مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۹، صفحات ۱۸-۱۱

اثر تیمار فراصوت بر برخی ویژگی‌های فیلم‌های متیل سلولزی و استفاده از فیلم‌های اصلاح شده در بسته بندی نان باگت

عماد احمدی[۱]، محمد حسین عزیزی[۲] ، زهرا هادیان[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس پست الکترونیکی: mhazizitm@yahoo.com
۳- پژوهشیار گروه تحقیقات صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۱

چکیده

سابقه و هدف: فیلم‌های خوراکی به عنوان لایه‌های نازکی از مواد غذایی تعریف می‌شوند. آنها می‌توانند بـه شـکل لفـاف، کیـسه و کپـسول در بسیاری از فرایندها مورد استفاده قرار گیرند. پوشش‌ها شکل ویژه‌ای از فیلم‌ها هستند که روی سطح مواد غذایی کشیده می‌شوند. فـیلم‌هـا بـه طور معمول از پلیمرهای زیستی مانند پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و لیپیدها تهیه می‌شوند. ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری فیلم‌های خـوراکی نسبت به بخارآب، ضعیف است که با انجام اصلاحات فیزیکی شیمیایی مانند تیمار فراصوت (اولتراسوند) بهبود مـی‌یابـد. همچنـین، فـیلم‌هـای خوراکی به خاطر ماهیت زیست تخریب‌پذیر بودنشان (البته با تقویت و اصلاح برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی آنهـا) مـی‌تواننـد جـایگزین بسته‌بندی‌های سنتزی برای مواد غذایی مختلف نظیر نان باشند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، فیلم‌های خوراکی متیل‌سلولزی تهیه شدند. تأثیر تیمـار فراصـوت (۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقـه) بـر نفوذپـذیری نسبت به بخارآب، مقاومت به کشش و میزان کشش در نقطه شکست، مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر این، اثر رطوبت‌های نـسبی (۵۲، ۵۷ و ۷۵ درصد) بر قابلیت نفوذپذیری نسبت به بخارآب بررسی شد. همچنین، توانایی لفاف‌های متیل سلولزی در به تأخیر انداختن بیاتی نـان‌هـای باگت نیز مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: فیلم‌های ۱۵ میکرونی، محتوی ۴۵ درصد گلیسرول و تیمار شده با امواج فراصوت به مدت ۵ دقیقه (بهترین شرایط) انتخاب شـدند و اثر آنها بر بیاتی نان باگت بررسی شد. تیمار فراصوت سبب تغییر معنی‌داری بر میزان نفوذپذیری نسبت بـه بخـارآب و ویژگـی‌هـای مکـانیکی فیلم‌های متیل سلولزی شد. علاوه بر این، مقادیر مختلف رطوبت نسبی، میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب، فیلم‌ها را تحـت تـأثیر قـرار داد. استفاده از فیلم‌های متیل سلولزی فقط در روز اول، بیاتی نان‌های باگت را به تأخیر انداخت.

نتیجه‌گیری: تیمار فراصوت توانست تا حد زیادی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های متیل سلولزی را تحت تأثیر قـرار دهـد. همچنـین، آزمون‌های مکانیکی و حسی نان‌های باگت نشان داد که لفاف به کار گرفته شده، بیاتی نـان‌هـای باگـت را فقـط یـک روز بـه تـأخیر انـداخت. بنابراین، استفاده از فیلم‌های خوراکی متیل سلولزی برای بسته‌بندی مواد غذایی نیازمند اصلاحات فیزیکی شیمیایی بیشتری است.

واژگان کلیدی: فیلم خوراکی، متیل سلولز، فراصوت، لفاف

• مقدمه

اصولاً فـیلم‌هـا یـا پوشـش خـوراکی بـه عنـوان لایـه‌ای یکپارچه و نازک از مواد خوراکی روی مواد غـذایی یـا میـان مواد غذایی قرار داده می‌شوند. سـاختار اصـلی آنهـا بـر پایـه پلیمرهای طبیعی با خواص ویژه اسـت. عملکـرد آنهـا ایجـاد یک سد در مقابل انتقال مواد (آب، گاز، چربـی‌هـا)، حفـظ و انتقال اجزای مواد غذایی و افزودنی‌ها (رنگ‌ها، طعم‌دهنده‌هـا و ...)، جلوگیری از رشـد میکروارگانیـسم‌هـا در سـطح مـواد غذایی و نیز حفاظت مکانیکی از مواد غذایی است.

خواص فیلم‌های خوراکی به میـزان زیـادی تحـت تـأثیر عواملی مانند فرمولاسیون، تکنولوژی تهیه فیلم، ویژگی‌هـای حلّال و افزودنی‌ها قرار دارد. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به عنوان حامل برای مواد فعالی مثـل آنتـی‌اکـسیدان‌هـا، مـواد

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-25]

ضدمیکروبی، رنگ‌ها و طعم‌دهنده‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد گسترده‌ای دارند (۱). فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از زیست بسپارها تولید می‌شوند. زیست بسپارهای تشکیل‌دهنده فیلم‌ها شامل پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها (کربوهیدرات و صمغ) و لیپیدها هستند (۲). پلی ساکاریدها ساختار پیچیده و عملکردهای متفاوتی دارند (۳). سلولز که یکی از فراوان‌ترین پلی‌ساکاریدها محسوب می‌شود، یک پلیمر خطی شامل واحدهای گلوکز با ساختاری بلورین و نامحلول در آب است (۴). به طور معمول، فیلم‌های اتر سلولزی مثل متیل‌سلولز، فیلم‌هایی با قابلیت انعطاف‌پذیری مناسب، شفاف، محلول در آب، بدون بو و طعم و مقاوم در برابر روغن‌ها و چربی‌ها هستند (۶، ۵) که قابلیت انعطاف‌پذیری می‌تواند با افزودن پلاستی‌سایزرها به فرمولاسیون افزایش یابد. پلاستی سایزرها ترکیباتی ضروری برای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی پروتئینی و پلی‌ساکاریدی محسوب می‌شوند (۷).

فیلم‌های خوراکی در مقایسه با نمونه‌های سنتزی دارای ویژگی‌های مکانیکی ضعیفی هستند و برای اینکه بتوانند رقیبی برای فیلم‌های سنتزی محسوب شوند، نیازمند اصلاحات فیزیکی شیمیایی گوناگونی هستند. استفاده از تیمار فراصوت شاید بتواند یکی از راهکارهای مناسب برای بهبود ویژگی‌های فیلم‌ها و محلول‌های تشکیل دهنده آنها باشد. تیمار فراصوت به عنوان امواج صدا با فرکانس‌هایی بیشتر از آستانه شنوایی انسان (۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز) تعریف می‌شود. در مورد بررسی تأثیر فراصوت بر ویژگی‌های مختلف فیلم‌های خوراکی و محلول‌های تشکیل دهنده آنها تحقیقات فراوانی صورت نگرفته است. *لیو* و همکاران (۲۰۰۴) در اندک کارهای انجام شده، تأثیر تیمار فراصوت را بر ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری نسبت به بخارآب فیلم‌های پروتئینی بادام زمینی بررسی کردند (۸). یکی از تحقیقات مورد علاقه دانشمندان در زمینه نگهداری و فرایند مواد غذایی، افزایش کیفیت نان و کاهش سرعت بیاتی آن است. طبق نظریه *راسموسن* و *هانسن* (۲۰۰۱) سرعت انتقال رطوبت می‌تواند نقش مهمی در بیاتی نان داشته باشد (۹). بنابراین، می‌توان پیش‌بینی کرد که لفاف‌ها و پوشش‌های خوراکیِ اصلاح شده بتوانند میزان انتقال رطوبت از نان را کنترل کنند و جایگزین مناسبی برای بسته بندی‌های سنتزی باشند و در نتیجه، محیط زیست را از این آلاینده‌های سنتزی نجات دهند.

در مطالعه حاضر، این موارد بررسی شده است: ۱) تأثیر تیمار فراصوت در فاصله‌های زمانی ۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه بر ویژگی‌های مکانیکی و قابلیت نفوذ بخارآب فیلم‌های متیل سلولزی ۲) تأثیر رطوبت نسبی ۵۲، ۵۷ و ۷۵ درصد بر میزان نفوذپذیری نسبت به بخارآب فیلم‌های متیل سلولزی و ۳) تأثیر کاربرد لفاف متیل سلولزی بر بیاتی نان باگت.

• مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی: در این پژوهش، از متیل‌سلولز (Sigma, viscosity 400 CPs, USA)، گلیسرول (Merck Schachardt OHG 85662 Hohenbrunn, Germany، اتانول (Merck KGaA 64271 Darmestadt, Germany)، سدیم برماید، سدیم کلراید و منیزیم نیترات (Merck Darmestadt, Germany) استفاده شد.

آماده‌سازی فیلم‌های متیل‌سلولز: در مرحله اول ۳ گرم متیل‌سلولز در ۱۰۰ml مخلوط اتانول-آب (با نسبت ۱:۱) حل شد و به مدت ۱۰ دقیقه تحت تیمار دمایی ۷۵°C قرار گرفت. گلیسرول در غلظت ۴۵٪ ماده خشک محلول فیلم به محلول افزوده شد. سپس امولسیون روی یک همزن مغناطیسی ۸۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. محلول فیلم با استفاده از اسپریدر کروماتوگرافی لایه‌نازک روی پلکسی‌گلاس پخش شد.

لازم به یادآوری است که ضخامت‌های مختلف با تغییر فاصله تیغه اسپریدر به دست می‌آمد. مثلا برای به دست آوردن ضخامت ۱۵ میکرون، تیغه اسپریدر روی فاصله ۰/۵mm تنظیم می‌شد. در نهایت، فیلم‌ها در دمای ۲۵°C و رطوبت نسبی ۵۰٪ در دستگاه ژرمیناتور (*ایران خودساز IKH.RH*) به مدت ۱۰ ساعت خشک شده و پس از خشک شدن از پلکسی‌گلاس کنده شده و به مدت ۴۸ ساعت تحت شرایط دمایی۲۵°C و رطوبت نسبی ۵۰٪ مشروط شدند (۱۰).

تعیین میزان نفوذپذیری نسبت به بخارآب: آزمون‌های نفوذپذیری نسبت به بخارآب فیلم‌های خوراکی طبق روش ASTM اصلاح شده (۱۹۹۵) صورت گرفت (۱۱). برای انجام این آزمون از فنجان‌های شیشه‌ای با قطر داخلی ۳cm و ارتفاع ۳/۵ cm استفاده شد. فنجان‌ها محتوی ۸ml آب مقطر بودند که این مقدار می‌توانست رطوبت ۱۰۰٪ را در فضای داخل فنجان ایجاد کند؛ به صورتی که رطوبت داخل فنجان از رطوبت بیرون بیشتر شود. همچنین برای ایجاد

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-25]

رطوبت‌های نسبی ۵۲، ۵۶ و ۷۴ درصد به ترتیب از محلول‌های نمکی اشباع منیزیم نیترات، سدیم برماید و سدیم کلراید استفاده شد. نمونه‌های فیلم به وسیله گریس، روی فنجان‌ها قرار داده شدند و با واشر لاستیکی و گیره، محکم و آب‌بندی شدند. سپس فنجان‌ها درون یک دسیکاتور محتوی سیلیکاژل قرار گرفتند. فنجان‌ها هر ۱۲ ساعت یک بار توزین شده و میزان افت وزنی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تعیین می‌شد. میزان نفوذپذیری نسبت به بخارآب با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$wvp=\frac{\Delta m\times x}{A\times\Delta t\times\Delta p}$$

Δm افت وزنی مربوط به فنجان (گرم)، A سطح در معرض ($7.06\times10^{-4}\ m^2$)، Δt زمان (ثانیه)، x ضخامت (میکرون) و Δp اختلاف فشار جزئی بین درون و بیرون فنجان است که این اختلاف فشار در رطوبت ۱۰۰ درصد ۳/۱۷۹ کیلوپاسکال (با استفاده از جدول بخار اشباع) در نظر گرفته شد.

تعیین ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها: آزمون‌های مکانیکی فیلم‌ها طبق روش ASTM تغییر یافته (۱۹۹۶) انجام شد (۱۲). فیلم‌ها در قطعات ۱×۶ سانتی‌متر بریده شده و تحت شرایط رطوبت نسبی ۵۰٪ و دمای ۲۵°C با استفاده از دستگاه ژرمیناتور مشروط شدند. قبل از اندازه‌گیری‌ها، ضخامت نمونه‌های فیلم در ۸ نقطه با استفاده از میکرومتر (Mitotoyo, Japan) اندازه‌گیری شد. فاصله بین دو فک دستگاه آزمون عمومی فیلم (Zwick BZ2/5TH 1S, Germany) ۶۰ میلی‌متر و سرعت حرکت فک بالایی ۵۰ میلی‌متر در دقیقه بود. مقاومت به کشش به وسیله تقسیم حداکثر نیرو بر سطح اولیه و میزان کشیدگی به وسیله تقسیم میزان کشش در لحظه پاره شدن نمونه فیلم بر طول اولیه فیلم به دست آمد.

اندازه‌گیری سفتی نان: سفتی عبارت است از نیروی لازم برای تراکم یک فراورده تا مسافت موجود. این روش برای ارزیابی سفتی مغز نان توسط دستگاه آزمون عمومی مواد (Hounsfield H50KS, England) به کار می‌رود. شرایط این دستگاه برای ارزیابی سفتی مغز نان عبارت است از: سل بارگذاری تراکم حداکثر ۵۰۰ کیلوگرم و پلانژر آلومینیومی با قطر ۳cm. پوسته نان‌های باگت توسط چاقو برداشته شده و آماده متراکم شدن شدند. برای انجام آزمون، ابتدا پلانژر در وضعیتی قرار گرفت که ۱mm بالاتر از مرکز سطح نان قرار گیرد. میزان پایین آمدن پلانژر در سطح تراکم ۴۰٪ (عمق تراکم ۶mm) و سرعت تراکم در ۱۰۰ mm/min تنظیم شد. خواندن نیروی تراکم در میزان تراکم ۲۵٪ انجام گرفت سپس پلانژر به وضعیت اول خود برگشت. این مراحل برای همه نمونه‌ها تکرار شد (۱۳).

تیمار فراصوت: جهت بررسی اثر تیمار فراصوت (TRANSSONIC, TP 690/H, 35KHz, Germany) در زمان‌های تماس مختلف بر ویژگی‌های فیلم‌های متیل‌سلولز، محلول‌های فیلم داخل بشرهای ۲۰۰ میلی‌لیتری تهیه شدند. بشرهای حاوی نمونه در معرض امواج فراصوت با شدت ثابت ۳۵ KHz در زمان‌های تماس ۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه قرار گرفتند. سپس محلول‌های فیلم توسط اسپریدر روی پلکسی‌گلاس با ضخامت ۱۵ میکرون پهن شدند.

لفاف کردن نان‌های باگت: نان‌های باگت از *شرکت تولیدی قدس* که همگی از یک حجم تولیدی بودند، تهیه شدند. نان‌های باگت با فیلم‌های متیل‌سلولز در شکل‌های یک‌لایه، دولایه، ترکیبی (متیل‌سلولز + پلی‌اتیلن) و پلی‌اتیلن پیچیده شدند. نان‌های باگت بدون لفاف به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. نمونه‌ها در داخل دستگاه ژرمیناتور *(ایران خودساز IKH.RH)* که دما و رطوبت آن تحت کنترل بود، قرار داده شدند. آزمون‌های تراکمی و حسی نان‌ها پس از روزهای اول، دوم و سوم نگهداری انجام شد.

آنالیز حسی نان‌های باگت: نان‌های باگت از نظر عطر و طعم، بافت و ظاهر در حالت‌های خیلی تازه، تازه، کمی تازه، بیات، کمی بیات و بسیار بیات توسط ۱۰ نفر از افراد آموزش دیده ارزیابی شد. روش AACC (۱۹۹۵) شامل ارزیابی داوران از تعدادی عوامل اصلی مؤثر در بیاتی نان است (۱۳). امتیاز ۶ برای نان‌های خیلی تازه، امتیاز ۵ برای نان‌های تازه، امتیاز ۴ برای نان‌های کمی تازه، امتیاز ۳ برای نان‌های بیات، امتیاز ۲ برای نان‌های کمی بیات و امتیاز ۱ برای نان‌های بسیار بیات در نظر گرفته شد (۱۴).

میکروسکپ الکترونی: برای بررسی ریزساختار نمونه‌ها از میکروسکپ الکترونی استفاده شد (Philips, XL30 model, Netherlands) حداکثر ولتاژی که توسط این نوع میکروسکپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، حدود ۲۰ KV است. نمونه‌ها پس از تثبیت روی پایه‌های

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-25]

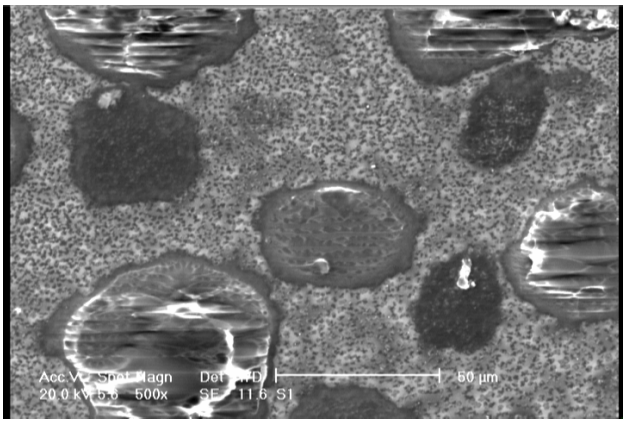
ویژه، طلاکوبی شده و آماده بررسی ریزساختار با میکروسکپ الکترونی شدند.

آزمون‌های آماری: در مورد ویژگی‌های کمی از آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) در سطح α=۰/۰۵ استفاده شد و در صورت معنی‌دار بودن از آزمون مقایسه چندگانه دانکن استفاده شد. همچنین، برای بررسی نتایج ارزیابی حسی نان‌ها روش امتیازدهی و آزمون LSD به کار رفت. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار $SPSS_{13}$ استفاده شد. همه آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد.

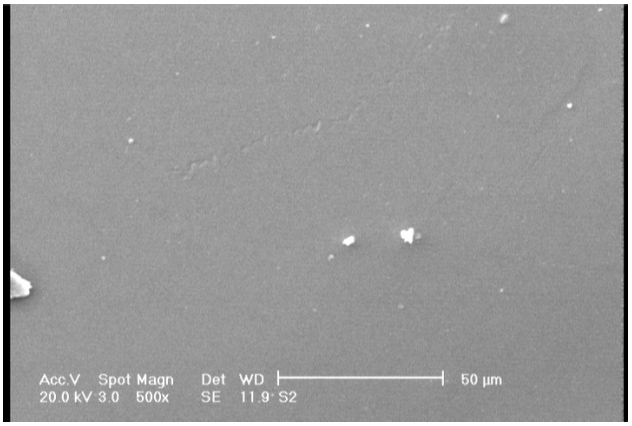
• یافته‌ها

بررسی اثر فراصوت: آنالیز آماری تأثیر مهم تیمار فراصوت در زمان‌های مختلف را بر کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب نشان داد. همان طور که در جدول۱ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان تماس، نفوذپذیری نسبت به بخارآب به طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به صورتی که کمترین نفوذپذیری نسبت به بخارآب در زمان ۴۵ دقیقه به دست آمد. میکروگراف‌های به دست آمده از میکروسکپ الکترونی (شکل۱) این نتایج را تأیید می‌کند. تیمار فراصوت مقاومت به کشش مربوط به فیلم‌ها را به طور معنی‌داری بالا برد. بالاترین میزان مقاومت به کشش برای نمونه‌های تیمار شده در زمان‌های ۵ و ۴۵ دقیقه به دست آمد. در مورد میزان کشش، فیلم‌های تیمار شده در زمان‌های ۵ و ۴۵ دقیقه کشیدگی بیشتری را نشان دادند.

بررسی اثر رطوبت نسبی: با افزایش رطوبت نسبی داخل فنجان‌ها قابلیت نفوذپذیری نسبت به بخار آبِ فیلم‌های متیل‌سلولز افزایش یافت (شکل۲).



الف)



ب)

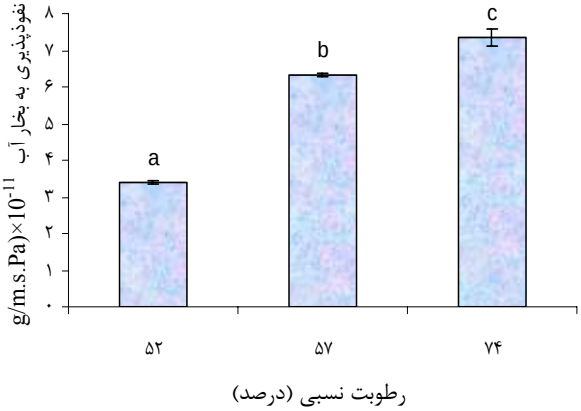
شکل۱- تصاویر ریزساختار نمونه‌های الف) تیمار شده با فراصوت به مدت ۴۵ دقیقه ب) شاهد با بزرگنمایی ۵۰۰

جدول۱ - بررسی تأثیر تیمارهای زمانی فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های متیل‌سلولز

زمان تیمار (min)	ضخامت (µm)	نفوذپذیری نسبت به بخارآب (g/m.s.Pa)×10^{-11}	مقاومت به کشش (MPa)	میزان کشیدگی (%)
۰	۱۲±۳^{a}	۴/۳۷±۰/۱۴^{b}	۳۰/۸۳±۱/۷۱^{e}	۶۷/۱۴±۲/۶۱^{h}
۵	۱۱±۳^{a}	۴/۱۹±۰/۱۶^{c}	۵۹/۸۷±۸/۳۳^{f}	۷۸/۱۱±۴/۲۴^{i}
۱۵	۱۳±۳^{a}	۴/۰۵±۰/۰۸^{c}	۴۹/۱±۷/۰۹^{g}	۵۳/۸۴±۶/۱۳^{j}
۳۰	۸±۳^{a}	۳/۹۶±۰/۱۴^{c}	۴۵/۱۱±۵/۱۱^{g}	۴۶/۵۸±۸/۷۶^{j}
۴۵	۸±۳^{a}	۳/۵۹±۰/۰۷^{d}	۵۹/۱۷±۳/۵۵^{f}	۸۱/۱۷±۲/۳۰^{i}

* حروف غیر یکسان در هر ستون، نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح $p\leq$۰/۰۵ است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-25]



حروف غیر یکسان نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح $p\leq ۰/۵$ می‌باشد.

شکل۲ - بررسی تأثیر رطوبت نسبی بر میزان نفوذپذیری نسبت به بخارآب فیلم‌های متیل سلولزی اصلاح شده با تیمار فراصوت به مدت ۵ دقیقه

شکل۳ - نان‌های پوشش‌دار با فیلم‌های متیل‌سلولزی
سمت چپ: نان لفاف شده و سمت راست: شاهد

جدول۲ - بررسی اثر لفاف متیل سلولزی بر بیاتی نان به وسیله آزمون مکانیکی در طول دوره نگهداری

نوع بسته‌بندی	روز اول	روز دوم	روز سوم
یک لایه	۶۷/۲۵±۴/۳۸^{a*}	۱۶۲/۳±۱۳/۲۷^{e}	۱۷۱/۵۱±۳/۲۹^{e}
دو لایه	۴۸/۲۵±۳/۲۴^{b}	۱۷۱/۳۳±۲۳/۹۹^{e}	۱۸۲/۲۳±۱۶/۶۷^{e}
پلی‌اتیلن	۷/۸±۰/۶۷^{c}	۱۲/۵۱±۰/۸۷^{f}	۲۱/۱۲±۱/۱^{g}
ترکیبی	۹/۳۵±۰/۳۵^{c}	۱۶/۴۹±۱/۱۷^{f}	۲۷/۷۸±۲/۵^{h}
شاهد	۹۴/۲۲±۴/۵۳^{d}	۱۶۷/۸±۱۰/۶۱^{e}	۱۶۹/۳۷±۸/۷^{e}

*حروف غیر یکسان، در هر ستون نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح $p\leq ۰/۰۵$ است.

بررسی تأثیر لفاف‌های متیل‌سلولزی و سنتزی بر بیاتی نان باگت: لفاف کردن نان‌ها با فیلم‌های متیل‌سلولزی، پلی‌اتیلنی و ترکیبی طی روزهای اول، دوم و سوم نگهداری توانست فرایند بیاتی در نان‌های باگت را به طور مؤثری به تأخیر بیندازد. همان طور که در جدول۲ مشاهده می‌شود، فیلم‌های متیل‌سلولزی (به صورت یک‌لایه و دولایه) فرایند بیاتی نان‌های باگت را برای یک روز به تأخیر انداخت. آزمون‌های حسی مربوط به نان‌های باگت لفاف شده نتایج به دست آمده از آزمون تراکمی را تأیید کرد (جدول۳).

جدول۳- بررسی نان‌های باگت لفاف‌دار و شاهد از نظر بافت و عطر و طعم با استفاده از روش حسی

روزهای نگهداری	نان‌های باگت لفاف‌دار یک‌لایه و دولایه	شاهد
روز اول	۴^{a}	۳^{b}
روز دوم	۱^{c}	۱^{c}
روز سوم	۱^{c}	۱^{c}

*امتیازها: بسیار تازه=۶، تازه=۵، کمی تازه=۴، کمی بیات=۳، بیات=۲ و بسیار بیات=۱

• بحث

نتایج به دست آمده تأثیر مهم تیمار فراصوت در زمان‌های مختلف را بر کاهش نفوذپذیری نسبت به بخارآب نشان داد. عبور امواج فراصوت با شدت بالا از میان یک محیط مایع می‌تواند منجر به تولید حباب‌های رشته‌ای یا ابری شود. این حباب‌ها تا اندازه بحرانی رشد کرده و سپس به شدت متلاشی می‌شوند. فرایند کلی شامل تشکیل، رشد و متلاشی شدن حباب‌ها در اثر امواج فراصوت را می‌توان به حفره‌زایی نسبت داد (۱۵).

رشد حباب‌ها تا اندازه بحرانی و متلاشی شدن آنها می‌تواند سبب تولید دما و فشار بسیار بالا در داخل حباب متلاشی‌شونده شود. برطبق نظریه *Henglin* (۱۶) ملکول‌های حلال و محلول موجود در میان حباب‌ها تحت دما و فشار بالا تجزیه می‌شوند و رادیکال‌های بسیار زیادی تولید می‌کند. طبق مکانسیم حفره‌زایی، تماس محلول فیلم با امواج فراصوت می‌تواند سبب متلاشی شدن ملکول‌های آب و اتانول محلول شده و در نتیجه، رادیکال‌های هیدروژن و هیدروکسیل ایجاد می‌شوند. بنابراین، کاهش نفوذپذیری نسبت به بخارآب به

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-25]

عنوان نتیجه‌ای از تیمار با امواج فراصوت می‌تواند به دلیل تشکیل پیوندهای کووالانسی بین ملکول‌های بخارآب و رادیکال‌ها باشد. این واکنش احتمالا می‌تواند از طریق به دام‌انداختن ملکول‌های آب درون شبکه باعث کاهش نفوذپذیری نسبت به بخارآب شود. علاوه بر این، افزایش مدت زمان تماس می‌تواند سبب افزایش تعداد رادیکال‌های تولید شده و به دنبال آن، افزایش تشکیل پیوندهای کووالانسی و کاهش بیشتر قابلیت نفوذپذیری نسبت به بخارآب شود.

تیمار فراصوت مقاومت به کشش مربوط به فیلم‌ها را به طور معنی‌داری بالا برد. *لیو* و همکاران (۲۰۰۴) در مورد فیلم‌های پروتئینی بادام‌زمینی گزارش کردند که با کاهش مدت زمان تماس، میزان مقاومت به کشش فیلم‌ها افزایش می‌یابد، اما آنها تغییر مهمی را در میزان کشیدگی فیلم‌ها مشاهده نکردند (۸). افزایش مقاومت به کشش در اثر تیمار فراصوت را می‌توان به قطع پیوندهای کووالانسی بین اتم‌های هیدروژن و کربن مربوط به گروه‌های متیل موجود در زنجیره متیل‌سلولز (ناشی از پدیده حفره‌زایی) و تشکیل پیوندهای شیمیایی جدید بین دو یا چند زنجیره سلولزی نسبت داد. بنابراین، افزایش طول زنجیره سلولز می‌تواند باعث افزایش مقاومت به کشش فیلم‌ها شود.

میکروگراف‌های به دست آمده از میکروسکپ الکترونی (شکل۱) می‌تواند این فرضیه را تأیید کند. همان طور که در شکل۱ مشاهده می‌شود، در فیلم‌های تیمار شده با فراصوت، حفره‌هایی تشکیل شده‌اند. همچنین، اتصالات عرضی موجود در حفره‌ها نیز به طور آشکاری مشخص است که به نظر می‌رسد زنجیره‌های متیل‌سلولز جدید باشند. در نمونه‌های شاهد، حفره مشخصی دیده نمی‌شود، فقط آنچه در شبکه فیلم‌های متیل‌سلولزی تیمار نشده مشاهده می‌شود، به نظر می‌رسد نمک‌هایی از نوع نمک‌های کلسیم باشند که شاید به دلیل خلوص پایین آب مقطر مورد استفاده در فیلم ایجاد شده‌اند و به صورت میکروسکپی قابل مشاهده‌اند.

علاوه بر این، دلیل افزایش معنی‌دار در مقاومت به کشش به نمونه‌های تیمار شده با فراصوت به مدت ۴۵ دقیقه، افزایش میزان حفره‌زایی حباب‌های موجود در محلول تشکیل دهنده فیلم در ۴۵ دقیقه تیمار است. بنابراین، همچنان که گفته شد، افزایش حباب‌ها افزایش تشکیل زنجیره‌های سلولزی را به دنبال دارد. در مورد میزان کشش به نظر می‌رسد که پدیده حفره‌زایی در مراحل اولیه می‌تواند سبب ایجاد فضاهایی بین ملکول‌های متیل‌سلولز شود که این موضوع، افزایش میزان کشش را به دنبال دارد. با افزایش مدت زمان تماس یعنی زمان‌های ۱۵ و ۳۰ دقیقه تعداد حباب‌های متلاشی شده و در نتیجه، برهم‌کنش‌های ملکولی افزایش و درصد کشیدگی کاهش می‌یابد؛ اما دلیلی برای افزایش دوباره درصد کشش فیلم‌ها در تیمار ۴۵ دقیقه وجود ندارد.

در مورد تأثیر رطوبت نسبی- مشابه نتایج به دست آمده برای فیلم‌های ترکیبی- با افزایش رطوبت نسبی، قابلیت نفوذپذیری نسبت به بخارآب فیلم‌های متیل‌سلولز افزایش یافت (شکل۲). نتایج به دست آمده از محققان دیگر نیز نتایج این بررسی را تائید می‌کند (۲۰-۱۷) در رطوبت‌های نسبی بالا قابلیت حرکت زنجیره پلیمری افزایش یافته و در نتیجه، میزان انتشارپذیری نسبت به بخارآب فیلم‌های آبْ دوست خوراکی افزایش می‌یابد (۲۰، ۱۹).

سرانجام، در مورد بسته بندی نان‌های باگت، لفاف کردن نان‌های باگت با فیلم‌های متیل‌سلولزی اصلاح شده با تیمار فراصوت به مدت ۵ دقیقه، پلی‌اتیلنی و ترکیبی در طی روزهای اول، دوم و سوم نگهداری توانست فرایند بیاتی در نان‌های باگت را به طور مؤثری به تأخیر بیندازد. همان طور که در جدول۲ مشاهده می‌شود، فیلم‌های متیل‌سلولزی اصلاح شده (به صورت یک‌لایه و دولایه) توانست فرایند بیاتی نان‌های باگت را یک روز به تأخیر بیندازد. نان‌های لفاف شده با فیلم‌های متیل‌سلولزی به صورت دولایه در مقایسه با نان‌های لفاف شده یک‌لایه و شاهد به نیروی کمتری جهت متراکم شدن نیاز داشتند این موضوع می‌تواند به مقاومت بهتر فیلم‌های دولایه در برابر انتقال بخارآب نسبت داده شود. همان طور که می‌دانیم، فیلم‌های سنتزی نظیر فیلم‌های پلی‌اتیلنی می‌توانند به خوبی در برابر انتقال بخارآب از خود مقاومت نشان دهند. بنابراین، آنها می‌توانند نان‌ها را به مدت طولانی‌تری نگهداری کنند. همچنین، نان‌های باگت نگهداری شده در فیلم‌های پلی‌اتیلنی و ترکیبی در مقایسه با سایر نمونه‌ها جهت متراکم شدن در روزهای اول، دوم و سوم نگهداری به نیروی کمتری نیاز داشت. آزمون‌های حسی مربوط به نان‌های باگت لفاف شده نیز نتایج به دست آمده از آزمون تراکمی را تایید کرد (جدول۳).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-25]

از نظر بافت، نان‌های لفاف شده با فیلم‌های متیل‌سلولزی اصلاح شده با تیمار فراصوت به مدت ۵ دقیقه به صورت یک لایه یا دو لایه در مقایسه با نمونه‌های شاهد پس از گذشت یک روز از نگهداری نرم‌تر بودند، اما در روزهای دوم و سوم نگهداری هیچ تغییر مهمی بین نمونه‌های لفاف‌دار و شاهد مشاهده نشد.

از نظر عطر و طعم و ظاهر، نان‌های باگت لفاف شده با فیلم‌های خوراکی در روز اول نسبت به نان‌های شاهد از کیفیت بالاتری برخوردار بودند، درحالی‌که همانند بافت، در روزهای دوم و سوم نان‌های لفاف‌دار متیل سلولزی و نان‌های شاهد هیچ اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. علاوه بر این، نان‌های باگت لفاف شده با فیلم‌های پلی‌اتیلنی و ترکیبی در مقایسه با نان‌های باگت لفاف شده با فیلم‌های متیل‌سلولزی و شاهد طی روزهای اول، دوم و سوم نگهداری، بافت، عطر و طعم و ظاهر بهتری داشتند. همچنین، در هیچ کدام از نمونه‌های تیمار شده و شاهد هیچ گونه آلودگی کپکی مشاهده نشد.

با توجه به قابلیت نفوذپذیری نسبت به بخارآب و ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های متیل‌سلولزی گلیسرول در غلظت ۴۵ درصد با ضخامت ۱۵ میکرون و تیمار فراصوت در مدت زمان ۵ دقیقه بهترین شرایط شناخته شدند. در مقابل، نان‌های باگت پوشش‌دار به روش لفاف فقط در روز اول نگهداری توانستند سفتی را در مقایسه با نان‌های باگت بدون پوشش کاهش دهند. همچنین، نان‌های باگت لفاف‌دار از نظر شکل ظاهری، ظاهر مطلوبی داشتند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش پوشش‌دهی لفاف می‌تواند قابلیت صنعتی شدن را دارا باشد؛ به شرطی که با انجام تیمارها و اصلاحات فیزیکی شیمیایی مختلف (به شرط حفظ قابلیت خوراکی و زیست تخریب پذیر بودن) بتوان قابلیت انحلال و نفوذپذیری نسبت به بخارآب فیلم را به حداقل ممکن رساند.

• References

1. Cuq B, Aymard C, Cuq JL, Guilbert S. Edible packaging films based on fish myofibrillar proteins: formulation and functional properties. J Food Sci 1995; 60(6): 1369-74.
2. Gennadios A, Rhim J W, Handa A, Weller CL, Hanna MA. Ultraviolet radiation affects physical and molecular properties of soy protein films. J Food Sci 1998; 63(2): 225-28.
3. Tharanathan RN, Kittur FS. Chitin - the undisputed biomolecule of great potential. Crit Rev Food Sci Nutr 2003; 43(1): 61-87.
4. Donhowe IG, Fennema O. The effects of plasticizers on crystallinity, permeability and mechanical properties of methylcellulose films. J Food Processing Preservation 1993; 17: 247–57.
5. Hagenmaier RD, Shaw PE. Moisture permeability of edible films made with fatty acid and hydroxypropyl methylcellulose. *J Agric Food Chem* 1990; 38: 1799–1803.
6. Krochta JM. Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status and opportunities. In: Protein-based Films and Coatings. Gennadios A. editor. 1th ed. Boca Raton: CRC; 2002. p. 1–41.
7. Sobral PJD. Thickness effects of myofibrillar protein based edible films on their functional properties. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 2000; 35: 1251–9.
8. Liu C, Tellez-Garay A, Castell-Perez E. Physical and mechanical properties of peanut protein films. Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie 2004; 37: 731–8.
9. Rasmussen PH, Hansen A. Staling of wheat bread stored in modified atmosphere. Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie 2001; 34: 487–91.
10. Turhan KN, Sahbaz F. Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. J Food Eng 2004; 61: 459-66.
11. ASTM. Standard test methods for water vapor transmission of material, E96–95: annual book of ASTM. Philadelphia: 5th ed. American Society for Testing and Materials; 1995.
12. ASTM. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting, D882–91. annual book of ASTM. Philadelphia: 5th ed. American Society for Testing and Materials; 1996.
13. American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 9th ed. Method 74-09, Springer, Minnesota, The Association; 1998.
14. Gray JA, BeMiller JN. Bread staling: molecular basis and control. CRFSFS 2003; 2:1-21.
15. Ashokkumar M, Sunarito D, Kentish S, Mowson R, Simons L, Vilkhu K, et al. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality:

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-25]

a preliminary study on a model system. IFSET 2008; 9: 155-160.

16. Henglin A. Contributions to various aspects of cavitation chemistry. Advances in Sonochemistry 1998; 3: 17-83.

17. Cuq B, Gontard N, Aymard C, Guilbert S. Relative humidity and temperature effects on mechanical and water vapor barrier properties of myofibrillar protein-based films. Polymer Gels and Networks 1997; 5: 1–15.

18. Fennema O, Donhowe IG, Kester JJ. Lipid type and location of the relative humidity gradient influence on the barrier properties of lipids to water vapor. J Eng 1994; 22: 225–39.

19. McHugh TH, Aujard JF. Krochta JM. Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties. J Food Sci 1994; 59: 416–19, 423.

20. Bravin B, Peressini D, Sensidoni A. Development and application of polysaccharide–lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. J Food Eng 2006; 76: 280–90.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-25]