بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی فیلمهای تهیه شده حاوی نانوذرات اکسید سیلیسیوم با پایه پلی ساکارید آرد سویا

داود سالارباشی*[1]، مصطفی شهیدی نوقابی[2]، بی بی صدیقه فضلی بزاز[3,4]سید علی مرتضوی[5]، ایمان شهابی قهفرخی[6]، رضا احمدی[7]

۱- گروه مهندسی شیمی و صنایع غذایی ، واحد زرین دشت، دانشگاه آزاد اسلامی ، زرین دشت ، ایران

۲- گروه شیمی موادغذایی، پژوهشکده علوم وصنایع غذایی، مشهد، ایران

۳- مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی،دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

۵-گروه مهندسی علوم وصنایع غذایی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۶- گروه مهندسی علوم وصنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۷- گروه پزشکی خانواده، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

چکیده

بیوپلیمرهای مشتق شده از منابع طبیعی که سهم زیادی از توجهات را در سال های اخیر بخود جلب نموده اند، بعنوان جایگزین های فیلم های پلاستیکی غیرزیست تخریب پذیر متداول در نظر گرفته می شوند چرا که هزینه آن ها پایین است و به آسانی از منابع تجدیدپذیر و زیست تخریب پذیر در دسترس اند.در این پژوهش، تاثیر غلظتهای مختلف اکسیدسیلیسیوم بر ویژگی-هایفیزیکوشیمیایی و میکروبی فیلم خوراکی بر پایه پلی ساکارید محلول دانه سویا بررسی گردید.فیلم‌های نانوکامپوزیتی با افزودن نانو ذرات اکسید سیلیسیوم در غلظت‌های مختلف (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بر پایه وزن خشک) به پلیساکارید آرد سویا، تولید گردید. نانو کامپوزیت حاصل، با هدف بررسی ویژگی‌های میکروبی به روش قالب‌ریزی محلول، سنتز شد.با افزایش غلظت نانوذرات در فیلم ها، میزان رطوبت آنها به طور معنی داری کاهش یافت.فیلم پلی‌ساکاریدپایه بسیار شفاف بود اما افزایش غلظت اکسید سیلیسیوم، میزان شفافیت فیلم ها را کاهش داد. نانواکسیدسیلیسیوم دارای اثر ضد میکروبی نیست.نتایج نشان داد که نانوذرات اکسید سیلیسیوم می توانند در ماتریس پروتئینی سویا برای تولید فیلم استفاده گردند. فیلم کامپوزیتی تولید شده در این پژوهش را می توان برای کاربردهای غذایی و به عنوان ماده بسته بندی زیست تخریب پذیر استفاده نمود.

واژه های کلیدی: خصوصیات فیزیکوشیمیایی، خصوصیات میکروبی، نانو ذرات اکسید سیلیسیوم، نانوکامپوزیت‌ها.

*مسئول مکاتبات: dsalarbashi@iauzarindasht.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

امروزه میلیون‌ها تن پلاستیک هر ساله در سراسر جهان تولید می شوند و تولید و مصرف آنها روبه افزایش است. عدم قابلیت زیست تخریب پذیری آنها سبب بروزمشکلات زیست محیطی جدی شده است. به همین دلیل، مواد زیست تخریب‌پذیر، در طی چند دهه گذشته به‌عنوان جایگزینی برای پلیمرهای تجزیه ناپذیر، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بیوپلیمرهای مشتق شده از منابع طبیعی که سهم زیادی از توجهات را در سال های اخیر به خود جلب نموده‌اند، به عنوان جایگزین‌های فیلم‌های پلاستیکی غیرزیست تخریب پذیر متداول در نظر گرفته می‌شوند چرا که هزینه آنها پایین است و به آسانی از منابع تجدیدپذیر و زیست تخریب پذیر در دسترس اند (۱و۳).پلیساکاریدها به‌دلیل فراوانی و قیمت کم، برای تولید اینگونه بسته‌بندی‌ها مورد استفاده قرار می-گیرند، اما نفوذپذیری بالا به گازها و مقاومت مکانیکی ضعیف، استفاده از این پلیمرها را در صنعت محدود می-کند(۱۵).پلیساکارید محلول دانه سویا، از مواد دیواره سلولی دانه های سویای استخراج می‌شود. این پلی‌ساکارید،دارای ساختاری مشابه پکتین بوده و متشکل از ستون گالاکتورونان هموگالاکتو-رونان(آلفا)۴-۱ گالاکتورونان) و رامنوگالاکتورونان(واحدهای تکرارشونده آلفا۱ و ۲ رامنوز و آلفا ۱ و ۴ گالاکتورونیک اسید) که توسط بتا ۱ و ۴ گالاکتان و آلفا۱و ۳ یا آلفا۱-۵ آرابینان شاخه دار، است(۱۳).ویژگی‌های فیلم‌پذیری این ماده بسیار خوب بوده و قادر به تولید فیلم‌های قابل تجزیه با ویژگی فیزیکی و ساختاری مطلوب می‌باشد.با این حال،فیلم‌های تهیه شده از این پلی‌ساکارید حساس به رطوبتبوده و نسبت به‌عبور انواع گازها، نفوذپذیری بالایی دارد(۱۰). خواص فیزیکیضعیف و ویژگی‌های مکانیکی ضعیف این پلیمر زیستی، استفاده از آنها صنعت بسته‌بندی را محدود می‌کند و باید با استفاده از شیوه‌های نوین این محدودیت‌ها را جبران نمود(۱۶).مهمترین عامل استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی توانایی آنها در فراهم کردن مانع در مقابل موادی مانند رطوبت، اکسیژن، طعم، رنگ و روغن می‌باشد که نتیجه آن افزایش کیفیت و ماندگاری ماده غذایی است. بنابراین نفوذپذیری فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نسبت به این مواد مورد توجه قرار گرفته است. خاصیت قطبی یا غیر قطبی مواد سازنده فیلم میزان ممانعت کنندگی فیلم‌ها و پوششهای خوراکی را تعیین می‌کند. برای مثال وجود چربی آب گریز در ساختار فیلم نفوذپذیری آنرا نسبت به رطوبت کاهش می‌دهد. به این علت که پلاستی‌سایزرهای شامل آب بطورکلی نفوذپذیری فیلم را افزایش می‌دهند بنابر این نفوذپذیری فیلم‌ها نسبت به مواد قطبی و غیرقطبی با افزایش میزان پلاستی‌سایزر افزایش می‌یابد. عامل مهم در بهبود خواص ممانعتی فیلم‌های خوراکی انتخاب نوع ماده سازنده فیلم، نوع و مقدار پلاستی‌سایزر و شرایط تشکیل فیلم است که در نهایت موجب بهبود انعطاف پذیری، انحلال و قدرت فیلم می‌شوند. (۴). مواد نانوکامپوزیت تهیه شده از طریق پروتئین سویای نرم شده با گلیسرول بعنوان چارچوب و سیلیکا بعنوان فاز تقویت کننده مورد بررسی قرار گرفتند (۱۴). نانوذرات سیلیکا در محیط پروتئینی با منبع سدیم سیلیکات سنتز می‌شوند. نتایج نشان داد که ذرات سیلیکا بصورت همگن در پروتئین سویا پراکنده می‌شوند (در مقادیر کمتر از ۸٪)(۱۴). ذرات سیلیکا چسبندگی بالایی با چارچوب پروتئین از طریق پیوند هیدروژنی دارند. اختلاط سیلیکا بعنوان یک عامل تقویت کننده در بهبود خواص مکانیکی و حرارتی پلاستیک‌های پروتئین سویا موثر بوده است. افزودن ۰/۳٪ نانو اکسید سیلسیوم می‌تواند نفوذپذیری اکسیژن فیلم پروتئین سویا را افزایش دهد. نانوکامپوزیت-های سبز از پروتئین سویا با پخش کردن نانو پودر پوسته تخم مرغ به همراه گلیسرول بررسی شده‌اند(۱۱). ساختار شیمیایی، مشتقات و کاربردهای پلی ساکاریدهای محلول سویا به عنوان غذای کاربردی مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که این زیست پلیمر دارای پایه غذایی است لذا استفاده از آن در بسته‌بندی مواد غذایی مطلوب‌تر می‌باشد. تحقیقات اخیر نشان داده است که این پلیمر دارای پتانسیل زیادی برای تبدیل شدن به یک ماده بسته‌بندی کارا است. لذا اصلاح آن با استفاده از روش‌های پیشنهادی در بالا می‌تواند گام نوینی در توسعه یک پلیمر زیست تخریب‌پذیر باشد.(۹). بنابراین انجام تحقیق جامع و کامل در مورد نانو

Archive of SID

www.SID.ir

کامپوزیت‌ها و کاربرد احتمالی آنها در صنایع بسته بندی کشور امری لازم و ضروری است. در این راستا، در این پژوهش ابتدا فیلم خوراکی بر پایه پلی ساکارید محلول دانه سویا با استفاده از غلظتهای مختلفاکسید سیلیسیوم و به روش قالب ریزی تولید گردید. سپستاثیر غلظتهای مختلفاکسید سیلیسیومبر ویژگی‌های میکروبی فیلمتولیدی،بررسی گردید.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

پلی ساکارید آرد سویا به عنوان ماتریس پلیمری پلی ساکاریدهای محلول در آب هستند که از دانه سویا استخراج میشوند واز شرکت روغن فوجی*تهیه شد. نانو ذره اکسید سیلیسیوماز شرکتساترن†خریداری شد.باکتری‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل باسیلوس سرئوس (Bacillus cereus, PTCC1247)،اشرشیاکلی-PTCC 1330 ATCC 8739و استافیلوکوکوس اورئوس -PTCC 1112 ATCC 6538 Pبودند که از مرکز PTCC کرج تهیه گردید. مخمر کاندیدا آلبیکنز (Candida albicans) و کپک پنی سیلیوم اکسپانسوم (Pencillium expansum)نیز از مواد غذایی ایزوله، و تهیه شدند.

۲-۲- آماده سازی فیلم

فیلم‌ها با استفاده از روش قالب‌ریزی و مطابق روش Tajik و همکاراندر سال ۲۰۱۳ با اندکی اصلاح تهیه شدند(۱۳). برای تهیه محلول ۱ درصداز این فیلم، مقدار ۱ گرم (w/v) پلی-ساکارید را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب ریخته و با هم‌زن مغناطیسی در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد.برای نرم شدن فیلم‌های تولیدی، مقدار ۲۵ درصد وزن ماده خشک آن‌ها گلیسرول به‌عنوان پلاستی‌سایزر‡اضافه گردید.هم‌زمان نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵درصداز نانوذراتاکسید سیلیسیومبه محلول اضافه شد.محلول‌ها در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک شبانه روز گرمخانه گذاری شد. بعد از خشک شدن، فیلم‌ها جدا شدند و برای آزمایش‌های بعدی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۵ درصد نگهداری شدند.

۲-۳- میزان رطوبت

مقدار رطوبت فیلم‌ها از طریق خشک کردن آنها در یک آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتی گراد، تا رسیدن به یک وزن ثابت انجام گرفت.

۲-۵- نفوذ پذیری نسبت به بخار آب

برای محاسبه نفوذپذیری به بخار آب از روش حسینی وهمکاران (۲۰۰۹)استفاده گردید(۶). استفاده گردید. نمونه-ها قبل از آزمون در دسیکاتور حاوی نیترات منیزیم (برای ایجاد رطوبت نسبی ۵۳درصد)قرار داده گرفته و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. ابتدا درون ظروف شیشه ای کلرید کلسیم بدون آب ریخته و سطح ظروف به وسیله فیلم‌های بدون چروکیدگی و سوراخ پوشانده شده و سپس با استفاده از پارافیلم و به کمک پارافین مذاب درب بندی شدند. برای حفظ گرادیان رطوبت نسبی ۷۵ درصد عبوری از فیلم‌ها، از محلول اشباع کلرید سدیم (رطوبت نسبی ۷۵ درصد) در داخل دسیکاتور استفاده شد. اختلاف رطوبت نسبی در دو سمت فیلم در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، فشار بخاری معادل ۱۷۵۳/۵۵ پاسکال ایجاد می‌کند. بدین ترتیب تغییرات وزن ظرفها طی زمان با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ±۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. منحنی تغییرات رسم و شیب هر خط رسم شده به وسیله رگرسیون خطی محاسبه گردید. نرخ انتقال بخار آب (WVTR) از تقسیم شیب خط کشیده شده (Slope)بر سطح فیلم (A) بدست میآید:

$$WVTR = Slope / A \qquad (۲)$$

با توجه به معادله ۲ با ضرب کردن ضخامت فیلم (X) و تقسیم بر اختلاف فشار بین رطوبت نسبی درون سلولها و رطوبت نسبی دسیکاتور(ΔP) ، نفوذ پذیری به بخار آب (WVP)بدست میآید:

$$WVT = \frac{WVTR \times X}{\Delta P} \qquad (۳)$$

*Fuji Oil Co. (Osaka, Japan)
†Southern Clay Co. (Gonzales, TX, USA)
‡Plasticizer

Archive of SID

www.SID.ir

۶-۲- میزان کدورت

برای اندازه‌گیری کدورت فیلم‌ها، از طیف‌سنج (UV/Vis spectrophotometer, Shimadzu, model 1601 PC, Tokyo, Japan) استفاده شد. فیلم‌های تولیدی را در ابعاد ۱×۶ سانتی‌متر برش داده و آنها را در دو طرف قسمت شفاف کووت شیشه‌ای قرار دادیم و میزان جذب در طول موج ۶۶۰ نانومتر ثبت گردید(۶).

۷-۲-آزمون درصد بازدارندگی و مهارکنندگی برای کپک ها

محیط کشت آگاردار مورد استفاده در آزمون درصد مهارکنندگیکپکها، محیط کشت اختصاصی Sabro Dextrose Agar(SDA) است.نانوذرات اکسیدسیلیسیوم، ابتدا به روش دیسپرسیون نانوذرات در محیط کشت مایع، در محلولهای استریل شده کازئینات سدیم ۲۰ درصد و۲۰Bovine Serum Albumin (BSA) درصد مخلوط می‌گردد. سپس با توجه به اینکه محیط کشت آگاردار SDA، بعد از اتوکلاو سرد و منجمد می‌گردد جهت اضافه نمودن نانوذرات دیسپرس شده در محلول های ۲۰ درصد کازئینات و BSA در محیط کشت SDA، ابتدا محیط کشت SDA را در مایکروویو ذوب کرده و در ادامه محلولهای حاوی نانوذرات را به محیط کشت ۱۰SDA اضافه نموده و بلافاصله عمل دیسپرسیون در اولتراتراکس به مدت ۱ دقیقه، با توجه به منجمد شدن سریع محیط کشت SDA صورت می‌گیرد. بعد از آماده شدن محلول حاوی نانوذره دیسپرس شده در محیط کشت SDA و کازئینات سدیم و یا BSA، ۱۲ سی سی به پلیت اول منتقل می شود. در ادامه جهت سایر رقت‌ها به تعداد رقت‌هایی که بایستی تهیه کنیم، باید لوله آزمایش بزرگ، استریل شده وجود داشته باشد، که در هر کدام ۱۲ سی سی از محیط کشت SDA ذوب شده در مایکروویو اضافه کرده و سپس جهت جلوگیری از منجمد شدن محیط کشت SDA، لوله-های آزمایش حاوی محیط کشت SDA را در جا لوله ای و در درون آب ۸۰-۷۰ درجه سانتی گراد حمام آب نگه میداریم. رقت‌های دیگر شامل :۱/۲۵ میلی گرم بر میلی لیتر،۲/۵ میلی گرم بر میلی لیتر ، ۵ میلی گرم بر میلی لیتر و ۱۰ میلی گرم بر میلی لیتر بودند. جهت تهیه کشت ۷ روزه از کپکها جهت آزمون درصد مهارکنندگی، ابتدا از محیط کشت اصلی حاوی کپکهای رشد کرده با سرست پاستور، یک دایره برش خورده از این محیط کشت تهیه کرده و به وسط یک پلیت حاوی محیط کشت SDA، اضافه می کنیم. سپس به مدت ۷ روز در انکوباتور نگهداری می‌کنیم. جهت نمونه شاهد در آزمون درصد مهارکنندگی کپکها یک دایره برش خورده از کشت اول ۷ روزه کپکها، به مرکز یک پلیت که فقط حاوی محیط کشت SDA بوده منتقل می-کنیم و به مدت ۷ روز در انکوباتور نگهداری می‌کنیم.بعد از ۷ روز، قطر هاله‌های ایجاد شده از رشد کپکها در پلیت‌های کشت شده با استفاده از ابزار اندازه‌گیری کولیس انجام می-شود.با استفاده از قطر هاله‌های اندازه‌گیری شده و براساس فرمول زیر، زمانی که نسبت ۱۰۰ درصد در مورد قطر هاله یکی از پلیت‌های حاوی نانوذره و محیط کشت SDA حاصل شود، درصد مهارکنندگینانوذره اکسید سیلیسیوم مشخص شده است.

d_c= قطرهاله ی کپک مورد نظر محیط کشت فاقد نانوذره (قطر هاله کنترل)

d_t= قطر هاله ی کپک مورد نظر در محیط کشت حاوی نانوذرات دیسپرس شده

$$\text{درصد مهارکنندگی رشد میسل‌های کپک (MGI)} = \frac{(d_c - d_t)}{d_c} \times 100 \quad (۵)$$

لذا، علاوه بر قطر هاله در روز هفتم، قطر هاله کپک در روز اول گرمخانه گذاری باید اندازه‌گیری شود. زمانی که عدد صورت کسر تقسیم بر مخرج برابر ۱ باشد یا به عبارت دیگر، قطر هاله ی رشد کپک در محیط کشت SDA حاوی درصد مشخص نانوذره، برابر قطر دهانه پیپت پاستور باشد، نشان دهنده ی عدم رشد کپک خواهد بود.کپک مورد بررسی در این پژوهش پنی سیلیوم اکسپانسومبود(۱۲). چنانچه براساس محاسبات، در یکی از محیط کشت‌های SDA، حاوی نانوذره به ۱۰ درصد=MGI برسیم، این محیط کشت حاوی نانوذره و درصدهای بیشتر نانوذره در محیط کشت SDA، برای تهیه کشت ۷ روزه کپک در محیط کشت SDA جدید استفاده خواهد شد، چنانچه در کشت‌های هفت روزه مورد نظر جدید، کپک رشد داشته و تشکیل هاله دهد، نشان دهنده عدم نابودی کپک با وجود

Archive of SID

www.SID.ir

جلوگیری از رشد آن در حضور درصد مشخص نانوذره خواهد بود. چنانچه در کشت ۷ روزه‌ای از کپک، هاله تشکیل نگردد، نشان دهنده ی نابودی کپک در حضور درصد مشخص نانوذره خواهد بود و کمترین درصدی از نانوذره که نابودی کپک و عدم تشکیل هاله در آن مشاهده گردد به عنوان درصد حداقل کشندگی کپک (MBC) شناخته می‌شود(۱۲).

۸-۲-آزمون تعیین حداقل غلظت کشندگی باکتری‌ها و مخمرها

جهت تعیین حداقل غلظت کشندگی در باکتری‌ها و مخمرها، از چاهک‌های حاوی محیط کشت Broth و باکتری و مخمر تلقیح شده که بعد از ۲۴ ساعت گرمخانه گذاری و اضافه شدن نمک تترازولیوم، به رنگ قرمز تغییر ندادند را با استفاده از آنس حلقوی، به یک محیط کشت آگاردار عمومی مانند MHA(Mullen Hinton Agar) منتقل می‌کنیم. چنانچه بعد از یک روز گرمخانه گذاری در رقت موردنظر، باکتری و مخمر رشد کرده باشند، نشان می-دهد که نانوذره در این درصد با وجود جلوگیری از رشد باکتری یا مخمر، قادر به نابودکردن آنها نبوده است. اما چنانچه در محیط کشت آگاردار کشت یک روزه، باکتری یا مخمر رشدی نداشته باشد و تشکیل کلونی هم نداده باشد، نشان دهنده نابودی آنها است و حداقل درصدی از نانوذره که باکتری یا مخمر را نابود کند، حداقل غلظت کشندگی محسوب می‌گردد. باکتری‌مورد بررسی در این آزمون، باسیلوس سرئوسبود. مخمر مورد ارزیابی نیز کاندیداآلبیکنز بود(۲). جهت دیسپرسیون نانوذره اکسید سیلیسیومدر آب دیونیزه استریل انجام شد. بعد از اتوکلاو نمودن محلول ۲۰ درصد محیط کشت BSA، نانوذرات را به محلول ها اضافه و با دستگاه اولتراتراکس و سپس اولتراسوند دیسپرس نمودیم. در هر چاهک پلیت ۹۶ خانه، علاوه بر ۲۰۰ میکرولیتر از محیط کشت حاوی نانوذره، ۱۰ میکرولیتر از رقت10^6 یاکتری و مخمر منتقل گردید. جهت مشخص نمودن، حداقل بازدارندگی مخمر و باکتری در بین درصدهای مختلف نانوذره مورد بررسی از معرف نمک تترازولیوم استفاده گردید. محلول نمک تترازولیوم در برابر تغییر اسیدیته محیط کشت و کاهش pHتغییر رنگ به قرمز می‌دهد. چنانچه حضور نانوذرات در درصد مشخص مورد بررسی قادر به جلوگیری از رشد مخمر یا باکتری نباشد، مخمر و باکتری در نتیجه مصرف ترکیبات قندی محیط کشت و فرآیند تخمیر تولید اسید نموده و در نتیجه pH محیط کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی محلول نمک تترازولیوم تغییر رنگ به قرمز داده و نشان دهنده رشد مخمر یا باکتری در چاهک حاوی نانوذره است. به عبارت دیگر، تغییر رنگ نمک تترازولیوم به قرمز نشان دهنده توانایی رشد مخمر یا باکتری با وجود نانوذره و عدم تغییر رنگ تترازولیوم، نشان دهنده رقتی از نانوذره بود که مانع از رشد مخمر یا باکتری شده و در نتیجه pH محیط کشت تغییر نکرده است. باکتری های مورد بررسی در این پژوهش شامل باسیلوس سرئوس، اشرشیا کلی و استافیلوکوکوس اورئوس بودند. مخمر مورد ارزیابی نیز کاندیدا آلبیکنز و کپک مورد بررسی پنیسیلیوم اکسپانسوم بودند(۲).

۹-۲-روش آماری

آنالیزهای آماری اختلاف بین تیمارهای مختلف، براساس طرح آماری فاکتوریل کاملا تصادفی با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA)در سطح احتمال ۵ درصد تعیین شد. با توجه به بررسی نسبت‌های ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصداز نانوذرات اکسید سیلیسیوم، تعداد کل نمونه‌ها ۴ مورد بود. کلیه آزمایشات در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار مینی تب نسخه ۱۶ انجام شد.

۳-نتایج

۱-۳- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی

نتایج حاصل از ارزیابی خصوصیات فیزیکی فیلم‌های تولید شده حاوی نانوذرات اکسید سیلیسیوم در جدول ۱ نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی فیلم های حاوی نانوذرات اکسید سیلیسیوم

درصد نانوذره در نانوکامپوزیت	ضخامت(mm)	میزان رطوبت(٪)	$WVP(\times10^{-6}gm^{-1}s^{-1}pa^{-1})$
۰	۰/۰±۰۰۰۲۰/۰۰۰۰۰۳^{a}	۲۱/۰±۰۲/۰۴^{a}	۷/۰±۰۶/۲۴۹^{b}
۵	۰/۰±۰۰۰۱۸/۰۰۰۰۰۲^{b}	۱۶/۰±۱۲/۱۱^{b}	۵/۰±۹۳/۰۰۵^{c}
۱۰	۰/۰±۰۰۰۱۶/۰۰۰۰۰۲^{c}	۱۵/۰±۹۱/۰۲^{bc}	۷/۰±۴۶/۰۱۱^{b}
۱۵	۰/۰±۰۰۰۱۴/۰۰۰۰۰۵^{d}	۱۵/۰±۸۶/۰۶^{c}	۸/۰±۹۷/۰۰۴^{a}

میانگین‌های موجود در هر ستون و با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار هستند (P <۰/۰۵)؛ داده‌ها به صورت میانگین سه تکرار از هر پارامتر ± انحراف از معیار.

میزان رطوبت فیلم پلی ساکاریدی پایه در آب، به ترتیب ۲۱/۰۲ درصد تعیین شد. با افزودن ۵ درصد وزنی از نانوذرات اکسید سیلیسیوم ، میزان رطوبت نانوکامپوزیت به طور معنیداری به ۱۶/۱۲ درصدکاهش یافت که میتواند به دلیل ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل پلیساکارید و اتمهای اکسیژن در نانوذرات اکسید سیلیسیوم باشد. با افزایش سطح نانوذرات اکسید سیلیسیوم به ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی در نانوکامپوزیتها مقادیر رطوبت به ترتیب به ۱۵/۹۱ درصد و ۱۵/۸۶ درصدکاهش یافتکه اختلاف معنیداری با هم ندارند. نانوذرات اکسید سیلیسیوم به دلیل آبدوستی پائینتر نسبت به پروتئین سویا در صورت مخلوط شدن با پروتئین سویا از حلالیت مولکولهای آب جلوگیری کرده و مقاومت فیلم ها در برابر آب را افزایش می‌دهند. بنابراین، با افزودن این نانوذرات که مادهای نامحلول در آب است، شاهد کاهش میزان رطوبت در فیلمهای نانوکامپوزیت میباشیم. میزان انتقال رطوبت بین مواد غذایی و محیطیکی از مهمترین فاکتورهای مورد بررسی برای سنجش خصوصیات مواد پلیمری مورد استفاده در بسته‌بندی موادغذایی می¬باشد که از طریق پارامتر نفوذ پذیری به بخار آب(WVP)قابل مطالعه است. بر اساس این نتایج افزودن ۵ درصد از نانوذرات اکسید سیلیسیوم باعث کاهش میزانWVP شده است طوریکه نانوکامپوزیت حاوی سطح ۵ درصد از نانوذرات اکسید سیلیسیوم با WVP برابر با ۵/۹۳ کمترین میزان انتقال رطوبت را داشته است، این در حالیست که سطوح ۱۰ و ۱۵ درصد از نانوذرات اکسید سیلیسیوم به ترتیب با WVP برابر با ۷/۴۶ و ۸/۹۷ میزان انتقال رطوبت بیشتری از فیلم پلی¬ساکاریدی خالص از خود نشان دادند، این بدین معنی است که افزایش نانوذرات در سطوح بیشتر از ۵ درصد اثر منفی بر WVP گذاشته و میزان انتقال رطوبت را افزایش داده است. نفوذ پذیری در سطح ۵ درصد نسبت به نمونه شاهد و نیز نسبت به سایر سطوح نانوذره، کمتر بود.

۲-۳-کدورت

نتایج حاصل از ارزیابی کدورت فیلم‌های حاوی نانوذره اکسید سیلیسیوم در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲: خصوصیات کدورت فیلم کنترل و نانوکامپوزیت حاوی SiO_2

درصد نانوذره در نانوکامپوزیت	کدورت
۰	۰/۰±۲۵/۰۰۱^{d}
۵	۰/۰±۳۱/۰۰۱^{c}
۱۰	۰/۰±۳۳/۰۰۱^{b}
۱۵	۰/۰±۳۹/۰۰۱^{a}

میانگین‌های موجود در هر ستون و با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار هستند (P <۰/۰۵)؛ داده‌ها به صورت میانگین سه تکرار از هر پارامتر ± انحراف از معیار.

Archive of SID

www.SID.ir

فیلم پلی‌ساکاریدپایه بسیار شفاف بود که مقدار کدورت آن در طول موج ۶۶۰ نانومتر ،۲۵ درصد گزارش گردید.با افزایش غلظت اکسید سیلسیوم، مقدار عبور نور کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر، افزودن نانوذرات با افزایش مقدار کدورت فیلم‌ها، میزان شفافیت را کاهش داده‌اندبه طوری که، میزان کدورت از ۳۱ درصد در غلظت ۵ درصد به ترتیب به ۳۳ و ۳۹ درصد برای سطوح ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش یافته است.

۳-۳- خصوصیات ضد میکروبی

نتایج حاصل از آزمون‌های میکروبی بر روی فیلم‌های تولید شده در این پژوهش، در جدول ۳ گزارش شده است. نتایج نشان داد که اکسید سیلیسیوم هیچ تاثیر صد باکتریایی،ضد مخمر و ضد کپکی ندارد.

جدول۳- تاثیر فیلم های حاوی نانوذرات اکسید سیلیسیوم بر حداقل بازدارندگی و کشندگی میکروارگانیسمها

نام میکروارگانیسم	حداقل غلظت کشندگی(mg/mL)	حداقل غلظت بازدارندگی(mg/mL)
باکتریها: باسیلوس سرئوس و اشرشیا کلی، استافیلوکوکوس اورئوس	>۲۰	>۲۰
مخمر:کاندیدا آلبیکنز	>۲۰	>۲۰
کپک: پنیسیلیوم اکسپانسوم	>۲۰	>۲۰

۴- بحث و نتیجه گیری

رطوبت یکی از خصوصیات عملکردی فیلم های تولید شده از مواد بیوپلیمری است که مرتبط با آبدوستی و آب گریزی مواد تشکیل دهنده می‌باشد. (۵و۸). دلیل کاهش رطوبتدر فیلم‌های تولید شده در این پژوهش، با خاصیت هیدروفوبینانوذراتمرتبط می‌باشد. نانوذراتSiO_2به‌طور طبیعی، آبدوستی پائین تری نسبت به پروتئین سویا دارند. بنابراین، مخلوط نمودن نانوذرات اکسید سیلیسیوم با پروتئین سویا می تواند از حلالیت مولکول های آب جلوگیری کرده و مقاومت فیلم ها در برابر آب را افزایش دهد.بنابراین، با افزودن SiO_2که ماده‌ای نامحلول در آب است، شاهد کاهش میزان رطوبت در فیلم‌های نانوکامپوزیتی خواهیم بود (۱۹). از آنجا که، یکی از مهمترین نقش‌های عملکردی بسته بندی مواد غذایی، جلوگیری یا به حداقل رساندن رطوبت بین ماده غذایی و اتمسفر اطراف است؛ لذا نفوذ پذیری به بخار آب توسط ماده بسته بندی باید تا حد امکان پائین باشد (۱۷). همانطور که نتایج نشان داد، نفوذ پذیری به بخار آب در غلظت ۵ درصد نانوذره کاهش یافت اما در سطوح ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش یافته و اختلاف معنی داری با نمونه شاهد نداشت. این رفتار را می توان به توزیع ناهمگون نانوذرات اکسید سیلیسیومو تجمع آنها در شبکه پروتئین‌های سویا نسبت داد. اکسید سیلیسیوم نسبت به پروتئین‌های سویا، آب گریزتر بوده و بنابراین وقتی به یک غلظت خاصبرسد تمایل به تجمع یافتن دارد (۷و۱۷) که این پدیده در سطوح بالاتر از ۵ درصد مشاهده گردید. تاثیر نانوذرات اکسید سیلیسیوم در غلظت ۵ درصد بر کاهش نفوذ پذیری به بخار آب را می‌توان به تشدید بی نظمی شبکهدر نتیجه حضوراین نانوذراتنسبت داد (۱۸). تاجیک و همکاران (۲۰۱۳) نتایج مشابهی در مورد خصوصیات فیزیکوشیمیایی فیلم خوراکی بر پایه پلی ساکاریدهای سویا ارائه نمودند و بیان کردند که پلی ساکاریدهای محلول پروتئین سویا، می‌توانند به خوبی در بسته بندی مواد غذایی استفاده گردد (۱۳). زلفی و همکاران (۲۰۱۴) نیز تاثیر نانوذرات اکسید سیلیسیوم بر فیلم خوراکی تولید شده از پروتئین آب پنیر را بررسی کرده و

Archive of SID

www.SID.ir

پس از حصوص نتایج بهبود دهنده ذرات اکسیدسیلیسیوم، استفاده از آنها را به عنوان مواد موثر در بسته بندی مواد غذایی و سیستم های دارورسانیپیشنهاد نمودند (۱۹). ارزیابی توانایی فیلم‌های تولید شده در مقابله با میکروارگانیسم‌ها نشان داد که فیلم تولید شده حاوی نانوذرات اکسید سیلیسیوم تاثیری بر کپک، مخمر و باکتری نداشته است. بکارگیری فیلم‌های تولید شده در این پژوهش، سبب کاهش پسماندهای بسته بندی،حفظ تازگی ماده غذایی و افزایش دوره ماندگاریمحصولات غذایی می‌گردد و منجر به بهبود برخی ویژگی‌ها نظیر افزایش مقاومت در برابر صدمات مکانیکی، حرارتی، نفوذ حلال و گازها، کاهش وزن بسته، افزایش شفافیت وزمان ماندگاری در مقایسه با انواع تجاری در سطح میکروبی می‌گردد.

۵- منابع

1- Avella M, et al. 2005. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. Food Chemistry.93(3):467-474.

2- Biswal SK. 2012. Anti-microbial activities of soya protein isolate (SPI)/ cloisite C30B (MMT) nanocomposite film. Journal of Asian Scientific Research.2(9):539-46.

3- Davis G.and Song J. 2006. Biodegradable packaging based on raw materials fromcrops and their impact on waste management. Industrial Crops and Products.23(2):147-61.

4- Gennadios, A. Protein–Based Films and Coatings. 2004. In: ComprehensiveDictionary of Physical Chemistry. Ellis Horwood, Chichester, UK. 15-65.

5- Ghasemlou M, Khodaiyan F.and Oromiehie A. 2011. Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran. Carbohydrate Polymers.84(1):477-83.

6- Hosseini M, Razavi S.and Mousavi M. 2009. Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. Journal of Food Processing and Preservation.33(6):727-43.

7- Jeon J-D. Kim MJ.And Kwak SY. 2006. Effects of addition of SiO_2 nanoparticles on mechanical properties and ionic conductivity of solvent-free polymer electrolytes based on porous P (VdF-HFP)/P (EO-EC) membranes. Journal of power sources. 162(2), 1304-1311.

8- Li Y, et al. 2011. Fabrication and characterization of TiO_2/whey protein isolate nanocomposite film. Food Hydrocolloids.25(5):1098-1104.

9- Lindsay, A., Benoist, B. D., Dary, O. and Hurrell, R.. 2006.Guidelines on food fortification with micronutrients, WHO and FAO, Geneva

10- Nakamura A. et al. 2004. Emulsifying properties of soybean soluble polysaccharide. Food Hydrocolloids.18(5):795-803.

11- Pavlidou, S., Papaspyrides, C. D., 2008. A review on polymer-layered silicate nanocomposites, Progress in Polymer Science. 33:1119-1198.

.12- Salarbashi D. et al. 2014. Oil stability index and biological activities of Achillea biebersteinii and Achillea wilhelmsii extracts as influenced by various ultrasound intensities. Industrial Crops and Products. 55:163-172.

13- Tajik S. et al. 2013. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging. Carbohydrate Polymers.97(2):817-24

14- Tarimala, S., Kothari, N., Abidi, N., Hequet, E., Fralick, J., Dai, L. L. 2006. New approach to antibacterial treatment of cotton fabric with silver nanoparticle-doped silica using sol–gel process, Journal of Applied Polymer Science. 101:2938-2943.

15- Tharanathan R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends in food science & technology.14(3):71-8.

16- Weiss J, Takhistov P. and McClements DJ. 2006. Functional materials in food nanotechnology. Journal of food science.71(9):R107-R16.

17- Zhou J, Wang S. and Gunasekaran S. 2009. Preparation and characterization of whey protein film incorporated with SiO_2 nanoparticles. Journal of food science.74(7):N50-N56.

18- Zhu Y. et al.2011. Buonocore GG, Lavorgna M, Ambrosio L. Poly (lactic acid)/titanium dioxide nanocomposite films: influence of processing procedure on dispersion of titanium dioxide and photocatalytic activity. Polymer Composites.32(4):519-28.

Archive of SID

www.SID.ir

19- Zolfi M. et al.2014. Khodaiyan F, Mousavi M, Hashemi M. Development and characterization of the kefiran-whey protein isolate-SiO_2 nanocomposite films. International journal of biological macromolecules.65:340-345.

Archive of SID

www.SID.ir