

خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم زیست تخریب پذیر خوراکی حاصل از ثعلب

محمد اکرامی^۱، زهرا امام جمعه^{۲*}، مرضیه میرزاخانی^۳

۱. کارشناس ارشد، ۲. استاد، ۳. کارشناس ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری

کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۲۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۹/۲۰)

چکیده

در این مطالعه امکان سنجی استفاده از ثعلب به عنوان ماده جدید تشکیل دهنده فیلم بررسی شد. خواص مکانیکی، نفوذپذیری به بخار آب و ضخامت فیلم‌های ثعلب حاوی گلیسرول تعیین شدند. با افزایش مقدار ماده خشک ثعلب از ۱(w/v) درصد به ۳(w/v) درصد مقادیر مقاومت کششی و درصد افزایش طول به ترتیب از ۱۶/۱۶ درصد و ۱۸/۸۵ مگاپاسکال به ۷۰/۱۵ درصد و ۲۴/۵ مگاپاسکال افزایش یافت. همچنین مقادیر نفوذپذیری به بخار آب کاهش و سپس افزایش یافت. سطح و پشت فیلم‌های خوراکی ثعلب با میکروسکوپ الکترونی روبشی برای توضیح خواص ساختاری مطالعه شد. این مطالعه نشان داد که ثعلب پتانسیل خوبی برای استفاده در فیلم‌های خوراکی با ویژگی‌های جالب دارد.

کلیدواژگان: ثعلب، فیلم خوراکی، میکروسکوپ الکترونی روبشی، نفوذپذیری به بخار آب، ویژگی‌های مکانیکی.

مقدمه

امروزه پلیمرها و مواد استفاده شده در بسته بندی مواد غذایی شامل طیف وسیعی از پلیمرهای وابسته به ترکیبات نفتی، فلزات، کاغذ، شیشه و چوب یا ترکیبی از این مواد است (Bohlmann., 2005). ۴۱ درصد مصرف پلاستیک‌ها در صنعت بسته بندی است که از این میان ۴۷ درصد آن به بسته بندی مواد غذایی مربوط می شود (Sinha Ray et al., 2005). برای حل مشکل ضایعات ناشی از بسته بندی فرآورده های غذایی، توسعه بسته بندی های زیست تخریب پذیر^۱، نیازی ضروری برای جوامع است و به همین علت تحقیقات روی مواد زیست تخریب پذیر با خواص کنترل شده، برای مهندسان و متخصصان مواد در دنیا جاذبه ویژه ای ایجاد کرده است.

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، نوعی مواد بسته بندی محسوب می شوند که از مواد تجدیدپذیر، زیست سازگار، و زیست تخریب پذیر تهیه می شوند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از یکسو نوعی از مواد بسته بندی و از سوی دیگر جزئی از ترکیبات مواد غذایی هستند (Guilbert et al., 1995). از نقش‌های فیلم‌های خوراکی می توان به افزایش ماندگاری فرآورده های غذایی و بهبود کیفیت سیستم های غذایی با کنترل انتقال جرم، رطوبت، نفوذ روغن، و کاهش نفوذپذیری در مقایسه

با گازهایی مانند اکسیژن، دی اکسید کربن و همچنین ماندگاری بیشتر طعم و رایحه، نام برد (Mchugh et al., 1994).

مواد تشکیل دهنده فیلم و پوشش‌های خوراکی را می توان به سه دسته تقسیم کرد (Debeaufort et al., 1998; Guilbert et al., 1997):

۱. هیدروکلوئیدها شامل: پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها؛
۲. لیپیدها شامل: انواع موم‌ها، آسپل گلیسرول‌ها، و اسیدهای چرب؛
۳. فیلم‌های ترکیبی.^۲

پلی ساکاریدها (نشاسته‌ها، سلولزها و مشتقات آن، صمغ‌ها) ویژگی‌های خوبی برای تشکیل فیلم دارند. فیلم‌های تشکیل شده از این ترکیبات آب دوست، بازدارندگی مؤثری را در برابر روغن‌ها و چربی‌ها فراهم می آورند اما ویژگی‌های بازدارندگی آن‌ها در برابر رطوبت ضعیف است. فیلم‌های پروتئینی (زئین، گلوتن گندم و سویا، پروتئین‌های کازئینی، و آب پنیری شیر) عمدتاً ویژگی‌های مکانیکی و بازدارندگی بهتری در مقایسه با فیلم‌های پلی ساکاریدی دارند. لیپیدها معمولاً به دلیل داشتن ویژگی‌های بازدارندگی عالی در برابر رطوبت شرایط متفاوتی را برای فیلم تشکیل شده ایجاد می کنند اما در رابطه با پایداری‌شان (به ویژه اکسیداسیون)، بافت و کیفیت ارگانولپتیکی (آزمون شفافیت و مومی بودن)، نارسایی‌هایی دارند. فیلم و

* نویسنده مسئول: emamj@ut.ac.ir

ثعلب استفاده گردید. از دو نمک برای ثابت نگه داشتن مقدار رطوبت نسبی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد استفاده گردید: آب نمک اشباع نیترات منیزیم (از شرکت پرالابو فرانسه) برای ایجاد رطوبت نسبی ۵۳ درصد و آب نمک اشباع کلرید سدیم (از شرکت مرک آلمان) برای ایجاد رطوبت نسبی ۷۵ درصد.

آماده‌سازی محلول فیلم ثعلب

پیازهای پنجاهای ثعلب، سه‌مرتبه و به مدت ۱۵ دقیقه با آب مقطر شسته شدند و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در آب جوش غوطه‌ور گردیدند. خشک کردن اولیه با آون ۴۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در فشار اتمسفری انجام شد. در ادامه به منظور تکمیل فرایند خشک کردن، نمونه‌ها از آون خارج شد و به مدت چند روز در سایه (به منظور بهبود رنگ نمونه‌ها) و شرایط هوای آزاد (۲۵ درجه سانتی‌گراد) خشک گردیدند. پیازهای خشک شده، آسیاب گردیدند و با الک مش ۵۰ صاف شدند تا پودری زرد متمایل به سفید برای مصارف بعدی حاصل شود.

با حل کردن ۳ گرم آرد ثعلب در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر تحت شرایط هم‌زدن ثابت با همزن (IKA-RCT basic) با سرعت ثابت ۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مخلوط اولیه فیلم ثعلب (w/v) ۳ درصد حاضر گردید. به دلیل تشکیل مخلوطی با ویسکوزیته بالا و قطع شدن انحلال، از مخلوط کنی (Sunny, model SFP-۸۲۰) با توان ۸۲۰ وات به مدت ۲ دقیقه استفاده گردید و سپس مخلوط حاصل با همزن دور بالا (IKA T25 Ultra-Turrax, Germany) با دور ۷۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه هم‌وزن گردید.

سانتریفوژی با سرعت ۳۰۰۰g به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بخش نامحلول ثعلب (۶۰ تا ۶۵ درصد باقی‌مانده) از بخش شفاف رویی (به‌عنوان محلول نهایی) را جدا کرد و مقدار ماده خشک محلول نهایی محاسبه گردید.

گلیسرول (۲۵(w/w) درصد) به‌عنوان نرم‌کننده در دمای 30 ± 5 درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ دقیقه تحت شرایط همزنی با سرعت ثابت ۵۵۰ دور در دقیقه به محلول فیلم اضافه گردید و سپس به کمک روش قالب‌ریزی و تبخیر حلال در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت فیلم‌ها در سه سطح غلظت ماده خشک (۳(w/v) درصد، ۲ درصد، و ۱ درصد) تشکیل شدند و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن‌ها بررسی شد.

پوشش‌های خوراکی که به‌صورت مرکب تهیه شده‌اند، برای بهتر شدن ویژگی‌های کاربردی فیلم‌هایی که از یک نوع ترکیب تولید شده‌اند و همچنین غلبه بر مشکلات فناوری، توسعه یافته‌اند (Dong *et al.*, 2004).

بیش‌ترین فیلم‌های مرکبی که مطالعه شده‌اند، آمیزه‌ای از ترکیب لیپیدی و ساختارهایی بر پایه هیدروکلوئیدها هستند (Cha *et al.*, 2004; Chick *et al.*, 2002).

ثعلب آرد آسیاب شده به‌دست‌آمده از غده‌های زمینی گیاهان ارکیده است و سال‌ها به‌عنوان ماده غذایی و دارویی شناخته می‌شود (Kaya *et al.*, 2001; Kayacier *et al.*, 2006) که می‌تواند به‌عنوان منبعی جدید برای تولید فیلم‌های خوراکی پلی‌ساکاریدی استفاده گردد. ثعلب حاوی نشاسته (۲/۷ درصد)، خاکستر (۲/۴ درصد)، ماده نیتروژنی (۵ درصد)، رطوبت (۱۲ درصد)، و منبع غنی از گلوکومانان^۱ است (۱۶-۵۵ درصد) و از آنجا که گلوکومانان‌ها فیبرهای محلول در آب هستند به همین دلیل از این پلی‌ساکارید به‌عنوان عامل ژل‌دهنده در دماهای پایین با خصوصیات ویسکوالاستیک، عامل قوام‌دهنده، و امولسیفایر استفاده می‌شود (Farhoosh *et al.*, 2007; Kaya *et al.*, 2001).

دو گونه ثعلب در ایران به‌ویژه در مناطق غرب و شمال غرب وجود دارد که ثعلب پنجه‌ای شکل با گلوکومانان بیشتر (۴۷/۵ درصد) و نشاسته کمتر (۲/۳ درصد) و ثعلب پیازی شکل با گلوکومانان کمتر (۱۹/۳ درصد) و نشاسته بیشتر (۶/۸ درصد) است (Farhoosh *et al.*, 2007). در این پژوهش از ثعلب پنجه‌ای شکل استفاده گردید که حاوی گلوکومانان بیشتری است. از آنجا که در پژوهش‌های پیشین به قابلیت تولید فیلم از ثعلب توجه نشده است، هدف اصلی از انجام این پروژه، امکان‌سنجی تولید فیلم‌های ثعلب به همراه گلیسرول در نقش نرم‌کننده و بررسی خواص مکانیکی و نفوذپذیری به بخار آب این فیلم‌هاست.

مواد و روش‌ها

مواد

پیاز ثعلب از بازاری محلی در کردستان-ایران خریداری شد. گلیسرول^۲ (خلوص ۹۸ درصد) از شرکت آکروز انگلستان تهیه شد و به‌جای نرم‌کننده برای بهبود خواص مکانیکی فیلم‌های

1. Glucomannan
2. Glycerol

تغییرات رسم و شیب هر خط رسم شده با رگرسیون خط $(R^2=0/999)$ محاسبه گردید. نرخ انتقال بخار آب (WVTR) ^۵ از تقسیم شیب خط کشیده شده (Slope) بر سطح فیلم (A) به دست می آید:

$$WVTR = \frac{Slope}{A} \quad (\text{رابطه ۱})$$

با توجه به رابطه ۲ با ضرب کردن ضخامت فیلم (X) و تقسیم بر اختلاف فشار بین رطوبت نسبی درون سلولها و رطوبت نسبی دسیکاتور (ΔP)، نفوذپذیری به بخار آب (WVP) به دست می آید:

$$WVP = \frac{WVTR \times X}{\Delta P} \quad (\text{رابطه ۲})$$

مطالعه ریزساختار (مورفولوژی) با میکروسکوپ الکترونی روبشی

از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (Philips XL, Netherlands) برای مطالعه ریزساختار فیلمهای ثعلب ترکیب شده با نرم کننده استفاده شد. قبل از عکسبرداری از نمونهها، فیلمها در اندازههای $5\text{mm} \times 1\text{mm}$ بریده شدند و با لایه‌ای از طلا پوشانده شدند. از سیستم تحلیل تصویری با شتاب ولتاژ 15kV استفاده شد و تصویربرداری از نمونهها در بزرگنماییهای گوناگونی انجام گرفت.

آنالیزهای آماری

اختلاف بین تیمارهای متفاوت، براساس طرح آماری فاکتوریل کاملاً تصادفی با تحلیل واریانس (ANOVA) در سطح احتمال ۵ درصد تعیین شد. مقایسه میانگین دادهها براساس آزمون دانکن با نرم افزار SPSS نسخه ۱۷ و EXCEL نسخه ۲۰۱۰ Chicago, USA) انجام گرفت.

خواص فیزیکی فیلمها

ضخامت

توانایی مکانیکی پلیمرها و خواص ممانعت کنندگی آنها بستگی زیادی به ضخامت آنها دارد (Miller et al., 1997). با توجه به ماهیت آبدوست این پلیمر، با افزایش ماده خشک فیلم، مقدار تورم ناشی از رطوبت افزایش پیدا می کند که این تورم خود را به صورت ناهمواریهای سطحی نشان می دهد. افزایش ضخامت باعث افزایش پیوندهای بین مولکولی در ماتریس پلیمر می گردد که افزایش مقاومت کششی فیلمها و کاهش نفوذپذیری به بخار

ضخامت فیلم^۱

ضخامت فیلمها با میکرومتری دیجیتالی (Mitutoyo., Japan) در ۵ نقطه متفاوت از فیلمها که به صورت تصادفی انتخاب شد، تعیین گردید. میانگین این نقاط برای تعیین دیگر ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی فیلمها استفاده شد.

مقاومت کششی^۲ و درصد افزایش طول^۳

اندازه گیری میزان مقاومت کششی (TS) و درصد افزایش طول (درصد E) فیلمها بر طبق روش استاندارد ASTM D-۸۸۲ با دستگاه (Testometric Machine M-CT, England) ارزیابی شد. نمونهها قبل از آزمون با ۱۰ میلی متر عرض و ۱۰۰ میلی متر طول بریده شد و در دسیکاتور حاوی نیترا ت منیزیم (برای ایجاد رطوبت نسبی ۵۳ درصد) قرار داده شدند و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شدند. فاصله فکهای اصلی از یکدیگر ۵۰ میلی متر و سرعت فکها ۱۰ میلی متر بر ثانیه بود. مقادیر درصد E, TS از روی منحنیهای تنش-کرنش به دست آمدند و به ترتیب به مگاپاسکال و میزان افزایش طول تقسیم بر طول اولیه بر حسب درصد گزارش شدند. حداقل ۵ تکرار برای هر فیلم در نظر گرفته شد.

نفوذپذیری به بخار آب (WVP)^۴

برای انجام دادن این آزمایش از استاندارد مصوب ASTM E-۹۶ استفاده گردید و میزان WVP با روش اصلاح شده (Hosseini et al., 2009) محاسبه گردید. ابتدا درون ظروف شیشه‌ای (با مساحت دهانه‌ی $0/0 \times 19625$ متر مربع) کلرید کلسیم بدون آب ریخته شد و سطح ظروف با فیلمهای بدون چروکیدگی و سوراخ پوشانده و سپس با پارافیلیم و به کمک پارافین مذاب درببندی شدند. برای حفظ گرادیان رطوبت نسبی ۷۵ درصد عبوری از فیلمها، از کلرید کلسیم بدون آب (رطوبت نسبی ۹۰ درصد) در در داخل ظروف شیشه‌ای و محلول اشباع کلرید سدیم (رطوبت نسبی ۷۵ درصد) در داخل دسیکاتور استفاده شد. اختلاف رطوبت نسبی در دو سمت فیلم در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، فشار بخاری معادل $1753/55$ پاسکال ایجاد می کند. بدین ترتیب تغییرات وزن ظرفها طی زمان با یک ترازوی دیجیتالی با دقت $\pm 0/001$ گرم اندازه گیری شد، منحنی

1. Thickness

2. Tensile Strength (TS)

3. Elongation at Break (%E)

4. Water Vapor Permeability (WVP)

5. Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

6. Scanning Electron Microscope (SEM)

نفوذپذیری به بخار آب (WVP)

تبادل رطوبتی بین ماده غذایی و محیط می‌تواند مشکلاتی را برای محصول به وجود آورد به همین دلیل بازدارندگی فیلم‌های پلیمری در برابر رطوبت، از نظر نگهداری مواد غذایی بسیار مهم است (Parris et al., 1997). با افزایش ماده خشک فیلم‌ها اتصالات جانبی بین زنجیره‌های پلیمر افزایش و ضریب انتشار و ضریب نفوذپذیری کاهش پیدا می‌کند از این رو فیلم (w/v) ۲ درصد نسبت به فیلم (w/v) ۱ درصد متراکم تر شده است.

البته این کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب در اثر افزایش ماده خشک تشکیل دهنده فیلم، مشابه نتایج سایر محققان در زمینه فیلم‌های خوراکی دیگر است (Ahmadi et al., 2011; Nazan Turhan et al., 2004).

محلول با غلظت (w/v) ۳ درصد ویسکوزیته بالایی دارد که به سختی روی بشقابک پخش می‌شود. همچنین به دلیل غلظت زیاد، ماده خشک، حلالیت کاهش می‌یابد و زنجیره‌های پلیمر به صورت نامنظم کنار یکدیگر قرار می‌گیرند که با بررسی عکس‌های میکروسکوپ الکترونی فیلم (w/v) ۳ درصد (شکل ۳) سوراخ‌های ریزی در ساختار فیلم ایجاد می‌شود که عاملی برای افزایش نفوذپذیری در غلظت‌های بالاتر ماده خشک است. این افزایش نفوذپذیری به دلیل کاهش حلالیت ماده خشک در فیلم‌های خوراکی مشابه نیز دیده می‌شود (Ahmadi et al., 2011; Ghanbarzadeh et al., 2007; Nazan Turhan et al., 2004).

آب را در پی خواهد داشت (جدول ۱). پژوهشگران در تحقیقاتی مشابه افزایش ضخامت فیلم خوراکی با افزایش ماده خشک بر فیلم‌های خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدهای دیگر را نیز بررسی کرده‌اند که به نتایج مشابهی دست یافتند (Ahmadi et al., 2011; Oses et al., 2009; Bertuzzi et al., 2007; Godbillot et al., 2006; Laohakunjit et al., 2004; Nazan Turhan et al., 2004).

خواص مکانیکی

خواص مکانیکی فیلم‌های ثعلب تحت تأثیر فرمولاسیون و غلظت مواد اولیه قرار می‌گیرد و با تغییر غلظت بیوپلیمر، خصوصیات مکانیکی فیلم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. مقاومت به کشش فیلم تحت تأثیر به هم پیوستگی زنجیره‌های پلیمر در ماتریکس ورقه‌ای قرار می‌گیرد. افزایش ماده خشک فیلم‌ها باعث افزایش تراکم فیلم‌ها می‌گردد که نتیجه‌اش افزایش معنادار ($P < 0.05$) مقاومت نسبت به کشش فیلم‌هاست (جدول ۱). درصد کشش در نقطه پارگی، حداکثر افزایش طول فیلم تا نقطه پاره شدن در اثر اعمال تنش کششی را نشان می‌دهد و معمولاً برحسب میلی‌متر بیان می‌شود. این پارامتر میزان انعطاف‌پذیری فیلم را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۱، درصد ازدیاد طول فیلم‌ها همانند مقاومت در برابر کشش آنها تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$) و با افزایش ماده خشک، کشش‌پذیری فیلم نیز افزایش پیدا می‌کند. در تحقیقات مشابهی که بر فیلم‌های خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدها انجام شده است، نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (Ahmadi et al., 2011; Bertuzzi et al., 2007; Godbillot et al., 2006).

جدول ۱. درصد ازدیاد طول، مقاومت در برابر کشش و نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های ثعلب در غلظت‌های گوناگون ماده خشک

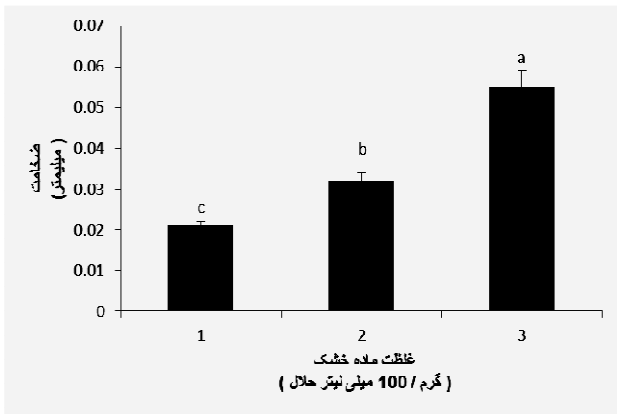
غلظت ماده خشک ثعلب (%w/v)	غلظت گلیسرول (%w/w)	درصد ازدیاد طول تا نقطه شکست فیلم (%E)	مقاومت در برابر کشش فیلم (MPa)	نفوذپذیری به بخار آب $10^{-11}(\text{g/smPa}) \times$
۱	۲۵	۱۶/۱۶±۱/۵۴ ^c	۱۸/۸۵±۰/۵۴ ^b	۳/۸۱±۰/۳۵ ^b
۲	۲۵	۵۸/۸۵±۲/۹۴ ^b	۲۳/۲۸±۰/۹۸ ^{ab}	۲/۷۹±۰/۵۱ ^c
۳	۲۵	۷۰/۱۵±۳/۱۷ ^a	۲۴/۵۰±۱/۰۷ ^a	۴/۸۰±۰/۹۳ ^a

میانگین‌ها در هر ستون با حروف انگلیسی متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار با هم هستند ($P < 0.05$) داده‌ها عبارت‌اند از میانگین ± انحراف معیار

مطالعه ریزساختار (مورفولوژی) با میکروسکوپ الکترونی روبشی

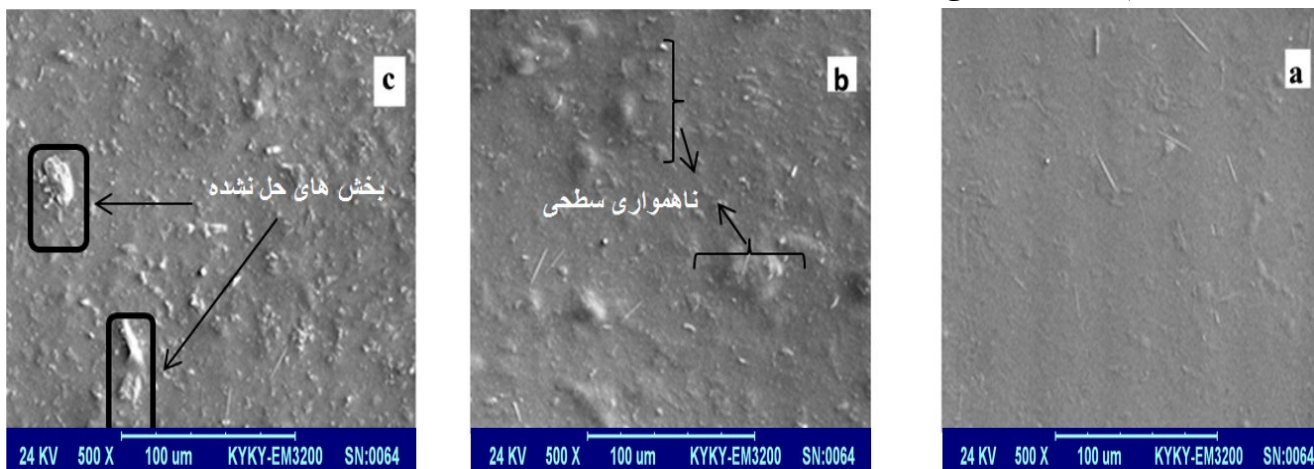
بررسی خصوصیات میکروساختاری در بیوپلیمرها عاملی مهم در درک رفتار و خواص آن بیوپلیمر می‌تواند باشد (Frinault et al., 2006). تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شده از سطح فیلم‌ها اطلاعات مفیدی از ریزساختار، توزیع، و بستر پلیمر در اختیار ما قرار می‌دهد. همان‌طور که در

عکس‌ها مشخص است با افزایش غلظت ماده خشک از (w/v) ۱ درصد به (w/v) ۲ درصد (شکل ۳) سطح فیلم غیر یکنواخت‌تر شده است. با توجه به داده‌های حاصل از ضخامت (شکل ۱) در اینجا هم تا حدودی این افزایش ضخامت خود را به صورت ناهمواری‌های سطحی نمایش می‌دهد، اما این غیریکنواختی سطحی آرایش فضایی زنجیره‌های پلیمر در بستر ماتریس را به هم نزده است، بلکه به دلیل افزایش ماده خشک و افزایش

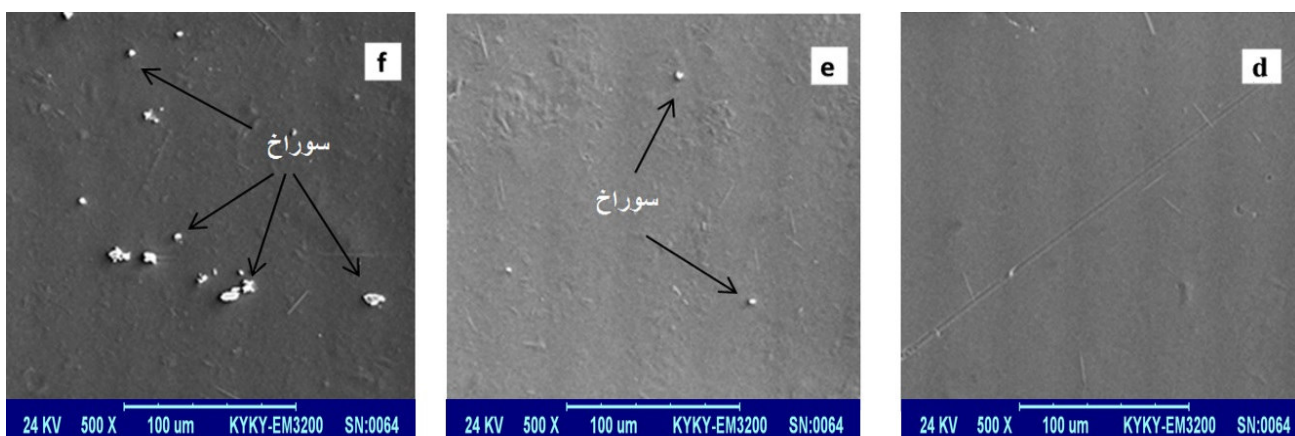


شکل ۱. اثر غلظت‌های متفاوت ماده خشک بر ضخامت فیلم ثعلب

پیوندهای پلیمر، ساختار فیلم کاملاً فشرده‌تر گردیده و نفوذپذیری به بخار آب کاهش یافته است (جدول ۱). اما با افزایش غلظت از ۲(w/v) درصد به ۳(w/v) درصد ماده خشک غیر یکنواختی سطح فیلم بسیار افزایش می‌یابد. همچنین به دلیل غلظت زیاد، حلالیت ثعلب کاهش یافته است و بخش‌هایی از آن به صورت بخش حل نشده باقی می‌ماند (شکل ۲). این حل شدن ناقص باعث می‌شود که زنجیره‌های پلیمر به صورت نامنظم کنار یکدیگر قرار گیرند و سوراخ‌هایی در ساختار فیلم ایجاد گردد (شکل ۳) که به افزایش نفوذپذیری فیلم ۳(w/v) درصد نسبت به فیلم ۲(w/v) درصد می‌انجامد (جدول ۱).



شکل ۲. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح رویی فیلم‌های ثعلب (a): ۱(w/v) درصد، (b): ۲(w/v) درصد، و (c): ۳(w/v) درصد



شکل ۳. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح پشتی فیلم‌های ثعلب (d): ۱(w/v) درصد، (e): ۲(w/v) درصد، و (f): ۳(w/v) درصد

فیزیکی فیلم ثعلب در مقایسه با دیگر فیلم‌های بیوپلیمری تولیدشده از منابع دیگر تولید (Piermaria et al., ۲۰۰۹) (جدول ۲)، می‌توان فیلم ثعلب را یکی از بهترین فیلم‌های خوراکی تولیدی از نظر مقاومت مکانیکی و نفوذپذیری به بخار آب معرفی کرد.

همان‌طور که اشاره گردید میزان نفوذپذیری به بخار آب، مقاومت کششی، و درصد افزایش طول فیلم ثعلب حاوی ۲(w/v) درصد ماده خشک به همراه ۲۵(w/w) درصد گلیسرول به ترتیب به میزان $10^{-11} \times 2/79$ (g/smPa)، ۲۳/۲۸ MPa و ۵۸/۸۵ درصد است. با توجه به این نتایج و مقایسه خواص

جدول ۲. مقایسه نفوذپذیری به بخار آب و خواص مکانیکی بیوپلیمرها و پلیمرهای سنتزی رایج با فیلم ثعلب

Film composition	WVP (g/m s Pa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
Kefiran (10 g/kg)	$5/73 \pm 0/73 \times 10^{-11}$	$40/92 \pm 7/83$	$2/70 \pm 0/47$
Kefiran (10 g/kg) plasticized with glycerol	$4/09 \pm 0/75 \times 10^{-11}$	$15/15 \pm 0/28$	$116/69 \pm 14/48$
Corn starch plasticized with glycerol	$8/68 \pm 0/23 \times 10^{-11}$	$7/10 \pm 0/40$	$22/50 \pm 4/20$
Chitosan	$4/55 \pm 0/61 \times 10^{-11}$	$60/70 \pm 5/80$	$3/30 \pm 0/40$
Methylcellulose plasticized with glycerol	$1/15 \pm 0/14 \times 10^{-10}$	$20/83$	$50/0$
Gellan gum plasticized with glycerol	$2/08 \times 10^{-10}$	$30/0$	$30/0$
Fish myofibrillar protein plasticized with glycerol	$6/40 \pm 0/43 \times 10^{-11}$	$3/90 \pm 0/28$	$14/50 \pm 2/12$
Sodium casein plasticized with glycerol	$1/51 \times 10^{-10}$	$22/50$	$26/80$
Whey protein isolate plasticized with glycerol	$1/34 \times 10^{-9}$	$3/50$	$20/0$
Zein plasticized with glycerol	$2/06 \times 10^{-10}$	$7/0$	$2/60$
Cellophane	$8/40 \times 10^{-11}$	$85/80 \pm 8/90$	$14/40 \pm 2/40$
LDPE	$9/14 \times 10^{-13}$	$16/20 \pm 4/0$	$68/70 \pm 14/90$
HDPE	$2/31 \times 10^{-13}$	$27/80 \pm 3/20$	$150/0 \pm 8/50$

مقاومت به کشش و درصد ازدیاد طول فیلم تا نقطه شکست نیز افزایش می‌یابد. در پایان این تحقیق موفق به معرفی پلیمر جدیدی به دنیای بسته‌بندی شد که با مطالعه بیشتر بر خواص فیزیکی و مکانیکی آن می‌توان فیلم خوراکی و زیست‌تخریب‌پذیر ثعلب را به‌عنوان یک بسته‌بندی مناسب برای حفظ ویژگی‌های کیفی و افزایش ماندگاری مواد غذایی معرفی کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

بخش محلول ثعلب پتانسیل خوبی برای ایجاد فیلم خوراکی دارد. در سطح $2(w/v)$ درصد فیلم ثعلب پایین‌ترین میزان WVP را دارد که در مقایسه با بیشتر فیلم‌های خوراکی نفوذپذیری کمتری را از خود نشان می‌دهد، البته با افزایش میزان ماده خشک، ضخامت و نفوذپذیری نسبت به بخار آب نیز افزایش می‌یابد. با افزایش ماده خشک و گلیسرول میزان

REFERENCES

- Ahmadi, R., Kalbasi-Ashtari, A., Oromiehie, A., Yarmand, M. S. and Jahandideh, F. (2011). Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed *Plantago ovata* Forsk. *Journal of Food Engineering*.
- ASTM D882 (2001). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. *Standard designations. Philadelphia: American Society for Testing and Materials*.
- ASTM E96-95 (1995). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Material. *Philadelphia: American Society for Testing and Materials*.
- Bertuzzi, M., Castro Vidaurre, E. F., Armada, M. and Gottifredi, J. C. (2007). Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 972-978.
- Bohlmann, G.M. (2005). General characteristics, processability, industrial applications and market evolution of biodegradable polymers. *Handbook of Biodegradable Polymers, Rapra Technology Ltd, Shawbury, UK*: 183-212.
- Cha, D.S. and Chinnan, M. (2004). Biopolymer- Based Antimicrobial Packaging: A Review. *Journal of Food Science and Nutrition*, 44, 223-237.
- Chick, J. and Hernandez, R. J. (2002). Physical, thermal, and barrier characterization of casein-wax- based edible films. *Journal of food science*, 67,1073-1079.
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. and Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Reviews in Food Science*, 38(4), 299-313.
- Dong, S. and Chinnan, M. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 223-237.
- Farhoosh, R. and Riazi, A. (2007). A compositional study on two current types of Salep in Iran and their rheological properties as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21(4), 660-666.
- Frinault, A., Gallant, D. J., Bouchet, B. and Dumont, J. P. (2006). Preparation of casein films by a modified wet spinning process. *Journal of Food Science*, 62(4), 744-747.
- Ghanbarzadeh, B., Musavi, M., Oromiehie, A. R., Rezayi, K., Razmi Rad, E. and Milani, J. (2007). Effect of plasticizing sugars on water vapor

- permeability, surface energy and microstructure properties of zein films. *LWT-Food Science and Technology*, 40(7), 1191-1197.
- Godbillot, L., Dole, P., Joly, C., Rogé, B. and Mathlouthi, M. (2006). Analysis of water binding in starch plasticized films. *Food Chemistry*, 96(3), 380-386.
- Guilbert, S., Cuq, B. and Gontard, N. (1997). Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials. *Food Additives & Contaminants*, 14(6-7), 741-751.
- Guilbert, S., Gontard, N. and Cuq, B. (1995). Technology and applications of edible protective films. *Packaging Technology and Science*, 8(6), 339-346.
- Hosseini, M., Razavi, S. H. and Mousavi, M. A. (2009). Antimicrobial, Physical And Mechanical Properties of Chitosan-Based Films Incorporated With Thyme, Clove And Cinnamon Essential Oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(6), 727-743.
- Kaya, S. and Tekin, A. (2001). The effect of Salep content on the rheological characteristics of a typical ice-cream mix. *Journal of Food Engineering*, 47(1), 59-62.
- Kayacier, A. and Dogan, M. (2006). Rheological properties of some gums-Salep mixed solutions. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 261-265.
- Laohakunjit, N. and Noomhorm, A. (2004). Effect of plasticizers on mechanical and barrier properties of rice starch film. *Starch-Stärke*, 56(8), 348-356.
- McHugh, T.H. and Krochta, J. (1994). Milk-protein-based edible films and coatings. *Food technology*
- Miller, K. and Krochta, J. (1997). Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 8(7), 228-237.
- Nazan Turhan, K. and Şahbaz, F. (2004). Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 459-466.
- Oses, J., Niza, S., Ziani, K. and Maté, J. (2009). Potato starch edible films to control oxidative rancidity of polyunsaturated lipids: effects of film composition, thickness and water activity. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(7), 1360-1366.
- Parris, N. and Coffin, D. (1997). Composition factors affecting the water vapor permeability and tensile properties of hydrophilic zein films. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(5), 1596-1599.
- Piermaria, J.A., Pinotti, A., Garcia, M. A. and Abraham, A. (2009). Films based on kefir, an exopolysaccharide obtained from kefir grain: Development and characterization. *Food Hydrocolloids*, 23(3), p. 684-690.
- Sinha Ray, S. Bousmina, M. (2005). Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world. *Progress in Materials Science*, 50(8), 962-1079.