

فیلم‌های زیست تخریب پذیر بر پایه نشاسته

هومان مولوی^۱، ناصر صداقت^۲

۱- مربی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در سالیان اخیر فیلم‌های خوراکی زیست تخریب پذیر اهمیت بسیاری در تحقیقات مربوط به مواد غذایی پیدا کرده‌اند که به علت تطابق آن‌ها با محیط زیست و کاربرد آن‌ها در صنعت بسته بندی مواد غذایی می‌باشد. از منابع مختلف برای تولید بیوپلی‌مرها به عنوان یک فیلم زیست تخریب پذیر می‌توان استفاده نمود که شامل پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها می‌باشد. از میان انواع پلی‌ساکاریدها، نشاسته به علت قیمت پائین آن و فراوانی آن در طبیعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فاکتورهای مختلفی بر روی خصوصیات فیلم‌های نشاسته مؤثر است مانند منبعی که نشاسته از آن حاصل می‌شود و همچنین نسبت ترکیبات تشکیل دهنده نشاسته. فیلم‌های نشاسته دارای مزایایی مانند ضخامت کم، انعطاف پذیری و شفافیت می‌باشند ولی در عین حال معایبی نیز دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به خواص مکانیکی ضعیف و نفوذ پذیری آن در مقابل بخار آب اشاره نمود. بنابراین استفاده از نشاسته به تنهایی برای تولید فیلم موجب محدودیت در کاربرد آن می‌گردد. برای بهبود خواص مکانیکی فیلم‌های نشاسته و در عین حال افزایش مقاومت آن در مقابل رطوبت از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود که از جمله می‌توان روش‌های اصلاح خود نشاسته مانند ایجاد اتصالات عرضی و ترکیب نشاسته با سایر پلی‌مرهای طبیعی را نام برد. روش‌های دیگر مانند استفاده از لیپیدها در فرمولاسیون فیلم نیز برای افزایش مقاومت نسبت به رطوبت امکان پذیر است ولی در مورد لیپیدها حساسیت نسبت به اکسیداسیون وجود دارد. بنابراین رویکردهای جدید مبنی بر تلفیق بیوپلی‌مرهای مختلف با یکدیگر برای بسته بندی مواد غذایی می‌باشد.

کلید واژه: فیلم‌های زیست تخریب پذیر، بیوپلی‌مر، نشاسته

^۱عضو هیأت علمی، تلفن: 09133816136، پست الکترونیک: hmolavi@ag.iut.ac.ir

^۲عضو هیأت علمی، تلفن: 0511 8788110، پست الکترونیک: sedaghat@um.ac.ir

1- مقدمه

گرایش به استفاده از پلی مرهای طبیعی و تجدید پذیر در زمینه های مختلف رو به افزایش است که بتوانند جایگزین فیلم های بسته بندی سنتتیک شوند. در این خصوص نشاسته به یک ماده کاملاً شناخته شده با مفهوم سبز می باشد. این ماده زیست تخریب پذیر بوده، خوراکی است، وابسته به منابع فسیلی نمی باشد و به میزان زیاد در دسترس است. با توجه به افزایش رو به رشد تقاضا برای مواد زیست تخریب پذیر پیش بینی می شود این مواد را در حجم بیشتری تولید شود، به طوری که نشاسته در فیلم های پلاستیکی، ورقه ها و فیبرهای کامپوزیت طبیعی مورد استفاده قرار گرفته است و در نهایت می تواند جایگزین فوم های پلاستیکی شود (1). فیلم های بر پایه نشاسته خصوصیات فیزیکی مناسبی از خود نشان می دهند به طوری که این فیلم ها بدون بو، بدون مزه، فاقد رنگ و نفوذ ناپذیر به اکسیژن می باشند. ولی برخی محدودیت ها نیز در زمینه استفاده از این فیلم ها مانند خصوصیات هیدروفیلی شدید (حساسیت نسبت به آب) و خصوصیات مکانیکی ضعیف در مقایسه با پلی مرهای سنتزی مرسوم (2) وجود دارد. این مقاله به بحث در مورد فیلم های نشاسته و راه حل های ارائه شده مبتنی بر تحقیقات اخیر جهت رفع معایب فیلم های زیست تخریب پذیر نشاسته ضمن حفظ خصوصیات مطلوب این فیلم ها می پردازد.

2- تفاوت فیلم های نشاسته بر اساس منبع آن ها

بسته به منبع نشاسته میزان آمیلوز و آمیلوپکتین می تواند متفاوت باشد. آمیلوز یک زنجیره خطی از گلوکز می باشد که دارای پیوندهای گلیکوزیدی آلفا 1 به 4 بوده و عمدتاً ساختار مارپیچی دارد، در حالی که آمیلوپکتین یک پلی مر منشعب و با وزن ملکولی بیشتر از آمیلوز می باشد و این تفاوت در ترکیب ملکول ها موجب ایجاد تفاوت در خواص آن ها می شود. خصوصیات فرم های مختلف نشاسته های ترموپلاستیک بر پایه کاساوا نشان داده است که حضور قندها و ترکیب های مختلف ملکولی نتایج جالبی در ارتباط با خاصیت کریستاله شدن، جذب آب و رفتارهای مکانیکی به دست می دهد (1). ولی تحقیق دیگری نشان داد که تفاوت معنی داری بین مقادیر سه گانه سینتیکی نشاسته وجود ندارد که بیانگر تأثیر کم بر روی فرایند تجزیه دمایی نشاسته های حاصل از منابع گیاهی مختلف می باشد (3).

نشاسته یک ترموپلاستیک حقیقی نمی باشد ولی در حضور نرم کننده ها در دمای بالا و تحت نیروی برشی می تواند ذوب شده و جریان یابد. بنابراین می توان آن را مشابه با پلی مرهای ترموپلاستیک اکسترود یا تزریق نمود (4).

تحقیقات نشان داده است که نشاسته خاصیت تشکیل فیلم خوبی دارد؛ منبع نشاسته به علت نسبت متفاوت آمیلوز به آمیلوپکتین و خصوصیات ساختاری این ماکروملکول ها نقش تعیین کننده ای در خصوصیات فیلم دارد. تحقیقات اخیر به دنبال جایگزین هایی از منابع نشاسته ای می باشد که خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی بهتری داشته باشد (5). کاساوا یکی از منابع نشاسته است که در آمریکای لاتین تولید می شود و اهمیت آن به عنوان یک منبع نشاسته به طور فزاینده ای رو به افزایش است که عمدتاً به دلیل قیمت پایین آن در بازارهای جهانی در مقایسه با نشاسته سایر منابع است. در تحقیقی که بر روی نشاسته کاساوا صورت گرفت اثر دما و زمان انبار داری بر فیلم آن بررسی شد و نتایج نشان داد تا 8 هفته نگه داری در دمای محیط تغییرات نامطلوبی در فیلم روی نداد (6).

گاریسا و همکاران (1) خواص فیزیکی شیمیایی فیلم‌های نشاسته‌ای حاصل کاساوا و ذرت مومی که با استفاده از گلیسرول نرم شده بودند را بررسی نموده و با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج این محققین نشان داد که اگرچه هر دو نوع فیلم‌های نشاسته عمدتاً آمورف می‌باشند ولی فیلم نشاسته ذرت مومی علاوه بر حالت بلوری (کریستالی) نوع B، حالت کریستالی نوع A را نیز از خود نشان می‌دهد. در نشاسته غده‌ای توزیع بالاتر ساختار بی‌شکل (آمورف) توسط FTIR تأیید شده است، در حالی که مناطقی دارای بلورینگی بیشتر (خوشه‌های آمیلوپکتین) در میکروگراف‌های نشاسته غلات مشاهده می‌گردد. همچنین نشاسته کاساوا تعامل بیشتری با گلیسرول از خود نشان می‌دهد که نشان دهنده پیوندهای هیدروژنی بیشتری با ملکول‌های آمیلوز نسبت به زنجیره‌های آمیلوپکتین می‌باشد. این مشاهده توسط تأثیر شدید نرم کردن بر روی تجزیه دمایی (TGA) فیلم‌های نشاسته کاساوا در مقایسه با ذرت مومی و همچنین توسط موقعیت پیک‌های استراحت در آنالیز مکانیکی دینامیک (DMA) تأیید شده است. این واکنش‌های مختلف همچنین موجب افزایش دما در شروع تجزیه دمایی فیلم نرم شده نشاسته ذرت مومی می‌شود. سفتی فیلم نشاسته ذرت نرم شده با گلیسرول در حالت لاستیکی³ در مقایسه با نشاسته ذرت مومی بالاتر است. آنها همچنین گزارش کردند که رفتار این دو فیلم در معرض رطوبت تقریباً شبیه به یکدیگر است با یک تفاوت جزئی در نفوذپذیری کمتر فیلم تهیه شده با نشاسته غلات که این موضوع در ارتباط با حضور زنجیره‌های آمیلوپکتین مربوطه است.

اکوسیستم‌های ناحیه رشته‌کوه‌های آند دارای منابع بالقوه متفاوتی از نشاسته می‌باشد که این محصولات می‌توانند به عنوان ماده خام برای تولید پلی‌مرهای زیست تخریب پذیر مورد استفاده قرار گیرند. در تحقیقی که توسط تورس و همکاران (7) صورت گرفت نشاسته از 12 اوریته محصولات ناحیه آند استخراج گردید. در این تحقیق خواص مکانیکی فیلم مانند مدول یانگ، قدرت کشش نهایی و میزان طولیل شدن در نقطه پارگی بررسی شد و نشان داده شد که این خواص بستگی به منبع نشاسته مورد استفاده دارد. آزمایشات مکانیکی نشان داد که پس از تجزیه، خواص مکانیکی از دست می‌رود. سرعت کاهش وزن در آزمون کمپوست در مورد همه فیلم‌های نشاسته مورد آزمون بیش‌تر از فیلم‌های سلولزی (به عنوان نمونه شاهد) بود. همچنین فرایند تجزیه زیستی این فیلم‌ها دارای سه مرحله مشخص بر اساس سرعت کاهش وزن آنها بود که با استفاده از FTIR مشخص شد که مرحله اول تجزیه مرتبط با نشت گلیسرول می‌باشد. در این تحقیق فیلم‌های تولید شده از کاساوا و سیب زمینی شیرین بیشترین مقادیر مربوط به میزان طولیل شدن در نقطه پارگی را داشتند. بیشترین مقدار مدول یانگ مربوط به فیلم‌های نشاسته حاصل از سیب زمینی شیرین و کمترین آن مربوط به نشاسته هویج سفید بود. بنابراین خواص مکانیکی فیلم‌ها بستگی به نوع نشاسته مورد استفاده برای تهیه این فیلم‌ها دارد. فیلم‌های تهیه شده از نشاسته موز شکننده‌تر از دیگر فیلم‌ها می‌باشد. فیلم‌های کاساوا و سیب زمینی شیرین هر دو محکم و سفت می‌باشند. از نظر زیست تخریب پذیری بیشترین درصد کاهش وزن در مورد فیلم‌های نشاسته کاساوا بوده در حالی که کمترین آن مربوط به فیلم نشاسته سیب زمینی گلدن⁴ می‌باشد.

³ Rubbery

⁴ Golden

یکی از منابع نشاسته‌ای که بیشتر از 80 درصد نشاسته دارد دانه پنجه غازی⁵ است. این دانه که دارای ابعاد کوچکی است (قطر حدود 3 میلی‌متر) ارتفاعات جنوبی آمریکا نواحی آند یافت می‌شود که نشاسته آن حدود 10 تا 21 درصد (بسته به واریته) آمیلوز دارد. از لحاظ اندازه گرانول کوچک بوده (حدود 1 میکرومتر) و خصوصیتی دارد که به راحتی به آن اجازه پخش شدن در محلول را می‌دهد و به همین دلیل ماده مناسبی برای تولید فیلم محسوب می‌شود (8). همچنین نشاسته پنجه غازی قادر به تولید فیلم‌های خوراکی زیست تخریب پذیر شفاف بوده که نیازی به اعمال تیمار شیمیایی برای تولید آن نیست (9). در تحقیقی که توسط آراجو فارو و همکاران (9) صورت گرفت شرایط بهینه برای تولید فیلم خوراکی شفاف نشاسته پنجه غازی برای فرایند قالب گیری به صورت 21/2 درصد گلیسرول، pH قلیایی 10/7 و دمای خشک کردن 36 درجه سانتی‌گراد به مدت 14 ساعت بود. کلیه فیلم‌های نشاسته‌ای که در این تحقیق تولید گردید بدون نیاز به محافظ⁶، بی‌رنگ، شفاف و قابل انعطاف بوده به راحتی به کار برده می‌شوند و سطح نرم و یکنواختی داشتند.

تحقیقات زیادی بر روی فیلم‌های نشاسته‌ای حاصل از ذرت با آمیلوز بالا و کاساوا صورت گرفته است ولی مطالعات چندانی در مورد فیلم نشاسته ساگو وجود ندارد (10). نشاسته ساگو خواص منحصر به فرد خود را دارد ولی برخی خواص فیزیکی شیمیایی آن کاملاً شبیه به نشاسته‌های معمول مانند مانند سیب زمینی و کاساوا است (11). نتایج تحقیقات محمدی نافچی و همکاران (10) نشان داد فیلم‌های حاصل از نشاسته ساگو که با استفاده از سوربیتول نرم شده باشند نسبت به گلیسرول خاصیت درزبندی حرارتی بهتری دارند و اگرچه فیلم نشاسته ساگو قدرت درزبندی کمتری از پلی‌مرهای سنتزی دارد ولی قدرت درزبندی آن مشابه با فیلم‌های کاراگینان، کازئین-اسید لاکتیک و امولسیون لیپید-ایزوله پروتئینی می‌باشد.

مهم‌ترین محدودیت فیلم‌های زیست تخریب پذیر بر پایه نشاسته خصوصیت آب‌دوستی آن‌ها است که منجر می‌شود پایداری آن‌ها هنگامی که در معرض شرایط محیطی مختلف قرار می‌گیرند، کاهش یابد (12). نشاسته یولاف به عنوان یک جایگزین جالب توجه برای فیلم‌های نشاسته‌ای می‌باشد زیرا حاوی حدود 1 تا 3 درصد چربی در ساختمان طبیعی خود می‌باشد که در مقایسه با سایر منابع نشاسته‌ای مقدار قابل توجهی است (13). پترسون و استدینگ (14) کاربرد چربی‌ها برای کاهش خصوصیات هیدروفیلی فیلم‌های نشاسته بررسی نموده‌اند. ولی جدا شدن فازها به علت ناسازگاری اجزاء روی خواهد داد. از آنجایی که در نشاسته یولاف چربی‌ها به طور طبیعی در پیوند با آمیلوز هستند، از جدا شده فاز جلوگیری می‌شود و در نتیجه منجر به کاهش خصوصیات هیدروفیلی ماده می‌گردد (15). فیلم‌های نشاسته یولاف نرم شده با گلیسرول قابلیت کاربرد و یکنواختی خوبی داشته و هیچ گونه ترک یا حبابی در آن‌ها ایجاد نشده است. همچنین با افزایش رطوبت نسبی از 76 درصد تا 90 درصد هیچ گونه کاهش هم در تنش در نقطه شکست رخ نداده است این در حالی است که لوتون (16) برعکس این موضوع را در مورد فیلم‌های زئینی بیان می‌کند. دلیل این امر می‌تواند به نقش چربی در ایجاد یک لایه محافظ نسبت به بخار آب مربوط باشد که منجر به جذب کمتر رطوبت شده است. ولی میزان چربی نشاسته یولاف به اندازه‌ای نمی‌باشد که برای جلوگیری از تغییرات در خواص مکانیکی ایجاد شده توسط رطوبت نسبی کافی باشد (15).

⁵ Quinoa

⁶ Self-supporting

گندم دیوروم از لحاظ کشاورزی دارای این مزیت است که راندمان بالاتری نسبت به گندم معمولی دارد و همچنین مقاومت بیشتری نسبت به قارچ کارنال دارد (17). نشاسته گندم دارای دو نوع گرانول می‌باشد؛ گرانول‌های بزرگ نوع A و کوچک نوع B (18). نشاسته گندم دوروم اگرچه به لحاظ تجاری در دسترس نمی‌باشد ولی خواص عملکردی جالب توجهی دارد. خصوصیات فیلم‌های تهیه شده از نشاسته گندم دیوروم تحت تأثیر خواص ذاتی گرانول‌های آن و همچنین غلظت نرم کننده مورد استفاده است. ساختار گرانول‌های متفاوت نشاسته و همچنین سایر مواد موجود در گرانول نشاسته بر خواص مکانیکی فیلم‌ها تأثیر می‌گذارد که منجر به ایجاد تفاوت در قدرت مکانیکی فیلم‌های نشاسته تهیه شده با گرانول‌های با سایزهای مختلف می‌گردد. نوع گرانول بر روی میزان طول شدن فیلم تأثیر به سزایی دارد به طوری که گرانول‌های نوع B میزان طول شدن کمتری نسبت به گرانول‌های نوع A ایجاد می‌نمایند. مدول یانگ در فیلم‌های تهیه شده با گرانول‌های نوع A (با میزان یکسان گلیسرول) کمتر از گرانول B می‌باشد (19).

برخی از گیاهان خانواده حبوبات مانند *Pachyrhizus ahipa* دارای ریشه‌های غده‌ای غنی از نشاسته می‌باشند. این گونه گیاهی در مقیاس کم به صورت طبیعی در نواحی رشته کوه‌های آند در بولیوی و آرژانتین شمالی رشد می‌کند (20). آهیپا، همچنین با شرایط اکولوژیکی مختلف براحتی سازگاری پیدا می‌کند و به عنوان یک جایگزین نوید بخش می‌تواند در کشورهای مختلف گسترش یابد (21). تحقیقات اندکی در مورد ارزیابی خواص حشره کشی و ضد قارچی آهیپا صورت گرفته است. برخی محققین بر روی گونه‌های مشابه مطالعه نموده‌اند و اعلام نموده‌اند که از خصوصیات عمومی *Pachyrhizus* حضور یک ترکیب حشره کش به نام روتون ($C_{23}H_{22}O_6$) می‌باشد. این ترکیب در دانه‌های رسیده یافت می‌شود ولی مقادیر کمی از آن در غده یا دیگر بخش‌های گیاه وجود ندارد. ضمن این که ریشه این گیاه در ناحیه آند توسط مردم بومی به صورت خام مصرف می‌شود (21). در تحقیق لویز و گارسیا (21) نشان داده شد که نشاسته‌های حاصل از آهیپا و کاساوا نسبت به نشاسته ذرت دارای مزایایی می‌باشند. این مزایا شامل محتوای آمیلوز کمتر (که در بحث رتروگراداسیون اهمیت دارد) و نیاز به زمان و انرژی کمتر برای ژلاتینه شدن سوسپانسیون محلول‌های آن‌ها می‌باشد. این محقق به طور کلی نتیجه گرفتند که امکان استفاده از نشاسته‌های حاصل از منابع غیر متداول (مانند آهیپا) موجب ترویج محصول آن‌ها و نیز پاسخ‌گویی به نیاز مواد با عملکردهای متفاوت برای توسعه صنعت بسته بندی مواد غذایی می‌گردد (21).

3- تأثیر اجزاء نشاسته بر خواص فیلم

نشاسته کربوهیدرات پلی‌مری شامل واحدهای آنهیدرو گلوکز می‌باشد که عمدتاً توسط پیوندهای آلفا 1 و 4 گلوکوسیدی به یکدیگر متصل شده‌اند. اگرچه جزئیات ریزساختاری نشاسته در حال روشن شدن است، به طور کلی می‌توان نشاسته را یک ماده ناهمگن متشکل از دو ریز ساختار دانست که نوع خطی آن آمیلوز و نوع منشعب آن آمیلوپکتین می‌باشد. آمیلوز اساساً ساختار خطی با پیوندهای آلفا 1 و 4 دارد که رفتار آن را بیشتر شبیه به پلی‌مرهای سنتزی می‌کند. علاوه بر این، وزن ملکولی آن که حدود 10^6 می‌باشد 10 برابر از پلی‌مرهای سنتزی مرسوم بیشتر است. از سوی دیگر، آمیلوپکتین ساختار به شدت منشعبی داشته که از زنجیره‌های کوتاه آلفا 1 و 4 و زنجیره‌های متصل به آن آلفا 1 و 6 تشکیل شده است. وزن

ملکولی آن حدود 10^8 بوده که بسیار بیشتر از آمیلوز است. وزن ملکولی بالا و ساختمان منشعب آمیلوپکتین تحرک زنجیره‌های پلی‌مر را کاهش می‌دهد و همچنین تمایل زنجیره‌ها برای همسو شده کافی و تشکیل پیوندهای هیدروژنی قابل توجه کاهش می‌دهد. علاوه بر این موارد، اکثر نشاسته‌ها به صورت نیمه بلوری می‌باشند و دارای حدود 15 تا 45 درصد بلورینگی می‌باشند (22).

در یک گرانول نشاسته، آمیلوز و محل‌های انشعاب آمیلوپکتین مناطق بی‌شکل (آمورف) را تشکیل می‌دهند. در حالی که زنجیره‌های منشعب کوچک در آمیلوپکتین مهم‌ترین اجزاء بلوری در گرانول نشاسته می‌باشند (23). نشاسته‌هایی که نسبت‌های متفاوت از آمیلوز و آمیلوپکتین دارند در هنگام تغییر فاز رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند (24). همچنین نشاسته با درصد‌های مختلف آمیلوز و آمیلوپکتین خصوصیات رئولوژیکی متفاوتی در حین فرایند تولید فیلم مانند فرایند اکستروژن از خود نشان می‌دهند (25).

فیلم‌ها و ورقه‌هایی که بر پایه نشاسته با میزان آمیلوز بالا می‌باشند عملکرد مکانیکی بهتری از خود نشان می‌دهند (26). ولی در مورد تولید فیلم نشاسته با آمیلوز بالا توسط فرایند اکستروژن مشکلات بیشتری نسبت به نشاسته طبیعی وجود دارد زیرا فشار قالب بیشتری به علت ویسکوزیته ذوب بالاتر و ناپایداری جریان تحت برخی شرایط وجود دارد (27).

آمیلوز توانایی تشکیل فیلم‌های قوی‌تری نسبت به آمیلوپکتین دارد که به علت توانایی زنجیره‌های خطی در برقراری تعداد بسیار زیاد پیوند هیدروژنی نسبت به زنجیره‌های آمیلوپکتین می‌باشد. از سوی دیگر فیلم‌های آمیلوپکتین نسبتاً شکننده و نازک بوده که به علت میزان بالای گره خوردگی ناشی از شاخه‌های زیاد و زنجیره‌های با طول کوتاه می‌باشد (28 و 29 و 30). فیلم‌های نرم نشده حاصل از نشاسته طبیعی، که به طور معمول دارای 75 درصد آمیلوپکتین و 25 درصد آمیلوز می‌باشند معمولاً دارای این عیب می‌باشند که شکننده هستند. قدرت کششی آن‌ها نسبتاً زیاد است، که بستگی به شرایط آزمایش دارد، ولی میزان طولیل شدگی آن‌ها کم است (31). با افزودن یک نرم کننده (مانند گلیسیرول) یا با افزایش محتوای رطوبتی، دمای انتقال شیشه‌ای می‌تواند کاهش یابد و موجب می‌گردد که ملکول‌ها قابل انعطاف‌تر و فیلم‌ها کشش پذیر تر ولی ضعیف‌تر گردند (32 و 33).

در تحقیقی که توسط موسکات و همکاران (34) بر روی فیلم‌های نشاسته حاوی آمیلوز کم و زیاد صورت گرفت، نشان داده شد که نشاسته حاوی آمیلوز زیاد به حدود 30 درجه سانتی‌گراد دمای بالاتری جهت ژلاتینه شدن نیاز دارد. همچنین هنگامی که غلظت نرم کننده در فیلم افزایش پیدا می‌کند، قدرت کششی و مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد؛ در حالی که میزان طولیل شدن در نقطه پارگی در مورد فیلم هر دو نوع نشاسته (حاوی آمیلوز زیاد و کم) افزایش می‌یابد. به طور کلی این محققین دریافتند که فیلم‌های با میزان آمیلوز بالا قدرت کششی و مدول الاستیسیته بهتری از خود نشان می‌دهند و میزان طولیل شدگی آن‌ها کمتر از فیلم‌های نشاسته حاوی میزان کم آمیلوز است. از نظر رفتار جریان، سوسپانسیون‌های نشاسته کم آمیلوز رفتار غیر نیوتنی هرشل بالکلی از خود نشان می‌دهند، در حالی که سوسپانسیون‌های نشاسته با آمیلوز بالا مانند سیالات هرشل بالکلی و یا پلاستیک بینگهام رفتار می‌نمایند (34).

در تحقیق لی و همکاران (35) اثر فرایند اکستروژن و خصوصیات فیلم‌های نشاسته با درصد‌های مختلف آمیلوز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کار این محققین نشان داد که با افزایش میزان آمیلوز قابلیت فرایند فیلم کاهش می‌یابد و با افزایش میزان آب، دما، سرعت مارپیچ و کاهش میزان ورودی مواد به مارپیچ این قابلیت ضعیف‌تر می‌گردد. برای فرایند نشاسته‌های با آمیلوز بالا، دما و رطوبت بالاتر ضروری است به این علت که دمای ژلاتینه شدن بالاتر است و همچنین زنجیره‌های آمیلوز خطی طویل تمایل به درگیری با یکدیگر دارند. تحت برخی شرایط اکستروژن، محتوای آمیلوز تأثیر معنی‌داری بر ریزساختار و خواص حرارتی و مکانیکی فیلم‌های نشاسته داشت. برای مثال فیلم‌های نشاسته با آمیلوز بالا خواص مکانیکی بهتری از خود نشان دادند مانند مدول بالاتر و قدرت کششی بیشتر و استحکام ضربه‌ای بسیار بالاتر. آنالیز دما و آنتالپی اندوترم در مورد فیلم‌های نشاسته با آمیلوز بالا مقادیر بیشتری بود و T_g در مورد فیلم‌های مورد مطالعه با افزایش محتوای آمیلوز افزایش داشت.

در تحقیقی که توسط کوچ و همکاران (36) بر روی خواص مکانیکی و خصوصیات ساختاری فیلم‌های نشاسته با آمیلوز بالا صورت گرفت، نتایج نشان داد آمیلوپکتین با وزن ملکولی بالا و آمیلوز تمایل به تجزیه در حین فرایند دارند ولی این تجزیه که ساختار میکرو و ماکرو فیلم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد اثرات مشابهی بر خواص مکانیکی ندارد؛ همان‌طور که هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری در مورد زمان فرایند و دمای حرارت دهی بر خواص مکانیکی مشاهده نشد. این امر احتمالاً به این دلیل می‌باشد که افزایش زمان فرایند اجازه نشت نشاسته بیشتری از گرانول را می‌دهد که غلظت نهایی ملکول‌های نشاسته در دسترس را در فیلم‌ها افزایش می‌دهد.

4- فیلم‌های حاصل از نشاسته اصلاح شده

اگرچه خواص عملکردی، مکانیکی و ارگانولپتیک فیلم‌های نشاسته را می‌توان با افزودن مواد شیمیایی مختلف در مقادیر خاص اصلاح نمود (37)، ولی افزودن مواد شیمیایی به فیلم‌های نشاسته به علت این‌که این فیلم‌ها خوراکی می‌باشند چندان مطلوب نیست. مصرف کنندگان بیشتر ترجیح می‌دهند که خواص فیلم با بهبود خواص خود نشاسته اصلاح گردد و به همین لحاظ بسیاری از اصلاح‌کننده‌های نشاسته توسعه پیدا نموده است. نشاسته‌ای که با استفاده از اکسیداسیون یا فرایند حرارتی تحت رطوبت تیمار شده است قابلیت تشکیل فیلم خواهد داشت (38). اصلاح شیمیایی نشاسته می‌تواند یک ابزار مفید برای سازگار کردن خواص کلی فیلم‌های نشاسته و پوشش دهنده‌ها خصوصاً برای تولید موادی که حساسیت به آب کمتری دارند، باشد (39 و 40).

فیلم‌های نشاسته اکسید شده سیب زمینی نسبت به فیلم‌های نشاسته طبیعی قدرت کششی بیشتر و میزان طویل شدگی در نقطه پارگی، حلالیت و نفوذ پذیری به بخار آب کمتری دارند. تیمار حرارتی-رطوبتی نشاسته سیب زمینی قدرت کششی فیلم‌های نشاسته و نفوذ پذیری نسبت به بخار آب را نسبت به فیلم‌های طبیعی نشاسته افزایش می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که نشاسته سیب زمینی اصلاح شده توسط اکسیداسیون و تیمار حرارتی-رطوبتی، می‌تواند فیلم‌هایی به خصوصیات متفاوت ایجاد کند و این فیلم‌ها می‌تواند کاربردهای مختلفی بسته به خصوصیات مورد نظر فیلم داشته باشند (38).

اتصال عرضی یک رویکرد متداول برای بهبود عملکرد نشاسته به منظور کاربردهای گوناگون است. نشاسته و محصولات نشاسته‌ای با استفاده از مواد ایجاد کننده اتصال عرضی مانند فسفر اکسی کلراید، سدیم تری متافسفات، سدیم تری پلی فسفات، اپی کلروهیدرین و 1،2،3،4-دی اپوکسی بوتان اتصال عرضی می‌گردد تا خواص مکانیکی و پایداری آبی محصولات نشاسته‌ای بهبود یابد (41 و 42 و 43 و 44).

پلی کربوکسیلیک اسیدها مانند اسید سیتریک از جمله مواد شیمیایی ارزان قیمت و غیر سمی هستند که برای بهبود عملکرد خواص سلولز و پروتئین‌ها در نساجی استفاده شده‌اند (45). اسید سیتریک می‌تواند پیوندهای هیدروژنی قوی با نشاسته برقرار کند و پایداری حرارتی و آبی آن را بهبود دهد و از رتروگراداسیون آن جلوگیری کند (46).

در تحقیقی که توسط ردی و یانگ (47) انجام شد نشان داده شد که اسید سیتریک می‌تواند اتصال عرضی نشاسته را انجام دهد و خواص مکانیکی آن را بهبود دهد. اسید سیتریک قدرت فیلم نشاسته را بهبود بخشیده و به طور قابل توجهی کاهش وزن فیلم‌ها را در اسید فرمیک و آب کاهش می‌دهد. قدرت این نوع فیلم نشاسته حدود 150 درصد بیشتر از فیلم‌های اتصال عرضی نشده می‌باشد و همچنین از اکثر فیلم‌های اتصال عرضی شده و نیز فیلم‌های نشاسته مخلوط با پلی مرهای سنتزی قدرت بهتری دارد. پایداری حرارتی این نوع فیلم در محدوده درجه حرارت 320 تا 600 درجه سانتی‌گراد از نوع اتصال عرضی نشده بیشتر است. اتصال عرضی با اسید سیتریک نفوذ بخار آب و رنگ فیلم‌ها را کاهش می‌دهد ولی مورفولوژی و درصد بلورینگی چندان تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد.

در تحقیقی که توسط لویز و همکاران (48) صورت گرفت قابلیت تشکیل فیلم در مورد نشاسته ذرت که به روش شیمیایی اصلاح شده بود مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق نشان داده شد که نشاسته اصلاح شده با استفاده از اسید اگرچه میزان آمیلوز مشابه با نشاسته طبیعی دارد ولی قادر به ایجاد یک شبکه پیوسته فیلم نمی‌باشد. آمیلوز مسئول قابلیت تشکیل فیلم در ملکول نشاسته است (5). تیمار اسیدی می‌تواند منجر به هیدرولیز زنجیره‌های پلی مری شود و باعث کاهش وزن ملکولی متوسط زنجیره‌های خطی می‌شود. به همین جهت است که سوسپانسیون آن رفتار نیوتنی از خود نشان می‌دهد. نشاسته استیله شده در این تحقیق بهترین خصوصیات را برای تشکیل فیلم از خود نشان داد و شفاف‌ترین فیلم را ایجاد نمود ضمن این که به راحتی از پلیت جدا گردید (48).

نشاسته هیدروکسی پروپیل شده نوع دیگری از نشاسته اصلاح شده با مواد شیمیایی می‌باشد. گروه‌های هیدروکسی پروپیل هیدروفیل بوده و بر واکنش‌های بین ملکول‌های نشاسته مؤثر است. یک مقایسه مستقیم در مورد فیلم‌های تهیه شده با نشاسته هیدروکسی پروپیل شده نمود، سیب زمینی و ذرت نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین انواع مختلف نشاسته از لحاظ قدرت کششی و میزان طولیل شدن وجود ندارد (49).

نشاسته اکسید شده کاربرد بسیاری در صنایع مختلف برای تأمین خواصی مانند پوشش دهی و کاهش نفوذ پذیری سطوح^۷ دارد. اگرچه بیشترین کاربرد نشاسته اکسید شده در صنایع نساجی و کاغذسازی می باشد ولی کاربرد آن در صنعت غذا به دلیل ویسکوزیته پایین، پایداری زیاد آن، خاصیت تشکیل فیلم و خاصیت اتصال دهنده گی در حال افزایش است (50). هو و همکاران (51) بیان نمودند که نشاسته طبیعی سیب زمینی به دلیل وزن ملکولی بالاتر آن قدرت کششی زیادی داشته که موجب می گردد خمیر آن ویسکوزیته زیادی داشته باشد. بنابراین آماده سازی خمیر نشاسته سیب زمینی با میزان نشاسته زیاد منجر به کاهش راندمان تولید فیلم می گردد. علاوه بر این، شفافیت خمیر نشاسته سیب زمینی طبیعی کمتر از نشاسته سیب زمینی اکسید شده می باشد. فیلم های حاصل از نشاسته سیب زمینی بسیار اکسید شده شکننده بوده و متمایل به ترک خوردگی می باشند و فیلم های حاصل از نشاسته سیب زمینی با میزان اکسیداسیون کم انعطاف پذیر، شفاف و یکنواخت می باشند. فیلم حاصل از نشاسته اکسید شده سیب زمینی همچنین نسبت به روغن نفوذ ناپذیر بوده و در محلول های اسیدی پایدار می باشد. بنابراین می توان از آن برای بسته بندی مواد روغنی غیر قلیایی استفاده نمود. این فیلم تمایل کمی به کریستالیزاسیون مجدد در شرایط حرارت و رطوبت معمول دارد بنابراین پایداری انبارمانی مناسبی به عنوان یک ماده بسته بندی دارد.

قدرت کششی فیلم های حاصل از نشاسته اکسید شده موز با افزایش سطح اکسیداسیون افزایش می یابد و تا 60 روز بدون تفاوت معنی دار این خصوصیت را حفظ می نمایند. همچنین در همین فاصله زمانی تفاوت معنی داری در نفوذ پذیری نسبت به بخار آب ندارند (52).

5- بهبود خواص فیلم های نشاسته با استفاده سایر پلی مرهای طبیعی

برای بهبود خصوصیات فیلم های نشاسته می توان از فیبرهای طبیعی استفاده نمود که به عنوان یک تقویت کننده مناسب برای مواد ترموپلاستیک می باشد. مطالعات زیادی که بر روی خواص مکانیکی فیلم ها صورت گرفته است نشان می دهد افزودن فیبرها موجب افزایش قدرت کششی و مدول الاستیسیته فیلم ها و کاهش قابلیت طویل شدگی آنها می شود (53 و 54 و 55). اختلاط فیبرهای سلولز از لحاظ مکانیکی فیلم های نشاسته را تقویت می نماید و موجب افزایش قدرت کششی و کاهش تغییر شکل می شود. فیلم های تقویت شده در مقایسه با فیلم های نشاسته بدون فیبر نفوذ پذیری کمتری نسبت به بخار آب دارند. از آن جا که فیبرهای سلولز زیست تخریب پذیر بوده و با هزینه کم در دسترس هستند، استفاده از آنها به عنوان یک عامل تقویت کننده جایگزین مناسبی برای بهبود خواص فیلم های بر پایه نشاسته هستند (56 و 57). هنگامی که فیبرهای طبیعی با نشاسته مخلوط می گردند به علت تشابه شیمیایی نشاسته با فیبرهای گیاهی واکنش ها و تعاملت مناسبی ایجاد می گردد که موجب بهبودی مشخص و مشهودی در ماده مرکب می گردد (58). کربوکسی متیل سلولز اثرات زیان باری بر سلامت انسان نداشته و به طور گسترده به صورت افزودنی در زمینه های مختلف، از کاربردهای غذایی، بهداشتی و دارویی تا صنایع نساجی و داروسازی کاربرد دارد (59). افزودن کربوکسی متیل سلولز موجب بهبود مقاومت به رطوبت کامپوزیت می گردد. با افزودن 15 درصد کربوکسی متیل سلولز، نفوذ پذیری نسبت به بخار آب، جذب رطوبت و حلالیت فیلم ها کاهش می یابد.

⁷ Surface sizing

افزودن 20 درصد کربوکسی متیل سلولز موجب افزایش قدرت کشش نهایی فیلم بدون کاهش قابل توجه کرنش در نقطه شکست می‌گردد (60). افزودن هیدروکسی پروپیل سلولز به شبکه نشاسته ذرت موجب افزایش ساختار آمورف می‌گردد که توسط پراش پرتو ایکس قابل مشاهده است. ولی میکروگراف‌های اسکن میکروسکوپ الکترونی جدا شدن فازهای پلی‌مری را نشان می‌دهد که موجب از دست رفتن نرمی در فیلم‌ها می‌گردد. در مقایسه با فیلم‌های نشاسته خالص و هیدروکسی پروپیل سلولز، مدول الاستیک فیلم ترکیبی تازه کاهش می‌یابد، اگرچه قدرت کششی و تغییر شکل در نقطه شکست تا حدی بهبود می‌یابد. از لحاظ نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های ترکیبی نشاسته و هیدروکسی پروپیل سلولز مشابه با فیلم‌های خالص می‌باشد ولی مقداری نفوذپذیری نسبت به اکسیژن بالاتری از خود نشان می‌دهند (61).

بیونانوکامپوزیت‌ها ترکیباتی هستند که اخیراً برای بسته بندی مواد غذایی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نانوکریستال‌های سلولز برای تقویت مواد نشاسته ای استفاده شده‌اند (62). سلولز طبیعی هنگامی که در معرض هیدرولیز اسیدی قوی قرار بگیرد می‌تواند تبدیل به میکرو یا نانو کریستال‌های سلولز شود (63 و 64). معمول‌ترین روش برای تولید نانوکامپوزیت‌های سلولز، قالب گیری محلول‌های آبی یا دیگر حلال‌ها می‌باشد (65 و 66). ساوادکار و ماسک (67) با تهیه فیبرهای نانوسلولز و مخلوط نمودن آن با نشاسته فیلم‌های تهیه نمودند که قدرت کششی بالاتر و میزان عبور بخار آب و اکسیژن کمتری از خود نشان دادند. از نانوکریستال‌های سلولز برای تقویت بیوکامپوزیت‌های سلولز استات بوتیرات (68) و کربوکسی متیل سلولز (69) و حتی پلیمرهای سنتزی مانند پلی‌وینیل کلراید (70) و پلی‌اکسی اتیلن (71) نیز استفاده شده است. نانوکامپوزیت‌ها در مقایسه با میکروکامپوزیت‌های مرسوم و متداول دارای خواص برجسته‌ای هستند که به علت تأثیر اندازه در حد نانوی آن‌ها می‌باشد (72).

تحقیقات نشان داده است که نشاسته و کیتوزان فیلم‌های ترکیبی قابل امتزاجی تشکیل می‌دهند که خواص عملکردی هر کدام از آن‌ها به تنهایی را بهبود می‌بخشد (73 و 74 و 75). کیتوزان با استفاده از ان-دی‌استیلاسیون کیتین تهیه می‌شود که دومین پلی‌ساکارید فراوان در طبیعت می‌باشد. فیلم‌های کیتوزان پتانسیل استفاده به عنوان فیلم‌های خوراکی را دارند. این فیلم‌ها معمولاً به وسیله تبخیر حلال، اتصالات عرضی شیمیایی یا مخلوط نمودن با دیگر ترکیبات مانند پروتئین تهیه می‌شوند. ولی خواص مکانیکی و نفوذپذیری این فیلم‌ها برای مناسب نمودن آن‌ها جهت کاربردهای خاص نیاز به اصلاح دارد (76 و 77 و 78). کیتوزان به طور مستقیم در آب حل نمی‌شود و صرفاً در برخی محلول‌های اسیدی نظیر اسید استیک، اسید سیتریک، اسید آسکوربیک، اسید فرمیک، اسید لاکتیک، اسید مالیک، اسید اکسالیک، اسید سوکسینیک، اسید آدیپیک و اسید پروپیونیک حل می‌شود (79 و 80). به علت واکنش‌های بین کیتوزان و اسیدهای مختلف، خواص محلول کیتوزان و فیلم کیتوزان تحت تأثیر نوع اسید قرار می‌گیرد که این خواص شامل حجم هیدرودینامیک ملکول‌های کیتوزان در محلول‌ها، تراوایی نسبت به بخار آب، تراوایی نسبت به اکسیژن و خواص مکانیکی فیلم‌های کیتوزان می‌گردد (80 و 81 و 82).

فیلم‌های ترکیبی کیتوزان-نشاسته (با استفاده از نشاسته کودزو) به طور موفقیت‌آمیزی تهیه شده است که این فیلم‌ها فعالیت ضد میکروبی در مقابل اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس از خود نشان می‌دهند. این دو ترکیب تشکیل دهنده فیلم سازگاری خوبی با یکدیگر داشته که اطلاعات حاصل

از FTIR و XRD مؤید آن می‌باشد. اسیدهای مختلف که به عنوان حلال استفاده می‌شوند موجب تغییر تعاملات ملکولی بین اجزاء و در نتیجه تأثیر بر خواص نهایی فیلم می‌گردد. فیلم ترکیبی تهیه شده که از محلول اسید مالیک برای تهیه آن استفاده گردیده است نسبت به اسید لاکتیک و اسید استیک دارای خاصیت ممانعت‌کنندگی بیشتری در مقابل رطوبت و کمترین جذب آب می‌باشد که می‌تواند به علت کریستالیزاسیون اسید مالیک در دمای محیط باشد. از لحاظ خواص مکانیکی اسید استیک فیلم قوی‌تری نسبت به دو اسید دیگر ایجاد کرده، ضمن این که کمترین حلالیت را دارد. از لحاظ رنگ نیز اسید استیک فیلم روشن‌تری ایجاد می‌نماید. فیلم حاصل از لاکتیک اسید انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به دو اسید دیگر نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان با توجه به نیاز و با انتخاب اسیدهای مختلف برای حل نمودن کیتوزان، فیلم‌های با خواص مختلف تولید نمود (83). پلیساری و همکاران (84) همچنین بیان کردند که افزودن مقادیر کم کیتوزان به فیلم‌های نشاسته موجب افزایش مقاومت مکانیکی و کاهش تراوایی نسبت به رطوبت می‌گردد.

یکی دیگر از راه‌های افزایش حلالیت کیتوزان در محلول‌های خنثی یا قلیایی وارد نمودن گروه‌های کربوکسی‌متیل در برخی سایت‌های آمینو و هیدروکسیل اصلی در واحدهای گلوکز آمین در ساختار کیتوزان می‌باشد (85). فیلم‌های کامپوزیت شفاف از نانوکریستال نشاسته-کربوکسی‌متیل کیتوزان می‌توان تهیه نمود که به راحتی با روش قالب‌گیری و تبخیر قابل دستیابی است. هنگامی که میزان نانوکریستال‌های نشاسته کمتر از 30 درصد وزن مرطوب باشد، به طور یکنواخت درون شبکه کربوکسی‌متیل کیتوزان پخش می‌گردند. مطالعات FTIR نشان می‌دهد که نانوکریستال‌های نشاسته با کربوکسی‌متیل کیتوزان پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند. جذب آب و نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های حاوی کربوکسی‌متیل کیتوزان و نانوکریستال‌های نشاسته بهبود می‌یابد (86).

در تحقیق دیگری که توسط توحین و همکاران (87) بر روی اصلاح خواص حرارتی و مکانیکی فیلم‌های نشاسته-کیتوزان انجام گرفت، نشان داده شد که اصلاح فیلم توسط پرتو گاما موجب بهبود پایداری در مقابل آب و پایداری حرارتی فیلم‌ها می‌گردد. گارسیا و همکاران (88) بیان نمودند که سوسپانسیون‌های نشاسته-کیتوزان رفتار سودوپلاستیک از خود نشان می‌دهند مانند آنچه در مورد سوسپانسیون‌های کیتوزان وجود دارد. همچنین افزودن کیتوزان موجب بهبود قابل توجهی در خصوصیات محافظتی بخار آب در فیلم‌های نشاسته می‌گردد که موجب افزایش پتانسیل کاربرد کامپوزیت نشاسته-کیتوزان می‌گردد. فیلم‌های نشاسته-کیتوزان مقاوم بوده و با افزایش گلیسرول انعطاف‌پذیری آن‌ها افزایش می‌یابد. قدرت کششی فیلم‌های نشاسته-کیتوزان مشابه با پلی اتیلن با دانسیته بالا و پایین می‌باشد ولی کمتر از سلوفان می‌باشد، با این وجود فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر ترکیبی میزان طولی شدن کمتری نسبت به فیلم‌های سنتزی تجاری از خود نشان می‌دهند. به طور کلی، فیلم‌های نشاسته-کیتوزان را می‌توان بیوفیلیمی دانست که دارای شبکه‌ای هموزن، ساختمانی پایدار و خواص جالب توجه محافظتی در مقابل رطوبت و همچنین خواص مکانیکی قابل توجه می‌باشند که امکان استفاده از آن بسیار زیاد بوده و دارای مزایای زیست‌تخریب‌پذیری می‌باشد (88).

قابلیت کازئینات سدیم برای تشکیل فیلم با ویژگی‌های مورد نظر کاملاً شناخته شده است (89 و 90). گزارشات متعددی مبنی بر بهبود خواص فیلم‌های پلی مری در اثر افزودن کازئینات سدیم وجود دارد. ماندرو و همکاران (91) اثر نمک‌های سدیم و پتاسیم کازئینات را بر بهبود خصوصیات فیلم‌های تهیه شده از ایزوله پروتئینی سویا بررسی نمودند. در این تحقیق افزودن کازئینات (خصوصاً کازئینات کلسیم) موجب افزایش مدول الاستیک و قدرت کششی فیلم در نقطه پارگی گردید. پردا و همکاران (92) خواص فیلم‌های تهیه شده از کازئینات سدیم و مشتقات سلولزی (کربوکسی متیل سلولز و استات سلولز) را مطالعه نمودند. جیمنز و همکاران (93) بیان کردند که افزودن کازئینات به نشاسته ذرت موجب کاهش درجه بلورینگی فیلم‌های نشاسته و جلوگیری از کریستالیزاسیون مجدد نشاسته در حین نگهداری می‌گردد.

ترکیب هیدروکلوئیدها و نشاسته موجب تغییر خصوصیات فیلم‌های نشاسته می‌گردد. برای مثال هیدروکلوئیدها می‌توانند سرعت رترورگاداسیون را کاهش دهند (94). ترکیب صمغ زانتان با نشاسته کاساوا موجب به تأخیر انداختن فرایند کریستالیزاسیون می‌گردد ولی بر روی خصوصیات مکانیکی و یا سینتیک جذب آب فیلم‌ها در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری ندارد (95). افزودن صمغ زانتان موجب می‌گردد که بتوان با محلولی حاوی فقط 5 درصد نشاسته نخود تولید فیلم نمود درحالی که بدون افزودن صمغ این عمل امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین افزایش میزان صمغ زانتان تداخلی در خصوصیات فیزیکی و مکانیکی فیلم‌ها ایجاد نمی‌کند (96). در تحقیق دیگری که بر روی صمغ زانتان (با یا بدون داستیله شدن) صورت گرفت نشان داده شد که صمغ داستیله شده زانتان منجر به اثرات معنی‌داری بر روی سینتیک خواص مکانیکی و جذب آب فیلم‌ها می‌گردد ولی به طور کلی صمغ زانتان (با یا بدون داستیله شدن) تأثیر چندانی بر محصول نهایی در مقایسه با نمونه شاهد ندارد (97).

از جمله پلی ساکاریدهای طبیعی محلول در آب که در ریشه و غده گیاه *Amorphophallus konjac* وجود دارد کونجاک گلوکومانان می‌باشد که به طور وسیعی در مواد غذایی فراوری شده و مواد بیومدی‌کال استفاده می‌شود (98). نایر و همکاران (99) فیلمی با استفاده از نشاسته کاساوا، کونجاک گلوکومانان و گلیسیرول تهیه و بهینه سازی نمودند. فیلم مخلوط بلورینگی کمتری از خود نشان می‌دهد، خواص مکانیکی بهتری دارد و نرخ انتقال بخار آب و حلالیت کمتری در مقایسه با فیلم نشاسته خالص از خود نشان می‌دهد. این مطالعه نشان داد تعاملات سینرژیستی قوی بین نشاسته و کونجاک گلوکومانان موجب بهبود خواص فیزیکی فیلم ترکیبی می‌گردد که می‌توان از آن در کاربردهایی مانند فیلم‌های خوراکی، پوشش دهنده‌ها و داروهایی که نیاز به کنترل آزاد شدن دارند استفاده کرد.

استفاده از پرکننده‌های طبیعی در تولید فیلم‌های بیوکامپوزیت بر پایه نشاسته نیز مورد تحقیق قرار گرفته است (100). بر اساس این تحقیق اختلاط پرکننده‌های طبیعی (کراتین، لیگنین و سلولز) با شبکه نشاسته خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فیلم‌های بر پایه نشاسته را ضمن حفظ مزایای فیلم‌های نشاسته، بهبود می‌دهد. فیلم‌های حاصل از نشاسته و پرکننده‌های طبیعی قدرت کششی بالاتری ایجاد می‌کنند و سخت‌تر هستند ولی قابلیت کشش بالاتری دارند. جزء کراتین موجود در فیلم‌های بر پایه نشاسته، تا حدودی ثبات حرارتی را افزایش می‌دهد. همزمان، فیلم حاصل آب‌گریزی

بیشتری پیدا می‌کند و در اتمسفری با رطوبت زیاد جذب رطوبت کمتری نشان می‌دهد. با افزودن پرکننده‌های طبیعی شفافیت فیلم‌ها کاهش می‌یابد که عمدتاً به دلیل افزودن لیگنین می‌باشد (100).

6- نتیجه گیری

با توجه به تحقیقات اخیر که در زمینه استفاده از بیوفیلم‌های زیست تخریب پذیر در صنعت بسته بندی مواد غذایی صورت گرفته است می‌توان گفت نشاسته یکی از منابع مهم و نوید بخش می‌باشد. نیازهای متفاوتی که در صنعت بسته بندی مواد غذایی در خصوص بیوفیلم‌ها وجود دارد منجر گردیده است که منابع مختلف نشاسته مورد مطالعه و تحقیق قرار بگیرد، چرا که هر منبع دارای خصوصیات ویژه خود می‌باشد. ضمن این که اجزاء مختلف خود نشاسته نیز بر خصوصیات فیلم حاصل مؤثر بوده و ویژگی‌های رفتاری متفاوتی ایجاد می‌نماید. برای تطبیق نشاسته جهت تولید فیلم مورد نظر می‌توان آن را با استفاده از مواد مختلف اصلاح نمود. این عمل ضمن تولید فیلم‌های با خصوصیات مطلوب، عاری از مواد شیمیایی نامناسب به همراه فیلم می‌باشد. رویکرد جدید دیگری که برای بهبود خواص مکانیکی و نیز نفوذپذیری نشاسته وجود دارد استفاده از سایر پلی‌مرها به همراه نشاسته در تولید فیلم است که تأثیر به سزایی در بهبود خواص فیلم‌های بر پایه نشاسته دارد؛ ضمن این که ممکن است خواص دیگری مانند خواص ضد میکروبی نیز داشته باشند. جدیدترین تحقیقات در مورد فیلم‌های ترکیبی نشاسته استفاده از بیونانوکامپوزیت‌ها می‌باشد که می‌توانند اثرات بهتری را در خواص این فیلم‌ها ایجاد کنند.

7- منابع

1. García, N. L., Famá, L., Dufresne, A., Aranguren, M., Goyanes, S. 2009. A comparison between the physico-chemical properties of tuber and cereal starches. *Food Research International*, 42: 976–982.
2. Averous, L. and Boquillon, N. 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours. *Carbohydrate Polymers*, 56: 111-122.
3. Guinesi, L. S., Da Roz, A. L., Corradini, E., Mattoso, L. H. C., Teixeira, E. D. M. and Curvelo, A. A. d. S. 2006. Kinetics of thermal degradation applied to starches from different botanical origins by non-isothermal procedures. *Thermochimica Acta*, 447: 190–196.
4. Forssell, P. M., Mikkilä, J. M., Moates, G. K. and Parker, R. 1997. Phase and glass transition behaviour of concentrated barley starch-glycerol-water mixtures, a model for thermoplastic starch. *Carbohydrate Polymers*, 34: 275-282.
5. Romero-Bastida, C. A., Bello-Pérez, L. A., García, M. A., Martino, M. N., Solorza-Feria, J. and Zaritzky, N. E. 2005. Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers*, 60: 235-244.
6. Fama', L., Goyanes, S. and Gerschenson, L. 2007. Influence of storage time at room temperature on the physicochemical properties of cassava starch films. *Carbohydrate Polymers*, 70: 265-273.
7. Torres, F. G., Troncoso, O. P., Torres, C., Díaz, D. A. and Amaya, E. 2011. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48: 603-606.
8. Ahamed, T. N., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., Kale, D. D. and Pal, M. 1996. Studies on *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus paniculatas* starch as biodegradable fillers in LDPE films. *Carbohydrate Polymers*, 31: 157-160.

9. Araujo-Farro, P. C., Podadera, G., Sobral, P. J. A. and Menegalli, F. C. 2010. Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch. *Carbohydrate Polymers*, 81: 839–848.
10. Nafchi, A. M., Cheng, L. H. and Karim, A. A. 2011. Effects of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films. *Food Hydrocolloids*, 25: 56-60.
11. Tie, A. P. L., Karim, A. A. and Manan, D. M. A. 2008. Physicochemical properties of starch in sago palms (*Metroxylon sago*) at different growth stages. *Starch-Starke*, 60: 408-416.
12. Forssell, P. M., Hulleman, S. H. D., Myllarinen, P. J., Moates, G. K. and Parker, R. 1999. Ageing of rubbery thermoplastic barley and oat starches. *Carbohydrate Polymers*, 39: 43-51.
13. Wang, L. Z. and White, P. J. 1994. Structure and Properties of Amylose, Amylopectin, and Intermediate Materials of Oat Starches. *Cereal Chemistry*, 71(3): 263-268.
14. Petersson, M. and Stading, M. 2005. Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-monoglyceride films and effect of film forming conditions. *Food Hydrocolloids*, 19: 123-132.
15. Galdeano, M. C., Grossmann, M. V. E., Mali, S., Bello-Perez, L. A., Garcia, M. A. and Zamudio-Flores, P. B. 2009. Effects of production process and plasticizers on stability of films and sheets of oat starch. *Materials Science and Engineering C*, 29: 492-498.
16. Lawton, J. W. 2004. Plasticizers for Zein: Their Effect on Tensile Properties and Water Absorption of Zein Films. *Cereal Chemistry*, 1: 1-5.
17. Datta, R., Harjit-Singh, Gupta, V. S., Ranjekar, P. K. and Dhaliwal, H. S. 1999. Gene-for-gene relationship for resistance in wheat. *Plant Breeding*, 118: 362-364.
18. Evers, A. D. 1973. The Size Distribution Among Starch Granules in Wheat Endosperm. *Starch - Stärke*, 25(9): 303-304.
19. Montañó-Leyva, B., Torres-Chávez, P., Ramírez-Wong, B., Plascencia-Jatomea, M. and Brown-Bojórquez, F. 2008. Physical and Mechanical Properties of Durum Wheat (*Triticum durum*) Starch Films Prepared with A- and B-type Granules. *Starch - Stärke*, 60: 559-567.
20. López, O. V., Viña, S. Z., Pachas, A. N. A., Sisterna, M. N., Rohatsch, P. H., Mugridge, A., Fassola, H. E., García, M. A. 2010. Composition and food properties of *Pachyrhizus ahipa* roots and starch. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(2): 223-233.
21. López, O. V. and García, M. A. 2012. Starch films from a novel (*Pachyrhizus ahipa*) and conventional sources: Development and characterization. *Materials Science and Engineering C*, 32: 1931-1940.
22. Zobel, H. F. Molecules to Granules: A Comprehensive Starch Review. *Starch - Stärke*, 40(2): 44-50.
23. Veregin, R. P., Fyfe, C. A., Marchessault, R. H. and Taylor, M. G. 1986. Characterization of the crystalline A and B starch polymorphs and investigation of starch crystallization by high-resolution carbon-13 CP/MAS NMR. *Macromolecules*, 19(4): 1030-1034.
24. Liu, H. S., Yu, L., Xie, F. W. and Chen, L. 2006. Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content. *Carbohydrate Polymers*, 65(3): 357-363.
25. Chen, P., Yu, L., Kealy, T., Chen, L. and Li, L. 2007. Phase transition of starch granules observed by microscope under shearless and shear conditions. *Carbohydrate*, 68(3): 495-501.
26. Van Soest, J. J. G. and Borger, D. B. 1997. Structure and properties of compression-molded Structure and properties of compression-molded. *Journal of Applied Polymer Science*, 64: 631-644.

27. Thuwall, M., Boldizar, A. and Rigdahl, M. 2006. Extrusion processing of high amylose potato starch materials. *potato starch materials*, 65(4): 441-446.
28. Rindlav-Westling, A., Stading, M., Hermansson, A. and Gatenholm, P. 1998. Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*, 36(2-3): 217-224.
29. De Graaf, R. A., Karman, A. P. and Janssen, L. P. B. M. 2003. Material Properties and Glass Transition Temperatures of Different Thermoplastic Starches After Extrusion Processing. *Starch - Stärke*, 55(2): 80-86.
30. Lourdin, D., Valle, G. D. and Colonna, P. 1995. Influence of amylose content on starch films and foams. *Carbohydrate Polymers*, 27(4): 261-270.
31. Bader, H. and Göritz, D. 1994. Investigations on High Amylose Corn Starch Films. Part 3: Stress Strain Behaviour. *Starch - Stärke*, 46(11): 435-439.
32. Thunwall, M., Kuthanová, V., Boldizar, A. and Rigdahl, M. 2008. Film blowing of thermoplastic starch. *Carbohydrate Polymers*, 71(4): 583-590.
33. Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N. and Zaritzky, N. E. 2006. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 75(4): 453-460.
34. Muscat, D., Adhikari, B., Adhikari, R. and Chaudhary, D. S. 2012. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *Journal of Food Engineering*, 109: 189-201.
35. Li, M., Liu, P., Zou, W., Yu, L., Xie, F., Pu, H., Liu, H. and Chen, L. 2011. Extrusion processing and characterization of edible starch films with different amylose contents. *Journal of Food Engineering*, 106: 95-101.
36. Koch, K., Gillgren, T., Stading, M. and Andersson, R. 2010. Mechanical and structural properties of solution-cast high-amylose maize starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 46: 13-19.
37. Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N. and Zaritzky, N. E. 2004. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, 56: 129-135.
38. Zavareze, E. D. R., Pinto, B. K., Klein, B., Halal, S. L. M. E., Elias, M. C., Prentice-Hernández, C. and Dias, A. R. G. 2012. Development of oxidised and heat-moisture treated potato starch film. *Food Chemistry*, 132: 344-350.
39. Lafargue, D., Lourdin, D. and Doublier, J. L. 2007. Film-forming properties of a modified starch/k-carrageenan mixture in relation to its rheological behaviour. *Carbohydrate Polymers*, 70(1): 101-111.
40. López, O. V., García, M. A. and Zaritzky, N. E. 2008. Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydrate Polymers*, 73: 573-581.
41. Kunaik, L. and Marchessault, R. H. 1972. Study of cross-linking reaction between epichlorohydrin and starch. *Starch - Stärke*, 24(4): 110-116.
42. Seker, M. and Hanna, M. A. 2006. Sodium hydroxide and trimetaphosphate levels affect properties of starch extrudates. *Industrial Crops and Products*, 23: 249-255.
43. Simkovic, I., Hricovini, M., Mendichi, R. and Soest, J. J. G. 2004. Cross-linking of starch with 1,2,3,4-diepoxybutane or 1,2,7,8-diepoxyoctane. *Carbohydrate Polymers*, 55: 299-305.
44. Wattanachant, S.; Muhammad, K.; Hashim, D. M.; Rahman, R. A. 2003. Effect of cross-linking reagents and hydroxypropylation levels on dual-modified sago starch properties. *Food Chemistry*, 80: 463-471.
45. Yang, C. Q. and Andrews, B. A.K. Infrared spectroscopic studies of the nonformaldehyde durable press finishing of cotton fabrics by use of polycarboxylic. *Journal of Applied Polymer Science*, 43: 1609-1616.