

## بسته‌بندی کاغذی جدید پوشش‌دهی شده با پوشش ممانعتی پایدار شده بر پایه موم پلی‌اتیلن برای استفاده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی

### چکیده

بسته‌بندی مواد غذایی به‌عنوان یک‌لایه محافظ، یکی از مهم‌ترین عواملی است که نقش کلیدی در تأمین بهداشت و سلامت مواد غذایی ایفا می‌کند. هدف از این پژوهش تهیه یک ماده بسته‌بندی کاغذی جدید از طریق پوشش‌دهی با یک پوشش ممانعتی پراکنده جدید بر پایه ترکیبی از پروتئین ایزوله سویا و امولسیون موم پلی‌اتیلن بود. برای این منظور ویژگی‌های مکانیکی، مقاومت به جذب آب و نفوذپذیری در برابر اکسیژن نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اگرچه با افزودن موم پلی‌اتیلن مقاومت کششی مقوای پوشش‌دار کاهش پیدا کرد اما اختلاف قابل توجهی بین مقوای پوشش‌دهی شده با پروتئین و ترکیب حاوی ۳۰ درصد موم پلی‌اتیلن وجود نداشت و مقوای پوشش‌دهی شده با ترکیب حاوی ۵۰ درصد موم پلی‌اتیلن تنها کاهش ۶ درصدی در مقایسه با نمونه‌های پوشش‌دهی شده با پروتئین نشان دادند. با افزایش سهم پلی‌اتیلن در فرمولاسیون پوشش میزان نفوذپذیری اکسیژن در مقوای پوشش‌دار افزایش یافت اما میزان جذب آب و نفوذپذیری بخار آب به‌طور چشمگیری کاهش پیدا کرد.

**واژگان کلیدی:** بسته‌بندی مواد غذایی، مقوا، پوشش ممانعتی، پروتئین ایزوله سویا، موم پلی‌اتیلن.

پویا مرزبانی<sup>۱</sup>  
محمد آزادفلاح<sup>۲\*</sup>  
مریم یوسف زاده<sup>۳</sup>  
فرهود نجفی<sup>۴</sup>  
احمدعلی پوربابایی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ، پژوهشکده پوشش‌های سطح و فناوری‌های نوین، تهران، ایران

<sup>۵</sup> دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:  
[adfallah@ut.ac.ir](mailto:adfallah@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶

### مقدمه

بسته‌بندی یکی از ابزارهای بازاریابی مهم و استراتژیک در سطوح ملی و بین‌المللی محسوب می‌شود که نقشی کلیدی در محافظت و افزایش کیفیت محصولات، افزایش فروش، کاهش موجودی انبار، به حداکثر رساندن سود شرکت‌های تولیدی و افزایش صادرات ایفا می‌کند. به‌ویژه امروزه که رقابت بسیار زیاد است و محصولات شرکت‌های

رقیب در عملکردهای خود بسیار مشابه رفتار می‌کنند و مصرف‌کنندگان اغلب محصولات را نه بر اساس مشخصات آنها بلکه بر اساس مشخصات بسته‌بندی انتخاب می‌کنند [۱]. بسترهای سلولزی مانند کاغذ یا مقوا به دلیل داشتن خواص مکانیکی خوب در عین سبک‌وزن بودن، قیمت پایین، چاپ آسان، قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری، قابلیت بازیافت و قابلیت استفاده در صنایع مختلف، نقشی حیاتی

بسته‌بندی‌های مقوایی استفاده‌شده است از جمله تیمارهای شیمیایی با نشاسته، موم<sup>۱</sup>، ترکیبات فلئوئوردار<sup>۲</sup>، پلی وینیلیدن کلراید<sup>۳</sup> (PVDC)، سدیم آلزینات<sup>۴</sup> پوشش‌دهی اکستروژنی پلیمر<sup>۵</sup> با استفاده از پلی‌اتیلن و لمینیت کردن<sup>۶</sup> موادی نظیر آلومینیوم [۶]. این پوشش‌های کاربردی برای صنعت بسته‌بندی را نمی‌توان به‌وسیله ماشین‌آلات کاغذسازی معمولی روی کاغذ اعمال کرد و اغلب نیاز به یک واحد دیگر با ماشین‌های تخصصی واحد تبدیل کاغذ دارند که می‌توانند پوشش‌ها را با استفاده از روش ذوب داغ<sup>۷</sup>، حلال یا اکستروژن اعمال کرده و پس از عملیات چاپ کاغذ و مقوا را به بسته‌بندی نهایی تبدیل نماید. بنابراین، اعمال پوشش‌های ممانعتی بر پایه آب روی کاغذ و مقوا با استفاده از پوشش‌دهنده‌های مرسوم بسیار با اهمیت بوده و می‌تواند منجر به صرفه جویی زیاد در زمان و پول شود.

پلیمرهای زیستی<sup>۸</sup> تجدید پذیر طبیعی می‌توانند به‌عنوان ممانعت کننده‌های گاز و مواد حل‌شونده<sup>۹</sup> عمل کرده و در مقایسه با پلیمرهای سنتزی نفتی، مزیت‌های زیست‌محیطی نظیر قابلیت بازیافت و استفاده مجدد را فراهم آورند و به همین خاطر در سالیان اخیر در کانون توجهات تحقیقات در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی قرار گرفته‌اند [۷]. پروتئین ایزوله سویا<sup>۱۰</sup> (SPI) یک نوع پودر پروتئین سویا است که به‌شدت پالایش و خالص‌سازی شده و با حداقل پروتئین ۹۰ درصد بدون در نظر گرفتن رطوبت به صورت تجاری در دسترس است. این ماده دارای برخی ویژگی‌های مطلوب نظیر قابلیت امولسیون‌سازی، ژل‌سازی و حفظ و نگهداری آب است که آن را تبدیل به یک ترکیب مهم با توانایی فرآوری عالی در تولید مواد غذایی کرده است [۸]. به‌عنوان یک امولسیون کننده، هنگامی که پروتئین به ترکیب امولسیون فزوده می‌شود،

در بازار بسته‌بندی جهانی در حال رشد دارند. افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان در مورد بسته‌بندی پایدار توأم با وضع مقررات زیست‌محیطی سخت‌گیرانه در مورد استفاده از محصولات بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست، بازار را متقاعد کرده است تا نسبت به سایر مواد، سهم بیشتری را به کاغذ و مقوا در کاربردهای بسته‌بندی اختصاص دهد. لذا در سال ۲۰۱۷ سهم بسته‌بندی کاغذی از بازار بسته‌بندی جهانی با ارزش کل ۸۵۱ میلیارد دلار، ۶۴٫۴ میلیارد دلار بود و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۳ ارزش آن به ۸۲٫۴ میلیارد دلار برسد [۲].

طیف گسترده‌ای از محصولات، نظیر محصولات الکترونیکی، مواد غذایی، نوشیدنی‌ها و لوازم‌آرایی را می‌توان با استفاده از کاغذ و مقوا بسته‌بندی نمود. بسته‌بندی مواد غذایی بزرگ‌ترین بخش صنعت بسته‌بندی جهانی با ارزش حدود ۲۷۳٫۹ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۷ است [۳]. شرکت‌های صنایع غذایی مسئولیت انتخاب مواد بسته‌بندی مناسب برای محصولات خود را دارند و این کار باید با توجه به مزایا و معایب مواد و کیفیت نهایی محصولات انجام شود. از آنجایی که برهمکنش بین اجزای ماده غذایی و تماس مستمر آن با ماده بسته‌بندی می‌تواند منجر به تغییر ارزش غذایی آن در طول زمان شود، بنابراین مواد بسته‌بندی در تماس با مواد غذایی علاوه بر هزینه کم، باید دارای خصوصیات ممانعتی مناسبی بوده و قابل بازیافت باشند و مشکلات زیست‌محیطی به دنبال نداشته باشند. مقاومت در برابر رطوبت و اکسیژن نیازهای اساسی بسته‌بندی‌های مقوایی در صنایع غذایی است [۴].

به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل در واحدهای گلوکز، لیاف سلولزی به‌طور طبیعی آب‌دوست هستند و به همین خاطر آب چه از محیط و چه از ماده غذایی می‌تواند به‌آسانی توسط بسته‌بندی‌های کاغذی جذب شوند و این امر می‌تواند منجر به تغییر و کاهش خصوصیات فیزیکی و مکانیکی شود. ساختار متخلخل لیاف سلولز می‌تواند خواص ممانعتی در برابر رطوبت را در کاغذ محدود کند و لذا انتقال رطوبت در کاغذ می‌تواند به‌وسیله انتشار بخار آب از طریق فضاهای خالی و همچنین به شکل متراکم شده از طریق دیواره‌های سلولی لیاف اتفاق افتد [۵]. فناوری‌های مختلفی برای ایجاد مقاومت در برابر رطوبت و گاز در

<sup>۱</sup>Wax

<sup>۲</sup>Fluorochemicals

<sup>۳</sup>Polyvinylidene chloride

<sup>۴</sup>Sodium alginate

<sup>۵</sup>Polymer extrusion coating

<sup>۶</sup>Lamination

<sup>۷</sup>Hot melt

<sup>۸</sup>Biopolymers

<sup>۹</sup>Gas and solute barriers

<sup>۱۰</sup>Soy protein isolate

علی‌رغم مزایای ذکرشده، موم پلی‌اتیلن امولسیون شده قابلیت تشکیل فیلم یکنواخت ندارد و در نتیجه قادر به بهبود ویژگی‌های ممانعتی ماده بسته‌بندی نمی‌باشد [۱۵]. در تحقیق حاضر یک فرمولاسیون پوشش ممانعتی آبی بر پایه پروتئین ایزوله سویا و موم پلی‌اتیلن اکسید شده تهیه شده و نتایج آن روی ویژگی‌های مقاومت به جذب آب و نفوذپذیری در برابر اکسیژن مقواهای پوشش داده شده بررسی گردید.

## مواد و روش‌ها

### مواد

پروتئین ایزوله سویا حاوی ۹۰ درصد پروتئین بر مبنای وزن خشک از شرکت بالک پودرز (انگلستان)، سدیم هیدروکسید و سدیم کربوکسی متیل سلولز (CMC) با وزن مولکولی ۲۵۰۰۰۰ دالتون از شرکت مرک (آمریکا) و گلیسرول بدون آب از شرکت هانیول فلوکا (آلمان) خریداری شد. امولسیون آبی پایدار شده بر پایه موم پلی‌اتیلن اکسید شده حاوی ۲۰ درصد وزنی پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بسیار کم<sup>۷</sup> (برند راکا واکس MUPE 100) از شرکت راک شیمی (ایران) تهیه شد. مقوای سولفات رنگبری شده تو پر<sup>۸</sup> (SBS) بدون پوشش با گراماژ ۲۵۰ گرم بر مترمربع (برند پانکاتری) از شرکت پانکا بورد (فنلاند) و آب یون‌زدایی شده از طریق سیستم تصفیه آب Milli-Q ultrapure (آمریکا) فراهم گردید.

### روش‌ها

#### روش تولید فرمولاسیون پوشش

ابتدا ۱۰ گرم پودر پروتئین ایزوله سویا (بر مبنای وزن خشک) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب یون‌زدایی شده به‌وسیله هم زدن مداوم حل گردید و ۴ گرم گلیسرول به‌عنوان نرم‌کننده افزوده شد. سپس pH محلول به‌وسیله محلول سدیم هیدروکسید ۱ نرمال روی ۱۰ تنظیم شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در یک حمام روغن با دمای ثابت هم زده شد تا اینکه ذرات پروتئین

جذب سطح مشترک روغن و آب می‌شود. در واقع، گروه‌های چربی‌دوست و آب‌دوست در زنجیره‌های پلیمری پروتئین به ترتیب در برابر فاز چربی و آبی جهت‌گیری می‌کنند. این جهت‌گیری مولکولی می‌تواند کشش سطحی بین روغن و آب را کاهش داده و لایه‌ای را جهت جلوگیری از دلمه یا لخته شدن<sup>۱</sup> مولکول‌های روغن از طریق دافعه الکترواستاتیکی<sup>۲</sup> تشکیل دهد [۹]. پروتئین ایزوله سویا به داشتن خواص تشکیل فیلم بسیار خوب و مقاومت عالی در برابر گاز، بخار آب و روغن معروف است اما فیلم‌های ساخته شده خصوصیات مکانیکی و آب‌گریزی سطحی ضعیفی دارند [۱۰]. خاصیت آب‌گریزی سطحی یک عامل مرتبط با ساختار است که بر ویژگی‌های کاربردی پروتئین‌ها تأثیر می‌گذارد و می‌تواند به‌وسیله تیمارهای pH، حرارتی، افزودن ترکیبات آب‌گریز مانند لیپیدها و یا ایجاد اتصالات عرضی در زنجیره‌های پروتئین از طریق تیمارهای شیمیایی (با ترکیباتی مانند فورفورال، فرمالدهید، نشاسته دی‌آلدهید<sup>۳</sup>) و یا تیمارهای آنزیمی (نظیر ترنس‌گلوتامیناز) بهبود پیدا کند [۱۱].

موم‌ها هیدروکربن‌های اشباع شده هستند که به علت داشتن خصوصیات ممانعتی مناسب در برابر آب، در صنایع غذایی به‌صورت تیمار، پوشش، لمینیت و اشباع مواد بسته‌بندی در تماس با مواد غذایی از قبیل کاغذ و مقوا استفاده شده‌اند [۱۲]. چندین گروه شناخته شده از موم‌ها از جمله موم پارافین، موم‌های درشت و ریز بلورین<sup>۴</sup>، موم‌های نرم (موم‌های ایزوپارافینیک و نفتنیک<sup>۵</sup>) و غیره وجود دارد [۱۳]. به‌منظور تغییر دمای نقطه ذوب می‌توان آن‌ها را با پلیمرهای هیدروکربنی مخصوص مانند پلی‌اتیلن مخلوط نمود. پوشش‌های ساخته شده از پلی‌اتیلن و موم‌های درشت و ریز بلورین، براق و غیرقابل نفوذ هستند و تمایل سطوح پوشش‌دار به چسبیدن به یکدیگر<sup>۶</sup> را ندارند. حداقل ۳ تا ۵ درصد پلی‌اتیلن برای به دست آوردن براقیت، نقطه ذوب، دمای چسبیدن به یکدیگر، مقاومت به سایش و انعطاف‌پذیری مطلوب نیاز است [۱۴].

<sup>۱</sup>Flocculation or Coalescence

<sup>۲</sup>Electrostatic repulsion

<sup>۳</sup>Dialdehyde starch

<sup>۴</sup>Macro- and micro-crystalline waxes

<sup>۵</sup>Isoparaffinic and naphthenic waxes

<sup>۶</sup>Blocking

<sup>۷</sup>Ultra-weight Polyethylene

<sup>۸</sup>Solid Bleached Sulfate

ضخامت نمونه‌ها با استفاده از یک ضخامت سنج میکرومتری مدل Hebika (سوند) اندازه‌گیری شد. برای این منظور روی ۳ نمونه به صورت تصادفی از ۵ نقطه اندازه‌گیری صورت پذیرفت. سپس دانسیته نمونه‌ها به وسیله فرمول شماره ۱ محاسبه شد:

$$(1) \quad \text{دانسیته (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{گرمای (g/m}^2\text{)}}{\text{ضخامت (}\mu\text{m)}}$$

### اندازه‌گیری مقاومت کششی و درصد کشیدگی

#### در هنگام شکست مقوا

مقاومت کششی و درصد کشیدگی در هنگام شکست نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آزمون Instron مدل ۳۳R۴۴۶۵ مطابق با استاندارد TAPPI T494 om-01 اندازه‌گیری شد [۱۷]. نمونه‌ها بدون عیب و چین‌خوردگی و با ابعاد ۱۵ mm × ۱۵ cm بودند و برای انجام آزمون از یک سلول بارگذاری ۵ kN با نرخ کشیدگی  $5 \pm 25$  میلی‌متر در دقیقه و فاصله فک ۱۰۰ میلی‌متر استفاده شد.

### اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری بخار آب

میزان نفوذپذیری بخار آب<sup>۵</sup> (WVP) در کلیه نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد بر طبق استاندارد ASTM E96/E96M-10 و به روش ماده جاذب اندازه‌گیری شد [۱۸]. برای این منظور نمونه‌های دایره‌ای شکل با قطر ۷۰ میلی‌متر برش داده شده و روی دهانه فنجان‌های مخصوص حاوی ۴۳ گرم گرانول خشک کلسیم کلراید قرار داده شده و به وسیله آرینگ لاستیکی و شش عدد پیچ محکم بسته شدند. سپس فنجان‌ها در داخل کابینت دسیکاتور آکرلیک مدل Nalgene<sup>®</sup> 5317 (آمریکا) حاوی سه عدد ظرف پتری محتوی محلول سدیم کلرید اشباع (برای تنظیم رطوبت نسبی ۷۵ درصد) قرار داده شدند. یک فن در داخل محفظه کار می‌کرد و جریان هوایی با سرعت ۰/۱۵ متر بر ثانیه را روی سطح محلول‌ها به وجود می‌آورد تا هوای مرطوب در داخل محفظه گردش پیدا نماید. فنجان‌ها که مساحت ناحیه در معرض آن‌ها ۳۱/۶۵ سانتیمتر مربع بود،

کاملاً دنا توره<sup>۱</sup> شود. فرمولاسیون‌های پوشش نهایی بر پایه نسبت پروتئین به موم پلی‌اتیلن (۱:۹، ۳:۷، ۱:۱ و ۷:۳) تهیه شد. برای این منظور، حجم معینی از امولسیون موم پلی‌اتیلن به صورت قطره‌قطره به محلول پروتئین ایزوله سویا اضافه شد و سپس همگن‌سازی<sup>۲</sup> یک‌بار به مدت ۲ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه و بار دیگر به مدت ۳ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه با استفاده از دستگاه Ultura-Turrax<sup>®</sup> (آلمان) انجام گردید. در هنگام همگن‌سازی، محلول CMC ۰/۵ درصد به‌عنوان تغلیظ‌کننده به صورت قطره‌قطره افزوده شد. سرانجام ترکیب نهایی دومرتبه به وسیله فیلتر پارچه‌ای<sup>۳</sup> فیلتر شد تا حباب‌های هوا از ترکیب حذف شود و سپس پیش از پوشش‌دهی در دمای محیط خنک گردید.

### فرآیند پوشش‌دهی مقواها

فرمولاسیون پوشش نهایی به وسیله یک اپلیکاتور قالبی چهار سوپه دستی (ایران) روی یک‌طرف مقوای SBS با ابعاد ۲۰×۳۰ سانتی متر مربع اعمال گردید. برای این منظور، کناره‌های نمونه‌های مقوایی روی یک‌تخته لمینیت شده کاملاً مسطح به وسیله نوارچسب مخصوص چسبانیده شدند تا از چین خوردن کاغذ در طول پوشش جلوگیری شود. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از ترکیب پوشش را در فضای تهی وسط اپلیکاتور ریخته و با استفاده از طرف ۱۲۰ میکرونی آن پوشش‌دهی مقوا صورت پذیرفت. در پایان، مقواهای پوشش‌دهی شده در دمای محیط خشک شده و پیش از شروع آزمون‌ها به منظور متعادل‌سازی رطوبتی<sup>۴</sup> به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد قرار داده شدند.

### تعیین ویژگی‌های مقوا

#### اندازه‌گیری ضخامت پوشش و دانسیته مقوا

بعد از متعادل‌سازی رطوبتی، کلیه مقواها (بدون پوشش و پوشش‌دار) توزین شدند و گراماژ آن‌ها مطابق با استاندارد TAPPI T410 om-02 تعیین شد [۱۶].

<sup>1</sup>Denature

<sup>2</sup>Homogenization

<sup>3</sup>Cheesecloth

<sup>4</sup>Conditioning

<sup>5</sup>Water vapor permeability

<sup>6</sup>Desiccant method

## نتایج و بحث

### ضخامت پوشش و دانسیته مقوا

دانسیته ساختاری، که از تقسیم گراماژ بر ضخامت به دست می‌آید، به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت مواد بسته‌بندی کاغذی محسوب می‌شود. جدول ۱ مقادیر ضخامت و دانسیته ساختاری مقواهای بدون پوشش و پوشش‌دار را نشان می‌دهد. خواص فیزیکی مقواهای پوشش داده‌شده حاوی موم پلی‌اتیلن به‌طور قابل‌توجهی از مقواهای پوشش داده نشده و پوشش‌های پوشش داده‌شده با پروتئین ایزوله سویا متفاوت بود. افزودن موم پلی‌اتیلن به فرمولاسیون پوشش باعث افزایش ضخامت نمونه‌ها و کاهش دانسیته آن‌ها به میزان قابل‌توجهی شد. هنگامی که مقدار موم پلی‌اتیلن افزایش می‌یابد، تماس مولکولی بیشتر بین ترکیبات پروتئین و موم ممکن است نیروهای متراکم‌کننده زنجیره پلیمری را تضعیف کند و در نتیجه، ماتریس پوشش را بیشتر باز کند. رفتار مشابهی در رابطه با افزودن موم به محلول‌های پلیمری توسط چیک و هراندز (۲۰۰۲) [۲۱]، هرومیژ و همکاران (۲۰۱۵) [۲۲] و دوس سانتوس و همکاران (۲۰۱۷) [۲۳] گزارش شده است. افزایش مقدار لیپید بیش از ۵۰ درصد پروتئین موجب افزایش بیشتر ضخامت شد که نشان‌دهنده از دست رفتن همگنی و یکنواختی در لایه پوشش است.

هر ۱۲ ساعت یکبار توزین شدند و این کار تا زمانی ادامه پیدا کرد که دو مرحله توزین متوالی ثابت به دست آمد (۶۰ ساعت). نرخ انتقال بخار آب<sup>۱</sup> (WVTR) از روی شیب ناحیه خطی تابع تغییرات وزن نسبت به زمان و به‌وسیله آنالیز رگرسیون خطی تعیین شد. WVP از طریق معادله زیر محاسبه شد:

$$(1) \quad \frac{\text{میانگین ضخامت} \times \text{نرخ انتقال بخار آب}}{\text{تغییرات فشار بخار آب جزئی}} = \text{نفوذپذیری بخار آب (g.mm/kPa.h.m}^2\text{)}$$

### اندازه‌گیری میزان جذب آب (آزمون کاب)

میزان جذب آب<sup>۲</sup> در طی ۶۰ ثانیه از طریق آزمون کاب<sup>۳</sup> مطابق با استاندارد ISO 535:2014(E) اندازه‌گیری شد [۱۹].

### اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری اکسیژن

آزمون اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری اکسیژن در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد مطابق با استاندارد ASTM D3985-02<sup>۴</sup> [۲۰] به‌وسیله دستگاه آنالیز کننده عبور اکسیژن مدل ۸۰۰۱ با همکاری شرکت Systech Illinois (انگلستان) انجام شد. از گاز نیتروژن با رطوبت نسبی ۵۰ درصد به‌عنوان گاز حامل استفاده گردید و سرعت جریان گازها (اکسیژن و نیتروژن)  $10 \text{ cm}^3/\text{min}$  و مساحت ناحیه در معرض نمونه‌ها ۵ سانتیمتر مربع بود.

### آنالیز آماری

آنالیز آماری داده‌ها به روش آنالیز واریانس یک‌طرفه و تفاوت بین میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ (آمریکا) انجام شد.

<sup>1</sup>Water vapor transmission rate

<sup>2</sup>Water absorptiveness

<sup>3</sup>Cobb test

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مقواهای بدون پوشش و پوشش‌دار

نوع تیمار	کد تیمار	مقدار موم پلی‌اتیلن (%)	ضخامت مقوا ( $\mu\text{m}$ )	ضخامت پوشش ( $\mu\text{m}$ )	دانسیته ( $\text{g/cm}^3$ )	مقاومت کششی (MPa)	کشیدگی در هنگام شکست (%)
مقوای بدون پوشش	B	-	۱۱۸/۳ <sup>f</sup>	-	۲/۰۸۵ <sup>a</sup>	۸۰/۲۷ <sup>a</sup>	۵/۶۵ <sup>f</sup>
مقوای پوشش‌دهی شده با پروتئین ایزوله سویا	SC	۰	۱۳۴/۳ <sup>e</sup>	۱۶	۱/۸۶۳ <sup>b</sup>	۷۷/۲۰ <sup>b</sup>	۶/۱۳ <sup>e</sup>
مقوای پوشش‌دهی شده با مخلوط پروتئین و موم-پلی‌اتیلن (۱:۹)	RSC1	۱۰	۱۳۷/۳ <sup>d</sup>	۱۹	۱/۸۳۰ <sup>c</sup>	۷۶/۴۰ <sup>b</sup>	۶/۳۸ <sup>d</sup>
مقوای پوشش‌دهی شده با مخلوط پروتئین و موم-پلی‌اتیلن (۳:۷)	RSC2	۳۰	۱۴۰/۳ <sup>c</sup>	۲۲	۱/۷۹۹ <sup>d</sup>	۷۴/۱۵ <sup>bc</sup>	۶/۷۰ <sup>c</sup>
مقوای پوشش‌دهی شده با مخلوط پروتئین و موم-پلی‌اتیلن (۱:۱)	RSC3	۵۰	۱۴۳/۰ <sup>b</sup>	۲۴/۷	۱/۷۷۰ <sup>e</sup>	۷۲/۶۹ <sup>c</sup>	۶/۹۵ <sup>b</sup>
مقوای پوشش‌دهی شده با مخلوط پروتئین و موم-پلی‌اتیلن (۷:۳)	RSC4	۷۰	۱۴۷/۷ <sup>a</sup>	۲۹/۴	۱/۷۱۹ <sup>f</sup>	۶۷/۸۳ <sup>d</sup>	۷/۲۲ <sup>a</sup>

\*حروف کوچک متفاوت در هر ستون جدول نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در ( $P < 0.05$ ) است.

## مقاومت کششی و درصد کشیدگی در هنگام

### شکست مقوا

آزمون مقاومت کششی که روی مواد بسته‌بندی کاغذی انجام می‌شود یک آزمون مکانیکی به‌منظور تعیین حداکثر باری است که یک ماده می‌تواند تحمل کند قبل از اینکه از هم‌گسیخته یا پاره شود. این ویژگی به عوامل مختلفی چون مقاومت الیاف، مساحت سطح، طول و مقاومت اتصال بین آن‌ها بستگی دارد [۲۴]. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، مقاومت کششی مقوای بدون پوشش به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از مقوای پوشش‌دهی شده است، درحالی‌که درصد کشیدگی (کرنش) مقوا در نتیجه پوشش‌دهی به‌طور چشمگیری افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که انعطاف‌پذیری مقوای پوشش‌دهی شده بیشتر از مقوای بدون پوشش است. کاهش مقاومت کششی ممکن است به دلیل نفوذ محلول پوشش در شبکه الیاف باشد که منجر به تورم الیاف سلولز و همچنین اختلال در اتصالات الیاف به الیاف می‌شود [۲۵]. درحالی‌که نرخ کاهش مقاومت

کششی از ۵ تا ۱۶ درصد با افزایش مقدار موم پلی‌اتیلن تغییر می‌کرد، اما تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در مقادیر مقاومت کششی بین مقوای پوشش داده شده با پروتئین ایزوله سویا و مقوای پوشش داده شده با ترکیب حاوی ۳۰ درصد موم پلی‌اتیلن وجود ندارد. کاهش سهم پروتئین در فرمولاسیون پوشش و در نتیجه افزایش سهم حلال (آب) موجب افزایش میزان نفوذ مواد پوشش به داخل شبکه الیاف و کاهش بیشتر مقاومت کششی شد، به‌خصوص هنگامی که مقدار واکس پلی‌اتیلن بیشتر از ۵۰ درصد بود.

### میزان نفوذپذیری بخار آب

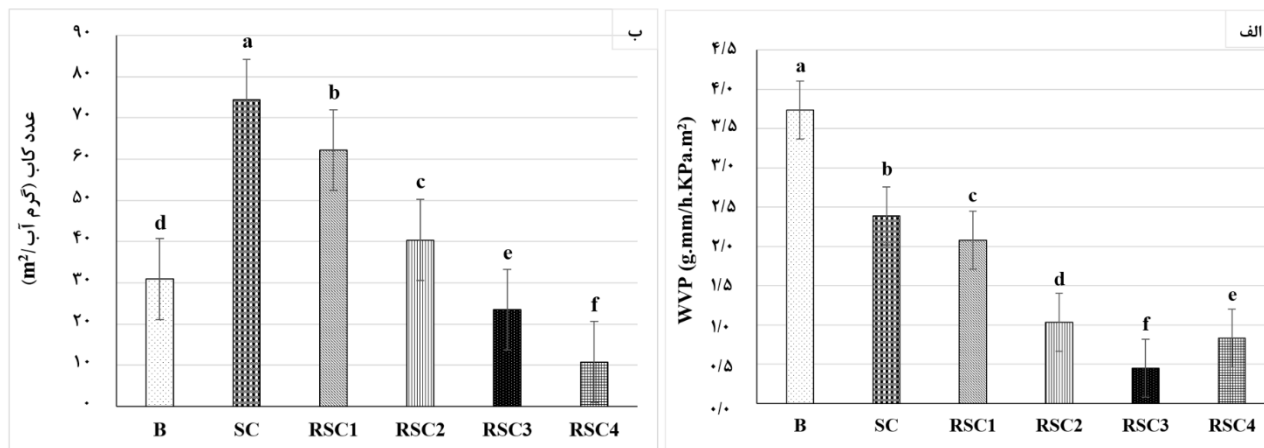
یکی از مهم‌ترین خواص مواد بسته‌بندی برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی داشتن توانایی به حداقل رساندن انتقال رطوبت از محیط به محصولات غذایی است؛ بنابراین، آن‌ها باید میزان نفوذپذیری بخار آب (WVP) تا حد ممکن کمی داشته باشند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، مقوای بدون پوشش به دلیل ساختار متخلخل الیاف سلولز بیشترین مقدار WVP را داشت (شکل ۱-۱)

رفتن همگنی و یکنواختی لایه پوشش و تسهیل انتقال مولکول‌های بخار آب در داخل آن شود [۲۱].

### میزان جذب آب (آزمون کاب)

آزمون جذب آب (آزمون کاب) یکی از مهم‌ترین روش‌های آزمودن مقاومت به جذب آب مواد مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی و چاپ است. در حقیقت در این آزمون مشخص می‌شود هنگامی که مقوا در تماس مستقیم با آب قرار می‌گیرد، چه مقدار آب جذب می‌کند. نتایج آزمون کاب در شکل ۱- ب نشان داده شده است. مقدار کاب در مقوای بدون پوشش ۳۰/۹۰ گرم آب در مترمربع بود. در اثر پوشش‌دهی سطح با محلول پروتئین ایزوله سویا، مقدار کاب افزایش چشمگیری در حدود ۲/۴ برابر پیدا کرد. این امر تأیید می‌کند که پوشش‌دهی با پلیمرهای زیستی آب‌دوست نظیر پروتئین ایزوله سویا منجر به تسریع در جذب آب و همچنین افزایش ظرفیت جذب آب می‌شود. مقدار کاب مقوای پوشش‌دهی شده با افزایش مقدار موم پلی‌اتیلن در فرمولاسیون پوشش کاهش یافت، به طوری که مقوای پوشش‌دار حاوی ۵۰ و ۷۰ درصد موم پلی‌اتیلن نرخ‌های کاهش به ترتیب ۲۴ و ۶۵ درصدی در مقدار کاب در مقایسه با مقوای بدون پوشش نشان دادند. در نتیجه، ویژگی آب‌گریزی موم پلی‌اتیلن به شدت بر رفتار جذب آب مقوای پوشش‌دهی شده تأثیر گذاشته است.

الف). پوشش‌دهی با پروتئین ایزوله سویا موجب کاهش WVP مقواها به میزان ۳۶ درصد شد که نشان‌دهنده توانایی آن در پوشاندن حفرات بین الیاف در سطح مقوا و در نتیجه ممانعت از عبور بخار آب است. این در حالی است که این مقواها WVP بیشتری نسبت به مقوای پوشش‌دهی شده حاوی موم پلی‌اتیلن بودند، که بیانگر این مطلب است که طبیعت آب‌دوست پروتئین سویا، عبور بیشتر بخار آب را تسهیل می‌سازد [۲۳]. افزودن تنها ۱۰ درصد موم پلی‌اتیلن منجر به مقاومت در برابر عبور بخار آب بهتر با نرخ کاهش ۴۴٪ نسبت به نمونه‌های بدون پوشش (و نرخ کاهش ۸٪ نسبت به نمونه‌های پوشش‌دهی شده با پروتئین) شد. نمونه‌های پوشش‌دهی شده حاوی ۵۰ درصد موم پلی‌اتیلن بیشترین کاهش WVP (به میزان ۸۸٪) را داشت که نشان می‌دهد ویژگی آب‌گریزی موم پلی‌اتیلن به شدت آب‌دوستی لایه پوشش پروتئینی را کاهش داده است. رفتار متفاوتی در مقوای پوشش‌دهی شده حاوی ۷۰ درصد موم پلی‌اتیلن مشاهده شد؛ اینکه مقاومت در برابر بخار آب این نمونه‌ها پایین‌تر از نمونه‌های پوشش‌دهی شده حاوی ۵۰ درصد موم پلی‌اتیلن بود. ترکیب مولکول‌های قطبی در حالت جامد بیش از یک حد مشخص می‌تواند باعث ایجاد اختلالات بیشتر در ماتریس پوشش شود و تعداد زیادی حفره‌های بسیار کوچک را در محل اتصال موم-پروتئین ایجاد کند و منجر به از دست



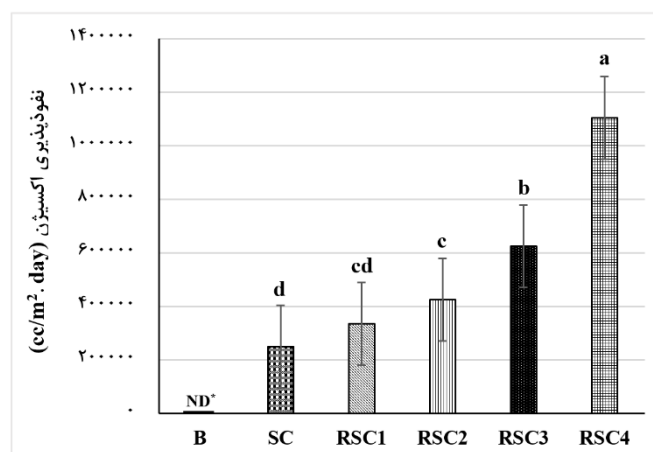
شکل ۱- ویژگی‌های مقاومت به جذب آب مقوای بدون پوشش و پوشش‌دار: الف) میزان نفوذپذیری بخار آب و ب) میزان جذب آب (عدد کاب)



### میزان نفوذپذیری اکسیژن

در صنعت غذا، نفوذپذیری مواد بسته‌بندی به عوامل قابل‌انتقال نظیر اکسیژن علاوه بر بخار آب در طراحی بسته‌های باقابلیت محافظت از کیفیت مواد غذایی بسیار مهم است. شکل ۲ نتایج آزمون نفوذپذیری نسبت به اکسیژن مقواهای بدون پوشش و پوشش‌دار را نشان می‌دهد. به دلیل ساختار بسیار متخلخل شبکه الیاف، میزان نفوذپذیری اکسیژن در مقواهای بدون پوشش بسیار زیاد و خارج از حد تعریف‌شده برای دستگاه‌های آنالیز کننده بود و به همین خاطر برای جلوگیری از آسیب دیدن آشکارساز اکسیژن اندازه‌گیری روی آن‌ها انجام نگرفت. به‌طور کلی میزان نفوذپذیری اکسیژن در تمام مقواهای پوشش‌دار زیاد بود که متأثر از ساختار متخلخل و پوشش‌دهی

یک‌طرفه نمونه‌ها است. در این میان مقواهای پوشش‌دهی شده با پروتئین ایزوله سویا بیشترین مقاومت در برابر نفوذ اکسیژن را داشتند. همچنین اختلاف قابل‌توجهی بین آن‌ها و مقواهای پوشش‌دار حاوی ۱۰ درصد موم پلی‌اتیلن وجود نداشت. با افزایش سهم موم پلی‌اتیلن بیش از ۳۰ درصد پروتئین در فرمولاسیون پوشش، میزان نفوذپذیری اکسیژن در نمونه‌ها افزایش چشمگیری پیدا کرد؛ که این امر می‌تواند به دلیل ایجاد بی‌نظمی در ساختار لایه پوشش پروتئینی باشد خصوصاً در سطوح اختلاط زیاد (۷۰ درصد موم پلی‌اتیلن) که شکل‌گیری حفره‌های بسیار کوچک در محل تماس موم و پروتئین می‌تواند بستر بسیار مناسبی برای عبور اکسیژن باشند [۲۱].



شکل ۲- میزان نفوذپذیری اکسیژن در مقواهای بدون پوشش و پوشش‌دار (ND\* اندازه‌گیری انجام نشده است)

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش از ترکیب پروتئین ایزوله سویا و موم پلی‌اتیلن در تهیه فرمولاسیون پوشش مقوای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده شد. موم پلی‌اتیلن که حاوی ۲۰ درصد وزنی پلی‌اتیلن اکسیدشده با وزن مولکولی بسیار کم بود، خواص ضد آب عالی اما قابلیت تشکیل فیلم ضعیفی داشت. با افزودن موم پلی‌اتیلن به فرمولاسیون پوشش، ضخامت مقواهای پوشش‌دار در مقایسه با مقواهای پوشش‌دهی شده با پروتئین ایزوله سویا بیشتر شد. برخلاف مقاومت کششی مقواهای پوشش‌دار که با افزایش مقدار موم پلی‌اتیلن کاهش پیدا کرد، مقدار کرنش (درصد افزایش طول) آن‌ها افزایش یافت. همچنین اگرچه میزان

نفوذپذیری اکسیژن در مقواهای پوشش‌دار با افزودن موم پلی‌اتیلن به فرمولاسیون پوشش پروتئینی زیاد شد، اما میزان نفوذپذیری بخار آب و جذب آب به‌طور چشمگیری کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که یک ماده بسته‌بندی مواد غذایی جدید با ویژگی‌های بهبودیافته را می‌توان به‌وسیله پوشش ممانعتی پراکنده متشکل از پروتئین ایزوله سویا حاوی ۵۰ درصد موم پلی‌اتیلن تهیه کرد.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از Prof. Mikko Ritala و Dr. Sami-Pekka Hirvonen ساختمان شیمی، دانشکده علوم و همچنین Dr. Hanna Koivula



دانشگاه صنعتی امیرکبیر و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به خاطر حمایت مالی برای انجام هرچه بهتر این پژوهش، تشکر و قدردانی نمایند.

گروه صنایع غذایی و تغذیه، دانشکده کشاورزی و جنگلداری، دانشگاه هلسینکی، فنلاند به خاطر فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی و از مسئولین دانشگاه تهران،

## منابع

- [1] Grundey, D., 2010. Functionality of product packaging: surveying consumers' attitude towards selected cosmetic brands. *Economics and Sociology*, 3(1): 87-103.
- [2] Smithers Pira (Firm)., 2018. Paper and board have key roles in the future of packaging. Leatherhead, Surrey, UK.
- [3] IMARC Group (Firm)., 2019. Food Packaging Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2018-2023. Brooklyn, New York, US.
- [4] Raheem, D., 2012. Application of plastics and paper as food packaging materials – An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25 (3): 177-188.
- [5] Marzbani, P., Resalati, H., Ghasemian, A. and Shakeri, A., 2016. Surface modification of talc particles with phthalimide: study of composite structure and consequences on physical, mechanical, and optical properties of deinked pulp. *BioResources*, 11(4): 8720-8738.
- [6] Deisenroth, E., Jho, C., Haniff, M., and Jennings, J., 1998. The designing of a new grease repellent fluorochemical for the paper industry. *Surface Coatings International*, 81(9): 440-447.
- [7] Khwaldia, K., Arab-Tehrany, E., and Desobry, S., 2010. Biopolymer coatings on paper packaging materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(1): 82-91.
- [8] Chen, N., Zhao, M., Sun, W., Ren, J., and Cui, C., 2013. Effect of oxidation on the emulsifying properties of soy protein isolate. *Food Research International*, 52(1): 26-32.
- [9] Tang, C. H., 2017. Emulsifying properties of soy proteins: A critical review with emphasis on the role of conformational flexibility. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12): 2636-2679.
- [10] Zink, J., Wyrobnik, T., Prinz, T., and Schmid, M., 2016. Physical, chemical and biochemical modifications of protein-based films and coatings: An extensive review. *International journal of molecular sciences*, 17(9): E1376.
- [11] Chao, Z., Yue, M., Xiaoyan, Z., and Dan, M., 2010. Development of soybean protein-isolate edible films incorporated with beeswax, span 20, and glycerol. *Journal of Food Science*, 75(6): C493-497.
- [12] Parisi, S., 2012. Chemistry and Technology of Packaging Materials, in: Food packaging and food alterations: the user-oriented approach, Smithers Rapra Technology Ltd., Shrewsbury, Shropshire, UK, pp. 103-156.
- [13] Lutz, R. G., 1959. Polyethylene-wax compositions. US patent No. 3048551A.
- [14] Ferund, M., Csikós, R., Keszthelyi, S., and Mózes, G. Y., 1982. Applications of paraffin waxes and liquid paraffins, in: Developments in Petroleum Science, Volume 14, Paraffin Products: Properties, Technologies, Applications, G. Y. Mózes (ed), Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 240-329.
- [15] Hagenmaier, R. D., and Shaw, P. E., 1991. Permeability of coatings made with emulsified polyethylene wax. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(10): 1705-1708.

- [16] Grammage of paper and paperboard (weight per unit area). Annual Book of TAPPI Standards, T410 om-02., 2002.
- [17] Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus), Annual Book of TAPPI Standards, T494 om-01., 2001.
- [18] Standard test methods for water vapor transmission of materials. Annual Book of ASTM Standards, E96/E96M-10., 2011.
- [9] Paper and board-Determination of water absorptiveness-Cobb method. Annual Book of ISO Standards, 535:2014(E). 2014.
- [20] Standard test method for oxygen gas transmission rate through plastic film and sheeting using a coulometric sensor. Annual Book of ASTM Standards, D 3985-02c., 2004.
- [21] Chick, J., and Hernandez, R. J., 2002. Physical, thermal, and barrier characterization of casein-wax-Based edible films. *Journal of Food Science*, 67(3): 1073-1079.
- [22] Hromiš, N. M., Lazić, V. L., Markov, S. L., Vaštag, Z. U. G., Popović, S. Z., Šuput, D. Z., Džinić, N. R., Velićanski, A. S., and Popović, L. M., 2015. Optimization of chitosan biofilm properties by addition of caraway essential oil and beeswax. *Journal of Food Engineering*, 158: 86-93.
- [23] dos Santos, F. K. G., Silva, K. N. O., Xavier, T. D. N., Leite, R. H. L., and Aroucha, E. M. M., 2017. Effect of the addition of carnauba wax on physicochemical properties of chitosan films. *Materials Research*, 20(2): 1-6.
- [24] Rhim, J. W., Lee, J. H., and Hong, S. I., 2006. Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie (LWT)*, 39: 806–813.
- [25] Han, J. H., and Krochta, J. M., 2001. Physical properties and oil absorption of whey protein-coated paper. *Journal of Food Science*, 66(2): 294–299.

## A novel paper packaging coated with polyethylene wax based dispersion barrier coating for food packaging applications

### Abstract

Food packaging as a protective layer is one of the most important factors that play a key role in providing healthy food. The aim of this study was to provide a novel paper packaging material by coating with a new dispersion barrier coating based on a mixture of soy protein isolate (SPI) and polyethylene wax (PE-wax) emulsion. For this purpose, mechanical properties, water absorption resistance and oxygen permeability of the specimens were investigated. The results indicated that although the tensile strength of coated paperboards decreased with the addition of PE-wax, there was no significant difference between the SPI-coated paperboards and 30% PE-wax coated ones, and 50% PE-wax coated paperboards showed only a decrease of 6% compared to SPI-coated ones. With increasing the share of PE-wax in the coating formulation, oxygen permeability increased in the coated paperboards but water absorption and water vapor permeability decreased dramatically.

**Keywords:** food packaging, paperboard, barrier coating, soy protein isolate, polyethylene wax.

P. Marzbani<sup>1</sup>  
M. Azadfallah<sup>2\*</sup>  
M. Yousefzadeh<sup>3</sup>  
F. Najafi<sup>4</sup>  
A. A. Pourbabae<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Assistant Prof, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Assistant Prof, Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Associate Prof, Department of Resin and Additives, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran.

<sup>5</sup> Associate Prof, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:  
[adfallah@ut.ac.ir](mailto:adfallah@ut.ac.ir)

Received: 2019/07/07  
Accepted: 2019/08/07