اهمیت مشتقات سلولزی در تولید فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر برای بسته‌بندی مواد غذایی

علی‌اصغر تاتاری [1*]، احسان شکاریان [2]

تاریخ دریافت مقاله: شهریور ماه۱۳۹۳
تاریخ پذیرش مقاله: مهر ماه ۱۳۹۳

چکیده

افزایش تولید و حجم مصرف پلاستیک‌ها و کامپوزیت‌های نفتی در زندگی روزمره بشر، منجر به تجمع حجم عظیمی از ضایعات پلاستیکی غیرقابل تجزیه شده است و این امر سبب ایجاد مشکلات زیست محیطی زیادی گردیده است. ارزیابی‌ها، نشان می‌دهد که هر ساله مقادیر بسیار زیادی پلاستیک در سراسر جهان تولید می‌شود و حجم زیادی از آن‌ها به دور انداخته می‌شوند و مقدار زیادی زباله پلاستیکی به محیط‌های دریایی وارد شده و تجمع می‌یابند. از آنجایی که زیست پلی‌مرها، از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آیند و بنابراین زیست تخریب پذیر می‌باشند، بنابراین استفاده از آن‌ها در مقایسه با پلی‌مرهای بر پایه ترکیبات نفتی، دارای حداقل آثار منفی زیست محیطی کم‌تری است. استفاده از پلی‌مرهای زیست‌تخریب‌پذیر از دو بعد می‌بایست مورد تأیید قرار گیرند، یکی از دیدگاه محیط‌زیستی است؛ یعنی این مواد باید به سرعت در محیط تجزیه شوند و دیگری، از دیدگاه صنعتی است، به این معنا که مواد باید خصوصیات مورد انتظار صنعت را از جمله دوام و کارایی داشته باشد. هزینه کم، تجدیدپذیر بودن، دسترس‌پذیری و پایداری گرمایی مناسب از مزایای اصلی پلی‌مرهای زیست تخریب‌پذیر می‌باشد. در این مقاله، تعدادی از مهم‌ترین مشتقات سلولزی مثل کربوکسی متیل سلولز، نیترات سلولز، سلوفان و غیره که در ساخت فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد دارند، بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی

مشتقات سلولزی[3]، بسته‌بندی[4]، کامپوزیت[5]، پلی‌مرهای[6] زیست تخریب‌پذیر، زیست محیطی و ترکیبات نفتی.

۱- مقدمه

امروزه روند رو به گسترش پلاستیک‌های مبتنی بر نفت، زمینه‌های پژوهشی زیادی را در حوزه مواد پلی‌مری زیست‌تخریب‌پذیر و کامپوزیت‌های حاصل از آن فراهم نموده است[۱]. ارزیابی‌ها و مطالعات نشان می‌دهد که هر ساله حدود ۱۵۰ میلیون تن پلاستیک در سراسر جهان تولید می‌شود و ٤٠ درصد از آن‌ها دور ریخته می‌شود و مقدار زیادی زباله پلاستیکی به محیط‌های دریایی وارد شده و تجمع می‌یابند. با اینکه پلاستیک‌ها بخش زیادی از طبیعت را اشغال کرده‌اند و در واقع موارد زیادی از اشیاء

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
(* نویسنده مسئول: Asghar.tatari2007@mail.ru)
۲- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزادشهر، گروه مهندسی شیمی، آزادشهر، ایران.
(Ehsan.Shekarian@gmail.com)

3- Cellulose derivatives
4- Packaging
5- Composite
6- Polymers

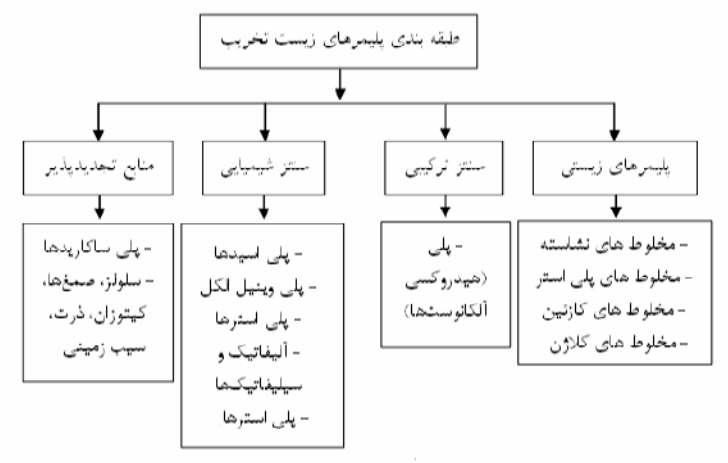
(با کاربردهای خانگی، صنعتی و محیطی) از جنس پلاستیک و بر پایه نفت هستند؛ اما مشکلات عمده‌ای در مورد آن‌ها وجود دارد که مهم‌ترین آن، مشکلات زیست‌محیطی آن‌هاست؛ آن‌ها تجزیه‌ناپذیر بوده و دائماً تراکم ضایعات پلاستیکی در حال افزایش است. مشکل دیگر تولید پلاستیک‌های بر پایه نفت می‌باشد که تولید این مواد از منابع فسیلی و محدود است که تجدیدپذیر نمی‌باشد. این دو علت مهم باعث شده که دانشمندان در تلاش برای یافتن جایگزین‌های مناسبی برای پلاستیک‌های نفتی باشند که برای اکوسیستم[1] ضرر نداشته باشد و از منابع تجدیدشدنی به دست آید، البته تولید صنعتی این پلی‌مرها، مستلزم کشت گیاهان مورد استفاده به عنوان ماده اولیه در مقیاس انبوه است[۲]. با هدف غلبه بر مشکلات زیست‌محیطی ناشی از تجمع پلاستیک‌های مصنوعی در طبیعت، فعالیت‌های پژوهشی گسترده‌ای در زمینه پلی‌مرهای زیست‌تخریب‌پذیر در حال انجام است. بخش عمده‌ای از این پژوهش‌ها بر روی تولید پلی‌مرهای زیست‌تخریب‌پذیر با استفاده از منابع کربن ارزان قیمت، جداسازی ریزساز واره‌های جدید با سرعت رشد و تولید بالا و نیز ابداع روش‌های جدید استخراج با هدف کاهش قیمت تمام شده پلی‌مر، متمرکز است[۳]. از آنجایی که زیست پلی‌مرها از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آیند و زیست تخریب‌پذیرند، بنابراین استفاده از آن‌ها در مقایسه با پلی‌مرهای بر پایه ترکیبات نفتی، دارای حداقل آثار منفی زیست محیطی است. طبقه‌بندی پلی‌مرهای زیست تخریب‌پذیر در(شکل ۱) ارائه شده است. امروزه این ترکیبات در زمینه‌های مختلف مانند فیزیوتراپی[2]، داروسازی، پزشکی، پوشش‌دهی، محصولات غذایی و ... استفاده می‌شوند[۱۵ و۱۶]. علاوه بر موارد فوق، در مواردی به منظور ایجاد ویژگی‌های خاص در محصول، به طور مستقیم از پلی‌مرهای زیست‌تخریب‌پذیر در ترکیب با پلی‌مرهای سنتزی[3] برای کاربردهایی مثل بسته‌بندی‌های زیستی استفاده می‌شود[۱].

پتانسیل‌های شگفت‌انگیز صنعت برای استفاده از بیوتکنولوژی[4] شاید بیشتر از همه جا در بخش تولید پلاستیک به وضوح قابل مشاهده باشد. در این بخش، با استفاده از فرآیندهای زیستی، جایگزین شدن نفت با محصولات کشاورزی به عنوان منابع تجدید شونده و ماده اولیه تولید مونومرها[5] و پلی‌مرهای مورد استفاده برای تولید پلاستیک‌هایی مانند پلی‌استر[6] ممکن شده است. بیوتکنولوژی صنعتی امکان استفاه از عناصر تشکیل‌دهنده گیاهان (کربن و هیدروژن[7]) را فراهم کرده و این عناصر را به عنوان مواد اولیه تولید مواد پلاستیکی قابل تجزیه معرفی و پیشنهاد نموده است. چنین فرآیندهایی محصولات کشاورزی و حتّی پسماندهای آن‌ها را به عنوان ماده اولیه تولید پلاستیک به‌طور کامل جایگزین نفت خام خواهد نمود. این اتّفاق به این معنی است که بیوتکنولوژی می‌تواند از مقدار مواد شیمیایی و انرژی مورد نیاز برای تولید پلاستیک‌ها بکاهد و پتانسیل‌هایی را برای کاهش قابل توجّه مواد پسماند از زباله‌ها فراهم آورد[٤].

نانوکامپوزیت‌های[8] پلی‌مری نیز توجّه دانشمندان زیادی را به خود جلب کرده است؛ زیرا در این گونه مواد، به دلیل پراکندگی اجزای پرکننده در مقیاس نانومتری[9] درون ماتریس[10] پلی‌مری، خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی مواد به طور چشمگیری نسبت به پلی‌مر خالص و یا کامپوزیت‌های معمولی افزایش می‌یابد[۵]. در حال حاضر، نانوکامپوزیت‌های سلولزی به عنوان یکی از حوزه‌های بسیار امیدوارکننده توسعه علمی و راهبردی در زمینه محصولات گیاهی هستند[٦].

1- Ecosystem
2- Physiotherapy
3- Synthetic

4- Biotechnology
5- Monomer
6- Polysters
7- Hydrogen
8- Nanocomposite
9- Nanometric
10- Matrix



شکل ۱- طبقه‌بندی پلی‌مرهای زیست تخریب‌پذیر[۱۷].

۲- اهمیت و کاربرد مشتقات سلولز در صنایع بسته‌بندی

عمده‌ترین و اصلی‌ترین هدف استفاده از پلی‌مرهای زیست‌تخریب‌پذیر، آلودگی ناشی از مواد بسته‌بندی تولید شده از مشتقات نفتی و مشکلات مربوط به آن(دفن کردن، سوزاندن و بازیافت) می‌باشد. به سبب همین مشکلات، استفاده از فیلم‌های خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی و به ویژه دارو، مورد توجّه بوده است. این فیلم‌ها موجب حفظ کیفیت ماده غذایی می‌شود[۷]. عمدتاً کاربرد فیلم‌ها و خواص آن‌ها به شرایط تشکیل فیلم مثل ماهیت، غلظت و میزان مصرف حلال‌ها، شرایط خشک کردن و ماهیت مقدار نرم‌کننده دارد[۸]. نشاسته و مشتقات آن، سلولز و مشتقات آن و همچنین آرابینوزایلان‌ها[1] و گالاکتومانان‌ها[2] از مهم‌ترین مواد مورد استفاده در تهیه فیلم‌های خوراکی هستند[۹].

به‌طور کلی استفاده از فیلم‌های تقویت شده با مشتقات سلولز در بسته‌بندی مواد غذایی باعث می‌شود، بازدارندگی بهتری در مقابل ترکیب‌های عطری و طعمی به وجود آید و مواد غذایی در طول بسته‌بندی، حمل‌ونقل و توزیع حفظ شده و از وارد آمدن تنش به آن جلوگیری شود [۸].

انتخاب بسته‌بندی خوراکی بیشتر وابسته به ویژگی‌های محصولات غذایی که نیازمند به محافظت و شرایط ذخیره‌ای دارند، می‌باشد[۱۸]. انواع مختلفی از مواد بسته‌بندی بر پایه زیستی، ویژگی‌های منحصر بفردی از لحاظ عبور بخار آب و گازها، خواص مکانیکی، حرارتی، مقاومت(در برابر آب، گریس، اسید، نور UV و غیره)، فرآیندپذیری(در خط بسته‌بندی)، شفافیت، چاپ و در دسترس بودن دارند[۱۹]. فیلم‌های خوراکی و پوشش‌دهی برای اهدافی چون بسته‌بندی گوشت، مرغ، غذاهای دریایی، میوه‌ها، سبزیجات، حبوبات، نوشیدنی، غذاهای ناهمگن و پیچیده، تازه، فرآوری شده و منجمد استفاده شده است. در این بخش اشاره‌ای به برخی از این موارد شده است.

۲-۱- فرآورده‌های گوشتی(مرغ، گوشت، ماهی و غیره)

تقریباً هر بخش صنعت غذایی با توجّه به نیازش توسط فرمول‌بندی پوشش خوراکی مناسب، بهینه می‌شود. به طور مثال پوشش‌دهی در بسته‌بندی گوشت، با توجّه با مزایای فراوان بسته‌بندی خوراکی، پتانسیل‌های کاربردی آن شامل مواد ذیل می‌باشد:

- کاهش رطوبت در طول ذخیره‌سازی گوشت تازه یا منجمد، موجب تغییراتی در بافت، مزه و رنگ خواهد شد. تمامی موارد ذکر شده فوق، باعث کاهش ارزش وزن قابل فروش و کیفیت گوشت می‌شوند. پوشش‌دهی خوراکی با ویژگی‌های ممانعتی(رطوبتی) خوب می‌تواند به مشکلات

1- Arabinoxylan
2- Galactomannan

کاهش رطوبت کمک شایانی نماید. برای مثال زمانی که گوشت از بسته‌بندی خلأ خارج می‌شود، ۳ تا ۵ درصد کاهش در وزن به علت تبخیر رطوبت اتّفاق می‌افتد. استفاده از پوشش‌دهی قبل از بسته‌بندی خلأ می‌تواند این رطوبت را حفظ کند و تأثیر اقتصادی زیادی را به وسیله افزایش وزن قابل فروش ایجاد نماید.

– مشکل آب انداختن گوشت از جمله مشکلات متداول بسته‌بندی گوشت تازه، مرغ و یا ماهی است که موجب عدم رضایت مصرف‌کننده خواهد شد. پوشش‌دهی قبل از بسته‌بندی می‌تواند از این مشکل نیز جلوگیری کند[۲۰].

کربوهیدرات‌ها[1]، فیلم‌های خوراکی و پوشش‌دهی اغلب برای بهبود کیفیت و پایداری گوشت در طول ذخیره‌سازی و عرضه استفاده می‌شود. هرچند پوشش مواد کلوییدی[2] مانند سلولزها، ویژگی‌های ممانعتی ضعیفی در برابر آب دارند؛ اما می‌توان از این مواد برای جلوگیری از کاهش آب فرآورده‌های گوشتی استفاده نمود که به ماندگاری بیشتر آن‌ها منجر می‌شود. کلاژن‌ها[3]، کازئین‌ها[4] و مشتقات سلولز مثل کربوکسی متیل سلولز[5]، متیل سلولز[6]، هیدروکسی متیل سلولز[7] می‌تواند به عنوان پیش پوشش‌دهی به منظور بهبود چسبندگی و انعطاف‌پذیری به ویژه برای بسته‌بندی گوشت و ماهی استفاده شود. همچنین از مشتقات سلولزی محلول در آب نیز می‌توان به عنوان سس‌هایی برای پوشش‌دهی و جلوگیری از کاهش آب فرآورده‌های گوشتی در طی پخت و پز استفاده نمود[۱۸].

استفاده از مخلوط مشتقات سلولزی و اسیدها (مانند لاکتیک اسید[8] یا استیک اسید[9]) و یا عوامل ضد میکروبی بر روی قطعات گوشت نیز منجر به کاهش رشد میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری لیستریا مونوسیتوژنز[10] می‌شود. برای شکل‌دهی و حفاظت از سوسیس در طول تخمیر، خشک کردن و دودی کردن که سابقاً به کمک روده حیوانات انجام می‌شد، در حال حاضر به طور عمده از فیلم‌های خوراکی کلاژن[11] و یا سلولزی استفاده می‌شود. این جایگزینی، صنعتی‌تر است و اجازه کنترل بهتر در طی فرآیند تولید و ذخیره‌سازی را امکان‌پذیر می‌نماید[۱۸و۱۹].

۲-۲- میوه‌ها، سبزیجات و آجیل‌ها

عامل اصلی تخریب میوه‌ها و سبزی‌ها، تبادلات گازی است که سبب تعرق و فساد آن‌ها در طی ذخیره‌سازی می‌شود [۱۸].فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در مقایسه با پلی‌مرهای بر پایه نفت، در مقابل گازهای تنفسی بازدارندگی بسیار خوبی دارند. ضمن اینکه این پوشش‌ها قادرند به عنوان حامل افزودنی‌ها و ترکیبات مختلف مثل مواد ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدان‌ها[12] عمل نمایند که در این حالت به آن‌ها بسته‌بندی فعال[13] نیز اطلاق می‌شود [۱۰]. نسبت عبوردهی بین اکسیژن و دی اکسید کربن بیشتر پلاستیک‌ها تقریباً ٤:١ می‌باشد. این نسبت در پلاستیک‌های زیستی ۳۰:۱ است. این ویژگی پلاستیک‌های زیستی که مقدار دی اکسید کربن بیشتری در مقایسه با اکسیژن از خود عبور می‌دهند، این مواد را برای بسته‌بندی میوه و سبزیجات مناسب کرده است. هرچند، عبور بخار آب زیاد برخی از این مواد همیشه برای کاربردهای بسته‌بندی ضروری نیست [۱۹].

یکی از راه‌های محافظت برخی از میوه‌ها (مانند انگور، زردآلو، انبه و غیره) خشک کردن می‌باشد. از آنجایی که این میوه‌ها دارای قند زیادی می‌باشند، لذا تمایل به چسبیدن و متراکم شدن دارند. همچنین از دست دادن رطوبت باعث می‌شود، سخت و سفت شوند. بنابراین، استفاده از برخی پوشش‌های ساخته شده از مشتقات

1- Carbohydrates
2- Colloidal
3- Collagen
4- Casein
5- Carboxymethyl cellulose
6- Methyl cellulose
7- Hydroxyl methyl cellulose
8- Lactic Acid
9- Acetic acid

10- Listeria monocytogenes
11- Collagen
12- Antyoxidant
13- Active Packaging

سلولز، نشاسته و یا پروتئین، برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود. انتقال روغن و اکسیداسیون آجیل، بادام، فندق و بادام زمینی را می‌توان با پوشش‌های مشتق سلولز مانند سلوفان و متیل سلولز محافظت نمود [۱۸].

۲-۳- آب‌نبات و شکلات

بسیاری از آب‌نبات‌ها و شکلات‌ها برای جلوگیری از چسبندگی، تراکم، جذب رطوبت و خروج روغن و چربی موجود در کاکائو، نیاز به پوشش‌های خوراکی دارند. در واقع، مشتقات سلولزی به خوبی قادر هستند خروج آب و روغن از پروتئین شیر و کاکائو را کاهش دهند. تحقیقات نشان داده است که فیلم‌ها و پوشش‌های متیل سلولز دارای نفوذپذیری بسیار کم چربی(کمتر از پلاستیک) هستند و قادر به کاهش انتقال روغن از کره کاکائو می‌باشند[۱۸].

۲-٤- پنیر

در طی ذخیره‌سازی پنیر، دی اکسید کربن آزاد می‌شود. با توجّه به این خاصیت پنیر، موادی که برای بسته‌بندی آن استفاده می‌شوند باید توانایی بالایی در انتقال دی اکسید کربن داشته باشند. به همین منظور، مشتقات سلولز مانند سلوفان می‌توانند برای بسته‌بندی پنیر گزینه مناسبی باشند[۲۱].

۲-۵- ظروف و بسته‌بندی یکبار مصرف غذایی

یکی از راه‌هایی که می‌تواند کمک شایانی به حفظ محیط زیست نماید، استفاده از تجهیزات و بسته‌بندی‌های یکبار مصرف تهیه شده از مواد زیست تخریب‌پذیر است. به عنوان مثال اگر تمام بسته‌بندی، کارد و چنگال برای مصرف وعده‌های غذایی همبرگر و یا دیگر غذاهای آماده از مواد زیست تخریب‌پذیر تولید شده باشد، این امر می‌تواند امکان تبدیل تمام ضایعات رستوران‌ها به کمپوست[1] را فراهم کند[۱۹].

۳- مهم‌ترین انواع پلی‌مرهای زیست‌تخریب‌پذیر مشتق از سلولز

۳-۱- نانو سلولز[2]

امروزه به استفاده از نانوسلولز به‌عنوان فاز تقویت‌کننده در محصولات پلی‌مری زیست تخریب‌پذیر، توجّه ویژه‌ای شده است. نانوسلولز به‌دلیل سطح ویژه زیاد، تجدیدپذیری، خواص کششی زیاد، مدول الاستیک[3] فوق‌العاده زیاد (۱٦۷/۵ گیگا پاسکال[4]) باعث بهبود قابل توجّه در خواص نانوکامپوزیت‌ها (مکانیکی، بازدارندگی نسبت به گازها و بیشتر با هدف افزایش زیست تخریب‌پذیری نانوکامپوزیت‌ها) شده است. هر فیبریل[5] ۱۰-۵ نانومتر قطر و طولی در حدود چند صد نانومتر تا چندین میکرومتر[6] دارد. در حین هیدرولیز[7] اسیدی، میکروفیبریل‌ها در نواحی آمورف[8] شکسته شده و سلولز کریستالی[9] یا رشته‌های آن آزاد می‌شوند. به دلیل خاصیت آرایش کریستالی، رشته‌های سلولز حاصل، مدول زیادی داشته و به عنوان مواد تقویت‌کننده در کامپوزیت‌ها استفاده می‌شوند[۱۹].

فیلم‌های سلولزی از نظر ویژگی ممانعتی بخار آب ضعیف می‌باشند، چون که پلی‌ساکاریدها به طور ذاتی آب دوست می‌باشند. بدین منظور برای رفع این عیوب در بسته‌بندی مواد غذایی و اهمیت ویژگی‌های جذب آب و نفوذ اکسیژن، استفاده از سامانه‌های ترکیب تقویت‌کننده (مثل نانوذرّات کیتوزان و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز[10]) برای افزایش مقاومت‌های مکانیکی و همچنین بهبود ویژگی‌های ممانعتی پیشنهاد شده است [۲۲].

1- Compost

2- Nanocellulose
3- Elastic modulus
4- Giga pascal
5- Fibrill
6- Micrometer
7- Hydrolysis acid
8- Amorphous
9- Crystally cellulose
10- Hydroxy propyl methyl cellulose

۳-۲- کربوکسی متیل سلولز

کربوکسی متیل سلولز، یکی از ارزان‌ترین و فراوان‌ترین پلی‌مرهای زیست تخریب‌پذیر است که قابلیت تشکیل فیلم‌های مقاوم، شفاف، پیوسته و یکنواخت را دارد. به علت انعطاف‌پذیری کم و شکنندگی فیلم‌های خالص کربوکسی متیل سلولز، از نرم‌کننده‌ها به منظور افزایش انعطاف‌پذیری فیلم‌های آن استفاده می‌شود. کربوکسی متیل سلولز، معمولاً به وسیله واکنش سلولز با قلیا و یا کلر و استیک اسید، به صورت اسید یا نمک سدیم، با سلولز قلیایی به وجود می‌آید. خصوصیات عملکردی کربوکسی متیل سلولز وابسته به درجه استخلاف و ساختار سلولز دارد. درجه استخلاف کربوکسی متیل سلولز معمولاً بین ۰/۶ تا ۰/۹۵ می‌باشد. به دلیل ویژگی‌های متنوع، CMC در طیف گسترده‌ای استفاده می‌شود. این ماده به سرعت در آب سرد و گرم حل می‌شود و اساساً در مواردی که کنترل ویسکوزیته[1] هدف باشد از این ماده استفاده می‌گردد. از کربوکسی متیل سلولز می‌توان در ساخت کامپوزیت‌هایی با مقاومت زیاد استفاده کرد. این ماده در فرآیندهای کاغذسازی به دلیل تشکیل فیلم خوب و انحلال سریع در آب به صورت پوشش‌دهی روی کاغذ و یا در پایانه تر کاغذسازی قابل استفاده بوده و مقاومت در برابر ساییدگی و یکنواختی سطح و ویژگی ضدشکنندگی، قدرت کشش و سختی کاغذ را افزایش می‌دهد و برای اصلاح شیمیایی الیاف نیز از آن استفاده می‌شود. تشکیل‌دهنده لایه چسبنده و غلظت‌بخش، باعث افزایش استحکام، عامل بهبودی سطح و جلای آن بوده و نیز انعطاف سطح در برابر تاخوری کاغذ را بهبود می‌بخشد. همچنین در ساخت مقوای کنگره‌ای به عنوان عامل کنترل‌کننده ویسکوزیته و تثبیت‌کننده برای خمیرهای نشاسته‌ای و چسب قابل استفاده می‌باشد [۱و ۲۰].

۳-۳- نانو کریستال سلولز[2]

نانو کریستال سلولز، نوعی پلی‌مر طبیعی با خواص زیستی است. این پلی‌مر، قوی‌تر از استیل بوده و سبک وزن و بادوام است و می‌تواند به عنوان عامل تقویت‌کننده برای بهبود خواص پلی‌مرها استفاده شود. نانو کریستال سلولز، نوعی بلوک ساختمانی پایه‌ای از سلولز است که فراوان‌ترین پلی‌مر آلی روی زمین بوده و از دو ساختار کریستالی و آمورف تشکیل شده است. این نانو پلی‌مر که نانو کریستال سلولز یا NCC نامیده می‌شود، قابل بازیافت می‌باشد. نانو کریستالین سلولز[3] را می‌توان از الیاف پنبه یا خمیر حل شونده، به کمک روش هیدرولیز[4] اسیدی تولید کرد. اندازه کریستالین سلولز در حدود ۱۰۰ نانومتر است. سلولز، از طریق فرآیند هموژنیزاسیون[5]، به ذرّاتی کوچک تبدیل شده و در فشار زیاد به نانوکریستال‌ها تبدیل می‌شود [۲۱و ۱۱]. ویژگی‌های مکانیکی مطلوب (مدول یانگ[6] زیاد در حدود ۱۵۰ گیگاپاسکال و استحکام کششی در حدود ۱۰ گیگا پاسکال) و توانایی تشکیل شبکه و فیلم خوب، این ماده را به عنوان تقویت‌کننده عالی برای محصولات پلی‌مری مورد توجّه قرار داده است. به عنوان مثال می‌توان به استفاده نانوکریستالین سلولز به عنوان تقویت کننده در فیلم‌های کیتوزان[7] اشاره نمود. کیتوزان ماده‌ای غیرسمّی، زیست‌تخریب‌پذیر و دارای خواص ضدمیکروبی است. از این ماده برای بسته‌بندی و نگه‌داری میوه‌ها، گوشت قرمز، سوسیس و غیره استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد در صورت استفاده از ۵٪ نانوکریستالین سلولز در کیتوزان، مقاومت کششی و نفوذپذیری بخار آب به طور موثری بهبود می‌یابد[۲۲].

1- Viscosity

2- Nano crystal cellulose (NCC)
3- Crystalline
4- Hydrolysis
5- Homogenization
6- Young models
7- Chitosan

۳-٤- استات سلولز[1]

سلولز استات یک پلی‌مر نیمه کریستالی قابل دسترس به صورت تجاری است که در تولید رشته(فیلامنت[2]) برای صنایع نساجی و همچنین تولید فیلم‌ها کاربرد دارد. در حال حاضر، استفاده از این ماده در صنایع فوق‌الذکر به صورت انحلال ثانویه این ماده در استون[3] می‌باشد. محلول حاوی ۲۰ تا ۳۰ درصد پلی‌مر در فرآیند ریسندگی خشک به وسیله تبخیر سطحی حلال در طول فرآیند از رشته‌ساز(محفظه‌ای با تعداد ۲۰ تا ۱۰۰ سوراخ) خارج می‌شود. در تولید مواد پلاستیکی به ویژه هنگامی که استات سلولز با بوتیرات[4] ترکیب می‌شود، به راحتی در دستگاه‌های تزریقی قالب‌گیری می‌شود و در نهایت به محصولی با مقاومت‌های ظاهری مطلوب تبدیل می‌گردد. این محصول قابل رقابت با پلاستیک‌های بر پایه نفت می‌باشد. فیلم‌های حاصل از تری استات سلولز[5] دارای کیفیت زیاد، ثبات ابعادی عالی و قابلیت اشتعال‌پذیری بسیار کم(برعکس فیلم‌های حاصل از نیترات سلولز[6] که بسیار اشتعال‌پذیر هستند) می‌باشند [۲۳و۱۲].

ویژگی فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر حاصل از استات سلولز، قابل مقایسه با سایر فیلم‌های پلاستیکی بر پایه استرهای سلولزی است. مقاومت به بخار و اکسیژن در این فیلم‌ها در مقایسه با پلاستیک‌های استاندارد، نسبتاً زیاد است. عمده‌ترین زمینه کاربردی فیلم‌های استات سلولز در بسته‌بندی خشک است. همچنین این مواد برای مدّت کوتاه مقاوم به روغن‌ها، چربی‌ها، اسید و قلیای ضعیف می‌باشند. بنابراین برای بسته‌بندی مواد غذایی (مثل بسته‌بندی پیتزا، همبرگر و سایر غذاهای فست فود[7]) که معمولاً دوره بسته‌بندی تا مصرف آن بسیار کوتاه می‌باشد، مناسب است[۲۶]. برای سالیان متمادی، استات سلولز برای بسته‌بندی مواد غذایی مثل نان، فرآورده‌های تازه، گوشت، پنیر و شکلات استفاده شده است [۲۷].

۳-۵- نیترات سلولز[8]

امروزه نوع تجاری نیترات سلولز به دلیل قابلیت‌های بسیار خوب(سفید، شفاف، بی‌بو و غیرسمّی بودن) در انواع رنگ‌ها، لاک‌ها، فیلم‌های پلاستیکی، سلولوئیدها[9]، پوشاک، چرم‌های مصنوعی، صنایع چاپ، غذایی، دارویی و موارد مختلف فراوان دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمده‌ترین استفاده تجاری از این ماده، استفاده از آن در صنایع نظامی به منظور تولید مواد منفجره است. مواد آغازگر در تولید این ماده یا لینتر[10] پنبه با خلوص بین ۹۲ تا ۹۶ درصد می‌باشد. نیترات سلولز پس از نیتراسیون[11] یک مولکول به شکل پلی‌مری است که بسیار ناپایدار و ناخالص می‌باشد. کاربردهای مختلف این ماده به درصد ازت، مقدار پایداری و درجهٔ پلی‌مریزاسیون[12] یا ویسکوزیتهٔ آن بستگی دارد. بنابراین خالص‌سازی، پایدارسازی و تثبیت ویسکوزیتهٔ آن، مراحل مهمی در فرآیند تولید است. این مراحل می‌تواند به صورت پیوسته و یا ناپیوسته انجام شود. در این مراحل، معمولاً عوامل ناپایداری مثل استرهای سولفوسلولز[13] حذف می‌گردند و با پخت تحت فشار زنجیرهای نیتروسلولز شکسته شده و به زنجیرهای کوتاه‌تر تبدیل می‌شوند. معرفی نیترات سلولز با ویسکوزیته کم به عنوان ماده اولیه پوشش‌های سطحی برای تولیدکنندگان، باعث شد به سرعت میزان مصرف آن در رنگ‌ها و جلادهنده‌ها افزایش یابد. از عمده‌ترین مشخصات کاربرد این ماده، می‌توان به سریع خشک شدن، افزایش دوام پوشش‌ها و همچنین مورد مصرف ساده آن اشاره کرد[۱۲].

1- Cellulose acetate
2- Filament
3- Acetone
4- Butyrate
5- Tri cellulose acetate
6- Cellulose nitrate
7- Fast food
8- Nitrate cellulose
9- Celloloid
10- Linter
11- Nitration
12- Polymerisation
13- Sulfo cellulose esters

۳-۶- سلوفان[1]

عمده‌ترین کاربرد سلوفان، برای بسته‌بندی شفاف مواد غذایی است که این ماده نوعی سلولز بازسازی شده است. این ماده به وسیله اکسترودر[2] کردن ویسکوز[3] قلیایی و پراکندگی زانتات سلولز[4] در حمام اسید/ نمک تولید شده و پس از تیمار با نرم‌کننده(مانند گلیسرول[5]) خشک می‌شود و فیلم شفاف با وضوح و روشنی عالی به دست می‌آید. سلوفان در شرایط خشک بسیار ترد و شکننده است. بنابراین استفاده از نرم‌کننده برای بهبود انعطاف‌پذیری ضروری است. فیلم‌های سلوفان دارای مقاومت به آب و بخار زیادی نسبت به پلی‌اتیلن سنگین و سبک می‌باشد. فیلم‌های حاصل از سلوفان، گرما نرم نبوده و در مقابل حرارت مقاوم نمی‌باشد. سلوفان موجب ایجاد بسته‌بندی مقاوم با مقاومت کششی بسیار عالی نسبت به پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن می‌شود. همچنین سلوفان یک ماده عالی برای بسته‌بندی‌های مواد غذایی که نیاز به بازکردن سریع دارند، می‌باشد [۲٤].

۳-۷- سلولز باکتریایی[6]

سلولز باکتریایی نیز پتانسیل عظیمی در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی دارد؛ اما تا این مرحله، هنوز در مقیاس صنعتی استفاده نشده است. سلولز باکتریایی، یک نوع سلولز سنتز[7] شده توسط برخی باکتری‌ها مثل استوبکتر[8]، اُکنتوموبا[9] و اُکروموباکتر ای.پی.پی[10] می‌باشد. این ماده همانند سلولز حاصل از گیاهان است، ولی در بعضی خواص مانند خلوص زیاد، بلورینگی، درجه پلیمریزاسیون[11] و مقاومت کششی با سلولزهای گیاهی تفاوت دارد [۲۸و۲۹]. این ماده ویژگی‌های منحصر به‌فرد فیزیکی، بلورینگی زیاد، ظرفیت نگه‌داری آب زیاد، سطح زیاد، الاستیسیته[12] بالا، مقاومت مکانیکی و زیست‌سازگاری زیادی از خود نشان می‌دهد [۲۹و۳۰].

٤- نتیجه گیری

استفاده از مواد بر پایه سلولز که زیست‌تخریب‌پذیرند، به منظور بسته‌بندی مواد غذایی، زمینه پژوهشی جالبی در دهه اخیر بوده است. با نگاهی جامع و بلند مدّت به صنعت بسته‌بندی در کشور، صنعت نوپای تولید پلی‌مرهای زیستی در دنیا، مشکلات و موانع موجود فعلی در استفاده از مواد بسته‌بندی سنتی و بالاخره مزیت‌های موجود در کشور برای سرمایه‌گذاری در این زمینه جا دارد. تولید و استفاده از پلی‌مرهای بر پایه نفت، علاوه بر منبع قابل توجّه آلودگی‌های زیست محیطی، جزو شاخص‌های اساسی در اقتصاد کشورها می‌باشد. از دیدگاه اقتصادی نیز تولید پلی‌مرهای زیست تخریب‌پذیر، اقتصاد جدیدی ایجاد خواهد کرد. اقتصاد پلی‌مرهای زیست‌تخریب‌پذیر، مشابه اقتصاد تولید پلی‌مر از نفت است. زیرا این پلی‌مرهای نوین به تدریج با کاهش منابع نفتی، به طور کامل جایگزین پلی‌مرهای حاصل از نفت خواهد شد و از نظر قیمت رقابت خواهد نمود. در این میان، مشتقات سلولز نقش مهمی را بین پلی‌مرهای زیست تخریب‌پذیر و مخصوصاً در صنایع بسته‌بندی ایفا می‌کنند در این مقاله با توجّه به اهمیت موضوع، به معرفی، بیان ویژگی‌ها و خصوصیات نانو سلولز، کربوکسی متیل سلولز، نانو کریستال سلولز، استات سلولز، نیترات سلولز، سلوفان و سلولز باکتریایی که از مهم‌ترین مشتقات سلولز می‌باشند، پرداخته شده است. سلولزها، ویژگی‌های ممانعتی ضعیفی در برابر آب دارند؛ اما می‌توان از این مواد برای جلوگیری از کاهش آب فرآورده‌های گوشتی استفاده نمود که به ماندگاری بیشتر آن‌ها منجر می‌شود. پوشش‌های خوراکی در مقایسه با پلی‌مرهای بر پایه نفت، در مقابل گازهای تنفسی

1- Cellophane
2- Extruder
3- Viscous materials
4- Cellulose xanthate
5- Glycerol
6- Bacterial cellulose
7- Synthesis
8- Acetobacter
9- Acanthamoeba
10- Achromobacter spp
11- Polymerisation
12- Elasticity

بازدارندگی بسیار خوبی دارند که این خاصیت در بسته‌بندی میوه‌ها و سبزیجات حائز اهمیت است. ضمن اینکه این پوشش‌ها قادرند به عنوان حامل افزودنی‌ها و ترکیبات مختلف مثل مواد ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدان‌ها عمل نمایند. در طی ذخیره‌سازی پنیر، دی اکسید کربن آزاد می‌شود. با توجّه به این خاصیت پنیر، مشتقات سلولزی که توانایی بالایی در انتقال دی اکسید کربن دارند، می‌توانند برای بسته‌بندی این ماده مناسب باشند. مشتقات سلولزی به خوبی قادر هستند خروج آب و روغن از پروتئین شیر و کاکائو را کاهش دهند. به طور کلی این مشتقات در بسته‌بندی مواد مختلف غذایی مانند مرغ، گوشت، ماهی، میوه‌ها، سبزیجات، شکلات، پنیر و ... کاربرد دارند. همچنین از مشتقات سلولز می‌توان برای تهیه ظروف و بسته‌بندی یکبار مصرف غذایی نیز استفاده نمود که می‌تواند کمک شایانی به حفظ محیط زیست نماید.

۵- منابع

۱. ابوالقاسمی فخری، ل.، قنبرزاده، ب.، دهقان نیا، ج. و انتظامی، ع، ۱۳۹۰، «اثر مونت موریلونیت و نانو بلورسلولوز بر خواص فیزیکی فیلم‌های آمیخته کربوکسی متیل سلولوز - پلی‌وینیل الکل»، مجلّه علوم و تکنولوژی پلی‌مر، ۲٤(٦): ٤٦٦-٤٥٥.

۲. چائی بخش لنگرودی، ا.، عیسی زاده، خ. ، فائزی قاسمی، م. و فرهمند، م. ۱۳۹۰، «بررسی اثر منابع کربن و نیتروژن و دوره‌های انکوباسیون مختلف در بیوسنتز PHB به عنوان بیوپلاستیک به وسیله6633 Bacillus subtilis ATCC»، مجلّه علمی- پژوهشی زیست فنّاوری میکروبی دانشگاه آزاد اسلامی، ۳(۱۰)، ۱٤-۷.

۳. خسروی دارانی، ک.، واشقانی فراهانی، ا.، ۱۳۸٤، «انواع ریزسازواره و سامانه تولید پلی‌مر زیست تخریب‌پذیر پلی‌هیدروکسی بوتیرات»، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۲٤(۱): ۱۹-۱.

٤. آریایی منفرد، م.ه. شاکری، ع.ر.، و رضایتی چرانی، پ، ۱۳۸۷، «تولید مواد شیمیایی و سوخت از پسماندهای سلولزی»، مجموعه مقالات اولین همایش ملّی تأمین مواد اولیه و توسعه صنایع چوب و کاغذ کشور، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۵. نوارچیان، ا.ح.، نریمانی، ز. ، ۱۳۸۵، «ریز ساختار، پایداری حرارتی و خواص مکانیکی نانو کامپوزیت‌های پلی(وینیل کلراید) – خاک رس»، مجلّه مهندسی شیمی ایران، ۲۵(۲۳): ۹۳-۸۱.

٦. محرابی، ا.، افرا، ا، ۱۳۹۰، «مروری بر کامپوزیت‌های سبز حاصل از نانو فیبریل‌های سلولزی»، همایش ملّی فنّاوری‌های نوین در صنایع شیمیایی، دانشگاه تربیت مدرس- تهران.

۷. الماسی، ه.، قنبرزاده، ب.، پزشکی نجف آبادی، ا. ، ۱۳۸۸، «بهبود ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر نشاسته و فیلم‌های مرکب نشاسته و کربوکسی متیل سلولز»، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ٦(۳): ۱۲-۱.

۸. قنبرزاده، ب.، الماسی، ه. ،۱۳۸۸، «مروری بر ویژگی‌های کاربردی فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر خوراکی حاصل از پروتئین گلوتن گندم»، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۲۸(۳): ۱۰-۱.

۹. مرتضویان، س.ا.، عزیزی، م.ح.، سهراب وندی، س. ،۱۳۸۹، «فیلم‌های خوراکی: شاخص‌های کیفی و و روش‌های تولید»، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۷ (٤): ۱۱۷-۱۰۷.

۱۰. قنبرزاده، ب.، پزشکی نجف آبادی، ا.، الماسی، ه.، ۱۳۹۰، «فیلم‌های خوراکی فعال در بسته‌بندی مواد غذایی»، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۸ (۳۱): ۱۳۵-۱۲۳.

۱۱. نوشیروانی، ن.، قنبرزاده، ب. و انتظامی، ع.ا. ۱۳۹۰، «مورفولوژی، زاویه تماس و ویژگی‌های رنگی فیلم‌های بیو نانوکامپوزیت نشاسته - پلی‌وینیل الکل/ نانوکریستال سلولز»، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۱(۲): ۱٥٤-۱٤۱.

۱۲. تاتاری، ع.ا.، غفاری، م. ۱۳۹۲، «کاربرد فنّاوری نانو در صنایع کاغذسازی»، ماهنامه

تخصصی صنایع چوب، مبلمان و کاغذ ایران، ۱۲(۷۸): ۵۹-۵۵.

۱۳. جوادی، ح. ۱۳۹۰،«نانو کریستال سلولز»، مجلّه صنعت خودرو، شماره ۱۵۶.

۱٤. نوشیروانی، ن.، قنبرزاده، ب.، و انتظامی، ع.ا. ، ۱۳۹۱، «اثر نانو کریستال سلولز و پلی‌وینیل الکل روی ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های بیو نانوکامپوزیتی بر پایه نشاسته»، مجلّه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۷(۱): ۷٤-٦۳.

15. Jiang, L. and Zhang, J., 2013, "Biodegradable polymers and polymer blends", Journal of handbook of biopolymers and biodegradable plastics, 109-128.

16. Lunt, J., 1998, "Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers", Polymer degradable stability, 59: 145–51.

17. Satyanarayana, K.G., Arizaga, G.C. and Wypych, F., 2009, "Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers-an overview", 982–1021.

18. Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J.A., and Voilley, A., 1998, "Edible films and coatings: tomorrow's packagings: A review", Critical reviews in food science, 38(4): 299-313.

19. Weber, C.J., Haugaard, V., Festersen, R., and bertelsen, G., 2002, "Production and applications of biobased packaging materials for the food industry", Food additives and contaminants, 19:172-177.

20. Gennadios, A., Hanna, M.A., 1997, "Application of edible coatings on Meats, poultry and seafoods: A review", Lebensm.-wiss. u.-technol, 30:337-350.

21. Tang X. Z., Kumar P., Alavi S., and Sandeep K. P., 2012, "Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials", Critical reviews in food science and nutrition, 52:426–442.

22. Arora, A., and Padua, G.W., 2010, "Review: nanocomposites in food packaging", Journal of food science, 75(1):43-49.

23. Blomstedt, M., 2007, "modification of cellulosic fibers by carboxymethyl cellulose(CMC), effects on fiber and sheet properties", Ph.D. Thesis, helsinki university of technology, 90 pages.

24. Nayak, P.L., 1999, "Biodegradable polymers: opportunities and challenges", Journal of macromolecular science, part C: polymer reviews, 39(3):481-505.

25. Klemm, D., Philipp, B., Heinze, T., Heinze. U., and Wagenknecht, W., 1998, "Comprehensive cellulose chemistry (volume 2: functionalization of cellulose)", Wiley-vCH verlag GmbH, weinheim 414 pages.

26. Ach, A., 1993, "Biodegradable plastics based on cellulose acetate", Journal of macromolecular science, part A: pure and applied chemistry, 30(9 & 10):733-740.

27. Petersen, K., Nielsen, P.V., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M.B., Nilsson, N.H., and Mortensen, G., 1999, "Potential of biobased materials for food packaging", Trends in food science & technology, 10:52-68.

28. Torres, F.G., Commeaux, S., and Troncoso, O.M., 2012, "Biocompatibility of bacterial cellulose based biomaterials", Functional biomaterials, 3: 864-878.

29. Heinze, T., and Liebert, T., 2012, "Celluloses and polyoses /hemicelluloses", Polymer science: a comprehensive reference, 10: 83–152.

30. Ton, N.M.N., and Le, V.V.M, 2011, "Application of immobilized yeast in bacterial cellulose to the repeated batch fermentation in wine-making", International food research Journal, 18(3): 983-987.

آدرس نویسنده

گلستان- دانشگاه آزاد اسلامی- واحد آزاد شهر-

گروه مهندسی شیمی- آزاد شهر - ایران.