معرفی مواد کاغذی و مقوایی نوین در بسته‌بندی محصولات صنایع غذایی

روزبه اسدی خوانساری [1*]، محمدرضا دهقانی فیروزآبادی [2]

تاریخ دریافت مقاله: مهرماه۱۳۹۲
تاریخ پذیرش مقاله: دی ماه ۱۳۹۲

چکیده

بسته‌بندی یکی از اصول عرضه کالا بوده و در طول سال‌ها تغییرات زیادی داشته که همچنان در حال دگرگونی است. زمانی محفوظ بودن یک محصول، بسته‌بندی محسوب می‌شد، درحالی که پس از مدّتی مزیت‌های ماندگاری، زیبایی و چاپ مرغوب به آن افزوده شد. از انواع کاغذ و مقوا، مشتقات نفتی و حتّی آلیاژهای فلزی جهت بسته‌بندی استفاده می‌شود. برخی از این مواد، خواص مقاومتی لازم را داشته و بعضی به علت سبکی استفاده می‌شوند. البته در بسته‌بندی مواد غذایی، خواص ممانعتی نسبت به هوا(اکسیژن و دی اکسیدکربن)، رطوبت (آب و بخار آب) و حرارت، جهت افزایش عمر مفید مواد غذایی ضروری است و جهان نیازمند بسته‌بندی است و در آینده، بسته‌بندی غذا، تقاضای صعودی خواهد داشت. چندلایه کردن مواد بسته‌بندی، یکی از عملیات ساخت است که می‌تواند چندین خاصیت مفید را در بسته‌بندی ایجاد کند. با وجود مصرف بسیار زیاد انواع پلاستیک‌ها مثل پلی‌اتیلن [3]، پلی‌پروپیلن [4] و غیره در صنایع بسته‌بندی، به علت اشتقاق از مواد نفتی، تولید و مصرف آن‌ها به اتمام خواهد رسید. در آینده کلیه مواد بسته‌بندی با مواد تجدیدپذیر بر پایه زیست توده استفاده شده و ضمن داشتن خواص مطلوب ممانعتی و مکانیکی، شرایط بحرانی کره‌ی زمین را بهبود می‌دهند که در این میان، بهترین گزینه کاغذ و مقوا است که با روش‌های مختلف، می‌توان قابلیت‌های لازم را در آن‌ها ایجاد کرد. فنّاوری‌های پوشش‌دهی، نانو الیاف سلولز، اصلاح شیمیایی الیاف چوبی، مشتقات خاص لیگنین [5] و همی‌سلولز چوب، روش‌های لایه‌گذاری بخار شیمیایی [6] و لایه نشانی اتمی [7]، تیمارهای سطحی پلاسما و کرونا [8]، اصلاح نشاسته، پروتئین و سایر روش‌های جدید در به‌کارگیری کامل مواد زیستی به جای مشتقات نفتی و تجدید ناپذیر استفاده خواهند شد. طرح جدید استفاده از پوشش‌های زیست‌تخریب بر روی کاغذ و مقوای پایه که پوشش اول جهت تکمیل خواص ممانعتی و لایه دوم برای چاپ‌پذیری مناسب است، امروزه اهمیت زیادی یافته و در آینده جایگزین بسته‌بندی‌های مواد غذایی و بهداشتی خواهد شد. بررسی امکان پوشش‌پذیری لایه دوم بر پوشش اولیه و شرایط چاپ قابل قبول روی لایه دوم با کمترین مقدار مصرف جوهر و تسهیل در بازیافت این کاغذهای بسته‌بندی، تغییراتی

۱- دانشجوی دکتری خمیرکاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، مدرس دانشکده فنی و حرفه‌ای صومعه سرا.
(* نویسنده مسئول: rasadikhansari@gmail.com)
۲- دانشیار، دکتری صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

3- Polyethylene
4- Polypropylene
5- Lignin
6- Chemical Vapor Deposition (CVD)
7- Atomic Layer Deposition (ALD)
8- Plasma and Corona Surface Treatments

در صنایع بسته‌بندی و چاپ به وجود خواهد آورد که هدف آن پوشش‌های ممانعتی، چاپ مناسب، قابلیت بازیابی و بررسی خواص مکانیکی بسترهای پوشش شده است. بنابراین تحول عظیمی در صنایع بسته‌بندی و چاپ محصولات غذایی به وجود خواهد آمد.

واژه‌های کلیدی

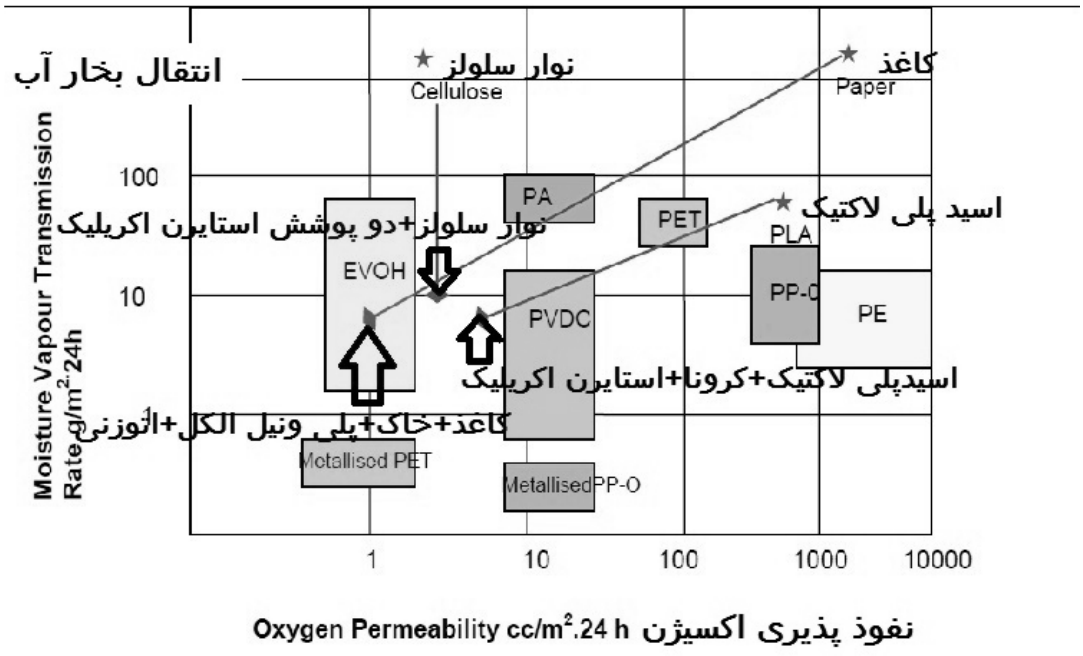
پوشش‌های ممانعتی، بسته‌بندی مواد غذایی، مواد زیست تخریب، چاپ‌پذیری و قابلیت بازیافت.

۱- مقدمه

هر کدام از مصارف کاغذ و مقوا، تغییراتی داشته که حتّی محصولات جدیدی در این بین ساخته شده است. با پیشرفت‌های الکترونیکی جهان آینده، امکان کاهش تولید کاغذهای روزنامه و چاپ وجود دارد، ولی تولید و مصرف کاغذهای بهداشتی و بسته‌بندی رونق خود را از دست نداده و حتّی در انواع متفاوتی عرضه خواهند شد، زیرا نیاز به بسته‌بندی کالا، مواد غذایی و همچنین کاغذهای مختلف بهداشتی، با رشد جمعیت و تسریع در فعالیت‌های جامعه، افزایش می‌یابد. مواد غذایی(خام، نیمه پخته، پخته، غذاهای آماده مصرف و حتّی مواد غذایی سریع) باید در شرایط مطلوبی تهیه و توزیع شوند. قابلیت نگه‌داری مواد غذایی، موضوع کلیدی این صنعت است. از ترکیبات PET(پلی‌اتیلن ترفتالات)، LDPE(پلی‌اتیلن سبک)، PVC (پلی‌وینیل کلراید)، OPP(پلی‌پروپیلن جهت‌دار)، EVA (پلی‌وینیل استات) و عناصر فلزی جهت تولید انواع لیوان، ظرف، قوطی، لفاف، جعبه و سایر بسته‌بندی‌ها در صنایع غذایی استفاده می‌شوند که در بسیاری از آن‌ها، مدّت ماندگاری بهبود یافته ولی گاهی از ترکیبات نگه‌دارنده در غذا نیز استفاده می‌شود که مضراتی دارند. انواع مواد شیمیایی استفاده شده در این بسته‌بندی‌ها، خطرات مختلف بیماری‌زایی را در انسان به وجود آورده است و مشکلات تهدید سلامتی ثابت شده‌ای دارند. البته در این مواد، بسته‌بندی از عوامل شیمیایی گوناگون ضدشکاف، مانند پلی‌بوتادین‌ها[1]، پایدارکننده‌های گرمایشی، لغزنده‌کننده‌ها، رنگ‌ها، تأخیراندازهای شعله‌وری و غیره برای حفظ خواص حفاظتی، مکانیکی و ممانعتی استفاده می‌شود که بیشتر این مواد، خطرناک و بیماری‌زا هستند. با توجّه به ترکیبات بسته‌بندی، می‌توان به راحتی تشخیص داد که بیشتر آن‌ها از مواد، تجدید ناپذیر و مشتقات نفتی به دست می‌آیند که تولید و مصرف این مواد محدود شده است و به زودی به علت اتمام نفت خام و مسائل زیست محیطی متوقّف خواهد شد و از نظر زیست محیطی نیز، این ترکیبات نفتی، مشکل دفع، سوزاندن و بازیافت دارند، چون تجدیدپذیر نیستند و پدیده گرم شدن کره‌ی زمین را تسریع می‌کند. جایگزینی این مواد با ترکیبات تجدیدپذیر بر پایه زیست توده[2]، بحث داغ چند سال اخیر است که اولین و بهترین گزینه کاغذ و مقوا بوده که تبلیغ مصرف کاغذ به دلیل رشد جنگل‌کاری و کاهش گازهای گلخانه‌ای، اثرات مثبتی را در پی خواهد داشت. چون مصرف بیشتر زیست توده، باعث توسعه کشاورزی و زراعت چوب می‌شود. در نتیجه، در تولید اکسیژن و جذب دی اکسید کربن جو کره‌ی زمین نیز مؤثر خواهد بود[۱].

مشخصات فیزیکی و مکانیکی مثل سبکی و استحکام انواع کاغذ در بسته‌بندی مطلوب بوده و مشکل مقاومت‌تر کاغذ نیز با افزایش زمان پالایش خمیر کاغذ و افزودن رزین‌هایی مخصوص، قابل دستیابی می‌باشد، اما در بسته‌بندی قابلیت نفوذ هوا و بخار آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته است که خواص ممانعتی کاغذ و نوار سلولز بهبود یافته و حتّی در برخی از موارد نسبت به بسپارهای مشتقات نفتی برتری یافته‌اند، همان طور که در(شکل ۱) دیده می‌شود، اضافه کردن خاک رس[3]، پلی‌وینیل الکل و انجام اتوزنی در کاغذ پایه، باعث کاهش چشمگیر انتقال بخار آب و کم شدن نفوذپذیری نسبت به اکسیژن می‌شود،

1- Polybutadien
2- Biomass-based renewable
3- Clay



شکل ۱- نفوذ پذیری اکسیژن و مقدار انتقال بخار در بسترهای مختلف

به طوری که خواص ممانعتی آن نسبت به بسیاری از بسترها، مناسب‌تر خواهد شد. البته در این مطالعه(شکل ۱)، نفوذپذیری نسبت به اکسیژن در نوار سلولز بدون تغییر بود، ولی انتقال بخار آب در آن، کاهش یافت[۲]. به دلیل آبدوستی کاغذ و الیاف لیگنوسلولزی[1] باید تغییراتی در جهت آبگریزی انجام گیرد. با یک نگاه دقیق به آبگریزی برخی از برگ‌ها و بال حشرات و الگوگیری از آن‌ها می‌توان مواد طبیعی آبگریزی ساخت. در این باره مهم‌ترین شاخص زاویه تماس[2] آب با ماده مورد نظر است. اگر قطره‌ی آبی بر روی کاغذ تحریر یا بهداشتی قرار دهید، زاویه بسیار کمی داشته که سبب ترشوندگی می‌شود[۳]. بنابراین در محصولات بهداشتی این خاصیت مطلوب و در بسیاری از بسته‌بندی‌ها نامطلوب است. البته در برخی از موارد، مواد بسته‌بندی به آبگریزی زیادی نیاز نداشته و به راحتی یک پوشش‌دهی، محصول را به هدف نهایی آن نزدیک می‌کند. در حالی که بعضی از انواع بسته‌بندی، مقاومت بالا به نفوذ آب، بخارآب، هوا و به خصوص اکسیژن، جهت افزایش عمر مفید مواد غذایی نیاز است. بسته‌بندی‌های تحت فشار بیش از بسته‌بندی‌های تحت شرایط جوّی حساس بوده و نیازمند خواص ممانعتی بهتری هستند. ایجاد خلأ و تزریق انواع گاز در بسته‌بندی جهت خواص مطلوب مواد غذایی موضوع دیگری است که مشکل عبور گاز از کاغذ، اهمیت ویژه‌ای می‌یابد که در این زمینه نیز کاغذ و مقوا قابلیت جایگزین شدن را به دست آورده است.

در سال‌های اخیر، انواع مواد غذایی در بسته‌بندی‌هایی مانند اتمسفری اصلاح شده[۳]، اتمسفری اصلاح شده تعادلی[4] و اتمسفری اصلاح شده/ رطوبت اصلاح شده[5] انجام می‌گیرد که هدف آن‌ها شرایط مطلوب گاز و رطوبت درون بسته‌بندی است. فنّاوری‌های پوشش‌دهی، نانو الیاف سلولز، اصلاح شیمیایی الیاف چوبی، مشتقات خاص لیگنین و همی‌سلولز[6] چوب، روش‌های لایه‌گذاری

1- Lignocellulosic
2- Contact angle (CA)
3- Modified atmosphere packaging (MAP)
4- Equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP)
5- Modified atmosphere/modified humidity packaging (MA/MH)
6- Hemicellulose

بخار شیمیایی[1] و لایه نشانی اتمی[2]، تیمارهای سطحی پلاسما[3] و کرونا[4]، اصلاح نشاسته و پروتئین در استفاده کامل مواد زیستی به جای مشتقات نفتی و تجدید ناپذیر استفاده خواهند شد.

امروزه از نظر تجاری جایگزین کردن کاغذ در برخی از این موارد، قابل توجیه نیست، ولی با به کارگیری روش‌هایی مثل پوشش چندگانه، تیمارهای سطح کاغذ و استفاده از فنّاوری نانو، در آینده نزدیک نیمه صنعتی و صنعتی شدن آن‌ها دور از ذهن نیست[٤].

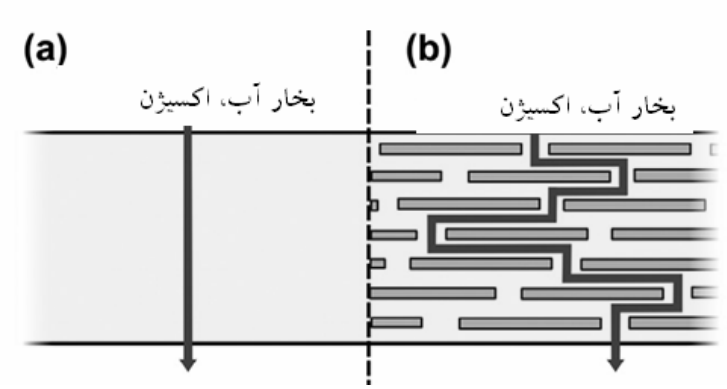
قابلیت پوشش و چاپ‌پذیری بر روی کاغذ پایه و یا پوشش اولیه کاغذ جهت تکمیل خواص ممانعتی و چاپ بسیار مهم است تا وضعیت ظاهری بسته‌بندی بهبود یابد. البته گاهی شفافیت در زیبایی و کاربرد بسته‌بندی اهمیت دارد که با استفاده از نوار نانو الیاف سلولزی، کاغذهایی با قابلیت عبور نور ساخته شده است که این نوار نانو الیاف سلولز بسیار شفاف بوده و به علاوه دارای خواص ممانعتی مطلوبی است که آن نیز در آینده کاربرد وسیعی در بسته‌بندی خواهد داشت.

پوشش‌های اولیه می‌تواند جهت بهبود خواص ممانعتی و افزایش آبگریزی با مواد مختلف، پوشش‌دهی انجام شود و سپس پوشش دوم با فرمولاسیون[5] آبدوستی مختصر، برای افزایش کیفیت چاپ بر روی کاغذ و مقوا صورت گیرد، که کیفیت چاپ مطلوب نیز فراهم شود. در نتیجه با کاغذهای نامرغوب و حتّی با درخشندگی کم، محصول مناسبی تهیه شده و نیازی به کاغذ مرغوب با خواص ممانعتی و چاپ عالی نمی‌باشد. در ضمن اتوزنی در کاغذ پایه، باعث متراکم‌سازی الیاف شده و در خواص ممانعتی اکسیژن و بخار آب مفید است.

پوشش اولیه می‌تواند از طریق مواد آبگریز، تیمارهای لایه‌گذاری اتمی و لایه‌نشانی یا لایه‌گذاری اتمی پیوسته[6] و تغییر کشش سطحی انجام شود. روش‌های لایه‌گذاری اتمی قابلیت کاهش مصرف دیگر مواد پوششی ممانعتی را دارند. به دلیل اینکه به صورت یک لایه اتمی بسیار نازک روی جسم قرار می‌گیرد. همچنین استفاده از تیمارهای کرونا، پلاسما و شعله[7] در چند آنگستروم[8] عمق پوشش اول، باعث آبدوستی شده که در جذب جوهرهایی بر پایه آب و حلال مؤثر است که روش عمل این تیمارهای در تغییر ماهیت شیمیایی و برانگیخته کرده و افزایش دسترسی گروه‌های عاملی سطح کاغذ است[٥]. با تعیین مقدار آبدوستی لایه دوم می‌توان به مقدار مناسب مصرف جوهر نیز دست یافت. با این روش می‌توان پوشش‌پذیری لایه اولیه ممانعتی را بهبود داد تا پوشش دوم با اتصالات قوی‌تری انجام پذیرد. فرمولاسیون‌های پوشش‌دهی اول از کربنات کلسیم رسوبی[9]، ذرّات نانو، بنتونیت[10]، تالک[11] و کائولن[12] جهت پر کردن فضای بین الیاف و افزایش پیچ و خم مسیر مولکول‌های گاز به کار برده می‌شوند(شکل۲) و انواع لاتکس[13]، لایه نازک اکسید آلومینیوم و دی اکسید تیتانیوم[14]، نشاسته اصلاح شده، آهار آلکیل کتن دیمر[15](AKD)، مشتقات لیگنین و زایلان[16](زایلان هیدروکسی آلکیلیت شده) به عنوان ماده آبگریز قابل استفاده هستند[٦].

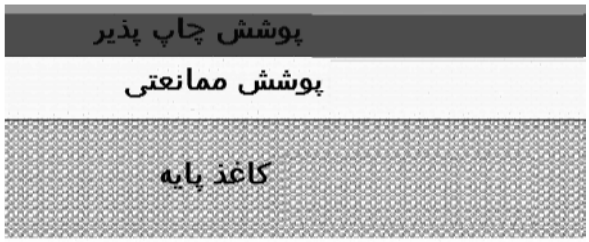
1- Chemical vapor deposition (CVD)
2- Atomic layer deposition (ALD)
3- Plasma
4- Plasma and corona surface treatments
5- Formulation

6- Continuous atomic layer deposition process (CALD)
7- Flame Treatments
8- Angstrom
9- Precipitated calcium carbonate (PCC)
10- Bentonite
11- Talc
12- Kaolin
13- Latex
14- Titanium dioxide
15- Alkyl ketene dimer (AKD)
16- Xylans



شکل ۲ – افزایش پیچ و خم مسیر عبور مولکول‌های گاز در لایه پوششی کاغذ[۴]

البته به لحاظ مسائل زیست محیطی بهتر است که از آلومینیوم و تیتانیوم استفاده نشود، ولی به علت قابلیت آن‌ها در روش لایه‌گذاری اتمی و تأثیر فوق‌العاده در آبگریزی، همچنان تحقیقاتی در این زمینه صورت می‌گیرد. در صورت عدم پوشش‌پذیری به علت آبگریزی، می‌توان از تیمارهای کرونا و پلاسما جهت ترشوندگی، افزایش انرژی سطح و کشش سطحی و بدون تأثیر بر توپوگرافی[1] سطح کاغذ استفاده کرد تا پوشش دوم انجام گیرد[۲]. فرمولاسیون‌های پوشش‌دهی دوم، شامل ترکیبات معمول پوشش‌دهی است، چون هدف لایه دوم فقط اتصال به لایه اول و چاپ‌پذیری مناسب است(شکل۳).



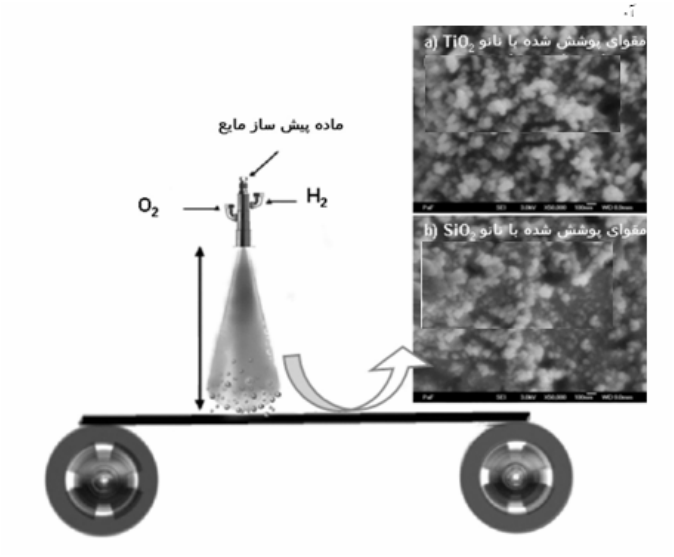
شکل ۳ – پوشش اول ممانعتی و چاپ‌پذیری مناسب در پوشش دوم بر روی کاغذ پایه

مقادیر پوشش‌دهی بسته به نوع مواد، از ۱ تا ۱۰ گرم بر متر مربع متغیر است. همچنین روش پوشش‌دهی به کار رفته، وابسته به گرانروی[2]، غلظت و نقطه ذوب است که روش‌های پوشش‌دهی میله‌ای، تیغه‌ای، روزنرانی و غوطه‌وری، بر روی کاغذ قابل انجام می‌باشد[۷ و۸].

پس از این مراحل پوشش‌دهی، کاغذها جهت آزمون‌های مکانیکی، جذب آب، نفوذپذیری، زاویه تماس آب و غیره قرار گرفته و برای تعیین چاپ‌پذیری بررسی می‌شوند. البته با در نظر گرفتن شرایط بازیافت کاغذ، باید آزمون‌هایی جهت تعیین پراکنده‌سازی در آب صورت گیرد، چون کاغذ آبگریز به راحتی بازیافت نمی‌شود و می‌توان از مواد شیمیایی، آنزیم و تیمارهای پلاسمای سرد[3]، برای آبدوستی مجدّد الیاف لیگنوسلولزی[4] استفاده کرد که در کاهش مصرف انرژی بازیافت کاغذ و مقوا نقش مهمی دارد[۹].

1- Topography

2- Viscosity
3- Cold plasma
4- Lignocellulose



شکل ۴ – پاشش پیش ساز مایع به روش تیمار شعله[۱۵]

۲- سابقه تحقیق

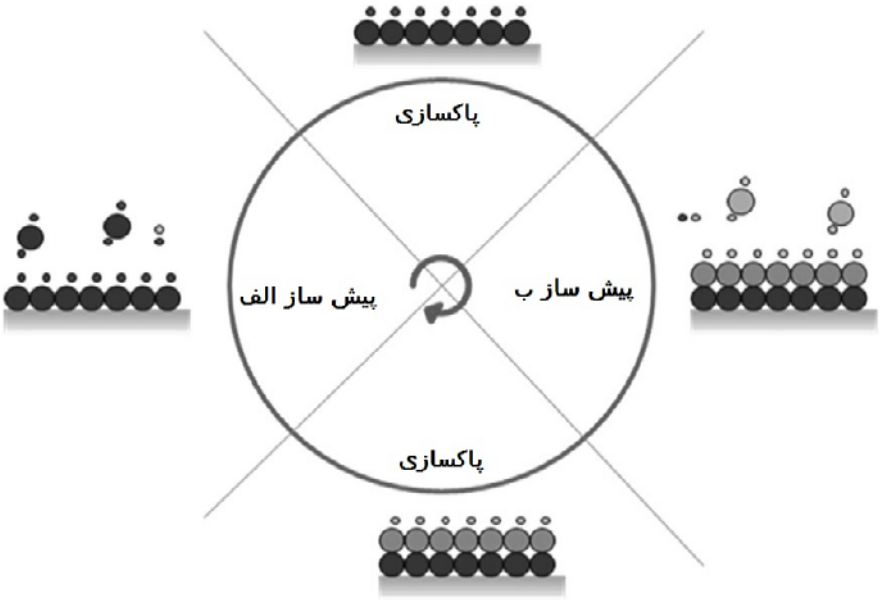
محققان (۲۰۱۲)، درباره شیمی سطح مقوای پوشش شده با تیمار شعله و نانو ذرّات SiO2 و TiO2 تحقیق کردند که با اندازه‌گیری زاویه تماس آب و طیف فتوالکترون اشعه ایکس[۱](XPS)، ثابت شد که این پوشش‌ها، اثراتی بر گروه‌های هیدروکسیل داشته و سطح فوق آبگریزی تشکیل شده است(شکل ٤)[۱۰].

محققان(۲۰۱۰)، اثر پیش تیمار کرونا بر کارایی لایه ممانعتی توسط ALD را بر مقوای پوشش شده با بسپار، بررسی کردند و دو نوع مقوای پوشش شده پلی‌اتیلن[۲] و پلی‌لاکتید[۳] تحت تیمار کرونا و سپس ALD با ذرّات SiO2 و TiO2 انجام گرفت. در ممانعت نسبت به اکسیژن تأثیر SiO2 بر مقوای پوشش شده با بسپار زیستی بیشتر بود. تأثیر پیش تیمار کرونا بر مقوای پوشش شده با بسپار زیستی اندک بود[۱۱].

محققان (۲۰۱۱)، فرآیند لایه‌گذاری اتمی پیوسته را برای ارتقای خواص ممانعتی کاغذ با پوشش روزنرانی (روشی برای عبور مواد بسپاری مذاب از یک شیار باریک و انجام پوشش) آزمایش کردند(شکل ۵) که انتقال اکسیژن و بخارآب ۳ تا ۵ برابر کاهش یافت و حتّی مقدار انتقال بخار آب کاغذهای پوشش شده با پلی‌اتیلن ترفتالات[٤] و پلی‌لاکتید تیمار شده، ۱۰ برابر کمتر از نمونه‌های تیمار نشده بود. این فرآیند، تغییرات زیادی در توپولوژی[۵] و مرفولوژی[٦] بسپار پوشش ایجاد کرد[۵].

1- X-Ray photoelectron spectroscopy
2- Polyethylene
3- Poly Lactid

4- Polyethylene terepthalate
5- Topology
6- Morphology



شکل ۵ - فرآیند لایه‌گذاری اتمی پیوسته

محققـان (۲۰۱۲)، در ابتـدا کاغـذ صـافی را فقـط بـا آهارAKD (در محلول انهپتان به علت غیـر قطبـی بـودن) و سپس با پوشش غوطه‌وری در سوسپانسیون[1] PCC و پوشش دوم آهار AKD انجـام دادنـد و در مرحلـه بعـد نـانو الیـاف سلولز به عنـوان چـسب بـه سوسپانـسیونPCC پوشـش اول اضافه شده و پوشش‌دهـی اول صـورت گرفـت و سـپس بـا پوشش دوم AKD تیمار انجام شـد(شـکل ٦) و کاغـذ فـوق آبگریزی را بدون تخریب الیاف و با مصرف بسیار اندک نانو الیـاف سـلولز(۱ و ۵ درصـد وزن PCC) تهیـه کردنـد کـه خوشه‌های PCC زبری سطح را ایجـاد کـرده و پوشـش دوم نقش ممانعتی را داشت. زاویه تماس آب در مواردی به بـیش از ١٦٠ درجه رسید[۱].

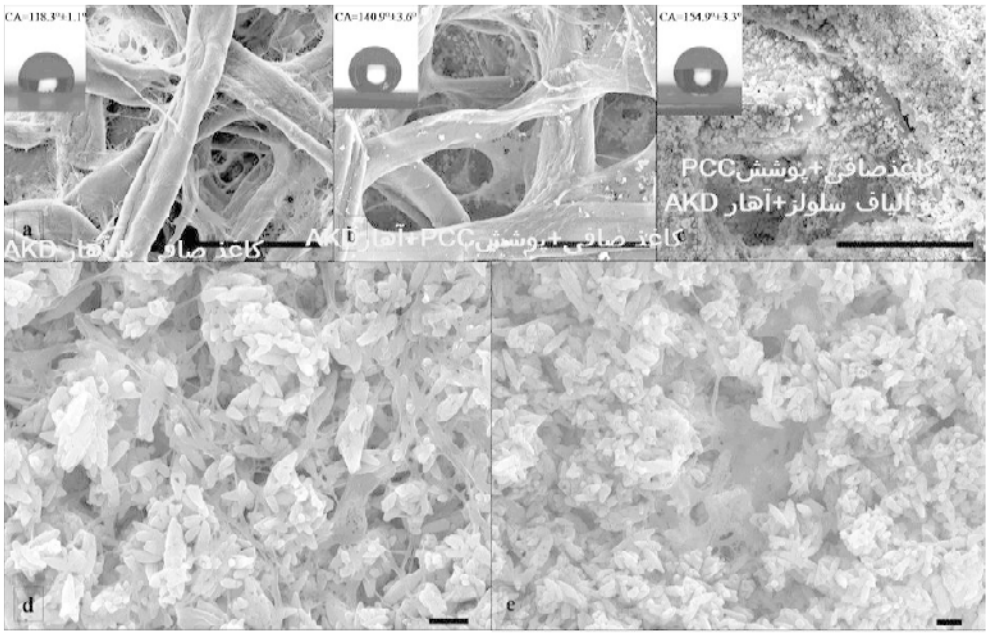
محققان (۲۰۱۲)، قابلیت پوشش‌دهی لایه رویی را بر لایه ممانعتی حاوی تالک، کـائولن و لاتکـس بررسـی کردنـد، و تیمارهای کرونا و پلاسما، در جهت افزایش انـرژی سـطح و تر شوندگی انجام شد[۲].

پوشش‌های رویی یا دوم با فن گراور[2] معکوس(روشی برای پوشش‌دهی مشابه عمل چاپ گراور) صورت گرفـت و افزایش پوشش‌پذیری لایه ممانعتی حاصل شد(شـکل۷) که این روش، هم در چسب‌زنی با محلـول آبـی چـسب و هم در نفوذ مشخص جوهر، در هنگام چاپ مؤثر است.

محققان (۲۰۱۳)، تیمـار پلاسـمای سـرد را در جهـت ترشوندگی الیاف کاغذ پوشش شده استفاده کردنـد و ایـن تیمار اثر نامطلوبی بر الیـاف کاغـذ و مرفولـوژیکی الیـاف نداشت. همچنین طیف فتـوالکترون اشـعه ایکـس (XPS) نشان داد که به علت اکسایش شدید سطح نمونه‌های تیمار شـده، بازیافـت کاغـذ تـسهیل شـده و کیفیـت الیـاف در بازیافـت حفـظ مـی‌شـود[۱۲].محققـان(۲۰۱۳)، زایـلان هیدروکسی آلکیلیت[3] شده خمیـر کرافـت غـان[4] رنگبـری شده را تهیـه کردنـد و بـه عنـوان چـسب رنگدانـه‌هـا، در فرمولاسیون پوشـش‌دهـی ممـانعتی کاغـذ چـاپ افـست[5] استفاده کردند و خواص ممانعتی بهتری نسبت به

1- Suspension

2- Graveur
3- Hydroxyalkylated xylans
4- Birch kraft pulp
5- Offset

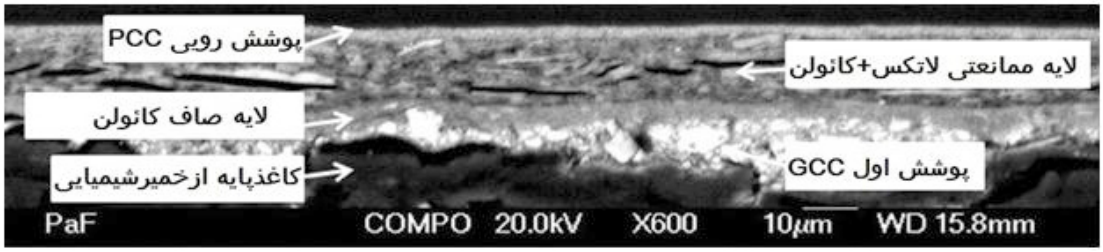


شکل ۶ – زاویه تماس آب در سه سطح بررسی شده

الف) پوشش‌های PCC+AKD+نانو الیاف سلولزی

ب) پوشش‌های PCC+AKD

ج) پوشش AKD



شکل ۷ – مقطع عرضی لایه‌های رویی، ممانعتی(با گراور معکوس) و دو پوشش(به روش تیغه‌ای) بر روی کاغذ پایه

بسپارهای زیستی داشته و نفوذ پذیری اکسیژن بسیار بالایی به دست آمد که یک سوم کاغذ پوشش شده با پلی‌اتیلن ترفتالات[1] است[۱۲].

محققان (۲۰۰۹)، اثر چند نوع تیمار پلاسما را بر شیمی سطح رنگدانه‌های پوششی بررسی کرده و کاهش زاویه تماس آب در کاغذ حاوی کائولن، نسبت به پوشش کربنات کلسیم یا تالک بیشتر شد که طی این آزمایشات ترشوندگی بهبود یافت و پلاسمای آرگون[2] نیمه صنعتی، قطبش بیشتری را در سطح کاغذ ایجاد کرد. تیمار پلاسمای شدید آزمایشگاهی، مقاومت سطح و چگالی چاپ را کاهش داد[٤].

محققان (۲۰۱۲)، تیمار پلاسمای هگزا فلورید[3] گوگرد را در زمان‌های مختلف بر روی مقوا بررسی کردند.

1- Polyethylene terepthalate

2- Argon

3- Sulphur hexafluoride (SF6) plasma treatment

خواص ممـانعتی آب، روغـن و اکـسیژن را در مقـوا، بهبـود یافت و فقط با ۲ ثانیه تیمار پلاسما خواص ممانعتی مطلـوب نسبت به آب به دست آمد و با افزایش زمان تیمار، مقاومـت نسبت به روغن ایجاد شد، ولی مقاومت بـه تـاخوری در هـر دو جهت ماشین کاغذ(MD) و نیز در جهـت عـرض ماشـین کاغذ(CD) کاهش یافت[۱۳].

۳- اخترعات ثبت شده

مخترعـــانی مثـــل دلینگـــر و الیجـــر(۲۰۱۳)، بـــر روی بسته‌بندی‌های زیستی فعالیت کـرده و ظـروف غـذای قابـل تخریب را با خواص ممانعتی نسبت به آب، بخارآب، بـو و هوا ساخته‌اند که جهت بسته‌بندی انواع مـواد غـذایی گـرم، سرد و منجمد قابل استفاده است. این کاغذ، برای نان، کیک و سایر مواد غذایی قابل استفاده است و امکان انتقال عناصر مضر مثل آلومینیوم، منیزیم، روی و سایر ترکیبات را به غـذا حذف می‌کند. این محصول امکان مصرف بـا رنگدانـه‌هـای بی‌ضرر، محلول در آب و بی‌خطر صنایع غذایی را داشـته و در قالب‌هایی به اشکال مختلف دایره، لیوان، مخروط، کاسـه و هنری ساخته می‌شود. مواد غذایی مایع یـا نیمـه مـایع در این کاغذها و قالب ریختـه شـده و در اثـر گرمـای پخـت، بخارهایی تولید می‌شود که ایـن بخارهـا شـکاف‌هـای بـین کاغذ و قالب را پر کرده و ضایعات انرژی و مواد اولیه را به کمترین حد می‌رساند[۱٤].

محققـــان (۲۰۱۲) ظـــروف قابـــل تجزیـــه‌ای را بـــرای نگه‌داری مایعات ثبت کردنـد کـه در سـطح داخلـی آن لایـه ممانعتی مایعـات بـدون مـواد سـمّی اسـتفاده شـده و تحـت شرایط استاندارد ذخیره‌سازی، شش ماه عمر مفیـد دارنـد. در مناطقی که تجهیزات بازیافت ظروف پلاستیکی نصب نـشده است، این ظروف قابل تجزیه، نقش مهمی در پاکیزگی محیط زیست داشته و مشکل جداسازی عناصر سنگین از ضـایعات، برطرف می‌شود و امکان تجزیه این ظروف جدید در شـرایط طبیعی وجود دارد[۱۵].

محققان (۲۰۱۲)، پوشش چندلایه کاغـذ و مقـوا را بـه ثبت رساندند و نشان دادند که اگر کاغذ یا مقـوای پایـه را با پوشش‌هایی اندود نمایند، برای بسته‌بندی و چاپ، قابـل استفاده است، نمایی از این ابـداع در دسـتری نیـست و در (شـکل ۸) طـرح مـشابی از آن دیـده مـی‌شـود[۱٦]. ایـن محصول جهت استفاده در بـسته مـواد غـذایی بایـد کاغـذ استحکام مکانیکی لازم را داشـته باشـد و در مقابـل نفـوذ آب، بخار، هوا و روغن مقاومت نـشان دهـد. مقـادیر کـم پوشـش موجـب افـزایش سـرعت تولیـد مـی‌شـود و پوشش‌های همزمان چند لایه به روش‌هـای مختلـف قابـل انجام است. مطابق جداول اعلام شده، ٤۹ نوع فرمولاسیون لایـه زیـر و رویـی بـا مـواد مختلـف کربنـات کلیـسم، خاک رس، لاتکس استایرن بوتادین کربوکسیلی[1] شده، دی اکـسید تیتـانیوم، تالـک، پلـی‌اسـتایرن، لاتکـس اسـتایرن آکریلیت، پـروتئین و غیـره و بـا درصـد ترکیـب مختلـف ساخته شدند. کاغذهای پوشش شده با فرمول‌های مختلف، ٤٤ نمونه را به وجود آورده کـه در آزمـون‌هـای برّاقیّـت[2]، صافی PPS[3]، پشت زنی[4]، برّاقیّت مرکـب[5]، کنـده شـدن در حالت خشک[6] IGT، نفوذ بخار آب و جذب آب و روغـن با یکدیگر مقایسه شدند که برخی از کاغذهای پوشش داده شده، کیفیت مطلوب ممانعتی و چاپ‌پذیری را داشته و بـه صورت صـنعتی قابـل تولیـد هـستند. بنـابراین، مـی‌تـوان کاغذهای بازیافت شده، نامرغوب و حتّی بـا درخـشندگی کم را، به محصول مناسبی بـرای بـسته‌بنـدی غـذا و مـواد بهداشتی تبدیل کرد کـه ضـمن داشـتن خـواص ممـانعتی عالی، جایگزین سایر ترکیبات بسته‌بندی بر پایـه مـشتقات نفتی شود، و ویژگی مهم دیگر آن شرایط چاپ مناسب آن است.

1- Carboxylic styrene butadiene latex
2- Paper Gloss
3- Parker Print-Surf (PPS)
4- Ink Set Off
5- Ink Gloss
6- IGT Dry pick

شکل ۸ – ساختار پوشش چند لایه معدنی و زیستی بر روی کاغذ

در این زمینه طرح‌های بیوپک[1]، انزی کوت[2]، فلکس پکری نیو[3] و لیگنی ول[4] در حال انجام است. هدف اصلی این تحقیقات، بررسی امکان جایگزین کردن الیاف لیگنوسلولزی کاغذی با پوشش‌های معین یا جدید به جای بسپارهای رایج مورد استفاده، در بسته‌بندی است که این مواد بسته‌بندی، می‌توانند قابل تجزیه در محیط باشند و به پاکیزگی محیط زیست کمک کنند و همچنین خواص مناسب مواد غذایی را حفظ کنند. در مرتبه دوم امکان انجام چاپ مناسب بر روی این کاغذهای پوشش شده است که ظاهر مطلوب تجاری را داشته باشند.

هدف سوم بررسی بهبود ویژگی‌های بازیافت کردن و کاهش مصرف انرژی در تولید مجدّد محصول است، چون همواره روند چرخه بازیابی کاغذ و مقوا ضروری است و البته هدف چهارم تعیین بهترین شرایط پوشش‌دهی با کمترین افت خواص مکانیکی و مقاومتی کاغذ و مقوا خواهد بود که حتّی در مواردی با پوشش‌های بسیار نازک، افزایش خواص مکانیکی کاغذ و مقوا نیز حاصل شده است. یکی از ویژگی‌های مهم تولید این محصولات کاغذی با چند پوشش در تولید مدارها و صفحات الکترونیکی با چاپ ذرّات ریز یا نانو نقره، کربن، طلا و مس است.

همچنین می‌توان در این طرح‌ها از انواع جوهرهای رسانا[5] PANI, PEDOT[6], PSS[7] نیمه رسانا[8] P3HT, PQT و عایق[9] PMMA, PVP[10] و از روش‌های گوناگون چاپ، استفاده کرد[۱۷].

٤- نتیجه گیری

افزایش خواص ممانعتی هوا و اکسیژن در کاغذ و مقوای بسته‌بندی، باعث افزایش عمر مفید مواد غذایی می‌شود و همچنین جایگزین کردن کاغذ به جای ترکیبات بسته‌بندی بر پایه مشتقات نفتی، از نظر زیست محیطی مفید و امکان‌پذیر است. البته محققان در بسیاری از تحقیقات به نتایج مطلوبی رسیده‌اند و با بیشتر شدن تعداد و ضخامت لایه‌های پوشش، در اغلب موارد در خواص ممانعتی محصول تأثیر معنی‌داری حاصل شده است، ولی الیاف لیگنوسلولزی چوب و کاغذ آبدوست است، استفاده از مواد آبگریز در فرمولاسیون پوشش‌دهی، باعث کاهش انتقال آب و بخار آب خواهد شد. استفاده از نانو ذرّات معدنی و نانو الیاف سلولزی در فرمولاسیون‌های پوشش‌دهی، ممانعت کاغذ را نسبت به هوا و اکسیژن بهبود می‌دهد. مواد معدنی

1- Biopack
2- Enzycoat
3- Flexpakrenew
4- LigniVal

5- Polyaniline Conductive inks
6- Poly(2,3-dihydrothieno-1,4-dioxin)
7- Poly(styrenesulfonate)
8- Semiconductor
9- Insulator
10- Polyvinylpyrrolidone

خاصی مثل خاک آبگریز[1]، نشاسته‌ی اصلاح شده، ترکیبات موم و لاتکس در کاغذ دافع آب، قابل مصرف هستند و رابطه‌ی مستقیمی بین زاویه تماس آب و کاغذ، با آبگریزی وجود دارد. پوشش‌های اول ممانعتی جهت افزایش آبگریزی کاغذ و پوشش‌های بعدی به دلیل صافی سطح و چاپ‌پذیری مناسب، انجام می‌شود. البته تیمارهای سطحی مثل کرونا و پلاسما در جهت ترشوندگی پوشش ممانعتی و پوشش‌پذیری در پوشش دوم مطلوب است. بازیافت کاغذهای ممانعتی مشکل است، ولی تیمارهای آنزیمی و پلاسمای سرد باعث تسهیل در پراکندگی الیاف می‌شوند و مصرف انرژی بازیافت این کاغذها را کم می‌کند. امروزه در زمینه زیست فنّاوری تحقیقات وسیعی صورت گرفته است و انواع آنزیم‌های صنعتی جهت تولید و بازیافت انواع کاغذ و مقوا ساخته شده است که به راحتی قابل تهیه و استفاده هستند.

استانداردهای ملّی ایران به شماره‌های ۵۷۵۶، ۵۷۵۵، ۵۳۴۴، ۵۳۴۳، ۱۵۰، ۱۲۹۰، ۱۶۴۱، ۲۹۲۲، ۲۹۲۳ و ۳۳۴۱ مربوط به کاغذ و مقوا در تماس با مواد غذایی برای اندازه‌گیری‌های مواد مختلف آن، ورق کارتن جهت مصارف عمومی، تعیین میزان مقاومت به جدا شدن لایه‌های دیواره جعبه مقوایی، جعبه‌های مقوایی برای ترابری- آزمون فشار، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون کارتن جهت بسته‌بندی قوطی‌های فلزی محتوی مواد غذایی صادراتی، کارتن جهت بسته‌بندی میوه و سبزیجات تازه صادراتی و همچنین ورق و جعبه مقوایی مواد خوراکی می‌باشند که همگی جهت انجام عملیات بسته‌بندی صحیح و حفظ مواد غذایی در مقابل عوامل فیزیکی و شیمیایی است. که این بسته‌بندی‌ها، مواد غذایی را در برابر اعمال فشار، ضربه و نفوذ هوا محافظت کرده و عامل افزایش عمر مفید ماده خوراکی می‌شوند. لازم است که در آینده استانداردهایی از کاغذ و مقواهای جدید با قابلیت‌های گفته شده تدوین شود تا در هنگام استفاده یا تولید این محصولات جدید بسته‌بندی، استاندارد ملّی ایران در این مورد به ثبت رسیده باشد و با سایر استانداردهای دیگر قابل مقایسه باشد.

هرگاه محصول مفیدتری بتواند جایگزین مواد بسته‌بندی بر پایه مشتقات نفتی شود، انقلابی در صنایع بسته‌بندی ایجاد شده، که ضمن نداشتن خطر و بیماری‌زایی، دوستدار محیط زیست هم بوده و در کاهش پدیده گلخانه‌ای مؤثر است. دلایل بالا بهترین توجیه برای استفاده این روش‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی است. همان طور که در سابقه تحقیق و اختراعات ثبت شده دیده می‌شود، دانشمندان جهان به دست‌آوردهایی رسیده‌اند که به صورت طرح توسعه یافته است، ولی هنوز به شرایط ایده‌آل تجاری دست نیافته‌اند و صنعت به ادامه این تحقیقات در دانشگاه‌ها نیاز دارد. پس از دستیابی به این اهداف، بسیاری از واحدهای تبدیلی کاغذ می‌توانند با پوشش‌دهی ممانعتی و چاپ‌پذیری بر روی کاغذ پایه، ارزش افزوده بالایی به وجود آورده و بخشی از واردات این نوع کاغذها کاسته شود. شرایط مناسب‌تر بازیافت، باعث تسهیل در کار و کاهش مصرف انرژی در واحدهای بازیافت شده که انگیزه‌ی مهمی برای تولید این محصولات را فراهم می‌کند، حتّی کارخانه‌های بزرگ کاغذسازی کشور می‌توانند وضعیت پوشش‌دهی را در جهت تولید کاغذ و مقوا ممانعتی و چاپ‌پذیر تغییر دهند تا با محصولات متنوع و با کیفیت وارداتی رقابت کنند. در نتیجه وضعیت بحرانی کره‌ی زمین بهبود یافته و مواد غذایی با کیفیت مناسب و به دور از مشتقات نفتی بسته‌بندی خواهند شد که باعث سلامتی بیشتر انسان است.

۵- منابع

1. Arbatan, T.; Zhang, L.; Fang, X.; and Shen, W. "Cellulose nanofibers as binder for fabrication of superhydrophobic paper", Chemical Engineering Journal, 210, 74-79. 2012.

2. Bollstrom, R.; Tuominen, M.; Maattanen, A.; Peltonen, J.; and Toivakka, M. "Top layer coatability

1- Hydrophobic clay (HC)

on barrier coatings", Progress in organic coatings. 73, 26-32. 2012.
3. Nosnovsky, M.; Bhushan, B. "Hierarchical roughness makes superhydrophobic states stable", Microelectron. Eng. 84, 382–386. 2007.
4. Pykonen, M. Silvaani, H.; Preston, J. Fardim, P. and Toivakka, M. "Plasma activation induced changes in surface chemistry of pigment coating components", Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 352, 103–112. 2009.
5. Lahtinen, K.; Maydannik, P. Johansson P.; Kääriäinen T.; Cameron D.C.; and Kuusipalo, J. "Utilization of continuous atomic layer deposition process for barrier enhancement of extrusion-coated paper", Surface & Coatings technology. 205, 3916-3922. 2011.
6. Shen, J. Song, Z. Qian, X. and Ni, Y. "Carbohydrate-based fillers and pigments for papermaking: A review", Carbohydrate Polymers. 85, 17-22. 2011.
7. Samyn, P. Deconinck, M.; Schoukens, G. Stanssens, D. Vonck, L.; and Van den Abbeele, H. "Modifications of paper and paperboard surfaces with a nanostructured polymer coating", Progress in organic coatings, 69, 442-454. 2010.
8. Samyn, P. Van Erps, J.; Thienpont, H. and Schoukens, G. "Paper coatings with multi-scale roughness evaluated at different sampling sizes", Applied Surface Science, 257, 5613–5625. 2011.
9. Gaiolas, C.; Costa, A.P.; Silva, M. S.; Thielemans, W. and Amaral, M.E. "Cold plasma-assisted paper recycling", Industrial crops and Products. 43, 114-118. 2013.
10. Stepien, M. Saarinen,J.J Teisala, H. Tuominen, M. Aromaa, M. Kuusipalo, J. Makela, J.M. and Toivakka, M. "Surface chemical characterization of nanoparticle coated paperboard", Applied surface science. 258, 3119–3125. 2012.
11. Hirvikorpi, T.; Vaha-Nissi, M.; Harlin, A.; Marles, J.; Miikkulainen, V.; and Karppinen, M. "Effect of corona pre-treatment on the performance of gas barrier layers applied by atomic layer deposition onto polymer-coated paperboard", Applied Surface Science, 257, 736–740. 2010.
12. Laine, C. Harlin, A. Hartman, J. Hyvärinen, S. Kammiovirta, K. Krogerus, B. Pajari, H. Rautkoski, H. Setälä,H. Sievänen, J. Uotila, J. and Vähä-Nissi, M. "Hydroxyalkylated xylans – Their synthesis and application in coatings for packaging and paper", Industrial Crops and Products. 44, 692-704. 2013.
13. Jinkarn, T. Thawornwiriyanan, S. Boonyawan, D. Rachtanapun, P. and Sane, S. "Effects of treatment time by sulphur hexafluoride (SF6) plasma on barrier and mechanical properties of paperboard", Packaging technology sci., 25, 19–30. 2012.
14. Dellinger, D.; Elie Jr. H., Composition for use in edible biodegradable articles and method of use. biosphere industries, Llc. US8382888 B2. 2013.
15. Tolibas-Spurlock, C. Allred-Forsman, B. and Agnew-Von Moos, D., Compostable container for storing fluids. Sacred green, Inc. US8245848 B2. 2012.
16. Urscheler, R., Process for making multilayer coated paper or paperboard. Dow global technologies Inc. EP1395705 A2. 2012.
17. Duncan, T.V. "Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors", Journal of colloid and interface science, 363(1), 1-24. 2011.

آدرس نویسنده

گیلان- صومعه‌سرا- دانشکده فنی و حرفه‌ای صومعه‌سرا- گروه صنایع چوب و کاغذ- کد پستی ۴۳۶۱۸-۸۷۳۷۳.