





Investigating the Application of Nano Chitosan in the Paper and Food Packaging Industry

Saleh Ghahramani *, Sahab Hejazi , Ali Abdolkhani

* Ph.D. graduated Nanofibers and paper and cellulose industries, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 18/12/2023, Revised: 19/01/2024, Accepted: 14/05/2024, Published: 09/06/2024)

DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.57.6.5

ABSTRACT

Today, the use of new packaging methods and the use of nanotechnology has made it possible to use biodegradable compounds with antimicrobial properties instead of synthetic materials that are harmful to health. One of these biodegradable compounds is nano chitosan. Chitosan nanoparticles are promising polymeric and biological nanoparticles that have received much attention in recent decades. In this review, the methods of preparing chitosan and nano-chitosan, the application of nano-chitosan in the paper packaging and food packaging industry, as well as the importance, application, and method of combining nano chitosan with other materials in packaging, were examined using related keywords and issues articles between 2005 to 2023 . Chitosan nanoparticles, due to their biodegradability properties, high resistance properties, antimicrobial and antifungal properties, favorable formability, lightness, variety of physical properties, good printability, and easy production process, have gained special importance and widespread use in the paper and food packaging industries. Based on the results of this study, combining nanochitosan with other biological compounds such as polysaccharides and proteins and creating polymer nanocomposites can improve the functional properties of the films obtained from this combination. Also, nanochitosan can play an effective role in the preparation of bioactive films, and hence it helps the paper and food packaging industry in maintaining and improving the quality of packaged materials during the storage process.

Keywords: Nano chitosan, Nanotechnology, Papermaking, Food Pakag

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

 Authors



* Corresponding Author Email: s.ghahramani@ut.ac.ir

علمی - مروری

بررسی کاربرد نانوکیتوزان در صنعت کاغذ و بسته‌بندی مواد غذایی

صالح قهرمانی^{۱*}، سحاب حجازی^۲، علی عبدالخانی^۳

۱- دانش آموخته دکتری مهندسی صنایع خمیر و کاغذ، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، کرج، ایران ۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران ۳- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.57.6.5

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۹

چکیده

امروزه بهره‌گیری از روش‌های نوین بسته‌بندی و به‌کارگیری فناوری نانو امکان استفاده از ترکیبات زیست تخریب پذیر با خاصیت ضد میکروبی به جای مواد مصنوعی مضر برای سلامتی را ایجاد کرده است. یکی از این ترکیبات زیست تخریب پذیر نانو کیتوزان است. نانوذرات کیتوزان نانوذرات پلیمری و زیستی امیدوارکننده‌ای هستند که در دهه‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. در این مطالعه مروری، روش‌های تهیه کیتوزان و نانوکیتوزان، کاربرد نانوکیتوزان در صنعت بسته‌بندی کاغذ، و بسته‌بندی مواد غذایی، و همچنین اهمیت، کاربرد، و نحوه ترکیب نانوکیتوزان با سایر مواد در بسته‌بندی، با استفاده از مقالات و کلیدواژه‌های مرتبط بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفته است. نانو ذرات کیتوزان به دلیل دارا بودن خاصیت زیست تخریب پذیری، ویژگی‌های مقاومتی بالا، خواص ضد میکروبی و ضد قارچی، قابلیت شکل‌گیری مطلوب، سبکی، تنوع خواص فیزیکی، چاپ‌پذیری خوب، و فرایند تولید آسان، اهمیت ویژه و کاربرد گسترده‌ای در صنایع کاغذ و بسته‌بندی مواد غذایی پیدا کرده‌اند. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی ترکیب کردن نانوکیتوزان با ترکیبات زیستی دیگر نظیر پلی‌ساکاریدها یا پروتئین‌ها و ایجاد نانو کامپوزیت‌های پلیمری می‌تواند موجب بهبود خواص عملکردی فیلم‌های حاصل از این ترکیب شود. همچنین نانوکیتوزان می‌تواند نقش موثری در تهیه فیلم‌های فعال زیستی ایفا نماید و از این رو در حفظ و بهبود کیفیت مواد بسته‌بندی شده در طول فرایند نگهداری و انبارسازی کمک شایانی به صنعت کاغذ و بسته‌بندی مواد غذایی می‌کند.

کلیدواژه‌ها: نانوکیتوزان، فناوری نانو، کاغذ، بسته‌بندی مواد غذایی

۱- مقدمه

مواد غذایی را افزایش داده و به عنوان یک محافظ فیزیکی عمل می‌کنند. در این میان بسته‌بندی‌های حاصل از پلیمرهای زیستی می‌توانند مانند سدی در برابر رطوبت، گازها و مواد محلول عمل نمایند. همچنین قابلیت افزودن ترکیبات ضد میکروبی و ضد قارچی و آنتی‌اکسیدانی نیز به آن‌ها وجود دارد و شاید بتوان گفت برترین مزیت آن‌ها در مقایسه با پلیمرهای مصنوعی قابلیت زیست تخریب پذیری و همچنین قیمت ارزان تر آن‌ها می‌باشد [۱، ۲].

در سال‌های اخیر، افزایش آگاهی‌های زیست محیطی بسیاری از نهادها، دولت‌ها و شرکت‌ها را به کاهش مصرف فرآورده‌های حاصل از منابع فسیلی علاقه مند کرده است [۳].

امروزه کاغذ و فرآورده‌های کاغذی به عنوان پرمصرف‌ترین مواد اولیه در صنعت بسته‌بندی به شمار می‌آیند. در بسته‌بندی محصولات مختلف، بیشترین سهم را بسته‌بندی کاغذی شامل مقوا و کارتن با بیش از ۴۰ درصد، بسته‌بندی با پلیمرهای پلاستیکی محکم حدود ۲۰ درصد و بسته‌بندی فلزی با حدود ۱۸ درصد دارا می‌باشند. مواد مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی با ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب زمان ماندگاری

* رایانامه نویسنده مسئول: s.ghahramani@ut.ac.ir



* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

نویسندگان ©

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

بسته بندی، انرژی و پایداری صنعتی به دلیل خواص بیولوژیکی و فیزیولوژیکی منحصر به فردش از جمله حلالیت، زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری و واکنش پذیری بسیار شناخته شده است [۱۵].

یکی از مواد مورد استفاده جهت بهبود کیفیت کاغذ و بسته بندی کیتوزان (Chitosan) است؛ که با کمک فناوری نانو می توان از نانو ذرات کیتوزان در جهت بهبود هرچه بیشتر کیفیت صنعت کاغذ و بسته بندی استفاده کرد. بنابراین این مقاله به تبیین نقش نانو ذرات کیتوزان در صنعت کاغذ و بسته بندی می پردازد.

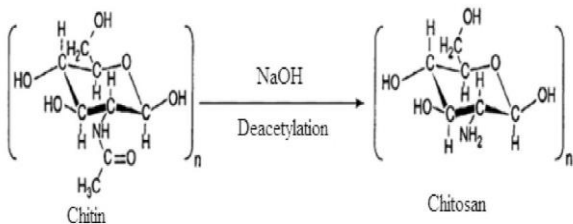
۲- روش تحقیق

در این مطالعه مروری، مقالات مرتبط با کاربرد نانو کیتوزان در صنعت کاغذ و بسته بندی، با استفاده از کلیدواژه های کیتوزان، نانوکیتوزان، بسته بندی، بسته بندی کاغذی، و بسته بندی مواد غذایی در موتورهای جستجوگر از جمله Google، Google scholar، Research Gate، مگیران، و سیویلیکا جستجو و مقالات مرتبط بین سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳ انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- تهیه کیتوزان

کیتوزان با نام علمی 2-amino-2-(1-4)-B-D poly: deoxy-a- glucan، یک کوپلیمر از گلوکز آمین و N-استیل-D-گلوکز آمین است که از طریق داستیل شدن قلیایی کیتین به دست می آید [۱۶]. این ترکیب نخستین بار توسط روگت در سال ۱۸۵۹ میلادی کشف شد، کیتین جزء خانواده موکوپولی ساکاریدها بوده و بعد از سلولز، فراوان ترین پلی ساکارید موجود در طبیعت به شمار می رود. این ترکیب به طور فراوان در اسکلت خارجی بند پایانی نظیر میگو و خرچنگ و همچنین گیاهان پست از قبیل مخمرها یافت می شود و نخستین بار توسط براکونوت در سال ۱۸۱۱ میلادی مورد بررسی و تشریح قرار گرفت [۱۷، ۱۸]. شکل (۱)، ساختمان و واکنش تبدیل کیتین به کیتوزان را نشان می دهد.



چندین کشور اخیراً راهبردهایی را برای ترویج توسعه اقتصاد زیستی مبتنی بر منابع تجدیدپذیر اجرا کرده اند. هدف این راهبردها تشویق استفاده از منابع زیستی تجدیدپذیر برای تولید مواد غذایی، مواد و انرژی است [۴-۶].

در زمینه کاربرد روزافزون منابع تجدیدپذیر، پلیمرهای زیستی مانند سلولز، نشاسته و کیتوزان به دلیل در دسترس بودن و پتانسیل فراوان و همچنین توزیع در سراسر جهان به عنوان مواد اولیه امیدوارکننده شناخته شده اند [۷].

در چند سال اخیر، جهت رفع مسائل اقتصادی و زیست محیطی ناشی از به کار بردن بسپارهای مصنوعی در صنعت، بسپارهای طبیعی به شکل های گوناگون چندسازه ها، فیلم ها، پوشش های خوراکی و غیر خوراکی وارد صنعت بسته بندی شده اند. به دلیل برخی ویژگی های کاربردی نسبتاً ضعیف بسپارهای طبیعی، از نانو ذرات برای بهبود شبکه بسپاری آن ها بهره گرفته می شود که منجر به بهبود ویژگی های مکانیکی، فیزیکی و میکروبی محصول بسته بندی تولید شده می شود [۸]. امروزه بهره گیری از فناوری نانو در صنعت کاغذ و بسته بندی، و همچنین استفاده از فناوری نانو در پلیمرهای زیستی مورد استفاده در صنعت بسته بندی توانسته سبب بهبود کارایی مواد بسته بندی و در نتیجه افزایش ضریب امنیت مواد غذایی و دارویی شود [۹، ۱۰].

این فناوری از طریق ایجاد دستکاری مواد در مقیاس اتمی و مولکولی توانسته تغییرات چشمگیری را در صنعت بسته بندی و به ویژه مواد غذایی ایجاد کند [۱۱]. فناوری نانو می توان در سه نوع بسته بندی مورد استفاده قرار داد؛ دسته اول، بسته بندی هایی که حاوی نانوپرکننده ها (نانوفیلرها) هستند؛ دسته دوم، بسته بندی های حاوی نانوذراتی که خاصیت ضد میکروبی دارند، و دسته سوم، بسته بندی هایی که حاوی نانوحسگرها و نانوسنسورها هستند [۱۲، ۱۳]. در صنعت بسته بندی کاغذی یکی از شاخص های کیفی، مهم بکارگیری کاغذ مقاوم و مناسب باشد. شاخص کیفی مهم دیگر خاصیت آنتی باکتریال مخصوصاً در بسته بندی های مواد غذایی می باشد. از این رو صنایع تولید کننده کاغذ در صدد اضافه کردن موادی به کاغذ هستند که سبب بهبود کیفیت آن می شوند. کیتوزان، پلی ساکارید طبیعی و نانوکیتوزان مشتق شده از آن به دلیل خواص غیر سمی، مکانیکی و ضد میکروبی، سازگاری طبیعی با بافت های زنده و قابلیت تجزیه پذیری مورد توجه ویژه قرار گرفته است [۸]. نانوذرات کیتوزان نانوذرات پلیمری و زیستی امیدوارکننده ای هستند که در دهه های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته اند [۱۴].

نانوکیتوزان به دلیل کاربردهای گسترده ای از جمله پزشکی، دارویی، غذایی، آرایشی، کشاورزی، صنایع نساجی، صنایع کاغذ و

نانو ذرات کیتوزان، با توجه به اندازه کوچک و نسبت سطح به حجم بالایی که دارند، ویژگی فیزیکوشیمیایی، ضد باکتری و زیستی بهتری نسبت به حالت توده متناظر را دارند [۲۲]. همچنین نانو کیتوزان ها، به علت داشتن ویژگی هایی از جمله تقویت کنندگی مناسب و پایداری، دسترس پذیری آسان، سطح ویژه بالا و برقراری اتصالات اتمی بیشتر با شبکه، ویژگی های مکانیکی و حرارتی، انعطاف پذیری و سختی مناسب در مقایسه با دیگر مواد تجاری موجود، از توانایی بالایی برای کاربردهای مختلف مخصوصاً صنعت بسته بندی مواد غذایی دارند [۲۳، ۲۴].

برای تهیه نانو ذرات کیتوزان می توان از روش های زیادی نظیر ژل یونی [۲۵]، میکروامولسیون [۲۶]، خشک کردن اسپری [۲۷]، روش میسلار معکوس [۲۸]، نفوذ حلال امولسیفیه و روش کمپلکس پلی الکترولیت استفاده نمود. در روش ژله ای، شدن برهمکنش الکترواستاتیک بین گروه های آمین کیتوزان و گروه های باردار منفی پلی آنیونی مانند تری پلی فسفات ایجاد می شود. در این روش کیتوزان در محلول اسید استیک حل می شود و سپس ترکیب پلی آنیون به آن اضافه شده و نانو ذرات به تدریج با همزن مکانیکی تشکیل می شوند در روش میکروامولسیون یک سورفکتانت در یک حلال آلی نظیر n -هگزان حل می شود و سپس کیتوزان حل شده در اسید استیک و گلوکارآلدئید در دمای اتاق به مخلوط سورفکتانت هگزان با همزدن پیوسته اضافه گردد و به این طریق نانو ذرات کیتوزان تشکیل می شوند [۲۹، ۳۰]. همچنین برای تهیه نانو فیبرهای با ابعاد $1-1000$ nm، در ترکیب با کیتوزان می توان از فناوری اسپین الکترونی بهره برد که اساساً یکی از بهترین روش ها برای تهیه نانوفیبرها از منابع طبیعی به شمار می رود [۳۱]. ایران با داشتن منابع فراوانی از میگو و خرچنگ به عنوان منابع مهم ارزان و مقرون به صرفه می تواند به عنوان یکی از کشورهای تولید کننده نانو کیتوزان به شمار آید. این ترکیب همان طور که قبلاً به آن اشاره شد به دلیل داشتن خصوصیات بسیار خوبی که در ادامه این بحث به آن ها اشاره می شود، اهمیت ویژه ای در صنایع تولید کاغذ و بسته بندی پیدا کرده است.

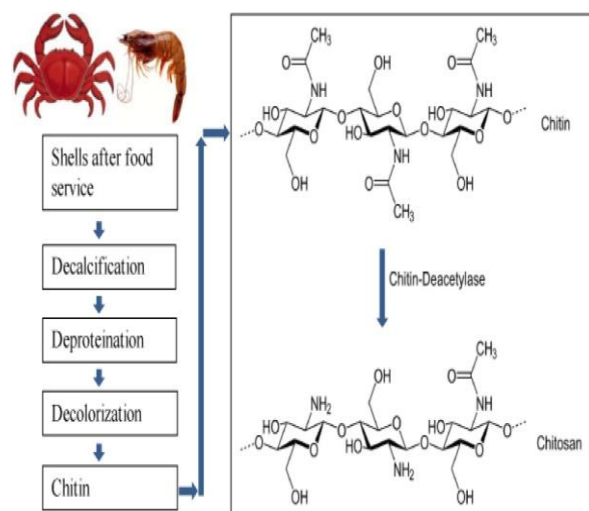
۳-۳- اهمیت و کاربرد نانو کیتوزان در صنعت بسته بندی مواد غذایی

از آنجا که مصرف کنندگان همواره غذای سالم و ایمن با حداقل مواد مصنوعی را تقاضا می کنند، کیتوزان حاصل از کیتین، گزینه سالمی برای کاربرد در صنعت مواد غذایی است. کیتوزان به دلیل ویژگی های خاص خود مانند توانایی تشکیل فیلم، حساسیت به pH، زیست تخریب پذیری، زیست سازگاری، و حلالیت در اسیدهای ضعیف مورد توجه صنعت مواد غذایی قرار گرفته است. به گونه ای که تمرکز اصلی بر روی ساخت و کاربرد فیلم ها و

شکل (۱): ساختمان کیتین و واکنش تبدیل کیتین به کیتوزان [۱۹]

کیتوزان مشتق شده از کیتین به دلیل کاربردهای گسترده و شناخته شده آن به عنوان یک پلیمر زیستی مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱۱]. کیتوزان به دلیل داشتن ساختار ماکرومولکولی و خواص بیولوژیکی و فیزیولوژیکی منحصر به فرد آن، از جمله حلالیت، زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری و واکنش پذیری آن، یک کاندید امیدوارکننده برای کاربردهای مختلف است [۱۱].

به منظور تهیه کیتوزان، پوسته میگو یا خرچنگ را پس از شستشو با آنزیم آلکالاز تیمار کرده تا محتوای پروتئینی آن ها خارج شود. سپس پودر حاصل را به مدت ۲۴ ساعت با اسید کلریدریک (۱) در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد تیمار می کنند. بعد از سپری شدن این مدت نمونه را با آب مقطر شستشو داده و با سود ۵٪ مخلوط کرده و به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو قرار می دهند. بعد از گذشتن این مدت و شستشوی نمونه با آب مقطر به منظور رنگ زدایی کیتین به دست آمده نمونه تهیه شده در معرض نور خورشید قرار می گیرد تا سفید گردد. به منظور تهیه کیتوزان، کیتین به دست آمده با سود ۵۰٪ تیمار، و سپس به مدت دو ساعت جوشانده می شود. پس از آن کیتوزان به دست آمده با آب مقطر شستشو داده شده و جهت استفاده به صورت پودر خشک در می آید. همچنین بررسی ها نشان داده که میزان حلالیت کیتوزان به درجه داستیلاسیون آن بستگی دارد [۲۰]. شکل (۲) فرایند چند مرحله ای تولید کیتوزان از پوسته میگو یا خرچنگ را نشان می دهد.



شکل (۲): فرایند چند مرحله ای تولید کیتوزان [۲۱]

۲-۳- تهیه نانو کیتوزان

قارچی قابلیت شکل پذیری، مطلوب، سبکی تنوع خواص فیزیکی چاپ پذیری خوب و فرایند تولید آسان در صنایع تولید کاغذ اهمیت ویژه ای پیدا کرده است [۳۰]. پلیمر نانوکیتوزان هیچ گونه سمیتی برای انسان و حیوانات ایجاد نمی کند و با توجه به خاصیت زیست تخریب پذیر بودن آن، بدون ایجاد آلودگی در طبیعت از بین می رود و از این رو یک پلیمر سازگار با محیط زیست محسوب می شود [۳۴].

در سال های اخیر، مطالعات بر روی بررسی کاربردهای کیتوزان به عنوان یک افزودنی کاغذسازی، برای کاربردهای داخلی و سطحی [۳۵]، بهبود استحکام مرطوب و خشک و تر کاغذ [۳۶]، توانایی آن برای کار به عنوان یک افزودنی نگهدارنده و زهکشی [۳۷]، یا به عنوان تثبیت کننده رنگ در تولید کاغذ رنگی [۳۸]، و نشان دادن سازگاری کیتوزان با اجزای موجود در کاغذ متمرکز شده است.

در همین حال، خواص ضد باکتریایی ذاتی و توانایی تشکیل فیلم کیتوزان نیز برای کاربردهای بالقوه در کاغذسازی مورد مطالعه قرار گرفته است و پایه ای برای ساخت کاغذهای کاربردی مانند کاغذ ضد باکتری و کاغذ روغنی ایجاد می کند [۳۹].

نانوکیتوزان در صنعت کاغذ و بسته بندی با افزایش شاخص کشش پارگی و ترک خوردگی سبب بهبود ویژگی های مکانیکی کاغذ شده و خصلت ضد آب به آن می دهد با داشتن این خصوصیت کیتوزان می تواند در بهبود کیفیت کاغذ و جعبه های مقوایی مورد استفاده در سردخانه ها نقش بسزایی داشته باشد. مشخص شده است که افزودنی های کیتوزان خواص مکانیکی ورق های کاغذ را بهبود می بخشد (استحکام کششی در حالت خشک و مرطوب، مقاومت ترکیبگی). افزودنی های کیتوزان همچنین خواص آبگریز (کاهش جذب آب و افزایش زمان خیس شدن) و نفوذپذیری هوای صفحات کاغذ را بهبود می بخشد [۴۰].

کاربردهای دیگر کیتوزان در کاغذسازی یا صنایع مرتبط با کاغذسازی مانند اصلاح الیاف سلولزی [۴۱]، اختلاط با سلولز برای تهیه دانه های ترکیبی کیتوزان/سلولز [۴۲]، اتصال عرضی با نانوالیاف سلولزی برای تشکیل نانو کاغذ شفاف و مقاوم به رطوبت [۴۳] نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

این ترکیب همچنین به دلیل داشتن بار مثبت در شرایط اسیدی می تواند با لیپیدها پیوند برقرار کرده و به عنوان ماده مقاوم به چربی در صنعت بسته بندی مورد استفاده قرار گیرد

پوشش های چند سازه ی مبتنی بر کیتوزان برای افزایش عمر ماندگاری پس از برداشت میوه ها و سبزی ها، همچنین فرآورده های گوشتی، نان، لبنیات از جمله پنیر قرار دارد [۳۲].

یکی از مهمترین خصوصیات نانوکیتوزان در صنعت بسته بندی به ویژه بسته بندی مواد غذایی و دارویی خصلت ضد میکروبی و ضد قارچی آن می باشد. برخی محققین دلیل خصلت ضد میکروبی آن را وجود گروه آمین دارای بار مثبت در موقعیت C2 کیتوزان می دانند که با بار منفی در سطح دیواره سلولی باکتری ها واکنش داده و منجر به نشت مواد درون سلولی و مرگ باکتری می شود. تحقیقات نشان داده اند که در باکتری های گرم مثبت نظیر استافیلوکوکوس اورئوس با افزایش وزن مولکولی، کیتوزان فعالیت ضد میکروبی آن افزایش می یابد؛ این در حالی است که در باکتری های گرم منفی مانند اشرشیا کلی با کاهش وزن مولکولی کیتوزان، فعالیت ضد میکروبی آن افزایش پیدا می کند [۳۳]. برخی دیگر از محققین عقیده دارند که کیتوزان از طریق شلاته کردن فلزات و در نتیجه غیر فعال سازی آنزیم های باکتریایی خاصیت ضد میکروبی خود را اعمال می کنند. همچنین کیتوزان خصلت ضد قارچی خود را نیز با اتصال به DNA قارچ بیماری زا و جلوگیری از سنتز mRNA و در نتیجه توقف ماشین پروتئین سازی قارچ انجام می دهد [۳۳].

یکی دیگر از اهداف بسته بندی مواد غذایی، محافظت از فرآورده های غذای در برابر گازها و رطوبت می باشد که کنترل رطوبت منجر به توقف رشد میکروب ها می گردد، همچنین هرچه منافذ چندسازه ها کمتر باشد و فضای خالی بین آن ها کمتر باشد، عمر غذاهای فسادپذیر بیشتر می شود. بنابراین، توزیع یکنواخت پرکننده هایی از جمله نانوکیتوزان ها در ابعاد نانو در شبکه بسپاری، بر ویژگی های بازدارندگی تاثیر قابل توجهی دارد [۱۲].

۳-۴- اهمیت و کاربرد نانوکیتوزان در صنعت بسته بندی کاغذی

کیتوزان و مشتقات آن ها به عنوان مواد کاربردی در بسیاری از زمینه ها در صنعت کاغذسازی مورد توجه قرار گرفته اند. آن ها به دلیل ساختار و خواص شیمیایی در کاغذسازی، پوشش سطح کاغذ، تصفیه فاضلاب کاغذسازی و سایر بخش های صنعت کاغذسازی به کار گرفته شده اند [۱۶].

نانوکیتوزان به دلیل دارا بودن خاصیت زیست تخریب پذیری زیستی ویژگی های مقاومتی بالا، خواص ضد میکروبی و ضد

فیزیکی، مقاومت مکانیکی و خواص سد کننده (بخار آب، نور، گازها و عطر) ساخته می شوند [۴۹].

۳-۵-۱- نانوکامپوزیت های کیتوزان پلی ساکارید

در ساخت این نانوکامپوزیت ها معمولاً از ترکیب کیتوزان با ترکیبات مشتق از پلی ساکاریدها نظیر تاپیوکای نشاسته یا هیدروکسی متیل سلولز استفاده می شود. افزودن تاپیوکای نشاسته به نانو ذرات کیتوزان سبب افزایش خاصیت ضد میکروبی این نانوکامپوزیت در برابر باکتری های مزوفیل هوازی و باکتری های سایکروفیل سرما) دوست می شود [۵۰]. در تهیه فیلم های نانوکیتوزان-هیدروکسی متیل سلولز ابتدا نانو ذرات کیتوزان با تری پلی فسفات تیمار می شوند و سپس هیدروکسی متیل سلولز به آن ها اضافه می شود بررسی ها نشان داده است که نانوکامپوزیت حاصل خصوصیات مکانیکی و نفوذپذیری بهتر و پایداری حرارتی بالاتری نسبت به کیتوزان تنها دارند [۵۱].

۳-۵-۲- نانوکامپوزیت های کیتوزان پروتئین

در تهیه این نانوکامپوزیت ها می توان از پروتئین کروی اسکاد یا پروتئین آب پنیر استفاده کرد. تحقیقات نشان داده اند که افزودن این پروتئین ها به نانوکیتوزان سبب افزایش استحکام کششی و افزایش مقاومت در مقابل پارگی در نانوکامپوزیت می شود [۵۲]. محققان در مطالعه ای کاغذهای پوشش داده شده با نشاسته گرمانرم، اسید پلی لاکتیک و کیتوزان اتصالات عرضی شده با گلوکارآلدئید را بررسی کردند و دریافتند که وجود کیتوزان می تواند حلالیت در آب و نفوذپذیری به بخار کاغذ را کاهش دهد [۵۳]. در مطالعه ای دیگر محققان تأثیر پوشش دهی کاغذ بسته بندی با کمپلکس پلی لاکتیک اسید کیتوزان و پلی لاکتیک اسید نانوکیتوزان به دو روش لایه به لایه و کامپوزیت را بررسی کردند. آن ها در نتایج خود بیان کردند که ویژگی های ممانعتی در نمونه های پوشش داده شده در هر دو روش لایه به لایه و کامپوزیت نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت [۵۴]. نتایج محققان همچنین نشان داد که با افزودن نانو ذرات کیتوزان تری پلی فسفات به غشای هیدروکسی پروپیونیل متیل سلولز می توان عملکرد مکانیکی و خصوصیات مانع فیلم ها را بهبود بخشید [۵۵].

۳-۶- مقدار بهینه ترکیب نانوکیتوزان

استفاده بهینه از نانوذرات به عنوان پرکننده یا افزودنی در مواد هیبریدی یا نانوکامپوزیت ها، و همچنین پوشش های بسته بندی، یکی از عوامل و بحث های مهم در نانو مواد طبیعی است.

نانوکیتوزان دارای ویژگی مقاومت در برابر اکسیژن نیز می باشد و می توان از آن در بسته بندی ترکیباتی که حاوی چربی زیاد هستند، بهره برد [۴۴].

۳-۵- اهمیت و کاربرد ترکیب نانوکیتوزان با سایر مواد در بسته بندی

یکی از محدودیت هایی که فیلم های بیوپلیمری از جمله کیتوزان عموماً با آن مواجه هستند حساسیت ذاتی به آب به دلیل خصلت آبدوستی آن ها است که سبب کاهش مقاومت مکانیکی و حرارتی آن ها در محیط های مرطوب می شود و کاربرد آن ها در صنعت بسته بندی را با مشکل مواجه کرده است [۱]. امروزه استفاده از فناوری نانو در صنعت بسته بندی موجب تحول این صنعت و استفاده از نانوکامپوزیت ها به جای بیوپلیمرها و رفع مشکل ذکر شده گردیده است [۹، ۱۰، ۴۵]. ویژگی کیتوزان برای رسیدن به اهداف مختلف، به صورت شیمیایی یا فیزیکی قابلیت اصلاح را دارد. توسعه فیزیکی کیتوزان با مخلوط کردن محقق می گردد که شامل اختلاط فیزیکی دو یا چند بسپار است. به عبارتی مخلوط کردن، اقتصادی ترین روشی است که با استفاده از آن می توان ویژگی بسپار را برای برنامه خاص تنظیم کرد [۴۶]. یک نانوکامپوزیت پلیمری را می توان هیبریدی متشکل از یک ماتریس پلیمری دانست که توسط فیبرها صفحات یا ذراتی که حداقل دارای یک بعد در مقیاس نانو، هستند تقویت می شود. معمولاً این نانوکامپوزیت ها دارای خصوصیات مکانیکی، حرارتی و فیزیکی شیمیایی بهبود یافته تری هستند [۴۵]. در اینجا به تعدادی از این نانوکامپوزیت های حاصل از کیتوزان و خصوصیات ویژه آن ها اشاره می شود .

فیلم های بسته بندی خوراکی بر اساس مواد طبیعی به طور گسترده ای برای نگهداری محصولات غذایی استفاده شده است. بر این اساس، فیلم های دوستدار محیط زیست به عنوان «مصرف گرای سبز یا بسته بندی زیست تخریب پذیر» شناخته می شوند. این بسته بندی های زیستی، به ویژه در حالت کامپوزیت، خواص بازدارنده و حفاظتی قابل قبولی در برابر عوامل خارجی مانند بخار آب، گازها، عطر و میکروارگانیسم ها از خود نشان می دهند [۴۷، ۴۸].

به طور معمول، فیلم های کامپوزیتی زیست تخریب پذیر از پروتئین ها (مانند کازئین، آب پنیر، زین، کلاژن سویا، گلوتن گندم، ژلاتین، کراتین و آلومین تخم مرغ)، کربوهیدرات ها (مانند آلژینات، پکتین، سلولز، نشاسته، آگار، و کیتوسان) و لیپیدها (به عنوان مثال، آسیل گلیسرول، اسیدهای چرب و موم ها) همراه یا با سایر نانومواد برای بهبود خصوصیات ساختاری و

ضد باکتریایی، نفوذپذیری بخار آب و مقاومت در برابر روغن و گریس را بهبود بخشد. از میان انواع مختلف روش های بسته بندی استفاده از فناوری نانو افق روشنی به سوی آینده در صنعت کاغذ و بسته بندی ایجاد کرده است در این، میان نانوکیتوزان به عنوان یک منبع زیست تخریب پذیر نسبتاً ارزان قیمت با دارا بودن خصوصیات منحصر به فرد خود می تواند کاربرد روز افزونی در صنعت کاغذ و بسته بندی ایفا نماید و نقش مؤثری در آماده سازی فیلم های فعال زیستی داشته باشد. البته باید توجه داشت که بر اساس نتایج حاصل از بررسی ها ترکیب کردن نانوکیتوزان با ترکیبات زیستی دیگر نظیر پلی ساکاریدها یا پروتئین ها و ایجاد نانوکامپوزیت های پلیمری می تواند موجب بهبود خواص عملکردی فیلم های حاصل از این ترکیب شود. بنابراین نانوکیتوزان در حفظ و بهبود کیفیت مواد بسته بندی شده در طول فرایند نگهداری و انبارسازی کمک شایانی به صنعت کاغذ و بسته بندی مواد غذایی می کند.

۵- مراجع

- [1]. M. Abdollahi, M. Rezaei, and G. A. Farzi, "Preparation and Characterization of Chitosan/clay Biodegradable Nanocomposite for Food Packaging Application," *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 7. 1. pp. -, 2011. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/iftstr.v7i1.9367>.
- [2]. T. Jin, and H. Zhang, "Biodegradable polylactic acid polymer with nisin for use in antimicrobial food packaging," *Journal of food science*, 73. 3. pp. M127-M134, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00681.x>.
- [3]. S. Ghahramani, S. Hedjazi, S. Izadyar, and S. Fischer, "Effect of cold caustic extraction on the properties of lignocellulosic nanocrystals (LCNCs) and lignocellulosic nanofibrils (LCNFs) produced from monoethanolamine (MEA) pulp of bagasse," *Forest and Wood Products*, 75. 3. pp. 281-293, 2022. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/JFWP.2022.342020.1211>.
- [4]. M. Vergarechea, R. Astrup, C. Fischer, K. Øistad, C. Blatter, M. Hartikainen, K. Eyvindson, F. Di Fulvio, N. Forsell, and D. Burgas, "Future wood demands and ecosystem services trade-offs: A policy analysis in Norway," *Forest Policy and Economics*, 147. pp. 102899, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102899>.
- [5]. T. Schulz, E. Lieberherr, and A. Zabel, "How national bioeconomy strategies address governance challenges arising from forest-related trade-offs," *Journal of environmental policy & planning*, 24. 1. pp. 123-136, 2022.
- [6]. S. Ghahramani, S. Hedjazi, S. Izadyar, S. Fischer, and A. Abdulkhani, "A facile, low-thermal, and environmentally friendly method to improve the properties of lignin-containing cellulose nanocrystals (LCNCs) and cellulose nanofibrils (LCNFs) from bagasse unbleached soda pulp," *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp. 1-25, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-05027-6>.
- [7]. A. Al-Mamun. Grain Waste Product as Potential Bio-fiber Resources. *Industrial Applications of Biopolymers and their Environmental Impact*: CRC Press; 2020. p. 52-93. <https://doi.org/10.1201/9781315154190-2>.
- [8]. B. Tajodini, "Chitosan nanoparticles: production methods and application in food packaging," *Nano World*, 16. 59. pp. 32-43, 2020 (In Persian).
- [9]. S. Ghahramani, S. Hejazi, and S. Mahdavi, "Evaluating the addition of cellulose nano fibers to reinforce of high yield kraft pulp produced from *P. deltoidea* clone 69-55," *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30. WINTER 4. pp. 606-617, 2015. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IJWPR.2015.101477>.

نانو ذرات از جمله نانوکیتوزان ها در غلظت بالا، باعث تجمع ذرات و کلوخه ای شدن می شوند که موجب پایین آمدن کیفیت فیلم بسته بندی تولید شده و همچنین افت سطح تماس نانوذره و بستر بسیار می گردد. از طرفی غلظت پایین نیز به نوبه ی خود نامطلوب است چرا که موجب ایجاد نقاط تمرکز تنش می شود. در صورتی که نانو ذرات در غلظت و ترکیب بهینه، دارای پخش پذیری خوب بوده و باعث هم پوشانی مناسب تری در سطح شبکه می شوند و منجر به بهبود ویژگی های مکانیکی و فیزیکی فیلم و یا نانوکامپوزیت تولید شده می شوند همچنین کاهش اندازه نانو ذرات تقویت کننده باعث افزایش تعداد ذرات در شبکه بسیاری شده و به این ترتیب ذرات به یکدیگر بسیار نزدیک تر قرار گرفته و هم پوشانی هرچه بیشتر نانوذرات تقویت کننده و شبکه بسیاری می گردد [۸].

در یک بررسی پراکندگی ذرات نانوکیتوزان در سطح نشاسته مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که در سطح غلظت ۴ و ۸ درصد وزنی نانوکیتوزان، به ترتیب کمترین تجمع ذرات و بالاترین تجمع ذرات را دارا می باشند. همچنین نتایج آن ها نشان داد که افزایش غلظت نانوکیتوزان مقاومت کششی چند سازه را افزایش می دهد در صورتی که ازدیاد طول تا نقطه شکست کاهش می یابد [۵۶]. در مطالعه ای دیگر فیلم های بسته بندی متشکل از نانوکیتوزان/پکتین با درصد های وزنی مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مخلوط کردن نانو کیتوزان با پکتین با درصد وزنی ۵۰:۵۰ مقاومت کششی فیلم را به مقدار ۸/۹۶ مگاپاسکال افزایش داد که بیانگر این بود که فیلم های نانوکیتوزان/پکتین با نسبت درصد وزنی ۵۰:۵۰ می تواند به عنوان فیلم فعال برای بهبود ماندگاری مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد [۵۷]. بنابراین نمی توان تاثیر ترکیب و غلظت و درصد نانوذرات کیتوزان در ترکیب با سایر نانوذرات و مواد را نادیده گرفت و قطعاً متناسب با کاربرد و روش تولید محصول، انجام پیش تست ها و دستیابی به درصد و ترکیب بهینه ضروری می باشد.

۴- نتیجه گیری

با توجه به خطر شدید آلودگی پلاستیک و نگرانی های مداوم مربوط به ماهیت ناپایدار پلاستیک های مبتنی بر فسفیل، علاقه قابل توجهی در سراسر جهان برای توسعه مواد مقرون به صرفه، بدون سموم و سازگار با محیط زیست به دست آمده از منابع تجدید پذیر وجود دارد. صنعت بسته بندی و کاغذسازی به شدت به کیتوزان علاقه مند است زیرا می تواند کارایی ماشین کاغذ و استحکام مکانیکی از جمله استحکام مرطوب و خشک، خواص

- [27]. "International journal of biological macromolecules, 147. pp. 1268-1277, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.254>.
- [28]. M. S. Orellano, G. S. Longo, C. Porporatto, N. M. Correa, and R. D. Falcone, "Role of micellar interface in the synthesis of chitosan nanoparticles formulated by reverse micellar method, "Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 599. pp. 124876, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124876>.
- [29]. J. H. Park, G. Saravanakumar, K. Kim, and I. C. Kwon, "Targeted delivery of low molecular drugs using chitosan and its derivatives, "Advanced drug delivery reviews, 62. 1. pp. 28-41, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2009.10.003>.
- [30]. K.-S. Huang, Y.-R. Sheu, and I.-C. Chao, "Preparation and properties of nanochitosan, "Polymer-Plastics Technology and Engineering, 48. 12. pp. 1239-1243, 2009. <https://doi.org/10.1080/03602550903159069>.
- [31]. L.-M. Zhao, L.-E. Shi, Z.-L. Zhang, J.-M. Chen, D.-D. Shi, J. Yang, and Z.-X. Tang, "Preparation and application of chitosan nanoparticles and nanofibers, "Brazilian Journal of Chemical Engineering, 28. pp. 353-362, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000300001>.
- [32]. S. Kumar, A. Mukherjee, and J. Dutta, "Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives, "Trends in Food Science & Technology, 97. pp. 196-209, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>.
- [33]. L. Qi, Z. Xu, X. Jiang, C. Hu, and X. Zou, "Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles, "Carbohydrate research, 339. 16. pp. 2693-2700, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.09.007>.
- [34]. M. Rinaudo, "Chitin and chitosan: Properties and applications, "Progress in polymer science, 31. 7. pp. 603-632, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>.
- [35]. J. Atkinson, A. Mondala, Y. D. S. Senger, R. Al-Mubarak, B. Young, J. Pekarovic, and M. Joyce, "Chitosan as a paperboard coating additive for use in HVAC (heating, ventilation and air conditioning) applications, "Cellul Chem Technol, 51. pp. 477-481, 2017.
- [36]. S. Habibie, M. Hamzah, M. Anggaravidya, and E. Kalemang, "The effect of chitosan on physical and mechanical properties of paper, "Journal of Chemical Engineering and Materials Science, 7. 1. pp. 1-10, 2016. <https://doi.org/10.5897/JCEMS2015.0235>.
- [37]. H. Chi, H. Li, W. Liu, and H. Zhan, "The retention-and drainage-aid behavior of quaternary chitosan in papermaking system, "Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 297. 1-3. pp. 147-153, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.10.039>.
- [38]. N. Ali, and R. El-Mohamedy, "Microbial decolourization of textile waste water, "Journal of Saudi Chemical Society, 16. 2. pp. 117-123, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2010.11.005>.
- [39]. H. Kjellgren, M. Gällstedt, G. Engström, and L. Järnström, "Barrier and surface properties of chitosan-coated greaseproof paper, "Carbohydrate polymers, 65. 4. pp. 453-460, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.02.005>.
- [40]. L. Vikele, M. Laka, I. Sable, L. Rozenberga, U. Grinfelds, J. Zoldners, R. Passas, and E. Mauret, "Effect of chitosan on properties of paper for packaging, "Cellul Chem Technol, 51. 1-2. pp. 67-73, 2017.
- [41]. X. Tian, B. Wang, J. Li, J. Zeng, and K. Chen, "Photochromic paper from wood pulp modification via layer-by-layer assembly of pulp fiber/chitosan/spiropyran, "Carbohydrate polymers, 157. pp. 704-710, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.014>.
- [42]. Y.-K. Twu, H.-I. Huang, S.-Y. Chang, and S.-L. Wang, "Preparation and sorption activity of chitosan/cellulose blend beads, "Carbohydrate Polymers, 54. 4. pp. 425-430, 2003. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.03.001>.
- [43]. M. S. Toivonen, S. Kurki-Suonio, F. H. Schacher, S. Hietala, O. J. Rojas, and O. Ikkala, "Water-resistant, transparent hybrid nanopaper by physical cross-linking with chitosan, "Biomacromolecules, 16. 3. pp. 1062-1071, 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.5b00145>.
- [44]. F. N. Hafdani, and N. Sadeghinia, "A review on application of chitosan as a natural antimicrobial, "International Journal of [10]. S. Ghahramani, S. Hedjazi, and S. Mahdavi, "Development of poplar Kraft pulp strengths with cellulose nano fiber of rice straw, "Forest and Wood Products, 70. 1. pp. 157-165, 2017. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/JFWP.2017.61617>.
- [11]. p. Riazi Kermani, D. Khademi Shurmasti, and A. Alizadeh Karsalari, "Investigation of Physical, Mechanical and Morphological Properties of Chitosan Film Prepared with Different Levels, Molecular Weights and Solvents, 14. 54. pp. 9-19, 2023. (In Persian).
- [12]. T. V. Duncan, "Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors, "Journal of colloid and interface science, 363. 1. pp. 1-24, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>.
- [13]. S. Neethirajan, and D. S. Jayas, "Nanotechnology for the food and bioprocessing industries, "Food and bioprocess technology, 4. pp. 39-47, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0328-2>.
- [14]. M. Yanat, and K. Schroën, "Preparation methods and applications of chitosan nanoparticles; with an outlook toward reinforcement of biodegradable packaging, "Reactive and Functional Polymers, 161. pp. 104849, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2021.104849>.
- [15]. C. Thambiliyagodage, M. Jayanetti, A. Mendis, G. Ekanayake, H. Liyanaarachchi, and S. Vigneswaran, "Recent Advances in Chitosan-Based Applications—A Review, "Materials, 16. 5. pp. 2073, 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16052073>.
- [16]. Z. Song, G. Li, F. Guan, and W. Liu, "Application of chitin/chitosan and their derivatives in the papermaking industry, "Polymers, 10. 4. pp. 389, 2018. <https://doi.org/10.3390/polym10040389>.
- [17]. K. H. Prashanth, and R. Tharanathan, "Chitin/chitosan: modifications and their unlimited application potential—an overview, "Trends in food science & technology, 18. 3. pp. 117-131, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.10.022>.
- [18]. J. Synowiecki, and N. A. Al-Khateeb, "Production, properties, and some new applications of chitin and its derivatives, pp. 2003.
- [19]. P. Dutta, S. Tripathi, G. Mehrotra, and J. Dutta, "Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications, "Food chemistry, 114. 4. pp. 1173-1182, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.047>.
- [20]. T. Wu, and S. Zivanovic, "Determination of the degree of acetylation (DA) of chitin and chitosan by an improved first derivative UV method, "Carbohydrate Polymers, 73. 2. pp. 248-253, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.024>.
- [21]. N. Bhattarai, "Nanofibrous structure of chitosan for biomedical applications, "J Nanomedicine Biotherapeutic Discov, 2. 01. pp. 1000102-1000111, 2012. <https://doi.org/10.4172/2155-983X.1000102>.
- [22]. U. Garg, S. Chauhan, U. Nagaich, and N. Jain, "Current advances in chitosan nanoparticles based drug delivery and targeting, "Advanced pharmaceutical bulletin, 9. 2. pp. 195, 2019. <https://doi.org/10.1517/apb.2019.023>.
- [23]. A. Grenha, "Chitosan nanoparticles: a survey of preparation methods, "Journal of drug targeting, 20. 4. pp. 291-300, 2012. <https://doi.org/10.3109/1061186X.2011.654121>.
- [24]. M. R. Martelli, T. T. Barros, M. R. de Moura, L. H. Mattoso, and O. B. Assis, "Effect of chitosan nanoparticles and pectin content on mechanical properties and water vapor permeability of banana puree films, "Journal of food science, 78. 1. pp. N98-N104, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.03006.x>.
- [25]. N. Othman, M. J. Masarudin, C. Y. Kuen, N. A. Dasuan, L. C. Abdullah, and S. N. A. Md Jamil, "Synthesis and optimization of chitosan nanoparticles loaded with L-ascorbic acid and thymoquinone, "Nanomaterials, 8. 11. pp. 920, 2018. <https://doi.org/10.3390/nano8110920>.
- [26]. S. Asgari, A. H. Saberi, D. J. McClements, and M. Lin, "Microemulsions as nanoreactors for synthesis of biopolymer nanoparticles, "Trends in Food Science & Technology, 86. pp. 118-130, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.008>.
- [27]. M. G. Antoniraj, M. M. Leena, J. Moses, and C. Anandharamakrishnan, "Cross-linked chitosan microparticles preparation by modified three fluid nozzle spray drying approach,

- [51].H. M. De Azeredo, "Nanocomposites for food packaging applications," *Food research international*, 42. 9. pp. 1240-1253, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.019>.
- [52].H. Bouwmeester, S. Dekkers, M. Y. Noordam, W. I. Hagens, A. S. Bulder, C. De Heer, S. E. Ten Voorde, S. W. Wijnhoven, H. J. Marvin, and A. J. Sips, "Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production," *Regulatory toxicology and pharmacology*, 53. 1. pp. 52-62, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2008.10.008>.
- [53].F. C. Soares, F. Yamashita, C. M. Müller, and A. T. Pires, "Thermoplastic starch/poly (lactic acid) sheets coated with cross-linked chitosan," *Polymer Testing*, 32. 1. pp. 94-98, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2012.09.005>.
- [54].A. Ghasemiyan, K. Armand, E. Afra, A. R. Saraeian, and M. Salary, "Effect of coating packing paper with polylactic acid-chitosan and polylactic acid-nano-chitosan complexes," *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 34. 4. pp. 507-519, 2020. <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2020.128661.1585>.
- [55].H. Gecol, E. Ergican, and P. Miakatsindila, "Biosorbent for tungsten species removal from water: Effects of co-occurring inorganic species," *Journal of colloid and interface science*, 292. 2. pp. 344-353, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.06.016>.
- [56].P. R. Chang, R. Jian, J. Yu, and X. Ma, "Fabrication and characterisation of chitosan nanoparticles/plasticised-starch composites," *Food chemistry*, 120. 3. pp. 736-740, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.002>.
- [57].T. M. P. Ngo, T. H. Nguyen, T. M. Q. Dang, T. X. Tran, and P. Rachtanapun, "Characteristics and antimicrobial properties of active edible films based on pectin and nanochitosan," *International journal of molecular sciences*, 21. 6. pp. 2224, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21062224>.
- Pharmacological and Pharmaceutical Sciences, 5. 2. pp. 46-50, 2011. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1062687>.
- [45].J.-W. Rhim, and P. K. Ng, "Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications," *Critical reviews in food science and nutrition*, 47. 4. pp. 411-433, 2007. <https://doi.org/10.1080/10408390600846366>.
- [46].M. A. Mohammed, J. T. Syeda, K. M. Wasan, and E. K. Wasan, "An overview of chitosan nanoparticles and its application in non-parenteral drug delivery," *Pharmaceutics*, 9. 4. pp. 53, 2017. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics9040053>.
- [47].P. Homayounpour, N. Shariatifar, and M. Alizadeh- Sani, "Development of nanochitosan- based active packaging films containing free and nanoliposome caraway (*Carum carvi*. L) seed extract," *Food Science & Nutrition*, 9. 1. pp. 553-563, 2021. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2025>.
- [48].D. Bajer, K. Janczak, and K. Bajer, "Novel starch/chitosan/aloë vera composites as promising biopackaging materials," *Journal of Polymers and the Environment*, 28. 3. pp. 1021-1039, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01661-7>.
- [49].M. Alizadeh-Sani, A. Ehsani, E. Moghaddas Kia, and A. Khezerlou, "Microbial gums: Introducing a novel functional component of edible coatings and packaging," *Applied microbiology and biotechnology*, 103. pp. 6853-6866, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09966-x>.
- [50].S. Torres- Giner, M. Ocio, and J. Lagaron, "Development of active antimicrobial fiber- based chitosan polysaccharide nanostructures using electrospinning," *Engineering in Life Sciences*, 8. 3. pp. 303-314, 2008. <https://doi.org/10.1002/elsc.200700066>.