



## بررسی امکان تهیه فیلم زیست سازگار از نشاسته نخود و تاثیر رطوبت نسبی و پلاستی سایزر بر ویژگی های فیزیکی و مکانیکی آن

مجید جوانمرد\*، علیرضا بصیری

گروه صنایع غذایی، پژوهشکده صنایع شیمیایی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران

### Study of Effects of Plasticizer and Relative Humidity on the Physical and Mechanical Properties of Pea Starch Films

Majeed Javanmard\*, Ali Reza Bassiri

Department of Food Industries, Institute of Chemical Technologies, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST).

#### Abstract

The tensile properties, water vapor permeability, oxygen permeability at different relative humidity (RH), and water solubility of edible film made of pea starch was measured and compared with the most commonly used edible films. The addition of glycerol into starch films made amylase-rich granules swollen and continuously dispersed between amylopectin-rich gels. Tensile strength of pea starch film decreased when RH increased from 51% to 90%. Water vapor permeability was 130 to 150 gr mm/m<sup>2</sup>.d.kpa. Oxygen permeability of pea starch was very low (< 0.5 cm<sup>3</sup> μm/m<sup>2</sup>.d.kpa) below 40% RH, and 1.2 to 1.4 at 45% RH. Water solubility of pea starch was 32.0. Overall pea starch film possess an excellent oxygen barrier property with extremely high stretchability.

**Keywords:** starch film; edible film; glycerol; pea starch; tensile properties; water vapor permeability; oxygen permeability

#### چکیده

ویژگی های کششی، میزان تراوایی نسبت به بخار آب و اکسیژن و میزان حلالیت در آب در رطوبت های نسبی (RH) تحت بررسی در فیلم های خوراکی تهیه شده از نشاسته نخود، اندازه گیری و با فیلم های خوراکی مرسوم و مورد استفاده مقایسه گردید. افزودن گلیسرول به فیلم های نشاسته نخود که تورم و باد کردگی گرانول های حاوی آمیلوز و توزیع یکنواخت آنها در بین ژل های آمیلو پکتین رادری داشته، در رطوبت نسبی ۹۰ درصد، به طور معنی داری میزان کش آمدگی فیلم را افزایش داد. با افزایش رطوبت نسبی از ۵۱ به ۹۰ درصد، قدرت کششی فیلم تولیدی کاهش و میزان کش آمدگی افزایش یافت. میزان تراوایی بخار آب در این فیلم ۱۳۰ تا ۱۵۰ g mm/m<sup>2</sup>/d/kpa تعیین گردید. میزان تراوایی نسبت به اکسیژن در رطوبت نسبی کمتر از ۴۰ درصد بسیار پایین (کمتر از ۰/۵ cm<sup>3</sup> μm/m<sup>2</sup>/d/kpa) بوده و میزان آن ۱/۲ تا ۱/۴ (cm<sup>3</sup> μm/m<sup>2</sup>/d/kpa) در رطوبت نسبی ۴۵ درصد شد. حلالیت در آب فیلم تولیدی ۳۲ درصد بود. فیلم نسبت به اکسیژن تراوایی پائین و قابلیت کشش بالایی<sup>۲</sup> داشت.

کلید واژه ها: فیلم نشاسته، فیلم خوراکی، گلیسرول، تراوایی اکسیژن، تراوایی بخار آب، ویژگی کششی.

\* Corresponding author. E-mail Address: javanmard@irost.ir

## مقدمه

باشند. بسته بندی خوراکی باید فاقد طعم نامطبوع، عاری از هرگونه مواد سمی، سدی در برابر آب، گازها و مواد معطر بوده و دارای ویژگی های مکانیکی مطلوب برای حمل و نقل و دستکاری فراورده های غذایی نیز باشند (Krochta & DeMulder-Johnson, 1997). این گونه بسته بندی ها می توانند حاوی اجزای کارکردی مواد غذایی نظیر آنتی اکسیدان ها، مواد ضد میکروبی طبیعی و رنگدانه ها بوده و جهت پایداری میکروبی و شیمیایی و بهبود شاخص کیفی و بهداشتی مواد غذایی بسته بندی شده مورد استفاده قرار گیرند (Natrajan & Sheldon, 2000). فیلم های پروتئینی نظیر فیلم هایی که با پروتئین نخود، سویا و آب پنیر تهیه می شوند در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته اند (Choi & Han, 2001; Choi & Han, 2002). این فیلم ها مانع خوبی در برابر نفوذ گازها بوده و دارای ویژگی های مکانیکی و کیفیت تغذیه ای مطلوب می باشند. این خصوصیات باعث گردیده تا از این فیلم ها به عنوان مواد جایگزین در بسته بندی های مرسوم و مصنوعی استفاده شود. دستیابی به مواد اولیه ارزان قیمت برای بسته بندی از مزایای استفاده از این مواد محسوب می شود (Choi & Han, 2001; Mujica-Paz & Gontard, 1997; Gontard et al., 1996). نشاسته یکی از ترکیبات عمده غلات و بقولاتی نظیر برنج و نخود محسوب می گردد. اغلب نشاسته ها حاوی حدود ۲۵ درصد آمیلوز و ۷۵ درصد آمیلوپکتین می باشند (Be Miller et al., 1996). نشاسته که به وفور در طبیعت یافت می شود، به دلیل قیمت پائین، قابلیت تجدید شونده گی و بازیافت زیستی، یکی از مواد خام جذاب و مورد علاقه برای استفاده در بسته بندی های خوراکی محسوب می گردد (Guilbert, 2000). علاوه بر این حساسیت زا<sup>۵</sup> نبوده و به دلیل دارا بودن ویژگی های مکانیکی و مقاومت در برابر نفوذ گازها، امکان به کارگیری و استفاده از آن در صنایع غذایی وجود دارد.

نیاز به تولید پلاستیک های قابل تجزیه در طبیعت روز به روز در حال افزایش می باشد. از ویژگی های مطلوب برای هر بسته بندی، بازیافت آسان آن و ایجاد کمترین خسارت به محیط زیست است. هر ساله بالغ بر میلیون ها تن ضایعات پلاستیکی از جمله کیسه ها، پاکت های پلاستیکی و مواد بسته بندی وارد محیط زیست گردیده و به علت عدم بازگشت به چرخه زیست محیطی، باعث ایجاد مشکلاتی برای محیط زیست می شوند. علاقه به انجام فعالیت تحقیقاتی و استفاده از فیلم های با منشأ طبیعی (نشاسته، پروتئین و ...) به دلیل پتانسیل این مواد در جایگزینی پلیمرهای رایج در بسته بندی مواد غذایی و همچنین مقاومت آنها در برابر نفوذ گازها، رطوبت و مواد محلول از دهه قبل رایج گردید. تمایل به استفاده از بسته بندی های زیست سازگار<sup>۳</sup> از جمله پوشش ها و فیلم های خوراکی<sup>۴</sup>، به دلیل دارا بودن مواد طبیعی، قابلیت تجدید پذیری و عدم ایجاد آلودگی های زیست محیطی، روز به روز در حال افزایش می باشد (Ahvenainen et al., 1997; Stading et al., 2001). با توسعه صنایع غذایی، میزان ضایعات ناشی از فرآوری محصولات غذایی نیز افزایش یافته است. استفاده از این ضایعات هم از جهات اقتصادی و هم از نظر آلودگی های زیست محیطی، از دغدغه های صنایع غذایی و مراجع قانونی محیط زیست محسوب می گردد. استفاده از این ضایعات برای تهیه مواد اولیه مورد نیاز در بسته بندی های زیست سازگار منجر به حل مشکلات زیست محیطی و ارتقا ارزش افزوده ضایعات مذکور می شود. فیلم ها و پوشش های خوراکی از یک سو نوعی از مواد بسته بندی و از سوی دیگر جزیی از ترکیبات مواد غذایی، می باشند. به همین دلیل برای تامین نیازهای خاصی نظیر خواص ضد میکروبی، افزایش مدت زمان ماندگاری، ایجاد طعم، بو، رنگ و غیره در بسته بندی و مواد غذایی، باید دارای ویژگی های منحصر به فردی

## مواد و روش کار

### مواد

نشاسته نخود (۹۵ درصد محتوی نشاسته) از شرکت (Portage-la-Prairie, Man., Canada) Parrheim foods تهیه گردید که حاوی تقریباً ۴۰ درصد آمیلوز بود. گلیسرول از شرکت سیگما (St. Louis, Mo., U.S.A.) خریداری و به عنوان پلاستی سایزر استفاده گردید.

### تهیه فیلم

ابتدا محلول ۳ درصد، از نشاسته نخود تهیه گردید و سپس به نسبت ۱ به ۲ (وزن/وزن) گلیسرول به نشاسته افزوده شد. به عنوان نمونه شاهد، از فیلم نشاسته نخود بدون افزودن گلیسرول استفاده گردید. محلول در حالی که حرارت می دید، دائماً به هم زده می شد و پس از جوشیدن به مدت ۱۵ دقیقه در حال جوش، جهت ژلاتینه شدن ذرات نشاسته قرار گرفت. محلول سپس تا دمای تقریباً ۶۰ درجه سانتی گراد خنک گردیده و مقدار ۱۲ گرم از آن برای تشکیل فیلم در داخل پتری دیش های پلی استیرن (قطر ۱۰ سانتی متر) وارد شد. پتری دیش ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط برای خشک شدن محلول قرار گرفتند. ضخامت فیلم های تهیه شده توسط میکرومتر (B.C. Ames Co., Waltham, Mass., U.S.A.) در ۵ نقطه تصادفی از فیلم های تهیه شده، پس از جداسازی از کف پتری دیش ها اندازه گیری گردید. سپس فیلم های تهیه شده برای آزمون های بعدی به مدت یک هفته در کیسه های پلاستیکی پلی اتیلن با دانسیته پائین در محیط آزمایشگاه نگهداری گردیدند.

### آزمون های کششی

فیلم های نگهداری شده در کیسه های پلاستیکی به شکل نوارهایی به ابعاد ۱×۸ سانتی متر بریده شده و در دسیکاتور به مدت ۳ روز در رطوبت نسبی ۵۱ و ۹۰

فیلم های تهیه شده از نشاسته ذرت با آمیلوز بالا نشان داد که این نشاسته دارای حلالیت پایین در آب، سدی عالی در برابر اکسیژن، درجه حرارت برگشت پذیری پایین<sup>۶</sup> بوده و دارای پایداری بیشتری در ویژگی های خود در رطوبت های نسبی بالا در مقایسه با فیلم های تهیه شده با نشاسته های معمولی می باشند (Lloyd & Krist, 1962; Stading et al., 2001). نشاسته با آمیلوز بالا به دلیل قدرت تشکیل ژل خوب و ساختار پلیمری خطی ماریچ، یکی از مواد بسیار عالی و مفید برای تشکیل فیلم محسوب می گردد (Elliasson & Tatham, 2001; Juliano, 1985) در مقایسه با نشاسته ذرت با آمیلوز بالا، نشاسته برنج (با آمیلوز بالا) و نشاسته نخود به ترتیب حاوی ۳۰ و ۴۰ درصد آمیلوز بوده و دارای درجه حرارت ژلاتینه شدن پائین (کمتر از ۹۰ درجه سانتی گراد) می باشند. بنابراین با کمک تجهیزات معمول آب جوش می توان نشاسته ژلاتینه را از آنها تهیه نمود. فیلم هایی که بر پایه نشاسته تهیه می گردند نسبت به رطوبت نسبی محیط پیرامون حساس می باشند. به همین دلیل رطوبت نسبی محیط باعث تغییر ویژگی های مکانیکی و مقاومت نسبت به نفوذ گازها می گردد (Elliasson & Tatham, 2001). گلیسرول به عنوان یکی از مرسوم ترین انواع پلاستی سایزر در تهیه فیلم های خوراکی به کار می رود. گلیسرول یک عامل نگهدارنده آب مطلوب محسوب گردیده و نقش آن افزایش میزان آب در ترکیب فیلم های نشاسته ای می باشد. هدف از این بررسی، اولاً امکان تهیه فیلم های تجزیه پذیر و سازگار با محیط زیست از نشاسته نخود جهت استفاده در بسته بندی مواد غذایی به جای کاربرد مواد اولیه شیمیایی غیر قابل تجزیه و بازیافت و ثانیاً تعیین ویژگی های مکانیکی و فیزیکی فیلم تهیه شده از نشاسته نخود و ارزیابی تاثیر رطوبت نسبی و پلاستی سایزر بر روی این ویژگی ها می باشد.

دیجیتالی در رطوبت ثابت و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. تغییرات وزن به صورت دوره‌ای اندازه گیری شده و برای محاسبه میزان نهایی انتقال بخار آب و درصد رطوبت نسبی در بخش پایینی فیلم مورد آزمون استفاده گردید. میزان رطوبت نسبی زیر فیلم به وسیله میزان انتشار آزاد رطوبت در هوای داخل فنجان و فاصله سطح آب تا فیلم مورد آزمون به دست می‌آید. میزان تراوایی نسبت به بخار آب<sup>۸</sup> از طریق معادله زیر به دست آمد:

$$1) WVP = WVTR \times \text{Thickness} / \Delta P_{1120}$$

WVTR میزان انتقال بخار آب و  $\Delta P_{1120}$  اختلاف فشار جزئی بخار آب در دو سوی فیلم می‌باشند.

#### تراوایی نسبت به اکسیژن

میزان انتقال اکسیژن (OTR) با استفاده از دستگاه OX-TRAN (Mocon, Minneapolis, Minn, U.S.A.) ۲/۶۱ اندازه گیری گردید. اندازه گیری در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد با رطوبت نسبی ۳۰، ۳۵ و ۴۵ درصد در طول مدت آزمایش، انجام گرفت. میزان تراوایی نسبت به اکسیژن<sup>۱۰</sup> (OP) از طریق معادله زیر تعیین گردید:

$$2) OP = OTR \times \text{Thickness} / \Delta P_{O_2}$$

$\Delta P_{O_2}$  عبارت است از اختلاف فشار جزئی اکسیژن بین دو طرف فیلم، که در طول آزمون ۱ اتمسفر بود.

#### درصد مواد محلول فیلم

نمونه‌هایی از فیلم تهیه شده (۱×۱ سانتی متر) به مدت ۳ روز در دسیکاتور حاوی سولفات کلسیم آب گیری شده و سپس نمونه‌ها به دقت جهت دستیابی به وزن خشک اولیه ( $W_i$ ) توزین گردیدند. نمونه‌های فیلم‌های خشک شده در داخل لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر آب مقطر وارد گردیده و با کمک فویل آلومینیومی لوله‌ها پوشیده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. گاهی اوقات نیز لوله‌ها به خوبی

درصد قرار گرفتند. مقاومت کششی<sup>۷</sup> و میزان کش آمدگی با کمک دستگاه اندازه گیری بافت (Texture Analyzer, TA-XT2, Texture Technologies Corp., Scarsdale, N.Y., U.S.A. تعیین گردید (American Society for Testing Methods, 1991).



(الف)



(ب)

شکل شماره ۱ - فیلم نشاسته نخود حاوی گلیسرول (الف) و بدون گلیسرول (ب)

#### تراوایی نسبت به بخار آب

بر اساس روش Han و Choi (2001) میزان تراوایی فیلم‌ها تعیین گردید. در این روش ابتدا ۱۰ میلی لیتر آب مقطر در داخل فنجان‌های کف صاف با دیواره‌های پهن پخش گردید. سپس فنجان‌ها با فیلم‌های تهیه شده پوشیده شده و با کمک حلقه‌های لاستیکی محکم گردیدند و در داخل دسیکاتور دارای رطوبت سنج

تکان داده شدند. فیلم‌های داخل لوله‌ها سپس به مدت ۲۴ ساعت در ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیده و برای تعیین وزن خشک نهایی ( $W_f$ ) توزین گردیدند. درصد مواد محلول (SM%) با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$SM\% = [(W_i - W_f) / W_i] \times 100 \quad (3)$$

## نتایج و بحث

### تشکیل فیلم

فیلم‌های تشکیل شده در پتری دیش‌ها به راحتی از کف آنها جدا گردیده و شفاف، محکم و به اندازه‌ای که به آسانی قابل دست‌ورزی<sup>۱۱</sup> و جابجایی باشند، انعطاف پذیر بودند. فیلم‌های فاقد ماده نرم‌کننده، بسیار شکننده بودند (شکل شماره ۱).

### میزان رطوبت فیلم

فیلم‌های حاوی پلاستی سایزر دارای رطوبت بیشتری نسبت به نمونه شاهد بودند. رطوبت نسبی محیط پیرامون بر روی رطوبت فیلم تاثیر داشته به گونه‌ای که فیلم‌های ننگه‌داری شده در رطوبت نسبی ۹۰ درصد نسبت به آنهایی که در ۵۱ درصد نگهداری گردیدند، دارای میزان رطوبت بیشتری بودند (جدول شماره ۱). گلیسرول علاوه بر نرم‌کنندگی به عنوان یک ماده مناسب برای نگهداشتن آب و افزایش میزان آب در فیلم نشاسته‌نخود عمل می‌نماید، به‌طوری‌که این ماده باعث نگهداری آب به میزان ۱۵/۴ تا ۱۶/۵ درصد بیشتر در فیلم‌های حاوی پلاستی سایزر در مقایسه با فیلم‌های بدون حضور این مواد در رطوبت نسبی ۵۱ درصد می‌گردد.

### آزمون تعیین کشش

مقاومت کششی و میزان کش آمدن فیلم نشاسته‌نخود همراه پلاستی سایزر در بخش الف جدول شماره ۱- آمده است.

با افزایش میزان رطوبت نسبی محیط از ۵۱ به ۹۰ درصد، قدرت کششی فیلم‌ها کاهش و میزان کش آمدگی آنها افزایش می‌یابد. در رطوبت نسبی ۵۱ درصد بدون حضور ماده پلاستی سایزر گلیسرول، فیلمی تولید نمی‌شود. در رطوبت نسبی ۹۰ درصد افزودن پلاستی سایزر باعث کاهش میزان کش آمدگی فیلم‌ها نسبت به فیلم‌های خالص و بدون افزودن پلاستی سایزر نشاسته‌نخود می‌گردد. همچنین در این شرایط افزودن پلاستی سایزر تاثیری بر میزان کشش این فیلم‌ها ندارد. افزودن پلاستی سایزر (گلیسرول) منجر به افزایش معنی‌دار در میزان کش آمدگی فیلم در رطوبت نسبی ۹۰ درصد گردید. میزان کش آمدگی و ممانعت از نفوذ اکسیژن فیلم نشاسته‌نخود در مقایسه با انواع فیلم‌های خوراکی رایج بیشتر می‌باشد (جدول شماره ۲).

Rindlav-Westling و دیگران (2001) دریافتند که با افزایش رطوبت نسبی از ۲۰ درصد به ۷۰ درصد در فیلم‌های حاصل از آمیلوز که با گلیسرول (به ۲/۵ نسبت پلیمر به گلیسرول) مخلوط گردیدند، تنش در خردشدگی کاهش و کشش<sup>۱۳</sup> افزایش یافت. معیارهای الاستیکی فیلم‌های آمیلوز و آمیلو پکتین با افزایش رطوبت نسبی از ۲۰ درصد به ۸۰ درصد کاهش می‌یابند (Lloyd & Krist, 1962). در نشاسته ذرت افزایش رطوبت نسبی از ۳۵ به ۶۵ درصد منجر به کاهش قدرت<sup>۱۴</sup> فیلم تولیدی در حدود ۴۳ درصد می‌گردد (Choi & Han, 2002). افزایش میزان ماده نرم‌کننده در فیلم‌های خوراکی اساساً منجر به افزایش میزان کش آمدگی و کاهش قدرت کشش می‌شود (Choi & Han, 2001). مقدار زیاد غلظت آمیلوز در فیلم‌های نشاسته‌نخود منجر به پایداری بیشتر و متعاقب آن حساسیت کمتر در میزان کش آمدگی در اثر افزایش رطوبت نسبی می‌گردد.

جدول ۱- میزان رطوبت، مقاومت کشش و میزان کش آمدگی فیلم های نشاسته نخود در رطوبت نسبی ۵۱ و ۹۰ درصد

ضخامت (mm)	کش آمدگی (%)	مقاومت کششی (Mpa)	رطوبت فیلم (%)	رطوبت نسبی (%)	فیلم
۰/۰۷۲	۳۲۳/۷ ± ۱۲/۰۰	۴/۲ ± ۰/۴۴	۲۷	۵۱	الف- با گلیسرول
۰/۰۷۵	۴۲۰/۹ ± ۹۳/۲۳	۲/۸ ± ۰/۲۴	۴۴	۹۰	
۰/۰۵۲	-	-	۱۱/۶	۵۱	ب. بدون گلیسرول
۰/۰۷۳	۱۵۰ ± ۸/۳	۳/۰ ± ۰/۳۱	۲۸	۹۰	

جدول شماره ۲- مقایسه ویژگی های فیلم های خوراکی

OP (cm <sup>3</sup> μm/m <sup>2</sup> /d/KPa)	WVP (gr mm/m <sup>2</sup> /d/KPa)	میزان کش آمدگی (%)	قدرت کشش (MPa)	فیلم
۲/۲ تا ۲	۱۳۰/۹	۲۶۵/۶	۳/۲	نشاسته برنج
۱/۸ تا ۱/۵	۱۵۰/۳	۳۲۳/۷	۴/۲	نشاسته نخود
۱۰/۵ تا ۷/۲	۴۵۰ تا ۲۷۰	۸۰ تا ۷۵	۲۵ تا ۲۰	متیل سلولز <sup>a</sup>
				هیدروکسی
۵/۷ تا ۴/۸	۳۲۰ تا ۲۵۰	۱۱۰ تا ۱۰۱	۱۰ تا ۸	متیل سلولز <sup>a</sup>
۱	۱۱۹	۱۹۹	۶/۹	پروتئین آب پنیر <sup>b</sup>
۶/۱	۹۱/۲	۸۶	۵	پروتئین سویا <sup>b</sup>
-	/۹۸	۳۱/۹	۷/۳	پروتئین نخود <sup>b</sup>
۶/۷	۱۰۸	۱۷۰	۲	گلوتن گندم <sup>b</sup>

<sup>a</sup> داده های قدرت کشش، میزان کش آمدگی، WVP، OP، (Park et al., 1993)

<sup>b</sup> داده ها (Choi and Han, 2001; Krochta, 2002)

رطوبت نسبی بالای ۵۰ درصد، شاید غلظت بالای آمیلوز در نشاسته نخود، باعث مقاوم شدن فیلم‌های تولیدی نسبت به اکسیژن می‌شود.

### نتیجه گیری

ارزان بودن، در دسترس بودن، غیر حساسیت زایی، ویژگی‌های مکانیکی بسیار مطلوب و مقاومت در برابر اکسیژن و بخار آب باعث گردیده تا از فیلم نشاسته نخود برای نگهداری و افزایش مدت زمان ماندگاری مواد غذایی استفاده گردد. این فیلم‌های محکم و قوی که دارای خصوصیات فیزیکی خوبی هستند، از عبور اکسیژن و بخار آب ممانعت می‌کنند که این ممانعت با افزایش میزان رطوبت نسبی محیط کاهش می‌یابد. افزودن گلیسرول باعث افزایش حلالیت و رطوبت در فیلم‌های نشاسته می‌گردد. به‌طور کلی فیلم تهیه شده از نشاسته نخود نسبت به سایر انواع فیلم‌های خوراکی بالاترین درصد کش آمدگی و تطویل را دارا است. برای دستیابی به فیلم خوراکی مطلوب جهت بسته بندی مواد غذایی، تولید فیلم‌های ترکیبی حاوی نشاسته نخود با آمیلوز بالا و سایر پلیمرهای زیستی توصیه می‌گردد.

### Notes

- 1- Elongation
- 2- Stretch
- 3- Biodegradable Packaging
- 4- Edible Films & Coatings
- 5- Nonallergic
- 6- Retrogradation
- 7- Tensile strength
- 8- Water Vapour Permeability
- 9- Oxygen Transmission Rate
- 10- Oxygen Permeability
- 11- Manipulation
- 12- Strain
- 13- Strength

### تراوایی نسبت به بخار آب

میزان تراوایی نسبت به بخار آب فیلم نشاسته نخود بالا بوده و میزان آن در حدود تقریبی ۱۵۰ (g mm/m<sup>2</sup>/d/kpa) تعیین شده است (جدول شماره ۲). طبیعت آب دوست ملکول‌های این نشاسته باعث جذب آسان آب توسط فیلم می‌گردد. ملکول‌های آب در فیلم‌های آمیلوزی آسان تر از فیلم‌های آمیلوپکتینی منتشر می‌گردند (Stading et al., 2001). بالا بودن نسبت آمیلوپکتین نشاسته نخود به کار رفته در این مطالعه (تقریباً ۶۰ درصد) سد ضعیفی را در فیلم‌های تهیه شده نسبت به آب ایجاد می‌نماید.

### تراوایی نسبت به اکسیژن

نشاسته نخود حاوی پلاستی سائزر سد بسیار عالی نسبت به اکسیژن در رطوبت نسبی پائین ۳۵ درصد محسوب می‌گردد. افزایش رطوبت نسبی بالای ۴۰ درصد باعث زیاد شدن میزان تراوایی نسبت به اکسیژن تا میزان ۱/۲ تا ۱/۴ (cm<sup>3</sup> μm<sup>2</sup>/d/kPa) گردیده که تا این حد نیز از نظر ممانعت کنندگی در برابر اکسیژن مقدار بالایی محسوب می‌گردد.

Forssell و همکاران (2002) نشان دادند که فیلم‌های آمیلوزی حاوی گلیسرول (تا ۳۰ درصد)، در رطوبت‌های نسبی زیر ۵۰ درصد دارای مقاومت مطلوبی نسبت به عبور اکسیژن بوده‌اند.

افزایش میزان رطوبت نسبی محیطی در هر دو نوع فیلم آمیلوز و آمیلوپکتین، منجر به افزایش تراوایی نسبت به اکسیژن می‌گردد. میزان تراوایی در این حالت در فیلم‌های آمیلوزی کمتر است. در رطوبت نسبی تا ۵۰ درصد ساختار شبکه‌ای فیلم‌های آمیلوزی بسیار پایدار می‌باشد. رطوبت نسبی بیش از ۵۰ درصد باعث افزایش تحرک مولکول‌های اکسیژن در ساختار شبکه پلیمری گردیده، در نتیجه تراوایی آنها از طریق ساختارهای سست‌تر انجام می‌گیرد (Juliano, 1985 & Webb-Jenkins, 2002).

- amylopectin films. *Carbohydrate polym.* 47:125-159.
- Gontard, N., R. Thibault, B. Cuq and S. Guilbert (1996). Influence of relative humidity and film composition on oxygen and carbon dioxide permeability of edible films. *J. Agric Food Chem.* 44:1064-1069.
- Guilbert, S. (2000). Edible films and coatings and biodegradable packaging. Packaging of milk products. *Bull IDF* 346:10-16.
- Juliano, B.O. (1985). Criteria and tests for rice grain qualities. In: Juliano B.O., editor. *Rice: chemistry and technology*. St Paul, Minn.: The American Assn. of cereal Chemistry. 443-525.
- Krochta, J.M. (2002). Protein as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities. In: Gennadios A, editor. *Protein-based films and coatings*. Boca Raton, Fla.: CRC Press. 1-41.
- Krochta, J.M. and C. DeMulder-Johnson (1997). Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Technol.* 51:61-74.
- Lloyd, N. E. And L.C. Krist (1962). Some factors affecting the tensile strength of starch films. *Cereal Chem* 40: 154-61.
- Mujica-Paz, H. And N. Gontard (1997). Oxygen and carbon dioxide permeability of wheat gluten film: effect of relative humidity and temperature. *J. Agric Food Chem* 45:4101-4105.
- Natrajan, N. And B.W. Sheldon (2000). Inhibition of *salmonella* on poultry skin using protein and polysaccharide-based
- تشکر**  
نویسندگان از آقای دکتر R. Holley ریاست محترم گروه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه مانیوبا به جهت حمایت‌های بی دریغ ایشان و خانم زینب اصغری جهت انجام ویراستاری متن حاضر تشکر می‌نمایند.
- منابع**  
Ahvenainen R., P. Myllarinen and K. Poutanen (1997). Prospects of using biodegradable protective films for foods. *Eur Food Drink Rev.* 73, 75, 77-80.
- American Society for Testing Methods (1991). Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. D882.313-321.
- Be Miller, J.N. and R.L. Whistler (1996). *Carbohydrates*. In: *Fennema OR*, editor. *Food Chemistry* 3<sup>rd</sup> ed. New York: Marcel Dekker 157-223.
- Choi, W.S. and J.H. Han (2001). Physical and mechanical properties of pea-protein-based edible films. *J. Food Sci.* 66:319-322.
- Choi, W.S. and J.H. Han (2002). Film-forming mechanism and heat denaturation effects on the physical and chemical properties of pea-protein-isolate edible films. *J. Food Sci.* 67:1399-1406.
- Elliasson A. and A. Tatham (2001). Cereal starches and proteins. In: Dendy DAV, Dobraszczyk BJ, editors. *Cereals and cereals products: chemistry and technology*. Gaithersburg, Md.: Aspen publisher. 68-89.
- Forssel, P., M. Lahtinen and P. Myllarinen (2002). Oxygen permeability of amylase and



films containing a nisin formulation. *J Food Prot* 63:1268-1272.

Park, H.J., C.L. Weller, P.J. Vergano and R.F. Testin (1993). Permeability and mechanical properties of cellulose-based films. *J. Food Sci.* 58:1361-4.

Stading, M., A. Rindlav- Westling and P. Gatenholm (2001). Humidity-induced structural transitions in amylase and amylopectin films. *Carbohydrate Polym* 45:209-217.

Webb-Jenkins, J. (2002). Biodegradable packaging for the green consumer. *Fruit Proc* 12:268-269.



