مقاله ترویجی

بررسی خصوصیات عملکردی نانو ذرّات در بسته‌بندی مواد غذایی با استفاده از فرایند الکتروریسی

محبوبه حسن نیا کلایی [1×]، محبوبه کشیری [2]

تاریخ دریافت مقاله: خرداد ماه ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش مقاله: دی ماه ۱۳۹۹

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش تقاضای مصرف‌کننده به حفظ کیفیت و افزایش عمر نگهداری محصولات غذایی، صنعت بسته‌بندی بسیار مورد توجّه قرار گرفته است. امروزه بسیاری از محصولات غذایی به دلیل شرایط نامناسب نگهداری و بسته‌بندی، بازارپسندی خود را از دست می‌دهند که می‌تواند زیان‌های فراوانی به دنبال داشته باشد. فرایند الکتروریسی با استفاده از اعمال میدان الکتریکی بالا در محلول پلیمری و شکل‌گیری نانوالیاف، با خصوصیات مناسب مولکولی و سطح مخصوص بالا به عنوان یکی از روش‌های متداول شناخته شده است و در صنعت نیز بسته‌بندی استفاده می‌شود. استفاده از نانوالیاف در بسته‌بندی مواد غذایی به سبب محافظت از کیفیت و ارتقاء ویژگی محافظتی توجّه زیادی را در صنعت بسته‌بندی به خود جلب نموده است. استفاده از نانو ذرّات معدنی وفلزی به عنوان مواد عملکردی مناسب، سبب بهبود ویژگی نانوالیاف در بسته‌بندی مواد غذایی می‌گردد. در این مطالعه، به معرفی فرایند الکتروریسی پرداخته شده است. سپس کاربرد نانوذرّات در بسته‌بندی مواد غذایی معرفی می‌گردد. همچنین استفاده از این نانو ذرّات جهت افزایش خصوصیات عملکردی و بهبود کیفیت مواد غذایی با استفاده از فرایند الکتروریسی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی

الکتروریسی، نانوکامپوزیت، بسته‌بندی مواد غذایی، نانوذرّات مواد

۱- مقدمه

اصولاً بسته‌بندی مواد غذایی جزء لازم یک محصول است که شناساندن و نگهداری محصول را از تولید تا مصرف بر عهده دارد و در این رابطه، بسته‌بندی‌های مواد غذایی با هدف حفاظت ماده غذایی در برابر عوامل خارجی (میکروارگانیسم‌ها، اکسیژن، نور و غیره) صورت می‌پذیرد تا کیفیت ماده غذایی بسته‌بندی شده حفظ شود و عمر مفید افزایش یابد. امروزه در کشورهای پیشرفته صنعتی، شرکت‌های بزرگ تولیدکننده مواد غذایی برای تقویت قدرت رقابت خود در بازارهای داخلی و خارجی، سرمایه‌گذاری کلانی در زمینه استفاده از فنّاوری‌های نوین بسته‌بندی انجام می‌دهند. صنعتگران مواد غذایی معتقدند که یک بسته‌بندی مناسب اگر بتواند رضایت‌مندی مصرف‌کنندگان را تأمین نماید، قادر خواهد بود به‌عنوان

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی – دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(× نویسنده مسئول: mh.hasannia@gmail.com)

۲- عضو هیئت علمی علوم و صنایع غذایی – دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (kashiri.m@gmail.com).

یک فروشنده خاموش نقش خود را ایفاء کند و موجب بازگشت سریع‌تر سرمایه به همراه سود مناسب خواهد شد [۱]. استفاده از فنّاوری‌های نوین در صنایع غذایی عملکرد جدیدی است که بسیار مورد توجّه قرار می‌گیرد و در این میان، شکی وجود ندارد که رویکرد جدید صنایع بسته‌بندی متمرکز بر تضمین سلامت ، کیفیت مواد غذایی، سهولت استفاده و پایداری بسته‌بندی است.

با این حال، در مواد بسته‌بندی کاربردی در زمینه مواد غذایی، باید برخی از ویژگی های دیگر از جمله: تخریب‌پذیری، آبگریزی، خوراکی، ضدباکتری و خصوصیات ممانعتی نیز در نظر گرفته شود. فیبرهای الکتروریسی با توجّه به اندازه در مقیاس نانو و نسبت سطح بسیار زیاد، ممکن است مزایای بسیاری در مقایسه با بسته‌های معمولی داشته باشند. به عنوان مثال نسبت به تغییرات (رطوبت نسبی و درجه حرارت) مؤثرتر باشند. علاوه بر این، به دلیل اینکه فرایند الکتروریسی در شرایط محیطی انجام می‌شود، الیاف الکتروریسی در مقایسه با سایر روش‌های متداول تولید الیاف، برای انکپسولاسیون[1] مواد فعال کننده حساس به گرما مناسب‌تر هستند [۲]. با توجّه به مزایای ذکر شده، فیبر الکتروریسی می‌تواند نیاز طراحان و مصرف‌کنندگان مواد بسته‌بندی را نیز برآورده سازد. بنابراین، توسعه فنّاوری الکتروریسی در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی مؤثر است.

همچنین فنّاوری نانو، ویژگی‌های اثرگذار در بسیاری از زمینه‌های صنایع غذایی داشته است. این علم و فنّاوری جدید می تواند نقاط ضعف صنعت بسته‌بندی را برطرف نماید، به عنوان مثال، فیلم‌هایی با ساختار نانویی تولید نمود و نیز با افزودن برخی مواد در ساخت آن‌ها به تولید بسته‌هایی پرداخت که می‌تواند از تهاجم عوامل بیماریزا، میکروب‌ها ومیکروگانیسم‌هایی که بهداشت و سلامت غذا را به خطر می‌اندازند، جلوگیری نموده همچنین نانوحسگرهای به کار رفته در بسته‌بندی مواد غذایی، می‌تواند برای کیفیت مواد غذایی بسته‌بندی شده و اعلام وضعیت سلامت آن به کار رود. به طور کلی، اخیراً کاربردهای نانوذرّات برای بهبود خصوصیات زیست تخریب‌پذیری، مکانیکی، ضدمیکروبی در بسته‌بندی مواد غذایی، یعنی بسته‌بندی بهبود یافته، هوشمند و فعال در (جدول ۱) نشان داده شده است [۳]. در بسته‌بندی بهبود یافته، با استفاده از نانوذرّات در مواد بیونانوکامپوزیت خواص مکانیکی از جمله خاصیت ارتجاعی، ویژگی های ممانعتی گازها (در برابر اکسیژن و دی اکسید کربن) و انتشار ترکیبات طعم دهنده در شرایط مختلف دما و رطوبت بهبود می‌بخشد. در بسته‌بندی هوشمند به مصرف کننده اطّلاعاتی در مورد شرایط غذا یا محیط اطراف غذا (دما، pH) می‌دهد و توانایی تشخیص، بررسی و ضبط

جدول ۱- کاربرد نانوذرّات در بسته‌بندی مواد غذایی: (a) بسته‌بندی بهبودیافته (b) بسته‌بندی فعال (c) بسته‌بندی هوشمند

کاربرد	توضیحات	نانو ذرات
بسته‌بندی بهبودیافته	افزودن نانوذرّات در بسته‌بندی منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی، ماندگاری، خصوصیات ممانعتی، زیست تخریب‌پذیری	رس، اکسید سیلیسیوم
بسته‌بندی فعال	افزودن نانومواد با خصوصیات ضد میکروبی و دیگر خصوصیات (آنتی اکسیدانی، جذب UV) همراه با رهایش و تأثیرات آن در طعم، تازگی و عمر نگهداری غذای بسته‌بندی شده	نقره، اکسید تیتانیوم
بسته‌بندی هوشمند	افزودن نانوسنسورها برای ارزیابی شرایط غذاها (اندیکاتور اکسیژن، اندیکاتور تازگی و پاتوژن)	تنوع زیاد

1- Encapsulation

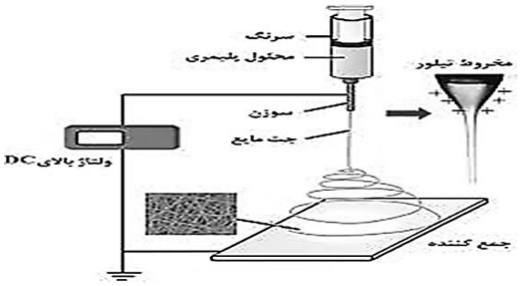
تغییرات را دارد. بسته‌بندی فعال، براساس (فعالیت ضد میکروبی و تخریب‌پذیری) منجر به کاهش اتلاف محصولات غذایی و در نتیجه طولانی شدن عمر مفید آن ها، می‌گردد [٤]. مطالعات زیادی در مورد استفاده از روش الکتروریسی در بسته‌بندی فعال مواد غذایی انجام شده است. این مقاله مروری بر کاربرد نانو ذرّات جهت بهبود خصوصیات عملکردی بسته‌بندی مواد غذایی با استفاده از روش الکتروریسی متمرکز شده است.

۲- نانو فیبر

الیاف نانو فیبر از دیدگاه هندسی به معنای یک شیء یا ساختار باریک، کشیده، شبیه نخ، در مقیاس یک میلیاردم واحد است. به طور کلی، نانوالیاف اصطلاحی است که برای الیاف با قطر بین ۵۰ تا ۳۰۰ نانومتر اطلاق می‌شود [٥]. روش‌های مختلفی برای تولید نانوالیاف وجود دارد که شامل اکستروژن، سنتز قالب، جداسازی فازی، سانتریفیوژ[1] و الکتروریسی است که می‌تواند در فنّاوری‌های بی‌شماری از جمله: مهندسی بافت[2]،صنایع غذایی، رهایش دارو[3]، فراوری آب[4] و بسته‌بندی مواد غذایی استفاده شود [٦].

۳- الکتروریسی

در سال ۱۹۳٤، فرمهالس[5] یک دستگاه آزمایشی برای تهیه الیاف پلیمری توسط نیروی الکترواستاتیک اختراع نمود. با استفاده از فرایند الکتروریسی، فیبر با ولتاژ بالا تولید گردید که به عنوان آغاز فنّاوری الکتروریسی شناخته شد. متأسفانه فرایند الکتروریسی تا اواسط قرن بیستم مورد توجه بسیاری قرار نگرفت. با توسعه سریع نانومواد و نانو فنّاوری، روش الکتروریسی به تدریج مورد توجّه دانشمندان مناطق مختلف قرار گرفت. مکانیسم الکتروریسی برای بهینه‌سازی شرایط تولید و افزایش خصوصیات عملکردی در علوم غذایی ضروری به نظر می‌رسد. الکتروریسی روش مؤثری برای تولید الیاف پلیمر در مقیاس میکرو یا نانو می‌باشد. در این فنّاوری با استفاده از میدان الکتریکی، محلول پلیمر به الیاف ریز تبدیل گشته و در جمع کننده، جمع آوری می‌گردد. همانطور که در (شکل ۱) نشان داده شده است، اجزای سیستم الکتروریسی از پمپ سرنگ، لوله مویین یا سرنگ جهت نگه داشتن ماده پلیمری، منبع تغذیه با ولتاژ بالا و یک جمع کننده که می‌تواند صفحه یا چرخان باشد، تشکیل شده است.



شکل ۱ - مکانیسم دستگاه الکتروریسی

در فرایند الکتروریسی یک محلول پلیمر درون سرنگی مجّهز به سوزن با استفاده از پمپ تزریق محلول پلیمری از آن عبور داده می‌شود. سوزن به الکترود مثبت متصل می‌باشد در حالی که الکترود مخالف (متصل به زمین) به جمع کننده متصل است. با اعمال ولتاژ بحرانی به سوزن، بار تجمع یافته در قطره پلیمری بر کشش سطحی آن غلبه نموده و باعث می‌شود تا محلول پلیمری از نوک سوزن به سمت جمع‌کننده پرتاب شود. همزمان با حرکت فورانی محلول پلیمری در هوا به سمت جمع کننده، حلال تبخیر شده و جت در انتهای مسیر منجر به ساختار فوق‌العاده نازک و کوچکی تبدیل می‌شود که در صورت اتمایز شدن قطرات در میدان الکتریکی و تشکیل کپسول(گویچه شکل)، این فرایند الکتروپاشش و در صورت تشکیل نانوالیاف و تشکیل جت[6] پایدار این فرایند الکتروریسی نامیده می‌شود. سپس، یک میدان الکتریکی بین نوک سوزن، جمع‌کننده و سطح نیم کره قطره منجر به تشکیل مخروط تیلور می‌گردد. عوامل مؤثر بر قطر و

1- Centrifuge
2- Tissue Engineering
3- Drug Delivery
4- Water Treatment
5- Formulas
6- Jet

مورفولوژی[1] نانوالیاف می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های محلول (نوع پلیمر، حلال، مواد افزودنی، غلظت و غیره)، شاخص‌های فرآیند الکتروریسی (ولتاژ اعمال شده، فاصله چرخش، سرعت تغذیه و قطر سوزن) و شاخص‌های محیط (دما، رطوبت و جریان هوا) قرار می‌گیرد [۷].

فرآیند الکتروریسی دارای چندین مزیت نسبت به سایر روش‌های تولید نانوالیاف می‌باشد، مانند: سهولت در استفاده، آسان و مقرون به صرفه بودن روش تولید نانوالیاف، ترکیب آسان ترکیبات فعال زیستی به نانوالیاف، با کاهش اندازه به ترکیبات فعال زیستی اجازه می‌دهد تا در سیستم‌های غذایی ترکیب شوند بدون اینکه روی کیفیت حسی محصولات تأثیر بگذارد. علاوه بر این، نانوالیاف تولید شده توسط فرآیند الکتروریسی دارای ساختارهای مختلف و عملکردهای مهم مانند: قطر میکرون تا نانو، نسبت سطح به حجم بالا، تخلخل مناسب، قطر قابل تنظیم فیبرها و کارایی بالای انکپسولاسیون برای ترکیبات فعال زیستی می‌باشند. براساس این مزایا، فرآیند الکتروریسی کاربرد بالقوه را در زمینه علوم غذایی مانند ساخت مواد کاربردی برای بسته‌بندی فعال، تثبیت مواد مغذّی، بهبود پایداری مواد پروبیوتیک، تهیه فیلم‌های خوراکی و ساخت سیستم‌هایی برای رهایش کنترل شده و غیره را نشان می‌دهد [۸].

٤- پرکننده‌های معدنی در فرایند الکتروریسی

به منظور دستیابی به خصوصیات عملکردی مناسب نانوالیاف در بسته‌بندی مواد غذایی، پرکننده‌های مختلف به مواد پلیمری، به ویژه پرکننده‌های معدنی که دارای خصوصیات رسانایی، مغناطیس، ضدباکتریایی و غیره می باشند، استفاده می‌گردد [۹].

٤-١- پرکننده‌های رسانا

خطرات الکترواستاتیک یک مشکل شایع در صنعت بسته‌بندی است. برخی اثرات شدید، از جمله آتش سوزی، انفجار و جذب گرد و غبار مربوط به اثرات الکترواستاتیک می‌باشد. اضافه نمودن پرکننده‌های رسانا یک روش مؤثر برای حل این مشکل و بهبود عملکرد آنتی‌استاتیک می‌باشد. علاوه بر این، مواد بسته‌بندی رسانا، از پتانسیل بسیار بالا در بسته‌بندی هوشمند برخوردار می‌باشند. مواد رسانای مبتنی بر کربن اغلب به عنوان مواد افزودنی رسانا برای تهیه مواد بسته بندی رسانا / ضد استاتیک با کاربرد گسترده استفاده می‌شوند. در یک بررسی، نانولوله‌های کربنی به عنوان پرکننده هدایتی کامپوزیت‌های پلی لاکتیک اسید زیست تخریب پذیر الکتروریسی شده استفاده گردید و نانولوله‌های کربنی توانستند به خوبی در ماتریس پلی‌لاکتیک اسید تعبیه شوند تا فیبر تشکیل گردد [۱۰].

٤-٢- پرکننده‌های مغناطیسی

این پرکننده‌ها برای ترکیبات الکترونیکی مختلف مانند تجهیزات پزشکی، رایانه‌ها، تجهیزات اداری خودکار و سایر محصولات حساس به تابش الکترومغناطیس به کار می‌روند. بنابراین استفاده از تابش ضد الکترومغناطیس در بسته‌بندی یک نیاز ضروری می‌باشد.

امروزه اکسیدهای آهن یا ترکیبات آن‌ها غالباً به عنوان پرکننده مغناطیسی نانوالیاف الکتروریسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سونگ[2] و همکاران (۲۰۰۵)، نانوذرّات مونتاژ شده آهن پلاتین در نانوالیاف پلی‌کاپرولاکتون[3] را با استفاده از الکتروریسی هم‌محور انکپسوله نمودند. تصاویرمیکروسکوپ الکترونی نشان داد، نانوذرّات آهن پلاتین به طور کامل در نانوفیبرهای پلی‌کاپرولاکتون انکپسوله شدند و با نظم خاصی در طول محور فیبر قرار گرفتند [۱۱].

استیلیوس[4] و همکاران (۲۰۰۵)، تأثیر شاخص‌های فرایند از جمله ولتاژ، سرعت جریان، غلظت محلول در مرفولوژی فیبرهای کامپوزیت مغناطیسی پلی‌وینیل

1- Morphology

2- Song
3- Polycaprolactone
4- Stylios

الکل-کلرید آهن را بررسی نمودند، این فیبرها مناسب برای تولید نانوذرّات مغناطیسی مونتاژ شده انعطاف‌پذیر می‌باشند [۱۲].

٤-۳- پرکننده‌های فتوکاتالیکی

پرکننده‌های فوتوکاتالیتکی این قابلیت را دارند که در خاصیت تمیزکنندگی در بسته‌بندی مواد غذایی مشارکت کنند. بسیاری از محققان قابلیت تمیزکنندگی با آزمایش میزان تخریب، با رنگ‌های[1] مختلف را نشان می‌دهند. اکسید تیتانیوم، یک پرکننده فوتوکاتالیستی غیر سمّی و کم هزینه است، که اغلب برای تمیز نمودن آلاینده‌ها استفاده می شود.

اکسید روی، غیر سمّی و عاری از آلودگی و به دلیل سنتز ساده آن، اغلب به عنوان پرکننده فوتوکاتالیستی درون الیاف کامپوزیت قرار می‌گیرند. فیبر کامپوزیت الکتروریسی با قابلیت تمیز کنندگی، به عنوان پرکننده‌های فوتوکاتالیستی، برخی از ترکیبات آلی موجود در بسته را حذف می‌نمایند. ژوا[2] و همکاران (۲۰۱۹)، فیلم های پلی پروپیلن الکتروریسی را تهیه نمودند، که به طور بالقوه می‌توانست به عنوان بسته‌بندی موز، مورد استفاده قرار گیرد. زیرا اکسید تیتانیوم که در غشای فیبر قرار داشت، کاتالیز شد و باعث تخریب اتیلن و تأخیر در رسیدن بیش از حد و زوال میوه موز گردید [۱۳].

٤-٤- پرکننده‌های ضد باکتریایی

مواد بسته‌بندی ضد میکروبی نقش عمده‌ای در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی دارند، که می‌توانند از رشد باکتری‌ها یا پاتوژن های عامل فساد مواد غذایی جلوگیری کنند. سه مورد از انواع مواد ضد باکتریایی متداول ماده ضد باکتری شیمیایی آلی، عامل ضد باکتری بیولوژیکی طبیعی و ماده ضد باکتری معدنی، هستند. ماده ضد باکتری شیمیایی آلی شامل کلروهگزیدین[3]، پلی‌آنیلین[4] و پلی‌اتیلن ایمین[5] اکثراً در بخش زیست دارویی مورد مطالعه قرار می‌گیرند [١٤]. مهم‌ترین مواد ضد باکتریایی بیولوژیکی طبیعی از منابع گیاهی (اوژنول[6]، تیمول[7]، کارواکرول[8])، حیوانی (کیتوزان[9]، لاکتوپراکسیداز[10]، لیزوزیم[11]) و میکرورگانیسم‌ها (ناتامایسین[12]، باکتریوسین[13]، باکتری‌های اسید لاکتیک[14]) به دست می‌آیند. از عوامل ضد باکتریایی معدنی می‌توان به طور عمده به برخی یون‌های فلزی (مانند نقره، مس، روی و غیره) و یا ترکیبات آن‌ها که فعالیت ضد باکتری دارند، اشاره نمود. در بین آن‌ها، اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم بیشترین گزارش را نشان می‌دهد. خصوصیات اصلی عوامل ضدباکتریایی معدنی مقاومت به گرما، خصوصیات ضد باکتری گسترده و طولانی می‌باشند [۱۵].

۵- استفاده از فنّاوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی

کاربردهای نانوکامپوزیت به عنوان مانع، پوشش، رهاساز و در سیستم‌های بسته‌بندی جدید با اصلاح رفتار نفوذپذیری، افزایش خواص ممانعتی (شیمیایی و میکروبی)، بهبود خواص مکانیکی و مقاومت در برابر حرارت، ایجاد سطوح ضد میکروبی فعال، تغییرات میکروبیولوژیکی و یا بیوشیمیایی امکان پذیر است. نقش کارکردی مهم بسته‌بندی مواد غذایی محافظت از مواد غذایی در برابر عوامل فساد، غذای سالم، تأمین کننده اطّلاعات برای مصرف کننده می‌باشد. مزایای ویژه فنّاوری نانو عبارتند از: کنترل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی برای دستیابی به عملکرد هدفمند، نسبت سطح به حجم بالا، بهبود حلالیت در آب، عدم استفاده از مواد افزودنی

1- Dyes
2- Zhu
3- Chlor-Hexidin
4- Polyaniline
5- Polyethylenimine
6- Eugenol
7- Thymol
8- Carvacrol
9- Chitosan
10- Lactoperoxidase
11- Lysozyme
12- Natamycin
13- Bacteriocin
14- Lactic Acid Bacteria (LAB)

غذایی، کنترل رهایش، افزایش جذب، فعالیت بیولوژیکی و دسترسی زیستی، کنترل بهتر بر اندازه و توزیع ذرّات، توانایی تحمل فشارهای مکانیکی، حرارتی و سایر موارد می‌باشد. این مزیت‌ها سبب می‌شود که فنّاوری نانو و نانوذرّات اهمیت بیشتری در جنبه‌های مختلف مواد غذایی پیدا نماید [۱۶].

۶- نانو مواد و کاربرد آن در بسته‌بندی مواد غذایی با استفاده از فرایند الکتروریسی

به طور کلی، نانو مواد به دو دسته معدنی و آلی طبقه‌بندی می‌شوند و نانومواد به کار رفته در بسته‌بندی مواد غذایی نانومواد معدنی، فلزات، اکسیدهای فلزی و نانوذرّات رس مورد توجّه قرار می‌گیرد [۱۷]. نانومواد معدنی و اکسیدهای فلزی مانند نقره، آهن، دی اکسید تیتانیوم، اکسید روی، اکسید منیزیم و همچنین دی اکسید سیلیکون و نانوذرّات کربن به دلیل مقاومت زیاد در فرایند و همچنین خاصیت ضد میکروبی قوی علیه میکرورگانیسم‌های پاتوژن[1] توجّه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۱۸]. جدول (۲) خلاصه‌ای از کاربرد نانو ذرّات معدنی با استفاده از فرایند الکتروریسی در بسته‌بندی مواد غذایی اشاره نموده است.

۶-۱- نانوذرّات نقره

نانوذرّات نقره به دلیل ویژگی ذاتی ضد میکروبی، جایگاه مهمی را به خود اختصاص داده است. این نانو ذرّات، از زمان‌های قدیم به عنوان عوامل باکتریواستاتیک[2] مورد استفاده قرار می‌گرفتند. مواد نمک – نقره اثر مهارکنندگی بر رشد پاتوژن های متنوعی که بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارد داشته است. کاربرد مهم نانوذرّات نقره استفاده آن به صورت زئولیت نقره است. زئولیت نقره به وسیله ترکیب فلز خاکی قلیایی با کریستال آلومینوسیلیکات، که تا حدّی جایگزین یون‌های نقره با استفاده از روش تبادل یونی شده است [۱۹]. زئولیت نقره در بسیاری از محصولات به عنوان مثال در حفاظت غذا، مواد ضدعفونی‌کننده و محصولات دارویی، استفاده می‌شوند. در مقایسه با زئولیت، نانوکامپوزیت مبتنی بر نقره فعالیت ضدمیکروبی بالایی دارد و برای نگهداری طولانی مدّت غذاها مناسب است [۲۰].

مونتنو[3] و همکاران (۲۰۱٤)، خاصیت آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی نانوالیاف الکتروریسی شده در پلی‌لاکتیک اسید- نانو ذرّات نقره - ویتامین E بررسی نمودند. عامل ضدباکتری نانو ذرّات نقره و ویتامین E به عنوان آنتی اکسیدان در نانوالیاف پلی‌لاکتیک اسید فرموله شده بودند. نانوالیاف رشد *اشرشیا کلای*[4] و *لیستریا*[5] *منوسیتوژنس* مهار نمود. نقره به آرامی از ماتریس فیبر رها گردید و فعالیت آنتی اکسیدانی فیبرها افزایش یافت. آزمایشات روی سیب تازه و آب سیب نشان داد که نانوالیاف می‌تواند فعالیت پلی‌فنل اکسیداز را کاهش دهد. این مواد نانوالیاف در بسته بندی موادغذایی از پتانسیل بالایی برخوردار بودند [۲۱].

در تحقیق دیگر، نانو ذرّات نقره و پلی لاکتیک اسید به وسیله پوست میوه انگور سیاه سنتز شدند و سپس قبل از الکتروریسی مخلوط شدند. فعالیت ضد باکتریایی نانو ذرات نقره در نانوالیاف پلی‌لاکتیک اسید بر ضد سویه‌های باکتریایی بیماری زا مورد بررسی قرار گرفت. نانوالیاف برای بسته‌بندی میوه‌ها، لیمو و توت فرنگی مورد استفاده قرار گرفت که نتایج حاکی از افزایش عمر مفید و جلوگیری از پوسیدگی ناشی از پاتوژن‌های باکتریایی است. پیشنهاد شده که استفاده از چنین الیافی برای بسته‌بندی موادغذایی مورد استفاده قرار گیرد [۲۲].

۶-۲- نانوذرّات دی اکسید تیتانیوم

نانوذرّات دی اکسید تیتانیوم بیشترین کاربرد را در بین نانو مواد دارد و به عنوان نانومواد با ارزش اکسید فلزی، با مقاومت مناسب در دمای بالا در نظر گرفته شده است. از ویژگی‌های این ماده، ارزان ، غیر سمّی و پایدار در مقابل

1- Pathogen
2- Bacteriostatic
3- Munteanu
4- Ashrashia Kelly
5- Listeria

نور می‌باشد. این ماده به عنوان یک ماده فتوکاتالیست در حوزه‌های انرژی و محیط‌زیست، مانند تصفیه هوا و آب، ضدمیکروب، تمیز کننده سطوح و آب کاربرد دارد. کاربرد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی توجهّات گسترده‌ای را که ناشی از فعالیت ضدمیکروبی آن‌ها می‌باشد، به خود جلب نموده است [۲۳].

اخیراً ، لیو[1] و همکاران (۲۰۱۹)، مواد نانوکامپوزیت ضد باکتریایی پلی لاکتیک اسید و نانو ذرّات اکسید تیتانیوم را با استفاده از دو روش الکتروریسی و فرایند قالب زنی محلول بررسی نمودند. نانو ذرّات اکسید تیتانیوم به میزان قابل توجّهی میزان سرعت انتقال بخار آب نانوالیاف و فیلم‌ها را کاهش داد. همچنین حلالیت در آب به طور چشمگیری بهبود یافت. تحت تابش اشعه ماوراء بنفش، نانو ذرّات اکسید تیتانیوم سبب مهار رشد باکتری‌ها برعلیه اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس[2] در نانوالیاف شد و این مواد با خاصیت انتقال بخار آب بسیار کم در بسته‌بندی موادغذایی استفاده گردید [۲٤].

٦-۳- نانوذرّات اکسید روی

اکسید روی ویژگی‌های عالی دارد، به ویژه در زمینه نانومواد در سراسر جهان بسیار مورد توجّه قرار گرفته است، این نانو ذرّه معمولاً به عنوان ضد میکروب عمل می‌نماید و به عنوان عامل محافظ در برابر اشعه ماوراء بنفش در بسته‌بندی موادغذایی استفاده می‌شود. همچنین نانوذرّات اکسید روی خاصیت کاتالیزوری، الکتریکی (پیزو و پیرو الکتریک) و نوری را نشان می‌دهد، قابلیت پایداری نور، زیست سازگاری و زیست تخریب‌پذیری و همچنین به عنوان ماده ضدمیکروبی در بسته‌بندی فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۵].

در تحقیقی دیگر آمنا[3] و همکاران (۲۰۱۵)، بسته‌بندی ضد میکروبی هیبریدی با استفاده از پلی اورتان و اکسید روی و روغن زیتون بکر با استفاده از فنّاوری الکتروریسی تهیه نمودند. افزودن روغن زیتون در مورفولوژی نانوفیبرهای پلی‌اورتان تأثیرگذار بود و همچنین حضور نانوذرّات اکسید روی با خاصیت ضدمیکروبی، منجر به مهار رشد دو میکروب پاتوژن متداول *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سالمونلا تیفی موریوم* گردید [۲٦].

٦-٤- نانوذرّات مس

نانوذرّات بر پایه مس به طور عمده شامل نانوذرّات مس و نانوذرّات اکسید مس هستند. این نانو ذرّات به علت فعالیت ضدمیکروبی، جهت کاهش رشد باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها استفاده می‌شوند. افزایش خصوصیات ضد میکروبی نانوذرّات اکسید مس به دلیل نسبت سطح زیاد آن‌ها، همچنین تمایل به واکنش با غشای سلولی، می‌باشد. نانوذرّات اکسید مس در مهندسی شیمی، مواد غذایی و در زیست دارو به عنوان سنسورهای گازی، کاتالیزورها، ضد عفونی‌کننده‌های آب، عوامل تقویت‌کننده پلیمر و در بسته‌بندی موادغذایی استفاده می‌شود [۱۷].

کاسترو مایورگا[4] (۲۰۱۸)، نانوکامپوزیت ضد میکروبی دو لایه را با استفاده از فرایند الکتروریسی پلی هیدروکسی بوتیرات والرات (PHBV) و نانوذرّات مس در بسته‌بندی فعال موادغذایی و پوشش استفاده نمودند. در مقدار زیاد نانوذرّات مس، نفوذپذیری بخار آب افزایش یافت که به دلیل خصوصیات هیدروفیلی پلی‌هیدروکسی بوتیرات والرات و پراکندگی ضعیف نانوذرّات در نسبت‌های زیاد شده است .در حالی‌که افزایش کمی نانوذرّات مس منجر به بهبود خاصیت ممانعتی اکسیژن شد. وجود نانوذرّات مس در فیلم‌ها اندکی تحت تأثیر خواص ساختارهای دو لایه قرار گرفت. مقدار کمی از نانوذرّات مس با استفاده از روش الکتروریسی عملکرد قابل توجّهی بر ضدباکتری، ویروس و پاتوژن‌های غذا *لیستریا منوسیتوژنس* و *استافیلوکوکوس انتریکا* و *مورین نوروویروس*[5] شد [۲۷].

1- Liu
2- Aureus
3- Amna
4- Castro Mayorga
5- Murine Norovirus

٦-٥- نانوذرّات رس و سیلیکات

در حال حاضر، متداول‌ترین نانوفیلر مورد استفاده در صنعت نانوکامپوزیت، نانو رس است که این نانومواد کاربرد فراوانی از نظر تجاری دارند. متداول‌ترین خاک رس مورد استفاده نیز سنگ‌های معدنی اسمکتیت[1] مانند: مونت موریلونیت[2] و هکتوریت[3] هستند که به خانواده سنگ‌های سیلیکاتی لایه لایه تعلّق دارند. توانایی نانورس‌ها در پخش شدن به صورت لایه‌های مجزا از هم و قابلیت تغییر در خواص سطحی این مواد و ایجاد سازگاری با انواع پلیمرها و بیوپلیمرها، تولید آسان‌تر و در نتیجه قیمت پایین‌تر، دسترسی آسان‌تر و سازگاری بیشتر با بیوپلیمرها از جمله دلایلی است که باعث افزایش توجّه به استفاده از نانورس‌ها در تولید نانوکامپوزیت‌ها شده است. مونت موریلونیت به عنوان رایج‌ترین نانو رس شناخته شده است که واکنش‌پذیری زیاد و نسبت سطح بالا دارد [١٨]. افزودن نانو رس به مقدار کم منجر به بهبود خصوصیات ممانعتی به گازها می‌شود و میزان انتقال اکسیژن در مواد بسته‌بندی را بهبود می‌بخشد. همچنین، اختلاط نانورس باعث افزایش شفافیت و ماندگاری می گردد [٢٨].

آگاروال[4] و همکاران (٢٠١٤)، اثر نانوالیاف الکتروریسی *مونت موریلونیت* - نایلون ٦، بر روی فیلم‌های پلی پروپیلن در چیپس سیب زمینی و نان را بررسی نمودند، نانوالیاف در فیلم‌های پلی پروپیلن به شدّت میزان نرخ عبور اکسیژن در فیلم افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، میزان انتقال بخار مرطوب[5] در فیلم‌های پلی‌پروپیلن با پوشش نایلون ٦ بهبود قابل توجّهی را نشان نمی‌دهد. نانورس با کاهش میزان انتقال اکسیژن منجر به کاهش مالون آلدئید در بسته بندی چیپس گردید و میزان رنسیدیتی را کاهش داد. ماندگاری نان بسته‌بندی شده در نتیجه مهار رشد میکروبی به دلیل اثر رس در جذب اکسیژن و رطوبت، به ٢ روز افزایش یافت [٢٩].

٦-٦- نانوسیلیکون دی اکسید

سیلیکون دی اکسید یا سیلیکا با فرمول شیمیایی Sio_2 موجود در طبیعت در مواد معدنی مانند: سنگ عقیق، کوارتز و یا در دیواره سلولی دی اتم‌ها وجود دارد. سیلیکا به شکل‌های مختلف مانند شیشه، کریستال، ژل، آئروژل یا کلوئید یافت می‌شود. ساختار سیلیکا یا سیلیکون دی اکسید به صورت o=si=o می‌باشد که به‌صورت کریستالی، آمورف و آمورف سنتتیک هستند. سیلیکون اکسید طبیعی دارای ساختار طبیعی کریستالی بوده در حالی‌که سیلیکون اکسید آمورف ساختار غیرکریستالی دارد. نانوسیلیکون دی‌اکسید از سیلیکون و اکسیژن مشتق می‌شود و به دلیل سطح مخصوص زیاد، انرژی سطح بالا و باندهای شیمیایی غیراشباع و گروه‌های هیدروکسیل در سطح آن به آسانی در زنجیره ماکرومولکول‌ها پخش می‌گردد. همچنین با ایجاد پل‌های عرضی بین زنجیره‌های پلیمر باعث افزایش پیوستگی شبکه پلیمر می‌شود و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت را افزایش می‌دهد. همچنین هدف دیگر استفاده از آن، افزایش مقاومت حرارتی ماده بسته‌بندی می‌باشد [٣٠].

در یک بررسی، بسته‌بندی موادغذایی انعطاف پذیر با استفاده از نانو ذرّات سیلیکا مزوپورس[6]، اسید اسکوربیک، پلی‌لاکتیک اسید با استفاده از فرایند الکتروریسی تهیه نمودند پلاستی‌سایزر (استیل تری-ن-بوتیل سیترات[7]) به منظور بهبود خواص مکانیکی از نظر انعطاف‌پذیری به آن اضافه گردید. این نانوفیبر منجر به کنترل رهایش ترکیبات ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی گردید، زیرا اسید اسکوربیک در سطح سیلیکا مزوپورس منجر به پایداری و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد [٣١].

1- Smectite
2- Montmorillonite
3- Hectorite
4- Agarwal
5- Moisture Vapour Transfer Rate
6- Mesoporous Silica
7- ATBC

جدول ۲- خلاصه‌ای از کاربرد نانو ذرّات معدنی با استفاده از فرایند الکتروریسی در بسته‌بندی مواد غذایی

پلیمرها	نانوذرّات	عوامل فعال	خصوصیات فعال	ویژگی‌ها
پلی‌لاکتیک اسید	اکسید روی و اکسید سیلسیوم/ نانوذرّات روی	اکسید روی	ضدمیکروب	رشد ایکلای با افزودن اکسید روی به طور قابل توجّهی کاهش یافت.
پلی‌هیدروکسی بوتیرات/پلی کاپرولاکتون	مونت موریلونیت	–	ضد قارچی	نانوفیبرها در فیلم‌های پلی‌پروپیلن باعث افزایش عمر نگهداری و جلوگیری از پراکسیداسیون چربی‌ها و همچنین جلوگیری از رشد میکروبی با کاهش رطوبت و انتقال اکسیژن گردید.
پلی‌لاکتیک اسید	پلی اتیلن اکسید، نانوذرّات اکسید روی	–	–	افزودن نانوذرّات اکسید روی منجر به افزایش خصوصیات مکانیکی در فیلم‌های فیبری پلی اتیلن اکسید–سلولز استات شدند.
پلی هیدروکسی بوتیرات والرات (PHBV)[1]	ذرّات مزوپورس سیلیکا و اوژنول	اوژنول	ضدمیکروب	فیلم‌های پلی‌هیدروکسی بوتیرات والرات حاوی نانو ذرّات مزوپورس سیلیکا و اوژنول از رشد باکتریایی جلوگیری نمودند.
پلی کاپرولاکتون(PCL)	*مونت موریلونیت*	–	–	افزودن رس در فیبرها تأثیری در بازده تکثیر سلول نداشت.
پلی‌وینیل الکل، صمغ کارایا	نانوذرّات نقره	نانوذرّات جیوه	ضدمیکروب	فیبرهای به دست آمده فعالیت ضدمیکروبی بر ضد *استافیلوکوکوس اورئوس*، *ایکلای* داشتند.
پلی‌اتیلن اکسید	*مونت موریلونیت*	–	–	فیلم‌ها با خاصیت ممانعت‌کنندگی به اکسیژن و رطوبت تولید شدند.
پلی‌کاپرولاکتون، پلی‌هیدروکسی بوتیرات	نانو ذرّات سرب	نانو ذرّات سرب	–	صفحات زیستی پلی‌کاپرولاکتون/ نانو ذرّات سرب دارای خاصیت جذب اکسیژن بیشتر نسبت به نمونه بدون نانوذرّات بود.
پلی‌لاکتیک اسید	نانوذرّات نقره، ویتامین E	نانوذرّات نقره، ویتامین E	ضدمیکروب، آنتی‌اکسیدان	فیبرها خاصیت ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی نشان دادند.

1- Polyhydroxybutyrate valrate

٦-٧- نانو لوله‌های کربنی

نانو لوله‌های کربنی در سال ۱۹۹۱ کشف شدند و در حقیقت لوله‌هایی از گرافیت می‌باشند. اگر صفحات گرافیت را به صورت پیچیده و به شکل لوله در بیاوریم، به نانو لوله‌های کربنی می‌رسیم. این نانولوله‌ها دارای اشکال و اندازه‌های مختلفی هستند و می‌توانند تک دیواره یا چند دیواره باشند(جدول ۲).

لیو و همکاران (۲۰۱۹)، ترکیب پلی‌لاکتیک اسید، کیتوزان و مواد نانوتیوپ‌های کربن با استفاده از روش الکتروریسی تولید نمودند. خصوصیات مکانیکی، تورم و حلالیت فیلم‌های فیبری اصلاح گردید. به همین ترتیب، فعالیت ضدباکتریایی الیاف با افزودن کیتوزان افزایش یافت و بهترین عملکرد زمانی مشاهده شد که نانوالیاف کامپوزیت اثرات خوبی برای نگهداری توت فرنگی در بسته‌بندی موادغذایی نشان دادند[۲٤].

۷- نتیجه گیری

الکتروریسی اخیراً به عنوان روشی نسبتاً مقرون به صرفه برای تولید رشته‌های نانوپلیمر بسیار مورد توجّه قرار گرفته است. به طور خلاصه، فن آوری الکتروریسی روشی مؤثر برای تهیه نانوالیاف می‌باشد که می‌تواند الزامات عملکردی را در بسته‌بندی مواد در حوزه مواد غذایی برآورده سازد. نوآوری نانومواد در علم بسته‌بندی

مواد غذایی تغییرات بسیاری را در حفظ، ذخیره، توزیع و مصرف مواد غذایی ایجاد کرده است. اثر ضدمیکروبی نانومواد، از رشد میکروب در مواد غذایی جلوگیری و ماندگاری موادغذایی را به طور خاص افزایش داده است. همچنین در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی، با توجّه به برخی از الزامات ویژه، می‌توان از نانو ذرّات به ویژه نانو ذرّات معدنی و اکسید فلزی به عنوان پرکننده همراه با سایر ترکیبات فعال زیستی در بسته‌بندی مواد غذایی با استفاده از فنّاوری الکتروریسی استفاده نمود و خصوصیات زیست تخریب‌پذیری، آب‌گریزی، ضدباکتری و ممانعتی را بهبود بخشید. مسئله‌ای که باید مورد توجّه قرار گیرد، ایمنی بسته‌بندی است که می‌تواند ناشی از مهاجرت نانومواد از بسته‌بندی به ماتریس موادغذایی باشد. همچنین جذب، توزیع، متابولیسم دفع و همچنین ارزیابی سمیت نانوذرّات در مصرف مواد غذایی این امکان را برای نانومواد فراهم می‌نماید تا تحقیقات وسیع‌تری در آینده انجام گیرد.

۸- منابع

1. Realini, C.E. and Marcos, B. (2014). **"Active and intelligent packaging systems for a modern society,"** Meat science, 98(3), 404-419.
2. Topuz, F. and Uyar, T. (2020). **"Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications,"** Food Research International, 130, 108927.
3. Han, J.H. (2005). **"Antimicrobial packaging systems, in Innovations in food packaging,"** Elsevier, 80-107.
4. Biji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O. and Srinivasa Gopal, T. K. (2015). **"Smart packaging systems for food applications: a review,"** Journal of Food Science and Technology, 52(10), 6125-6135.
5. Hagewood, J.F. (2002). **"Polymeric nanofibers: Fantasy or future,"** International Fiber Journal, 17(6), 62-63.
6. Almetwally, A.A., El-Sakhawy, M., Elshakankery, M. H. and Kasem, M. H. (2017). **"Technology of nano-fibers :production techniques and properties-critical review,"** J. Text. Assoc, 78, 5-14.
7. Ghorani, B. and Tucker, N. (2015). **"Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology.** Food Hydrocolloids, 51, 227-240.
8. Wen, P., Zong, M.H., Linhardt, R.J., Feng, K. and Wu, H. (2017). **"Electrospinning: A novel nano-encapsulation approach for bioactive compounds,"** Trends in Food Science & Technology, 70, 56-68.
9. Yue, Y., Wang, X., Wu, Q. and Han, J. (2019). **"Assembly of Polyacrylamide-Sodium Alginate-Based Organic-Inorganic Hydrogel with Mechanical and Adsorption Properties,"** Polymers, 11(8), 1239.
10. Han, J., Wang, H., Yue, Y., Mei, C., Hung, C., Wu, Q. and Xu, X. (2019). **"A self-healable and highly flexible supercapacitor integrated by dynamically cross-linked electro-conductive hydrogels based on nanocellulose-templated carbon nanotubes embedded in a viscoelastic polymer network,"** Carbon, 149, 1-18.
11. Song, T., Zhang, Y., Zhou, T., Lim, C. T., Ramakrishna, S. and Liu, B. (2005). **"Encapsulation of self-assembled FePt magnetic nanoparticles in PCL nanofibers by coaxial electrospinning,"** Chemical Physics Letters, 415(4-6), 317-322.
12. Stylios, G. (2011). **"Process optimization and alignment of PVA/FeCl3 nano composite fibres by electrospinning,"** Journal of Material Science, 46, 3378-3386.

13. Zhu, Z., Zhang, Y., Shang, Y. and Wen, Y. (2019). **"Electrospun nanofibers containing TiO 2 for the photocatalytic degradation of ethylene and delaying postharvest ripening of bananas,"** Food and Bioprocess Technology, 12(2), 281-287.
14. Saidin, S., Jumat, M. A., Amin, N., and Al Hammadi, A. (2021). **"Organic and inorganic antibacterial approaches in combating bacterial infection for biomedical application,"** Materials Science and Engineering: 18, 111382.
15. Saeed, F., Afzaal, M., Tufail, T., and Ahmad, A. (2019). **"Use of Natural Antimicrobial Agents: A Safe Preservation Approach,"** Act. Antimicrob. Food Packag.
16. Li, Q., Mahendra, S., Lyon, D. Y., Brunet, L., Liga, M., Li, D. and Alvarez, P. (2008). **"Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: potential applications and implications,"** Water research, 42(18), 4591-4602.
17. Almasi , Jafarzadeh, H.P. and Mehryar, L. (2018). **"Fabrication of novel nanohybrids by impregnation of CuO nanoparticles into bacterial cellulose and chitosan nanofibers: Characterization, antimicrobial and release properties,"** Carbohydrate polymers, 186, 273-281.
18. Attaran, S.A., Hassan, A. and Wahit, M.U. (2017). **"Materials for food packaging applications based on bio-based polymer nanocomposites: A review,"** Journal of Thermoplastic Composite Materials, 30(2), 143-173.
19. Siddiqi, K.S., Husen, A. and Rao, R.A. (2018). **"*A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties*,"** Journal of nanobiotechnology, 16(1), 14.
20. Matsumura, Y., Yoshikata, K., Kunisaki, S. I. and Tsuchido, T. (2003). **"Mode of bactericidal action of silver zeolite and its comparison with that of silver nitrate,"** Appl. Environ. Microbiol, 69(7), 4278-4281.
21. Munteanu, B.S., Aytac, Z., Pricope, G.M. Uyar, T. and Vasile, C. (2014). **"Polylactic acid (PLA)/Silver-NP/VitaminE bionanocomposite electrospun nanofibers with antibacterial and antioxidant activity,"** Journal of nanoparticle research, 16(10), 2643.
22. Kumar, T.S.M., Kumar, K.S. Rajini, N., Siengchin, S., Ayrilmis, N. and Rajulu, A.V. (2019). **"A comprehensive review of electrospun nanofibers: Food and packaging perspective,"** Composites Part B: Engineering, 175(15), 107074.
23. Krishna, V., Pumprueg, S., Lee, s.h., Zhao, J., Sigmund, W., Koopman, B. and Moudgil, B.M. (2005). **"Photocatalytic disinfection with titanium dioxide coated multi-wall carbon nanotubes," ,"**Process Safety and Environmental Protection, 83(4), 393-397.
24. Liu, Y., Wang, S., Lan, W. and Qin, W. (2019). **"Fabrication of polylactic acid/carbon nanotubes/chitosan composite fibers by electrospinning for strawberry preservation,"** International journal of biological macromolecules, 121, 1329-1336.
25. Salarbashi, D., Tajik, S., Shojaee-Aliabadi, S., Ghasemlou, M., Moayyed, H., Khaksar, R. and ShahidiNoghabi, M. (2014). **"Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated Zataria multiflora Boiss and Mentha pulegium essential oils,"** Food chemistry, 146, 614-622.
26. Amna, T., Yang, G., Ryu, K.S. and Wang, I.H. (2015). **"Electrospun antimicrobial hybrid mats: Innovative**

packaging material for meat and meat-products," Journal of food science and technology, 52(7), 4600-4606.

27. Zhao, L., Duan, G., Zhang, G., Yang, H., He, S. and Jiang, S. (2020). **"Electrospun Functional Materials toward Food Packaging Applications: A Review,"** Nanomaterials, 10(1), 150.
28. Garcıa-López, D., Picazo, O., Merino, J.C. and Pastor, J.M. (2003). **"Polypropylene–clay nanocomposites: effect of compatibilizing agents on clay dispersion,"** European polymer journal, 39(5), 945-950.
29. Agarwal, A., Raheja, A., Natarajan, T.S. and Chandra, T.S. (2014). **"Effect of electrospun montmorillonite-nylon 6 nanofibrous membrane coated packaging on potato chips and bread,"** Innovative Food Science & Emerging Technologies, 26, 424-430.
30. Hassannia-Kolaee, M., Kodaiyan, F., Pourahmad, R. and Shahabi-Ghahfarrokhi, I. (2016). **"Development of ecofriendly bionanocomposite: Whey protein isolate/pullulan films with nano-SiO2,"** International journal of biological macromolecules, 86, 139-144.
31. Cacciotti, I. and Nanni, F. (2016). **"Poly (lactic) acid fibers loaded with mesoporous silica for potential applications in the active food packaging,"** in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC.

آدرس نویسنده

گلستان – گرگان – میدان بسیج – دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان – دانشکده صنایع غذایی