فیلم‌های خوراکی فعال در بسته‌بندی مواد غذایی

بابک قنبرزاده[1*]، اکرم پزشکی نجف آبادی[2] و هادی الماسی[2]

۱- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۲- دانشجویان دکتری گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۲۸)

چکیده

در طی سال‌های اخیر تمایل به استفاده از بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر در تولید مواد بسته بندی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از کاربردهای بالقوهٔ این بیوپلیمرها، تولید بسته‌بندی‌های فعال حاوی مواد ضدمیکروبی می‌باشد. در این مقالهٔ مروری، مثال‌هایی از کاربرد این نوع بسته بندی‌ها برای مواد غذایی مختلف، آورده شده و در ادامه به انواع مواد ضدمیکروبی که می‌توانند در تولید این فیلم‌ها مورد استفاده قرار گیرند اشاره گردیده است. در طراحی یک بسته بندی ضد میکروبی، فاکتورهای زیادی بایستی مورد توجه قرار گیرند. اغلب این فاکتورها به ماهیت شیمیایی مادهٔ ضدمیکروبی، نوع مادهٔ غذایی و میکروارگانیسم هدف بستگی دارند که در این مقاله، مورد بحث قرار گرفته‌اند.

کلید واژه‌گان: بسته بندی فعال، مواد ضد میکروبی، فیلم خوراکی، میکروارگانیسم.

۱- مقدمه

امروزه آلودگی‌های ناشی از پلیمرهای سنتزی، توجه همگان را به استفاده از مواد زیست تخریب پذیر معطوف کرده است و در طی دو دههٔ اخیر مطالعه بر روی مواد زیست تخریب پذیر حاصل از پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها گسترش وسیعی یافته است. این ماکرومولکول‌ها به‌طور بالقوه می‌توانند جایگزینی مناسب برای پلیمرهای سنتزی حاصل از مشتقات نفتی بشمار روند[۱]. بسته بندی‌های زیست تخریب پذیر که قابلیت خوراکی بودن و مصرف به همراه مادهٔ غذایی را دارند، به دو دستهٔ فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی تقسیم می‌شوند [۲]. فیلم‌های خوراکی قبل از کاربرد در بسته‌بندی ماده غذایی بصورت لایه‌ای نازک تولید می‌شوند و بعد همانند پلیمرهای سنتزی برای بسته‌بندی بکار می‌روند [۳]. فیلم‌ها می‌توانند به شکل لفاف، کپسول، پاچ و کیسه تولید شوند که این محصولات با ضخامت زیاد قالب گیری می‌شوند. پوشش‌های خوراکی برخلاف فیلم‌ها، بر روی ماده غذایی تشکیل می‌شوند. بنابراین پوشش بعنوان بخشی از محصول بوده و موقع استفاده روی محصول باقی می‌ماند. اینکار توسط روش‌هایی نظیر واکس زدن، اسپری کردن و غوطه ور کردن صورت می‌گیرد[٤]. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در مقایسه با پلیمرهای سنتزی دارای مزایای منحصر به فردی می‌باشند. زیست تخریب پذیری، بازدارندگی بسیار خوب از تبادل گازهای تنفسی (CO_2 و O_2) [۵] و در نتیجه کنترل تنفس میوه‌ها و سبزی‌ها، بازدارندگی از انتقال و تبادل ترکیبات بودار و طعم دار و همچنین حفاظت محصول در مقابل صدمات مکانیکی از جمله مهمترین مزایای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌باشند [٦].

علاوه بر موارد ذکر شده، یکی دیگر از مهمترین مزایای فیلمها و پوشش‌های خوراکی در مقایسه با پلیمرهای سنتزی اینست

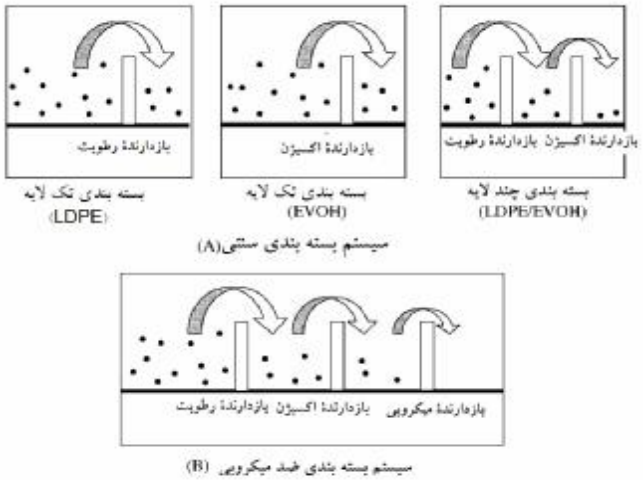
* مسئول مکاتبات: Babakg1359@yahoo.com

که این نوع پوشش‌ها می‌توانند به عنوان حامل برای افزودنی‌ها و ترکیبات مختلف مانند مواد ضد میکروبی، آنتی اکسیدان‌ها و غیره عمل کنند که در این حالت به آنها بسته بندی فعال[1] گفته می‌شود. بسته بندی فعال نوعی بسته بندی است که علاوه بر داشتن خواص بازدارندگی اصلی بسته بندی‌های معمول (مانند خواص بازدارندگی در برابر گازها و بخار آب و تنش‌های مکانیکی)، با تغییر شرایط بسته بندی، ایمنی، ماندگاری و یا ویژگی‌های حسی مادهٔ غذایی را بهبود می‌بخشد و در عین حال کیفیت ماده غذایی حفظ می‌گردد [۷].

در طی سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی و افزایش آگاهی مصرف کننده، تمایل به استفاده از موادغذایی تازه که متحمل کمترین فرایند شده باشند، گسترش زیادی یافته است. بسیاری از روش‌های رایج فرایند و نگهداری مواد غذایی، خصوصاً برای مواد غذایی تازه (مانند گوشت تازه) مناسب نبوده و علاوه بر کاهش ارزش غذایی محصول، اثرات نامطلوبی بر کیفیت نهایی آن دارند. استفاده از بسته بندی فعال، روش نوینی برای نگهداری این نوع مواد غذایی می‌باشد و در سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای برای تولید و اقتصادی کردن آن انجام گشته است. تکنولوژی بسته بندی فعال شامل برهم کنش‌هایی بین غذا، ماده بسته بندی (یا پوشش) و اتمسفر گازی داخل بسته می‌باشد که بایستی در عین حال که کیفیت و امنیت محصول را حفظ می‌کند، قادر به افزایش ماندگاری آن نیز باشد[۸]. بسته بندی فعّال می‌تواند نقش‌های متعددی را داشته باشد که در بسته بندی‌های رایج وجود ندارد. این نقش‌ها عبارتند از: - فعالیت ضد میکروبی (آنتی میکروبی)، - گرفتن اکسیژن، رطوبت یا اتیلن (ویژگی اسکاونجری[2]) - رها کردن مواد طعمی و یا اتانول

غوطه ور کردن فرآورده در محلول ضدمیکروبی و یا اسپری کردن محلول ضدمیکروبی بر روی فرآورده دارای معایب زیر است [۹]:

- مادهٔ ضدمیکروبی به سرعت از سطح ماده غذایی به داخل آن نفوذ می‌کند (منتشر می‌شود) و در نتیجه خاصیت ضدمیکروبی در سطح کاهش می‌یابد.
- مواد ضدمیکروبی باقی مانده، در تماس با مواد فعال موجود در سطح خنثی می‌شوند و میکروب‌های آسیب دیده ممکن است دوباره فعال گردند. برای مثال ثابت شده است که امولسیفایرها و اسیدهای چرب با نایسین واکنش داده و خواص آن‌را کاهش می‌دهند.



شکل ۱ مقایسه بسته بندی‌های سنتی و فعال (آنتی میکروبی) [۸]

در بسته بندی‌های فعال، انتشار مواد ضدمیکروبی از ماتریکس پلیمری به سطح مادهٔ غذایی بصورت آهسته و در زمان طولانی انجام می‌شود و در نتیجه برای مدت طولانی غلظت بالایی از مادهٔ ضدمیکروبی در سطح فرآورده وجود خواهد داشت. مواد ضدمیکروبی از طریق کاهش سرعت رشد و طولانی کردن فاز تأخیری میکروارگانیسم‌ها و یا غیرفعال کردن و نابودی میکروب‌ها باعث افزایش ماندگاری فرآورده‌های غذایی می‌شوند [۹].

۲- تاریخچهٔ استفاده و مروری بر کاربردهای فیلم‌های ضدمیکروبی

استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی ضدمیکروبی و فیلم‌های سنتزی حاوی ترکیبات ضد میکروبی به زمان‌های خیلی دور بر می‌گردد. زمانیکه از مواد حاوی نگهدارنده‌های شیمیایی و اسیدهای آلی به عنوان پوشش سوسیس استفاده می‌شد. این لفاف‌های طبیعی عمدتاً لوله‌هایی از جنس پروتئین خوراکی بودند که خمیر سوسیس در داخل آنها پر می‌شد. از روش‌های مختلفی همچون نمک زنی، دود دادن و تیمارهای اسیدی برای بهبود خاصیت نگهدارندگی این لفاف‌های طبیعی استفاده می‌شد. علاوه بر پوشش دادن سوسیس‌ها، قطعات و لاشه‌های گوشت نیز با ژل‌های حامل ترکیبات ضد میکروبی

1. Active Packaging
2. Scavenger

پوشش داده می‌شدند تا از رشد باکتری‌های فسادزا و پاتوژن در آنها جلوگیری شود. با این وجود، اغلب این پوشش‌ها از جنس صمغ‌های غیرپروتئینی نظیر کلسیم آلژینات بودند. ترکیبات ضدمیکروبی افزوده شده به پوشش‌های کلسیم آلژینات، نایسین [۱۰] و لاکتیک/ استیک اسید [۱۱] بودند. تحقیقات اندکی در رابطه با استفاده از پوشش‌های پروتئینی (از جمله ژلاتین) حامل ترکیبات ضدمیکروبی در مورد محصولات گوشتی گزارش شده است.

Gill [۱۲] جهت کنترل رشد پاتوژن‌ها در گوشت ران خوک پخته شده و سوسیس بولوگنا از پوشش‌های ژلاتینی حاوی لیزوزیم، نایسین و EDTA استفاده کرد. پوشش مورد استفاده وی دارای اثر ضدمیکروبی بر روی پاتوژن‌های گرم مثبت (از جمله بروکوتریکس ترموسفاکتا، لاکتو باسیلوس ساکئی، لوکونوستوک مزنتروئیدس و لیستریا مونوسیتوژنز) و باکتری گرم منفی سالمونلا تیفی موریوم بود.

بدون در نظر گرفتن لفاف سوسیس‌ها، تحقیقات بر روی فیلم‌ها و پوشش‌های حامل ترکیبات ضدمیکروبی از سال ۱۹۸۰ آغاز شد که آن هم بیشتر بر روی استفاده از اسید سوربیک و سوربات پتاسیم متمرکز بود و بیشتر، فیلم‌ها و پوشش‌هایی از جنس کربوهیدرات و چربی‌ها به عنوان فیلم‌های حامل سوربات مورد مطالعه قرار گرفتند. این نوع پوشش‌ها شامل متیل سلولز[۱۳]، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز[۱٤]، نشاسته[۱۵]، اسیدهای چرب[۱٤] و موم کارنوبا[۱٦] بودند. از سال ۱۹۹۰ فیلم‌های ضدمیکروبی مختلفی از ترکیب کیتوزان و اسیدهای آلی نیز تولید شد[۱۷].

برخی مطالعات بر روی استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های پروتئینی به عنوان حامل ترکیبات ضد میکروبی از سال ۱۹۸۰شروع شد. Torres و همکاران [۱۸] انتشار و نفوذ اسید سوربیک در پوشش زئینی بکار رفته در غذاهای با رطوبت متوسط را مورد مطالعه قرار دادند. آنها گزارش کردند که پایداری میکروبی محصول، پس از پوشش دادن آن با زئین و اسید سوربیک افزایش می‌یابد. همچنین Torres و Karel [۱۹] اثر اسید سوربیک اضافه شده به پوشش زئینی را در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس به اثبات رساندند.

Guilbert [۱٦] اثر اسید سوربیک اضافه شده به فیلم‌های کازئینی یا ژلاتینی را مورد بررسی قرار داد و مشاهده کرد که پایداری میکروبی بهبود می‌یابد. از اواخر دهۀ ۱۹۹۰ استفاده از ترکیبات ضد میکروبی طبیعی نیز در فیلم‌های خوراکی پروتئینی آغاز شد. فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های زئینی حاوی نایسین[۲۰] و فیلم‌های زئینی یا پروتئین سویای حاوی لیزوزیم یا نایسین[۲۱] در مقابل لاکتوباسیلوس پلانتاروم مورد آزمایش قرار گرفت. سوربات پتاسیم به فیلم‌های ایزوله پروتئین سویا اضافه شد و فعالیت ضدمیکروبی این فیلم‌ها در مقابل ساکارومایسز سروزیه، آسپرزیلوس نیگر و پنی سیلیوم راکوفرتی مورد بررسی قرار گرفت[۲۲].

Zhuang و همکاران [۲۳] دریافتند که پوشش‌های هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی اتانول در غیر فعال سازی سالمونلا مونتویدو[3] در سطح گوجه فرنگی موثر است. با کاربرد پوشش‌های هیدروکسی پروپیل متیل سلولز سرعت افت سفتی و تغییر رنگ گوجه فرنگی‌های انبار شده در $20^{\circ}C$ به مدت ۱۸ روز، کاهش یافت.

Baron و Sumner [۲٤] گزارش کردند که افزودن سوربات پتاسیم و اسید لاکتیک به ترکیب فیلم خوراکی نشاستهٔ ذرت جلوی رشد سالمونلاتیفی موریوم و اشرشیا کلی سویه O157:H7 را روی گوشت طیور می‌گیرد.

Cooksey و همکاران [۲۵] برای بسته بندی پنیر خرد شده، نایسین را به پاچ‌های زئینی اضافه نمودند. با این وجود آنها گزارش کردند که نایسین در فیلم‌های زئینی اثری بر روی باکتری‌های هوازی ندارد و فیلم‌های زئینی در دمای پایین خواص بازدارندگی نامناسبی از خود نشان می‌دهند.

Paranato و همکاران [۲٦] اثر فیلم‌های کیتوزانی حاوی عوامل ضد میکروبی اسانس سیر، سوربات پتاسیم و نایسین بر میکروارگانیسم‌های شاخص، اشرشیاکلی، استافیلوکوکوس اورئوس، لیستریا مونوسایتوژنز، سالمونلا تیفی موریوم و باسیلوس سرئوس را مورد بررسی قرار دادند. عوامل ضد میکروبی بیشتر بر میکروارگانیسم های گرم مثبت موثر بودند تا گرم منفی‌ها. لازم به ذکر است که خود کیتوزان دارای اثر ضد میکروبی است. کیتوزان پلیمری کاتیونی است که با بارهای منفی موجود در غشا سلول واکنش می‌دهد و موجب چسبیدن سلول‌ها به هم می‌شود. همچنین باعث تراوش اجزاء داخل سلولی به خارج می‌شود. افزایش غلظت سوربات پتاسیم و نایسین، بیشتر از حد اپتیمم، خواص ضد میکروبی را بهبود نبخشید که علت آن به ماکزیمم ظرفیت پلیمر کیتوزان برای

3. Salmonella montovideo

حمل عامل فعال و واکنش بین گروه‌های کاربردی این عوامل فعال با کیتوزان نسبت داده شده است.

Silveria و همکاران [۲۷] اثر فیلم‌های استات سلولزی حاوی ۶-۱٪ اسید سوربیک در نگهداری خمیر ماکارونی بدون نگهدارنده را مورد مطالعه قرار دادند. خمیر تازه ممکن است طی پروسه تولید یا توسط مواد مورد استفاده در تولید مانند آرد گندم، تخم مرغ، آب و همچنین ابزار و ماشین آلات آلوده شود. آنالیزهای میکروبی بر میکروارگانیسم‌های مزوفیل هوازی، سایکروتروف‌ها، استافیلوکوکوس، قارچ‌ها و مخمرها و کلی‌فرم‌ها انجام شد. بر طبق نتایج این تحقیق فیلم‌های با غلظت ۶-۳٪ اسید سوربیک، رشد میکروبی خیلی کمتری را نسبت به فیلم‌های کنترل نشان دادند.

Seydim و Sarikus [۲۸] اثرات ضد میکروبی فیلم‌های پروتئین آب پنیر حاوی عصاره‌های پونه کوهی، رزماری و اسانس سیر را بر میکروارگانیسم‌های استافیلوکوکوس اورئوس، اشرشیاکلی، لیستریا مونوسایتوژنز، لاکتوباسیلوس پلانتاروم و سالمونلا اینترتیدیس مطالعه کردند. به طور کلی ادویه ها و اسانس های آنها از نظر ترکیبات فنولی مانند فلاوونوئیدها و اسیدهای فنولیک غنی هستند. ترکیباتی مثل کارواکرول، اوژنول و تیمول و .. با مکانیسم‌هایی نظیر اختلال در غشاء سیتوپلاسمی و انعقاد محتویات سلولی، دارای خواص ضد میکروبی هستند. نتایج بدست آمده نشان داد که رزماری در ٤ غلظت مورد آزمون هیچ اثر ضد میکروبی ندارد و پونهٔ کوهی و سیر با افزایش غلظت تا ٤٪، مناطق بازداری وسیع‌تری را بر میکروارگانیسم‌های شاخص نشان دادند.

۳- مواد ضد میکروبی در فیلم های خوراکی فعال

در سیستم‌های بسته بندی غیرخوراکی می‌توان از هر نوع ماده نگهدارنده‌ای استفاده نمود. موادی نظیر اسیدهای آلی و نمک‌های آنها، قارچ کش‌ها، باکتریوسین‌ها، آنتی بیوتیک‌ها، آنزیم‌ها، الکل‌ها، تیول‌ها، آنتی اکسیدان‌ها، فلزات و گازهای ضدعفونی کننده[۹]. اما در مورد فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی انتخاب نوع ماده ضد میکروبی تنها به ترکیبات خوراکی محدود می‌شود. زیرا از آنجا که این مواد همراه ماده بسته بندی و ماده غذایی مصرف می‌شوند، خوراکی بودن و ایمنی آنها امری ضروری است.

ویژگی‌هایی که یک ترکیب ضد میکروبی مورد استفاده در بسته بندی‌های فعال باید داشته باشد عبارتند از [۲۹]:

- مورد تایید سازمان‌های نظارت کننده بوده و برای تماس با مادهٔ غذایی مجاز باشد.
- قیمت پایینی داشته باشد تا مقرون به صرفه باشد.
- بر طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها موثر باشد.
- در غلظت‌های کم بر میکروارگانیسم‌ها موثر باشد.
- بر خواص حسی مواد غذایی تاثیر منفی نداشته باشد.

مواد ضدمیکروبی که مستقیماً وارد پلیمر می‌شوند را می‌توان به گروه‌های زیر طبقه بندی کرد (جدول ۱) [۲۹]:

- **اسیدهای آلی و نمک‌های آنها:** این اسیدها شامل اسید پروپیونیک، بنزوئیک، سوربیک، استیک، لاکتیک و مالیک هستند. اغلب این اسیدها در گیاهان یا محصولات تخمیری وجود دارند. با این وجود آنها عمدتاً به روش شیمیایی سنتز شده و در دستهٔ مواد نگهدارنده شیمیایی قرار می‌گیرند[۲۹].
- **آنزیم‌ها:** تاکنون لیزوزیم و گلوکز اکسیداز رایج ترین آنزیم‌های مورد استفاده در تحقیقات مربوط به بسته بندی ضدمیکروبی بوده اند. لیزوزیم آنزیمی است که باعث شکستن پیوندهای گلیکوزیدی موجود در دیوارهٔ سلولی باکتری‌های گرم مثبت می‌شود. بنابراین می‌تواند بطور بالقوه برطیف وسیعی از باکتری‌های گرم مثبت شامل لاکتوباسیلوس‌ها، میکروکوکوس‌ها و باسیل‌ها مؤثر باشد. اما وجود غشای خارجی از جنس لیپید بر روی پپتیدوگلیکان دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی باعث محدودیت فعالیت ضدمیکروبی این آنزیم در مقابل باکتری‌های گرم منفی می‌شود [۳۰]. اگرچه لیزوزیم را می‌توان از منابع مختلفی همچون اشک پستاندارن، شیر، سرم و تخم ماکیان ایزوله کرد؛ اما لیزوزیم تخم مرغ مهمترین و عمده ترین منبعی است که برای کاربردهای غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته غیر از دو آنزیم ذکرشده امکان استفاده از آنزیم‌های دیگر مانند لاکتوپراکسیداز و لاکتوفرین نیز وجود دارد که باید مطالعات بیشتری روی آنها انجام شود.
- **باکتریوسین‌ها:** ترکیباتی هستند که طی تخمیر توسط میکروب‌ها تولید می‌شوند و بیشتر از جنس پپتید هستند. رایج ترین باکتریوسین‌های مورد استفاده در بسته بندی‌های فعال، نایسین[۴]، پیوسین[۵] و لاکتی سین[۶] می‌باشند.

4. Nisin
5. Pediocins
6. Lacticin

البته امکان استفاده از باکتریوسین‌های پپتیدی دیگر مانند ماگاینین[7]، سکروپین[8] و دفنیسین[9] نیز وجود دارد [۳۱].

نایسین یک ترکیب پپتیدی است که با اتصال به غشاء باکتری‌های گرم مثبت موجب ایجاد سوراخ در غشاء شده و باعث نفوذپذیر شدن غشا نسبت به عبور و مرور مواد و یون‌ها می‌گردد. نایسین برای اتصال به غشای سلولی نیاز به گیرندهٔ خاصی ندارد و بنابراین می‌تواند به اکثر باکتری‌های گرم مثبت متصل شود. وجود دیوارهٔ سلولی در باکتری‌های گرم منفی موجب بلوکه شدن غشای سلولی می‌شود و در نتیجه نایسین بر آنها تأثیر چندانی ندارد [۳۲]. حضور EDTA و عوامل شلاته کننده دیگر مانند اسید سیتریک موجب افزایش اثر نایسین و لیزوزیم بر باکتری‌های گرم منفی می‌شود. چون عوامل شلاته کننده با کمپلکس کردن یون منیزیم موجب پاره شدن دیوارهٔ سلولی و در نتیجه موجب اثر نایسین بر باکتری می‌شوند.

جدول ۱ دسته بندی مواد ضد میکروبی مورد استفاده در بسته بندی‌های فعال [۲۹]

دسته	مثال
اسید های آلی	سوربیک، پروپیونیک، بنزوئیک
باکتریوسین ها	نایسین
آنتی بیو تیک ها	ایمازالیل
عصاره های گیاهی	تیمول
آنزیم ها	لیزوزیم، پراکسیداز
پروتئین ها	کنالبومین
قارچ کش ها	بنومیل
فلزات	نقره
پارابن ها	هپتیل پارابن
تیو سولفانات ها	آلیسین
گازها	آلیل ایزوتیوسیاتات،SO_2
شلات کننده ها	EDTA

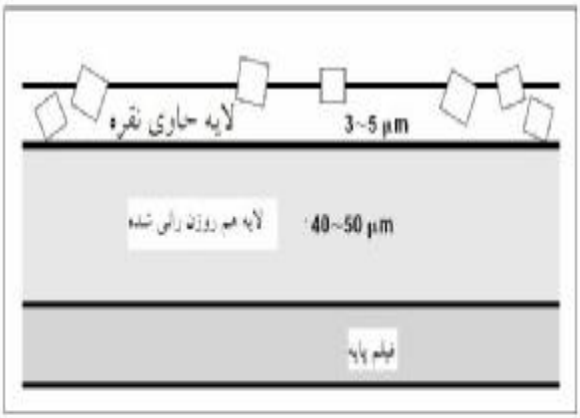
• **آنتی اکسیدان ها:** با گرفتن اکسیژن موجب جلوگیری از رشد میکروب‌ها و به ویژه کپک‌ها می‌شوند.

• **فلاونوئیدها و عصاره‌های گیاهی:** بسیاری ازفلاوونوئیدها و عصاره‌های گیاهی موجود در گیاهان ویژگی ضدمیکروبی دارند. فلاوونوئیدهایی مانند اسیدهای سینامیک، کافئیک و پاراکوماریک، کاتچین و عصاره‌هایی مانند تیمول، عصارهٔ لیمو و دانه گریپ فرویت و پودر بامبو خواص ضد میکروبی دارند.

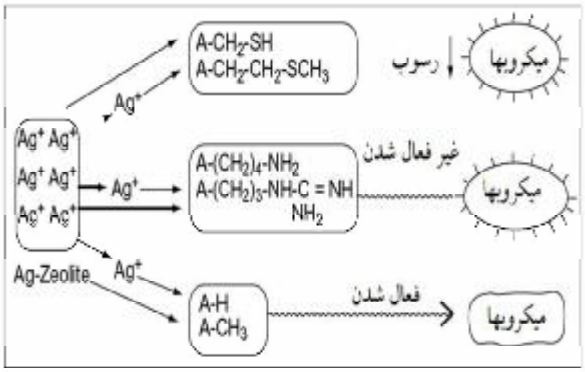
• **گازهای غیرآلی:** شامل دی اکسید سولفور، دی اکسید کلرین، دی اکسید کربن، ازن، هینو کیتیول و آلیل ایزوتیوسیونات می‌باشند. این گازها می‌توانند به کل تودهٔ ماده غذایی نفوذ کنند و نیازی به در تماس بودن مستقیم با ماده غذایی ندارند. آلیل ایزوتیوسیانات گیر انداخته شده در سیکلودکسترین روی بسته بندی پوشش داده می‌شود. گاز دی اکسیدکربن نیز توسط سدیم کلریت و اسید بصورت انهیدرید، تشکیل می‌شود. در اثر تماس آب ماده غذایی با انهیدرید، اسید آزاد می‌شود. اسید با کلریت سدیم واکنش داده و دی اکسید کلرین آزاد می‌گردد. شایان ذکر است که استفاده از گازها باید همراه با مطالعات کامل بر روی نفوذپذیری و واکنش پذیری آنها با فیلم بسته بندی باشد.

• **فلزات:** شاخص ترین فلز دارای فعالیت ضدمیکروبی نقره می‌باشد. البته مس نیز خواص ضد میکروبی و ضد ویروسی دارد ولی به علت سمی بودن تماس مستقیم آن با مواد غذایی مجاز نیست و همچنین کاتالیست قوی اکسیداسیون چربی‌ها و ویتامین C می‌باشد. بر خلاف مس یون‌های نقره به آسانی رها نمی‌شوند و در صورت تماس نیز خاصیت سمی ندارند. زئولیت‌هایی که در آنها یون نقره جایگزین سدیم شده‌اند بصورت گسترده و به ویژه در ژاپن در بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یون نقره دارای فعالیت ضدمیکروبی علیه طیف وسیعی از باکتری‌ها، کپک ها و مخمرها می‌باشد ولی بر اسپورهای مقاوم به حرارت اثر ندارد و از فعالیت بسیاری از آنزیم‌های سلول‌های میکروبی نیز جلوگیری به عمل می‌آورد. زئولیت‌های جایگزین شده با نقره در مقادیر ٪۳-۱ در پلیمرهای مختلف مانند پلی اتیلن، پلی پروپیلن، نایلون و بوتادی استیرن وارد می‌شوند و یا بصورت لایهٔ نازکی (μm۳-٦) در سطح پلیمر پوشانده می شوند. هنگامی که آب ماده غذایی با زئولیت تماس می‌یابد یون نقره در آن حل شده و در نتیجه با قسمت‌های مختلف ماده غذایی تماس می‌یابد. از انواع تجاری این ماده می توان به موارد مقابل اشاره کرد:Zeomic، Apacider، AgION، Bactekill و NoVaron. اسیدهای آمینه مانند لیزین و سیستئین اثر بازدارندگی بر فعالیت نقره دارند و بنابراین در غذاهای پروتئینی باید در غلظت بالا (بالاتر از ٪۳-۱) مورد استفاده واقع شوند [۳۳].

7. Maganin
8. Cecropin
9. Defenisin



شکل ۲ ساختار فیلم‌های لامینه شده حاوی زئولیت نقره [۳۳]



شکل ۳ اثر اسیدهای آمینه با زنجیرهای جانبی مختلف بر روی فعالیت زئولیت نقره [۳۳]

٤- فاکتورهای مهم در کاربرد بسته بندی‌های ضد میکروبی

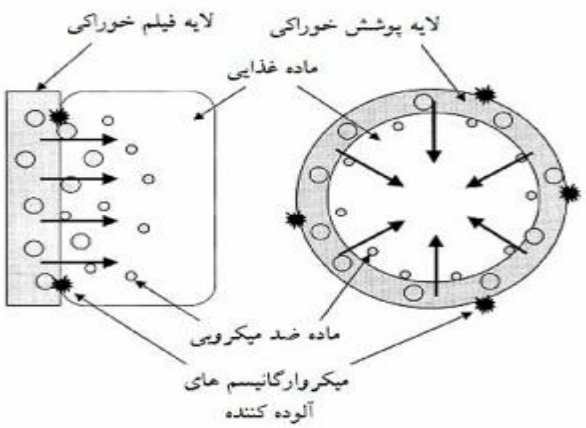
٤-١- ضریب انتقال جرم و رها سازی کنترل شده

با تعیین ضرایب انتقال جرم و ایجاد مدلی برای انتقال جرم ماده ضدمیکروبی از فیلم پلیمری، امکان تعیین مدت زمانی که غلظت مادهٔ ضدمیکروبی در بالای نقطهٔ بحرانی باقی می‌ماند و در نتیجه تعیین زمان ماندگاری ماده غذایی وجود خواهد داشت. استفاده از بسته بندی‌های چندلایه (لایه خارجی – لایهٔ حاوی آنتی میکروب – لایه کنترل کننده) این امکان را به ما می‌دهد که بتوانیم سرعت مهاجرت مواد ضدمیکروبی را کنترل کنیم چون بهتراست که سرعت رهاشدن مادهٔ ضدمیکروبی از پلیمر در حداقل باشد تا غلظت برای مدت طولانی بالای نقطهٔ بحرانی باقی بماند. لایه کنترل کننده، داخلی ترین لایه است و سرعت انتشار مادهٔ فعال را کنترل می‌کند. لایهٔ ماتریکس حاوی مادهٔ ضدمیکروبی است و لایهٔ عایق یا خارجی از مهاجرت مادهٔ فعال به خارج از مادهٔ بسته بندی جلوگیری می کند.

شکل ٤ ساختار فیلم و پوشش خوراکی را نشان می‌دهد. احتمال دارد مادهٔ غذایی بسته بندی شده، قبل از بسته بندی و یا پس از فرآیند، هنگامی که بسته بندی باز می‌شود، توسط میکروارگانیسم‌ها آلوده شده باشد. بنابراین آلودگی سطحی بسیار امکان پذیر بوده و بایستی از آن جلوگیری شود.

میکروارگانیسم‌های آلوده کننده خود موقعیت استقرار خود را بر روی سطح ماده غذایی پیدا می‌کنند که معمولاً در منطقه بین ماده غذایی و بسته است. میکروارگانیسم‌ها در سطح بین لایهٔ پوشش و ماده غذایی مستقر می شوند ولی امکان فعالیت و رشد آنها منفی است زیرا از یک طرف اکسیژن در دسترس آنها کم خواهد بود و از طرف دیگر مستقیماً با مادهٔ ضدمیکروبی در تماس‌اند. بنابراین احتمال آلودگی و رشد میکروارگانیسم‌ها در سطح خارجی پوشش، بیشتر است. در هر دو سیستم فیلم و پوشش، غلظت مواد ضدمیکروبی در لایه‌های فیلم و پوشش در مقایسه با لایه‌های ماده غذایی خیلی بیشتر است اما به تدریج با مهاجرت مواد ضدمیکروبی از لایه‌های فیلم یا پوشش به لایه‌های ماده غذایی، از غلظت این مواد در فیلم یا پوشش کاسته می‌شود تا اینکه در نهایت لایه فیلم یا پوشش عاری از ماده ضد میکروبی می‌شود. بنابراین بایستی آهنگ رهاسازی کنترل شود تا از تخلیه زود هنگام مواد ضد میکروبی به علت مهاجرت سریع آنها جلوگیری شود.

شکل ٤ نشان می‌دهد که این دو سیستم (سیستم فیلم و سیستم پوشش) بایستی طراحی‌های کاربردی متفاوتی داشته باشند [۹]. در سیستم فیلم خوراکی، ماده ضد میکروبی اضافه شده بایستی به آهستگی از لایهٔ فیلم به داخل ماده غذایی مهاجرت کرده و سپس فعالیت خود را در مقابل میکروارگانیسم‌های آلوده کننده شروع کند. در مقابل، در سیستم پوشش خوراکی، ماده ضد میکروبی باید در لایه پوشش باقی بماند تا ماده غذایی را از حمله میکروارگانیسم‌های آلوده کننده محافظت نماید. جهت دستیابی به فعالیت ضد میکروبی موثر در سطح ماده غذایی در سیستم فیلم خوراکی، نیاز به رها سازی کنترل شده مواد ضد میکروبی با یک آهنگ انتشار متوسط وجود دارد. در سیستم پوشش نیز جهت حفظ تاثیرگذاری مواد ضد میکروبی بر روی میکروارگانیسم‌های فسادزا و پاتوژن، بایستی غلظت بالای مواد ضد میکروبی حفظ و آهنگ انتشار خیلی کند شود.



شکل ٤ ساختار فیلم‌ها و پوشش‌های پروتئینی خوراکی و مهاجرت مواد ضد میکروبی در ماده غذایی. (در مورد مواد ضدمیکروبی فرار، این ترکیبات به محیط اطراف نیز آزاد می‌شوند.) [۹]

برای بررسی رابطه زمان و پروفیل غلظت در لایهٔ فیلم یا پوشش و ماده غذایی می‌توان از یک مدل انتقال جرم برای پدیدهٔ مهاجرت استفاده کرد. شکل ٤ نشان می‌دهد که یک مدل انتشار دو لایه‌ای می‌تواند انتشار در هر دو سیستم فیلم و پوشش را تشریح کند [۹]. زمانیکه مواد ضدمیکروبی فرار به فیلم یا پوشش اضافه شود، آنها می‌توانند از سیستم به محیط اطراف تبخیر شوند. اما مواد ضدمیکروبی غیر فرار، در طول انبارداری و توزیع، تنها به داخل ماده غذایی نفوذ خواهند کرد. Han [۹] مدل‌های رایج انتقال جرم را جمع بندی کرده و مدلی ارائه داده است که می‌توان از آن برای توصیف مهاجرت مواد ضد میکروبی از سیستم های بسته بندی مواد غذایی شامل سیستم‌های تک، دو یا سه لایه استفاده کرد. از آنجائیکه مدل انتقال جرم رابطهٔ بین غلظت و زمان را نشان می‌دهد، لذا می‌توان از روی آن زمان انبارداری را که در آن غلظت مواد ضدمیکروبی در بالاتر از غلظت بحرانی بازدارندگی باقی می‌ماند و عمر مفید میکروبیولوژیکی محصول دستخوش تغییر نمی‌شود را محاسبه و تعیین کرد.

٤-۲- برهم کنش بین ماده غذایی و مادهٔ ضد میکروبی

هر مادهٔ غذایی فلور میکروبی خاص خود را دارد و بنابراین باید مادهٔ ضدمیکروبی فعال علیه آن فلور به بسته بندی افزوده شود. بنابراین بایستی ملاک انتخاب مواد ضدمیکروبی، ترکیب ماده غذایی و میکروارگانیسم‌هایی که احتمال حضور آنها در ماده غذایی وجود دارد، باشد.

هر کدام از مواد ضدمیکروبی از مکانیسم بازدارندگی از رشد منحصر به فرد در مقابل یک میکروارگانیسم هدف برخوردارند. سینتیک بازدارندگی رشد عبارت است از آهنگ بازدارندگی مواد ضد میکروبی در مقابل یک میکروارگانیسم هدف در شرایط ویژه (از جمله دمای انبارداری، منبع کربن، منبع نیتروژن، فشار جزئی اکسیژن، pH، رطوبت و سایر فاکتورهای محیطی) [۳٤]. اغلب، فاکتورهای محیطی ماهیت ماده غذایی و شرایط انبارداری هستند. خواص فیزیکوشیمیایی اجزاء مواد غذایی بر فعّالیت مواد ضدمیکروبی مؤثر هستند. بنابراین خود ترکیب ماده غذایی، اثرگذاری ماده ضدمیکروبی و حساسیت میکروارگانیسم‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

میزان رطوبت ماده غذایی با فعالیت آب ماده غذایی در ارتباط بوده و آهنگ رشد میکروبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با افزایش فعالیت آبی جابه‌جایی مولکولها تسریع می‌شود و واکنش‌ها تسریع می‌شود.

pH مادهٔ غذایی بر یونیزاسیون و تفکیک یونی اسیدها و دیگر مواد ضدمیکروبی مؤثر است. معمولاً اسیدهای آلی در شکل یونیزه نشده بر میکروب‌ها مؤثرترند چون به راحتی وارد سلول‌های میکروبی می‌شوند. بنابراین pH اسیدی ماده غذایی فعالیت ضد میکروبی اغلب اسیدهای آلی و نمک‌های آنها را افزایش می‌دهد.

نقطهٔ ایزوالکتریک اغلب پروتئین‌ها در pH اسیدی قرار دارد. بنابراین اغلب فیلم‌های پروتئینی در pH خنثی (یعنی محیط مستعد رشد میکروبی) دارای بار خالص منفی می‌باشند. در منطقهٔ pH خنثی، لیزوزیم و نایسین که هر دو پروتئین می‌باشند دارای بار مثبت خواهند بود، زیرا نقطهٔ ایزوالکتریک هردوی آنها در pH قلیایی قرار دارد. بنابراین در pH خنثی بین پروتئین‌های تشکیل دهندهٔ فیلم و لیزوزیم/ نایسین برهم کنش‌های یونی قوی تشکیل می‌شود. لذا لیزوزیم و نایسین در ساختار فیلم یا پوشش قادر به تحرک آزادانه نبوده و در نتیجه به علت محدودیت مهاجرت لیزوزیم و نایسین، غلظت موثر مواد ضد میکروبی بر میکروارگانیسم‌ها در سطح ماده غذایی کاهش می‌یابد [۳۵]. این پدیده بایستی در طراحی سیستم‌های فیلم و پوشش پروتئینی مد نظر قرار گیرد. زیرا مهاجرت در یک سرعت رهاسازی مخصوص، در تاثیرگذاری سیستم بسته بندی ضدمیکروبی خیلی مهم است. نیروهای دافعه و جاذبه موجود بین مواد ضدمیکروبی و لایه فیلم یا پوشش، فاکتورهایی هستند که ضریب انتشار را تحت تاثیر قرار

می‌دهند. با آگاهی از این برهم کنش‌های مولکولی می توان ضریب انتشار را اصلاح کرد.

٤-٣- دمای انبارداری

دمای انبارداری می‌تواند فعالیت ضدمیکروبی و آهنگ مهاجرت مواد ضدمیکروبی و فلورمیکروبی را تحت تاثیر قرار دهد. با افزایش دما سرعت انتشار و مهاجرت مواد ضدمیکروبی افزایش می‌یابد، درحالیکه طی نگهداری در یخچال سرعت انتشار کاهش می‌یابد [٣٦]. سینتیک رها شدن این مواد باید طوری باشد که همیشه غلظت مواد ضدمیکروبی بالاتر از غلظت بازدارندگی بحرانی باقی بماند. بنابراین برآورد دمای نگهداری در طی انبار داری، توزیع و حمل و نقل می‌تواند در تعیین فعالیت ضدمکیروبی باقی مانده مؤثر باشد.

تیمارها در دمای بالا ممکن است موجب کاهش فعالیت ضد میکروبی شوند زیرا اغلب مواد ضد میکروبی در دماهای بالا ناپایدارند. اگر مادهٔ غذایی بسته بندی شده یا پوشش داده شده نیاز به تیمار حرارتی داشته باشد، بایستی تاثیر گرما بر فعالیت ضدمیکروبی تعیین شود. دماهای بالا همچنین فراریت مواد ضدمیکروبی را افزایش می‌دهند. لذا اگر مواد ضدمیکروبی بسیار فرار یا نسبتاً فرار مورد استفاده قرار گرفته باشد، با تبخیر مواد فعال، فعالیت ضدمیکروبی کاهش خواهد یافت. در کل، آهنگ انتقال جرم از رابطه آرنیوس تبعیت کرده و به دمای انبارداری بستگی دارد.

دما همچنین یک فاکتور بحرانی در رشد میکروبی است. هر میکروارگانسیمی عکس العمل متفاوتی نسبت به دماهای مختلف دارد و دمای اپتیمم رشد مخصوص به خود را دارد. کنترل دمای انبارداری یک روش موثر در جلوگیری از آلودگی میکروبی مواد غذایی بحساب می‌آید. با این وجود تغییر دمای انبارداری، سایر فاکتورهای ضروری در طراحی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی ضدمیکروبی نظیر آهنگ مهاجرت، پایداری شیمیایی و هزینه را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد.

٤-٤- شرایط فرایند

فرآیندهای دمای بالا و فشار در تولید فیلم، فعالیت ضدمیکروبی را کاهش می‌دهد. بسیاری از مواد ضدمیکروبی در برابر حرارت ناپایدارند و به سرعت تجزیه می‌شوند. بنابراین مواد ضدمیکروبی با مقاومت گرمایی پایین باید در پلیمرهایی بکار روند که در دمای پایین تولید می‌شوند.

فیلم‌های خوراکی معمولاً به روش مرطوب تولید می‌شوند که در آن از محلول تشکیل دهنده فیلم/ نرم کننده استفاده می‌شود [٣٧]. در روش اکستروژن خشک (بویژه برای فیلم‌های ترموپلاستیک) از ترکیب دمای بالا و فشار استفاده می‌شود در حالیکه روش اکستروژن مرطوب (از جمله برای فیلم‌های سلوفان) به دما و فشار نسبتاً پایین نیاز دارد [٣٧]. روش پرس داغ برای تولید فیلم پروتئین سویای حاوی نایسین مورد استفاده قرارگرفته است[٢٠]. برای به حداقل رساندن تجزیه مواد ضدمیکروبی در طول فرآیند اکستروژن بایستی شرایط فرآیند بهینه شود. پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها دمای ذوب و ژله‌ای شدن کمتری نسبت به مواد پلاستیک سنتزی دارند. لذا دمای اکستروژن برای فیلم‌های پروتئینی باید پایین‌تر از دمای فرآیند فیلم‌های پلاستیکی مرسوم باشد. اما با این وجود، اکستروژن پروتئین یک فرآیند با دمای بالا به حساب می‌آید.

جهت تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی ضدمیکروبی، مواد ضدمیکروبی بایستی قبل از کاستینگ فیلم یا پوشش دادن غذا در محلول بیوپلیمر حل شوند. توصیه می‌شود مواد ضدمیکروبی فعال، حلالیت بالایی در محلول بیوپلیمر داشته باشند تا از تشکیل لخته با بیوپلیمر موجود در محلول جلوگیری شود. همچنین بهتر است مواد ضدمیکروبی پایداری بالایی داشته باشند تا از تبخیر یا تجزیه آنها پس از کاستینگ یا پوشش دادن جلوگیری شود [٣٨].

٤-٥- ماهیت فیزیکی و شیمیایی فیلم‌ها و پوشش‌ها

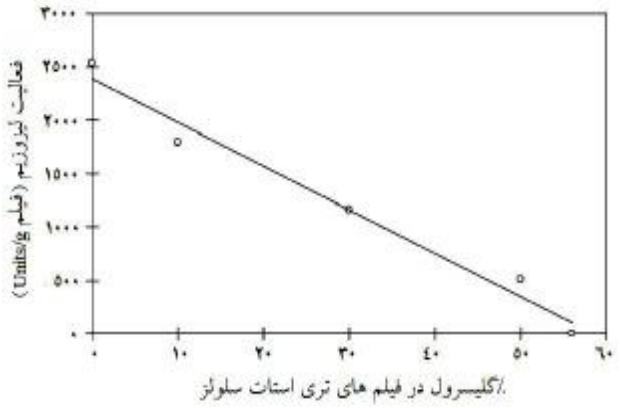
وقتی مادهٔ ضدمیکروبی به پلیمر بسته بندی افزوده می‌شود این احتمال وجود دارد که این ماده خواص فیزیکی پلیمر را تغییر دهد. برای مثال این مواد ممکن است باعث کاهش شفافیت و کاهش خواص کششی و افزایش نفوذپذیری فیلم پلیمری شوند. برای مثال عصاره‌های گیاهی موجب بدرنگی و سوربات باعث کاهش شفافیت در LDPE می‌شوند. معمولاً خواص کششی و بازدارندگی فیلم های پلیمری با افزایش افزودنی‌ها کاهش می‌یابد. با افزودن کیتوزان به LDPE خواص نفوذپذیری نسبت به بخارآب و اکسیژن افزایش می‌یابد ولی با افزودن اسید بنزوئیک کاهش می‌یابد [٣٩]. بنابراین نوع مادهٔ ضدمیکروبی و پلیمر در این موضوع حائز اهمیت هستند.

بطورکلی با افزودن مواد ضد میکروبی به محلول‌های تشکیل دهندهٔ فیلم یا پوشش، کیفیت فیلم کاهش می‌یابد زیرا ساختار فیلم یا پوشش ناهمگن تر می‌شود. مواد تشکیل دهندهٔ فیلم و

پوشش اندازهٔ مولکولی بزرگتری دارند و نسبت به مواد ضد میکروبی که اندازهٔ کوچکتری دارند مقدار بیشتری از محلول را به خود اختصاص می‌دهند.

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی که حاوی مواد شیمیایی محلول در آب یا مواد ضد میکروبی پپتیدی می‌باشند می‌توانند فیلم‌هایی شفاف و بدون تغییرات قابل توجه در مقاومت مکانیکی تولید کنند. بعنوان مثال زمانیکه لیزوزیم به فیلم‌های ایزوله پروتئین آب پنیر (WPI) اضافه می‌شود (۱۰٪ w/w)، از آنجائیکه این دو ترکیب کاملاً سازگارند و هر دو شدیداً در آب محلول‌اند، شفافیت و مقاومت به کشش فیلم WPI چندان تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد[۹]. همچنین خواص فیزیکی فیلم‌های WPI با افزودن نایسین، EDTA و پروپیل-*p*- بنزوئیک اسید نیز تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد[۳۵]. اما افزودن مواد ضدمیکروبی محلول در آب به فیلم حاصل از زئین ذرت که یک پروتئین محلول در الکل است و باعث کاهش مقاومت فیزیکی این فیلم می شود. Cooksey و همکاران[۲۵] تاثیر معکوس نایسین بر روی مقاومت به کشش فیلم زئین ذرت را گزارش کرده اند. علت این امر می‌تواند سازگاری ضعیف نایسین محلول در آب و زئین نامحلول در آب باشد. هرچند که فیلم‌های زئینی حاوی افزودنی‌های هتروژن، نیاز به مطالعات گسترده‌ای دارند اما انتظار می‌رود که مواد ضد میکروبی محلول در الکل خواص مکانیکی فیلم‌های زئینی را زیاد تحت تاثیر قرار ندهند.

همچنین بین مادهٔ ضدمیکروبی و پلیمر باید سازگاری وجود داشته باشد. برای مثال اسیدهای سوربیک، بنزوئیک و پروپیونیک که نسبتاً قطبی هستند با پلی اتیلن با چگالی پایین (LDPE) که پلیمری غیرقطبی است، ناسازگار می‌باشند ولی شکل انهیدرید آنها یعنی نمکهای سوربات، بنزوات و پروپیونات سازگاری بالاتری نسبت به اشکال اسیدی دارند؛ چون قطبیت کمتری دارند. افزودن موادی نظیر نرم کننده‌ها، اتصال دهنده‌ها، روان کننده‌ها، پرکننده‌ها و ضدکف‌ها می‌تواند تأثیر منفی بر فعالیت آنتی میکروبی داشته باشد. این تأثیر می‌تواند از طریق تغییر پیکربندی پلیمر و در نتیجه تغییر در سرعت انتشار مادهٔ ضدمیکروبی و یا برهم کنش با مادهٔ ضدمیکروبی باشد. برای مثال گلیسرول مورد استفاده در فیلم سلولز تری استات بر خواص ضدمیکروبی لیزوزیم تأثیر منفی دارد (شکل ۵) [۳۰].



شکل ۵ اثر نرم کننده گلیسرول بر فعالیت لیزوزیم بی تحرک شده بر روی تری استات سلولز [۳۰]

٤-٦- ویژگی‌های ارگانولپتیکی مواد ضد میکروبی و فیلم‌ها و پوشش‌ها

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی ضدمیکروبی نیز جزء قسمت خوراکی ماده غذایی بسته بندی شده محسوب می‌شوند. بنابراین ترکیب فیلم یا پوشش خوراکی نباید تاثیری در خواص اورگانولپتیک ماده غذایی داشته باشد. هر چند که استثناً ممکن است جهت ایجاد مزه غیرطبیعی و یا پوشاندن مزه‌های نامطلوب غذاها، برخی ترکیبات طعم دهنده بصورت آگاهانه به فیلم یا پوشش خوراکی اضافه شوند. بطور کلی جهت به حداقل رساندن تاثیر فیلم یا پوشش در مزه غذا، استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی بدون مزه، مناسب‌تر است. از آنجاییکه سه ترکیب عمده فیلم‌های ضد میکروبی، بیوپلیمرهای تشکیل دهنده فیلم، نرم کننده‌ها و مواد ضدمیکروبی می‌باشند، هر سه این ترکیبات بایستی بدون مزه باشند. فیلم‌های ایزوله پروتئین سویا و پروتئین بادام زمینی دارای اندکی طعم لوبیایی می‌باشند که معمولاً مشکلی ایجاد نمی‌کند. فیلم‌های کلاژن و ژلاتین نیز فیلم‌های بدون مزه شناسایی شده‌اند. فیلم‌های کازئینی دارای طعم شیر قابل قبولی می‌باشند. زئین ذرت فیلمی سفت و مایل به زرد تولید می‌کند که دارای طعم آرد ذرت است و می‌تواند غیر قابل قبول باشد[٤٠]. کلاً ترکیبات آرومای منابع پروتئینی بیشتر از ترکیبات طعمی در طعم فیلم‌های پروتیئنی موثرند. فیلم‌های کربوهیدراتی نیز اکثراً بی مزه یا کم مزه هستند.

نرم کننده‌ها دومین ترکیب اصلی فیلم‌های خوراکی می‌باشند. نرم کننده‌های خوراکی معروف گلیسرول، سوربیتول و پلی اتیلن گلیکول می باشند. گلیسرول و سوربیتول مزه شیرین

دارند. با این وجود شیرینی گلیسرول در فیلم‌های پروتئین آب پنیر جزئی و قابل صرفنظر کردن است درحالیکه شیرینی سوربیتول قابل ملاحظه است. پلی اتیلن گلیکول نیز بدون مزه می باشد.

اغلب مواد ضدمیکروبی طعم مخصوص به خود دارند. اما به علت اینکه غلظت مواد ضدمیکروبی در فیلم‌های خوراکی خیلی پایین است، اثرگذاری آنها در طعم، جزئی و قابل صرفنظر کردن می‌باشد. زمانیکه مواد ضدمیکروبی طبیعی در غلظت‌های زیاد به فیلم‌های خوراکی اضافه می‌شوند، فیلم خوراکی می‌تواند طعم قوی آن ماده ضدمیکروبی را به خود بگیرد. این پدیده در هنگام افزودن مواد استخراج شده از گیاهان و علف‌ها یا ترکیبات فنلی خیلی مشخص و قابل ملاحظه است.

مطالعات متعددی بر روی تکنولوژی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی متمرکز شده است. اما مطالعات اندکی خواص حسی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی را مورد بحث قرار داده‌اند. انجام مطالعات بیشتر بر روی خواص اورگانولپتیک فیلم‌ها و پوشش‌های پروتئینی و سایر فیلم‌های خوراکی مورد نیاز است.

۵- نتیجه گیری

بسته‌بندی‌های ضد میکروبی قادرند از رشد انواع میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و فسادزا در مواد غذایی جلوگیری نموده و ماندگاری و ایمنی آنها را افزایش دهند. از ترکیبات ضدمیکروبی مختلفی می‌توان در تولید بسته‌بندی‌های فعال استفاده کرد اما انتخاب نوع ماده ضد میکروبی تنها به ترکیبات خوراکی محدود می‌شود. زیرا از آنجا که این مواد همراه ماده بسته بندی و ماده غذایی مصرف می‌شوند، خوراکی بودن و ایمنی آنها امری ضروری است. فاکتورهای زیادی در طراحی سیستم بسته‌بندی فعال ضدمیکروبی حائز اهمیت می‌باشند. اکثر این فاکتورها به ویژگی‌های مادهٔ ضدمیکروبی، مادهٔ غذایی بسته‌بندی شده و میکروارگانیسم هدف بستگی دارند و با در نظر گرفتن ویژگی‌ها و شرایط این سه عامل، می‌توان سیستم بسته‌بندی فعالی طراحی کرد که استفاده از آن، درعین حال که از رشد میکروارگانیسم‌ها و فاسد شدن محصول جلوگیری می‌کند، هیچ گونه تأثیر منفی بر روی خواص ارگانولپتیکی محصول نداشته و ارزش غذایی آن را نیز کاهش ندهد.

٦- منابع

[1] Ghanbarzadeh, B., Musavi, M., Oromiehie, A. R., Rezayi, K., Razmi Rad, E. and Milani, J. (2007). Effect of plasticizing sugars on water vapor permeability, surface energy and microstructure properties of zein films. LWT. 40: 1191–1197.

[2] Ghanbarzadeh, B. and Oromiehie, A. R. (2008). Biodegradable biocomposite films based on whey protein and zein: Barrier, mechanical properties and AFM analysis. International Journal of Biological Macromolecules. In press paper.

[3] Ghanbarzadeh, B., Oromiehie, A. R., Musavi, M., Razmi Rad, E. and Milani, J. (2006). Effect of Polyolic Plasticizers on Rheological and Thermal Properties of Zein Resins. Iranian Polymer Journal. 15: 779-787.

[4] Ghanbarzadeh, B. and Oromiehie, A. R. (2008). Studies on Glass Transition Temperature of Mono and Bilayer Protein Films Plasticized by Glycerol and Olive oil. Journal of Applied Polymer Science. 109: 2848–2854.

[5] Ghanbarzadeh, B., Oromiehie, A. R., Musavi, M., Massimiliano Falcone, P., Emam D-Jomeh, Z. and Razmi Rad, E. (2007). Study of Mechanical Properties, Oxygen Permeability and AFM Topography of Zein Films Plasticized by Polyols. Packaging Technology and Science. 20: 155–163.

[6] Ghanbarzadeh, B., Oromiehie, A. R., Musavi, M., Emam D-Jomeh, Z., Razmi Rad, E. and Milani, J. (2006). Effect of plasticizing sugars on rheological and thermal properties of zein resins and mechanical properties of zein films. Journal of Food Research International. 39: 882–890.

[7] Han, J. H. and Rooney, M. L. (2002). Personal communications, Active Food Packaging Workshop, Annual Conference of the Canadian Institute of Food Science and Technology (CIFST), May 26, 2002.

[8] Labuza, T. P. and Breene, W. M. (1988). Applications of Active Packaging for Improvement of Shelf-life and Nutritional Quality of Fresh and Extended Shelf-life Foods. Journal of Food Process and Preservation. 13:1–69.

[9] Han, J. H. (2000). Antimicrobial Food Packaging. Food Technology. 54(3): 56–65.

[10] Cutter, C. N. and Siragusa, G. R. (1997). Growth of Brochothrix thermosphacta in

Biodegradable Packaging Films. Poultry Science. 74: 175- 182.

[21] Padgett, T., Han, I. Y. and Dawson, P. L. (1998). Incorporation of Food-Grade Antimicrobial Compounds into Biodegradable Packaging Films. Journal of Food Protection. 61: 1330–1335.

[22] Ozdermir, M. (1999). Antimicrobial Releasing Edible Whey Protein Films and Coatings. Ph.D. dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN.

[23] Zhuang, R., Beuchat,L. R., Chinnan, M. S., Shewfelt, R. L. and Huang, Y. H. (1996). inactivation of salmonella montevideo on tomatoes by applying cellulose–based films. Journal of food protection. 59(8): 808-812.

[24] Baron, J. K. and Sumner, S. S. (1993). Antimicrobial Containing Edible Films as an Inhibitory System to Control Microbial Growth on Meat Products. Journal of Food Protection. 56: 916- 921.

[25] Cooksey, D. K., Gremmer, A. and Grower, J. (2000). Characteristics of Nisin-Containing Corn Zein Pouches for Reduction of Microbial Growth in Refrigerated Shredded Cheddar Cheese. in 2000 IFT Annual Meeting Book of Abstracts, Chicago, IL: Institute of Food Technologists, p. 188.

[26] Pranoto, Y., Rakshit, S. K., and Salokhe, V. M. (2005). enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. LWT. 38: 859-865.

[27] Silveria, M. F. A., Soares, N. F. F., Geraldine, R. M., Andrade, N. J., Botrel, D. A. and Goncalves, M. P. J. (2006). Active film incorporated with sorbic acid on pastry dough conservation. Food Control. In press paper.

[28] Seydim, A. C. and Sarikus, G. (2006). antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. Food research international. 39: 639 – 644.

[29] Lueck, E. and Jager, M. (1997). Antimicrobial Food Additives: Characteristics, Uses, Effects. Translated by S.F. Laichena, New York: Springer.

[30] Appendini, M. S. and Hotchkiss, H. J. (2006). Development of immobilized Iysozyme based active film. Journal of Food Engineering. In press paper.

[31] An, D. S., Kim, Y. M., Lee, S. B., Paik, H. D. and Lee, D. S. (2000). Antimicrobial low density polyethylene film coated with Ground Beef Following Treatments with Nisin in Calcium Alginate Gels. Food Microbiology. 14: 425–430.

[11] Siragusa, G. R. and Dickson, J. S. (1993). Inhibition of Listeria Monocytogenes, Salmonella Typhimurium and Escherichia coli O157:H7 on Beef Muscle Tissue by Lactic or Acetic Acid Contained in Calcium Alginate Gels. Journal of Food Safety. 13: 147–158.

[12] Gill, A. O. (2000). Application of Lysozyme and Nisin to Control Bacterial Growth on Cured Meat Products. M.S. thesis, The University of Manitoba, Winnipeg, MB, Canada.

[13] Rico-Pena, D. C. and Torres, J. A. (1991). Sorbic Acid and Potassium Sorbate Permeability of an Edible Methylcellulose-Palmitic Acid Film: Water Activity and pH Effects. Journal of Food Science. 56: 497–499.

[14] Vojdani, F. and Torres, J. A. (1990). Potassium Sorbate Permeability of Methylcellulose and Hydroxypropyl Methylcellulose Coatings: Effect of Fatty Acids. Journal of Food Science. 55: 841–846.

[15] Baron, J. K. (2001). Antimicrobial Containing Edible Films based on starch. Journal of Food Protection. 22: 722-729.

[16] Guilbert, S. (1988). Use of Superficial Edible Layer to Protect Intermediate Moisture Foods: Application to the Protection of Tropical Fruit Dehydrated by Osmosis. in Food Preservation by Moisture Control, ed., C.C. Seow, London, UK: Elsevier Applied Science Publishers, pp. 119–219.

[17] Ouattara, B., Simard, S., Piette, G. J. P., Holley, R. A. and Begin, A. (2000). Diffusion of Acetic and Propionic Acids from Chitosan-based Antimicrobial Packaging Films. Journal of Food Science. 65: 768–773.

[18] Torres, J. A., Motoki, M. and Karel, M. (1985). Microbial Stabilization of Intermediate Moisture Food Surfaces. I. Control of Surface Preservative Concentration. Journal of Food Process and Preservation. 9: 75–92.

[19] Torres, J. A. and Karel, M. (1985). Microbial Stability of Intermediate Moisture Food Surfaces. III. Effects of Surface Preservative Concentration and Surface pH Control on Microbial Stability of an Intermediate Moisture Cheese Analog. Journal of Food Process and Preservation. 9: 107–119.

[20] Padgett, T. M., Han, I. Y. and Dawson, P. L. (1995). Incorporation of Lysozyme into

bacteriocins in binder medium. Food Science Biotechnology. 9(1): 14–20.

[32] Hoffman, K. L., Han, I. Y. and Dawson, P. L. (2001). Antimicrobial effects of corn zein films impregnated with nisin, lauric acid, and EDTA. Journal of Food Protection. 64(6): 885–9.

[33] Vermeiren, L. (2000). Potential Applications of Antimicrobial Films for Food Packaging. Proceedings, International Conference on Active and Intelligent Packaging. Campden & Chorleywood Food Research Association, U.K. September.

[34] Durango, A. M., Soares, N. F. F. and Andrade, N. (2006). microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. Food control. 16: 336-341.

[35] Rodrigues, E. T. and Han, J. H. (2000). Antimicrobial Whey Protein Films against Spoilage and Pathogenic Bacteria" in 2000 IFT Annual Meeting Book of Abstracts, Chicago, IL: Institute of Food Technologists, p. 191.

[36] Han, J. H. and Floros, J. D. (1997). Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. Journal of Plastic Film and Sheeting. 13: 287–98.

[37] Ghanbarzadeh, B., Oromiehie, A., Musavi, M., Rezayi, K., Razmi Rad, E. and Milani, J. (2006). Investigation of water vapour permeability, hydrophobicity and morphology of zein films plasticized by polyols. Iranian Polymer Journal. 15: 7-17.

[38] Han, J. H. (2001). Design edible and biodegradable films/coatings containing active ingredients. in Park H J, Testin R F, Chinnan M S, and Park J W, Active Biopolymer Films and Coatings for Food and Biotechnological Uses, Proceedings of Pre-congress Short Course of IUFoST (April 21–22, 2001, Seoul, Korea), 187–98.

[39] Hong, S. I., Park, J. D. and Kim, D. M. (2000). Antimicrobial and physical properties of food packaging films incorporated with some natural compounds. Food Science and Biotechnology. 9(1): 38–42.

[40] Zactiti, E. M., and Kieckbusch, T. G. (2006). potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films : effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree. Journal of food engineering. 77: 462 – 467.

Antimicrobial edible films for food packaging

Ghanbarzadeh, B. [1*], Pezeshki Najafabadi, A. [2], Almasi, H. [2]

1- Associated Professor of the Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- PhD Students of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(Received:88/6/10 Accepted: 88/10/28)

In the recent years, interest in the use of biodegradable biopolymers for packaging applications has raised. One of the potential uses of these biopolymers is for production of active packaging containing antimicrobials. In this review manuscript, has presented some examples for applications of these packaging materials for different foods and then has mentioned the different kinds of antimicrobial agents that may be incorporated in their formulations. Many factors are involved in designing the antimicrobial packaging system. Most factors are closely related to the chemical characteristics of antimicrobial agents, the nature of the food and target microorganisms that all will be discussed in this paper.
Keywords: Active packaging, Antimicrobial agents, Edible film, Microorganism.

[*]Corresponding Author E-Mail Address: Babakg1359@yahoo.com