مقاله ترویجی

مروری بر سنتز، ویژگی‌ها و کاربرد نانوامولسیون‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی فعال زیستی

نادیا احمدی [۱]، حامد اهری [۲×]

تاریخ دریافت مقاله: فروردین ماه ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش مقاله: شهریور ماه ۱۳۹۹

چکیده

بسته‌بندی‌های نوین، تنها مسئول دربرگرفتن و محافظت مواد غذایی در برابر عوامل خارجی نیستند، بلکه مزایای دیگری نیز دارند که شامل افزایش زمان انبارمانی، جلوگیری از فساد و افت مواد مغذی و تعیین زمان ماندگاری مواد غذایی می‌باشد. افزایش تقاضا برای غذاهایی با ویژگی‌های تازه‌ماندن، کاهش افزودنی‌های مصنوعی و نگه‌دارنده‌ها، تخریب اندک محیط زیست و ایمن‌بودن، محققان و صنایع را به سمت توسعه فنّاوری‌های فرآوری ملایم‌تر و راهکارهای بسته‌بندی سازگارتر با محیط‌زیست سوق داده است. در این زمینه، استفاده از نانوامولسیون‌ها برای بهبود عملکرد بسته‌بندی مواد غذایی سازگار با توسعه پایدار و کارکردهای جدید در پوشش‌ها و فیلم‌های متداول ارائه کرده است. نانوامولسیون‌ها که دارای پایداری نوری و ویژگی‌های رئولوژیکی منحصر به فردی از جمله: حفاظت، ریزپوشانی و تحویل ترکیبات زیست فعال و عملگرا (از جمله مواد نگه‌دارنده طبیعی مانند: اسانس‌های روغنی گیاهان، مواد مغذّی، ویتامین‌ها، رنگ‌ها و طعم‌دهنده‌ها)، سورفاکتانت‌ها(از جمله پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌هایی که در طبیعت یافت می‌شوند)، برای طراحی نانوامولسیون‌های با درجه غذایی مورد نظر برای کاربردهای بسته‌بندی استفاده می‌شوند. در این مقاله ازنانوامولسیون‌ها در ماتریکس‌های بیوپلیمری مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی با وجود فعالیت ضدمیکروبی بالقوه آن‌ها در برابر پاتوژن‌های همراه غذا، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی مواد غذایی، ریزپوشانی، فعالیت ضدمیکروبی، نانوامولسیون

۱- مقدمه

بسته‌بندی ضدمیکروبی به عنوان روشی برای افزایش دوره ماندگاری غذا، کاهش تلفات محصول و کسب اطمینان از ایمنی برای مصرف‌کنندگان به وجود آمده است. اخیراً استفاده از نانوامولسیون‌ها در مواد بسته‌بندی غذایی با فعالیت ضدمیکروبی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این رویکرد به عنوان یک سیستم ضدمیکروبی برای حفاظت از غذا می‌باشد. دلیل نیاز مصرف‌کنندگان به تغییر تمایلات جهانی، مانند بالا رفتن توقعات زندگی و سازمان‌هایی که در زمینهٔ تولید و توزیع

۱- کارشناس مسئول، گروه پژوهشی مواد غذایی و حلال کشاورزی، پژوهشکده صنایع غذایی و فرآورده‌های کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران(nady.ahmadi@yahoo.com).

۲- دانشیار، عضو هیأت علمی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(× نویسنده مسئول:h-ahari@srbiau.ac.ir)

محصولات غذایی سرمایه‌گذاری کمی دارند، می‌باشد. از آغاز قرن هجدهم صنعت غذا با ابداع مفهوم فعال و هوشمند در بخش بسته‌بندی پیشرفت‌های شگرفی کرده است؛ که این پیشرفت‌ها منجر به بهبود کیفیت و ایمنی مواد غذایی شده است. بسته‌بندی فعال و هوشمند یک بخش جدید و مورد توجّه از فنّاوری است که در عصر کنونی به نیاز مصرف‌کنندگان به گونه‌ای مؤثر پاسخ می‌دهد[۱].

حوزه بسته‌بندی فعال به طور فزاینده‌ای مورد توجّه قرار گرفته است. برخلاف بسته‌بندی‌های سنتی که باید از نظر واکنشی کاملاً بی‌اثر باشند، بسته‌بندی فعال به گونه‌ای طراحی شده است که با محتویات و یا محیط اطراف برهمکنش داشته باشد. بسته‌بندی فعال به اختلاط مواد افزودنی درون سیستم‌های بسته‌بندی با هدف حفظ کیفیت و افزایش عمر محصول اشاره دارد. سیستم‌های بسته‌بندی فعال، جاذب‌های اکسیژن، اتیلن، جاذب‌ها و منتشرکننده طعم و عطر، فناوری بسته‌بندی ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی را مورد بحث قرار می‌دهند. سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند شامل شناساگرهای زمان- دما و آشکارسازهای گازی می‌باشند. شناسایی مزیت‌های سیستم بسته‌بندی فعال و هوشمند در صنایع غذایی و افزایش پذیرش مصرف‌کننده برای تحقق این فنّاوری لازم است. پیشرفت نانوفنّاوری هم‌چنین باعث توسعه بهتر و جدید بسته‌بندی فعال و هوشمند شده است[۲].

۲- پوشش بسته‌بندی موادغذایی حاوی نانوامولسیون‌ها

در سال‌های اخیر، توجّه به بسته‌بندی‌های نوین در تولید مواد غذایی افزایش یافته است. آماده‌سازی فیلم‌ها و روکش‌های حاوی نانوامولسیون برای کاربردهای مرتبط با بسته‌بندی به‌کار برده می‌شود. برای این کار، یک پلیمر پشتیبان، به عنوان ماتریکس، در فاز پیوسته انتشار می‌یابد. افزودن (بیو) پلیمر به فاز پیوسته می‌تواند برای پایداری و یکپارچگی ذرّات مفید باشد، حتّی پیش از آنکه جداسازی انجام شود. این به خاطر اثر تغلیظ و افزایش ویسکوزیته در فاز پیوسته می‌باشد. جدول(۱) بیوپلیمرهایی را که به عنوان فازهای پیوسته در مواد بسته‌بندی غذایی حاوی نانوامولسیون گزارش شده‌اند در کنار مشخصه‌های اصلی ترکیب فاز پیوسته و شرایط بهینه آزمون نشان می‌دهد[۳].

از درجات مختلف پکتین برای تولید فیلم‌های خوراکی استفاده می‌شود که دارای ویژگی ضدمیکروبی به علت ایجاد نانوامولسیون سینامآلدهید هستند. کیتوزان در فاز پیوسته فیلم‌ها و پوشش‌های مبتنی بر نانوامولسیون دربرگیرنده اسانس‌های روغنی ضدمیکروبی مختلف و ترکیبات روغنی مانند: کارواکرول[1]، اسانس‌های روغنی نارنگی، لیمو و اوکالیپتوس[2] استفاده شده است [۴].

در مطالعه‌ای که توسط گروئی[3] و همکاران (۲۰۱۷) انجام شده است از صمغ دانه ریحان برای ایجاد و تولید فیلم‌های ضدمیکروبی استفاده کردند[۵]. در مطالعه‌ای که توسط کوالسزک و بارانک[4] (۲۰۱۴) انجام شده است مشتقات سلولوزی را به عنوان ماده زمینه‌ای برای تولید فیلم‌های حاوی نانوامولسیون و میکروامولسیون‌های اسانس روغنی میخک و اسانس روغنی آویشن به‌کار بردند[۶]. در مطالعه‌ای که توسط اسودو- فان[5] و همکاران (۲۰۱۵) انجام شده است آلژینات سدیم برای تولید فیلم‌های حاوی نانوامولسیون اسانس روغنی آویشن، لیموترش و مریم گلی استفاده شدند[۷]. در مطالعه‌ای که توسط الکساندر[6] و همکاران (۲۰۱۶) انجام شده است ژلاتین برای تولید فیلم‌های آنتی‌اکسیدان مبتنی بر نانوامولسیون روغن کانولا[7] و همچنین روغن سویا استفاده گردید[۸]. فیلم‌ها پرگزارش‌ترین مکانیسم مرتبط با کاربرد نانوامولسیون‌ها در محصولات غذایی هستند. نانوامولسیون از طریق افزودن یک ماتریکس پلیمری که، دارای قابلیت تشکیل فیلم هستند، و ترکیب با ماتریکس‌های فیلم در فاز

1- Carvacrol
2- Eucalyptus
3- Gahruie
4- Kowalczyk & Baraniak
5- Acevedo-Fani
6- Alexandre
7- Canola Oil

پیوسته، شکل می‌گیرند. نمونه‌هایی از بیوپلیمرهای استفاده شده به عنوان فازهای پیوسته در مواد بسته‌بندی غذایی حاوی نانوامولسیون در(جدول ۱) نشان داده شده است[۹].

ترکیب اجزاء فیلم و هم‌چنین تعامل بین آن‌ها فراهم می‌آورد. چنین تعاملاتی از این جهت مهم هستند که می‌توانند بر عملکرد کلی فیلم‌ها تأثیر بگذارند، که متعاقباً

جدول ۱- نمونه‌هایی از بیوپلیمرهای استفاده شده به عنوان فازهای پیوسته در مواد بسته‌بندی غذایی حاوی نانوامولسیون

بیوپلیمر	ترکیب فاز پیوسته	کاربرد	شرایط بهینه آزمون	نقش بیوپلیمر بر مشخصه نانوامولسیون
کیتوزان	سینامالدهید / تری گلیسیریدهای زنجیره متوسط روغن اوکالیپتوس ۶٪ وزنی	فعالیت ضدمیکروبی علیه *استافیلوکوکوس اورئوس*، ایکولی و فعالیت ضدمیکروبی علیه *استافیلوکوکوس اورئوس*	همزنی پیوسته در ۶۰۰ دور در دقیقه، ۱۵ دقیقه، دمای اتاق ۷۵۰ وات، ۲۰ کیلوهرتز ، ۱۰ دقیقه	تشکیل فیلم تشکیل فیلم
پکتین‌ها	سینامالدهید ۱٪ وزنی	فعالیت ضدمیکروبی علیه *ایکولی، لیستریا مونوسیتوژنز، و استافیلوکوکوس اورئوس*	۱۶۰۰۰ دور در دقیقه،۴ دقیقه	تشکیل فیلم
متیل سلولز	اسانس روغن میخک / پونه کوهی 40 mg/ml	فعالیت ضدمیکروبی علیه مخمرها و قارچ‌ها	۴۰۰ وات، ۲۰ کیلوهرتز، ۱۰ دقیقه	تشکیل فیلم
ژلاتین	روغن سویا ۰/۱٪ وزنی	فعالیت آنتی‌اکسیدان نانوامولسیون	100 MPa، ۳۳ سیکل	تشکیل فیلم
آلژینات سدیم	اسانس روغنی آویشن۱٪ وزنی	فعالیت ضدمیکروبی نانوامولسیون اسانس روغنی آویشن	150 MPa، ۳ سیکل، T<15 °C	تشکیل فیلم

متداول‌ترین روش برای تولید فیلم‌های حاوی نانوامولسیون شامل (الف) انتشار مواد اولیه فعال درون فاز پیوسته که حاوی ماتریکس تشکیل فیلم است، (ب) افزودن یک امولسیفایر، (ج) استفاده از انرژی از طریق هموژنیزاسیون[1] یا یک فرایند مناسب دیگر و (د) قراردادن فیلم با یک ضخامت کنترل‌شده می‌باشد [۱۰].

۳- مشخصات مواد بسته‌بندی غذایی حاوی نانوامولسیون

علاوه بر خصوصیات ریزساختاری مواد بسته‌بندی غذایی حاوی نانوامولسیون، برخی از ویژگی‌های خاص باید مشخص شوند تا امکان درک خوبی از عملکرد کلی ماده بسته‌بندی در کاربردهای مختلف را حاصل نماید.

۳-۱- صفات ساختاری و ریخت‌شناسی

تحقیقات درباره خصوصیات ساختاری و مورفولوژیکی فیلم‌های حاوی نانوامولسیون اطّلاعات ارزشمندی را درباره تناسب آن‌ها برای کاربردهای بسته‌بندی را تعیین می‌کند. تصویربرداری از سطح فیلم ابزاری برای مطالعه ویژگی‌های مواد بسته‌بندی بوده است.

از این نظر، میکروسکوپ الکترونی به عنوان یک روش نوآورانه ظهور یافته است که امکان مشاهده جزئیات روی سطح، یا سطح مقطع مواد بسته‌بندی را فراهم می‌آورد، به ویژه در زمانی که این‌ها با ذرّاتی در مقیاس نانو ترکیب می‌شوند و مشاهده آن‌ها در غیر این‌صورت می‌توانست ناممکن باشد. پرکاربردترین روش‌های میکروسکوپی برای فیلم‌های بسته‌بندی حاوی نانوامولسیون، میکروسکوپ الکترونی روبشی[2] و میکروسکوپ نیروی اتمی[3] بوده که در(جدول ۲) نشان داده شده است[۱۱].

1- Homogenization

2- Scanning Electron Microscope(SEM)

3- Atomic Force Microscopy (AFM)

جدول ۲- رایج‌ترین روش‌های تحلیلی استفاده شده برای سنجش خصوصیات فیلم‌های بسته‌بندی با نانوامولسیون[۱۱]

روش	دستگاه/ ابزار	بیشتر شاخص‌ها و ویژگی‌ها
خصوصیات مکانیکی	بافت سنج	آزمون‌های کششی و سوراخ‌شدگی پرکاربردترین‌ها هستند. از این آزمون‌ها، شاخص‌هایی همچون استقامت کششی یا سوراخ‌شدگی، نیروی شکست کششی یا سوراخ‌شدگی، تعیین می‌شوند.
نفوذپذیری بخار آب	سلول‌های نفوذپذیری و دسیکاتور یا کابینت رطوبت نسبی پایین با چرخش هوا	روش گرانشی با ASTME96-00 یا یک روش اصلاح شده بر مبنای این روش استاندارد
ویژگی‌های حرارتی	کالریمتری روبشی افتراقی	نرخ گرمایشی متغیر است. نیتروژن کاربرد رایجی به عنوان یک اتمسفر خنثی دارد. این آزمون برای پایش رویدادهای حرارتی در نمونه‌ها استفاده می‌شود، از جمله دمای انتقال شیشه‌ای و دمای ذوب
رنگ سنجی	رنگ سنج	این آزمون رنگ فیلم تغییرات احتمالی پس از تلفیق نانوامولسیون را تعیین می‌کند.

جدول ۳- شاخص‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی برای آنالیز فیلم‌های حاوی نانوامولسیون[۱۲]

نمونه	پیش عمل‌آوری	لایه فلزی‌سازی	ولتاژ تسریع	فاصله کاری
آلژینات (ماتریکس) و نانوامولسیون‌های اسانس روغنی آویشن و لیمو	خشک‌کردن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس برای ۴۸ ساعت	طلا	10 kV	10 mm
کیتوزان (ماتریکس) و نانوامولسیون با سینامالدهید	ND	ND	30 kV	ND
ژلاتین (ماتریکس) و نانوامولسیون	پیش‌آماده‌سازی (در ۲۵ درجه سلسیوس برای ۱۵ روز)	ND	5–15 kV	ND

تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی، فیلم‌های بسته‌بندی حاوی نانوامولسیون فرایندی است که می‌تواند دربرگیرنده این موارد باشد: (الف) یک روش آماده‌سازی ساده به منظور مشاهده سطح مقطع، پوشش‌دهی با یک لایه نازک از فلز (پلاتین یا طلا) به‌منظور غلبه بر ماهیت عایقی بیشتر فیلم‌های مبتنی بر پلیمر، و رنگ‌آمیزی (برای متمایزسازی میان اجزاء فیلم)، که به ماهیت فیلم بستگی دارد؛ (ب) یک مرحله پیش‌آماده‌سازی؛ و (ج) خود پروتکل تصویربرداری که شاخص‌ها همیشه به صورت آنچه در (جدول ۳) آورده شده است، گزارش‌دهی نمی‌شوند [۱۱]. میکروسکوپ الکترونی روبشی استنباط می‌کند که فیلم‌های با نانوامولسیون اضافه شده عمدتاً از فیلم‌های عاری از نانوامولسیون سخت‌تر هستند، همان‌گونه که در مورد فیلم‌های خوراکی ساخته شده از آلژینات مطرح است و در اسانس روغنی آویشن و مریم گلی گنجانده شده است که ضخامت سطحی نشأت گرفته از تلفیق نانوامولسیون ناشی از مهاجرت اسانس‌های روغنی بر روی سطح فیلم و ناشی از فرایند تبخیر در زمانی است که فاز پیوسته برای آماده‌سازی فیلم دربرگیرنده آب یا یک سیّال فرّار دیگر باشد. از این‌رو، یک ساختار دولایه فیلم پلیمری حاوی نانوامولسیون شکل می‌گیرد[۱۲].

فیلم‌های هیدروکسی پروپیل متیل سلولز [1] تلفیق شده با نانوامولسیون بارگیری‌شده با نیاسین یک سطح ناهموارتر از فیلم‌های بدون نانوامولسیون ارائه کردند. اجزاء نانوامولسیون از یک فرایند مهاجرتی ناشی از تبخیر آب و همچنین فاز لیپیدی ناشی از چگالی پایین‌تر آن، نشأت گرفته است[۱۳]. فرایند خشک‌کردن نقشی مخرب در

1- Hydroxy Propyl Methyl Cellulose (HPMC)

ریزساختار نهایی فیلم‌های گنجانده شده در نانوامولسیون دارند، زیرا ممکن است منجر به پدیده ناپایداری شده که ناشی از لخته شدن، انسداد، و یا خامه‌ای شدن نانوامولسیون است[۱۴].

میکروسکوپ نیروی اتمی یک روش میکروسکوپی دیگری است که به شکلی رایج برای بررسی فیلم‌های حاوی نانوامولسیون، به ویژه برای بررسی ناهمواری سطحی آن‌ها، استفاده شده است. این روش بر یک پروب حسگری متکی است که از روی سطح فیلم عبور می‌کند، با آن فعل و انفعال نموده و یک سیگنال رویشی را تولید می‌کند، که در نهایت به تصاویر سه‌بعدی تبدیل می‌شود و امکان متمایزسازی ویژگی‌های توپوگرافی[1] نمونه مورد مطالعه را فراهم می‌آورد[۱۵]. طیف‌سنجی تبدیل فوریه[2] یک روش دیگر است که به شکلی رایج برای خصوصیات ساختاری فیلم‌های گنجانده شده در یک نانوامولسیون، به ویژه در رابطه با شناسایی گروه‌های شیمیایی اصلی و ساختار مولکولی آن‌ها گزارش می‌شود. آماده‌سازی نمونه ساده است، در حالت انتقال، فیلم‌های خشک‌شده در پودر قرار داده شده، با برمیدپتاسیم مخلوط شده بعد پرس می‌شوند تا قرص‌ها شکل بگیرند، و سپس آنالیز می‌شوند[۱۶]. یک بازتاب کلی تضعیف شده[3] برای آنالیز طیف‌سنجی تبدیل فوریه فیلم‌ها استفاده شده است، زیرا با حذف نیاز به قرص‌های فیلم/ برمیدپتاسیم، دستیابی به طیف را ساده‌تر می‌کند. از سوی دیگر، از آنجایی که تابش مادون قرمز از نمونه عبور نمی‌کند، قرائت‌هایATR-FTIR بر روی نمونه قابل اجرا هستند، چرا که سطوح تماس با محور در طی فرایند خشک کردن، ممکن است جنبه‌های ساختاری متفاوتی را ارائه دهند[۱۷].

۳-۲- ویژگی‌های مکانیکی

در میان ویژگی‌های اصلی فیلم‌های مورد نظر برای کاربردهای بسته‌بندی، از ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها، استقامت کششی و مدول یانگ را می‌توان درنظر گرفت. این شاخص‌ها با ترکیب فیلم، ساختار شیمیایی و مشخصه‌های ریزساختاری، از جمله وجود منافذ و نقاط متمرکز بر کشش که می‌توانند بر روی نیروی مکانیکی اثر بگذارند، مرتبط هستند. در این زمینه، استقامت کششی نشانگر مقاومت فیلم در برابر نیروهای مکانیکی خارجی است، در حالی که مدول یانگ به سختی فیلم مرتبط است، و افزایش طول در نقطه شکست و ظرفیت کششی ماده بسته‌بندی را بیان می‌کند. این جنبه‌ها در زمان پیش‌بینی عملکرد مواد بسته‌بندی در طی عملیات پرکردن، حمل‌ونقل و انبارش مهم هستند. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که تلفیق ترکیبات لیپیدی، همانند آنچه در مورد نانوامولسیون وجود دارد، می‌تواند بر ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های پلیمری تأثیر بگذارند. ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های امولسیونی را می‌توان براساس نوع لیپید و میزان غلظت آن اصلاح نمود. هم‌چنین، تلفیق لیپیدها در فرمولاسیون‌های تشکیل فیلم پلیمری باعث القای یک ساختار فیلمی ناهمگن می‌شود، که به صورت بی‌نظمی‌هایی بر روی سطح فیلم و سطح مقطع‌ها قابل مشاهده است[۱۸].

افزودن ترکیبات لیپیدی، مانند اسانس‌های روغنی، می‌تواند موجب ایجاد یک ساختار فیلمی ضعیف و دوفازی شود، که در طول فرایند خشک شدن فیلم حاصل می‌گردد[۱۹]. فیلم‌های حاوی نانوامولسیون آلژینات، مقاومت مکانیکی و مشابه فیلم‌های بدون نانوامولسیون را دارند. این فیلم‌های آلژیناتی، وقتی با اسانس روغنی مریم گلی تلفیق شدند، گسترش‌پذیری بیشتری را نسبت به آن‌هایی نشان دادند که نانوامولسیون اسانس روغنی آویشن به آن افزوده شده بود. در واقع، نانوامولسیون‌های اسانس روغنی گیاهی قادر به جداسازی زنجیره‌های پلیمری، تضعیف فعل و انفعال بین‌مولکولی هستند، و در نتیجه منجر به کاهش سفتی و مقاومت فیلم می‌شوند[۱۰و۱۲و۲۰]. اثر پلاستیک‌کننده نانوامولسیون‌ها در برخی موارد مشاهده شده است. نانوامولسیون‌ها دارای

1- Topography
2- Fourier Transform Infrared (FTIR)
3- Attenuated Total reflectance (ATR)

اسانس‌های روغنی گیاهی و ترکیبات روغنی نشان دادند که فازهای انتشار یافته نقشی ضدپلاستیک‌کنندگی در فیلم‌های بیوپلیمری دارند. از این‌رو مهم است که به صورت تجربی اثر واقعی ترکیب یک نانوامولسیون خاص و یک سیستم فیلم‌ساز خاص مورد بررسی قرار بگیرد تا از استهلاک مکانیکی که کاربردپذیری عملی آن را غیرعملی می‌کند، جلوگیری گردد[۲۱، ۲۲ و ۲۳].

۳-۳- ویژگی‌های سدکنندگی

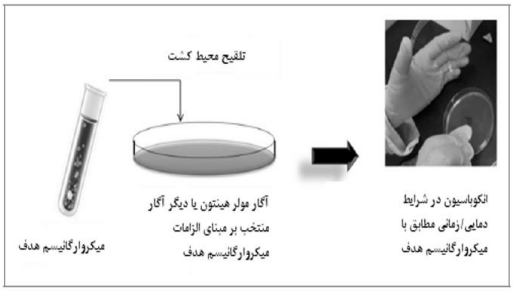
ویژگی سدکنندگی در زمینه بسته‌بندی به طور خاص به سنجش نفوذپذیری در برابر بخار آب و اکسیژن بستگی دارد. نفوذپذیری یک فیلم به بخار آب، نرخ امکان نفوذ آب از ضخامت کامل نمونه آنالیزشده را بیان می‌کند. این شاخص از این جهت مهم است که بیشتر محصولات غذایی در طی ذخیره‌سازی فعالیت آبی کم یا متوسطی دارند، در حالی که محصولات غذایی با فعالیت آبی کم به دریافت رطوبت از محیط گرایش دارند. در هر دو حالت، چنین عدم توازن رطوبتی مطلوب نیست و باید با مواد بسته‌بندی از آن پیش‌گیری شود، که در تطابق با الزامات ویژه هر محصول غذایی باشد[۲۴]. در رابطه با ارتباط‌دهی نانوامولسیون‌ها و پلیمرها، گنجاندن لیپیدها در ماتریکس‌های پلیمری می‌تواند منجر به کاهش قابلیت نفوذپذیری به رطوبت شود، زیرا انتشار مولکول‌های آب به طرز قابل توجّهی به خاطر فاز آبگریز کاهش می‌یابد. از این نظر، انتظار می‌رود فیلم‌های نانوامولسیون‌شده مانعی بالاتر برای بخار آب ارائه کنند[۲۵]. گنجاندن نانوامولسیون‌های اسانس روغنی میخک در فیلم‌های پکتین منجر به کاهش نفوذپذیری بخار آب گردید، که این امر به کاهش نسبت آبدوست/آبگریز فیلم‌های امولسیونی‌شده بر مبنای هیدروکلوئیدها ارتباط داده شده است[۲۶]. در مقابل، مشخص شده است که گنجاندن اسانس‌های روغنی در شکل نانوامولسیون‌ها در ماتریکس‌های پلیمری منتج به مقادیر بالاتر نفوذپذیری بخار آب می‌گردد. این یافته متناقض وقتی معقولانه است که اثر پلاستیک‌کننده، نانوامولسیون‌های اسانس روغنی و هم‌چنین افزایش تعداد و اندازه منافذ در ساختار فیلم لحاظ شود. در اینجا نیز اثر واقعی نانوامولسیون‌ها بر ویژگی‌های مانع فیلمی به چندین عامل بستگی دارد(از جمله ترکیب شیمیایی، غلظت و اندازه ذرّات) و باید به صورت تجربی برای هر سیستم اعتبارسنجی شود[۲۷].

٤- فعالیت ضدمیکروبی مواد بسته‌بندی غذایی حاوی نانوامولسیون

۴-۱- مطالعات آزمایشگاهی

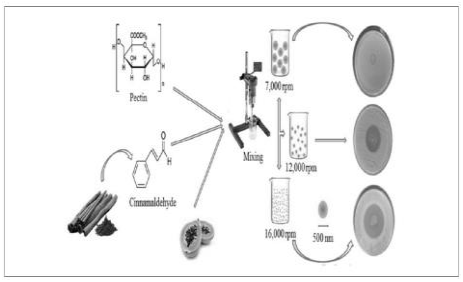
مواد بسته‌بندی گنجانده شده در نانوامولسیون‌ها می‌توانند فعالیت ضدمیکروبی از خود نشان دهند در صورتی‌که یکی از فازهایی که نانوامولسیون را تشکیل می‌دهند، یک ترکیب فعال بیولوژیکی باشد. در بیشتر موارد، فعالیت بیولوژیکی توسط فاز آب‌دوست فراهم می‌شود، که نوعاً شامل اسانس‌های روغنی گیاهی و یا ترکیبات روغنی می‌شود. فعالیت ضدمیکروبی چنین ترکیباتی با استفاده از روش‌های میکروبیولوژیکی مختلفی هم‌چون انتشار دیسک، شبیه‌سازی، شمارش کلونی و غلظت بازدارنده حداقلی آزمون شده است. این روش‌ها در (جدول ۴) مورد اشاره قرار گرفته‌اند. روش انتشار دیسک از دیسک‌هایی با قطر ۱ میلی‌متری از نمونه‌های فیلم و قرار دادن هر یک از آن‌ها در تماس مستقیم با یک واسطه کشت تشکیل یافته است که از قبل با میکروارگانیسم‌های هدف تلقیح شده است. شکل (۱) روش انتشار دیسک را نشان می‌دهد. متعاقباً، ظرف تلقیح شده که در بالای آن دیسک فیلم قرار دارد، در شرایط خاص بسته به میکروارگانیسم انکوباته می‌شود. پس از دوره انکوباسیون[1]، ظرف باید براساس مناطق بازدارندگی بر روی سطحش مورد بررسی قرار گیرد، که معمولاً با یک ظرفی که بدون هرگونه نمونه فیلم، انکوباته شده است، مقایسه می‌گردد. از این‌رو، منطقه بازدارندگی با سنجش این ناحیه بدون رشد میکروبی تعیین می‌شود و معمولاً دربرگیرنده ناحیه تماس دیسک فیلم می‌شود[۲۸].

1- Incubation



شکل۱- نمایش شماتیک روش انتشار دیسک (که با عنوان روش انتشار آگار نیز شناخته)[۲۸].

از این نظر، از روش انتشار دیسک، به همراه روش غلظت بازدارنده حداقلی با نانوامولسیون حاوی رزین برای مطالعه فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های متیل‌سلولز هیدروکسی پروپیل در محیط آزمایشگاه استفاده نموده است. میکروارگانیسم هدف مورد استفاده قرار گرفته *لیستریا مونوسیتوژنز*[1] بود و نتایج حاصله نشانگر آن بود که وقتی رزین توسط نانوامولسیون انتقال داده شد و در مواد پلیمری گنجانده شد در مقایسه با همتای آزادش یک کارآمدی ضدمیکروبی بهبود یافته داشت. این احتمالاً به خاطر انتشار کندتر رزین در زمانی است که در قطرات نانوامولسیون قرار داده شود، که از ترکیبات فعال در برابر نابودی نیز حفاظت می‌کند[۲۹]. از روش انتشار دیسک برای تعیین فعالیت ضدمیکروبی درون آزمایشگاهی[2] فیلم‌های خوراکی بر پایه پکتین در سینامالدهید به عنوان ترکیب فعال استفاده شد. چنین فیلم‌هایی در قبال *اشرشیاکلی*[3]، *سالمونلا*[4] و *استافیلوکوکوس اورئوس*[5] آزمون شدند. این فیلم‌های حاوی سینامالدهید در مقابله با میکروارگانیسم‌های آزمون شده موثر هستند، که این‌ها باکتری‌های گرم مثبت (*لیستریا مونوسیتوژنز* و *استافیلوکوکوس اورئوس*) هستند که حساس‌تر از مشابه باکتری‌های گرم منفی (*اینتریاسه*) می‌باشند. شکل (۲) نشان می‌دهد که نانوامولسیون‌ها با ذرّات کوچک‌تر فعالیت ضدمیکروبی تقویت‌شده‌ای را از خود بروز دادند[۲۹].



شکل ۲- نمایش گرافیکی رابطه اندازه ریزقطره و فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های خوراکی محدودکننده نانوامولسیون[۱۰]

روش انتشار دیسک را برای مطالعه فعالیت ضدمیکروبی در شرایط درون آزمایشگاهی از نانوامولسیون اسانس روغنی زنجبیل در فیلم‌های ژلاتینی حاوی مونت موریلونیت اعمال نمودند. اگرچه نتایج آن‌ها به فعالیت ضدمیکروبی آسانی روغنی زنجبیل خالص در برابر *سودوموناس آئروژینوزا*[6] و *استافیلوکوکوس اورئوس* اشاره داشت، فیلم‌های ژلاتینی حاوی نانوامولسیون اسانس زنجبیل و مونت موریلونیت[7] فعالیت ضدمیکروبی علیه میکروارگانیسم‌های هدف را نشان ندادند، که احتمالاً به علت محدودیت غلظت ترکیبات زیست‌فعال موجود در فیلم بود، که ممکن است برای جلوگیری از رشد میکروبی کافی نباشد[۲۹]. از سوی دیگر، یک روش شبیه‌سازی با استفاده از فیلم‌های آلژینات در اسانس‌های روغنی آویشن و مریم گلی بررسی شدند. آگار سویاتریپتون- کلرید سدیم[8] در ظرف آماده‌سازی شده، قرار داده شد. محیط کشت TSA-NaCl با *ایکولی* تلقیح شده و به عنوان یک سیستم غذایی شبیه‌سازی‌شده استفاده شد. محیط کشتی که قبلاً تلقیح شده، کاملاً با نمونه‌های فیلم پوشانده شده و در دمای اتاق به مدّت ۱۲ ساعت انکوباته شدند. فعالیت ضدمیکروبی نمونه‌های شبیه‌ساز، در طی ۴ ساعت انکوباسیون، شناسایی شدند. سپس، ارزیابی ضدمیکروبی

1- Listeria Monocytogenesis
2- In Vitro
3- Escherichia Coli
4- Salmonella
5- Staphylococcus Aureus

6- Pseudomonas Aeruginosa
7- Mount Morillonite
8- Tryptic Soy Agar(TSA-NaCl)

در هر ۲ ساعت انجام شد. فعالیت ضدمیکروبی از طریق شمارش کلونی تعیین گردید. در نتیجه، فیلم‌های حاوی نانوامولسیون اسانس آویشن فعالیت ضدمیکروبی در قبال میکروارگانیسم آزمون شده نشان دادند[۷].

۴-۲- مطالعات در زمینه مواد غذایی

ارزیابی‌های ضدمیکروبی با استفاده از ترکیبات مواد غذایی اهمیت بالایی برای اعتبارسنجی کارآمدی ضدمیکروبی سیستم‌های نانوامولسیون شده در برابر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و مضر ناشی از غذا هستند. با این حال، این ارزیابی همیشه انجام نمی‌شود و مثال‌های گزارش شده در مقالات تحقیقاتی در(جدول ۴) تجمیع شده‌اند. در مطالعه‌ای که توسط شادمان[1] و همکاران (۲۰۱۷) انجام شده است، آزمون فعالیت و اثر غوطه‌وری غذا در نانوامولسیون‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. اسانس آویشن شیرازی، برای تهیه نانوامولسیونی مورد استفاده قرار گرفت که حاوی روغن آفتابگردان، آب مقطر یون‌زدایی شده به عنوان فاز پیوسته، و توین ۸۰ به‌عنوان امولسیون‌کننده بودند. ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در نانوامولسیون تهیه شده به مدّت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور شدند. سپس، ماهی عمل‌آوری شده درون بسته‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی شده و در ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. آزمون‌ها در روزهای ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ انجام شده و نتایج نشان دادند که دوره ماندگاری قزل‌آلای رنگین‌کمان عمل‌آوری شده افزایش یافته بود. علاوه بر این، ویژگی‌هایی همچون بافت، بو و طعم در طی زمان نگهداری حفظ شدند[۳۰].

در مطالعه‌ای که توسط ازگل[2] و همکاران (۲۰۱۷) انجام شده است نانوامولسیون‌های اسانس رزماری، آویشن و مریم گلی را آماده کرده و پتانسیل‌های آن‌ها در حفاظت از فیله‌های قزل‌آلای رنگین کمان را مورد آزمون قرار دادند. این فیله‌ها به صورت جداگانه در هر نانوامولسیون در طی ۳ دقیقه غوطه‌ور شدند. سپس، آن‌ها را در ظروفی قرار داده و با فیلم پوشانیده شدند. نمونه‌های فیله عمل‌آوری شده در یک جعبه در یخ در ۲ درجه سلسیوس به مدّت حداکثر ۲۴ روز نگهداری شدند. نتایج نشانگر توانایی نانوامولسیون‌های توسعه داده شده در تأخیر رشد باکتری‌ها بودند. هم‌چنین، آن‌ها در محدودسازی رشد انتروباکتریاسیا مؤثر بودند، و نانوامولسیون‌های اسانس رزماری و آویشن مؤثرترین عمل‌آوری‌ها را علیه این میکروارگانیسم داشتند[۳۱].

در مطالعه‌ای که توسط اسورنو[3] و همکاران (۲۰۱۴) انجام شده است، اثرات ضدمیکروبی محلول کیتوزان گنجانده شده در اسانس روغنی نارنگی و روغن آفتابگردان در ترکیب با تابش نانوامولسیون‌ها را وقتی در ماتریکس‌های پلیمری گنجانده شدند، مورد بررسی قرار دادند. در پوشش لوبیاسبزها با محلول کیتوزان گنجانده شده در اسانس روغنی نارنگی و روغن آفتابگردان در ترکیب با تابش گاما، یک اثر افزایش ناشی از استفاده ترکیبی از تابش و پوشش نانوامولسیون را مشاهده کردند،

جدول ۴- روش‌های میکروبیولوژیکی استفاده شده برای تعیین فعالیت ضدمیکروبی مواد بسته‌بندی غذایی حاوی نانوامولسیون[۳۴، ۳۵ و ۳۶].

آزمون ضدمیکروبی	میکروارگانیسم آزمون شده	مواد بسته‌بندی
روش انتشار دیسک	*لیستریا*	فیلم متیل سلولز هیدروکسی پروپیل همراه با نانوامولسیون حاوی نیاسین
روش انتشار دیسک	*ایکولی*	فیلم‌های خوراکی پاپایا همراه با نانوامولسیون اسانس روغنی دارچین
شبیه‌سازی با استفاده از یک سیستم غذایی جامد	*ایکولی*	فیلم‌های آلژینات همراه با اسانس روغنی آویشن و مریم گلی

1- Shadman

2- Ozogul

3- Severino

و اجازه کنترل جمعیت *لیستریا اینوکوا* در لوبیا سبز را دادند. با این حال، پوشش نانوامولسیون هیچ اثر بیولوژیکی در قبال میکروارگانیسم هدف نداشت(جدول ۵)[۲۹].

پلی‌پروپیلن قرار داده شده و با فیلم پلی‌پروپیلن برای نگهداری در ۴ درجه سلسیوس به مدّت ۱۴ روز پوشانده شدند. این نتایج نشانگر یک اثر ضدمیکروبی قابل توجّه

جدول ۵- اعمال نانوامولسیون‌های گنجانده شده درون ماتریکس‌های پلیمری برای حفاظت از مواد غذایی[۳۴]

مواد بسته‌بندی	فاز توزیع‌شده نانوامولسیون	مواد غذایی
پوشش کیتوزان	اسانس روغنی نارنگی و روغن آفتابگردان	لوبیا سبز
فیلم متیل سلولز	اسانس روغنی میخک و آویشن	نان برش‌خورده
پوشش آلژینات سدیم	اسانس روغنی لیمو	سیب برش‌خورده
پوشش کیتوزان	اسانس روغنی نارنگی و لیمو مخلوط شده با روغن آفتابگردان	لوبیا سبز
فیلم خوراکی کیتوزان	تیمول	گوجه‌های گیلاسی
پوشش خوراکی کیتوزان	تیمول	توت فرنگی
پوشش کیتوزان	اسانس روغنی لیمو	توت فرنگی

در مطالعه‌ای که توسط اُتون[1] و همکاران(۲۰۱۴) انجام شده است یک ماتریکس غذایی دیگر که برای ارزیابی فعالیت ضدمیکروبی مواد بسته‌بندی حاوی نانوامولسیون برای نان برش خورده، استفاده شده است. از این نظر، فیلم‌های متیل‌سلولزی گنجانده شده در اسانس روغنی میخک یا آویشن را تلفیق کرد و فعالیت بیولوژیکی آن‌ها را در قبال قارچ‌های فاسدکننده‌ای که ممکن است بر روی محصولات نانوایی رشد کنند، آزمون نمودند. این فیلم‌ها دوره ماندگاری نان برش خورده را طولانی کردند، اثری که وقتی قطرات نانوامولسیون کوچک‌تر آزمون شدند، مشخص شد که قوی‌تر است[۳۵].

در مطالعه‌ای که توسط سالوا[2] و همکاران(۲۰۱۵) انجام شده است سبزیجات مختلف، از جمله سیب و گوجه‌فرنگی گیلاسی، به عنوان ماتریکس‌های غذایی برای ارزیابی‌های مواد غذایی مورد استفاده قرار دادند. پوشش‌های خوراکی آلژینات را با نانوامولسیون‌های اسانس روغنی لیمو برای حفاظت از سیب‌های تازه برش‌خورده واریته[3] فوجی تهیه کردند. تکّه‌های سیب به مدّت ۲ دقیقه در محلول پوشش‌دهی غوطه‌ور شدند؛ سپس، بر روی سینی‌های پوشش حاوی نانوامولسیون در برابر *ایکولی*، در زمان مقایسه شدن با سیب‌های کنترل (یعنی بدون پوشش)، بودند[۳۶].

در مطالعه‌ای که توسط روبلدو[4] و همکاران (۲۰۱۸) انجام شده است، فعالیت بیولوژیکی پوشش خوراکی پروتئین-کیتوزان تلفیق شده با نانوامولسیون تیمول را در برابر رشد قارچ‌ها بر روی گوجه‌های گیلاسی بررسی کردند. برای این کار، تیمول به وسیله خیساندن در یک سوسپانسیون هاگ، با کپک خاکستری تلقیح شده بود. اعمال پوشش نانوامولسیون (مطابق با جدول ۵) منجر به کاهش قابل توجّهی در رشد قارچی بر روی گوجه‌های گیلاسی پس از ۷ روز در ۵ درجه سلسیوس شد. از سوی دیگر، گوجه‌های گیلاسی بدون هیچ نوع پوشش یا به عنوان کنترل (پوشش بدون نانوامولسیون) رشد قارچی بیشتری را پس از ۷ روز نشان داد. رشد قارچی محدود در گوجه‌های گیلاسی با پوشش نانوامولسیون به انتشار کنترل تیمول از ماتریکس پلیمری به سطح غذا نسبت داده شد[۳۲].

1- Otoni
2- Salvia
3- Variety
4- Robledo

۵- نتیجه گیری

مطالعات متعدّدی در زمینه کاربردهای بسته‌بندی به تنهایی یا گنجانده شده در ماتریکس‌های پلیمری انجام شده است، که نقش ضدمیکروبی و طولانی‌کردن ماندگاری مواد غذایی را به خوبی نشان دادند و از طرفی دیگر، نانوامولسیون‌ها پتانسیل قابل توجّهی برای اهداف حفاظت غذایی نشان داده‌اند. نانوامولسیون‌ها، وقتی با پلیمرهای تشکیل فیلم ترکیب شوند، می‌توانند نقش فعال خود را در مواد غذایی به صورت پوشش‌ها یا فیلم‌های خوراکی ایفا کنند، اما از میان کاربردهای مختلف فنّاوری نانو در صنعت غذا، بیش‌ترین کاربرد آن در بخش بسته‌بندی بوده و از نانو فنّاوری به عنوان پتانسیلی برای ایجاد انقلابی بزرگ در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی نام برده می‌شود. استفاده از این فنّاوری در بسنه‌بندی مواد غذایی واقعیتی است که به مرحلهٔ تجاری رسیده است. ترکیب کردن نانو مواد در پلیمرهای پلاستیکی منجر به توسعه و ایجاد بسته‌بندی جدیدی شده است، که بسته‌بندی ضدمیکروبی یکی از انواع فعال آن محسوب می‌شود. به کارگیری نانوامولسیون‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی علاوه بر کاهش بار میکروبی، می‌تواند باعث افزایش زمان ماندگاری و حفظ شاخص‌های کیفی در طول زمان نگهداری مواد غذایی شود. در رابطه با فعالیت ضدمیکروبی مواد بسته‌بندی غذایی حاوی نانوامولسیون، محققان با فوریت به دنبال یک پروتکل استانداردسازی می‌گردند زیرا داده‌هایی که در حال حاضر در مقالات تحقیقاتی در دسترس هستند، از طریق روش‌های مختلفی به‌دست آمده‌اند که باعث می‌شود مقایسه آن‌ها ممکن نباشد.

۶- منابع

1. Dobrucka, R & Cierpiszewski, R. **"Active and Intelligent Packaging Food – Research and Development."** Food Technol. 61 (2014) 875.
2. Prasad,P & Kochhar,A. **"Active Packaging in Food Industry."** IOSR-JESTFT. 08 (1997) 01-07.
3. Artiga-Artigas, M., Acevedo-Fani, A., & Mart´ın-Belloso, O. (2017). **"Effect ofsodium alginate incorporation procedure on the physicochemical propertiesof nanoemulsions."** Food Hydrocolloids, 70, 191–200.
4. Sugumar, S., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2015). **"Eucalyptus oilnanoemulsion-impregnated chitosan film: Antibacterial effects against aclinical pathogen, Staphylococcus aureus, in vitro."** International Journal ofNanomedicine, 10(1), 67–75.
5. Gahruie, H., Ziaee, E., Eskandari, M. H., & Hosseini, S. M. H. (2017). **"Characterization of basil seed gum-based edible films incorporated withZataria multiflora essential oil nanoemulsion."** Carbohydrate Polymers, 166, 93–103.
6. Kowalczyk, D., & Baraniak, B. (2014). **"Effect of candelilla wax on functionalproperties of biopolymer emulsion films – a comparative study."** FoodHydrocolloids, 41, 195–209.
7. Acevedo-Fani, A., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Gra¨u, M. A., & Mart´ın-Belloso, O. (2015). **"Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties."** Food Hydrocolloids, 47, 168–177.
8. Alexandre, E. M. C., Lourenc¸o, R. V., Bittante, A. M. Q. B., Moraes, I. C.F., & Sobral, P. J. A. (2016). **"Gelatin-based films reinforced withmontmorillonite and activated with nanoemulsion of ginger essential oil forfood packaging applications."** Food Packaging and Shelf Life, 10, 87–96.
9. Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Olsen, C. W., Bilbao-S´ainz, C., & McHugh, T. H. (2016). **"Mechanical and water barrier properties of isolated soy protein composite edible films as affected by carvacrol and cinnamaldehyde micro and nanoemulsions."** Food Hydrocolloids, 57, 72–79
10. Otoni, C. G., Moura, M. R., Aouada, F. A., Camilloto, G. P., Cruz, R. S.,Lorevice, M. V., Mattoso, L. H. C. (2014). **"Antimicrobial andphysical-mechanical properties of**

pectin/papaya puree /cinnamaldehyde nanoemulsion edible composite films." Food Hydrocolloids, 41, 188–194.

11. Pereira-da-Silva, M. A., & Ferri, F. A. (2017). **"Scanning electron microscopy."** In A. L. Da R´oz, M. Ferreira, F. L. Leite, & O. N. Oliveira Jr. (Eds.), Nanocharacterization techniques (pp. pp. 1–35). Norwich, CT: WilliamAndrew Publishing.
12. Bilbao-S´ainz, C., Avena-Bustillos, R. J., Wood, D. F., Williams, T. G., & McHugh, T. H. (2010). **"Nanoemulsions prepared by a low-energyemulsification method applied to edible films."** Journal of Agricultural and FoodChemistry, 58(22), 11932–11938.
13. Imran, M., Revol-Junelles, A.-M., Ren´e, N., Jamshidian, M., Akhtar, M. J., Arab-Tehrany, E. Desobry, S. (2012). **"Microstructure andphysico-chemical evaluation of nano-emulsion-based antimicrobial peptidesembedded in bioactive packaging films."** Food Hydrocolloids, 29(2), 407–419.
14. Atar´es, L., & Chiralt, A. (2016). **"Essential oils as additives in biodegradablefilms and coatings for active food packaging."** Trends in Food Science &Technology, 48, 51–62.
15. Tararam, R., Garcia, P. S., Deda, D. K., Varela, J. A., & de Lima Leite, F. (2017). **"Atomic force microscopy: A powerful tool for electricalcharacterization."** In A. L. Da R´oz, M. Ferreira, F. L. Leite, & O. N. OliveiraJr. (Eds.), Nanocharacterization techniques (pp. 37–64). Norwich, CT: WilliamAndrew Publishing.
16. Alessio, P., Aoki, P. H. B., Furini, L. N., Aliaga, A. E., & LeopoldoConstantino, C. J. (2017). **"Spectroscopic techniques for characterization ofnanomaterials."** In A. L. Da R´oz, M. Ferreira, F. L. Leite, & O. N. Oliveira Jr. (Eds.), Nanocharacterization techniques (pp. 65–98). Norwich, CT: WilliamAndrew Publishing.
17. Manrich, A., Moreira, F. K. V., Otoni, C. G., Lorevice, M. V., Martins, M.A., & Mattoso, L. H. C. (2017). **"Hydrophobic edible films made up oftomato cutin and pectin."** Carbohydrate Polymers, 164, 83–91.
18. Galus, S., & Kadzi´nska, J. (2015). **"Food applications of emulsion-based ediblefilms and coatings."** Trends in Food Science & Technology, 45(2), 273–283.
19. Quezada Gallo, J.-A., Debeaufort, F., Callegarin, F., & Voilley, A. (2000). **"Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based edible films."** Journal of Membrane Science, 180(1), 37–46.
20. P´erez-C´ordoba, L. J., Norton, I. T., Batchelor, H. K., Gkatzionis, K., Spyropoulos, F., & Sobral, P. J. A. (2017). **"Physico-chemical, antimicrobialand antioxidant properties of gelatin-chitosan based films loaded withnanoemulsions encapsulating active compounds."** Food Hydrocolloids, 79,554–559.
21. Du, W.-X., Olsen, C. W., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Levin, C.E., & Friedman, M. (2008). **"Storage stability and antibacterial activityagainst Escherichia coli O157:H7 of carvacrol in edible apple films made bytwo different casting methods."** Journal of Agricultural and Food Chemistry,56(9), 3082–3088.
22. Otoni, C. G., Pontes, S. F. O., Medeiros, E. A. A., & Soares, N. F. F. (2014). **"Edible films from methylcellulose and nanoemulsions of clove bud (Syzygium aromaticum) and oregano (Origanum vulgare) essential oils as shelflife extenders for sliced bread."** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62(22), 5214–5219.
23. Rojas-Gra¨u, M. A., Avena-Bustillos, R. J., Friedman, M., Henika, P. R., Mart´ın-Belloso, O., & McHugh, T. H. (2006). **"Mechanical, barrier,"** Vol.18, 2019.
24. Ma, X., Chang, P. R., & Yu, J. (2008). **"Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline**

cellulose composites." Carbohydrate Polymers, 72(3), 369–375.

25. Hernandez, R. J. (1994). **"Effect of water vapor on the transport properties of oxygen through polyamide packaging materials."** Journal of Food Engineering, 22(1), 495–507.
26. Perdones, A, Vargas, M., Atare´s, L., & Chiralt, A. (2014). **"Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan–cinnamon leaf oil filmsas affected by oleic acid."** Food Hydrocolloids, 36, 256–264.
27. Chen, H., Hu, X., Chen, E., Wu, S., McClements, D. J., Liu, S. Li, Y. (2016). **"Preparation, characterization, and properties of chitosan films withcinnamaldehyde nanoemulsions."** Food Hydrocolloids, 61, 662–671.
28. Espitia, P. J. P., & Batista, R. A. (2015). **"Non-thermal food preservation: Control of food-borne pathogens through active food packaging and nanotechnology."** In R. V. Ravishankar (Ed.), Advances in food biotechnology (pp. 499–510).
29. Severino, R., Vu, K. D., Dons`ı, F., Salmieri, S., Ferrari, G., & Lacroix, M. (2014). **"Antibacterial and physical effects of modified chitosan based-coatingcontaining nanoemulsion of mandarin essential oil and three non-thermaltreatments against Listeria innocua in green beans."** International Journal of FoodMicrobiology, 191, 82–88.
30. Shadman, S., Hosseini, S. E., Langroudi, H. E., & Shabani, S. (2017). **"Evaluation of the effect of a sunflower oil-based nanoemulsionwith Zataria multiflora Boiss. essential oil on the physicochemical propertiesof rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fillets during cold storage.**" LWT -Food Science and Technology, 79, 511–517.
31. Ozogul, Y., Yuvka, ˙I., Ucar, Y., Durmus, M., Ko¨ sker, A. R., O¨ z, M., &Ozogul, F. (2017). **"Evaluation of effects of nanoemulsion based on herbessential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical andmicrobiological quality of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fillets duringice storage."** LWT - Food Science and Technology, 75, 677–684.
32. Robledo, N., Vera, P., L´opez, L., Yazdani-Pedram, M., Tapia, C., & Abugoch, L. (2018). **"Thymol nanoemulsions incorporated in quinoa protein/chitosan edible films; antifungal effect in cherry tomatoes."** Food Chemistry, 246, 211–219.
33. Salvia-Trujillo, L., Rojas-Gra¨u, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Mart´ın-Belloso, O. (2014). **"Impact of microfluidization or ultrasound processing on the antimicrobial activity against Escherichia coli of lemongrass oil-loaded nanoemulsions."** Food Control, 37, 292–297.
34. Topuz, O. K., ¨Ozvural, E. B., Zhao, Q., Huang, Q., Chikindas, M., & G¨ ol¨ukc ¸¨ u, M. (2016). **"Physical and antimicrobial properties of anise oil oaded nanoemulsions on the survival of foodborne pathogens."** Food Chemistry, 203, 117–123.
35. Otoni, C. G., Pontes, S. F. O., Medeiros, E. A. A., & Soares, N. F. F. (2014). **"Edible films from methylcellulose and nanoemulsions of clove bud (Syzygium aromaticum) and oregano (Origanum vulgare) essential oils as shelflife extenders for sliced bread."** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62(22), 5214–5219.
36. Salvia-Trujillo, L., Rojas-Gra¨u, M. A., Soliva-Fortuny, R., &Mart´ın-Belloso, O. (2015). **"Use of antimicrobial nanoemulsions as ediblecoatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut fuji apples."** Postharvest Biology and Technology, 105, 8–16.

آدرس نویسنده

کرج- شـهر صـنعتی- سـازمان ملّـی اسـتاندارد ایـران- پژوهشگاه استاندارد- صندوق پستی ۱۳۹-۳۱۷٤٥