مقاله ترویجی

مروری بر خواص عملکردی و ضدمیکروبی کیتوزان در نگهداری مواد غذایی

مصطفی فلاح دلاور [۱]، ناصر صداقت [۲*]

تاریخ دریافت مقاله: اسفند ماه ۱۳۹۸

تاریخ پذیرش مقاله: خرداد ماه ۱۳۹۹

چکیده

کیتین، کیتوزان و الیگوساکاریدهای مشتق شده از آن‌ها به‌دلیل دارا بودن فعالیت ضدمیکروبی، غیرسمّی بودن و زیست تخریب‌پذیری، خود را به عنوان یک ترکیب همه کاره، انعطاف‌پذیر با شرایط مختلف و امیدوارکننده برای آینده مطرح نموده‌اند و در نتیجه استفاده زیادی در طیف وسیعی از مواد غذایی خواهند داشت. در میان کاربردهای متنوع مواد ضدمیکروبی، بسته‌بندی یکی از مهم‌ترین سیستم‌ها جهت بهبود کیفیت غذا و حفاظت از آن در حین فرایند و انبارداری می‌باشد که کیتوزان از این نظر منحصر به فرد است. بسته‌بندی ضدمیکروبی همچنین در افزایش ماندگاری ماده غذایی مؤثر می‌باشد. به‌علاوه خواص عملکردی فیلم‌های کیتین، کیتوزان و الیگوساکاریدهای آن‌ها به‌وسیله ترکیب با سایر مواد پوشش‌دهنده و ایجادکننده فیلم افزایش می‌یابد. در این زمینه درک شاخص‌های مؤثر بر فعالیت ضدمیکروبی و مکانیسم عمل کیتین و کیتوزان، عامل مهمی در استفاده بهینه از عناصر مورد استفاده در صنعت غذا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

کیتین[۳]، کیتوزان[۴]، فعالیت ضدمیکروبی و بسته‌بندی

۱- مقدمه

فعالیت ضدمیکروبی مواد بسته‌بندی در صنایع غذایی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های کارکردی آن‌ها می‌باشد. بر همین اساس، اکثر تحقیقات کنونی بر گسترش تولید موادی با ظرفیت ایجاد فیلم و به‌طور همزمان داشتن خاصیت ضدمیکروبی متمرکز شده است که در نهایت موجب بهبود ایمنی غذایی و افزایش عمر انبارداری ماده غذایی خواهد گردید. مواد بر پایه کیتین نیز علاوه بر موارد متعدّد کاربرد در صنعت، از این حیث حائز اهمیت هستند. بسته‌بندی ضدمیکروبی یکی از مهم‌ترین انواع سیستم‌های بسته‌بندی فعّال می‌باشد که جهت کشتن پاتوژن‌ها و بازداری از فعالیت میکروارگانیسم‌های عامل فساد ایجاد شده است[۱]. در این مقاله ظرفیت بالای فیلم‌های کیتوزان برای کاربرد در نگهدارنده‌های غذایی مورد بحث قرار می‌گیرد. امروزه به خوبی شناخته شده است که کنترل چرخه‌های رشد و تکثیر میکروبی نقش مهمی در افزایش یا کاهش بارمیکروبی در مواد غذایی دارد و از این رو در طی سالیان اخیر فرایندهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی جهت به‌کارگیری این خصوصیت برای افزایش عمر قفسه‌ای گسترش یافته‌اند. مواد ضدمیکروبی معمولاً باعث محدودیت یا جلوگیری از رشد میکروبی به وسیله افزایش فاز تأخیر و کاهش نرخ رشد می‌گردد[۲]. در حال حاضر

۱- دانشجوی دکتری مهندسی علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد(sanrufd@gmail.com).

۲- استاد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد (× نویسنده مسئول:sedaghat@um.ac.ir)

3- Chitin

4- Chitosan

کاربرد سیستم‌های بسته‌بندی ضدمیکروبی مواد غذایی به دلیل عواملی مانند میزان در دسترس بودن مواد ضدمیکروبی مناسب، مواد پلیمری جدید، نگرانی‌های قانونی و نبود روش‌های مناسب آزمایش، محدود گردیده است [۳]. در این راستا فیلم‌های زیست فعّال پلیمری که با ترکیبات ضدمیکروبی همراه شده‌اند؛ اثر و عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. به‌طوری‌که تا امروز، مقالات زیادی در مورد ساختار فیلم‌های زیست فعال و نقش ضد میکروبی آن‌ها در حفاظت مواد غذایی منتشر شده است[٤ و ٦].

۲- مکانیسم عمل ضدمیکروبی کیتین و کیتوزان

به‌دلیل وجود بار مثبت در کربن شماره ۲ مونومر گلوکزآمین در pH پایین‌تر از ۶، کیتوزان حلالیت بهتر و فعالیت ضدمیکروبی بالاتری نسبت به کیتین دارد[۷]. مکانیسم دقیق عمل ضدمیکروبی کیتین، کیتوزان و مشتقات آن‌ها هنوز به طور دقیق شناخته نشده است؛ اما مکانیسم‌های متفاوتی برای آن پیشنهاد گردیده است[۸]. یکی از دلایل ویژگی ضدمیکروبی کیتوزان، وجود گروه آمینی با بار مثبت است که با بار منفی غشای سلولی میکروارگانیسم‌ها برهمکنش داده و موجب نشت مواد پروتئینی و سایر عناصر درون سلولی می‌گردد[۹].بر این اساس، کیتوزان غالباً بر غشای بیرونی باکتری‌ها مؤثر است. در این زمینه باید توجّه نمود که در غلظت‌های پایین ($۰/۲mg\ mL^{-1}$) کاتیون‌های کیتوزان با ایجاد پیوند با بار منفی سطح باکتری، موجب آگلوتیناسیون[1] می‌شوند در حالی‌که در غلظت‌های بالاتر، کیتوزان ابتدا بار منفی سطح باکتری را خنثی نموده و سپس یک بار خالص مثبت به آن می‌دهد که در نتیجه آن باکتری همچنان در محیط معلّق می‌ماند[۱۰و ۱۱].

در حال حاضر پذیرفته شده است که فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان ناشی از چندین مکانیسم مختلف است. چانگ و چن[2] (۲۰۰۸)[۱۲] فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان را با توجّه به میزان آسیب دیواره سلولی و میزان نشت آنزیم‌ها و نوکلئوتیدها[3] از مکان‌های مختلف سلولی مورد بررسی قرار دادند. در ابتدا مشاهده شد که از نظر نشت آنزیمی، افزودن کیتوزان به سوسپانسیون باکتریایی، تأثیر بیشتری بر باکتری‌های گرم منفی مثل *ایکولای*[4] نسبت به باکتری‌های گرم مثبت مثل *اس. اورئوس*[5] دارد. در ادامه نتایج آزمایشگاهی نشان داد که فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان تنها شامل واکنش با دیواره سلولی نیست بلکه بر ساختار دولایه فسفولیپیدی در غشای سلولی نیز اثر گذاشته و با ایجاد تغییر در نفوذپذیری غشای سلول موجب آزاد شدن برخی از ترکیبات درون سلولی به بیرون می‌گردد. این واکنش زمانی که از کیتوزان با درجه استیلاسیون[6] پایین‌تر استفاده گردد؛ تشدید می‌شود.

۳- عوامل مؤثر بر فعالیت ضد میکروبی کیتوزان

عوامل درونی و بیرونی متنوعی وجود دارد که فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان را مورد تأثیر قرار می‌دهند. به طور مثال ثابت شده است که کیتوزان با وزن مولکولی پایین‌تر (کمتر از ۱۰ کیلودالتون[7]) فعالیت ضدباکتریایی بیشتری نسبت به کیتوزان طبیعی دارد[۱۳]. به‌علاوه حداقل درجه پلیمریزاسیون باید هفت باشد تا کیتوزان فعّال بماند و در کمتر از این عدد، تقریباً هیچ فعالیت ضدمیکروبی نخواهد داشت[۱۴].

کیتوزان‌هایی که به میزان زیادی دِاستیله[8] شده باشند؛ فعالیت ضدباکتری بیشتری نسبت به کیتوزان‌های دارای میزان بالاتر گروه‌های آمینی استیله شده؛ خواهد داشت که دلیل این امر حلالیت و دانسیته بار بیشتر آن‌ها است[۱۵].

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر فعالیت کیتوزان، pH می‌باشد که با کاهش آن، فعالیت ضدمیکروبی افزایش خواهد یافت. عواملی مانند بیشتر شدن حلالیت و اثر

1- Agglutination
2- Chung and Chen

3- Nucleotide
4- E. Coli
5- S. Aureus
6- Acetylation
7- K Da
8- Deacetylation

هردل[1] در تحمیل استرس اسیدی بر میکروارگانیسم هدف، موجب این پدیده می‌شوند[۱۶]. ماتریکس محیط بیشترین اثر تکی را بر فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان می‌گذارد. به دلیل ماهیت کاتیونی، کیتوزان پتانسیل بالایی برای پیوند به بسیاری از ترکیبات غذایی مثل آلژینات‌ها[2]، پکتین‌ها[3]، پروتئین‌ها و پلی‌الکترولیت‌های غیرآلی مثل پلی‌فسفات دارد[۱۷]. همچنین حلالیت کیتوزان را می‌توان با استفاده از غلظت‌های بالایی از الکترولیت‌های با وزن مولکولی کم مثل سدیم فسفات و آنیون‌های آلی افزایش داد[۱۸].

اثر وزن مولکولی بر فعالیت ضدباکتریایی و ضدقارچی کیتوزان نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا استفاده از کیتوزان با وزن مولکولی ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ برای محدود کردن رشد میکروبی، مفید گزارش شده است[۷]. همچنین کیتوزان با میانگین وزن مولکولی ۹۳۰۰ بر محدود کردن رشد *یکولای* مؤثر بوده درحالی‌که با وزن مولکولی حدود ۲۲۰۰، به تسریع رشد باکتری کمک می‌نماید[۱۹]. به‌علاوه فعالیت ضدمیکروبی به ترتیب در N,O-کربوکسی متیل کیتوزان، کیتوزان و O-کربوکسی متیل کیتوزان افزایش می‌یابد[۲۰].

٤- مقایسه کیتین و کیتوزان با سایر پلیمرها در تهیه فیلم‌های محافظت‌کننده

راندمان عملکردی یک ماده در خاصیت میکروب‌کشی آن، بستگی مستقیمی به طبیعت اجزای آن و همچنین ترکیب و ساختار فیلم تولیدی از آن دارد. انتخاب ماده مناسب برای تشکیل فیلم در مواد ضدمیکروبی، بر پایه نوع کاربرد آن، طبیعت غذای تولیدی و روش به کارگیری فیلم قرار دارد و می‌تواند شامل انواع متفاوتی باشد. بنابراین در این زمینه انواع مختلفی از فیلم‌های پلی‌ساکاریدی بر پایه نشاسته، آلژینات، سلولز، کیتوزان، کاراگینان[4]، پکتین و غیره کاربرد دارند و هر کدام بر اساس میزان سفتی، تردی، فشردگی، غلظت، ویسکوزیته[5]، چسبندگی و توانایی تشکیل ژل، موارد استفاده خاص خود را دارند[۲۱ و ۲۲]. فیلم‌های لیپیدی به خوبی قادر به ایجاد شرایط بی‌هوازی هستند در حالی که فیلم‌های مشتق شده از مواد پلی‌ساکاریدی، نفوذپذیری مناسبی نسبت به گاز دارند و در نتیجه گزینه مناسبی برای ایجاد اتمسفر اصلاح شده هستند که عمر انبارداری محصولات را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند[۲۱]. به علاوه فیلم‌های پلی‌ساکاریدی و پوشش‌دهنده‌ها می‌توانند برای افزایش عمر انبارداری غذاهای گوشتی مورد استفاده قرار گیرند که اهمیت اصلی آن‌ها در جلوگیری از آب‌زدایی، رنسیدیتی[6] اکسیدایشی و قهوه‌ای شدن سطحی می‌باشد[۲۳]. به دلیل نوع ساختمان زنجیره‌های پلیمری، فیلم‌های پلی‌ساکاریدی می‌توانند نفوذپذیری به گاز پایینی داشته باشند، اما طبیعت هیدروفیلیک[7] آن‌ها باعث ایجاد نفوذپذیری بالای بخار آب می‌گردد[۲۲]. ژاپنی‌ها در این زمینه به طور وسیعی از فیلم‌های پلی‌ساکاریدی در صنعت مواد گوشتی استفاده می‌کنند[۲۴] . در واقع زمانی که یک ترکیب گوشتی (مانند سوسیس) در معرض دود و بخار قرار می‌گیرد؛ فیلم پلی‌ساکاریدی روی آن به طور نسبی حل شده و با خود ترکیب گوشتی یکپارچه[8] می‌شود. گوشت‌های تیمارشده با فیلم‌های پلی‌ساکاریدی در این حالت، راندمان بالاتر، ساختار و بافت بهتر و تنزل کمتر رطوبت را از خود نشان می‌دهند[۲۵].

به طور خاص، استفاده از فیلم‌های زیست-پایه و پلیمر-پایه در طراحی سامانه‌های ضدمیکروبی برای پایین آوردن باکتری‌های نامطلوب در مواد غذایی، یک مفهوم جدیدی به حساب نمی‌آید. تاکنون راهکارهای زیادی برای استفاده از این فیلم‌ها جهت رساندن ترکیبات موثر به سطح مواد غذایی مانند ترکیبات گوشتی، پیشنهاد و به‌کار

1- Hurdle Effect
2- Allegiant
3- Pectin
4- Carrageenan

5- Viscosity
6- Rancidity
7- Hydrophilic
8- Integrated

گرفته شده است. توجّه به این گونه از فیلم‌ها، ژل‌ها و پوشش‌دهنده‌ها از این جهت است که آن‌ها پاسخگوی نیازهای مصرف‌کنندگان به مواد کم خطر و تجدیدپذیر می‌باشند[۲۶]. تاکنون تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که افزودن موادی مانند اسیدهای آلی(استیک[1]، پروپیونیک[2]، بنزوئیک[3]، سوربیک[4]، لاکتیک[5] و لوریک)، پتاسیم سوربات، باکتریوسین‌ها (نایسین[6] و لاکتیسین[7])، عصاره ادویه‌جات (تیمول[8] و سینامادهید[9])، تیوسولفینات‌ها[10] (آلیسین[11])، آنزیم‌ها (پراکسیداز و لیزوزیم[12])، پروتئین‌ها (کونالبومین[13])، ایزوتیوسیانات‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها، قارچ‌کش‌ها (بنومیل[14])، عوامل چلات‌کننده[15](EDTA)، فلزات و پارابن‌ها[16] به فیلم‌های خوراکی، موجب بهبود عملکرد ضد میکروبی آن‌ها و کاهش رشد میکروبی می‌گردد[۲ و ۵].

۵- کاربرد کیتوزان در نگهداری میوه‌ها و سبزیجات تازه

کیتوزان به علت داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی مانند فعالیت ضدقارچی، باکتری‌کشی، انعطاف‌پذیری، شفافیت، توانایی تشکیل فیلم، زیست تخریب‌پذیری، عدم مسمومیت برای انسان، عدم ایجاد طعم و مزه خاص در مواد غذایی، تبدیل به گزینه‌ای مناسب جهت استفاده در صنعت بسته بندی و پوشش‌دهنده‌های مواد غذایی شده است که موارد کاربرد آن به طور فزاینده‌ای رو به گسترش می‌باشد.

سیب رُز[17] [18]یک میوه استوایی در تایلند و مالزی است که از نظر اقتصادی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. این میوه به دلیل داشتن پوسته نازک، به‌راحتی آب از دست داده و فاسد می‌شود. پلین سیریکی و همکاران (۲۰۱۴)[۲۷] اثر تیمار کیتوزان بر کیفیت میوه پس از دوران انبارداری را در دما و رطوبت ثابت مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در روز پنجم، میوه‌های پوشش داده شده با محلول ۲ درصد کیتوزان با کاهش وزن حدود ۱۲/۸۲ درصد و فساد حدود ۱۴ درصد میوه‌ها مواجه شدند. در حالی‌که این اعداد برای نمونه‌های کنترل به‌ترتیب ۲۲/۱۲ و ۲۴ درصد بودند که به‌خوبی نمایانگر نقش مؤثر کیتوزان در نگهداری این میوه می‌باشد.

فساد میوه‌های آووکادو در فرایند پس از برداشت در اثر قارچ *کلتوتریکوم*[19] ممکن است به بیش از ۸۰ درصد برسد[۲۸]. جهت جلوگیری از این پدیده در فرایندهای معمول، از ماده خطرناک پروکلوراز[20] استفاده می‌شود که نگرانی‌هایی برای مصرف‌کنندگان درپی داشته است. از این رو نیاز به یک ماده ایمن و ارگانیک برای محافظت این میوه بیش از پیش احساس می‌شود. تاکنون روش‌های مختلفی برای نگهداری میوه‌های حساس به فساد و به تعویق انداختن نرخ رسیدن و افزایش ماندگاری آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این روش‌ها شامل ذخیره یا بسته‌بندی در اتمسفر کنترل و اصلاح شده، کنترل دما و کاربرد یک پوشش‌دهنده خاص برای سطح پوسته میوه می‌باشد. برای تمامی این روش‌ها اثرات مثبتی ثبت شده که بر این اساس پایه اصلی بسته مواد غذایی تازه را تشکیل می‌دهند[۲۹]. اما کاربرد روش پوشش‌دهی به علت پیچیدگی کمتر و تأمین اکثر موارد مطرح شده؛ دارای مزیت نسبی در مقایسه با روش‌های دیگر است. سالوادور و همکاران[۲۹] از روش پوشaشده‌ی کیتوزان بر میوه آووکادو استفاده نموده و توانستند عمر انبارداری آن را به

1- Acetic Acid
2- Propionic Acid
3- Benzoic Acid
4- Sorbic Acid
5- Lactic Acid
6- Niacin
7- Lacticin
8- Thymol
9- Sinamaldehid
10- Thiosulfinate
11- Allicin
12- Lysozyme
13- Conalbumin
14- Benomyl
15- Chelating Agent
16- Parabens

17- Rose Apple
18- *Syzygium Agueum*
19- *Colletotrichum Gloeosporioides*
20- Prochloraz

۶ روز در دمای محیط افزایش دهند. بیل و همکاران[۳۰] اثرات ضدقارچی صمغ عربی، آلوئه‌ورا و کیتوزان را به صورت تکی یا ترکیب شده با روغن اساسی آویشن (به ترتیب با نسبت‌های ۱۰، ۲، ۱ درصد) را در شرایط آزمایشگاهی[1] مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بر اساس بهترین عملکرد، ترکیب کیتوزان با روغن آویشن را به عنوان جایگزین مناسب برای پروکلوراز در کنترل فساد آووکادو معرفی نمودند.

موز معمولاً کمی قبل از رسیدن کامل از درخت برداشت شده و در دمای اتاق ذخیره‌سازی می‌گردد، اما باز هم متحمل خسارات فراوانی در طی مراحل پس از برداشت و حمل‌ونقل می‌شود[۳۱]. در این زمینه آنتراکنوز[2] حائز بیشترین اهمیت می‌باشد به‌طوری‌که اسپورهای قارچ، موزهای نارس در مزرعه را آلوده می‌کند ولی تا مراحل پس از برداشت و سیاه شدن پوست، چیزی مشخص نمی‌شود[۳۲]. بیماری‌های دیگر قارچی نظیر: فساد *تاج*[3] که ناشی از ترکیبی از قارچ‌ها مانند *کلتوتریکوم*[4]، *فوزاریوم*[5] و *لیزیودیپلودی*[6] است؛ می‌تواند موجب افزایش ضایعات گردد. واتاناکورن[7] (۲۰۰۳)[۳۳] نشان داد که پوشش‌دهی موز با یک محلول یک درصد کیتوزان می‌تواند طول عمر انبارداری این محصول را به ۲۷ روز افزایش دهد. وین و همکاران[۳۴] اثرات ضدقارچی عصاره دارچین و کیتوزان را مورد بررسی قرار دادند. فرضیه اولیه بر این اساس استوار بود که دو ماده یا بیشتر به صورت ترکیب شده با هم می‌تواند پتانسیل قارچ‌کشی را افزایش دهد. تحقیقات نشان داد که عصاره دارچین به تنهایی قادر به جلوگیری از آنتراکنوز و گندیدگی تاج است و اثرات ضدقارچی مشهودی نمایش داده شد و کیتوزان نیز به تنهایی توانست فساد و رسیدن میوه را به تأخیر بیاندازد، اما زمانی‌که این دو ماده به صورت ترکیب با هم مورد استفاده قرار گرفتند، هیچ گونه اثر مثبتی بر جلوگیری از فساد و افزایش ماندگاری موز مشاهده نگردید که این موضوع ناشی از ناسازگاری این دو ماده با هم می‌باشد و استفاده از آن‌ها به صورت ترکیبی، باعث کاهش اثرات ضدقارچی کیتوزان خواهد گردید. سوسنو و همکاران [۳۵] نیز بر روی اثر امولسیون خوراکی کیتوزان برای بهبود ماندگاری موز واریته کاوندیش[8] کار نمودند. در این پژوهش اثر درجات متفاوت دِاستیلاسیون[9] (۷۰ و ۸۰ درصد) در غلظت‌های متفاوت (۱، ۱/۵ و ۲ ٪) بر میزان کاهش وزن و ویتامین C مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش وزن و ویتامین C، با افزایش غلظت کیتوزان و درجه دِاستیلاسیون کاهش یافت. در این زمینه کیتوزان با غلظت ۲ درصد و درجه دِاستیلاسیون ۸۰ درصد بهترین عملکرد را از خود نشان داد. فساد انبارش هویج مهم‌ترین مشکل در تولید و صادرات این میوه می‌باشد. چی و همکاران[۴۶] قارچ *اسکلروتینیا*[10] را به عنوان مهم‌ترین و رایج‌ترین عامل فساد در طی انبارش سرد هویج، شناسایی نمود. چی و همکاران[۳۷] در تحقیق دیگری اثر غلظت‌های مختلف کیتوزان بر این قارچ را در شرایط این ویترو مورد بررسی قرار دادند. هویج‌ها با کیتوزان ۲ و ۴ درصد پوشش‌دهی شده و در نهایت قارچ *اسکلروتینیا* به آن تلقیح شد. پس از ۵ روز کیتوزان در هر دو غلظت به طور معناداری میزان فساد را از ۸۸ درصد به ۲۸ درصد کاهش داد. مولای و همکاران [۳۸] پژوهش مشابهی را در مورد اثر کیتوزان آبکافت شده (۰/۲ درصد) بر جلوگیری از رشد قارچ *اسکلروتینیا* انجام دادند. هیدرولیزات کیتوزان اثری بر رشد شعاعی کلونی‌های *اسکلروتینیا* سیب‌زمینی- دکستروز-آگار نداشت، اما تناوب و اندازه گندیدگی هویج در مقایسه با موراد تیمار نشده با کیتوزان کاهش یافت. پوشکالا و همکاران[۳۹] کارایی

1- In Vitro
2- Anthracnose
3- Crown Rot
4- Colletotrichum
5- Fusarium
6- Lysiodiplodia
7- Wattanakorn
8- Cavendish
9- Deacetylation
10- *Sclerotinia Sclerotiorum*

روش پوشش‌دهی با پودر کیتوزان را به جای روش‌های کلاسیک اسپری و تغریق بر ماندگاری هویج خرد شده مورد مطالعه قرار دادند. این روش جدید با پاشش پودر ۰/۲ درصد کیتوزان بر هویج‌های خرد شده توانست کاهش وزن را به طور چشمگیری کاهش داده و ویتامین C بیشتری را در طول ۱۰ روز حفظ نماید.

مرکبات و برخی میوه‌های دیگر که به‌طور قابل ملاحظه‌ای در اثر قارچ *پنی سیلیوم دیجیتاتوم* مورد فساد قرار می‌گیرند[۴۰]؛ را می‌توان با استفاده از پوشش‌دهی کیتوزان، برای یک دوره طولانی مدّت در انبار ذخیره‌سازی نمود[۴۱]. در این زمینه پرتقال واریته والنسیا و نارنگی *فورچیون* پوشش‌داده شده با کیتوزان توسط گالد و همکاران [۴۲] مورد مطالعه قرار گرفت. آن‌ها اثرات کیتوزان بر رسیدگی، فساد، میزان خسارت و همچنین توانایی جلوگیری از رشد قارچ را به‌وسیله روش تصویربرداری رزونانس مغناطیسی[1] بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند که انحلال کیتوزان بر سطح نارنگی و پرتقال، نتایج بسیار خوبی را از نظر ظاهری و درصد کاهش وزن از خود نشان می‌دهد. تیمار کیتوزان توانست پرتقال والنسیا را به مدّت ۲۲ هفته و نارنگی فورچیون را به‌مدّت ۶ هفته از فساد در امان نگه دارد.

٦- کاربرد کیتوزان در غذاهای دریایی، ماهی و فراورده‌های گوشتی

علاوه بر پوشش‌دهی میوه و سبزیجات در مراحل قبل و پس از برداشت، کیتوزان برای بهبود نگهداری فراورده‌های گوشتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در موضوع غذاهای دریایی، احتمالاً میگو یکی از پرمصرف‌ترین موارد در دنیا است. بنابراین مطالعات زیادی در جهت ارزیابی اثرات پوشش‌دهی کیتوزان بر کیفیت و ماندگاری میگو صورت گرفته است. میگو با یک محلول کیتوزانی توأم با لیپید-پروتئین پوشش‌دهی می‌شود که از ضایعات خود میگو به‌دست آمده است. بر این اساس پوشش دهی با کیتوزان موجب به تعویق انداختن بدرنگی و گسترش نقاط تیره در میگو شده و جلوی رشد میکروارگانیسم‌های مسئول فساد آن مانند *شیوانلا پتریفسینس*[2]، *فوتوباکتریوم فسفریوم*[3] و *آرومونا‌س هیدروفیل*[4] را می‌گیرد[۴۳]. با همین هدف ترکیب کیتوزان با کارواکرول[5] و کاپریلیک[6] اسید توسط وانگ و همکاران[۴۴] بر روی میگو مورد استفاده قرار گرفت. از این پژوهش نتیجه گرفته شد که هرچند ترکیب کیتوزان-کارواکرول دارای اثر مثبت بر ماندگاری میگو است؛ افزودن کاپریلیک اسید به آن موجب هم افزایی و قدرت بیشتر می‌گردد. به‌علاوه خواص حسی مانند بافت نیز برای مدّت طولانی‌تری ثابت باقی ماند. با توجّه به اثرات مثبت اسانس‌های گیاهی در هم‌افزایی با کیتوزان، کاریون گرندا و همکاران[۴۵] پوشش‌دهی میگو به‌وسیله کیتوزان همراه با اسانس پونه کوهی و آویشن را مورد بررسی قرار دادند. پس از ۱۲ روز نگهداری در ۴ درجه سانتی‌گراد و اتمسفر اصلاح شده؛ مشاهده گردید که هر دو روغن اسانسی توانسند در ترکیب با کیتوزان قدرت ضدمیکروبی را افزایش بدهند. البته هرچند که رنگ و سفتی میگو برای مدّت طولانی‌تری ثابت باقی ماندند؛ ویژگی‌های حسی و طعم محصول به‌دلیل افزودن اسانس دستخوش تغییرات ملموسی گردید. فرجزاده و همکارن (۲۰۱۶)[۴۶] نیز تحقیق مشابهی را با استفاده از مخلوط کیتوزان-ژلاتین انجام دادند که پس از بررسی‌های میکروبیولوژیکی و حسی، مشخص گردید که پوشش اعمال شده موجب کاهش فساد میکروبی میگو گردید. افزون بر این، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی همانند کاهش وزن، بافت و رنگ نیز در مقایسه با نمونه شاهد بهبود یافته بود.

به دلیل فسادپذیری بسیار بالای غذاهای دریایی، از پوشش‌دهی کیتوزان بر انواع مختلف ماهی‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال یو و همکاران

1- Magnetic Resonance Imaging

2- *Shewanella Putrefaciens*
3- *Photobacterium Phosphoreum*
4- *Aeromonas Hydrophila*
5- Carvacrol
6- Caprylic Acid

(۲۰۱۸)[۴۷] فیله ماهی کپور را آغشته به کیتوزان نموده و پس از نگهداری در یخچال، میزان تغییر ترکیبات وابسته به طعم را اندازه‌گیری و بررسی کردند. در این تحقیق مشاهده گردید که پوشش‌دهی با کیتوزان، از میزان ترکیبات متعفن و عامل طعم و بوی بد مانند نوکلئوتیدهای بدطعم و مواد اکسیدشده فرّار، به طور معنی‌داری کاست. در پژوهش دیگری فیله ماهی خاردار دریایی تحت تیمار کیتوزان قرار گرفت[۴۸]. نتایج همانند موارد قبلی نشان داد که کیتوزان رشد باکتری‌های عامل فساد ماهی را مهار نموده و ماندگاری محصول را افزایش داد.

فراورده‌های گوشتی نیز به‌وسیله کیتوزان تیمار و آزمایش شده‌اند. کانات و همکاران (۲۰۱۳)[۴۹]، خصوصیات میکروبیولوژیکی، شیمیایی و حسی را در گوشت‌های آماده پخت تیماره شده با کیتوزان مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که علاوه بر مهار اکسایش چربی، هیچ گونه تغییر طعم، رنگ و ظاهر در گوشت پوشش‌داده شده با کیتوزان ایجاد نشد. در حقیقت گوشت‌های تیمار شده با کیتوزان، تا ۷ روز پس از ذخیره‌سازی، دارای مقبولیت حسی بودند؛ در حالی‌که نمونه شاهد پس از ۳ روز از نظر حسی، غیرقابل قبول ارزیابی گردید.

همچنین اثر پوشش‌دهی کیتوزان به صورت تکی و همراه با اسانس میخک بر سوسیس توسط لکجینگ[1] (۲۰۱۶)[۵۰] بررسی شد. نتایج نشان داد که ترکیب کیتوزان با اسانس میخک، نه تنها در جلوگیری از رشد میکروبی مؤثر بود، بلکه به دلیل خصوصیات آنتی‌اکسیدانی میخک، از اکسایش چربی گوشت کاسته و ماندگاری محصول را از ۱۴ روز به ۲۰ روز افزایش داد. مشابه همین امر در استفاده از آب انار به جای میخک در ترکیب با کیتوزان گزارش‌گردیده است. به‌طوری‌که علاوه بر شمارش کلی میکروبی، عدد پراکسید و نرخ اکسایش پروتئین نیز کاهش یافت[۵۱]. همچنین کاردوسو و همکاران (۲۰۱۶)[۵۲] ترکیب کیتوزان با سایر بیوپلیمرها مانند ژلاتین جهت پوشش سطح استیک را مورد ارزیابی قرار دادند. طبق نتایج، پوشش‌دهی موجب جلوگیری از کاهش وزن و اکسایش چربی پس از ۵ روز نگهداری گردید. به‌علاوه اکسایش میوگلوبین[2] نیز به تأخیر انداخته شد در حالی‌که درصد دأکسی[3] میوگلوبین متناسب با غلظت ژلاتین، افزایش یافت. این موضوع موجب ایجاد یک رنگ قرمز تیره ثابت در استیک می‌شود که از نظر زیبایی شناسی و جذب مشتری نیز دارای اهمیت است.

1- Lekjing

۷- نتیجه گیری

کیتوزان یک ماده تجدیدپذیر و طبیعی می‌باشد که کاربرد و قابلیت‌های زیادی برای استفاده در صنایع غذایی و بخصوص صنعت بسته‌بندی دارد. با توجّه به تغییر سبک زندگی انسان به سمت دوستی با طبیعت و دوری از مواد سنتتیک[4]، استفاده از کیتوزان به طور فزاینده‌ای رو به رشد است. در کنار این خصوصیات، کیتوزان ویژگی‌های منحصر به فرد کارکردی و فنّاورانه‌ای نیز دارد که بیش از پیش آن را برای بسته‌بندی مناسب می‌سازد. از جمله این موارد می‌توان به خاصیت میکروب‌کشی، شفافیت، کشسانی، قابلیت تولید فیلم نازک، سازگاری و هم‌افزایی با سایر مواد ضدمیکروبی طبیعی اشاره نمود. بدیهی است با این میزان از کارکرد بالقوه و بالفعل، کیتوزان در آینده به جزء جدایی‌ناپذیر صنایع غذایی تبدیل خواهد شد.

۸- منابع

1. E. Salleh, I. Muhamad, and N. Khairuddin, (2007). **"Preparation, characterization and antimicrobial analysis of antimicrobial starch-based film incorporated with chitosan and lauric acid,"** *Asian Chitin J.*, vol. 3, pp. 55–68.
2. J. H. Han, (2003). **"Antimicrobial food packaging,"** *Nov. food Packag. Tech.*, vol. 8, pp. 50–70.
3. T. Jin and H. Zhang, (2008). **"Biodegradable polylactic acid**

2- Myoglobin
3- Deoxymyoglobin
4- Synthetic

polymer with nisin for use in antimicrobial food packaging," *J. Food Sci.*, vol. 73, no. 3, pp. M127–M134.

4. M. F. Álvarez, (2000). **"Revisión: Envasado activo de los alimentos/Review: Active food packaging,"** *Food Sci. Technol. Int.*, vol. 6, no. 2, pp. 97–108.
5. C. N. Cutter and S. S. Sumner, (2002). **"Application of edible coatings on muscle foods,"** in *Protein-based films and coatings*, CRC Press, pp. 467–484.
6. P. K. Dutta, S. Tripathi, G. K. Mehrotra, and J. Dutta, (2009). **"Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications,"** *Food Chem.*, vol. 114, no. 4, pp. 1173–1182.
7. C.-S. Chen, W.-Y. Liau, and G.-J. Tsai, (1998)."**Antibacterial effects of N-sulfonated and N-sulfobenzoyl chitosan and application to oyster preservation,"** *J. Food Prot.*, vol. 61, no. 9, pp. 1124–1128.
8. E. I. Rabea, M. E.-T. Badawy, C. V Stevens, G. Smagghe, and W. Steurbaut, (2003). **"Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action,"** *Biomacromolecules*, vol. 4, no. 6, pp. 1457–1465.
9. F. Shahidi, J. K. V. Arachchi, and Y.-J. Jeon, (1999). **"Food applications of chitin and chitosans,"** *Trends food Sci. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 37–51.
10. A. M. Papineau, D. G. Hoover, D. Knorr, and D. F. Farkas, (1991). **"Antimicrobial effect of water-soluble chitosans with high hydrostatic pressure,"** *Food Biotechnol.*, vol. 5, no. 1, pp. 45–57.
11. N. R. Sudarshan, D. G. Hoover, and D. Knorr, (1992**). "Antibacterial action of chitosan,"** *Food Biotechnol.*, vol. 6, no. 3, pp. 257–272.

[12. Y.-C. Chung and C.-Y. Chen, (2008). **"Antibacterial characteristics and activity of acid-soluble chitosan,"** *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 8, pp. 2806–2814.

13. Y. Uchida, (1989). **"Preparation of chitosan oligomers with purified chitosanase and its application,"** in *Proc. 4th Int. Conf. Chitin/Chitosan*.
14. G. B. Ralston, M. V Tracey, and P. M. Wrench, (1964). **"The inhibition of fermentation in baker's yeast by chitosan,"** *Biochim. Biophys. Acta (BBA)-General Subj.*, vol. 93, no. 3, pp. 652–655.
15. S. Sekiguchi *et al.*, (1994). **"Molecular weight dependency of antimicrobial activity by chitosan oligomers,"** in *Food hydrocolloids*, Springer, pp. 71–76.
16. J. Dutta and P. K. Dutta, (2010). **"15 Antimicrobial Activity of Chitin, Chitosan, and Their Oligosaccharides,"** *Chitin, chitosan, oligosaccharides their Deriv. Biol. Act. Appl.*, p. 195.
17. N. Kubota and Y. Kikuchi, (1998). **"Macromolecular complexes of chitosan,"** *ChemInform*, vol. 29, no. 52, p. no-no.
18. G. A. F. Roberts, (1992). **"*Chitin chemistry*."** Macmillan International Higher Education.
19. S. Tokura, Y. Miura, M. Johmen, N. Nishi, and S.-I. Nishimura, (1994). **"Induction of drug specific antibody and the controlled release of drug by 6-O-carboxymethyl-chitin,"** in *Advances in Drug Delivery Systems, 6*, Elsevier, pp. 235–241.
20. X. Fei Liu, Y. Lin Guan, D. Zhi Yang, Z. Li, and K. De Yao, (2001). **"Antibacterial action of chitosan and carboxymethylated chitosan,"** *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 79, no. 7, pp. 1324–1335.
21. E. A. Baldwin, M. O. Nisperos-Carriedo, and R. A. Baker, (1995). **"Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products,"** *Crit. Rev. Food Sci.*

Nutr., vol. 35, no. 6, pp. 509–524.
22. A. Ben and L. B. Kurth, (1995). **"Edible film coatings for meat cuts and primals,".**
23. M. O. Nisperos-Carriedo, (1994). **"Edible coatings and films based on polysaccharides,"** *Edible coatings Film. to Improv. food Qual.*, vol. 1, pp. 322–323.
24. F. Labell, (1991). **"Edible packaging,"** *Food Process*, vol. 52, no. 12, pp. 24–26.
25. U. Stöllman, F. Johansson, and A. Leufven, (1994). **"Packaging and food quality,"** in *Shelf life evaluation of foods*, Springer, pp. 52–71.
26. A. M. Durango *et al.*, (2006). **"Development and evaluation of an edible antimicrobial film based on yam starch and chitosan,"** *Packag. Technol. Sci. An Int. J.*, vol. 19, no. 1, pp. 55–59.
27. M. J. Bradshaw, S. Bhattacharyya, N. Venna, and J. F. Cahill, (2020). **"Neurologic Manifestations of Systemic Rheumatologic Diseases,"** *Current Clinical Neurology*. pp. 321–342.
28. U. E. Paulista, P. D. E. P. Em, and C. **"Biológicas, *Chitosan in The Preservation of Agricultural Commodities*."**
29. A. A. Kader, (1986). **"Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables,"** *Food Technol.*
30. M. Bill, D. Sivakumar, L. Korsten, and A. K. Thompson, (201). **"The efficacy of combined application of edible coatings and thyme oil in inducing resistance components in avocado (Persea americana Mill.) against anthracnose during post-harvest storage,"** *Crop Prot.*, vol. 64, pp. 159–167, Oct.
31. M. Hailu, T. S. Workneh, and D. Belew, (2013). **"Review on postharvest technology of banana fruit,"** *African J. Biotechnol.*, vol. 12, no. 7.
32. L. Ranasinghe, B. Jayawardena, and K. Abeywickrama, (2005). **"An integrated strategy to control post-harvest decay of Embul banana by combining essential oils with modified atmosphere packaging,"** *Int. J. food Sci. Technol.*, vol. 40, no. 1, pp. 97–103.
33. C. Wattanakorn, (2003). **"Effect of konjac gum coatings on storage time of banana cv. Kluai hom thong."** M. Sc Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
34. N. K. K. Win, P. Jitareerat, S. Kanlayanarat, and S. Sangchote, (2007). **"Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit,"** *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 45, no. 3, pp. 333–340.
35. N. Suseno, E. Savitri, L. Sapei, and K. S. Padmawijaya, (2014). **"Improving shelf-life of cavendish banana using chitosan edible coating,"** *Procedia Chem.*, vol. 9, pp. 113–120.
36. L. H. Cheah, D. W. Brash, and A. P. Marshall, (1996). **"Storage rots of carrot and their control,"** in *Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference*, vol. 49, p. 314.
37. L. H. Cheah, B. B. C. Page, and R. Shepherd, (1997). **"Chitosan coating for inhibition of sclerotinia rot of carrots,"**
38. C. Molloy, L.-H. Cheah, and J. P. Koolaard, (2004). **"Induced resistance against Sclerotinia sclerotiorum in carrots treated with enzymatically hydrolysed chitosan,"** *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 33, no. 1, pp. 61–65.
39. R. Pushkala, K. R. Parvathy, and N. Srividya, (2012). **"Chitosan powder coating, a novel simple technique for enhancement of shelf life quality of carrot shreds stored in macro perforated LDPE packs,"** *Innov. Food Sci.*

Emerg. Technol., vol. 16, pp. 11–20.

40. P. Kinay, F. Yildiz, F. Sen, M. Yildiz, and I. Karacali, (2005). "**Integration of pre-and postharvest treatments to minimize Penicillium decay of Satsuma mandarins,**" *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 37, no. 1, pp. 31–36.
41. J. Du, H. Gemma, and S. Iwahori, (1997). **"Effects of chitosan coating on the storage of peach, Japanese pear, and kiwifruit,"** *J. Japanese Soc. Hortic. Sci.*, vol. 66, no. 1, pp. 15–22.
42. G. Galed, M. E. Fernández-Valle, A. Martınez, and A. Heras, (2004). **"Application of MRI to monitor the process of ripening and decay in citrus treated with chitosan solutions,"** *Magn. Reson. Imaging*, vol. 22, no. 1, pp. 127–137.
43. M. Y. Arancibia, M. E. Lopez-Caballero, M. C. Gomez-Guillen, and P. Montero, (2015). **"Chitosan coatings enriched with active shrimp waste for shrimp preservation,"** *Food Control*, vol. 54, pp. 259–266.
44. Q. Wang, J. Lei, J. Ma, G. Yuan, and H. Sun, (2018). **"Effect of chitosan-carvacrol coating on the quality of Pacific white shrimp during iced storage as affected by caprylic acid,"** *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 106, pp. 123–129.
45. X. Carrión-Granda, I. Fernández-Pan, I. Jaime, J. Rovira, and J. I. Maté, (2016). **"Improvement of the microbiological quality of ready-to-eat peeled shrimps (Penaeus vannamei) by the use of chitosan coatings,"** *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 232, pp. 144–149.
46. F. Farajzadeh, A. Motamedzadegan, S.-A. Shahidi, and S. Hamzeh, (201). **"The effect of chitosan-gelatin coating on the quality of shrimp (Litopenaeus vannamei) under refrigerated condition,"** *Food Control*, vol. 67, pp. 163–170.
47. D. Yu *et al.*, (2018). **"The effects of edible chitosan-based coatings on flavor quality of raw grass carp (Ctenopharyngodon idellus) fillets during refrigerated storage,"** *Food Chem.*, vol. 242, pp. 412–420.
48. O. Martínez, J. Salmerón, L. Epelde, M. S. Vicente, and C. de Vega, (2018). **"Quality enhancement of smoked sea bass (Dicentrarchus labrax) fillets by adding resveratrol and coating with chitosan and alginate edible films,"** *Food Control*, vol. 85, pp. 168–176.
49. S. R. Kanatt, M. S. Rao, S. P. Chawla, and A. Sharma, (2013). **"Effects of chitosan coating on shelf-life of ready-to-cook meat products during chilled storage,"** *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 321–326.
50. S. Lekjing, (2016 **). "A chitosan-based coating with or without clove oil extends the shelf life of cooked pork sausages in refrigerated storage,"** *Meat Sci.*, vol. 111, pp. 192–197.
51. B. Bazargani-Gilani, J. Aliakbarlu, and H. Tajik, (2015). **"Effect of pomegranate juice dipping and chitosan coating enriched with Zataria multiflora Boiss essential oil on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage,"** *Innov. food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 29, pp. 280–287.
52. G. P. Cardoso, M. P. Dutra, P. R. Fontes, A. de L. S. Ramos, L. A. de Miranda Gomide, and E. M. Ramos, (2016). **"Selection of a chitosan gelatin-based edible coating for color preservation of beef in retail display,"** *Meat Sci.*, vol. 114, pp. 85–94.

آدرس نویسنده

خراسان- دانشگاه فردوسی مشهد- دانشکده کشاورزی- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی