مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال چهارم، شماره۳، پاییز ۱۳۸۸ ، صفحات ۵۴-۴۷

اثرات افزودن مواد پلاستی‌سایزر بر برخی ویژگی‌های مکانیکی و شیمی فیزیکی فیلم متیل سلولز خوراکی

فاطمه دارائی[۱]، فوژان بدیعی[۲]، مریم میزانی[۳]، عباس گرامی[۴]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی علوم وصنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
۲- نویسنده مسئول: استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، بخش تحقیقات مهندسی صنایع غذایی
پست الکترونیکی: fjbadii@gmail.com
۳- استادیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
۴- دانشیار دانشکده علوم ریاضی، آمار و کامپیوتر، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۶

چکیده

سابقه و هدف: پوشش‌های خوراکی، لایه نازکی هستند که روی سطح مواد غذایی قرار می‌گیرند و به عنوان محافظ عمل می‌کنند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی تهیه شده از پلیمرهای طبیعی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. سلولز یکی از فراوان‌ترین و ارزان ترین منابع گیاهی تجدیدپذیر است و مشتقات آن خصوصیات تشکیل فیلم بسیار خوبی دارند. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر پلاستی‌سایزرهای گلیسرول، پلی اتیلن گلیکول، اسید چرب پالمیتیک و ترکیب گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک بر چندین ویژگی مکانیکی و شیمی فیزیکی فیلم متیل‌سلولز بود.

مواد و روش‌ها: فیلم‌های خوراکی از متیل سلولز تهیه شد، سپس به فیلم‌ها پلاستی سایزرهای گلیسرول، پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰ ، اسید چرب پالمیتیک و ترکیب گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک اضافه شد. سرعت انتقال بخار آب، مقاومت کششی، میزان کش‌آمدگی و مقدار مواد محلول در آب فیلم‌ها اندازه گیری شد.

یافته‌ها: مقاومت کششی فیلم‌های حاوی پلاستی سایزر در مقایسه با فیلم‌های خالص متیل سلولزی کاهش معنی‌داری نشان دادند($p<۰/۰۵$). میزان کش آمدگی در فیلم‌های حاوی گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول در مقایسه با فیلم‌های حاوی اسید چرب پالمیتیک افزایش معنی‌داری داشتند($p<۰/۰۵$). میزان انتقال بخار آب و درصد مواد محلول در آب فیلم‌های حاوی اسید چرب پالمیتیک و ترکیب گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک در مقایسه با فیلم‌های خالص متیل سلولزی و فیلم‌های حاوی پلاستی‌سایزرهای گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول کاهش معنی‌داری داشتند($p<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که فیلم‌های خالص متیل سلولز ترد و شکننده هستند. پلاستی سایزرهای با وزن مولکولی کم (گلیسرول) بیشترین تأثیر را روی کاهش مقاومت کششی و افزایش میزان کش آمدگی فیلم‌های متیل سلولز دارند. در حالی که پلاستی سایزرهای با وزن مولکولی بالا (اسید چرب پالمیتیک) بیشترین تأثیر را در کاهش میزان انتقال بخار آب فیلم‌های متیل‌سلولز دارند. در مواردی مانند پوشش دادن میوه‌ها، فیلم‌های حاوی ترکیب گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک به علت نفوذپذیری کمتر به بخار آب، مناسب‌تر هستند.

واژگان کلیدی: فیلم خوراکی، متیل سلولز، مقاومت کششی، پلاستی‌سایزر، سرعت انتقال بخار آب

• مقدمه

در بسته بندی مواد غذایی از مواد مختلفی نظیر شیشه، پلاستیک‌های سخت و نیمه سخت، فلزات سخت (قوطی‌ها) استفاده می‌شود. این مواد در اکثر موارد توسط مصرف‌کننده دور ریخته می‌شوند(۱). مواد بسته‌بندی پلیمری که کاربرد گسترده‌ای در صنعت بسته‌بندی دارند، غیر قابل تجزیه و غیر قابل برگشت به محیط زیست هستند و به همین دلیل، از مهم‌ترین آلاینده‌های طبیعت محسوب می‌شوند(۳، ۲). تولید فیلم‌های تجزیه‌پذیر طبیعی و جایگزین کردن آنها به جای پلاستیک‌های سنتزی راه حل مناسبی برای به حداقل رساندن آثار

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11]

نامطلوب و زیان‌آور زباله‌های حاصل از مواد سنتزی است (۷-۴). فیلم‌های خوراکی، لایه نازکی از مواد طبیعی هستند که سطح مواد غذایی را در بر می‌گیرند و به صورت محافظ عمل می‌کنند و به این ترتیب، از بروز تغییرات نا مطلوب در طعم، بافت و خواص ظاهری مواد غذایی جلوگیری می‌کنند (۸، ۷، ۴). این فیلم‌ها را می‌توان از طریق غوطه‌وری تهیه کرد. طوری که به صورت یک لایه پیوسته با خاصیت ممانعت کنندگی مناسب، محصول را در برگیرند(۴).

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی را می‌توان به چهار گروه پلی‌ساکاریدی، پروتئینی، لیپیدی و مرکب تقسیم کرد. فیلم‌ها از پلی ساکاریدها شامل آلژینات، پکتین، کاراگینان، نشاسته و مشتقات سلولز تهیه می‌شوند (۹، ۷، ۳). سلولز، یک پلیمر طبیعی است و ساختار اولیه در گیاهان سبز را تشکیل می‌دهد. دیواره سلولی اولیه در گیاهان سبز از سلولز ساخته شده است. سلولز از فراوان‌ترین و ارزان‌ترین منابع گیاهی تجدیدپذیر است که قابلیت بازیافت دارد و به وسیله میکروارگانیسم‌ها تجزیه و به عناصر کربن، هیدروژن و اکسیژن تبدیل می‌شود. مهم‌ترین مشتقات سلولز، اتر سلولز، متیل سلولز، کربوکسی متیل سلولز و هیدروکسی پروپیل سلولز هستند که برای تولید فیلم مناسب هستند(۴).

Brandenberger در سال ۱۹۰۸ میلادی سلوفان را به عنوان اولین پوشش سلولزی توسعه داد(۱۰) و از دهه ۱۹۸۰ میلادی به بعد فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از سلولز تهیه شد(۱۱، ۶). متیل سلولز یک ترکیب شیمیایی است که به صورت طبیعی وجود ندارد. با متیله کردن حدود ۳۰٪ گروه‌های هیدروکسیل در سلولز به دست می‌آید. در آب سرد حل می‌شود و محلولی شفاف تولید می‌کند، ولی در آب داغ، نامحلول است و با افزایش حرارت به محلول اشباع متیل سلولز تبدیل شده و به صورت ته نشست از محلول خارج می‌شود(۱۳، ۱۲). فیلم‌های سلولزی مانع خوبی در برابر اکسیژن و ترکیبات معطر هستند و مقاومت آنها در برابر بخار آب با افزودن چربی‌ها افزایش می‌یابد(۱۵، ۱۴). همچنین با افزودن چربی به فیلم‌های سلولزی می‌توان قابلیت نفوذ آنها را به گازهای اکسیژن و دی اکسید کربن کاهش داد(۱۶). فیلم‌های متیل سلولز ترد و شکننده هستند، مقاومت کششی بالا و میزان کش آمدگی پایینی دارند. افزودن پلاستی سایزرها به ویژه گلیسرول و پلی‌اتیلن گلیکول به فیلم‌های سلولزی خواص کششی آنها را بهبود می‌دهد، یعنی مقاومت کششی فیلم را کاهش و میزان کش آمدگی آن را افزایش می‌دهد(۱۱). *Donhowe* و *Fennema* در سال ۱۹۹۳ نشان دادند که پلاستی سایزرهای گلیسرول، پلی‌اتیلن گلیکول و پروپیلن گلیکول باعث کاهش مقاومت کششی و افزایش میزان کش‌آمدگی و نفوذپذیری در برابر اکسیژن و بخارآب فیلم نسبت به فیلم متیل سلولزی خالص و بدون پلاستی سایزر می‌شوند(۱۷). *Perez- Gago* و همکاران در سال ۱۹۹۹ نشان دادند که حلالیت فیلم‌های سلولزی تحت تأثیر عواملی مانند افزودن پلاستی سایزر، غلظت و وزن مولکولی پلاستی سایزر و نوع حلال قرار دارد(۱۸). *Ayranci* و *Tunce* در سال ۲۰۰۱ اعلام کردند که با افزودن اسید چرب به فیلم‌های سلولزی مقدار سرعت انتقال بخار آب نسبت به نمونه ساده کاهش می‌یابد. زیرا اسیدهای چرب باعث کاهش تراوایی در فیلم‌های سلولزی می‌شوند(۱۹). *Turhan* و همکاران در سال ۲۰۰۱ نشان دادند که فیلم‌های متیل سلولز به آهستگی در آب حل می‌شوند و میزان حلالیت پایینی دارند. چون پیوندهای هیدروژنی بیشماری بین زنجیره‌های متیل سلولز (MC) وجود دارد. در حالی که فیلم‌های حاوی پلی‌اتیلن گلیکول با وزن مولکولی ۴۰۰ (PEG_{400}) خیلی سریع در آب حل می‌شوند. زیرا تشکیل پیوند هیدروژنی بین MC و PEG_{400} باعث شکستن ساختار سه بُعدی متیل سلولز و در نتیجه افزایش حلالیت آن در آب می‌شود(۲۰). *Turhan* و همکاران در سال ۲۰۰۴ اثر نوع حلال را بر خواص مکانیکی فیلم‌های متیل سلولزی مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که فیلم‌های تهیه شده با آب و اتانول مقاومت کششی کمتری نسبت به فیلم‌های تهیه شده در آب دارند(۸).

این تحقیق با هدف استفاده از این نوع فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در افزایش عمر انباری محصولات

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11]

باغی اجراشد. به منظور تهیه و کاربرد این پوشش‌ها در محصولات کشاورزی، مطالعه و تعیین بهترین فرمولاسیون برای تهیه آنها ضروری است، در تحقیق حاضر، بهترین شرایط برای تولید فیلم‌های خوراکی بر پایه متیل‌سلولز تعیین و تأثیر غلظت پلاستی سایزرهای گلیسرول، پلی اتیلن گلیکول، اسید چرب پالمیتیک و ترکیب گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک بر خواص مکانیکی و فیزیکی شیمیایی این فیلم‌ها بررسی شد.

• مواد و روش‌ها

مواد: متیل سلولز از شرکت *آلدریچ* (Aldrich) آلمان با ویسکوزیته ۴۰۰۰ سانتی‌پوآز و متوکسی ۱/۹-۱/۶، گلیسرول ۹۹٪ از شرکت ریدل (Reiedel) آلمان و سایر مواد شیمیایی شامل پلی‌اتیلن گلیکول ۴۰۰، اسید چرب پالمیتیک، کلرید کلسیم، اتانل خالص، نیترات منیزیوم و سیلیکون از شرکت مرک (Merck) آلمان خریداری شدند.

تهیه فیلم‌های متیل سلولزی: ۳ گرم متیل سلولز به ۱۰۰ میلی‌لیتر مخلوط اتانل و آب (به نسبت ۲به۱) اضافه شد و به مدت ۱۵دقیقه با میکسر دور بالا (۹۰۰۰ دور در دقیقه) در دمای $75^{\circ}C$ مخلوط شد. پلاستی سایزرهای پلی‌اتیلن گلیکول ۴۰۰ و گلیسرول در دو غلظت ۰/۳۳ و ۰/۵ میلی‌لیتر و اسید چرب پالمیتیک به میزان ۰/۰۵ گرم به ازای هر گرم متیل سلولز اضافه شد. مخلوط نهایی در پتری دیش‌هایی با قطر ۹cm ریخته و در دمای $25^{\circ}C$ و رطوبت نسبی ۵۰ ٪ خشک شدند (۲۲، ۲۱، ۱۱، ۸). فیلم‌های تهیه شده مطابق جدول ۱ شماره‌گذاری شدند.

اندازه گیری ضخامت فیلم‌ها: فیلم‌های به دست آمده پس از خشک شدن از کف پتری دیش جدا شده و ضخامت آنها با میکرومتر دیجیتالی با حساسیت ۰/۰۱ میلی‌متر در ۵ نقطه تصادفی از فیلم اندازه‌گیری شد. میانگین ضخامت فیلم‌ها ۱۰±۱۱۰ میکرومتر بود. فیلم‌های تهیه شده برای آزمون‌های بعدی به مدت یک هفته در رطوبت نسبی ۵۲ ٪ و دمای $25^{\circ}C$ نگهداری شدند (۲۳، ۲۱، ۱۱، ۸).

اندازه‌گیری آزمون‌های کششی: آزمون‌های کششی مطابق روش استاندارد ASTM - D_{882} (۲۰۰۲) با استفاده از دستگاه بافت سنج مدل هانسفیلد (HOUNSFIELD - H5 kS) ساخت انگلستان اجرا شد. نوارهایی به اندازه ۱۰×۴۰ میلیمتر از فیلم‌ها جدا شد. برای اندازه گیری خواص مکانیکی فیلم‌ها با لود سل (Load Cell) ۵۰۰ نیوتن و سرعت ۵ میلی متر بر دقیقه کشیده شدند. عمل کشش تا پاره شدن فیلم ادامه یافت و مقاومت کششی و میزان کش آمدگی تا نقطه پارگی محاسبه شد(۲۵-۲۳).

جدول۱- مشخصات انواع فیلم‌های متیل‌سلولز تولیدی

شماره	نوع فیلم تهیه شده
۱	متیل‌سلولز
۲	متیل‌سلولز+۰/۳۳ میلی‌لیتر گلیسرول به ازای هر گرم متیل سلولز
۳	متیل‌سلولز+ ۰/ ۵ میلی‌لیتر گلیسرول به ازای هر گرم متیل سلولز
۴	متیل‌سلولز +۰/ ۳۳ میلی‌لیتر پلی اتیلن گلیکول به ازای هر گرم متیل سلولز
۵	متیل‌سلولز + ۰/۵ میلی‌لیتر پلی اتیلن گلیکول به ازای هر گرم متیل سلولز
۶	متیل‌سلولز + ۰/۰۵ گرم اسید پالمیتیک به ازای هر گرم متیل سلولز
۷	متیل‌سلولز + ۰/۰۵ گرم اسید پالمیتیک به ازای هر گرم متیل سلولز +۰/۳۳ میلی‌لیتر گلیسرول به ازای هر گرم متیل سلولز
۸	متیل‌سلولز + ۰/۰۵ گرم اسید پالمیتیک به ازای هر گرم متیل سلولز + ۰/۵ میلی‌لیتر گلیسرول به ازای هر گرم متیل سلولز

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11]

اندازه‌گیری درصد مواد محلول: نمونه‌هایی از فیلم‌ها به ابعاد ۱×۱سانتی‌متر برش داده شد و به دقت توزین شد. وزن نمونه خشک آنها تعیین شد. نمونه‌های فیلم خشک شده را درون لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵°C نگهداری شدند. لوله‌ها در دمای ۷۰°C به مدت ۲۴ساعت در آون قرار گرفتند. سپس مقدار مواد غیر محلول بر حسب گرم به دست آورده شد و درصد مواد محلول با استفاده از رابطه الف تعیین شد(۱۸، ۸).

اندازه‌گیری سرعت انتقال بخار آب (Water Vapor Transmission Rate): بر اساس روش استاندارد ASTM - E96 (۲۰۰۲) تراوایی فیلم‌ها اندازه گیری شد. در این روش، درون یک فنجان شیشه‌ای (با قطر داخلی ۴۵ میلی‌متر، ارتفاع ۳۰ میلی‌متر) ۳ گرم کلرید کلسیم خشک ریخته شد (RH=٪۰) و سپس دهانه فنجان با فیلم مورد آزمایش توسط سیلیکون به طورکامل پوشانده و محکم بسته شد. ظرف شیشه‌ای درون یک دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم (RH=٪۵۲) در ۲۵°C قرار داده شد. میزان بخار آب جذب شده با اندازه‌گیری وزن فنجان تا زمان رسیدن به تعادل طبق رابطه زیر تعیین شد(۲۶، ۱۹، ۱۴):

$$WVTR = \frac{\Delta W}{A\Delta t}$$

WVTR : سرعت انتقال بخار آب ($g/h.m^2$)

ΔW : وزن آب جذب شده در فنجان(g)

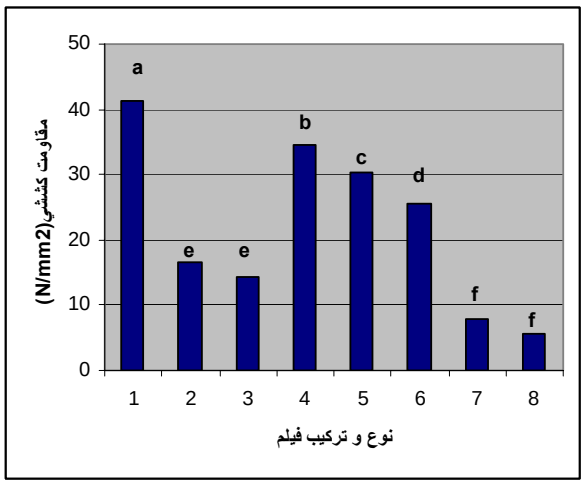
Δt : زمان تغییر وزن (h)

A : مساحت دهانه فنجان (m^2)

تجزیه و تحلیل آماری: یافته‌ها با استفاده از طرح آماری کاملا تصادفی با سه تکرار برای هر تیمار ارزیابی شد. بررسی تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های کیفی فیلم با آنالیز واریانس (ANOVA) در سطح اطمینان ۹۵٪ و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن و استفاده از نرم‌افزار MINITAB صورت گرفت.

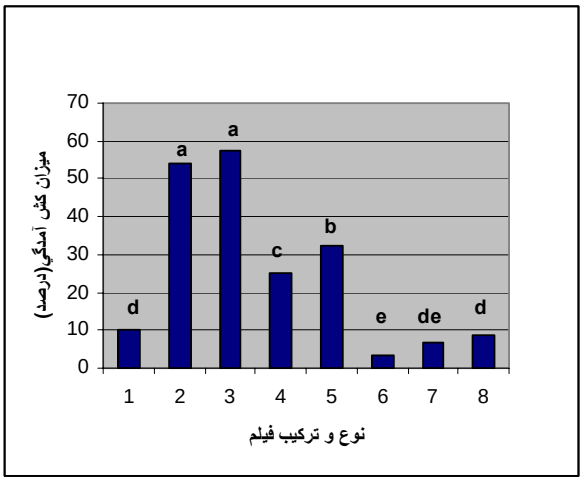
• یافته‌ها

خواص مکانیکی فیلم‌های متیل سلولز: مقاومت کششی انواع فیلم‌های متیل سلولز در شکل ۱ نشان داده شده است. فیلم‌های حاوی گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک در مقایسه با سایر فیلم‌های متیل سلولزی دارای کمترین مقاومت کششی هستند. با افزایش مقدار پلی‌اتیلن گلیکول از ۰/۳۳ به ۰/۵ میلی‌لیتر، مقاومت کششی فیلم کاهش می‌یابد، ولی نتایج این پژوهش در مورد فیلم‌های حاوی گلیسرول معنی‌داری نیست. در فیلم‌های حاوی اسید چرب، مقاومت کششی نسبت به فیلم‌های شاهد و فیلم‌های حاوی پلی اتیلن گلیکول کاهش می‌یابد. فیلم‌های حاوی اسید چرب و گلیسرول، نسبت به سایر فیلم‌ها دارای کمترین مقاومت کششی هستند. در شکل۲ میزان کش‌آمدگی انواع فیلم‌های متیل سلولز نشان داده شده است. میزان کش آمدگی فیلم با افزودن گلیسرول و پلی‌اتیلن گلیکول افزایش و با افزودن اسید چرب پالمیتیک کاهش می‌یابد. فیلم‌های حاوی گلیسرول و فیلم‌های حاوی اسید چرب پالمیتیک به ترتیب دارای بالاترین و کمترین میزان کش آمدگی نسبت به سایر فیلم‌های متیل سلولز هستند.



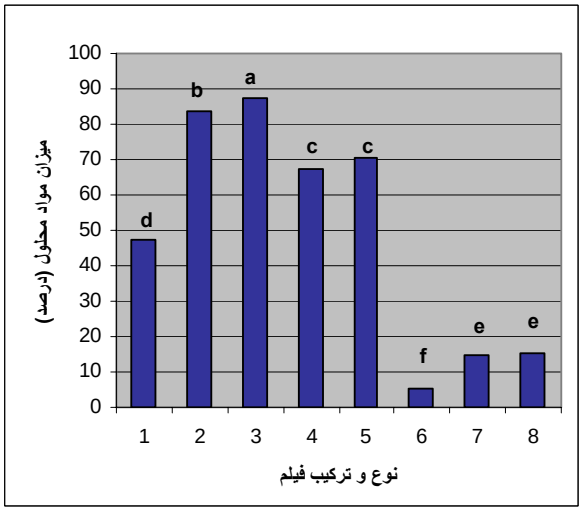
شکل ۱- مقایسه مقاومت کششی فیلم‌های متیل سلولز
(حروف غیر یکسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است)

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11]



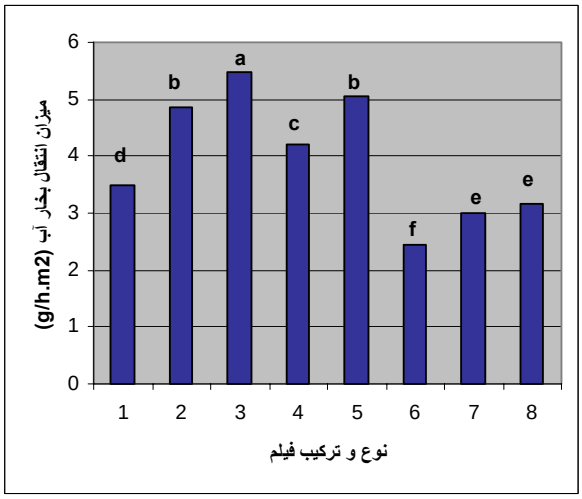
شکل ۲- مقایسه میزان کش آمدگی فیلم‌های متیل سلولز
(حروف غیر یکسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است)

درصد مواد محلول در آب فیلم‌های متیل سلولزی: درصد مواد محلول در آب انواع فیلم‌های متیل سلولز در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزودن پلاستی سایزرهای گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول به فیلم‌های متیل سلولز، میزان حلالیت فیلم در آب بیشتر می‌شود و با افزودن اسید پالمیتیک و ترکیب اسید پالمیتیک و گلیسرول به محلول فیلم‌های متیل‌سلولزی، درصد مواد محلول در آب فیلم‌ها کاهش می‌یابد. فیلم‌های حاوی اسید چرب، خیلی کم در آب حل می‌شوند.



شکل ۳- مقایسه درصد مواد محلول در آب فیلم‌های متیل سلولز
(حروف غیر یکسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است)

سرعت انتقال بخار آب فیلم‌های متیل سلولزی: سرعت انتقال بخار آب (WVTR) انواع فیلم‌های متیل سلولز در شکل ۴ نشان داده شده است. با افزودن گلیسرول و پلی‌اتیلن گلیکول به محلول فیلم‌های متیل سلولزی، WVTR افزایش و با افزودن اسید چرب پالمیتیک به محلول فیلم، کاهش می‌یابد. فیلم‌های حاوی ۰/۵ میلی‌لیتر گلیسرول دارای بیشترین سرعت انتقال بخار آب هستند. در فیلم‌های حاوی ترکیب اسید چرب پالمیتیک و گلیسرول نسبت به نمونه شاهد و فیلم‌های حاوی پلاستی سایزرهای گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول سرعت انتقال بخار آب کمتر و اختلاف معنی‌دار در سطح خطای کمتر از ۵٪ مشاهده می‌شود.



شکل ۴- مقایسه سرعت انتقال بخار آب فیلم متیل سلولز
(حروف غیر یکسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است)

• بحث

پلاستی سایزرها می‌توانند کارایی و خواص مکانیکی فیلم‌های متیل سلولزی را به نحو مطلوبی بهبود بخشند. در این تحقیق با افزودن گلیسرول (GLY) و پلی‌اتیلن گلیکول(PEG_{400}) به محلول فیلم‌های متیل سلولز، مقاومت کششی سلولزی به ترتیب ۶۴-۶۰ ٪ و ۲۵-۱۶٪ کاهش و انعطاف پذیری به ترتیب ۴۷-۴۳ ٪ و ۲۲-۱۵ ٪ افزایش یافت. نتایج حاصل از افزایش گلیسرول از ۰/۳۳ به ۰/۵ میلی‌لیتر نشان داد که مقاومت کششی و میزان کش‌آمدگی، اختلاف معنی‌داری نداشتند. در فیلم‌های حاوی پلی‌اتیلن گلیکول با افزایش غلظت این پلاستی سایزر از ۰/۳۳ به ۰/۵ میلی‌لیتر مقاومت کششی کاهش و میزان کش آمدگی افزایش یافت.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11]

نتایج به دست آمده مشابه بررسی *Park* و همکاران (۱۱) و *Brody* (۲۷) بود که نشان دادند پلاستی‌سایزرها مولکول‌های کوچکی هستند که وقتی به مواد پلیمری اضافه می‌شوند، ساختار سه بُعدی آنها را تغییر می‌دهند و با کاهش نیروهای جاذبه بین مولکولی و افزایش سیالیت شاخه‌های پلیمری باعث انعطاف‌پذیری فیلم می‌شوند. *Turhan* و *Sahbas* (۸) و*Choi* و *Han*(۲۸) نشان دادند که افزودن ماده نرم کننده به فیلم‌های خوراکی منجر به کاهش مقاومت نهایی به کشش UTS (Ulimate Tensile Strength) و افزایش میزان کش‌آمدگی یا کرنش در نقطه شکست SB (Strain at Break) می‌شود. چون پلاستی سایزرها در تشکیل پیوندهای هیدروژنی با زنجیره پلیمری رقابت می‌کنند و با افزایش تعداد پیوندهای هیدروژنی بین پلاستی سایزر و زنجیره پلیمری، انعطاف پذیری فیلم را بیشتر می‌کنند.

در این مطالعه با افزودن اسید چرب پالمیتیک و ترکیب گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک، مقاومت کششی فیلم متیل‌سلولزی به ترتیب ۳۸ ٪ و ۸۶- ۸۱ ٪ و میزان انعطاف پذیری به ترتیب ۶/۴ ٪ و ۳/۲-۱/۴ ٪ کاهش یافت. در فیلم‌های حاوی اسید چرب پالمیتیک، کمترین میزان کش‌آمدگی نسبت به سایر فیلم‌ها مشاهده می‌شود و این موضوع نشان می‌دهد که اسید چرب پالمیتیک، انعطاف‌پذیری شبکه پلیمری را کاهش می‌دهد. با افزایش غلظت گلیسرول در فیلم‌های حاوی گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک، اختلاف معنی‌داری در خواص مکانیکی مشاهده نمی‌شود.

مطالعه *Donhowe* و همکاران (۱۷) هم نشان داد که وزن مولکولی پلاستی سایزر و طول زنجیره کربنی آن روی خواص مکانیکی فیلم‌های متیل سلولزی اثر دارد. مقاومت کششی در فیلم‌های حاوی گلیسرول نسبت به سایر فیلم‌ها کاهش می‌یابد که مربوط به وزن مولکولی پلاستی سایزر و طول زنجیره کربنی آن است. چون پلاستی سایزرها با وزن مولکولی کم، تأثیر بیشتری روی کاهش مقاومت کششی دارند.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار مواد محلول در آب فیلم‌های متیل سلولز نشان داد که افزودن گلیسرول به فیلم‌های متیل سلولز سبب افزایش مقدار مواد محلول در آب به میزان ۴۰-۳۶٪ می‌شود. با افزایش غلظت گلیسرول، میزان مواد محلول در آب هم افزایش می‌یابد. در فیلم‌های حاوی پلی اتیلن گلیکول، مقدار مواد محلول در آب به میزان ۲۳-۲۰٪ افزایش یافت. با افزایش غلظت پلی اتیلن گلیکول، اختلاف معنی‌داری در مقدار مواد محلول در آب مشاهده نشد. نتایج به دست آمده مشابه بررسی *Parris* و همکاران (۲۹) بود که نشان دادند، فیلم‌های فاقد پلاستی سایزرهای گلیسرول و پلی‌اتیلن گلیکول میزان حلالیت پایینی دارند. با افزودن اسید چرب به محلول فیلم‌های متیل سلولزی، درصد مواد محلول در آب فیلم‌ها کاهش می‌یابد. در فیلم‌های حاوی اسید چرب پالمیتیک و ترکیب گلیسرول و اسید چرب پالمیتیک میزان مواد محلول در آب به ترتیب ۴۲ و ۳۳-۳۲ ٪ کاهش یافت. *Turhan* و *Sahbas* (۸) گزارش کردند که فیلم‌های خالص متیل‌سلولز به آهستگی در آب سرد حل می‌شوند و میزان حلالیت پایینی دارند. چون ماتریکس پلیمری متیل سلولز چسبندگی (Cohesion) بالایی دارد (به دلیل پیوندهای هیدروژنی بی‌شماری است که بین زنجیره‌های متیل سلولز (MC - MC) وجود دارد). بر اساس مطالعات *Kirk* و *Othmer* (۳۰) حلالیت فیلم‌های متیل سلولز بستگی به درجه جایگزینی DS (Degree of substitution) گروه‌های متیل در سلولز پایه دارد. متیل سلولزهایی با DS پایین، حلالیت بیشتری دارند. زیرا گروه‌های هیدروکسیلِ قطبیِ بیشتری در آنها وجود دارد که باعث ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی می‌شود. متیل سلولز مورد استفاده در این تحقیق دارای درجه جایگزینی ۱/۹ بود که به عنوان حلال در آب گزارش شده است.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های متیل سلولز نشان داد که با افزودن گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰ به محلول فیلم‌های متیل سلولز، WVTR نسبت به نمونه‌های شاهد به ترتیب ۱/۹-۱/۴ و ۱/۵-۰/۷ $g/h.m^2$ افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت این پلاستی سایزرها از ۰/۳۳ به ۰/۵ میلی‌لیتر، میزان انتقال

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11]

بخار آب هم افزایش می‌یابد.

نتایج به دست آمده مشابه بررسی *Park* و همکاران (۱۱) بود که نشان دادند افزودن گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول به محلول فیلم خوراکی باعث افزایش نفوذپذیری به بخار آب (WVP) می‌شوند. *Turhan* و *Sahbas* (۸) هم مشاهده کردند که افزایش غلظت پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰ در محلول فیلم‌های متیل سلولز سبب افزایش WVP می‌شود.

Donhwo و *Fennema*(۱۷) گزارش کردند که GLY و PEG_{400} ترکیبات آب‌دوستی هستند که با ایجاد فضای خالی در فیلم باعث افزایش سرعت انتقال بخار آب در آن می‌شوند. مطالعات *Turhan* و *Sahbas* (۸) و *Parris* و همکاران (۲۹) هم نشان داد که سرعت انتقال بخار آب و نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب، تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل ماهیت آب‌گریزی و آب‌دوستی اجزای تشکیل دهنده فیلم، پیچیدگی ساختار فیلم، حضور فضاهای خالی و شکستگی‌های میکروسکوپی قرار دارد. جذب آب توسط پلیمرهای سنتزی اغلب به متورم شدن و تغییرات در پیکربندی آنها منجر می‌شود. در نتیجه، تحرک انتهای زنجیره‌ها افزایش می‌یابد و نفوذپذیری بیشتر می‌شود.

در این تحقیق با افزودن اسید چرب پالمیتیک و ترکیب اسید چرب پالمیتیک و گلیسرول به محلول فیلم‌های متیل سلولز WVTR نسبت به نمونه‌های شاهد به ترتیب ۱ و ۰/۵-۰/۴ $g/h.m^2$ کاهش یافت. این نتایج مشابه بررسی *Ayranci* و *Tunce* (۱۹) بود که نشان دادند اسید چرب پالمیتیک به علت خاصیت آب‌گریزی و احتمالاً کم کردن فضای خالی و منافذ ریز در فیلم، سرعت انتقال بخار آب را کاهش می‌دهد. *Park* و همکاران (۳۱) هم گزارش کردند که کاهش WVP به طول زنجیره و غلظت اسید چرب بستگی دارد.

فیلم‌های متیل سلولز حاوی ترکیب اسید چرب و گلیسرول را می‌توان برای پوشش دهی محصولات باغی استفاده کرد. این فیلم‌ها می‌توانند با کاهش میزان تنفس میوه و نفوذپذیری به گازها و بخار آب، کاربردهای متعددی در بسته‌بندی محصولات باغی داشته باشند، چون به صورت لایه محافظی بر سطح میوه‌ها و سبزی‌ها قرار می‌گیرند و مانند بسته بندی‌های با اتمسفر اصلاح شده عمل می‌کنند. اثر این نوع پوشش‌ها بر افزایش ماندگاری و بهبود کیفیت میوه شلیل مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن منتشر شده است (۳۲).

• References

1.Mirnezamiziabary SH. Principles of food packaging. 5 th ed.Tehran: Aeej.2006; [in Persian]

2. Cuq B, Gontard N, Guilbert S. Protein as agricultural Polymers for packaging production. Cereal Chem. 1998; 75(1): 1-9.

3. Guilbert S. Technology and application of edible protective films. editor. Mathlouthi M. In Food packaging and preservation. Elsevier applied science: London,UK. 1986. p: 371-394.

4. Fishman ML. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. Food Technol.1997; 5(2): 16, 60-74.

5. Gennadios A, Weller CL, Testin RF. Temperature effect on oxygen permeability of edible protein-based films. J Food Sci.1993; 58: 212-214.

6. Kester JJ, Fennema O. Edible films and coatings: a review. Food Technol.1986; 40: 47-59.

7. Robertson GL. Food packaging: principle and practice. 2 nd ed. London. NewYork: Taylor & Francis Group. Boca Raton. 2006; 43-54.

8. Turhan KN, Sahbas F. Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. J Food Eng 2004; 61: 459-466.

9. Kester JJ, Fennema O. An edible film of lipids and cellulose ether: barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. J Food Sci. 1989; 54: 1383-1388.

10. Paist DW.(Ed). Cellulosics. New York: Reinhold Pub. Corp.1958.

11. Park HJ, Weller CL, Verrgano PJ, Testin RF. Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. J Food Sci. 1993; 58(6): 1361-1364, 1370.

12. Baker C. Methylcellulose and sodium

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11]

carboxymethylcellulose: Uses in Paper Conservation. The book and Paper Group Annual. The American Institute for Conservation; 1982; 1 , 26-30

13. Starikov EB, Brasicke K, Knapp EW, Saenge W. Negative solubility coefficient of methylated cyclodextrins in water: a theoretical study. Chem. Phys. Lett 2001; 336: 504-510.

14. Kamper SL, Fennema O. Water vapor permeability of edible bilayer films. J Food Sci. 1984; 49: 1478-1481.

15. Kamper SL, Fennema O. Use of an edible film to maintain water vapor gradients in foods. J Food Sci. 1985; 50: 382-384.

16. Park HJ, Chinnan MS. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. J Food Eng. 1995; 25(4): 497-507.

17. Donhowe G, Fennema O. The effects of plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of Methylcellulose films. J Food Process. Preserv. 1993; 17(4): 247-257.

18. Perez-Gago MB, Nadaud P, Krochta JM. Water vapor permeability solubility and tensile properties of heat denatured versus native whey protein films. J Food Sci. 1999; 64(6): 1034-1037.

19. Ayranci E, Tunce S. The effect of fatty acid content on water vapor and carbon dioxide transmissions of cellulose-based edible films. Food Chem. 2001; 72(5): 231-236.

20. Turhan KN, Sahbas F, Guner A. A spectrophotometric study of hydrogen bonding in methylcellulose-based edible films plasticized by polyethylene glycol. J Food Sci. 2001; 66(1): 59-62.

21. Ayranci E, Tunce S. A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. Food Chem. 2003; 80: 423-431.

22. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. Standard Designation: D882-. In Annual Book of ASTM, ASTM, 2002.

23. Nyquist H. Saturated solutions for maintaining specified relative humidities. Intl J pharm Technol. Product. 1983; 4(2): 47-48.

24. Lai HM, Padua GW. Water barrier Properties of zein films plasticized with oleic acid. Cereal Chem. 1998; 75(2): 194-198.

25. Yakimets I, Wellner N, Smith AC, Wilson RH, Farhat I, Mitchell JR. Mechanical properties with respect to water content of gelatin films in glassy state. Polymer 2005; 46(26): 12577-85.

26. Standard test methods for water vapor transmission of materials. Standard Designation: E96. In Annual Book of ASTM, ASTM, 2002.

27. Brody LA. Packaging. Food Technol. 2005; 59(2):65-66.

28. Choi WS, Han JH. Physical and mechanical properties of pea-protein-based edible films. J Food Sci. 2001; 66 (2): 319-322.

29. Parris N, Coffin DR, Joubran RF, Pessen H. Composition factors affecting the water vapor permeability and tensile properties of hydrophilic films. J Agr Food Chem. 1995; 43: 1432-1435.

30. Kirk RE, Othmer DF. Encylopedia of Chemical Technology. New York: Wiley; 1972. Vol 6:1-24.

31. Park JW, Testin RF, Park HJ, Vergano PJ, Weller CL. Fatty acid concentration effect on tensile strength, elongation, and water vapor permeability of laminated edible films. J Food Sci. 1994; 59: 916-919.

32. Mizani M, Daraei F, Badiei F, Gerami A. The Influence of methylcellulose edible coating on the storarage life of nectarin. J Food Technol & Nutrit. 2009; Vol 6(3): 2-11

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11]