

بررسی امکان‌سنجی استفاده از انواع پوشش‌های بایوپلیمری بر روی مواد بسته‌بندی کاغذی

سلیمان ظاهری^{۱*}، قاسم اسدپور^۲

تاریخ دریافت مقاله: اردیبهشت ۱۳۹۸

تاریخ پذیرش مقاله: شهریورماه ۱۳۹۸

چکیده

نگرانی‌های زیست محیطی در رابطه با استفاده از ترکیبات و پوشش‌های سنتزی برای کاربردهای بسته‌بندی افزایش یافته است. خصوصیات ممانعتی و ترشوندگی کاغذها معمولاً به وسیله کاربرد مشتقات مبتنی بر نفت مانند: پلی‌اتیلن، موم و یا مشتقات فلئوئوردار به عنوان ترکیبات پوشش‌دهی کنترل می‌شود، در حالی که آب‌گریزی سطح از طریق به کارگیری این پلیمرها بهبود می‌یابد. این ترکیبات به دلیل محدودیت در منابع فسیلی نفتی، قابلیت بازیافت ضعیف و نگرانی‌های زیست محیطی در رابطه با ضایعات تولید شده به علت عدم تجزیه بیولوژیکی نامطلوب هستند. به این ترتیب بایوپلیمرهای تجدیدپذیر را می‌توان به عنوان پوشش‌های ممانعتی بر روی مواد بسته‌بندی کاغذی مورد استفاده قرار داد. بایوپلیمرها شامل: پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، لیپیدها و پلی‌استرها هستند که بر روی پوشش‌های کاغذی به کار برده می‌شوند. این پوشش‌های بایوپلیمری، ممکن است انتقال ناخواسته رطوبت را به محصولات غذایی به تأخیر بیندازند و مانع خوبی برای نفت و اکسیژن باشند، زیست‌تخریب پذیر هستند و پتانسیل خوبی برای جایگزینی پوشش‌های سنتزی کاغذ و مقوا دارند.

۱- مقدمه

کاغذ به دلیل زیست‌تخریب‌پذیر بودن، سبک بودن، خصوصیات مکانیکی خوب و همچنین قابلیت بازیابی، یک ماده عالی برای بسیاری از کاربردها مانند بسته‌بندی، چاپ و تحریر، میکروسپالی، فیلتر، محصولات خانگی و ... است. چالش‌های استفاده از کاغذ در این کاربردها، این است که کاغذ ماده‌ای متخلخل و آبدوست است و باعث جذب آب، گاز و روغن مخصوصاً در کاربردهای بسته‌بندی می‌شود. کنترل ترشوندگی و خصوصیات ممانعتی (رطوبت و گاز) به منظور حفظ شکل و خصوصیات مکانیکی کالاهای بسته‌بندی شده در عین بهبود ویژگی‌های مقاومتی آن نیز بسیار حائز اهمیت

واژه‌های کلیدی

پوشش‌های کاغذی، بایوپلیمرها، خصوصیات ممانعتی، بایونانو کامپوزیت‌ها

۱- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری/ کارشناس آزمایشگاه.

(soleiman.zaheri@yahoo.com: نویسنده مسئول)

۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (asadpur2002@yahoo.com).

در بسته‌بندی‌ها یا پوشش‌های چندلایه به کار برده می‌شود. به عنوان مثال برای دستیابی به مانع عالی در برابر اکسیژن/گازها، کاغذ معمولاً با اتیل وینیل الکل (EVOH) پوشش داده می‌شود، اما به دلیل ماهیت آبدوستی یک لایه اضافی از پلی‌اولفین برای ایجاد مانع رطوبتی در برابر آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور مشابه، به عنوان یک جایگزین سبز برای پلیمرهای متداول، زیست پلیمرها به عنوان مواد بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ اما اغلب برای بهبود خصوصیات ممانعتی با سایر زیست پلیمرها برای تشکیل کامپوزیت‌های زیستی ترکیب می‌شوند.

۲- فرآوری زیست پلیمرها برای پوشش‌دهی

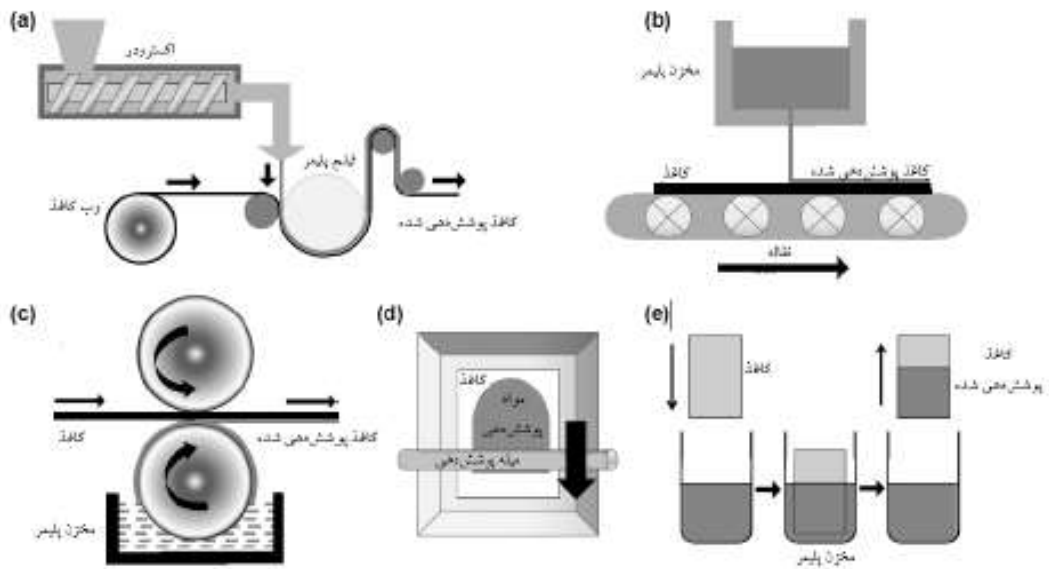
زیست پلیمرها را می‌توان به عنوان یک پوشش بر روی کاغذ و مقوا با استفاده از روش‌های متعددی مانند اکستروژن^۷، پوشش‌دهی پاشندگی^۸ و پوشش‌دهی حلال^۹ به کار برد. از نظر نظری، هر پلیمر گرمانرم (ترموپلاستیک^{۱۰}) می‌تواند اکستروژن شده و به عنوان یک پوشش کاغذ به کار برده شود؛ به هر حال، پلیمرهای فاقد رفتار گرمانرم خصوصاً برای زیست بسپارهای غیرگرمانرم مانند پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها پوشش به وسیله انحلال پلیمر در یک حلال سازگار (پوشش‌دهی حلال) یا پراکنده‌سازی پلیمر در حلال (به عنوان مثال پوشش‌دهی پراکنده‌سازی) اعمال می‌شود. روش‌های دوم همچنین می‌تواند برای پلیمرهای گرمانرم با داشتن مشکلاتی در فرآوری از طریق اکستروژن مورد استفاده قرار گیرد.

می‌باشد. این خصوصیات می‌تواند با آهاردهی درونی کاغذ یا تیمارهای بیشتر کاغذ با پوشش‌های ممانعتی خارجی به دست آید. امروزه پوشش‌های ممانعتی کاغذ مبتنی بر پلیمرهای مصنوعی یا پلیمرهای مبتنی بر نفت، به دلیل ارزان و قابل دسترس بودن بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. پلیمرهای مصنوعی مانند پلی‌اولفین‌ها (پلی‌اتیلن)، موم‌ها، اتیلن وینیل الکل^۱ (EVOH) و پلی‌وینیلیدین کلرید^۲ (PVDC) باعث ایجاد ویژگی‌های ممانعتی در برابر آب و اکسیژن در کاغذهای بسته‌بندی می‌شوند. معایبی که پلیمرهای مصنوعی دارند شامل: محدودیت منابع نفتی، قابلیت بازیافت ضعیف کاغذ، عدم زیست تخریب‌پذیر بودن و تشدید نگرانی‌های زیست محیطی و اقتصادی می‌باشد. تمایل به استفاده از فیلم‌های زیست پلیمر، به دلیل زیست‌تخریب‌پذیر بودن قابلیت بازیافت بهتر، غیر سمی بودن و سازگار بودن در حال افزایش است.

پلیمرهای زیستی مورد استفاده برای پوشش‌دهی، پلی‌ساکاریدها (نشاسته، مشتقات سلولزی، کیتوزان^۳ و آلژینات^۴)، پروتئین‌ها (کازئین، کلاژن، سویا، آب پنیر و گلوتن)، لیپیدها (موم زنبور عسل، موم کارنابوبا و اسیدهای چرب آزاد)، پلی‌استرها (پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات^۵ (PHA)، پلی‌لاکتیک‌اسید^۶ (PLA) و فلئوئوروکربن‌ها هستند [۱-۲]. خصوصیات ممانعتی مورد نیاز برای کاغذهای بسته‌بندی بسته به کاربرد نهایی، ممانعت به بخار آب، ممانعت به آب، ممانعت به گاز و هوا و ممانعت به گریس و روغن به منظور جلوگیری از تغییر عطر، طعم، بو و رطوبت است [۳-۴]. هر لایه از مواد به صورت مجزا که در بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، قادر است ممانعت در برابر آب، بخار آب، گاز، گریس یا ترکیبی از حداکثر دو یا سه خصوصیت را فراهم کند؛ اما آن به ندرت حفاظت در برابر هر چهار خصوصیت را به طور کامل فراهم می‌نماید. بنابراین، ترکیب با مواد دیگر

- 1- Ethylene Vinyl Alcohol (EVOH)
- 2- Polyvinylidene Chloride (PVDC)
- 3- Chitosan
- 4- Alginate
- 5- Poly Hydroxy Alkanoates (PHA)
- 6- Polylactic acid (PLA))

- 7- Extrusion
- 8- Dispersion Coating
- 9- Solvent Coating
- 10- Thermoplastic



شکل ۱- فرایندهای مختلف پوشش برای کاربردهای کاغذ، (a) پوشش‌دهی اکستروژن، (b) پوشش‌دهی پرده‌ای (c) پوشش‌دهی سطحی (d) پوشش‌دهی نواری (e) پوشش‌دهی غوطه‌وری

حال، با وجود این اصلاحات، هنوز هم سایر خصوصیات مانند نفوذپذیری به بخار آب، گاز، انعطاف‌پذیری و سازگاری با الیاف طبیعی به عنوان تقویت‌کننده باید بهبود یابد.

روش‌های پوشش‌دهی پراکنده‌سازی و پوشش‌دهی مبتنی بر حلال، مزایایی نظیر: استفاده از وزن‌های پوشش کم (حدود 10 g/m^2) برای دستیابی به خصوصیات ممانعتی دارد، اما گاهی اوقات دو لایه برای حذف سوراخ سطح و رسیدن به خصوصیات ممانعتی کافی به بخار آب نیاز است. معمولاً پوشش‌های مبتنی بر پراکنده‌سازی و پوشش‌های مبتنی بر حلال را می‌توان برای بسترهای فیبری به وسیله روش‌های متعددی مانند، آهاردهی، پوشش‌دهی پرده‌ای^۲، پوشش‌دهی نواری یا میله‌ای و غوطه‌وری به کار برد (شکل ۱ b-e) در پوشش‌دهی پرده‌ای (شکل ۱ b) که در آن یک وزن پوشش یکنواخت به کار برده می‌شود و خصوصیات ممانعتی به بخار آب و گاز از طریق پوشش‌دهی تمام سطح بهبود می‌یابد [۹]. آهاردهی سطحی به وسیله یک پرس آهاردهی (شکل ۱ C)

اکستروژن (شکل a) روشی است که برای پوشش‌های کاغذی تعیین شده و به دلیل مزیت‌های متعددی مانند: فراوری پیوسته، ارائه پوشش یکنواخت، حداقل احتمال ایجاد سوراخ و ترک است. به هر حال، پوشش اکستروژن محدودیت‌هایی مانند: نیاز به وزن پوشش زیاد برای دستیابی به خصوصیات مورد نیاز، بی‌ثباتی پلیمر مذاب، و دیگر عوامل مربوط به ماده که گاهی اوقات سرعت پوشش و کارایی پوشش را محدود می‌کند. به این ترتیب، زیست‌بسپارها مانند PHB و PLA به ندرت در مقیاس صنعتی به کار برده می‌شوند، اما بعد از مقداری اصلاحات، فراوری این ترکیبات بهبود می‌یابد [۵-۶]. یکی از معایب اصلی فراوری PHB و PLA تمایل آن‌ها به تخریب حرارتی در بالای دمای ذوب و عدم ثبات این ترکیبات است.

روش‌های اصلاح متعددی را می‌توان برای بهبود پایداری PHB و PLA در دمای بالای نقطه ذوب مانند ترکیب با پلاستی‌سایزر (روان‌کننده) [۷]، افزودنی‌ها، سایر پلیمرهای پایدار حرارتی، یا از طریق اصلاح شیمیایی زنجیره اصلی پلیمر به وسیله کوپلیمرها مورد استفاده قرار داد [۸]. به هر

2- Curtain coating

1- Plasticizers

می‌تواند منجر به از دست رفتن تردی محصول شود، در حالی که از دست رفتن رطوبت از محصول مرطوب منجر به خشک شدن غذا شده و در هر دو مورد کیفیت غذا از بین می‌رود. علاوه بر این، مواد بسته‌بندی باید مانع کافی در برابر گازها (اکسیژن، دی‌اکسید کربن و نیتروژن)، روغن / چربی و عطرها برای طولانی کردن عمر مفید مواد غذایی بسته‌بندی شده و به منظور جلوگیری از دست دادن ویتامین‌ها، طعم‌دهنده‌ها و رنگ‌ها است.

۴- زیست بسپارها و کامپوزیت‌های زیستی برای پوشش‌دهی کاغذ

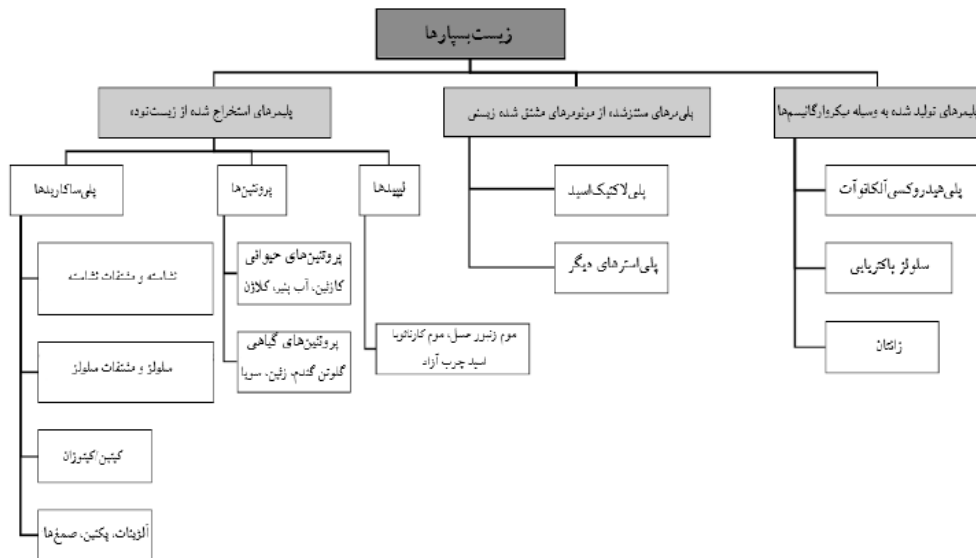
اصطلاح "بایو" ممکن است معانی مختلفی در زمینه پلیمرها، کامپوزیت‌ها و بسته‌بندی داشته باشد (۱): گاهی اوقات آن به یک ماده زیست‌تخریب‌پذیر گفته می‌شود در حالی که (۲) آن همچنین به عنوان ماده نشأت گرفته از منابع تجدیدپذیر نیز اطلاق می‌شود. زیست بسپارها را می‌توان بر اساس منشأ آن‌ها، روش تولید، ترکیب شیمیایی، کاربرد و ... طبقه‌بندی کرد. با توجه به منشأ و روش تولید، زیست بسپارها به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند [۱۲] که در (شکل ۲) خلاصه شده است. دسته اول شامل بسپارهای زیستی است که به طور مستقیم از زیست‌توده

عمدتاً یکی از روش‌های صنعتی به کار برده برای پوشش آبی کاغذ است [۱۰]، که مقدار مواد جامد دوغاب پوشش‌دهی به دلیل فراوری دوغاب در ویسکوزیته^۱ مجاز کمتر از ۱۰ درصد نگه داشته می‌شود.

به هر حال به دلیل محدودیت مربوط به مقدار مواد جامد، اغلب بیشتر پوشش‌دهی قادر نیست سطح کاغذ را به طور کامل بپوشاند و خواص ممانعتی مورد نیاز را فراهم نمی‌کند. در مقابل، روش پوشش‌دهی میله‌ای یا نواری (شکل d۱) کنترل بهتری ضخامت لایه پوشش را فراهم می‌کند، اما به مقیاس آزمایشگاهی یا پایلوت محدود شده است. غوطه‌وری (شکل ۱ e) به عنوان یک روش آسان اعمال دوغاب پوشش‌دهی آبی بر روی کاغذ و آزمون سریع عملکرد پوشش‌دهی تعیین شده است، با این حال، مشکل این روش کنترل ضخامت پوشش است.

۳- خصوصیات ذاتی مواد بسته‌بندی زیست بسپار

به طور کلی، مواد بسته‌بندی باید حفاظت، ثبات، حمل و نقل آسان را برای مواد بسته‌بندی شده فراهم کند. به ویژه برای بسته‌بندی مواد غذایی، یک ماده بسته‌بندی خوب باید با سطح مناسبی از خصوصیات ممانعتی مورد نیاز برای یک غذای خاص (مرطوب یا خشک) طراحی شود. به عنوان مثال، جذب رطوبت در بسته‌بندی محصولات خشک



شکل ۲- نمای کلی از زیست بسپارها بر اساس منشأ و روش تولید

1- Viscosity

(مواد طبیعی) مانند پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها استخراج شده است. دسته دوم شامل پلیمرهایی هستند که از مونومرهای زیستی به وسیله تخمیر پلی‌ساکاریدها، (مانند اسید لاکتیک برای تولید^۱ (PLA)، پلی‌اتیلن زیستی^۲ (PE-BIO) و پلی‌اتیلن ترفتالات زیستی^۳ (PET-BIO) سنتز شده‌اند. دسته سوم شامل پلیمرهایی است که به طور مستقیم تولید شده و از میکروارگانیسم‌ها استخراج شده است (مانند PHA)

۵- پوشش‌های مبتنی بر پلی‌ساکارید

پلی‌ساکاریدها، متداول‌ترین پلیمر طبیعی در دسترس استخراج شده از مواد اولیه لیگنوسلولزی (چوب، گیاهان زراعی) یا حیوانات دریایی است. آن‌ها غیرسمی بوده و با توجه به خواص ممانعتی عالی در برابر گازها، عطرها و چربی‌ها برای پوشش‌دهی کاغذ مناسب هستند. به هر حال، ماهیت آبدوست و ساختار تا حدودی کریستالی دارند و خصوصیات ممانعت به بخار آب ضعیف دارند. پلی‌ساکاریدهای مورد استفاده برای پوشش‌دهی کاغذ عمدتاً شامل نشاسته و مشتقات آن، سلولز، مشتقات سلولزی، کیتوزان و آلژینات هستند.

۱-۵- نشاسته و مشتقات آن

نشاسته^۴ معمولاً در صنعت کاغذ و پوشش‌دهی آن به عنوان یک ماده خام کشاورزی ارزان و در دسترس مورد استفاده قرار می‌گیرد. نشاسته را می‌توان به صورت تجاری از منابع گیاهی مختلفی مانند ذرت، سیب‌زمینی، تاپیوکا^۵، گندم و برنج استخراج کرد. نشاسته را می‌توان به عنوان عامل آهاردهی به کار برد. در حالی که بعد از کمی اصلاح به دلیل

قابلیت تشکیل فیلم عالی می‌توان آن را به عنوان عامل پوشش‌دهی مورد استفاده قرار داد.

به عنوان یک ماده پوشش‌دهی، فیلم نشاسته، خصوصیات مکانیکی کافی (مقاومت به کشش زیاد، درصد ازدیاد طول زیاد) را ندارد و به دلیل شکنندگی ماهیت نیمه کریستالی ماده طبیعی آن، می‌توان با تولید مواد ترمو پلاستیک از محصولات مبتنی بر نشاسته بهبود بخشید [۱۳] و یا با ترکیب سایر مواد [۱۴]، و یا با اصلاح (شیمیایی، فیزیکی یا آنزیمی) [۱۵-۱۶] بهبود یابد.

هنگامی که کاغذ را با گرانول نشاسته اشباع و پوشش‌دهی می‌کنند، فقط خصوصیات صافی سطح، مقاومت فیزیکی، مقاومت به روغن و خصوصیات نوری را بهبود می‌دهد؛ اما خصوصیات ممانعتی به دلیل ایجاد ترک در پوشش بهبود نمی‌یابد [۱۵].

اکسیداسیون شیمیایی نشاسته متداول‌ترین عمل به کار گرفته برای پوشش‌دهی کاغذ است و شامل کاهش در طول زنجیر و وزن مولکولی نشاسته اکسید شده است که منجر به ویسکوزیته کمتر پوشش می‌شود. پوشش با نشاسته اکسید شده مزیت‌هایی مانند تشکیل فیلم خوب و حداقل پسروری را دارد [۱۶]، به هر حال مشکلات ماندگاری در پایانه تر به دلیل بار منفی که در طی بازیافت کاغذهای پوشش‌دهی شده با نشاسته اکسید شده اتفاق می‌افتد نیز وجود دارد [۱۷]. نشاسته استیله شده، نشاسته کاتیونی، نشاسته^۶ به طور مؤثری به عنوان پوشش کاغذ استفاده می‌شوند. کاغذ کرافت پوشش داده شده با استات نشاسته باعث کاهش قابل توجه در جذب آب، نفوذپذیری به بخار آب و خصوصیات ممانعت در برابر گازها شده است [۱۱].

۲-۵- سلولز و مشتقات آن

سلولز فراوان‌ترین زیست‌بسیار بر روی زمین است و با توجه به ساختار یکنواخت و گروه‌های هیدروکسیل،

- 1- Lactic Acid
- 2- Bio-Polyethylene
- 3- Polyethylene Terephthalate
- 4- Native
- 5- Tapioca

6- Hydroxypropylated

ماده به دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیل آزاد و زیاد بودن سطح نسبی پیوند بین الیاف، موجب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل می‌گردد.

هنگامی که کیتین استیل‌زدایی می‌شود، گروه عاملی استامید روی کربن شماره ۲ به آمین تبدیل می‌شود. از نظر ساختاری کیتوزان یک پلیمر خطی شامل $(1-\beta-D-)$ گلوکوزامین و P-N استیل - گلوکوزامین به طور تصادفی بوده و دارای سه نوع گروه عاملی فعال شامل یک گروه آمین و دو گروه هیدروکسیل با پیوند ثانویه به ترتیب روی کربن شماره ۲، ۳، ۶ می‌باشد. کیتوزان قابلیت تشکیل فیلم با خصوصیات مکانیکی خوب را دارد که با بسیاری از پلیمرهای مصنوعی قابل مقایسه است. کیتوزان به دلیل ماهیت نیمه کریستالی، دارای خصوصیات ذاتی ممانعتی خوب به اکسیژن، گریس و روغن می‌باشد.

علاوه بر این، ماهیت کاتیونی این پلیمر زیستی به شدت برای پیوندیابی قوی با الیاف سلولزی آنیونی مطلوب می‌باشد و در نتیجه می‌تواند به عنوان پوشش ممانعتی بر روی کاغذ مناسب باشد. کیتوزان به دلیل داشتن گروه عاملی آمین در محیط اسیدی، دارای بار مثبت می‌گردد و خاصیت ضدباکتری خوبی پیدا می‌کند [۱۸].

۵-۴- آلزینات

آلزینات یک نمک طبیعی آلزیک اسید است که از D-β-مانورونیک اسید و α-L-گلوکورونیک اسید با پیوند (۴-۱) تشکیل شده است. آلزینات دارای خصوصیات تشکیل فیلم همراه با نفوذپذیری کم به اکسیژن و مقاومت خوب به گریس است. آلزینات خصوصیات ممانعتی به رطوبت کمی دارد. هنگامی که به نمک‌های تک ظرفیتی مثل سدیم آلزینات مشتق می‌شود، آلزینات محلول در آب می‌شود. مقالات کمی در رابطه با استفاده از آلزینات برای پوشش‌دهی کاغذ گزارش شده است یک لایه صاف و همگن آلزینات می‌تواند به وسیله پوشش‌دهی میله‌ای (نواری) بر روی مقوا به کار برده شود اما به دلیل افزایش

سلولز تمایل دارد به ایجاد پیوندهای هیدروژنی قوی با زنجیرهای سلولزی مجاور، که منجر به الیاف و میکروفیبریل‌های^۱ کریستالی بسیار منظم شده است. الیاف سلولزی ماده اولیه اصلی برای تولید کاغذ یا مقوا در صنعت کاغذسازی است، اما سلولز همچنین به عنوان ماده پوشش‌دهی برای کاغذ به کار برده می‌شود. با این حال استفاده از شکل نشاسته آن به دلیل ماهیت آبدوست آن‌ها، نامحلول بودن در آب، قابلیت تشکیل فیلم ضعیف و کریستالیت زیاد دشوار است. برای غلبه بر این مشکلات، مشتقات سلولز مانند کربوکسی متیل سلولز^۲ (CMC) متیل سلولز^۳ (MC) اترسلولز، هیدروکسی پروپیل سلولز^۴ (HPC) و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز^۵ (HPMC) به طور تجاری تولید شده‌اند که برای بهبود خواص ممانعتی به کار برده می‌شوند.

علی‌رغم اینکه بسیاری از مشتقات سلولزی خصوصیات تشکیل فیلم خوب را دارند، هزینه بالای فرایند مشتق‌سازی سبب جلوگیری از استفاده از این ترکیبات در مقیاس تجاری به عنوان مواد پوشش‌دهی شده است. به دلیل ساختار بلورین سلولز، فرآیند مشتق‌سازی آن مشکل و هزینه‌بر است. هنوز هم به تحقیقاتی در این زمینه به منظور بهبود فناوری پردازش جهت دستیابی به مشتقات سلولزی ارزان نیاز است.

۵-۳- کیتوزان

کیتوزان دومین پلیمر زیستی فراوان پس از سلولز می‌باشد که به وسیله استیل‌زدایی کیتین^۶ تولید می‌شود و یک پلی‌ساکارید مشتق شده از پوسته سخت‌پوستان است. ساختار کیتین بسیار شبیه به سلولز می‌باشد که تنها تفاوت آن با سلولز، در نوع گروه عاملی روی کربن شماره ۲ است که در آن به جای گروه هیدروکسیل، گروه استامید^۷ قرار دارد. این

- 1- Microfibrils
- 2- Carboxy Methyl Cellulose (CMC)
- 3- Methyl Cellulose (MC)
- 4- Hydroxy Propyl Cellulose (HPC)
- 5- Hydroxy Propyl Methyl Cellulose (HPMC)
- 6- Chitin
- 7- Acetamide

میزان آبریز سطح مقوا پوشش داده شده، کاهش زاویه تماس با آب گزارش شده است.

۶- پوشش‌های مبتنی بر پروتئین

پروتئین‌ها بایوپلیمرهایی هستند که درون گیاهان و حیوانات وجود دارند و به عنوان مواد ساختاری و عاملی برای فعالیت بیولوژیکی مناسب هستند. پروتئین دارای خصوصیات تشکیل فیلم عالی است و به طور موفقیت‌آمیزی بر روی فیلم و یا پوشش‌های مختلف برای کاربردهای متفاوت مانند پوشش سبزیجات، گوشت‌ها و بسته‌بندی کاغذ تشکیل می‌شود. پوشش‌های مبتنی بر پروتئین می‌توانند به وسیله پوشش‌دهی میله‌ای، پوشش‌دهی با اسپری و اکستروژن به کار برده شود که نفوذپذیری کمی به اکسیژن دارد اما به دلیل خصوصیات آبدوستی ذاتی^۱ WVP زیادی دارد. برای پوشش کاغذ، هم پروتئین گیاهی (گلوتن گندم، سویا و زئین) و هم پروتئین حیوانی (کازئین و هم پروتئین آب پنیر) به طور موفقیت‌آمیزی به کار برده می‌شود.

۱-۶- کازئین و کازئینات

کازئین، پروتئینی است که در شیر یافت شده و برای کاربردهای مختلف استخراج شده است. به هر حال به دلیل حلالیت ضعیف در آب ابتدا نیاز است که کازئین با یک هیدروکسید^۲ مناسب برای تبدیل به نمک محلول در آب یعنی کازئینات تیمار شود. کازئینات سدیم دارای خصوصیات تشکیل فیلم خوب از محلول‌های آبی است و فیلم سدیم کازئینات خصوصیات مکانیکی و ممانعتی خوبی دارد و از این رو می‌تواند به عنوان ماده پوشش‌دهنده کاغذ به کار برده شود که بهبود در خصوصیات ممانعتی و مکانیکی کاغذ با لایه سدیم کازئینات که با روش پوشش‌دهی میله‌ای پوشش‌دهی شده، گزارش شده است. افزایش ضخامت کاغذهای پوشش‌دهی شده به وزن پوشش بستگی دارد، با افزایش وزن پوشش از ۵ تا ۱۶ 2g/m، ضخامت کاغذهای

پوشش شده سدیم کازئینات تقریباً به صورت خطی افزایش می‌یابد و آن به طور مداوم یک لایه سطحی صاف تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، با افزایش غلظت کازئینات (۷، ۱۰ و ۱۲ درصد) به تدریج WVP کاهش می‌یابد. بهبود در خصوصیات مکانیکی (مقاومت به کشش و ازدیاد طول) کاغذهای پوشش شده مورد توجه قرار گرفتند و عمدتاً به وزن پوشش بستگی دارد.

۲-۶- پروتئین آب پنیر

پروتئین آب پنیر یک محصول جانبی تولید پنیر است که می‌توان از طریق فرآوری بیشتر برای استخراج برخی از پروتئین‌های تجاری مهم، مانند β لاکتو لاکتوگلوبولین^۳ همراه با برخی از پلی‌پپتیدهای کوچک در یک مخلوط پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. پروتئین آب پنیر بر اساس کیفیت و خلوص به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱- پروتئین آب پنیر غلیظ شده^۴ (WPC)

۲- پروتئین آب پنیر جدا شده^۵ (WPI)

WPI به دلیل فرآیند خالص‌سازی بیشتر دارای پروتئین‌های بیشتری است و از WPC گران‌تر است. پروتئین آب پنیر خصوصیات تشکیل فیلم عالی همراه با خصوصیات ممانعتی در برابر اکسیژن، عطر و روغن‌ها دارد. خصوصیات ممانعتی از طریق کراسلینک^۶ زنجیره‌های پلیمری می‌تواند بهبود یابد. کراسلینک‌ها می‌توانند به وسیله افزودن یک عامل کراسلینک مانند گلوکارآلدئید^۷ ایجاد شوند یا به وسیله تشکیل پیوندهای دی سولفید درون مولکولی هنگامی که پروتئین تا دمای دناتوراسیون^۸ گرم شده، آغاز می‌شود.

3- β Lacto Lactoglobulin

4- Whey protein Concentrate

5- Whey Protein Isolate

6- Crosslink

7- Glutaraldehyde

8- Denaturation

1- Water Vapor Permeability

2- Hydroxide

۳-۶- گلو تن گندم

گلو تن پروتئین ذخیره‌ای اصلی چندین غلات مانند گندم و ذرت است. گلو تن گندم از پروتئین‌های متعددی تشکیل شده که خصوصیات ویسکوالاستیک^۱ دارند. خصوصیات جالب متعددی مانند عدم انحلال در آب، آبدوستی کم، خصوصیات تشکیل فیلم، خصوصیات ممانعت به گاز و رفتار ویسکوالاستیک، گلو تن گندم را برای پوشش کاغذ مناسب می‌کند. کاغذهای پوشش داده شده با گلو تن گندم به عنوان مواد بسته‌بندی بررسی شدند.

۴-۶- پروتئین سویا

پروتئین سویا بر اساس میزان پروتئین موجود در آن در اشکال مختلفی مانند آرد سویا، سویا غلیظ شده و پروتئین سویای جدا شده^۲ (SPI)، در دسترس است. مشابه با گلو تن، پروتئین‌های سویا نیز پیوندهای دی‌سولفیدی دارند که به منظور بهبود خصوصیات مکانیکی و ممانعتی باید کاهش یابند. کاغذهای پوشش‌دهی شده با SPI خصوصیات ممانعتی به گاز و روغن را بهبود می‌دهند و همچنین خصوصیات مکانیکی را بهتر می‌نمایند. هنگامی که SPI بر روی مقوا پوشش‌دهی شود، در مقایسه با کاغذ پوشش‌دهی شده با آلزینات مقاومت به آب آن بیشتر شده و زاویه تماس آن افزایش می‌یابد.

۵-۶- زئین ذرت

زئین ذرت گروهی از پروتئین‌های محلول در آندوسپرم ذرت است و به طور تجاری به عنوان محصول جانبی پودر مرطوب ذرت در دسترس است. زئین ذرت به صورت فیلم یا پوشش کاغذ مزیت‌هایی مانند: عدم انحلال در آب، ایجاد لایه‌های قوی و براق مقاوم نسبت به نفوذ اکسیژن، رطوبت و گریس هستند. یک پوشش زئین ذرت به وسیله برس^۳ نرم بر روی کاغذ به کار برده می‌شود [۱۹]. از طریق پوشش‌دهی با

اسپری زئین ذرت بر روی کاغذ کرافت، سبب بهبود در مقاومت گریس و خصوصیات WVP می‌شود همچنین قابلیت بازیافت آسان و خمیرسازی مجدد از طریق هیدرولیز^۴ آنزیمی در مقایسه با کاغذهای تیمار شده با موم مشاهده می‌شود [۲۰].

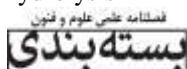
۷- پیشرفت در فناوری نانو برای کاربردهای کاغذ

در حالی که فن‌آوری نانو بیش از یک دهه است که محور اصلی تحقیقات علوم مواد است. اولین کاربردهای صنعتی در بخش‌هایی از قبیل: بسته‌بندی، داروسازی، الکترونیک، پلاستیک، مواد آرایشی، مواد غذایی و پوشش‌های کاغذی دو رویکرد اساسی وجود دارد.

برای استفاده از فناوری نانو اول، درک بهتری از ماهیت جسمی و شیمیایی فراهم می‌کند. از هر ماده اولیه استفاده می‌کند و به ما امکان می‌دهد خصوصیات مواد ذاتی را به کاربر نهایی منحصر به فرد منتقل کنیم. خواص با تجزیه مواد فلّه در بلوک‌های ساختمان اصلی (اتم یا مولکول)، به عنوان مثال، رویکرد بالا به پایین. دوم، این امکان را می‌دهد تا با تشکیل مواد ساختاری، ساخت دستگاه‌ها ایجاد شود. در الگوهای به خوبی تعریف شده با خصوصیات قابل تنظیم، یعنی رویکرد از پایین به بالا. خواص نانوذرات مواد با توجه به اندازه کوچک با مواد فلّه تفاوت دارند و مساحت بسیار بزرگی را نسبتاً فراهم می‌کنند. با حجم و در نتیجه فعالیت بالا. طبق تعریف، نانومواد باید یکی داشته باشند ابعاد در مقیاس طول نانومتر، یعنی کمتر از ۱۰۰ نانومتر. مهم‌تر از یک طبقه‌بندی دقیق با این حال، بر اساس اندازه، این است که نانومواد قادر به ارائه توابع اضافی به کاربر نهایی هستند تولید - محصول. برای دستیابی نهایی لازم، نانومواد به عنوان پرکننده در مقادیر کمی مورد نیاز هستند. خواص محصول و از این رو استفاده از مواد کمتری هم مقرون به صرفه

- 1- Viscoelastic
- 2- Soy Protein Isolate
- 3- Bristled

4- Hydrolysis



است و هم از نظر محیطی به دلیل تولید ضایعات کمتر مفید است.

کاغذ و مقوا دارند. اختلاط عوامل ضد میکروبی در پوشش‌ها برای تولید مواد بسته‌بندی کاغذی یک گزینه جذابی برای حفاظت از مواد غذایی در برابر گسترش و توسعه میکروارگانیسم‌ها است.

۸- الیاف نانو سلولزی

استفاده از الیاف نانو سلولزی در صنایع مختلف به دلیل خاصیت آن مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. طبیعت زیست محیطی مبتنی بر زیست تخریب‌پذیر، تجزیه‌پذیری عالی، خواص مکانیکی، نوری و مانع عالی در برابر اکسیژن و گریس این می‌تواند به عنوان (تقویت‌کننده) مواد افزودنی / پرکننده در^۱ و نانوکامپوزیت‌ها استفاده شود، در حالی که به عنوان یک اصلاح‌کننده رئولوژی در پوشش پراکندگی عمل می‌کند. با اصطلاح نانو سلولز، سه مورد متفاوت است نانومواد یعنی سلولز میکروفیبره شده (MFC)، سلولز نانوالیافی سلولز (NFC) و سلولز نانوبلورها (CNC) را می‌توان نشان داد. این نانوالیاف درون دیواره فیبر بومی سازماندهی می‌شوند. فیبر سلولز از لایه‌های تعریف شده از جمله لایه‌های اولیه (P) و دیواره ثانویه (S1، S2 و...) تشکیل شده است. (S3) هر یک از لایه‌ها با یک سازمان خاص و جهت‌گیری از نانوسیم‌ها مشخص می‌شوند. الیاف سلولز فیبرهای ابتدایی به عنوان بلوک‌های اساسی ساختاری سلولز در نظر گرفته می‌شوند. فیبر دارای دو حوزه بی‌شکل و بلور است، در حالی که سه نانومواد سلولزی (MFC، NFC و CNC) از این فیبرهای ابتدایی تشکیل شده‌اند. قطر فیبرهای ابتدایی ممکن است با منبع مبدأ باشد، یعنی انواع مختلف چوب یا گیاه متفاوت است، اما همیشه در بسته وجود داشته است.

۹- نتیجه گیری

این پوشش‌های بایوپلیمری ممکن است انتقال ناخواسته رطوبت را به محصولات غذایی به تأخیر بیندازد و مانع خوبی برای نفت و اکسیژن باشند، زیست تخریب‌پذیر می‌باشند و پتانسیل خوبی برای جایگزینی پوشش‌های سنتزی

۱۰- منابع

1. Bellussi, G.; Bohnet, M.; Bus, J.; Drauz, K.; Greim, H.; Jäckel, K.-P.; Karst, U.; Kleemann, A.; Kreysa, G.; Laird, T.; et al. (2000). "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry;" Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany.
2. Tang, X.Z.; Kumar, P.; Alavi, S.; Sandeep, K.P.(2012). "Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials." Crit. Rev. Food Sci. Nutr, 52, 426-442.
3. Khwaldia, K.; Arab-Tehrany, E.; Desobry, S. (2010). "Biopolymer coatings on paper packaging materials." Compr. Rev. Food Sci. F 2010, 9, 82-91.
4. Andersson, C. "New ways to enhance the functionality of paperboard by surface treatment—A review. Packag." Technol. Sci. 21, 339-373.
5. Rasal, R.M.; Janorkar, A.V.; Hirt, D.E.(2010). "Poly(lactic acid) modifications." Prog. Polym. Sci, 35, 338-356.
6. Cheng, H.-Y.; Yang, Y.-J.; Li, S.-C.; Hong, J.-Y.; Jang, G.-W. (2015). "Modification and extrusion coating of polylactic acid films." J. Appl. Polym. Sci. 132, doi:10.1002/app.42472.
7. Mekonnen, T.; Mussone, P.; Khalil, H.; Bressler, D. (2013). "Progress in bio-based plastics and plasticizing modifications." J. Mater. Chem. A, 1, 13379-13398.
8. Lao, H.-K.; Renard, E.; Linossier, I.; Langlois, V.; Vallée-Rehel, K. (2007). "Modification of poly(3-

1- Papermaking

- Process; Thai Tapioca Starch Cellulose Association: Bangkok,** Thailand, Available online:
<http://www.thaitapiocastarch.org/article17.asp> (accessed on 10 May 2015).
17. Lee, H.L.; Shin, J.Y.; Koh, C.H.; Ryu, H.; Lee, D.J.; Sohn, C. (2002). "Surface sizing with cationic starch: Its effect on paper quality and papermaking process." *Tappi J.*, 1, 34–40.
 18. Bordenave, N.; Grelier, S.; Coma, V. (2010). "Hydrophobization and antimicrobial activity of chitosan and paper-based packaging material." *Biomacromolecules*, 11, 88–96.
 19. Trezza, T.A.; Vergano, P.J. (1994). "Grease resistance of corn zein coated paper." *J. Food Sci.* 59, 912–915.
 20. Parris, N.; Dickey, L.C.; Wiles, J.L.; Moreau, R.A.; Cooke, P.H. (2000). "Enzymatic hydrolysis, grease permeation and water barrier properties of zein isolate coated paper." *J. Agric. Food Chem.* 48, 890–894.
 - hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) film by chemical graft copolymerization." *Biomacromolecules*, 8, 416–423.
 9. Kjellgren, H.; Gällstedt, M.; Engström, G.; Järnström, L. (2006). "Barrier and surface properties of chitosan-coated greaseproof paper." *Carbohydr. Polym.* 65, 453–460. *Coatings* 2015, 5 922
 10. Yang, N.; Deng, Y. (2000). "Paper sizing agents from micelle-like aggregates of polystyrene-based cationic copolymers." *J. Appl. Polym. Sci.*, 77, 2067–2073.
 11. Mahendrasingam, A.; Martin, C.; Fuller, W.; Blundell, D.J.; Mackerron, D.; Rule, R.J.; Oldman, R.J.; Liggat, J.; Riekkel, C.; Engström, P. (1995). "Microfocus X-ray diffraction of spherulites of poly-3-hydroxybutyrate." *J. Synchrotron. Radiat.* 2, 308–312.
 12. Van Tuil, R.; Fowler, P.; Lawther, M.; Weber, C.J. (2000). "Properties of biobased packaging materials. In *Biobased Packaging Material for the Food Industry—Status and Perspectives*," 1st ed.; Weber, C.J, Ed.; The Royal Veterinary and Agricultural: Fredriksberg, Denmark, pp. 13–44.
 13. Perry, P.A.; Donald, A.M. (2000). "The role of plasticization in starch granule assembly." *Biomacromolecules*, 1, 424–432.
 14. Vázquez, M.B.; Flores, S.K.; Campos, C.A.; Alvarado, J.; Gerschenson, L.N. (2009). "Antimicrobial activity and physical properties of chitosan-tapioca starch based edible films and coatings." *Food Res. Int.* 42, 762–769.
 15. Matsui, K. (2004). "Cassava bagasse-Kraft paper composites: Analysis of influence of impregnation with starch acetate on tensile strength and water absorption properties." *Carbohydr. Polym.* 55, 237–243.
 16. Sriroth, K.; Sangseethong, K. (2009). "Starch: An Important Component of the Paper Making

آدرس نویسنده

مازندران - ساری - کیلومتر ۱۰ جاده نکا -
 روبروی هتل بادله - دانشکده منابع طبیعی -
 صندوق پستی ۷۳۷