیلم ها و پوشش های خوراکی به واسطه داشتن قابلیت خوراکی و زیست تخریب پذیری به کار روند. این ترکیبات، هتروپولی ساکاریدهایی^{۱۱} با ساختار β - (۴ → ۱) - D - مانان هستند که شاخه هایی از D - گالاکتوز^{۱۲} با پیوند (۶ → ۱) - α به آن متصل شده اند (شکل ۱).



شکل ۱- ساختار مولکولی گالاکتومانان

این پلی ساکاریدها از نظر نسبت مانوز^{۱۳} / گالاکتوز (M/G) با هم تفاوت دارند. این صمغ ها اغلب از اندوسپرم^{۱۴} دانه های گیاهان مختلف به خصوص گیاهان خانواده لگمنسی^{۱۵} به دست می آیند. سه گالاکتومانان مورد استفاده در مقیاس تجاری در صنعت غذا و صنایع دیگر، صمغ گوار^{۱۶} (با نسبت مانوز به گالاکتوز ۱:۲)، GG^{۱۷}، صمغ تارا (TG)^{۱۸}، با نسبت مانوز به

طیور و ماهی، فرآورده های منجمد و خشک شده و نظایر این ها اشاره داشت. پوشش محصولات غذایی با فیلم ها و پوشش های خوراکی، آن ها را از مزایای گوناگون از نقطه نظر جنبه های سلامت بخش، حسی و اقتصادی برخوردار می سازد. در این زمینه، بیوپلیمرها^۱ می توانند یک منبع جایگزین در توسعه مواد بسته بندی باشند. تا کنون، بسته بندی های زیست تخریب پذیر توجه زیادی را به خود جلب کرده اند و مطالعات زیادی نیز در این زمینه در حال انجام است [۱، ۲ و ۳]. مواد بسته بندی خوراکی باید معیارهای مربوطه به نوع استفاده در مواد غذایی (مانند نفوذپذیری به بخار آب، دی اکسید کربن و اکسیژن)، ویژگی های مکانیکی (به ویژه مقاومت به کشش و پاره شدن)، ویژگی های مربوط به شفافیت، رنگ و طعم (در اکثر موارد پوشش هایی بدون طعم مورد نیاز هستند) را دارا باشند. همچنین امکان افزودن مواد فعال نیز باید مدنظر قرار گیرد.

فیلم ها و پوشش ها به وسیله گستره وسیعی از مواد مانند پلی ساکاریدها، پروتئین ها، چربی ها و رزین ها همراه یا بدون افزودن سایر مواد (مانند پلاستی سایزر^۲ و سورفاکتانت ها^۳) قابل تولید هستند. پلی ساکاریدهایی که به منظور تشکیل فیلم و پوشش مورد استفاده قرار گرفته اند، شامل نشاسته و سلولز^۴ و مشتقات آن ها، آلژینات^۵، کاراگینان^۶، صمغ های گیاهی و میکروبی مختلف، کیتوزان^۷ و پکتین^۸ می باشند [۴ و ۵].

ویژگی های هیدروفیل^۹ این فیلم ها سد مناسبی در مقابل نفوذ دی اکسید کربن و اکسیژن است ولی در برابر بخار آب، نفوذپذیر بوده و مقاومت مکانیکی ندارند [۶ و ۷]. یکی دیگر از پلی ساکاریدهایی که در سال های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است، گالاکتومانان می باشد که از منابع مختلفی قابل استخراج بود و در مقاله حاضر، به بررسی

- 10- Emulsifier
- 11- Hatro poly saccharides
- 12- Galaktvz
- 13- Mannose
- 14- Endosperm
- 15- Leguminosae
- 16- Cyamopsis tetragonolobo
- 17- Guar gum
- 18- Caesalpinia spinosa

- 1- Bio polymer
- 2- Plasticizer
- 3- Surfactants
- 4- Cellulose
- 5- Algenat
- 6- Carraginan
- 7- Chitosan
- 8- Pectin
- 9- Hydrophil

گالاکتوز ۱:۳^۱ و صمغ لوبیای لوکاست^۲ (LBG^۳) با نسبت مانوز به گالاکتوز ۱:۳/۵^۴ می‌باشند [۸ و ۹].

یکی از ویژگی‌های مناسب گالاکتومانان‌ها، توانایی آن‌ها در تشکیل محلول‌های بسیار ویسکوز^۵ در غلظت‌های نسبتاً کم است که به طور جزئی تحت تأثیر pH، قدرت یونی محیط و فرآیند حرارتی قرار می‌گیرد [۱۴]. ویسکوزیته^۶ محلول‌های گالاکتومانان در گستره وسیعی از pH (۱-۱۰/۵)، ثابت باقی می‌ماند که به دلیل خنثی بودن مولکول آن می‌باشد و همچنین انتظار می‌رود که خواص آن تحت تأثیر قدرت یونی محیط قرار گیرد. ویسکوزیته و پایداری محلول‌های گالاکتومانان در هنگام نگهداری به زمان و دمای مورد استفاده در طول آماده‌سازی محلول تشکیل‌دهنده فیلم بستگی دارد [۱۰].

نسبت مانوز به گالاکتوز بسته به منبع گالاکتومانان متفاوت بوده و در گستره بین ۱/۱ تا ۵ قرار دارد [۱۰]. تنوع در ساختار گالاکتومانان‌ها به ویژه در نسبت مانوز به گالاکتوز و ساختار خالص آن، تغییرات قابل توجهی در حالیت، ویسکوزیته و در واکنش متقابل بین گالاکتومانان و سایر پلی‌ساکاریدها ایجاد می‌نماید. معمولاً، گالاکتومانان‌ها با مقدار گالاکتوز بیشتر (مانند GG) به راحتی در آب حل شده و تمایل کمتری برای تشکیل ژل در نتیجه واکنش‌های متقابل سینرژیستی^۷ در مقایسه با گالاکتومانان‌های با نسبت مانوز به گالاکتوز کمتر (مانند LBG) دارند. حالیت بیشتر GG به حضور تعداد بیشتری از زنجیره‌های جانبی نسبت داده می‌شود که زنجیر اصلی مانوزی را از واکنش‌های متقابل داخل مولکولی دور نگه می‌دارد. از طرف دیگر، گالاکتومانان‌های با زنجیره‌های جانبی کمتر (نسبت M/G بالاتر)، می‌توانند با سایر پلی‌ساکاریدها به دلیل وجود

واحد‌های بزرگی از مانوزهای بدون جایگزینی واکنش دهند [۱۰].

گالاکتومانان‌ها در اشکال مختلفی قابل استفاده می‌باشند و پایدارکننده‌های مناسبی برای امولسیون‌ها^۸ بوده و عدم وجود سمیت، آن‌ها را برای استفاده در صنایع دارویی، پزشکی، آرایشی-بهداشتی و صنعت غذا مناسب نموده است. به خصوص در صنایع غذایی، کاربردهای اصلی گالاکتومانان‌ها در صنعت لبنیات، ژل‌های بر پایه میوه‌ها، محصولات پودری، محصولات نانوائی، فرآورده‌های رژیمی، فرمولاسیون^۹ شیر کودک، سوپ‌ها و سس‌ها، فرآورده‌های گوشتی عمل‌آوری شده و محصولات یخ زده می‌باشد و اخیراً مطالعات، نشان‌دهنده قابلیت کاربرد گالاکتومانان‌ها در تشکیل فیلم و پوشش‌های خوراکی می‌باشند [۱۴-۱۱].

۳- فیلم‌ها و پوشش‌های بر پایه گالاکتومانان

مطالعات در مورد شناسایی و کاربرد گالاکتومانان‌ها به عنوان فیلم و یا پوشش‌های خوراکی در مقایسه با سایر پلی‌ساکاریدها بسیار محدود است. با این حال، تعدادی از تحقیقات اخیر، افق تازه‌ای را در ارتباط با خواص و کاربرد فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از منابع گالاکتومانان گسترده‌اند.

ایدینی^{۱۰} و همکاران در سال ۲۰۰۰، ویژگی نفوذپذیری به بخار آب را در فیلم‌های تهیه شده از گالاکتومانان و تأثیر افزایش غلظت پلی‌اتیلن گلیکول (PEG)^{۱۱} با وزن-های مولکولی مختلف را مورد مطالعه قرار دادند [۱۵]. نتایج نشان داد که در مورد فیلم‌های تهیه شده از LBG با افزودن PEG با وزن مولکولی بین ۲۰۰ و ۶۰۰ دالتون^{۱۲}، میزان نفوذپذیری به بخار آب^{۱۳} (WVP) افزایش پیدا کرد.

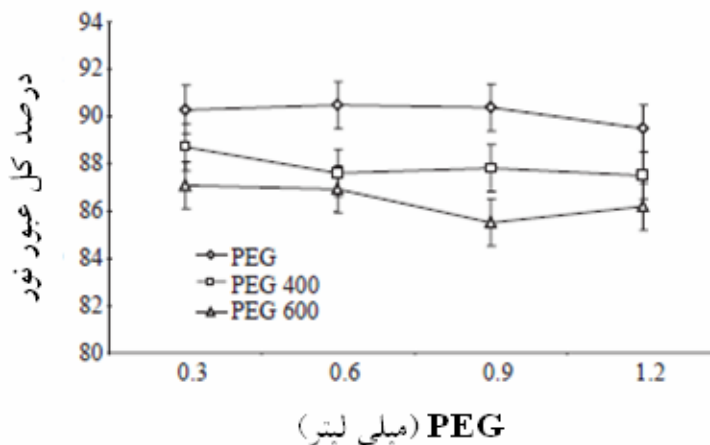
- 8- Emulsion
- 9- Formulation
- 10- Aydinli
- 11- Poly ethylene glycol
- 12- Dalton
- 13- Water vapour permibility

- 1- Tara gum
- 2- Locust
- 3- Ceratonia siliqua
- 4- Locust bean gum
- 5- Viscose
- 6- Viscosity
- 7- Sinergisti

شکل (۳ و ۴) نشان می دهد که با افزایش مقدار پلاستی سایزر در فرمولاسیون فیلم، قدرت کششی^۲ (TS) و کشیدگی در پارگی^۳ (EB) کاهش پیدا نمود. شکل (۳) نشان می دهد که اثر محسوسی بین وزن مولکولی پلاستی سایزر و قدرت کششی وجود ندارد. با این حال، ممکن است جدا شدن فاز به واسطه عدم سازگاری بین پلیمر و پلاستی سایزر دلیل کمتر بودن قدرت کششی در فیلم های خوراکی حاوی ۰/۹ و ۱/۲ میلی لیتر پلاستی سایزر باشد.

بازدمیر و توتاس^۴ در سال ۲۰۰۳، میزان WVP را در فیلم های خوراکی تهیه شده از LBG با پلاستی سایزرهای مختلف (گلیسرول^۵، پروپیلن گلیکول^۶ و PEG با وزن مولکولی ۲۰۰) بررسی نمودند. آنها نشان دادند که فیلم های حاوی PEG با وزن مولکولی ۲۰۰ و سوربیتول، کمترین میزان WVP و فیلم های حاوی گلیسرول، بالاترین میزان WVP را داشتند که به دلیل میل ترکیبی بیشتر گلیسرول با آب در مقایسه با سوربیتول^۷ و PEG با وزن ۲۰۰ می باشد [۱۶].

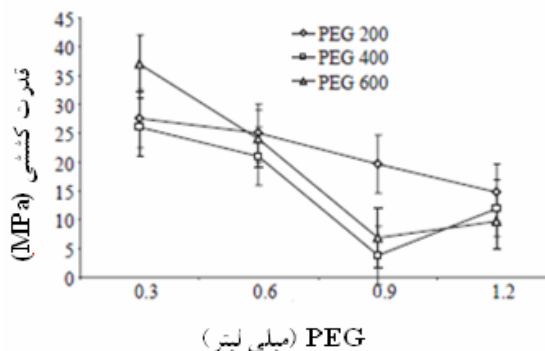
با این حال، هنگامی که PEG با وزن مولکولی ۱۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت، WVP کاهش پیدا نمود. رفتار متفاوت مشاهده شده بین فیلم های حاوی PEG با وزن مولکولی ۱۰۰۰ و PEG با وزن مولکولی کمتر به دلیل حالت جامد PEG با وزن مولکولی ۱۰۰۰ در دمای اتاق می باشد. علاوه بر این، PEG با وزن مولکولی ۲۰۰، کمترین میزان WVP را نشان می دهد که به خاصیت هیدروفوب^۱ کمتر آن در مقایسه با PEG با وزن مولکولی بیشتر نسبت داده می شود. در سال ۲۰۰۴، همین محققان، خاصیت مکانیکی و عبور نور را در همان فیلم ها و با استفاده از PEG با وزن مولکولی ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ مورد مطالعه قرار دادند. به دلیل ویژگی هیدروفیل پلیمر LBG، استفاده از PEG با وزن مولکولی بالا موجب تولید فیلم هایی یکنواخت و شفاف می شود. شکل (۲) نشان می دهد که مناسب ترین پلاستی سایزر، PEG با وزن مولکولی ۲۰۰ است و با افزایش وزن مولکولی PEG، میزان عبور نور کاهش پیدا نمود که احتمالاً به دلیل عدم سازگاری پلیمر LBG و PEG با وزن مولکولی بالا است.



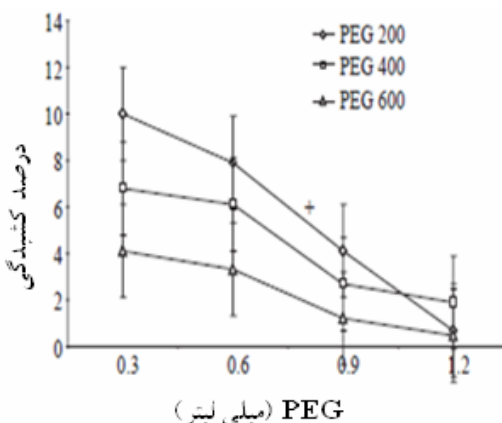
شکل ۲ - اثر وزن مولکولی و غلظت PEG بر میزان عبور نور در فیلم های خوراکی

- 2- Tensile strength
- 3- Elongation at break
- 4- Tutas and Bozdemir
- 5- Glycerol
- 6- Propylene glycol
- 7- Sorbitol

- 1- Hydrophob



شکل ۳ - اثر وزن مولکولی و غلظت PEG بر قدرت کششی در فیلم‌های خوراکی



شکل ۴ - اثر وزن مولکولی و غلظت PEG بر کشیدگی در نقطه پارگی در فیلم‌های خوراکی

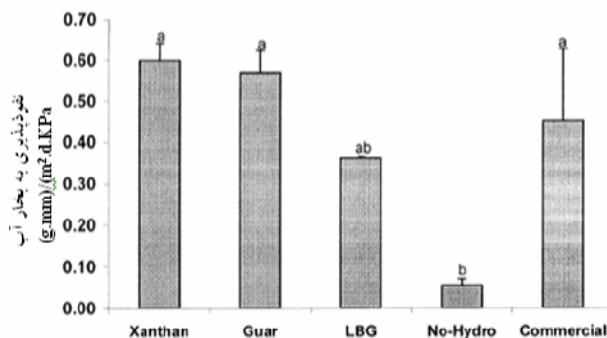
به عنوان مثال، واکس‌ها به عنوان اجزای هیدروفوب به منظور بهبود خواص ممانعت‌کنندگی در برابر آب در فیلم‌های خوراکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۷].
چن و نوسینویچ^۱ در سال ۲۰۰۱، WVP، O₂P، CO₂P^۲ و سفتی و محکم بودن فیلم‌های واکسی (موم کارنوبا یا شلاک^۳) ترکیب شده با GG، LBG و زانتان^۴ را مورد بررسی قرار دادند و ویژگی‌های آن را با پوشش‌های تجاری (پلی اتیلن و شلاک^۵) مقایسه کردند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در نفوذپذیری به بخار آب بین

۴- واکنش‌های متقابل فیلم‌ها و پوشش‌های گالاکتومانان با سایر ترکیبات

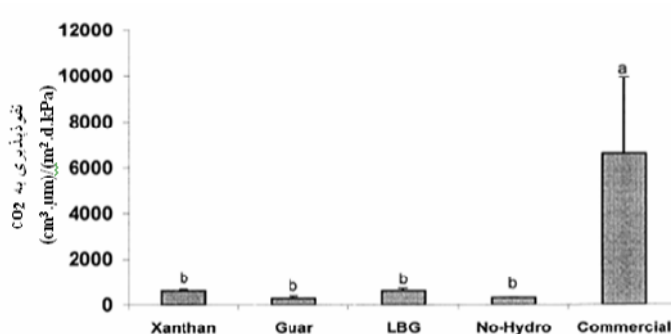
در سال‌های اخیر، بررسی‌های زیادی در ارتباط با کاربرد مواد مختلف و ترکیب کردن آن‌ها با سایر انواع بیوپلیمرها به منظور افزایش خواص فیلم‌ها و پوشش‌های پلی‌ساکاریدی صورت گرفته است.

لیپیدها یکی از پر استفاده‌ترین مواد با هدف کاهش خاصیت هیدروفیلی فیلم‌ها و پوشش‌های بر پایه پلی‌ساکارید هستند که موجب کاهش حساسیت به آب در این مواد می‌شوند و بنابراین، ویژگی‌هایی مانند نفوذپذیری به بخار آب و حلالیت در آب بهبود پیدا می‌نماید. علاوه بر این، انتقال (اکسیژن و دی اکسید کربن) و خواص پلی‌ساکاریدها بهبود می‌یابد.

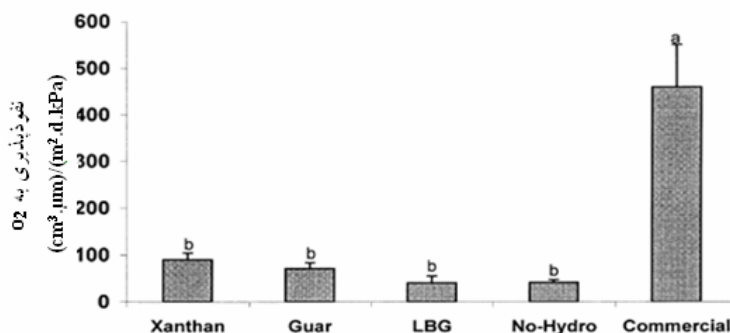
- 1- Chen and Nussinovitch
- 2- Oxygen permeability
- 3- Carbon dioxide permeability
- 4- Shellac
- 5- Xanthan
- 6- Shellac



شکل ۵- نفوذپذیری به بخار آب در پوشش‌های واکس- هیدروکلوئید (No-Hydro : پوشش دارای واکس و بدون هیدروکلوئید)



شکل ۶- نفوذپذیری به دی اکسید کربن در پوشش‌های واکس- هیدروکلوئید



شکل ۷- نفوذپذیری به اکسیژن در پوشش‌های واکس- هیدروکلوئید

پوشش‌های تجاری دارند (شکل ۶ و ۷). از نظر میانگین سفتی^۲، پوشش‌های واکس- هیدروکلوئید به طور جزئی ولی نه معنی‌دار دارای مقادیر نفوذپذیری بیشتری بودند و افزودن هیدروکلوئید موجب می‌شود که ساختار پوشش دارای نظم و جهت‌گیری کمتری باشد [۱۸].

پوشش‌های تجاری، زانتان^۱ و گالاکتومانان وجود ندارد و پوشش دارای موم و بدون افزودن هیدروکلوئید، کمترین نفوذپذیری را داشت که به طور معنی‌داری با سایر پوشش‌ها متفاوت بود (شکل ۵). از نظر نفوذپذیری به اکسیژن و دی اکسید کربن نیز نتایج مشابهی به دست آمد و در مورد هر دو گاز، همه پوشش‌ها نفوذپذیری کمتری در مقایسه با

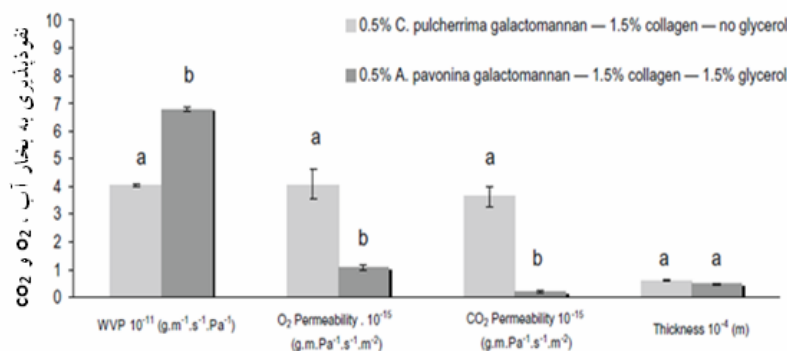
2- Roughness

1- Xanthan

گازها و مکانیکی فیلم بهینه شد. سپس این فیلم‌ها برای پوشش دادن انبه (۰/۵٪ گالاکتومانان، پاونیا، ۱/۵٪ کلاژن و ۱/۵٪ گلیسرول) و سیب (۰/۵٪ گالاکتومانان سی، پولچریما، ۱/۵٪ کلاژن و بدون گلیسرول) مورد استفاده قرار گرفتند. شکل تفاوت CO_2P و O_2P و WVP را نشان می‌دهد. نمونه‌های پوشش داده شده با ۰/۵٪ گالاکتومانان، پاونیا ۱/۵٪ کلاژن و ۱/۵٪ گلیسرول دارای نفوذپذیری کمتری به اکسیژن در مقایسه با نمونه‌های پوشش داده شده با گالاکتومانان پولچریما ۰/۵٪، ۱/۵٪ کلاژن و بدون گلیسرول بودند. افزودن پلاستی‌سایزر ترک‌ها و منافذ را کاهش داده و توزیع یکنواخت‌تری از پوشش ایجاد می‌کند که نفوذپذیری به گاز را کاهش می‌دهد. نتایج مشابهی در مورد دی اکسید کربن مشاهده می‌گردد و میزان نفوذپذیری در پوشش‌های حاوی ۰/۵٪ گالاکتومانان، پاونیا ۱/۵٪ کلاژن و ۱/۵٪ گلیسرول، ۱۸ برابر نسبت به پوشش دیگر کمتر است. در مورد WVP، نتایج متفاوتی با آنچه در مورد O_2P و CO_2P دیده شد به دست آمد. نفوذپذیری به بخار آب در

در مطالعه دیگری در سال ۲۰۰۳، LBG با دو نوع لیپید ترکیب شد (استروپتن و بیس واکس^۱ و میزان WVP اندازه‌گیری شد تا مشخص شود که آیا این نوع ترکیب هیدروفوب^۲ می‌تواند به منظور بهبود خواص انتقال در فیلم به کار رود. نتایج نشان داد که فیلم‌های حاوی استروپتن و بیس واکس، مقدار WVP کمتری در مقایسه با نمونه‌های کنترل نشان می‌دهند. همچنین مشخص شد که اگر PEG با وزن مولکولی ۲۰۰ و سوربیتول به عنوان پلاستی‌سایزر به کار روند، فیلم‌های LBG با استروپتن، WVP کمتری در مقایسه با فیلم‌های LBG با بیس واکس نشان می‌دهند که به دلیل خاصیت هیدروفیلی بیشتر بیس واکس است (شکل ۸) [۱۶].

لیما^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۰، کلاژن^۴ را با دو نوع گالاکتومانان (ا. پاونیا^۵ و سی. پولچریما^۶) ترکیب نمودند. ترکیب فیلم‌ها و پوشش‌های تهیه شده با نسبت‌های مختلف گالاکتومانان (۰/۵، ۱ و ۱/۵٪ وزنی/حجمی)، کلاژن (۰/۵، ۱ و ۱/۵٪ وزنی/حجمی) و گلیسرول (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵٪ حجمی/حجمی) بر اساس خواص^۷ (میزان پخش شدن پوشش در سطح مورد نظر و ایجاد لایه‌ای یکنواخت)، انتقال



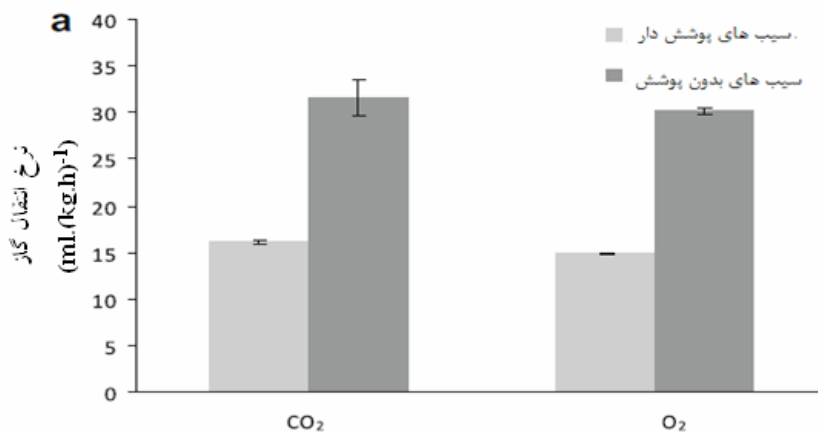
شکل ۸ - نفوذپذیری به بخار آب (WVP)، نفوذپذیری به اکسیژن (O_2P) و نفوذپذیری به دی اکسید کربن (CO_2P) در فیلم‌های حاوی مخلوط گالاکتومانان - کلاژن (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی دار است)

پوشش حاوی ۰/۵٪ گالاکتومانان پولچریما ۱/۵٪ کلاژن و بدون گلیسرول حدود ۶۰٪ کمتر از پوشش حاوی ۰/۵٪ گالاکتومانان، پاونیا ۱/۵٪ کلاژن و ۱/۵٪ گلیسرول بود. وجود پلاستی‌سایزر موجب کاهش

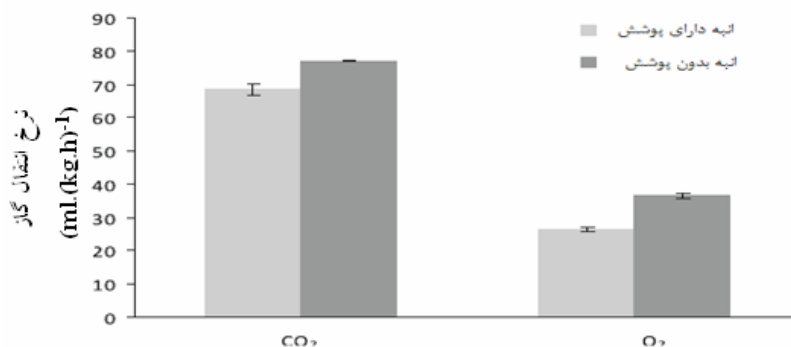
- 1- Stearoptene, Beeswax
- 2- Hydrophobic
- 3- Lima
- 4- Collagen
- 5- A. pavonina
- 6- C. pulcherrima
- 7- Wettability

میزان تبادل گازها کمتر بود. تولید CO_2 و مصرف O_2 در بدون پوشش است و تولید CO_2 نسبت به مصرف آن هم در میوه های دارای پوشش و هم بدون پوشش بیشتر بود که نشان می دهد وجود پوشش تعادل گازها را در میوه تغییر نمی دهد و تنها میزان انتقال گاز را کند می کند (شکل ۹ و ۱۰). در مورد میوه انبه نیز ۲۸٪ مصرف اکسیژن و ۱۱٪ تولید دی اکسید کربن کمتر در انبه های پوشش داده شده در مقایسه با نمونه های بدون پوشش مشاهده شد (۱۹). در مطالعه دیگری، کیفیت ماندگاری سیب های تازه برداشت شده (گونه گلدن دلیکاس^۱) پوشش داده با سیب های دارای پوشش تقریباً ۵۰٪ کمتر از سیب های LBG یکی شده با سه نوع پوشش لیپید / هیدروکلوئید که در آن از اجزای سازنده بود، در طول نگهداری به مدت ۸ هفته در یخچال بررسی شد.

واکنش های متقابل بین زنجیره های پلیمری و ایجاد زمینه برای نفوذ مولکول قطبی آب می گردد. گلیسرول یک مولکول هیدروفیل و قطبی است و افزایش غلظت آن موجب افزایش نرخ انتقال بخار آب می گردد. میزان ضخامت فیلم ها نیز در شکل مشاهده می شود و تفاوت معنی داری بین نمونه ها وجود ندارد. پوشش حاوی ۰/۵٪ گالاکتومانان پولچریمما ۱/۵٪ کلاژن و بدون گلیسرول مقدار قدرت کششی (MPa) ۱۱۷/۵۶ بیشتر و کشیدگی در نقطه پارگی کمتری (۱۸/۷۴٪) در مقایسه با پوشش حاوی ۰/۵٪ گالاکتومانان *pavonina* ۱/۵٪ کلاژن و ۱/۵٪ گلیسرول (MPa) ۸/۳۴ : TS و ۴۷/۱۷٪ EB) داشت که به دلیل استفاده از پلاستی سائزر در پوشش می باشد. نرخ انتقال O_2 و CO_2 از میوه های پوشش داده شده در طول ۶۰ روز اندازه گیری شد. در سیب های دارای پوشش



شکل ۹- نرخ انتقال اکسیژن و دی اکسید کربن در سیب دارای پوشش و بدون پوشش



شکل ۱۰- نرخ انتقال اکسیژن و دی اکسید کربن در انبه دارای پوشش و بدون پوشش

فرمولاسیون پوشش‌های به کار رفته در (جدول ۱) مشاهده می‌شود. همان گونه که در (جدول ۱) ملاحظه می‌شود، تفاوت معنی‌داری در سرعت تنفس بین سیب‌های دارای پوشش و بدون پوشش وجود دارد. نفوذپذیری به O_2 در سیب‌های دارای پوشش کاهش یافت. کاربرد پوشش‌ها موجب غلظت کمتر اکسیژن داخلی در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش شد [۲۰]. تفاوت معنی‌داری در مقدار مواد جامد محلول در سیب‌ها وجود نداشت ولی این تفاوت در اندیس نشاسته^۱ مشاهده شد. در مورد سیب‌های گلدن دیلیکاس، حداکثر مقدار اندیس ۸ قابل قبول است (جدول ۲).

در مورد همه تیمارها، مقدار اندیس بین ۴ و ۶ بود که نشان‌دهنده رسیدگی میوه است ولی در سیب‌های بدون پوشش، مقدار اندیس بالاتر از ۶ بود که نشان‌دهنده رسیدگی بیش از حد در نتیجه تولید اتیلن می‌باشد. تفاوت معنی‌داری در مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون^۲ نیز مشاهده شد. در سیب‌های دارای پوشش، تفاوتی در اسیدیته قابل تیتراسیون وجود نداشت ولی در سیب‌های بدون پوشش، کاهش در مقدار اسیدیته به دلیل افزایش تنفس می‌باشد. در طول دوره نگهداری کاهش مقدار سفتی در سیب‌های دارای پوشش در حداقل بود (جدول ۳ و ۴).

جدول ۱ - فرمولاسیون پوشش‌ها

تیمار ۱	مقادیر (g)	تیمار ۲	مقادیر (g)	تیمار ۳	مقادیر (g)
روغن گیاهی	۴/۸	روغن گیاهی	۴/۸	روغن گیاهی	۵
پارافیلیم	۰/۵	پارافیلیم	۰/۵	پارافیلیم	۰/۵
سورفاکتانت	۰/۱	سورفاکتانت	۰/۱	سورفاکتانت	۰/۱
مالتودکسترین	۸	مالتودکسترین	۸	مالتودکسترین	۸
LBG	۰/۳	LBG	۰/۱	LBG	۰/۲
صمغ عربی	۰/۳	صمغ عربی	۰/۱	CMC (کربوکسی متیل سلولز)	۰/۱
آب	۸۶	آلژین	۰/۱	آب	۸۵/۹
		آب	۸۶/۳		

جدول ۲ - مقدار CO_2 ($mg CO_2 h^{-1}$) داخلی سیب‌های گلدن دیلیکاس نگهداری شده در دمای یخچالی

تیمار	نرخ تنفس ($mg CO_2 h^{-1}$)
۱	2371 ± 116^a
۲	2413 ± 116^a
۳	2199 ± 116^a
بدون پوشش	4.68 ± 116^b

جدول ۳ - مواد جامد محلول و اندیس نشاسته سیب‌های پوشش داده شده

تیمار	اندیس نشاسته	مواد جامد محلول
۱	5.10 ± 0.06^a	12.18 ± 0.06^a
۲	5.68 ± 0.06^a	13.05 ± 0.06^a
۳	6.15 ± 0.06^a	13.48 ± 0.06^a
بدون پوشش	6.85 ± 0.06^b	12.87 ± 0.06^a

1- Starch index

۷۲

2- Titration

جدول ۴- تأثیر پوشش بر اسیدیته قابل تیتراسیون، افت وزنی و سفتی سیب‌های گلدن دیلیکاس

تیمار	اسیدیته قابل تیتر (%) اسید مالیک / ۱۰۰ گرم نمونه)	افت وزن (g)	سفتی میوه (load/g)
۱	۰/۱۷ ± ۰/۰۱ ^a	۲۲۴/۲ ± ۶/۹ ^a	۳۲۵/۵ ± ۲۴/۹ ^a
۲	۰/۱۸ ± ۰/۰۱ ^a	۲۰۶ ± ۶/۹ ^a	۳۳۵/۱ ± ۲۴/۹ ^a
۳	۰/۱۷ ± ۰/۰۱ ^a	۲۱۸۷ ± ۶/۹ ^a	۳۱۱ ± ۲۴/۹ ^a
بدون پوشش	۰/۱۵ ± ۰/۰۱ ^b	۲۱۸/۴ ± ۶/۹ ^a	۲۷۷/۷ ± ۲۴/۹ ^b

۵- فیلم‌ها و پوشش‌های بر پایه گالاتومانان حاوی مواد ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی

علاوه بر اثرات محافظتی، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌توانند به عنوان حاملی برای گستره وسیعی از مواد افزودنی شامل آنتی‌اکسیدان‌ها، عوامل ضد قهوه‌ای شدن، مواد ضد میکروبی، رنگ‌ها و طعم‌ها به کار روند. در نتیجه، مدت ماندگاری مواد غذایی پوشش داده شده طولانی‌تر شده، خطر رشد پاتوژن‌ها^۴ بر سطح ماده غذایی کاهش یافته و کیفیت حسی ماده غذایی افزایش می‌یابد. واکنش متقابل با ماده غذایی یا محیط غذا باعث می‌شود که فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی جایگزین و یا مکمل مناسبی برای بسته‌بندی‌های معمول باشند.

مارتینا^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۰، از گالاتومانان تراکنس گلیدسیا^۶ ترکیب شده با نیسین^۷ به منظور کاهش رشد باکتری لیستریا منوسیتوزنز^۸ در پنیر ریکوتای^۹ نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد استفاده نمودند. فیلم‌های پوشش‌دهنده با طرح عاملی^۳ تهیه شدند و فرمولاسیون‌های مختلف در (جدول ۵) مشاهده می‌گردد. سه نوع تیمار مختلف در پنیرها مورد استفاده قرار گرفت: نمونه‌های بدون پوشش، نمونه‌های دارای پوشش بدون نیسین و نمونه‌های دارای پوشش حاوی

تفاوت معنی‌داری در مقدار a^* در سیب‌های دارای پوشش و بدون پوشش وجود داشت. در سیب‌های دارای پوشش مقدار a^* بیشتر و سیب‌ها سبزتر بودند. سیب‌های بدون پوشش زردتر بودند که نشان‌دهنده رسیدگی بیشتر آن‌ها می‌باشد. علاوه بر این، نتایج آنالیز^۱ حسی نشان داد که سیب‌های پوشش داده شده، کیفیت پایداری از نظر میزان سفتی، تردی و آبدار بودن در طول دوره نگهداری را دارا بودند.

در سال ۲۰۱۰ سرکورا^۲ و همکاران، اثر دو نوع پوشش خوراکی (۰/۵٪ کیتوزان و ۲٪ سوربیتول/گلیسرول) و (۱/۵٪ گالاتومانان و ۲٪ گلیسرول و ۰/۵٪ سوربیتول (w/v)) را بر تبادل گازها در نوعی پنیر نیمه سخت به نام "ریجنال"^۳ بررسی کردند. پوششی که مصرف O_2 و تولید CO_2 را کاهش داد به منظور پوشش دادن پنیرها مورد استفاده قرار گرفت و شاخص‌های شیمیایی و میکروبی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در پنیرهای پوشش داده شده با گالاتومانان میزان مصرف O_2 و تولید CO_2 در مقایسه با پوشش کیتوزان کمتر و RO_2 (بین ۰/۱۹۵ و ۰/۱۳۵) و RCO_2 (بین ۰/۱۲۵ و ۰/۹۰۰) ml/kg/h بود. نتایج آنالیز میکروبی و شیمیایی نشان داد که به کار بردن پوشش در پنیر موجب کاهش از دست رفتن رطوبت و تغییر رنگ در طول دوره نگهداری می‌گردد. وجود پوشش، مقدار افت رطوبت را در پنیر به ترتیب در دمای $4^{\circ}C$ و $20^{\circ}C$ ، ۲/۵٪ و ۱/۹٪ و افت وزنی را ۳/۸٪ و ۳/۱٪ کاهش داد [۲۱].

- 4- Pathogen
- 5- Martins
- 6- Gleditsi Triacanthos
- 7- Nisin
- 8- L. Monocytogenes
- 9- Ricotta cheese

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

- 1- Analysis
- 2- Cerqueira
- 3- Regional

جدول ۵- غلظت گالاکتومانان، گلیسرول و روغن ذرت مورد استفاده در فرمولاسیون پوشش‌ها و ضرایب پخش

محلول	گالاکتومانان (w/v)	گلیسرول (w/v)	روغن ذرت	W
۱	۰/۵	۰/۵	۰	$29/28 \pm 2/09$ ad
۲	۰/۵	۰/۵	۰/۵	$29/56 \pm 1/43$ a
۳	۰/۵	۱/۵	۰	$22/54 \pm 1/75$ be
۴	۰/۵	۱/۵	۰/۵	$28/16 \pm 0/67$ ae
۵	۱	۱	۰/۲۵	$27/97 \pm 0/99$ ae
۶	۱/۵	۰/۵	۰	$42/05 \pm 0/82$ cf
۷	۱/۵	۰/۵	۰/۵	$47/25 \pm 1/48$ c
۸	۱/۵	۱/۵	۰	$44/81 \pm 1/75$ cf
۹	۱/۵	۱/۵	۰/۵	$39/86 \pm 1/66$ df

حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

نیسین در ماتریس^۲ گالاکتومانان است. مقادیر a^* ، L^* و b^* نیز اندازه‌گیری شد و مشخص شد که افزودن نیسین اثر معنی‌داری بر شاخص‌های مربوط به رنگ در فیلم‌های گالاکتومانان نداشت. اندازه‌گیری قدرت کششی (TS) و کشیدگی در نقطه پارگی (E) نشان داد که افزودن نیسین موجب افزایش ضخامت فیلم از $0/078$ mm (در فیلم‌های بدون نیسین) به $0/095$ mm شد. افزایش ضخامت به دلیل افزایش وزن در محلول تشکیل‌دهنده فیلم است. همچنین، واکنش‌های متقابل هیدروفوبیک ایجاد شده به وسیله مولکول‌های نیسین در محلول تشکیل‌دهنده فیلم نیز می‌تواند موجب افزایش ضخامت فیلم گردد. افزودن نیسین منجر به افزایش معنی‌داری در مقدار TS شد. میزان TS در فیلم حاوی نیسین و بدون نیسین به ترتیب MPa $1/46$ و $0/84$ بود. افزودن نیسین به فیلم موجب تشکیل شبکه بین نیسین و مولکول‌های پلی‌ساکارید و در نتیجه افزایش مقدار TS می‌گردد. همچنین افزودن نیسین به طور معنی‌داری بر درصد کشیدگی (E) اثر داشت. درصد کشیدگی فیلم‌های کنترل $50/93\%$ و در فیلم‌های حاوی نیسین $68/16\%$ بود.

50 IU/g نیسین. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت گالاکتومانان و کاهش مقدار روغن در فرمول پوشش‌ها، ضریب پخش (W) کاهش یافت. محلول‌های دارای بالاترین ضریب W حاوی گلیسرول بودند. با این که تفاوت معنی‌داری بین فرمولاسیون‌های مختلف با مقادیر W بالاتر (محلول ۳، ۴ و ۵) وجود نداشت، محلول ۳ به منظور استفاده در پنیر به کار گرفته شد، زیرا مقدار ضریب W در آن به صفر نزدیک‌تر بود و همچنین به دلیل عدم استفاده از روغن ذرت، میزان پوشش‌دهی سطح پنیر در این فیلم بیشتر و میزان نفوذپذیری به بخار آب کمتر بود. در (جدول ۶) ویژگی‌های مختلف بررسی شده در فیلم‌های مورد استفاده برای پوشش پنیر آورده شده است. فیلم‌های گالاکتومانانی بدون نیسین، شفاف و کمی زرد رنگ بودند. با افزودن نیسین، میزان شفافیت کاهش یافت. در فیلم گالاکتومانان حاوی نیسین به مقدار 50 IU/g، میزان کدری $0/91 \pm 4/59$ /% بود که بالاتر از فیلم بدون نیسین ($0/21 \pm 3/68$ /%) می‌باشد. این امر احتمالاً به دلیل دیسپرسیون^۱ گلیسرول و

2- Matrix

1- Dispersions

جدول ۶ - ضخامت، کدری، رنگ، WVP، PO₂، PCO₂، TS و E در فیلم‌های گالاکتومانان حاوی نیسین و بدون

نیسین		
فیلم بدون نیسین	فیلم حاوی نیسین	
۰/۰۷۸ ± ۰/۰۵ ^a	۰/۰۹۵ ± ۰/۱۲۲ ^b	ضخامت
۲۳۸۸ ± ۰/۲۱ ^a	۴/۵۹ ± ۰/۹۱ ^b	شفافیت
۸۹۲۶ ± ۱/۸۶ ^a	۸۹۸۳ ± ۱/۵۴ ^a	L*
۵/۲۴ ± ۰/۲۹ ^a	۵/۰۹ ± ۰/۱۸ ^a	a*
۱۱/۵۶ ± ۲/۱۵ ^a	۹/۸۵ ± ۲/۱۷ ^a	b*
۷/۳۰ ± ۰/۶۴ ^a	۶/۵۲ ± ۰/۴۹ ^a	WVP × 10 ⁻⁶
۱/۸۴ ± ۰/۱۹ ^a	۱/۳۵ ± ۰/۲۲ ^b	P(O ₂) × 10 ⁻¹²
۱/۹۶ ± ۰/۳۲ ^a	۶/۳۱ ± ۱/۱۹ ^b	P(CO ₂) × 10 ⁻¹²
۰/۸۴ ± ۰/۰۸ ^a	۱/۴۶ ± ۰/۲۹ ^b	قدرت کششی
۵/۹۳ ± ۶/۷۲ ^a	۱/۰۴ ± ۰/۰۴ ^b	ارزیاد طول در نقطه شکست

N0: فیلم بدون نیسین و N: فیلم حاوی نیسین. حروف متفاوت در هر سطر تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

فیلم‌های حاوی نیسین (۱/۶۷ ± ۵۰/۵۳٪) و بدون نیسین (۱/۵۵ ± ۳۷/۶۳٪) پس از دو روز نگهداری دیده شد. این تفاوت به این دلیل است که احتمالاً نیسین (هیدروفوب) مانند یک ممانعت‌کننده عمل کرده و حرکت مولکول‌های بخار آب از فیلم را کند می‌کند. نمونه‌های پوشش داده شده با فیلم حاوی نیسین ظاهر روشن‌تر و رنگ زرد کمتری (مقدار L* بالاتر و b* کمتر) پس از ۲۸ روز نگهداری در مقایسه با نمونه‌های کنترل داشتند.

شکل (۱۱) اثر پوشش‌های گالاکتومانان حاوی نیسین را بر رشد لیستریا مونوسیتوزنز در پنیر ریکوتا نشان می‌دهد. پس از ۷ روز نگهداری، تعداد باکتری‌های لیستریا مونوسیتوزنز در نمونه‌های پنیر پوشش داده شده به میزان ۲/۲ CFU g⁻¹ کمتر از نمونه‌های پنیر بدون پوشش بود. افزایش نفوذپذیری به CO₂ در فیلم‌های حاوی نیسین نیز به دلیل افزایش نفوذپذیری غشای باکتری اثر مثبتی در فعالیت نیسین بر ضد لیستریا داشت. نتایج نشان داد که پوشش‌های خوراکی جدید بر پایه گالاکتومانان که با نیسین ترکیب شده‌اند، می‌توانند جایگزین مناسب و مشتری‌پسند برای کاهش آلودگی پنیرها در طول دوره نگهداری باشند [۲۲].

افزودن نیسین موجب کاهش نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های گالاکتومانان شد و تفاوت معنی‌داری بین فیلم بدون نیسین و حاوی نیسین وجود نداشت. این امر احتمالاً به دلیل اندازه کوچک مولکول نیسین و یا غلظت‌های کمتر آن در ماتریس فیلم است. فیلم‌های پلی‌ساکاریدی عموماً ممانعت‌کننده‌های مناسبی در برابر اکسیژن هستند چرا که ساختار دارای پیوند هیدروژنی موجب افزایش پیوستگی می‌گردد. مقدار نفوذپذیری به اکسیژن در فیلم‌های بدون نیسین نسبت به فیلم حاوی نیسین بیشتر بود. کاهش در PO₂ به دلیل اندازه کوچک مولکول‌های نیسین و توانایی آن در پر کردن فضاهای خالی ماتریس پلیمر و در نتیجه جلوگیری از مهاجرت اکسیژن می‌باشد. میزان نفوذپذیری به دی اکسید کربن (PCO₂) در فیلم‌های حاوی نیسین در مقایسه با فیلم بدون نیسین بیشتر بود که احتمالاً به دلیل واکنش متقابل مولکول‌های غیرقطبی CO₂ و مولکول‌های بدون قطبیت نیسین می‌باشد.

اثر پوشش حاوی نیسین بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پنیر در طول ۲۸ روز بررسی شد. در نمونه‌های بدون پوشش (کنترل)، بالاترین میزان از دست‌دهی رطوبت در مقایسه با فیلم‌های دارای پوشش مشاهده شد. تفاوت معنی‌داری در میزان رطوبت پنیرهای پوشش داده شده با

complex hydrogels as an alternative approach for the production of bio-based polymers for food packaging applications: a review". Trends in food science and Technology, 20, 316-332.

3. Mahalik, N. P., & Nambiar, A. N. (2010). "Trends in food packaging and manufacturing systems and technology". Trends in food science and technology, 21, 117-128.

4. Lin, D., & Zhao, Y. (2007). "Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables". Comprehensive reviews in food science and food safety, 6(3), 60-75.

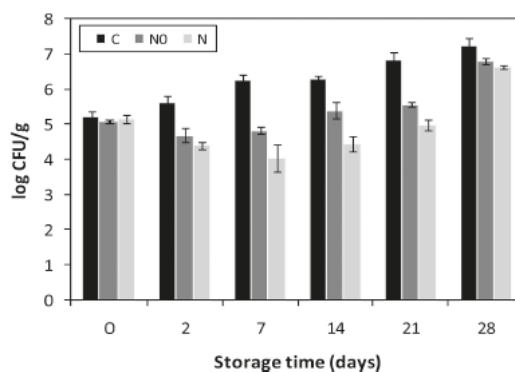
5. Rinaudo, M. (2008). "Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials". Polymer international, 57, 397-430.

6. Guilbert, S. Technology and application of edible protective films. In M. Mathlouthi (Ed.), 1986. Food packaging and preservation theory and practice. London: Elsevier Applied Science Publishers Co.

7. Park, H. J. (1999). "Development of advanced edible coatings for fruits". Trends in food science & Technology, 10, 254-260.

8. Gidley, M. J., & Reid, J. S. G. (2006). Galactomannans and other cell wall storage polysaccharides in seeds. In A. M. Stephen, G. O. Phillips, & P. A. Williams (Eds.), Food polysaccharides and their application (pp. 181-216). Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis.

9. Dakia, P. A., Blecker, C., Robert, C., Wathélet, B., & Paquot, M. (2008). "Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment". Food Hydrocolloids, 2008, 22, 807-818.



شکل ۱۱- جمعیت لیستریا مونوسیتوژنز (log CFU . g-1) در پنیر ریکوتا بدون پوشش (C) و دارای پوشش حاوی نیسین (N) و بدون نیسین (N0) در طول زمان [۲۲]

۶- نتیجه گیری

تولید بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر در حال افزایش است و گالاکتومانان یکی از پلی‌ساکاریدهایی است که می‌تواند در ساخت فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به کار رود. افزودن سایر ترکیبات از جمله سایر پلی‌ساکاریدها و یا مواد پروتئینی می‌تواند ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری فیلم‌های تهیه شده از گالاکتومانان را بهبود بخشد. همچنین از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی مختلفی به همراه این فیلم‌ها می‌توان استفاده نمود و میزان ماندگاری مواد غذایی مختلف را افزایش داد. علاوه بر منابع شناخته شده گالاکتومانان، می‌توان آن را از منابع گیاهی دیگری نیز تهیه کرد و قابلیت استفاده از آن‌ها را در تولید فیلم‌های خوراکی بررسی نمود که نیاز به پژوهش‌های بیشتری در این زمینه وجود دارد.

۷- منابع

- Petersen, K., Nielsen, P. V., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M. B., Nilsson, N. H., et al. (1999). "Potential of biobased materials for food packaging". Trends in food science and technology, 10, 52-68.
- Farris, S., Schaich, K. M., Liu, L., Piergiovanni, L., & Yam, K. L. (2009). "Development of poly ion-

- determining citrus fruit overall quality". Food hydrocolloids, 15, 127-137.
19. Lima, A. M., Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Santos, E. C. M., Teixeira, J. A., Moreira, R. A., et al. (2010). "New edible coatings composed of galactomannans and collagen blends to improve the postharvest quality of fruits e influence on fruits gas transfer rate". Journal of food engineering, 97, 101-109.
20. Conforti, F. D., & Totty, J. A. (2007). "Effect of three lipid/hydrocolloid coatings on shelf life stability of golden delicious apples". International journal of food science & technology, 42, 1101-1106.
21. Cerqueira, M. A., Sousa-Gallagher, M. J., Macedo, I., Rodriguez- Aguilera, R., Souza, B. W. S., Teixeira, J. A., et al. (2010). "Use of galactomannan edible coating application and storage temperature for prolonging shelf-life of "Regional" cheese". Journal of food engineering, 97(4), 87-94.
22. Martins, J. T., Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Avides, M. C., & Vicente, A. (2010). "Shelf life extension of ricotta cheese using coatings of galactomannans from nonconventional sources incorporating nisin against *Listeria monocytogenes*". Journal of agricultural and food chemistry, 58(3), 1884-1891.
10. Srivastava, M., & Kapoor, V. P. (2005). "Seed galactomannans: an overview". Chemistry & biodiversity, 2(3), 295-317.
11. Baveja, S. K., Rao, K. V. R., Arora, J., Mathur, N. K., & Vinayah, V. K. Chemical investigations of some galactomannan gums as matrix tablets for sustained drug delivery. Indian Journal of chemistry, 1991, 30, 133-137.
12. Krishnaiah, Y. S. R., Karthikeyan, R. S., Gouri Sankar, V., & Satyanarayana, V. (2002). "Three layer guar gum matrix tablet formulations for oral controlled delivery of highly soluble trimetazidine hydrochloride". Journal of Controlled Release, , 81, 45-56.
13. Varshosaz, J., Tavakoli, N., & Eram, S. A. (2006). "Use of natural gums and cellulose derivatives in production of sustained release metoprolol tablets". Drug Delivery, 13, 113-119.
14. Vieira, I. G. P. V., Mendes, F. N. P., Gallao, M. I., & De Brito, E. S. (2007). "NMR study of galactomannans from the seeds of mesquite tree (*Prosopis juliflora* (Sw) DC)". Food chemistry, 101, 70-73.
15. Aydinli, M., Tutas, M., & Bozdemir, O. A. (2004). "Mechanical and light transmittance properties of locust bean gum based edible films". Turkish Journal of Chemistry, 28, 163-171.
16. Bozdemir, O. A., & Tutas, M. (2003). "Plasticiser effect on water vapour permeability properties of locust bean gum-based edible films". Turkish journal of chemistry, 27, 773-782.
17. Perez-Gago, M. B., & Krochta, J. M. (2001). "Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films". Journal of agricultural and food chemistry, 49, 996-1002.
18. Chen, S., & Nussinovitch, A. (2001). "Permeability and roughness determinations of wax-hydrocolloid coatings, and their limitations in

آدرس نویسنده

تهران - شهرک غرب، بلوار فرحزادی - خیابان شهید حافظی (ارغوان غربی) - پلاک ۴۶ - انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور - دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی - گروه آموزشی علوم و صنایع غذایی - کد پستی ۱۹۸۱۶۱۸۵۷۳.