بهبود ویژگی‌های مقاومتی و ضدمیکروبی کاغذهای بسته‌بندی با استفاده از نانو کامپوزیت روی-کیتوزان با روش لایه به لایه

حبیب‌الله صحراگرد دهکردی [1*]، الیاس افرا [2]

تاریخ دریافت مقاله: تیرماه ۱۳۹٤

تاریخ پذیرش مقاله: فروردین ماه ۱۳۹۵

چکیده

در سال‌های اخیر، نگرانی‌های زیست محیطی برای افزایش مصرف مواد شیمیایی حاصل از مشتقات نفت برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی افزایش پیدا کرده بنابراین لزوم استفاده از کاغذهای بسته‌بندی با مقاومت زیاد جهت نگهداری و افزایش ماندگاری مواد غذایی برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها و همچنین بهبود ایمنی سلامت برای افراد جامعه ضروری می‌باشد. به‌همین منظور، برای مقاومت‌های کاغذهای بسته‌بندی و تأمین این هدف به‌صورت متداول از روش‌های فرآیندی مانند: پالایش، افزودن خمیر الیاف بلند و روش‌های تیمار شیمیایی مانند: استفاده از رزین‌های مقاومت خشک و تر استفاده می‌گردد. یکی از روش‌های نوین نانو فنّاوری، روش رسوب لایه به لایه، به عنوان یکی از روش‌های بهبود ماندگاری و افزایش جذب افزودنی‌ها در سطح الیاف به کار می‌رود که این روش، جهت رفع مشکلات تأمین ماده اولیه و ایجاد خصوصیت‌های شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و ضدباکتری در ساختارها و لایه‌های مرکب باعث ویژگی‌های مطلوب در کاغذ می‌شود. عملکرد روش رسوب‌گذاری لایه‌ای، بر پایه رسوب یک در میان پلی کاتیون و پلی‌آنیون از طریق واکنش‌های الکترواستاتیکی استوار است. به منظور بهبود خواص ضدباکتری کاغذ تلاش‌های زیادی برای توسعه هیبریدهای آلی/معدنی بر اساس نمک‌های فلزات و پلیمرهای زیستی، جهت ویژگی‌های پیوند پلیمرهای زیستی با خواص یون فلزی اختصاص داده شده است. کیتوزان دارای ظرفیت بالا برای جداسازی یون‌های مختلف فلزی و جداسازی یون کیتوزان- فلز با بار مثبت کیتوزان است که انتظار می‌رود منجر به جذب پلیمر بر روی سطح سلول باکتری با بار منفی شده و در پوشش کاغذهای بسته‌بندی، فاز رشد میکروارگانیسم‌ها را کاهش و با کنترل فساد میکروبی و جلوگیری از تغییرات ساختار مولکولی، زمان نگهداری و ایمنی محصول را افزایش دهد. این مواد، دارای طول عمر بیشتری نسبت به عوامل ضدمیکروبی آلی بوده و سبب کاهش استفاده از نانو فلزات در کاغذهای بسته‌بندی می‌شوند. این تحقیق برای مواد جدید، کارآمد و ضدباکتری، ضروری است.

واژه‌های کلیدی

فنّاوری نانو، لایه به لایه[3](LBL)، کیتوزان[4] روی، ضدمیکروبی، کاغذ بسته‌بندی

۱- مقدمه

بسته‌بندی‌های پلیمری معمول از منابع فسیلی تولید شده و زیست‌تخریب ناپذیر می‌باشند. یک راه برای جلوگیری از مشکل تجمع پلاستیک‌ها در طبیعت، استفاده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر از منابع تجدیدپذیر می باشد. تخلیه منابع هیدروکربنی[5](نفتی) در طبیعت منجر

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

(* نویسنده مسئول:hallah_1363@yahoo.com)

۲. استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (elyasafra@yahoo.com).

3- Layer-by-Layer
4- Chitosan
5- Hydrocarboni

به هشیاری بیشتر در زمینه محیط زیست شده و افزایش چشمگیر استفاده از این مواد، میزان پژوهش‌هایی را به‌همراه داشته است که به‌دنبال یافتن جایگزین‌هایی برای محصولات پایه نفتی بوده‌اند. پلیمرهای پایه نفتی مانند پلی‌اتیلن[1] (PE) یا پلی‌پروپیلن[2] (PP) به‌دلیل هزینه پایین، خواص عایق بندی قوی و قابلیت‌های شکل‌پذیری که دارند، به‌طور گسترده‌ای در صنایع بسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این وجود، این پلیمرها علاوه بر اینکه از منابع تجدیدناپذیر تولید می‌شوند، فاقد قابلیت زیست تجزیه‌پذیری نیز هستند. کاغذهایی با عمل‌آوری ویژه می‌توانند یکی از جایگزین‌های پایه زیستی مطلوب و جالب برای این محصولات پایه نفتی باشند. با این حال، اگرچه از کاغذ به‌طور گسترده در صنایع بسته‌بندی استفاده می‌شود؛ اما نمی‌توان از آن به اندازه (PP) یا (PE) برای شکل دادن به ساختارهای سه بعدی پایدار استفاده کرد، زیرا میزان کشیده شدگی کاغذهای معمولی در آستانه گسیختگی، کمتر است، ضمن اینکه خواص عایق‌بندی کاغذ معمولی، به‌هیچ وجه قابل قبول نیست[۵]. بنابراین برای آنکه کاغذ بتواند در صنایع بسته‌بندی با پلاستیک به رقابت بپردازد، ضروری است که با روش‌های نوین فنّاوری آن را کشش‌پذیرتر نمایید. علاوه بر این، سلولز هیچ فعالیت ضد میکروبی نداشته و اغلب قارچ‌ها و باکتری‌ها می‌توانند تحت شرایط مناسب به سرعت در کاغذ سلولزی تکثیر شوند. بنابراین، انواع مختلفی از مواد ضدباکتری طبیعی و مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته و به‌طور گسترده‌ای در فرآیند تولید کاغذ بسته‌بندی مواد غذایی استفاده شده‌اند. به عنوان مثال، ژانگ[3] (۲۰۱۳) ذرّات لاتکس[4] موم پیوند شده با پلی(هگزا متیلن گوانیدین هیدروکلرید[5]) را روی کاغذ به‌کار برد و نشان داد که کاغذ پوشش داده شده حتّی در مقدار کم مشتقات لاتکس موم نیز فعالیت ضدمیکروبی عالی در برابر اشریشیاکولی[6] دارد [٦]. واضح است که کیتوزان استفاده شده در مواد سلولزی، فعالیت ضدمیکروبی عالی در برابر باکتری‌های مضرّ را دارد. علاوه بر فعالیت ضدمیکروبی، مقاومت کاغذ نیز ویژگی مهمی برای کاغذهای بسته‌بندی است. در سال‌های اخیر، برخی مواد افزایش‌دهنده مقاومت برای بهبود مقاومت کاغذ شامل نشاسته‌کاتیونی، و کربوکسی متیل سلولز[7] هستند که مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷].

در سال‌های اخیر، استفاده از نانو ذرّات فلزی به عنوان ترکیبات ضد باکتری روند رو به رشدی داشته است. نانو ذرّات فلزی علی‌رغم اثرات قابل توجّه ضدباکتریایی، دارای چند مشکل جدّی می باشند[۱]. نانو ساختارها می‌توانند عوارض سمّی جبران‌ناپذیری روی برخی از سلول‌های پستانداران داشته باشند. در این میان، یکی از عوامل ضدباکتری، اکسید روی می‌باشد که برای سلول‌های انسانی خطری ندارد [۸]. سمّیّت نانو ذرّات اکسید روی با توجّه به اینکه فعالیت ضدمیکروبی آن‌ها از دیرباز به رسمیت شناخته شده و استفاده‌های گسترده‌ای به‌عنوان ضدباکتری و عوامل ضدقارچ از آن‌ها می‌شود، و بر روی طیف گسترده‌ای از باکتری های بیماری‌زا، از جمله، اشریشیاکلی O157:H7 [۸ و ۹]، سالمونلا[8] [۹]، لیستریا مونوسیتوژنز[9] [۹]، استافیلوکوکوس اورئوس[10] [۱۰] و کمپیلوباکترو ژژونی[11] [۱۱] مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- مقاومت کاغذ

مفهوم کاغذ با مقاومت کششی زیاد چیز چندان جدیدی نیست، پیش از این در اواخر قرن نوزدهم، قبل از توسعه پلاستیک‌ها، آهاردهی[12] به‌عنوان روشی برای افزایش کشش‌پذیری کاغذ، ابداع شد و گسترش پیدا کرد. بعدها در قرن بیستم، فنّاوری‌های زیادی با هدف به‌دست آوردن کاغذی کشش‌پذیر، برای بالاتر بردن کشش‌پذیری

1- Polyethylene(PE)
2- Polypropylene(PP)
3- Zhang
4- Latex
5- Poly(Hexamethyleneguanidine Hydrochloride)
6- Escherichia Coli
7- Carboxymethyl Cellulose (CMC)
8- Salmonella
9- Listeria Monocytogenes
10- Staphylococcus Aureus
11- Campylobacter Jejuni
12- Sizing

کاغذ به ثبت رسیدند: به‌عنوان نمونه، از غلتک‌های شیارزن برای اصلاح ساختار شبکه کاغذ استفاده شد. تیغه داکتر[1] یکی دیگر از فنّاوری‌هایی بود که موجب چروکیده شدن شبکه کاغذ گردید. این فرآیند کرپینگ[2] هنوز هم در کاغذهای بهداشتی مورد استفاده است. بعدها یک روش میکروکرپینگ برای تولید کاغذی با کرنش پذیری بالا توسعه داده شد [۱۲]. ترانی و کاریولارو[3] (۱۹۹۶) نیز روش جدیدی توسعه دادند که بر پایه وجود دو غلتک با جنس و هندسه مختلف استوار بود که با سرعت‌های مختلفی گردانده می‌شدند تا روی ورقه کاغذ اصلاح ساختاری صورت دهند و این موجب رسیدن به ماده نهایی بسیار کشش‌پذیری می‌شد[۱۳]. با این همه، این روش‌ها که شامل اصلاح ساختاری شبکه الیاف می‌شدند، نیازمند اصلاحات لجستیکی در ماشین کاغذسازی بوده و فرآیند تولید کاغذ را با کُندی روبرو می کردند. روش کرپینگ[4](ایجاد چروک) هم برای افزایش کرنش در آستانه گسیختگی و میزان تنش در آستانه گسیختگی کاغذ را کاهش می دهد. یکی از جایگزین‌های مطلوب برای این روش های ابتدایی، اصلاح شیمیایی سطح الیاف پیش از فرآیند کلاسیک کاغذسازی است. این نوع عمل‌آوری می‌تواند روش خوبی برای رسیدن به کرنش‌پذیری بالا بدون ایجاد اختلال در فرآیند کاغذسازی باشد. مدّت‌های مدیدی است که در صنایع کاغذسازی از پلیمرهای باردار برای بهبود خواص استاندارد کاغذ به منظور دستیابی به هزینه پایین و مؤلفه‌های مقاومتی پایین در زمینه تجهیزات کاغذسازی، ضمن حفظ کیفیت کاغذ در حدّی قابل قبول استفاده می‌شود [۱٤].

۲-۱- استفاده از پلی‌الکترولیت‌ها در کاغذسازی

سال‌هاست که از انواع مختلفی از پلی‌الکترولیت‌ها[5] برای دستیابی به اهداف مختلفی در صنایع کاغذ استفاده شده است، به‌ویژه از پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی که واکنش مؤثری با گروه‌های کربوکسیل[6] روی الیاف دارند. این فرآیندِ آنتروپی‌ران[7] موجب اصلاح خواص الیاف شده و در نتیجه روی خواصی مانند مقاومت، شکل‌گیری و ماندگاری شبکه تَر، مقاومت خشک و تر کاغذ ساخته شده از الیاف عمل‌آوری شده، اثر می‌گذارد[۱۵]. نشاسته کاتیونی، پلی دی‌الیل دی متیل آمونیوم کلراید (pDADMAC)[8] و پلی‌آکریلامیدهای کاتیونی (C-PAM)[9] که جزو رایج‌ترین پلی الکترولیت‌ها در صنایع کاغذسازی هستند [۱٦]. همچنین جذب سطحی تک لایه‌ای از یک پلیمر کاتیونی مانند پلی وینیل آمین (PVAm)[10] یا پلی‌آلیل آمین هیدروکلرید (PAH)[11] روی سطح الیاف خمیر کاغذ، تأثیر چشمگیری روی مقاومت خشک کاغذ حاصله دارد[۱۷].

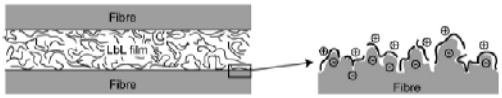
۳- مکانیسم اثر چندلایه‌ها روی مقاومت کاغذ

روش رسوب لایه به لایه (LbL) برای افزودن پلی‌الکترولیت‌هایی با بار مخالف به سطحی باردار که در نوشته دیچر[12] (۱۹۹۷) شرح داده شده، فرصت کاملاً جدیدی برای اصلاح سطوح الیاف چوب گشود [۱۸]. اخیراً نیز در تحقیقات وسیعی به چندلایه‌های پلی‌الکترولیتی و خواص آن‌ها پرداخته شده و این مواد کاربردهای متعدّدی دارند مانند: عدسی‌ها، دستگاه‌های زیست پزشکی و مواردی از این دست. این روش در صورت به‌کار بستن روی الیاف خمیر کاغذ، بهبود چشمگیری در مقاومت و کرنش پذیری مواد کاغذی در آستانه گسیختگی ایجاد می کند و در شرایطی که مقاومت کاغذ مهم‌ترین جنبه از نظر کیفیت کاغذ باشد، می تواند جایگزینی برای پالایش مکانیکی الیاف باشد که با مصرف

1- Doctor Blade
2- Creping
3- Trani and Cariolaro
4- Micro-Creping Technique
5- Polyeelectrolyte

6- Carboxyl
7- Entropy-Driven Process
8- Poly-Diallyl Dimethyl Ammonium Chloride
9- Cationic Polyacrylamides
10- Polyvinylamine
11- Polyallylamine Hydrochloride
12- Decher

انرژی بالایی همراه است [۱٤]. برای درک اثر چندلایه‌ها روی مقاومت کاغذ باید سازمان یافتگی مولکولی اتصال فیبر– فیبر را مورد بررسی قرار داد. برای تشکیل یک اتصال فیبر– فیبر که برای کاغذ مقاومت و کشش‌پذیری را به ارمغان بیاورد، دو ویژگی حیاتی است. این ویژگی ها عبارتند از: (الف) مقاومت و اتصال صُلب پلیمرها به سطح فیبر. (ب) خواص چقرمگی در فیلم چند لایه که بدان معناست که نقطه واروی فیلم، پایین تر از نقطه واروی جداره فیبر بوده و لایه‌های مختلف فیلم، در یکدیگر تنیده شده باشند. شکل(۱) بیانگر این دو ویژگی است.



شکل ۱- اتصال فیبر – فیبر بین دو فیبر عمل‌آوری شده به روش لایه به لایه با بزرگ‌نمایی سطح واسط فیبر / فیلم لایه به لایه که نشان‌دهنده اتصال پلیمر در سطح فیبر و اختلاط متقابل آن در فیلم لایه به لایه است [۱٤].

۳-۱- ساختار سطح نانو ذرّات

شیمی سطح اکسیدهای فلزی مستقیماً توسط سطح ساختار مشخص شده است. در این میان، در یک جهت اسیدی و بازی، به‌ترتیب کاتیون‌های[1] فلزی و آنیون‌های[2] اکسیژن قرار دارد، ویژگی آبدوستی زیاد سلولز، امکان ایجاد پیوند هیدروژنی[3] قوی بین الیاف و شکل‌گیری ساختارهای سه بعدی مبتنی بر الیاف را ممکن می‌سازد [۵]، همان‌طور که در مقاومت محصولات کاغذی نیز این مورد بیان می‌گردد. از سوی دیگر، حضور این گروه‌های آبدوست که واکنش مؤثری با گروه‌های کربوکسیل روی الیاف دارند می‌توانند به رشد فازهای غیرآلی، مانند دی‌اکسیدتیتانیوم[4]، روی و نقره در سطوح الیاف سلولزی بیانجامند و در نتیجه تولید نانوکامپوزیت‌ها در این میان مطرح می‌گردد.

٤- زیست نانوکامپوزیت‌ها

زیست نانوکامپوزیت‌ها حوزه‌ای جالب با کاربردهای بسیار عرضه می‌کنند. پیشرفت‌های پژوهشی در زمینه انواع مواد نانو نشان می‌دهد که پلیمرهای طبیعی، مانند قندها و پروتئین‌ها، می‌توانند با نانوذرّات ترکیب شوند و محصولات جدیدی را تولید کنند. این مواد می‌توانند کیفیتی برابر با پلاستیک‌های حاصل از مواد نفتی داشته‌باشند، که این محصولات پلیمرهای طبیعی می‌توانند در بیشتر موارد زیست تخریب‌پذیر باشند. مواد نانو کامپوزیت، شامل یک پلیمر با افزودنی نانوساختار که معمولاً در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به‌کار می‌روند[۲].

۵- انواع نانو ذرّات استفاده شده در بسته‌بندی مواد غذایی

نانو موادی که در بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد دارند به دو دسته آلی و غیرآلی طبقه‌بندی می‌شوند. نانو موادی مانند نانوذرّات آهن، کلسیم، روی و... از مواد غیرآلی هستند که عمدتاً برای بسته‌بندی غذا به‌کار می‌روند. جدول (۱) انواع نانو ذرّات رایج در بسته‌بندی مواد غذایی را نشان می‌دهد [۱۹].

جدول ۱- نانوذرّات رایج در صنایع غذایی

نانوذرّات	کاربردهای رایج
تیتانیوم اکسید	عامل ضدمیکروبی و محافظ در برابر اشعه UVدر بسته‌بندی،
نقره	ظروف نگهداری مواد غذایی، افزودنی غذایی عامل ضدمیکروبی در بسته‌بندی مواد غذایی، ظروف نگهداری،یخچال‌ها، مکمّل غذایی
نانورس	بسته‌بندی مواد غذایی
روی و اکسید روی	افزودنی غذایی / عامل ضدمیکروبی در بسته‌بندی مواد غذایی
سیلسیوم دی اکسید	افزودنی غذایی / در بسته‌بندی مواد غذایی

۵-۱- نانو ذرّات فلزی

در سال‌های اخیر، استفاده از نانو ذرّات فلزی به عنوان ترکیبات ضدباکتری روند رو به رشدی داشته است. از این میان نانوذرّات نقره و اکسیدهای تیتانیوم، روی، مس و آهن به دلیل خواص ضدباکتری مناسب، بیش از سایر نانوذرّات مورد توجّه قرار گرفته‌اند. استفادهٔ ترکیبی از نانو

1- Cationi
2- Anioni
3- Hydrogen
4- Titanium Dioxide

ذرّات و مواد هیبریدی[1] آلی این امکان را به ما می‌دهد که سمّیّت و عوارض ناخواستهٔ هر دو را بر سلول‌های انسانی کاهش دهیم، زیرا این دو ماده در ترکیب با هم اثرات ضدمیکروبی یکدیگر را به صورت سینرژیستی[2] (هم افزایی) افزایش داده و نیاز به مقدار بالای استفاده هر کدام را کاهش می‌دهند [۱]. انواع مختلف نانوذرّات اکسید فلزی مصنوعی (NPs)[3] در حال توسعه و تلفیق با محصولات دیگری هستند، به‌طوری‌که ظرفیت کاتالیزوری منحصر به فرد و فعالیت ضد-میکروبی آن‌ها را قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از موارد کرده است. اکسید روی یک نانوذرّه اکسید فلزی پر استفاده است که دارای ساختار بلوری سولفیدی شش گوشه است که خاصیت اپتو الکتریکی[4] منحصر به فردی به آن می-بخشد.

۵-۲- نانو ذرّات اکسید روی-کیتوزان

نانو ذرّات اکسید روی از خانواده ورتزیت[5] و دارای ویژگی‌هایی مانند نیمه رسانایی، پیزوالکتریک و پیروالکتریک در واقع یکی از بهترین جذب‌کننده‌های زیستی اشعه (UV)[6] است که خاصیت میکروب کشی و نفوذپذیری خوبی ایجاد می‌کند. این خواص بی‌نظیر باعث می‌شوند که ذرات اکسید روی از غنی‌ترین مواد نانوساختاری باشند. همچنین، این ذرات زیست‌سازگار و ایمن هستند و می‌توانند در کاربردهای پزشکی به‌راحتی و بدون روکش استفاده شوند. این خصوصیات ویژه اکسید روی می‌تواند زمینه‌های تحقیقاتی گوناگونی را در آینده ایجاد کند. این نانو ذرّات به همراه کیتوزان که دارای گروه‌های اولیه آمین و هیدروکسی در یکسان‌سازی ترکیب هستند با اکسید روی بر روی کمپلکس[7] روی- کیتوزان نقش دارند [۲۰]. در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی برای توسعه هیبریدهای آلی/ معدنی بر اساس نمک‌های فلزات و پلیمرهای زیستی، به منظور پیوند ویژگی پلیمرهای زیستی با خواص یون فلزی اختصاص داده شده است. کیتوزان دارای ظرفیت بالا برای جداسازی یون‌های مختلف فلزی و جداسازی یون کیتوزان فلزی با بار مثبت کیتوزان است که انتظار می‌رود منجر به جذب پلیمر بر روی سطح سلول بار منفی شده و از این طریق باعث مهار رشد شود.

۶- فعالیت ضدمیکروبی

علاوه بر مقاومت، فعالیت ضد میکروبی نیز ویژگی مهمی برای کاغذهای بسته‌بندی و بهداشتی است. برای جلوگیری از تماس افراد با باکتری‌های مضرّ در زندگی روزمره، اغلب از مواد ضدمیکروبی در محصولات کاغذی استفاده می‌شود. بسیاری از ترکیبات جهت ایجاد عملکرد ضدمیکروبی در محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهبود خواص و کیفیت عوامل ایجادکننده خاصیت ضدمیکروبی و هم‌چنین یافتن ترکیبات جدید و بهتر، موضوعات تحقیقاتی است که در حال حاضر در دست بررسی هستند و در چند سال اخیر، توجّه بسیاری به ترکیبات مشتق شده از مواد طبیعی جلب شده است. به منظور ارزیابی ایمنی ترکیبات ضدمیکروبی برای انسان، باید به راه‌هایی که انسان در معرض این مواد قرار می‌گیرد، هم‌چنین به اثرات بالقوه‌ی مؤثر در بهداشت توجه نمود. با توجّه به اینکه، خواص ضدمیکروبی مواد به طور خاص جهت هدف‌گیری میکروارگانیسم‌ها طراحی شده است، مواد ضدمیکروبی باید در مقدار دزی به‌کار روند که بتوانند روی تمام میکروارگانیسم‌های موجود اثر بگذارند و در عین حال برای مصرف توسط انسان ایمن باشند.

۶-۱- ترکیب نانو کامپوزیت روی- کیتوزان بر سطح الیاف

با توسعه مداوم روش‌های سنتز[8] طی دو دهه اخیر، امروزه می‌توان اغلب نانوذرّات فلزی را با فرآیندهای کم

1- Hybride
2- Synergystic
3- Nanoparticles (NPs)
4- Optoelectronic
5- Wurtzite
6- Ultraviolet
7- Complex
8- Synthesis

هزینه، تجدیدپذیر، زیست سازگار،غیرسمّی و دوستدار محیط زیستی تولید کرد که با کمک عصاره‌های گیاهی و زیست پلیمرهای پلی‌ساکاریدی مانند نشاسته، آلژینات[1] و کیتوزان انجام می‌شوند. پیشرفت‌های اخیر در زمینه نانوذرّات، دروازه جدیدی را در مطالعات ضدمیکروبی به‌روی نانوذرّات فلزی گشوده است [۲۱]. نانوذرّات می‌توانند از طریق راه‌های متعدّدی وارد بدن انسان شوند و چنانچه میزان آن‌ها از حد بخصوصی تجاوز کند، موجب بروز مشکلاتی برای سلامتی فرد می‌شوند. بنابراین سنتز کردن نانوذرّات از طریق روش‌های بهتر و کم خطرتر، اهمیت بسزایی پیدا می‌کند. کیتوزان با داشتن ویژگی‌های مطلوب، از جمله زیست‌سازگاری[2]، هیچ‌گونه سمّیّتی نسبت به انسان‌ها و حیوانات ندارد، همچنین زیست تخریب‌پذیر بوده، نفوذپذیری انتخابی و فعالیت ضدمیکروبی داشته و قابلیت تشکیل ژل[3] و فیلم را داراست [۳]. یون‌های روی ویژگی‌های مهمی برای سلامت انسان و مراقبت‌های بهداشتی دارند. به خوبی شناخته شده است که هر دو ماده کیتوزان و اکسید روی دارای خواص ضدعفونی و باکتری می‌باشند [۲۲]. اتصال کیتوزان‌های متصل به یون‌های روی از طریق نیتروژن، اکسیژن و یا ترکیبی از آن‌ها است. این اتصالات به احتمال زیاد به‌خاطر برخی از اتم‌های اهداکننده بالقوه و افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی[4] است. در نانو کامپوزیت کیتوزان- اکسید روی افزایش توانایی ضدمیکروبی آن برای کاربردهای صنعت پزشکی و مواد غذایی بسیار مطلوب خواهد بود [۱۱]. زمانی‌که کیتوزان با یون‌های Zn^{2+} از طریق نیتروژن، اکسیژن و یا ترکیبی از آن‌ها متصل می‌شود، این اتصالات به خاطر برخی از اتم‌های اهداکننده آزاد باعث افزایش پیوندیابی بین الیاف و فعالیت‌های بیولوژیکی می‌شوند[۱۱].

۶-۲- ویژگی آنتی‌باکتریالی اکسید روی-کیتوزان

تفاوت باکتری‌های گرم منفی و مثبت به احتمال زیاد به‌دلیل تفاوت در ساختار دیواره سلولی است. برای هر دو نمونه کیتوزان و اکسید روی، منطقه بالاتری از مهار باکتری‌های گرم منفی باکتری ای- کولای[5] را نشان می‌دهد که کیتوزان اثر ضدباکتری قوی‌تر بر باکتری‌های گرم منفی دارد [۲۳]. علاوه بر این، ترکیب اکسید روی با کیتوزان باعث می‌شود فعالیت ضدباکتریایی افزایش یابد. به طور کلی، کیتوزان با بار مثبت موجود بر روی گروه آمینه تقویت شده و باعث جذب آسان‌تر بر روی سطح آنیونی سلول باکتری و مهار فعالیت آن می‌شود.

۷- نتیجه گیری

کاغذهایی با عمل‌آوری ویژه، می‌توانند یکی از جایگزین‌های پایه زیستی مطلوب و جالب برای محصولات پایه نفتی باشند. ضمن اینکه خواص عایق‌بندی کاغذ معمولی، به‌هیچ وجه قابل قبول نیست، بنابراین برای آنکه کاغذ بتواند در صنایع بسته‌بندی با پلاستیک به رقابت بپردازد؛ ضروری است که آن را کشش‌پذیرتر نمود. باروش لایه به لایه مقاومت آن را افزایش داد. سلولز هیچ فعالیت ضدمیکروبی نداشته و اغلب قارچ‌ها و باکتری‌ها می‌توانند تحت شرایط مناسب به سرعت در کاغذ سلولزی تکثیر شوند. بنابراین، انواع مختلفی از مواد ضد باکتری طبیعی و مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، استفاده از نانو ذرّات فلزی به‌عنوان ترکیبات ضد باکتری روند رو به رشدی داشته است. نانو ساختارها می‌توانند عوارض سمّی جبران‌ناپذیری روی برخی از سلول‌های انسان داشته باشند. در این میان، یکی از عوامل ضدباکتری اکسید روی می‌باشد که برای سلول‌های انسانی خطری ندارد. سمیت نانو ذرّات اکسید روی با توجّه به اینکه فعالیت ضدمیکروبی آن‌ها از دیرباز به رسمیت شناخته شده و استفاده‌های گسترده‌ای به‌عنوان ضدباکتری و عوامل ضدقارچ از آن‌ها می‌شود. همچنین، این ذرّات زیست‌سازگار و ایمن هستند و می‌توانند در

1- Algenat
2- Biocompatibility
3- Gel
4- Biological
5- E. Coli

بسته‌بندی مواد غذایی به‌راحتی استفاده شوند. سمّیّت نانو ذرّات اکسید روی با توجّه به استفاده‌های گسترده‌ای که به‌عنوان عوامل ضدباکتری و ضد قارچ از آن‌ها می‌شود، روی طیف گسترده‌ای از باکتری‌های بیماری‌زا، از جمله، اشریشیا کلی O157:H7، سالمونلا، لیستریا مونوسیتوژنز، استافیلوکوکوس اورئوس، ژژونی کمپیلوباکترو سودوموناس آئروژینوزا مطالعه شده است، و می‌تواند همراه با کیتوزان فعالیت ضدباکتریایی را افزایش داد. کیتوزان به عنوان پلیمری زیستی در مواد پوشش‌دهنده در تولید کاغذهای بسته‌بندی استفاده شده و از کاربردهای دیگر این ماده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی اثر آنتی‌اکسیدانی[1] آن می‌باشد که با جذب فلزاتی که کاتالیزور[2] واکنش اکسیداسیون[3] چربی هستند، مانع از اکسیداسیون می‌شوند. پوشش‌دهی کاغذ با نانو کامپوزیت[4] روی- کیتوزان می‌تواند به عنوان یک فرآیند بالقوه برای بهبود کیفیت مواد غذایی در بسته‌بندی‌های کاغذی محسوب شود و ماندگاری و ایمنی محصول را افزایش دهد. به هر حال، اهمّیت این دست از مواد، از دیدگاه علمی به‌دلیل کاربرد مواد خام تجدیدپذیر و دوست‌دار محیط‌زیست که ضمن جایگزینی با برخی از تقویت‌کننده‌های مصنوعی است می‌تواند از بار آلودگی محیط زیست بکاهد و باعث حرکت حیاتی توسعه صنایع غذایی شود. در مجموع می‌توان گفت با سرمایه‌گذاری بیشتر در بخش تولید پوشش‌دهی کاغذهای ضدمیکروبی در صنعت بسته‌بندی و بهبود کیفیت آن‌ها از نانو مواد ضد میکروبی، می‌توان باعث افزایش ایمنی و سلامت افراد جامعه شد.

۹- منابع

۱. غلامی،ا. ابراهیمی‌نژاد،ع. ابوطالبی،ن. قاسمی، ی. (اردیبهشت ۱۳۹٤). «**اثرات سینرژیستی نانو ذرّات فلزی با آنتی‌بیوتیک‌ها: راهکار مقابله با مقاومت میکروبی**»، ماهنامه فنّاوری نانو، سال چهارم، شماره۲، صفحه ۱۸-۲٤.

۲. محمدی یزدی،س. اکبری شاد، س.(تیرماه ۱۳۹۲). «**بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر**»، ماهنامه فناوری نانو، سال دوازدهم، شماره٤، صفحه ۲٤-۲۷.

۳. دشتبانی، ر. رسالتی، ح. افرا، ا. (بهار ۱۳۹۲). «**بررسی بهبود ویژگی‌های ضد میکروبی و مقاومتی کاغذ بسته‌بندی با استفاده از کیتوزان**»، فصلنامه علمی- ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی، سال چهارم، شماره ۱۳، صفحه ٦۸-۷۷.

٤. مرتضوی مقدم،ف.(آذرماه ۱۳۹۳) «**ارزیابی مقایسه‌ای ترکیبات مختلف ضدمیکروبی مورد استفاده در منسوجات**». ماهنامه فناوری نانو، سال سیزدهم، شماره۹، صفحه ۳۵-٤۹.

5. E. Bet-moushoul, Y. Mansourpanah, Kh. Farhadi, M., (2016). **"Tabatabaei. TiO_2 nanocomposite based polymeric membranes: A review on performance improvement for various applications in chemical engineering processes."** Chemical Engineering Journal. 283 29–46.

6. Zhang, D., & Xiao, H. N., (2013). **"Dual-functional beeswaxes on enhancing antimicrobial activity and water vapor barrier property of paper."** ACS Applied Materials & Interfaces. 5, 3464–3468.

7. Kumar, A. P., & Singh, R. P., (2008). **"Biocomposites of cellulose reinforced starch: Improvement of properties by photo-induced crosslinking."** Bioresource Technology, 99, 8803–8809.

8. J. Sawai, E. Kawada, F. Kanou, H. Igarashi, A. Kokugan et al., J. Chem. Eng., (1996). **"Effect of particle size and heating temperature of ceramic powders**

1- Anti-oxidant
2- Catalyst
3- Oxidation
4- Composite

on antibacterial activity of their slurries," Journal of Chemical Engineering of Japan 29, 251–256.

9. Jin, T., Sun, D., Su, J.Y., Zhang, H., Sue, H.J., (2009). **"Antimicrobial efficacy of zinc oxide quantum dots against Listeria monocytogenes, Salmonella enteritidis,"** and Escherichia coli O157:H7. Journal of Food Science. 74 (1), 46–52.

10. Raghupathi, K.R., Koodali, R.T., Manna, A.C., (2011). **"Size-dependent bacterial growth inhibition and mechanism of antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles."** Langmuir 27 (7), 4020e4028.

11. Wang, X., Du, Y., Liu, H., (2004). **"Preparation, characterization and antimicrobial activity of chitosan–Zn complex."** Carbohyd. Polym. 56, 21–26.

12. Annable, P. A., (2004). **"Process of making microcreped wipers."** US Patent 6,797–226.

13. Trani, G., & Cariolaro, N., (1996). "**Method for producing yieldable paper and plant for implementing the method."** WO Patent WO/1996/031,647.

14. Andrew Marais, Simon Utsel, Emil Gustafsson, Lars Wgberg., (2014). **Towards a super-strainable paper using the Layer-by-Layer technique.** Carbohydrate Polymers. 100, 218– 224.

15. Gimaker, M., & Wagberg, L., (2009). **"Adsorption of polyallylamine to lignocellulosic fibres: Effect of adsorption conditions on localisation of adsorbed polyelectrolyte and mechanical properties of resulting paper sheets."** Cellulose. 16(1), 87–101.

16. Xie, Y., He, Y., Irwin, P.L., Jin, T., Shi, X., (2011). **"Antibacterial activity and mechanism of action of zinc oxide nanoparticles against Campylobacter jejuni."** Applied Environmental Microbiology. 77 (7), 2325–2331.

17. Marais, A., & Wagberg, L., (2012). **"The use of polymeric amines to enhance the mechanical properties of lignocellulosic fibrous networks."** Cellulose, 19(4), 1437–1447.

18. Decher, G., 1997. **"Fuzzy nanoassemblies: toward layered polymeric multicomposites."** Science. 277(5330), 1232–1237.

19. Henriette M.C. de Azeredo., (2009). **"Nanocomposites for food packaging applications,"** Food Research International,No.42, pp: 1240 – 1253.

20. Riva, R., Ragelle, H., des Rieux, A., Duhem, N., Jerome, C., & Preat, V., (2011). **"Chitosan and chitosan derivatives in drug delivery and tissue engineering."** Advance in Polymer Science. 244, 19–44.

.۲۱ HabibAllah S.D , Elyas A., (2015). **"Application of Silver–Chitosan Nanocomposites and Antibacterial Characteristics of Paper and Its Effects on Paper Strengths."** 2nd Iranian Student Chemistry Conference University of Guilan, Rasht.

22. Takai, K., Ohtsuka, T., Senda, Y., Nakao, M., Hirai, Y., (2002). **"Antibacterial properties of antimicrobial-finished textile products."** Microbiol. Immunol. 46, 75–81.

. Liu, X.F., Guan, Y.L., Yang, D.Z., Li, Z., Yao, K., (2001). **"Antibacterial action of chitosan and carboxymethylated chitosan."** J. Appl. Polym. Sci. 79, 1324–1335.

آدرس نویسنده

گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.