

کاربردهای نوین نشاسته در برخی محصولات صنعتی

محمد هادی آریائی منفرد^{۱*}، الهام پیری^۲، علی قاسمیان^۲، مینا سالاری^۴

۱ استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، گروه علوم و مهندسی کاغذ

۲ دانشجوی کارشناس ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، گروه علوم و مهندسی کاغذ

۳ دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، گروه علوم و مهندسی کاغذ

۴ دانش آموخته دکتری شیمی استاد مدعو، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده ...

نشاسته یکی از مهم ترین و فراوان ترین پلی ساکاریدها در طبیعت است و در صنایع مختلف به دلیل خواص کاربردی مانند ویژگی های ممانعتی، زیست تخریب پذیری بالا، ارزانی، در دسترس بودن، ایمنی مصرف، پیونددهی و چسبندگی مناسب به طور گسترده استفاده می شود. با وجود ویژگی های خوبی که نشاسته دارد، خواص مکانیکی ضعیف به ویژه مقاومت کششی و مدول کشسانی پایین نسبت به پلیمرهای سنتزی دارد. علاوه بر آن، ماده ای بسیار آب دوست است که موجب حساسیت زیاد فیلم و سایر محصولات مبتنی بر نشاسته نسبت به رطوبت و در نتیجه افت خواص مکانیکی می شود. یکی از بهترین روش های حل این موضوع ترکیب نشاسته با سایر پلیمرهای زیست تخریب پذیر سنتزی به ویژه در ابعاد نانومتری است. در این مقاله ضمن بررسی روش های اصلاح ساختاری نشاسته، ترکیبات جدید این پلیمر با سایر مواد که منجر به گسترش کاربردهای آن در حوزه های متنوع صنعتی می شود، بررسی شده است.

واژه های کلیدی:

نشاسته
بسته بندی
کاغذسازی
نانو نشاسته
چسب

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:

hadiaryaie@gmail.com

۱ مقدمه

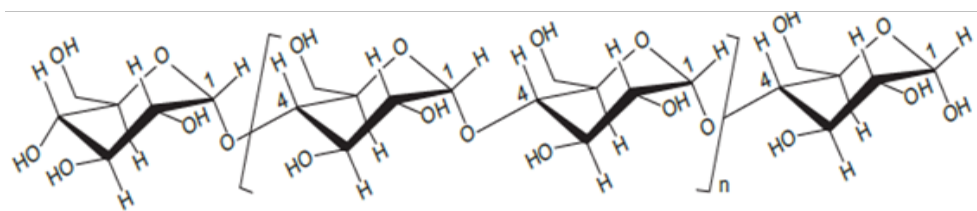
شدت به منشأ گیاه‌شناسی بستگی دارد. نشاسته‌های معمولی تقریباً حاوی ۷۰ تا ۸۰ درصد آمیلوپکتین و ۲۰ تا ۳۰ درصد آمیلوز هستند. نشاسته‌های مومی شکل کمتر از ۱۰ درصد آمیلوز و نشاسته آمیلوزدار باید بیش از ۴۰ درصد آمیلوز داشته باشند [۲ و ۳].

نشاسته از دانه‌هایی تشکیل شده که اندازه و شکل آن از ویژگی‌های هر گونه گیاهی است. همچنین دانه نشاسته حاوی ترکیبات متفاوتی است که به دو گروه تقسیم می‌شود: گروه اول آمیلوز و آمیلوپکتین و گروه دوم ترکیبات جزئی نشاسته شامل پروتئین، چربی و مواد معدنی است. نسبت دو آلفا-گلوکان در دانه نشاسته و ساختار مولکولی بر قابلیت حل‌شدگی، دمای ژل شدن، گرانی و ویژگی‌های ژل و تخریب‌پذیری تأثیر دارد و از این رو عوامل اصلی برای کیفیت، بافت و پایداری محصولات مبتنی بر نشاسته است. شکل ۱ و ۲ ساختار آمیلوز و آمیلوپکتین را نشان می‌دهد [۲]. جدول ۱ نیز مقدار آمیلوز و آمیلوپکتین نشاسته‌های رایج را نشان می‌دهد.

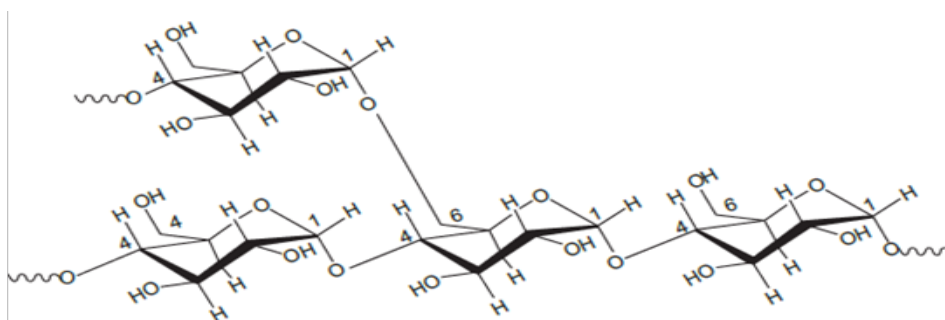
پلی ساکاریدها (عمدتاً سلولز، نشاسته و گلیکوژن) بیشترین نوع پلیمر در طبیعت را تشکیل می‌دهند. نشاسته و گلیکوژن، پلی ساکاریدهای پیچیده‌ای هستند

در حال حاضر با وجود گسترش چشمگیر صنعت پلاستیک، استفاده گسترده از آن، مشکلات جدی ناشی از تجمع مواد زاید، آلودگی و همچنین کاهش ذخایر نفت را ایجاد کرده است. طبق گزارش انجمن زیست-پلاستیک اروپا (۲۰۱۳)، زیست پلاستیک‌ها، پلاستیک‌هایی هستند که شامل پایه زیستی یا زیست تخریب‌پذیر یا شامل هر دو آن‌ها باشند. این مواد می‌توانند پلاستیک‌های زیستی اما تخریب‌ناپذیر مانند پلی اتیلن با پایه زیستی، پلی اتیلن تری فتالات با پایه زیستی، پلی آمیدهای زیستی و موادی مانند ترکیبات نشاسته و پلی اولفین و یا پلاستیک‌هایی با پایه زیستی و تخریب‌پذیر نظیر نشاسته گرمانرم، پلی ۳-کاپرولاکتون، پلی لاکتیک اسید و پلی هیدروکسی آلکانات باشند [۱].

نشاسته، پلیمری نیمه بلوری است که به صورت پودر بدون مزه و بو است و بیشتر در غلاتی مانند گندم، برنج و ذرت یافت می‌شود. واحدهای ساختاری آن شامل واحدهای تکراری آلفا دی ۱ به ۴ گلوکوپیرانوزی است که به عنوان آمیلوز (Amylose) و آمیلوپکتین (Amylopectin) شناخته می‌شوند. به طور کلی نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین و تغییرات ساختاری آن‌ها به



شکل ۱ آمیلوز [۱]



شکل ۲ آمیلوپکتین [۲]

جدول ۱ تفاوت آمیلوز و آمیلوپکتین نشاسته‌های مختلف [۲]

نوع نشاسته	مقدار آمیلوز (%)	مقدار آمیلوپکتین (%)
دانه ذرت	۲۵	۷۵
ذرت مومی	< ۱	> ۹۹
تاپوکا	۱۷	۸۳
سیب زمینی	۲۰	۸۰
ذرت آمیلوز بالا	۵۵-۷۰ (یا بالاتر)	۳۰-۴۵ (یا کمتر)
گندم	۲۵	۷۵
برنج	۱۹	۸۱

حاوی ۳۳ درصد گلیسرول دارای جذب رطوبت کمتری نسبت به فیلم‌ها با محتوای گلیسرول بالاتر هستند و همچنین هنگامی که غلظت نرم‌کننده افزایش می‌یابد قدرت کشش و مدول کشسانی کاهش می‌یابد. افزودن گلیسرول باعث افزایش تعاملات هیدروژنی در میان نشاسته و گلیسرول می‌شود [۶].

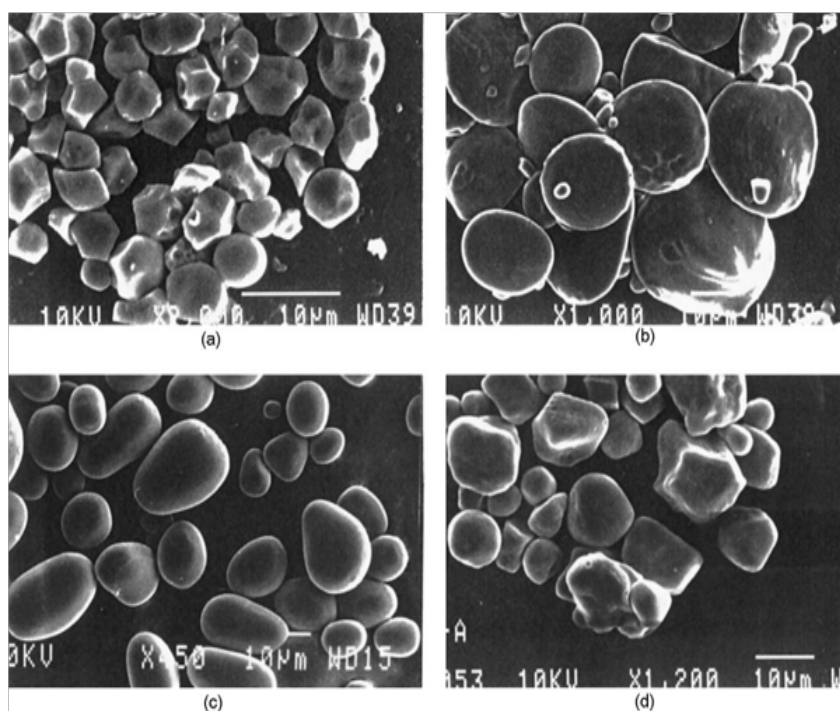
ریزساختار دانه‌های نشاسته بستگی به زیست‌شیمی کلروپلاست یا آمیلوپلاستو همچنین فیزیولوژی گیاه دارد. ساختارهای دانه‌ای نشاسته‌های سیب‌زمینی، ذرت، برنج و گندم، زمانی که توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشاهده می‌شود، تغییرات قابل توجهی را در اندازه و شکل نشان می‌دهد. میکروسکوپ الکترونی، تصاویر دانه‌های نشاسته را از منابع مختلف گیاهی در شکل ۳ نشان می‌دهد. اندازه دانه‌ها متغیر و دامنه آن از ۱ تا ۱۱۰ میلی‌متر است.

اندازه دانه به طور متوسط بین ۱ تا ۲۰ میلی‌متر برای اندازه‌های کوچک و ۲۰ تا ۱۱۰ میلی‌متر برای دانه‌های بزرگ نشاسته سیب‌زمینی است. میزان تغییرات ساختار دانه‌ای نشاسته‌ها از گونه‌ای به گونه دیگر در سیب‌زمینی به طور قابل توجهی بیشتر است. اندازه متوسط دانه‌های نشاسته ذرت از ۱ تا ۷ میلی‌متر برای دانه‌های کوچک و ۱۵ تا ۲۰ میلی‌متر برای دانه‌های بزرگ است. اندازه دانه نشاسته برنج از ۳ تا ۵ میلی‌متر است. دانه نشاسته سیب‌زمینی به صورت بیضی شکل و نامنظم یا مکعبی شکل مشاهده می‌شود. دانه نشاسته به صورت زاویه‌ای برای ذرت و پنج‌وجهی و زاویه‌ای شکل برای برنج

که از زنجیرهای خطی با پیوند آلفا (۱-به ۴) و نقاط شاخه‌ای با پیوند (آلفا ۱-به ۶) تشکیل شده است. با این حال در نشاسته، شکل‌گیری و خوشه‌بندی زنجیرهای دوتایی از طول‌های تعریف شده به ساختار نیمه‌بلوری منجر می‌شود. درجه بالاتر سازمان‌دهی نشاسته منجر به خواص فیزیکی و شیمیایی اساساً متفاوت می‌شود، گلیکوژن محلول در آب و نشاسته نامحلول است. دانه‌های نشاسته در سطوح مختلف تشکیل می‌شوند و خصوصیات آن‌ها (فراوانی حجم، سختی و ابعاد هندسی) برای درک خواص ماکروسکوپی مانند رفتارهای رئولوژیکی و ویژگی‌های ریزساختاری ضروری است [۴].

در مقایسه با مواد مصنوعی، نشاسته دارای دو معضل اصلی است. نخست این که سه گروه هیدروکسیل واحد‌های دی‌گلیکوزیدی درجه بالایی از آب‌دوستی را به نشاسته می‌دهد. بنابراین، آب، نرم‌کننده‌ای موثر برای این پلی‌ساکارید است و افزایش یا از دست دادن رطوبت می‌تواند تغییرات قابل توجهی در خواص فیزیکی و مکانیکی مواد مبتنی بر نشاسته داشته باشد. ثانیاً، نشاسته طبیعی گرم‌انرم (شکل‌دهی پلاستیک‌ها) نیست، زیرا تجزیه حرارتی، قبل از نقطه ذوب مناطق بلوری، در نشاسته اتفاق می‌افتد. در نتیجه، نشاسته را نمی‌توان با استفاده از دستگاه‌های بدون افزودنی‌های نرم‌کننده ذوب کرد [۵].

بیساک و همکاران تأثیر گلیسرول بر خواص فیزیکی، شیمیایی و عملکرد فیلم‌های نشاسته‌گندم را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که فیلم‌های



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نشاسته جدا شده از منابع مختلف: (a) برنج، (b) گندم، (c) سیب زمینی، (d) ذرت [۷]

اصلاح خواص نشاسته به روش‌های مختلف تغییر کند و اکثر مشتقات نشاسته‌ای موجود دارای درجه جایگزینی کم (۰،۰-۱۰،۲۰) هستند [۹].

۳ نانوشاسته

نانومواد در سال‌های اخیر به دلیل ویژگی‌های فوق‌العاده‌ای که در برنامه‌های کاربردی بسته‌بندی مواد غذایی دارند، مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. نانوذرات می‌توانند خواص ممانعتی و خواص مکانیکی، نوری، کاتالیزوری و ضد میکروبی را به بسته‌بندی بدهند. به منظور تولید نشاسته، نشاسته بلوری باید از مجموعه‌های آمورف و ترکیبات بلورین جدا شود. چندین روش از جمله آب کافت آنزیمی، آب کافت اسیدی، رسوب‌گیری، تیمار مکانیکی با ریزسیال‌ها (Microfluidiser) از چندین مسیر برای فرایند جداسازی آمیلوز وجود دارد [۱۰]. آب کافت اسیدی به طور گسترده برای تهیه نانوذرات از پلی ساکاریدها به دلیل کنترل آسان و آماده بودن استفاده می‌شود. مناطق بلورین در دانه نشاسته نسبت به آب کافت اسیدی در مقایسه با مناطق آمورف مقاوم‌تر هستند و بنابراین با استفاده از آب کافت اسیدی ملایم، معمولاً اسید هیدروکلریک یا اسید سولفوریک، می‌توان

است. در زمان بلوغ، اندوسپرم گندم حاوی دو نوع دانه نشاسته دانه بزرگ نوع A و دانه کوچک نوع B است [۷].

۲ اصلاح شیمیایی نشاسته

نشاسته به طور ذاتی برای اکثر کاربردها نامناسب است و بنابراین باید از لحاظ شیمیایی یا فیزیکی به منظور ارتقای ویژگی‌های مثبت یا به حداقل رساندن نقص‌های آن، اصلاح شود. اغلب نشاسته‌های خام به دلیل عدم پایداری نسبت به تغییرات دما، pH و نیروهای برشی از نظر کاربرد مستقیم، محدودیت‌های جدی دارند. اصلاح شیمیایی نشاسته به طور کلی شامل استری کردن، اتری کردن یا اکسایش گروه‌های هیدروکسیل موجود در واحدهای بتا دی گلوکوپیرانوزیل است که پلیمرهای نشاسته را تشکیل می‌دهند [۸]. خواص رئولوژیکی و فیزیکی نشاسته بستگی به عواملی شامل نوع نشاسته، درصد رطوبت، نسبت شار، اصلاح شیمیایی، وزن مولکولی، درصد آمیلوز، درجه شکست دانه، دما و زمان بستگی دارد. دانه بعضی نشاسته‌ها بی‌اثر، غیر قابل حل در دمای اتاق، بسیار مقاوم نسبت به تجزیه آنزیمی و در نتیجه فاقد قابلیت واکنش‌پذیری هستند. سه گروه هیدروکسیل در هر گلوکز از نشاسته می‌تواند برای

آمیلوپکتین‌های نشاسته پس از گرم شدن در آب داغ، ذوب شده و دانه‌ها شروع به تورم می‌کنند و گرانیروی در محلول افزایش می‌یابد. گرمایش و تکان دادن بیش از حد، منجر به تجزیه ساختار دانه، حلالیت نشاسته و از دست دادن گرانیروی می‌شود [۱۵].

۵ کاربرد نشاسته در صنعت نساجی

صنایع نساجی، از نشاسته بیشتر برای آهاردهی (Sizing) ریسمان‌ها استفاده می‌کند. نشاسته‌های مختلف اصلاح شده بر روی نخ به منظور جلوگیری از سایش در طی بافت، پوشانده شده و سپس با شستن پارچه‌ها حذف می‌شود. گاهی اوقات پلی‌وینیل‌الکل با نشاسته به علت انعطاف‌پذیری فوق‌العاده و مقاومت به سایش آن مخلوط می‌شود [۹]. صنایع به ویژه نساجی و کاغذسازی، از رنگ‌ها برای رنگ‌آمیزی محصولات خود استفاده می‌کنند و همچنین حجم قابل توجهی آب مصرف می‌کنند. فاضلاب نساجی حاوی غلظت زیاد رنگ مصرف شده است که می‌تواند تأثیر مخرب جدی بر محیط زیست داشته باشد. بنابراین تصفیه پساب‌های صنعت نساجی به شدت توسط مقامات دولتی و سازمان‌های حفاظت از محیط‌زیست مدنظر است. برای حل این مشکل از رنگ‌های مصرف شده با نشاسته سیب‌زمینی که سازگار با محیط‌زیست، زیست‌تخریب‌پذیر و مقرون به صرفه است، استفاده شد [۱۶]. نشاسته ذرت اصلاح شده و کیتوسان به عنوان عامل آهاردهی الیاف شیشه‌ای استفاده شد. الیاف شیشه‌ای مواد معدنی با خواص عالی هستند که در کشاورزی و صنایع دستی کاربرد دارد و به واسطه مقاومت مکانیکی بالا و عملکرد مقاوم در برابر خوردگی در محصولات نساجی به عنوان تقویت‌کننده در مواد کامپوزیتی استفاده می‌شود. در صنعت پارچه برای آهار الیاف شیشه به طور متداول از پارافین استفاده می‌کنند که حاوی دی‌سیانیدهای آمیدفرمالدئید (-Dicyandiamide formaldehyde) است. در فرایند تمیز کردن پارافین از حرارت استفاده می‌کنند که موجب راه شدن پارچه یا زرد و قهوه‌ای شدن آن می‌شود. بنابراین از نشاسته تجدیدپذیر به عنوان عامل آهاردهی به دلیل چسبندگی خوب، هزینه کم، دمای تجزیه حرارتی پایین استفاده می‌کنند با این حال فیلم تشکیل شده از نشاسته شکننده است. به همین منظور، کیتوسان به عنوان تقویت‌کننده به کار رفته است که مقدار ۵ درصد آن باعث تشکیل

آن را از ناحیه بلوری جدا کرد. پلیمرهای مصنوعی به دلیل خواص فیزیکی و مقاومت شیمیایی در بسیاری از کاربردهای صنعتی استفاده می‌شوند، با این حال این پلیمرها زیست‌سازگار نیستند. با اضافه کردن نانوذرات نشاسته به این پلیمرها نه تنها خواص فیزیکی بلکه امکان تجزیه زیستی کامپوزیت‌ها نیز افزایش می‌یابد [۱۱]. استفاده از نانوپرکننده‌ها به عنوان تقویت‌کننده باعث بهبود خواص مختلف نشاسته می‌شود. نانوکربنات کلسیم با زیست‌نانوکامپوزیت‌های نشاسته با روش محلول‌سازی ترکیب شده و ریزساختار زیست‌نانوکامپوزیت‌های نشاسته و کربنات کلسیم با میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا بررسی شد و نشان داد که پایداری حرارتی نشاسته به علت ترکیب با پودر نانوکربنات کلسیم و مقاومت کششی زیست‌نانوکامپوزیت‌ها به دلیل افزایش غلظت نانوکربنات کلسیم افزایش می‌یابد که بهبود پایداری حرارتی و کششی نانوکامپوزیت‌ها همراه با کاهش قابل توجه نفوذپذیری اکسیژن و رفتار مقاوم در برابر قلیا همراه است و همین عوامل باعث شده از این ترکیب برای بسته‌بندی به آسانی استفاده شود [۱۲]. در صنایع لاستیک‌سازی، نشاسته به عنوان تقویت‌کننده و پرکننده که می‌تواند خواص مطلوب مانند سروصدای کم، سختی کم غلتک‌ها و مقاومت ترمزها در جاده‌های خیس به لاستیک بدهد. ایکسی و وهمکاران از نشاسته به عنوان پرکننده فعال به منظور تقویت لاستیک‌ها با عامل وولکاننش (Vulcanization) استفاده کردند [۱۳].

۴ کاربرد نشاسته در محصولات غذایی

مهم‌ترین کربوهیدرات در رژیم غذایی انسان، نشاسته است که پس از هضم نشاسته در غذا، باعث افزایش گلوکز خون می‌شود. بنابراین هضم نشاسته در محصولات مبتنی بر غلات ضروری است. زیرا مقدار آن در غذا تعیین‌کننده پاسخ گلیسمی (Glycemic) می‌شود و با بسیاری از بیمارهای مرتبط با رژیم غذایی بستگی دارد [۱۴]. نشاسته سیب‌زمینی در میان نشاسته‌های رایج با سطح بالایی از گروه‌های فسفات به صورت پیوندهای کوالانسی در موقعیت کربن ۶ و کربن ۳ مونومرهای گلوکز قرار دارد. این گروه‌های فسفات همراه با اندازه بزرگ دانه خود، قدرت تورم زیادی به نشاسته می‌دهد. نشاسته در شکل طبیعی خود کاربردهای محدودی دارد و عمدتاً به عنوان غلیظ‌کننده و اتصال‌دهنده استفاده می‌شود.

فیلم بهینه و مناسب می شود [۱۷].

۶ کاربرد نشاسته در پزشکی

نشاسته به دلیل فراوانی، قیمت نسبتاً ارزان و مناسب می تواند به راحتی به نانوذرات تبدیل شود و همچنین به عنوان پرکننده برای آماده سازی زیست نانوکامپوزیت (Bionanocomposite) برای بهبود زخم کاربرد داشته باشد. فیلم های متقارن و نامتقارن کیتوسان را که حاوی ساختارهای متخلخل حمایت شده با نانو نشاسته به روش شستشو با نمک هستند برای پانسمان زخم می توان استفاده کرد [۱۸].

هیدروژل ها دارای شبکه سه بعدی آب دوست هستند که توسط پیوندهای شیمیایی یا فیزیکی نگهداری می شوند. آب جذب شده توسط هیدروژل تحت شرایط عادی آزاد نمی شود. پانسمان زخم با هیدروژل می تواند از پوست آسیب دیده محافظت کرده، سطح زخم را به طور مناسب مرطوب نگهدارد تا فرایند جذب التهاب سریعاً انجام شود. غشاهای جدید هیدروژل تولیدشده به وسیله پیوند عرضی بین پلی وینیل الکل با محلول نشاسته، توسط گلو تارالدهید به عنوان عامل پیوند عرضی برای این کار تهیه شده است. این غشا توسط FTIR و خصوصیات مکانیکی هیدروژل ها توسط آزمون های تنشی مورد بررسی قرار گرفت و به این نتیجه رسیدند که غشای هیدروژل به کمک محلول نشاسته و پلی وینیل الکل به عنوان پوست مصنوعی قدرت کافی را دارد [۱۹].

هیدروکسی آپاتیت، فسفات کلسیمی است که به عنوان ماده جایگزین استخوان به دلیل شباهت آن به ترکیبات مواد معدنی موجود در استخوان طبیعی پیشنهاد می شود. اما از آنجا که خواص هیدروکسی آپاتیت عمدتاً برای این برنامه های کاربردی کافی نیست. میکولسکو و همکاران (۲۰۱۷) از نشاسته (پلیمر طبیعی و زیست تخریب پذیر) که قابلیت ترکیب با هیدروکسی آپاتیت به علت چسبندگی، ژل شدگی و تورم ذرات نشاسته، پراکندگی خوب در تعلیقی ها و استقامت اندام سرامیکی دارد، استفاده کردند [۲۰].

۷ کاربرد نشاسته به عنوان چسب

از رزین های اوره فرمالدئید به دلیل دسترسی آسان مواد اولیه و کاهش قیمت، تنظیم سریع در دمای بالا برای اتصال تخته سه لا و صفحه های چوبی استفاده می شود

اما معایبی نیز دارد. به طور مثال پس از اضافه کردن آب در دمای بالا، اوره فرمالدئید می تواند آب کافت شود و فرمالدئید را آزاد کند. این موجب تضعیف پیوند چسب می شود، مخلوط چسب های اوره-نشاسته با تغییر پیوندهای عرضی باعث اصلاح عملکرد خواص آن ها می شود. چسب های نشاسته اصلاح شده با پیوندهای عرضی ایزوسیانات باعث بهبود مقاومت چسبندگی و مقاومت به آب می شود [۲۱].

نشاسته به عنوان کمک اتصال دهنده (Co Binder) در کنار محصولات مصنوعی نفتی مانند چسب های لاتکس برای کاربردهای پوشش دهی کاغذ استفاده می شود. اما باعث می شود زمانی که تولید در طول فرایند پخت خوابیده است، مشکلاتی مانند ژله ای شدن، عدم انبساط کامل دانه های نشاسته، افزایش گرانشی ضمن کاهش دما، رشد باکتری در نشاسته پخته شده و مشکلات کنترل گرانشی در طول ذخیره سازی به وجود آید. از سوی دیگر، چسب های مصنوعی اثر منفی بر قابلیت بازیافت کاغذ و زیست تخریب پذیری می گذارد. برای غلبه بر این مشکلات از چسب زیست پلیمری جدیدی در ساخت کاغذ و به عنوان جایگزین برای پلیمرهای مصنوعی بر پایه نفت استفاده شد. تحولات اخیر اتصالات نانوذرات زیست پلیمری که به آن اتصالات زیست لاتکسی می گویند، مورد بررسی قرار گرفت. این اتصالات دهنده ها (چسب ها) به صورت خشک می توانند در آب بدون پختن پراکنده شوند و کیفیت کاغذ را بهبود بخشند و هزینه های ساخت کاغذ را کاهش دهند. چسب های نانوذرات لاتکس زیستی با موفقیت با چسب های مصنوعی بر پایه نفت جایگزین و باعث بهبود کیفیت کاغذ شدند [۲۲].

وانگ و همکاران اثر مدت زمان آب کافت اسیدی برای بهبود چسب چوب بر پایه نشاسته را مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از خواص چسبندگی، گرانشی و عملکرد برش در مرحله های خشک و مرطوب را با طیف سنج مادون قرمز فوریه، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مناسب ترین مدت زمان آب کافت اسیدی نشاسته ۲ ساعت است که مقاومت برشی مطلوب ۶/۶۵ مگا پاسکال در حالت خشک و ۳/۶ مگا پاسکال در حالت مرطوب است. آب کافت اسیدی، پیوندهای هیدروژنی بین مولکول های نشاسته را تخریب می کند که پایداری گرانشی، پیونددهی و مقاومت به آب

چسب چوب بر پایه نشاسته را پس از چرخه انجماد-ذوب مجدد بهبود می بخشد [۲۳].

۸ کاربرد نشاسته در بسته بندی

بسته بندی مواد غذایی از جمله موارد مهمی است که توسط مواد مختلف انجام می شود. پلاستیک ها در طول دو دهه گذشته با رشد سالانه ۵ درصد، دومین مواد قابل استفاده برای بسته بندی مواد غذایی، پس از کاغذ و مقوا هستند. از مواد پلاستیکی بر پایه نفت مانند پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی آمید، با وجود مسائل زیست محیطی، به دلیل انعطاف پذیری، شفافیت، ثبات، به طور گسترده برای بسته بندی استفاده می شود. با این حال، با وجود خواص خوب، استفاده و انباشت آن ها سبب مشکلات جدی می شود. نشاسته به دلیل دسترسی آسان، قابلیت تماس با مواد غذایی، هزینه کم و قابل تجزیه بودن، جایگزین مناسبی برای پلیمرهای حاصل از مواد نفتی است. با این وجود استفاده از نشاسته در بسته بندی مشکلاتی نیز دارد. به طور مثال نشاسته بسیار حساس به آب و خواص فیلم آن به شدت به مقدار رطوبت وابسته است و همچنین خواص مکانیکی نسبتاً ضعیفی دارد. فیلم های آن بسیار شکننده و مقاومت در برابر نفوذ اکسیژن آن ها کم است. در پژوهشی از ترکیب PLA و نشاسته با هم خواص مناسب با ویژگی های مناسب برای بسته بندی به دست آمده است و نتایج نشان داد که نسبت های مختلف PLA - نشاسته، (۷۰-۳۰ یا ۸۰-۲۰) با روغن سویا اپوکسی شده یا مالئیک انیدرید، مقاومت مکانیکی، مانعت بسیار خوب نسبت به بخار آب و گازها و همچنین انعطاف پذیری خوبی را ارائه می دهد [۲۸]. خان و همکاران به دلیل نیروهای بین مولکولی و پیوندهای هیدروژنی نشاسته، از ماده ای گرمانرم استفاده کردند و نام آن را نشاسته های گرمانرم (Thermoplastic Starches (TPS نامیدند. این نرم کننده (Plastisizer) انعطاف پذیری نشاسته را افزایش داده، باعث ثبات نشاسته زیر دمای تخریب خود می شود. TPS نسبت به موادی که پایه زیستی دارند، مورد بسیار امیدوارکننده ای به عنوان پلاستیک های زیست تخریب پذیر است [۲۹]. نشاسته ذرت به عنوان ماتریس پلیمری برای توسعه بسته بندی ضد میکروبی جدید با استفاده از روش ریخته گری و استفاده از نیسین (Peptides Nisin) یا پیدیوسین (Pediocin) برای حفظ مواد غذایی مورد

استفاده قرار گرفت. خاک رس (هالوسیت (Hallosite)) به عنوان نانوپرکننده برای تقویت فیلم انتخاب شد و نتایج نشان داد که افزودن پتیدهای نیسین و پیدیوسین در فیلم های نشاسته به تولید مواد بسته بندی فعال با فعالیت ضد میکروبی علیه L مونوسیترژن ها (L. Monocytogenes) و C پرفرینژن ها (C. Perfringens) منجر می شود [۳۰].

فیلم های نانوکامپوزیت زیست تخریب پذیر نشاسته/رس نیز برای بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفت. نانوذرات مونت موریلونیت (Montmorillonite) که به صورت همگن در مواد مختلف بر پایه نشاسته پراکنده شده؛ از طریق روش های پردازش ذوب پلیمر به دست آمد. ویژگی های ساختاری و مکانیکی فیلم های نانوکامپوزیت بررسی شد و نتایج، اثر تقویت کنندگی ذرات رس در مدول و استحکام کششی نشاسته را نشان داد [۳۱].

نشاسته و مشتقات نشاسته، پلی هیدروکسی بوتیرات (Polyhydroxybutyrate) و پلی لاکتیک گلیکولید (Poly(lactic-co-glycolide))، دارای ویژگی های بسیار عالی هستند که با عوامل ضد میکروبی برای بسته بندی سازگارند. PHB، نشاسته و PLGA دارای خواص منحصر به فرد در زمینه های غذا، لوازم آرایشی، داروها و همچنین کامپوزیت های مختلف هستند. فیلم های نشاسته با ترکیبات کیتوسان و پتاسیم سوربات مخلوط شدند و فیلم های فعال برای مهار رشد باکتری S. و E. Coli و Aureus حاصل شد و همچنین خواص ممانعتی فیلم ها بهبود یافت [۳۲].

نانوکامپوزیت زیستی دوست دار محیط زیست با استفاده از نشاسته سیب زمینی و الیاف برگ های آناناس از روش قالب گیری حلال ساخته شد. با توجه به ساختار لیفی و پراکندگی نانوالیاف بر روی زمینه نشاسته، در خواص نانوکامپوزیت ها پس از هر تقویت تا ۳ درصد وزنی نانوالیاف سلولزی افزایش می یابد، اما در بارگذاری پرکننده های بیشتر، احتمالاً به علت تراکم نانوالیاف این خواص کاهش می یابد. نفوذپذیری بخار آب، جذب آب و جذب رطوبت نانوکامپوزیت ها مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که خواص ممانعتی به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافت. دلیل پراکندگی و چسبندگی خوب نانوالیاف در زمینه نشاسته، ساختار مشابه پلی ساکاریدی در هردو فاز است [۳۳]. جانگ و همکاران (۲۰۱۷) از نانوذرات نقره و نشاسته

را بهبود می‌بخشد و خواص رئولوژیکی نشان دهنده آن است که مونت‌موریلونیت به طور قابل توجهی ساختار شبکه سه‌بعدی ژل مونت‌موریلونیت-نشاسته ذرت را تقویت می‌کند [۲۵].

ابورا و همکاران از نانوبلورهای نشاسته (Starch Nanocrystals) که ویژگی ممانعتی و مکانیکی پلیمرهای زیستی را افزایش می‌دهند، استفاده کردند. نانوبلورهای نشاسته در پوششی بر پایه نشاسته اضافه شد و خواص رنگی پس از پوشش و کاغذ پوشش داده شده نهایی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که پوشش‌های رنگی حاوی نانوبلورهای نشاسته دارای گرانشی بالاتری بودند و نانوبلورهای نشاسته قادر به مقاومت در برابر فرایندهای خشک کردن، بدون ذوب شدن است. همچنین نانوبلورهای نشاسته نفوذ بخار آب را کاهش می‌دهد و خواص مکانیکی از دست رفته را جبران می‌کند [۲۶].

کاربامات‌های نشاسته با واکنش نشاسته و اوره در دمای بالاتر از نقطه ذوب اوره از طریق تجزیه حرارتی اوره به دست می‌آید. کاربامات‌های نشاسته و سلولز در صنایع نساجی و کاغذسازی برای بهبود خواص سطحی و همچنین به عنوان بازدارنده آتش، تقویت‌کننده پرکننده‌ها به جای استفاده از کربن سیاه در ترکیبات لاستیکی و دلمه‌کننده برای حذف فلزات سنگین در فاضلاب‌ها استفاده می‌شود. مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که فیلم‌های قالب‌گیری شده از کاربامات‌های نشاسته امکان تشکیل فیلم و ویژگی‌های ممانعتی اکسیژن را دارا هستند [۲۷].

۹ نتیجه‌گیری

آلودگی‌های ناشی از مواد پلیمری بر پایه ترکیبات نفتی، باعث تمرکز بر تولید پلیمرهای زیست‌تخریب پذیر شده است. روند جهانی گسترش تحقیقات و صنایع به سمت استفاده از زیست‌توده و مواد اولیه تجدیدپذیر و دوست‌دار محیط زیست در حرکت است. نشاسته به عنوان یکی از فراوان‌ترین و ارزان‌ترین مواد جایگزین محصولات نفتی در حال حاضر مورد توجه جدی محققان قرار دارد. گسترش استفاده از روش‌های اصلاح ساختار نشاسته و همچنین به کارگیری این ماده در ترکیب با سایر مواد با هدف کاهش ضعف‌های ذاتی این پلیمر طبیعی موجب توسعه بیش از پیش آن در صنایع مختلف به ویژه صنایع

برای پوشش یک مرحله‌ای با استفاده از فراصوت و مخلوط نشاسته، نیترات نقره و آب مقطر تهیه کردند که نشاسته به عنوان عامل سازگار با محیط زیست و ارزان قیمت مورد استفاده قرار گرفت. طیف‌سنجی فرابنفش-نورمرئی و میکروسکوپ الکترونی عبوری نشان داد که فرایند تک‌مرحله‌ای برای سنتز پوشش مبنی بر نشاسته با نانوذرات نقره موثر بود [۳۴].

جانگ و همکاران (۲۰۱۸) از سنتز کیتوسان و نانوذرات نقره و نشاسته (Chitosan: Starch-silver Nanoparticle) برای کاربردهای بسته‌بندی ضد میکروبی پوششی استفاده کردند. علاوه بر این، تأثیر نسبت‌های مختلف کیتوسان و نانوذرات نقره و نشاسته، بر خواص کاغذی مختلف مانند خواص مکانیکی، مقاومت به آب و روغن و فعالیت‌های ضد میکروبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خواص پوششی کاغذ به شدت به ترکیب این سه ماده بستگی دارد و پوشش با نسبت ۱ به ۹ ویژگی‌های مکانیکی عالی و خواص مقاومتی خوب در برابر آب و روغن نشان می‌دهد [۳۵].

۸-۱ کاربرد نشاسته در پوشش دهی سطح کاغذ

ویژگی‌های نشاسته مورد استفاده در آهاردهی سطحی، نه تنها خواص کاغذ بلکه کارایی خمیرهای بازیافتی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. نشاسته اکسید شده که معمولاً برای آهاردهی سطحی استفاده می‌شود، عمدتاً به ساختار کاغذ نفوذ می‌کند و این باعث کاهش قابل ملاحظه‌ماتی کاغذ می‌شود. علاوه بر این، نشاسته اکسید شده به عنوان زباله‌های آبیونی در فراوری خمیرهای بازیافتی عمل می‌کند. برای حل مشکلات مرتبط با نشاسته در اندازه فشار، نشاسته‌های کاتیونی نیز به کار گرفته شده و اثر آن‌ها بر خواص کاغذ و فرایندهای کاغذسازی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات در این زمینه نشان می‌دهد نشاسته‌های کاتیونی از نظر ماتی، روشنی، صافی چاپ و تراکم جوهر به دلیل ویژگی نگهداری بهتر آن‌ها، نتایج بهتری داشته‌اند [۲۴].

وانگ و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر نشاسته کاتیونی ذرت آمیلوز بالا را بر عملکرد زیست‌کامپوزیت‌های نشاسته/مونت‌موریلونیت (Montmorillonite) (لایه‌ای از سیلیکات) مورد بررسی قرار دادند و نانساختارهای کاملاً خرد شده از ذرت طبیعی و نشاسته کاتیونی تشکیل شده است و افزودن ذرات مونت‌موریلونیت، مقاومت کششی، نفوذپذیری بخار آب و پایداری فیلم‌های نشاسته کاتیونی

کاغذسازی و بسته بندی شده است. انتظار می رود در کشور ایران نیز با بهره گیری از تجربیات جهانی، تولید و استفاده از نشاسته به عنوان ماده اولیه مهم در بخش های مختلف صنعتی توسعه یابد.

مراجع

1. Ortega-Toro R., Bonilla J., TalensP., Chiralt A., Future of Starch-based Materials in Food Packaging, *Starch-Based Materials in Food Packaging*, 257-312, **2017**.
2. Schirmer M., Höchstötter A., Jekle M., Arendt E., Becker T., Physicochemical and Morphological Characterization of Different Starches with Variable Amylose/ amylopectin Ratio, *Food Hydrocolloids*, 32 ,52-63,**2012**.
3. Sen F., Uzunsoy I., Basturk E., Kahraman M.V., Antimicrobial Agent-free Hybrid Cationic Starch/sodium Alginate Polyelectrolyte Films for Food Packaging Materials., *Carbohydrate Polymers*, 170,264-270, **2017**.
4. RaguinA., Ebenhöf O., Design Starch: Stochastic Modeling of Starchgranule Biogenesis, *Biochemical Society Transactions*, 45, 1-9, **2017**.
5. Sing N., Sing J., Kaur L., Sodhi NS., Gill B.S., Morphological, Thermal and Rheological Properties of Starches from Different Botanical Sources. *Food Chemistry*, 81, 219-231, **2003**.
6. Basiak E., Lenart A., Debeaufort F., How Glycerol and Water Contents Affect the Structural and Functional Properties of Starch-Based Edible Films, *Polymers*,10, 1-18, **2018**.
7. Versino F., Lopez OV., Garcia MA., Zaritzky NE., Starch-based Films and Food Coatings: An Overview, *Starch*, 68, 1026–1037, **2016**.
8. Chin Ch., Solarek D., Modification of Starches, *Starch*, 17, USA, **2009**.
10. Bumbudsanpharoke N., Choi J., Ko S., Applications of Nanomaterials in Food Packaging, *Journal of Nanotechnology*, 15,6357-6372, **2015**.
11. Kim H., Park S S., LimS T., Preparation, Characterization and Utilization of Starch Nanoparticles, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 126,1-14, **2014**.
12. Swain S K., Pradhan G C., Dassh S., Mohanty F., Behera L., Preparation and Characterization of Bionanocomposites Based on Soluble Starch/ Nano CaCO₃, *Polymer Composites*, 1-8, **2017**.
13. Xu P., Zhao X., Ma P., Chen M., Dong W., Hoch M., Lemstra P J., Design of Nano-starch-reinforced Ethyl-Co-vinyl Acetate Elastomers by Simultaneously Constructing Interfacial Bonding and Novel Reversible Matrix Crosslinking, *Chemical Engineering Journal*, 346, 497-505, **2018**.
14. Bustos M C., Vignola M B., Perez G T., Leon A E., In Vitro Digestion Kinetics and Bio Accessibility of Starch in Cereal Food Products, *journal cereal science*, 77, 234-250, **2017**.
15. Jobling S., Improving Starch for Food and Industrial Applications, *Current Opinion in Plant Biology*, 7, 210-218, **2004**.
16. Ahmad S W., Zafar M.SH., Ahmad S., MohsinM., Qutab H Gh., Dye Removal From Textile Waste Water Using Potato Starch: Parametric Optimization Using Taguchi Design of Experiments, *Journals. Pan.pl*, 44, 26-31, **2018**.
17. Wang Y., Li J., Li H.,Wang X., Lei H., Huo J., Chitosan Modified Corn Starch and Its Application as a Glass Fiber Sizing Agent, *Fibers& Textiles in Eastem Europe*, 25, 112-120, **2016**.
18. Poonguzhali R., BashaSKh., KumariVS.,Fabrication of Asymmetric Nanostarch Reinforced Chitosan/PVP Membrane and its Evaluation as an Antibacterial Patch for in Vivo Wound Healing Application, *Biological Macromolecules*,114, 1-33, **2018**.
19. Pal K., BanthiaA.K., Majumdar D.K, Starch Based Hydrogel with Potential Application as Wound Dressing, *African Journal of Biomedical Research*, 20, 59-67, **2006**.
20. Miculescu F., Maidaniuc A., Voicu S I., Thakur V K., Stan G E., Ciocan LT, Progress in Hydroxyapatite-Starch Based Sustainable Biomaterials for Biomedical Bone Substitution Applications, *Sustainable Chemistry and Engineering*, 5, 8491-8512, **2017**.
21. Gadhav RV., Mahanwar PA., Gadekar PT., Starch-Based Adhesives for Wood/Wood Composite Bonding: Review, *Journal of Chemistry*, 7,19-32, **2017**.
22. Altay B.N., Bloembergen S., Aydemir C., Karademir

- A., Fleming PD., Use of Nanoparticle Binders for Paper Coatings: A Review, *Journal of Graphic Engineering and Design*, 8, 39-43, **2017**.
23. Wang Y., Xiong H., Wang Z., Din ZU., Chen L., Effects of Different Durations of Acid Hydrolysis on the Properties of Starch-based Wood Adhesive., *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 819-828, **2017**.
24. Lee H., Shin J., Koh CH., Ryu H., Lee DJ., Sohn C., Surface Sizing with Cationic Starch: its Effect on Paper Quality and Papermaking Process, *Tappi Journal*, 1, 34-40, **2002**.
25. Wang W., Song P., Wang R., Zhang R., Guo Q., Hou H., Dong H., Effects of Cationization of Highamylose Maize Starch on the Performance of Starch/ Montmorillonite Nano-biocomposites, *Industrial Crops & Products*, 117, 333-339, **2018**.
26. LeCorre D., Dufresene A., Rueff M., Khelifi B., Bras J., All Starch Nanocomposite Coating for Barrier Material, *Journal of Applied Polymer Science*, 131, 1-7, **2013**.
27. Menzela C., Seisenbaeva G., Agback P., Gallstedt M., Boldizar A., Koch K., Wheat Starch Carbamate: Production, Molecular Characterization, and Film Forming Properties, *Carbohydrate Polymers*, 172, 365-373, **2017**.
28. Muller J., Martinez C G., Chiralt A., Combination of Poly (lactic) Acid and Starch for Biodegradable Food Packaging, *Materials*, 1-22, **2017**.
29. Khan B., Khan Niazi M B., Samin GH., Jahan Z., Thermoplastic Starch: A possible Biodegradable Food Packaging Material –A Review, *Journal of Food Process Engineering*, 1745–4530, **2016**.
30. Meira SMM., Zehetmeyer G., Werner JO., Brandelli A., A Novel Active Packaging Material Based on Starch-halloysite Nanocomposites Incorporating Antimicrobial Peptides, *Food Hydrocolloids*, 63, 561-570, **2017**.
31. Avella M., De Vlieger JJ., Errico ME., Fischer S., Vacca P., Volpe MG, Biodegradable Starch/clay Nanocomposite Films for Food Packaging Applications, *Food Chemistry*, 93, 467-474, **2004**.
32. Mlalila N., Hilonga A., Swai H., Devlieghere F., Ragaert p., Antimicrobial Packaging Based on Starch, Poly(3-hydroxybutyrate) and Poly (lactic-co-glycolide) Materials and Application Challenges, *Trends in Food Science & Technology*, 74, 1-11, **2018**.
33. Balakrishnan P., Gopi S., MS S., Thomas S., UV Resistant Transparent Bio Nanocomposite Films Based on Potato Starch/cellulose for Sustainable Packaging, *Starch*, 1-13, **2017**.
34. Jung J., Gopinath k., Seo J., Development of Functional Antimicrobial Papers Using Chitosan/starch-silver Nanoparticles, *Biological Macromolecules*, 112, 530-536, **2018**.
35. Jung J., Raghavendra GM., KimD., Seo J., One-step Synthesis of Starch-silver Nanoparticle Solution and Its Application to Antibacterial Paper Coating, *Biological Macromolecules*, 107, 2285-2290, **2018**.

