معرفی نانوکامپوزیت‌ها و نانوذرّات ضد میکروبی در مواد بسته‌بندی

محمود حسین‌نژاد
تحصیلات: دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی
پست الکترونیکی: mahmoudhoseinnejad@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: آذر ماه۱۳۸۹
تاریخ پذیرش مقاله: بهمن ماه ۱۳۸۹

چکیده:

اغلب مواد مورد استفاده در تولید بسته‌بندی‌های غذایی به علت عدم تجزیه‌پذیری، سبب مشکلات زیست محیطی می‌شوند، لذا تولیدکنندگان به فکر استفاده از پوشش‌های خوراکی و تجزیه‌پذیر برای حل این مشکل افتادند که این بسته‌ها نیز به علت وجود بعضی از محدودیت‌ها از قبیل نفوذپذیر بودن به رطوبت و گازها و همچنین نداشتن خصوصیات فیزیکی مناسب، کمتر مورد توجّه قرار گرفته‌اند. لذا محققین با استفاده از نانوذرّات از قبیل: رس و سیلیکات به تولید نانوکامپوزیت‌ها پرداخته‌اند تا این نواقص در تولید بسته‌بندی‌های غذایی کاهش یابد.

همچنین می‌توان با الحاق نانوذرّات دیگری از قبیل ذرّات نقره و روی، نانوکامپوزیت‌هایی تولید نمود که قادر به کاهش رشد میکروب‌ها در ماده غذایی خواهند بود، لذا به کمک این اثر ضدمیکروبی قادر به افزایش مدّت نگهداری(۱) محصول خواهیم بود.

واژه‌های کلیدی:

نانوذرّات رس، نانوذرّات سیلیکات، نانو کامپوزیت، نانوذرّات نقره، نانو ذرّات روی و اثر ضدمیکروبی.

۱- مقدمه:

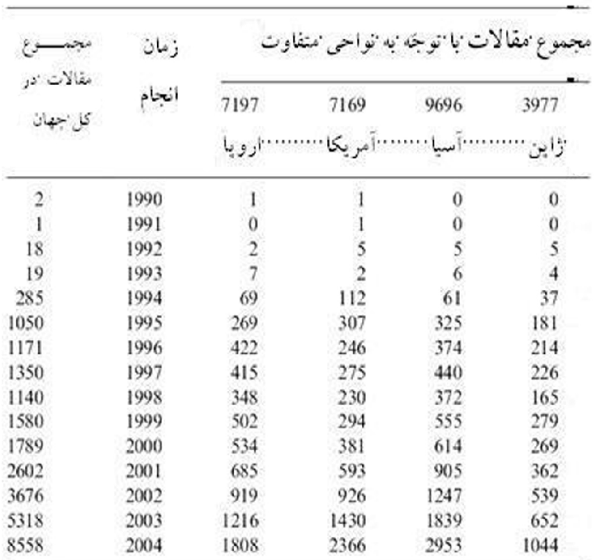
فنّاوری نانو در سال ۱۹۵۹ توسط ریچارد فیمن(۲) که شخصی فیزیکدان بود، مطرح شد و پس از وی، محققین دیگری از جمله: ح. روهرور(۳) و ج.ک.بینینگ (۴) با اختراع دستگاه اسکنر میکروسکوپی تونلی(بعد از سال ۱۹۸۰) که قادر به عکسبرداری از اتم‌ها و مولکول‌های مواد مختلف بود و همچنین سومیو ای‌ییما(۵) با کشف دسته دیگری از نانوموادها به نام نانولوله کربنی(۶)

گام‌های مؤثری جهت پیشرفت فنّاوری نانو در عرصه‌های مختلف برداشتند.[۱]

فنّاوری نانو توانایی کاربرد در مقیاس حدود nm ۱۰۰-۱ را دارد، لذا به علت سطح بالایی که دارند می توانند روی خصوصیات نوری، کاتالیتیکی و خواص شیمیایی مواد متفاوت تأثیر بگذارند.[۱]

جدول(۱) حجم مقالات علمی منتشر شده از سال ۲۰۰۴-۱۹۹۰ در کشورهای آسیایی، اتحادیه اروپا، ایالات آمریکا و کشور ژاپن را در زمینه فنّاوری نانو به صورت کاملاً مجزا نشان می‌دهد.[۳]

جدول ۱- میزان کل تحقیقات علمی روی فنّاوری نانو با توجّه به زمان[۴]



مجموع مقالات با توجه به نواحی متفاوت				زمان انجام	مجموع مقالات در کل جهان
3977	9696	7169	7197		
ژاپن	آسیا	آمریکا	اروپا		
0	0	1	1	1990	2
0	0	1	0	1991	1
5	5	5	2	1992	18
4	6	2	7	1993	19
37	61	112	69	1994	285
181	325	307	269	1995	1050
214	374	246	422	1996	1171
226	440	275	415	1997	1350
165	372	230	348	1998	1140
279	555	294	502	1999	1580
269	614	381	534	2000	1789
362	905	593	685	2001	2602
539	1247	926	919	2002	3676
652	1839	1430	1216	2003	5318
1044	2953	2366	1808	2004	8558

در استفاده از فنّاوری نانو دو قاعده ساختمانی مهم رایج می باشد:[۱]

۱- "top-down" که این روش بر پایه کاهش اندازه مواد پر حجم به وسیله روش‌هایی مانند: آسیاب کردن(۷) نانولیتوگرافی(۸) به ذرّات در حد نانو استوار است که هدف از این روش، تولید نانوموادی بوده که به علت اندازه کوچک‌تر، دارای سطح بیش تری برای کاربردهای مختلف هستند.

۲- "bottom-up" در این روش ساختمان ماده موردنظر، از تجمع اتم‌های منفرد و یا مولکول‌هایی که توانایی جفت شدن را دارند، ساخته می‌شود.

امروزه اغلب مواد استفاده شده برای تولید بسته‌ها، به علت عدم تجزیه‌پذیری، سبب مشکلات زیست محیطی می شوند، لذا بسته‌های جدید بر پایه مواد زیستی(۹) برای تولید فیلم‌های تجزیه‌پذیر و خوراکی برای افزایش زمان ماندگاری و بهبود کیفیت غذاها و کاهش ضایعات مورد استفاده، قرار گرفتند. به هر حال، استفاده از این پلیمرهای خوراکی به علت عدم کنترل مطلوب در مواردی از قبیل: مقاومت در برابر عبور رطوبت، گازها و مسائل مربوط به فرایند و همچنین قیمت، محدود شده است، لذا با افزودن مواد تقویت‌کننده(نانو ذرّات)به پلیمرها می‌توان خصوصیات حرارتی، مکانیکی و خصوصیات ممانعت کنندگی در برابر بخار و گازها را بهبود بخشید که از این مواد تقویت‌کننده می‌توان به خاک رس(۱۰) و سیلیکات(۱۱) اشاره نمود.[۱]

همچنین لازم به ذکر است که با افزودن نانوذرّات نقره و روی به پلیمرها می توان بسته‌های ضدمیکروبی(۱۲) تولید نمود که با ایجاد روزنه در غشاء سلول باکتری، آسیب به DNA.(۱۳) و در نتیجه مرگ میکروارگانیسم‌ها می‌تواند سبب افزایش مدّت نگهداری و کیفیت محصول شود که دلیل اصلی برای افزایش فعالیت ضدمیکروبی برای نانوذرّات فلزی به علت نسبت سطح به حجم بالا در این مواد می باشد. [۲]

۲- معرفی نانوکامپوزیت‌ها(۱۴):

۲-۱- شکل‌گیری کامپوزیت‌ها:

کامپوزیت‌ها از دو قسمت تشکیل شده‌اند:

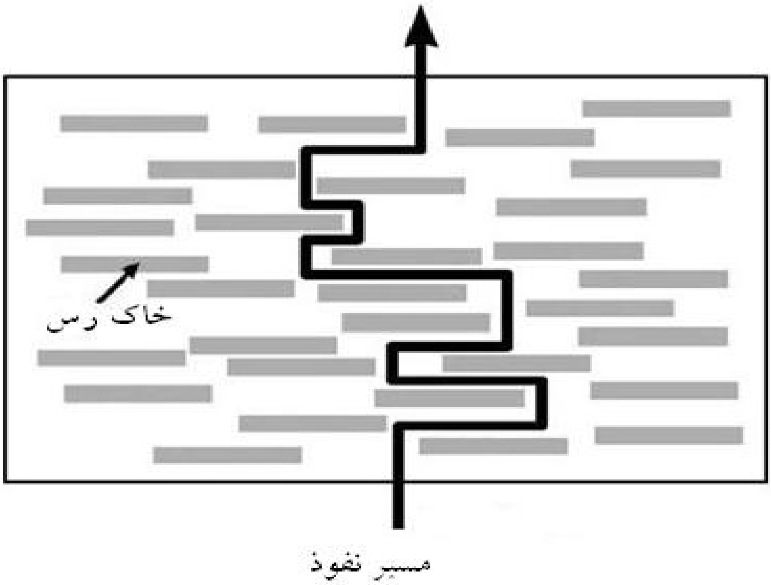
الف) ماده زمینه(بستر)(۱۵): که میزان آن از قسمت تقویت‌کننده بیش تر بوده و نقش حفاظتی در برابر عوامل شیمیایی را برای قسمت تقویت‌کننده دارد؛

ب) قسمت تقویت کننده یا پرکننده(۱۶): ماده‌ای است که به ماده زمینه اضافه می‌گردد مثل: خاک رس و سیلیکات که سبب بهبود خصوصیات ممانعت کنندگی در برابر بخار و گازها شده. اگرچه چندین نانو ذرّه می‌توانند برای بهبود شکل‌گیری کامپوزیت‌ها به پلیمرها اضافه

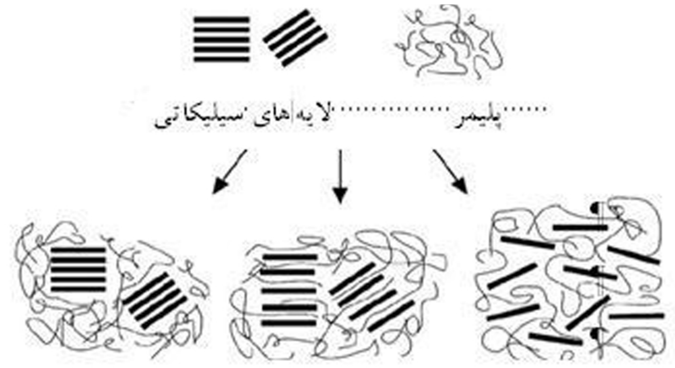
گردد؛ اما صنعت به استفاده از مواد معـدنی(۱۷) مثـل: خـاک رس و سیلیکات‌ها به علت قیمت پایین و ساده بودن قابلیت فرایند تولید توجّه بسیاری نموده است. [۱]

حضور مواد معدنی ماننـد خـاک رس و سـیلیکات‌هـا در فرمولاسیون کامپوزیت‌ها مسیر عبـوری بـرای یـک مولکـول نفـوذ کننـده در سـاختار کامپوزیـت تولیـدی را طـولانی‌تـر می نماید.(شکل ۱)[۱]

در هنگام تولید کامپوزیت‌ها و پخش مـواد غیرآلـی در پلیمرهـا، سـه سـاختار کـامپوزیتی شـامل: یـک سـاختار میکروکامپوزیتی به نام ساختار تکتوئیـد(۱۸) و دو سـاختار نـانو کـامپوزیتی ایـده‌آل بـه اسـامی ایکـسفُلیتید(۱۹) و اینترسلتِد(۲۰) (شکل۲) خواهد گرفت. [۱]



شکل ۱- مسیر پیچ در پیچ یک ماده نفوذ کننده در نانوکامپوزیت رسی



(c) نانوکمپوزیت با پخش همگـــن و یکنواخـــت نانوذرات در پلیمر

(b) نانوکمپوزیـت بـا اجـزاء مخلوط شده در فواصل ثابت

(a) میکروکمپوزیــت بـا اجزاء جدا از یکدیگر

شکل ۲- انواع ترکیبات به دست آمده از واکنش میان پلیمر و نانو ذرّات

همانگونه که در(شکل ۲) مشخص گردیده در ساختار تکتوئید عدم آمیخته شدن مناسب پلیمرها و لایه‌های آلی سبب تجمع(۲۱) مواد آلی در مخلوط شده که نتیجه آن عدم ایجاد خصوصیات ماکروسکوپی در پلیمر تولیدی می باشد.

در نانو کامپوزیت اینترسلتد، به علت نفوذ زنجیره‌های پلیمری بین لایه‌های خاک رس، ساختار چند لایه از لایه‌های پلیمری و غیرآلی به صورت یک در میان و در فواصل چند نانومتر تولید شده است.

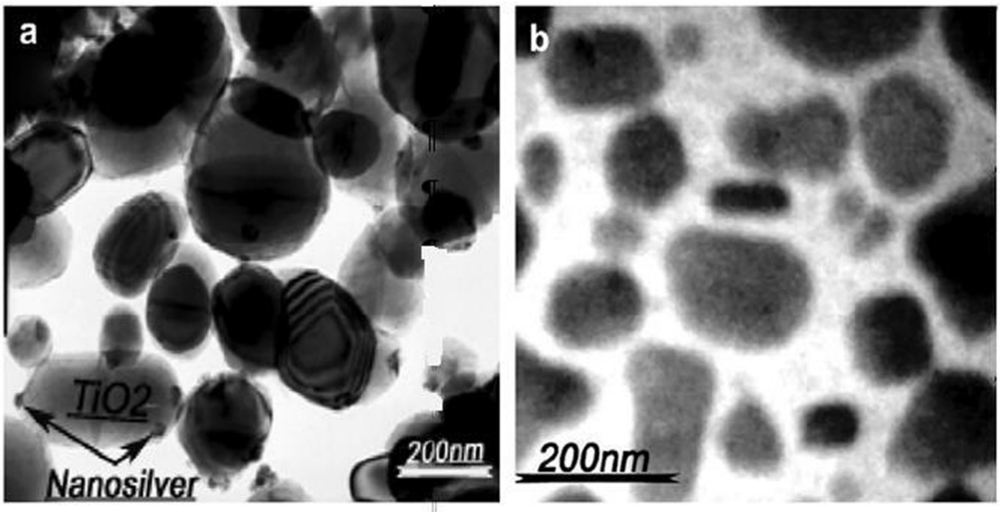
در نانوکامپوزیت ایکسفُلیتید، لایه‌های مواد غیرآلی (معدنی) به صورت تصادفی در ماتریکس پلیمری نفوذ کرده که این نوع ساختار بهترین خصوصیات را به دلیل اثر متقابل بین خاک رس و پلیمر دارا می‌باشد. لایه‌های رسی یک مانع برای گاز و آب تشکیل داده و آن‌ها را وادار نموده که از یک مسیر پیچ در پیچ عبور کنند.[۱]

یکی از مهم‌ترین موادی که برای تولید نانوکامپوزیت استفاده می‌شود مونتمُریللُنیت(MMT)(۲۲) بوده که ترکیب سیلیکات آلومینیوم هیدراته رسی شامل یک بخش هشت وجهی از هیدروکسید آلومینیوم در میان دو لایه چهار وجهی سیلیکاتی است و با الحاق آن به نانوکامپوزیت‌ها می‌توان مواد پلاستیکی سبک‌تر، قوی‌تر و مقاوم‌تر به حرارت ساخت که خصوصیات ممانعت‌کنندگی بهتری در برابر نفوذ مواد از سطح دارند. همچنین گزارش شده که الحاق مواد رسی به مواد نشاسته‌ای ترموپلاستیک، سبب تولید نانوکامپوزیت‌هایی با بهبود خصوصیات مکانیکی و کاهش نفوذپذیری به بخار آب شده است. [۱]

۲-۲- خواص نانوکامپوزیت‌ها:

استفاده از نانوکامپوزیت‌ها در مواد بسته‌بندی ویژگی هایی را به وجود می آورند که عبارتند از:

- افزایش مقاومت به کشش و مقاومت حرارتی؛
- شفافیت بیش‌تر؛
- قابلیت تجزیه‌پذیری در طبیعت؛
- بهبود خصوصیات ممانعت‌کنندگی در برابر بخار آب و گازها.(۲۳)



شکل ۳- میکروسکوپ الکترونیکی از a: پودر p105(حاوی اکسیدتیتانیوم و ذرّات نقره) b: پودر اکسید روی

۳- معرفی پوشش‌های ضدمیکروبی(۲۴):

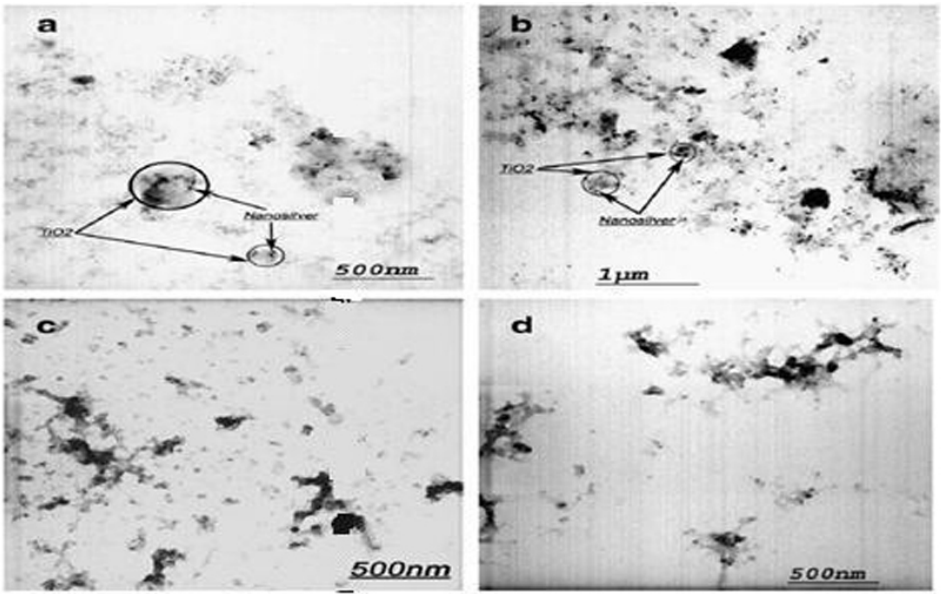
افزودن ترکیبات ضد میکروبی در بسته‌بندی‌های مواد غذایی، اخیراً مورد توجّه قرار گرفته است. این بسته‌بندی‌ها به علت فعالیت ضد میکروبی می‌توانند رشد میکروارگانیسم‌های عامل فساد و پاتورن(بیماری‌زا)(۲۵) را کنترل نمایند. اغلب نانوکامپوزیت‌های مورد استفاده دارای خاصیت ضدمیکروبی بوده و پایه آن‌ها روی ذرات نقره می‌باشد که به خوبی روی رافه گسترده‌ای از انواع میکروارگانیسم‌ها مؤثرند. [۱]

بعضی از مکانیسم‌هایی که برای خصوصیات ضدمیکروبی نانوذرّات نقره در نظر گرفته شده، شامل موارد ذیل می باشند:

ج- آزاد شدن یون‌ها از سطح نانوذرّات به علت باند شدن با غشاء سلول، سبب مرگ سلول شده. [۱ و ۲]

در یک کار تحقیقی دو نوع فیلم ضدمیکروبی LDPE (پلی‌اتیلن با دانسیته پایین) (۲۶) حاوی عوامل ضدمیکروبی شامل پودر p105(که دارای۹۵٪ اکسیدتیتانیوم + ۵٪ ذرّات نقره با قطر حدود ۱۰nm بوده است) و پودر نانوذرّات اکسید روی، تولید شده‌اند.

(شکل ۳) تصویر میکروسکوپی از پودر p105 و پودر zno را نشان داده که ذرّات p105 به صورت کروی بوده و ذرّات zno شش وجهی می‌باشند. برای تولید این فیلم‌های ضدمیکروبی هر یک از پودرهای p105 و zno با درصدهای متفاوت به رزین LDPE اضافه گردید.



شکل ۴- میکروسکوپ الکترونیکی از فیلم های نانوکامپوزیتی(a):پلی اتیلن با ۱/۵ درصد پودر p105 (b): پلی اتیلن با ۵ درصد پودر p105 (c): پلی اتیلن با ۰/۲۵٪ درصد پودر اکسید روی(d): پلی اتیلن با ۱ درصد پودر اکسید روی

الف- چسبندگی سلول‌های سطحی، کاهش لیپوپلی ساکاریدها، ایجاد روزنه در غشاء، آسیب به DNA؛ [۱]

ب- القاء فشار اکسیداتیو که منجر به تولید اکسیژن فعال شده و سبب تخریب ساختار غشاء سلول می گردد؛[۲]

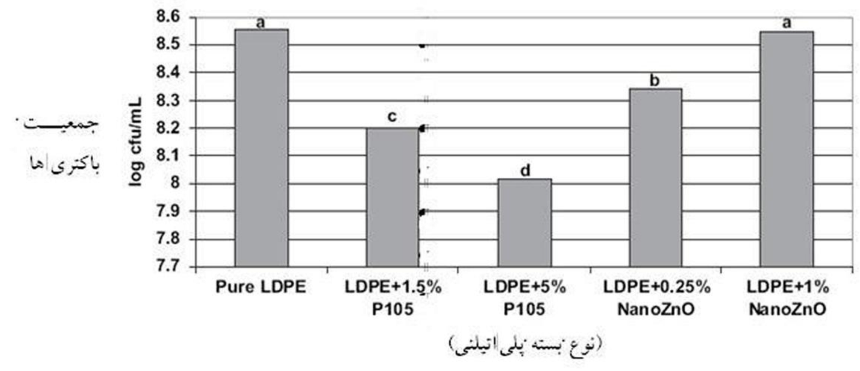
و در یک اکسترودر دو مارپیچی عمل همگن‌سازی صورت گرفت و در نهایت تولید فیلم‌های ضدمیکروبی شامل: LDPE + 1% Nanozno , LDPE + 5% p105 , LDPE + ۰/25% Nanozno و LDPE + ٪1.5 p105 شده است. [۲]

(شکل ۴) تصویر میکروسکوپی هر یک از نانوکامپوزیت‌های ضدمیکروبی را نشان می دهد. در

تصاویر (a,b) (شکل ۴) ذرّات پودر p105 به خوبی در ماتریکس پلیمری پخش شده است؛ اما با افزایش غلظت به ۵٪ تجمع ذرّات(۲۷) (تجمع) رخ داده و تصاویر(c,d) نشان می دهد که در LDPE با Nanozno ۰/25% ذرّات به خوبی در ماتریکس پلیمری پخش شده ولی با افزایش تا حدود ۱٪ میزان تجمع افزایش یافته است.[۲]

در ادامه این تحقیق آمده که آب پرتقال ابتدا تحت شرایط آزمایشگاهی استریل تولید و سپس 8/5log cfu/ml (۲۸) مقداری از باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم L.P (۲۹) به آن منتقل گردید و در ادامه آب پرتقال حاوی L.P لاکتوباسیلوس به هر یک از بسته‌ها انتقال و مقاومت میکروب بعد از ۷ ، ۲۵ ، ۵۶ ، ۸۴ و ۱۱۲ روز، مورد ارزیابی قرار گرفت. [۲]

(شکل ۵) اثر نوع بسته‌بندی را در کاهش مقدار میکروب مورد نظر نشان داده، همانگونه که مشخص بوده در همه بسته‌ها به غیر از LDPE خالص و Nanozno ۱٪ + LDPE کاهش مهمی در میزان جمعیت میکروبی مشاهده شده و علت افزایش جمعیت میکروبی در Nanozno ۱٪ + LDPE تجمع نانو ذرّات در طول تولید فیلم نانوکامپوزیتی می‌باشد و بیش ترین اثر ضدمیکروبی مربوط به P105 ۵٪ + LDPE بوده است. [۲]



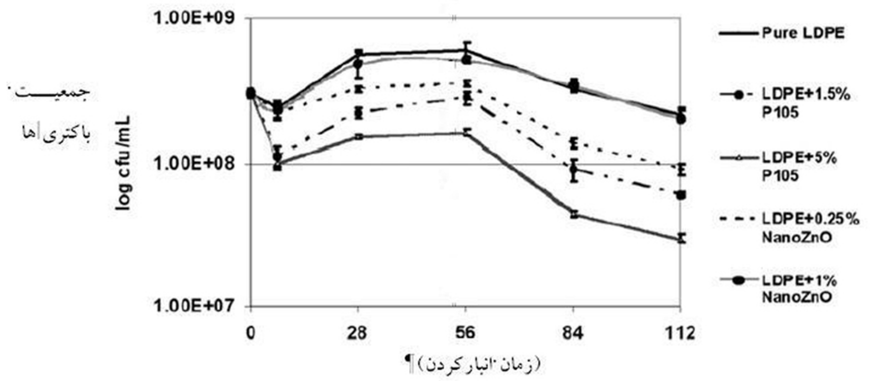
شکل ۵- استفاده از مواد پلیمری مختلف و نتایج حاصل از کاهش تأثیر مقدار میکروب

همانگونه که از(شکل ۶) مشخص می‌باشد، جمعیت میکروبی در تمام پنج بسته مورد آزمایش تا ۷ روز افزایش یافته و بعد از مدّت زمان ۷ روز، میزان باکتری‌ها در نانوکامپوزیت‌های حاوی ۵٪ P105 در مقایسه با سایر بسته‌ها، کاهش بیش تری داشته است. همچنین بعد از ۵۶ روز انبار کردن بسته‌ها مشاهده شد که میزان جمعیت میکروبی در بسته‌های خالص LDPE به میزان 8.82 log CFU/ml بوده که در مقایسه با سایر بسته‌ها دارای جمعیت بیش تری بوده و نکته مهم این است که بیش ترین کاهش باکتری‌ها در بسته‌های حاوی P105 مشاهده شده است. در یک کار تحقیقی دیگر مشاهده گردید که پلی‌آمید پر شده با ۲٪ نانو ذرّات نقره بر کاهش باکتری اشرشیاکلی حتّی بعد از غوطه‌ورسازی در آب به مدّت ۱۰۰ روز مؤثر بوده است.[۱]

۴- ارزیابی افزودن و کاربرد نانوذرّات در بسته‌بندی مواد غذایی:

امروزه تمایل زیادی برای تولید نانوکامپوزیت وجود دارد که این نانوکامپوزیت‌ها شامل پلیمرهای ارگانیکی و نانوذرّات Tio_2 (۳۰) و Sio_2 (۳۱) بوده که امکان آزاد شدن این مواد از نانو کامپوزیت‌ها و ایجاد خطر برای مصرف‌کننده وجود دارد. [۴]

در سال ۲۰۱۰ آریو امامی فر(۳۲) نشان داده که میزان مهاجرت یون‌های نقره به داخل آبمیوه بعد از ۱۱۲ روز،کمتر از ۱۰ppm بوده و میزان مهاجرت یون‌های نقره



شکل ۶- اثر بسته‌های حاوی نانو ذرّات نقره و روی بر جمعیت باکتری لاکتو باسیلوس پلانتاروم در طول ۱۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

جدول ۲- میزان انتقال یون های نقره و روی از فیلم‌های پلی اتیلنی حاوی ذرّات نقره و روی به آب پرتقال در مدّت **۱۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی** گراد

غلظت یون	مدّت انبار کردن	Film type			
		LDPE+ 1.5%P105	LDPE+5%P105	LDPE+025٪ Nano Zno	LDPE+1٪ Nano Zno
	۲۸	ND*	0.1±0.003		
	۵۶	ND	0.11±0.005		
نقره	۸۴	ND	0.13±0.005		
	۱۱۲	ND	0.15±0.002		
	۲۸			0.16±0.007	0.11
					±0.005
روی	۵۶			0.26±0.006	0.13
					±0.004
	۸۴			0.48±0.002	0.30
					±0.005
	۱۱۲			0.68±0.002	0.54
					±0.005

(تعیین نشده)

در مقایسه با یون‌های روی، کمتر بوده است(جدول۲)، با توجّه به اینکه روی جزء مواد GRAS(۳۳) شناخته شده میزان کم آن برای مصرف‌کننده مورد پذیرش بوده است. [۲]

در نتیجه جهت کاهش ورود نانوذرّات به غذا می‌توان از روش‌هایی از قبیل: تثبیت بهتر نانوذرّات در نانوکامپوزیت‌ها، جلوگیری کردن از صدمات اکسیداتیو به پلیمرها به وسیله نانوذرّات و تغییرات در سطح و ساختار نانوذرّات استفاده نمود.[۴]

۵- نتیجه‌گیری:

امروزه اکثر فیلم‌های بسته‌بندی بر پایه مواد نفتی هستند. البته علیرغم مزایایی مانند قیمت پایین و فرایند تولید آسان، دارای معایبی از قبیل نفوذپذیری به گازها ورطوبت، بو وطعم و نیز عدم تجزیه‌پذیری هستند که سبب مشکلات زیست محیطی می‌گردند. لذا با افزودن مواد خاص به مواد بسته‌بندی و تولید نانوکامپوزیت، می‌توان این مشکلات را تا حدود زیادی مرتفع نمود. از جمله این مواد، می‌توان به ترکیبات خاک رس اشاره نمود که قابلیت فرایند بالایی داشته و همچنین به علت فراوانی و در دسترس بودن می‌تواند به عنوان ترکیب افزوده شده در پلیمرهای پلاستیکی اضافه گردد تا با تولید نانوکامپوزیت‌های خاک رس- پلیمر علاوه بر بهبود

خواص مکانیکی، پلیمر تولیدی سبب افزایش ماندگاری محصول به علت حفاظت محصول در برابر گازها و رطوبت می شود که این بسته‌ها اخیراً در بسته‌های آبمیوه، محصولات لبنی و گوشتی در سطح اروپا مورد استفاده قرار گرفته اند. از طرفی استفاده از نانوکامپوزیت‌های تجزیه‌پذیر که ماده اصلی سازنده در ساختار آن‌ها بر پایه مواد طبیعی از قبیل: پلی‌ساکارید پروتئین و لیپیدها بوده، جدیداً مورد توجّه قرار گرفته که با افزودن نانو ذرّاتی از قبیل: خاک رس و ترکیبات سیلیکاتی می‌توان علاوه بر افزایش استحکام و کاهش نفوذپذیری این بسته‌ها، زمینه تجزیه‌پذیری آن‌ها را فراهم نمود؛ اما باید به این نکته توجّه داشت که این نوع ترکیبات نانو کامپوزیتی به علت پیچیدگی فرایند تولید و افزایش هزینه‌های اقتصادی در رقابت با مواد پلیمری از استقبال کمتری در زمینه بسته‌بندی در صنعت برخوردار می باشند. در خصوص مواد بسته‌بندی حاوی مواد ضد میکروبی می‌توان گفت: با توجّه به خصوصیات بی‌نظیر این ترکیبات در برابر باکتری‌ها، قارچ‌ها و فعالیت ضد ویروسی این نانو ذرّات، می‌توان اقدام به ساخت سطوح ضد میکروبی نمود و با افزودن مقداری از این مواد به پلیمرهای بسته‌بندی پوشش‌های ضد میکروبی تولید کرد. از این نانو مواد می‌توان به ذرّات نقره، روی و تیتانیوم اشاره نمود. اخیراً در کشور ژاپن از ترکیب زئولیت نقره در پلیمرهایی مثل: پلی‌اتیلن و پلی-پروپیلن به عنوان پوشش ضد میکروبی در بسته‌های غذایی استفاده می نمایند که با استقبال عمومی مواجه شده است. سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA)(۳۴) مجوز استفاده از این ترکیبات را تا حد مشخصی صادر نموده مثلاً یون نقره تا حداکثر غلظت ۱۰mg/litr اثر سمّی بر روی سلول انسانی ندارد. علیرغم موارد گفته شده، ترس مصرف‌کنندگان از مهاجرت این یون‌ها به ماده غذایی و مسمومیت و افزایش هزینه‌های تولید و شرایط خاص تولید، امکان تولید صنعتی برای این نوع بسته‌بندی‌ها در کشور وجود ندارد.

۶- پانوشت:

1. Shelf life 2. Richard Feyman
3. H.Rohrer 4. G.K.Binning
5. Sumio Iiyima 6. Carbon nanotube
7. Milling 8. Nanolithography
9. Bio-based 10. Clay
11. Silicate 12. Antimicrobial packaging
13. Deoxyribonucleic acid
14. Nanocomposites 15. Matrix
16. Filler 17. Inorganic
18. Tactoid structure 19. Exfoliated
20. Intercalated 21. Agglomeration
22. Montmorillonite 23. Barrier
24. Antimicrobial films 25. Pathogens
26. Low density polyethylene
27.Oligomerization 28.Colony forming unit

واحد تشکیل دهنده کلنی. 8/5log cfu/ml :یعنی در هر میلی لیتر از محلول ۱۰ به توان ۸/۵ کلنی باکتری وجود دارد که این مقدار به آبمیوه منتقل می گردد.

29. lactobacillus plantarum
30. Titanium dioxide

دی اکسید تیتانیوم – شکل اکسید شده فلز ثیتانیوم است.

31. Silicon dioxide

دی اکسید سیلیکون – نوعی ماده معدنی بوده که دارای خاصیت ضد چسبندگی و ویژگی جذب آب بالایی دارد.

32. Aryou Emamifar
33. Generally recognized as safe

یعنی مواد افزودنی که توسط اداره غذا و دارو برای مصرف انسان سالم تشخیص داده شده باشند.

34. Food and drug administration

۷- منابع:

۱. مرتضوی و همکاران، دکتر سید علی. «کاربرد نانو بیوتکنولوژی در صنایع غذایی». چاپ ۱۳۸۷.

2. Henriette M. Cde Azeredo ."Nano composites for food packaging applications". 2009.

3. Aryou Emamifar & Mahdi Kadivar & Mohammad Shahedi & Sabihe Soleimanian - zad. "Effect of nanocomposite packaging containing Ag and Zno on inactivation of lactobaciallus planttarum in orange juice". 2010.

4. kumiko miyazaki & Nazrulisakm. "Nanotechnology systems of innovation- an analysis of industry and academia research activities". 2007.

5. L.Reijnders. "The relase of Tio_2 and Sio_2 Nanoparticles from Nanocomposto nano-and biomaterials". Journal of materials chemistry,13,2671–2688. 2009.

آدرس نویسنده:

تهران – میدان صنعت – خیابان پیروزان جنوبی نبش
کوچه پنجم – ساختمان اسراء.