(مقاله پژوهشی)

تولید نانوکامپوزیت پلی‌اتیلنی حاوی نانوذرات نقره جهت افزایش ماندگاری قارچ خوراکی در دمای یخچال

آناهیتا ابراهیمی[۱]، سپیده بهرامی[۱*]، محمد عبدالهیان نوقابی[۲]

۱. گروه علوم و صنایع غذایی، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، کرج، *ایران*.

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۷

چکیده

در این مطالعه فیلم‌های پلی اتیلنی فعال با افزودن نانوذرات نقره به منظور افزایش ماندگاری قارچ تهیه شدند. برای این منظور، نانوذرات نقره با سطوح مختلف (صفر، ۰/۵، ۱، ۲ و ۳ درصد بر مبنای وزن پلی‌مر) در ساختار پلی‌مر مورد استفاده قرار گرفتند و تاثیر آن روی خصوصیات قارچ‌ها از جمله افت وزن، مواد جامد محلول، پارامترهای رنگی، سفتی و خصوصیات میکروبی و همچنین خصوصیات حسی مورد ارزیابی قرار گرفت. قارچ‌ها به مدت ۱۲ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند و در روزهای صفر، ۴، ۸ و ۱۲ مورد بررسی قرار گرفتند. افزایش غلظت نانوذرات در ساختار پلی‌مر منجر به کاهش افت وزن و تغییرات مواد جامد محلول در نمونه‌های قارچ در مقایسه با نمونه شاهد شد. افزایش غلظت نانوذرات نقره به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افت سفتی نمونه‌های قارچ را کاهش داد. کاهش معنی‌داری در شاخص L^* و افزایش معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) در شاخص‌های a و b در همه نمونه‌های قارچ در طول دوره نگهداری رخ داد. تغییرات شاخص L^* قارچ‌های پوشش داده شده با پلیمر-نانوذرات کمتر از نمونه شاهد بود. استفاده از پوشش پلیمر- نانوذرات نقره در مقایسه با نمونه شاهد به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) منجر به کاهش تعداد میکروارگانیسم‌ها در طول همه روزهای نگهداری شد. در همه تیمارها افزایش سطح نانوذرات نقره باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی نمونه‌های قارچ شد. برمبنای ارزیابی حسی مشخص شد که استفاده از فیلم پلی اتیلنی حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) منجر به افزایش امتیاز پارامترهای حسی شد، به طوری‌که تیمار پوشش داده شده با پلیمر حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره بالاترین امتیاز قابلیت پذیرش کلی را در مقایسه با تیمار شاهد و سایر تیمارها داشت. به طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ۳ درصد نانوذرات نقره در ساختار پلیمر منجر به بهبود قابلیت نگهداری نمونه‌های قارچ می‌شود.

واژه های کلیدی: فیلم پلی اتیلنی، نانوذرات نقره، قارچ خوراکی، خصوصیات میکروبی، خصوصیات حسی

مسئول مکاتبات: s.bahrami@safaiau.ac.ir

۱- مقدمه

قارچ خوراکی دکمه‌ای با نام علمی *Agraicus Bisporus* حاوی آب، نمک های معدنی، ویتامین‌ها، ترکیبات فنلی و آنزیم‌های مختلف از جمله پلی فنل اکسیدازها هستند. ماندگاری قارچ‌ها در صورتی که حداقل فرآوری را متحمل شده باشند به سبب قهوه ای شدن آنزیمی به چند روز محدود می‌شود. این واکنش های قهوه‌ای شدن به آسیب‌های مکانیکی در حین نقل و انتقال و فرآوری، خراش، شستشو، پیری و عفونت‌های باکتریایی مربوط می‌شود و کیفیت غذاهای فرآوری شده را کاهش می‌دهد. (۱۱،۲۵). تولید تجاری قارچ خوراکی طی سال‌های گذشته بیش از ۳۵ برابر افزایش داشته و به بیش از ۷/۵ میلیون تن رسیده است. توجه مصرف کنندگان به سلامتی و تقاضای آن‌ها برای مصرف قارچ‌های خوراکی افزایش یافته است. از طرف دیگر با توجه به این‌که قارچ‌ها به شدت فسادپذیر هستند و زوال آن‌ها پس از برداشت شروع می‌شود، لذا توزیع و نگهداری آن‌ها در شرایط فروشگاهی به صورت تازه بسیار مشکل می‌باشد. به همین دلیل برای جلوگیری از فساد و ضررهای اقتصادی ناشی از آن انتخاب روش‌های صحیح نگهداری بسیار حائز اهمیت است (۸). راه‌های مختلفی جهت افزایش ماندگاری و حفظ خصوصیات مواد غذایی و محصولات تازه وجود دارد که از آن‌ها می‌توان به بسته‌بندی‌های هوشمند (۲۹)، فعال (۲۳)، اتمسفر اصلاح شده (۱۴)، بسته‌بندی‌های تحت خلاء (۳۴) و دمای پایین (۳۷) اشاره کرد. یکی از انواع بسته بندی فعال که امروزه در صنایع غذایی مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از نانوذرات برای اصلاح خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مکانیکی پلیمرهای سنتزی و بیوپلیمرها می‌باشد. نانو کامپوزیت‌ها دسته ای از کامپوزیت‌ها هستند که در آن‌ها حداقل یکی از ابعاد ذرات اضافه شده به ماتریکس پلیمری در مقیاس نانو می‌باشد(۶). نانو کامپوزیت‌ها به‌عنوان مواد قرن بیست و یک مطرح‌اند و پیش‌بینی می‌شود که طی سال‌های آینده استفاده از آن‌ها روز به روز بیشتر گردد. علت بروز خواص بهبود یافته در نانو کامپوزیت‌ها، برهمکنش بین سطحی بین ماتریکس و نانو ذرات است که مقدار آن در نانو کامپوزیت‌ها در مقایسه با کامپوزیت‌های معمولی به‌شدت زیادتر می‌باشد (۳۸). نانو کامپوزیت‌ها را می‌توان با پلیمرهای ترموست و یا ترموپلاست از قبیل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌آمیدها، پلی‌استایرن، و پلی‌متیل متاکریلات تولید کرد که این مواد به‌شدت واکنش‌پذیر بوده و اغلب در بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد دارند . به‌طور کلی، هدف از به‌کارگیری آن‌ها افزایش مقاومت مکانیکی، کاهش وزن بسته‌بندی، افزایش مقاومت به حرارت و UV، ممانعت بهتر در برابر گازها و رطوبت، قابلیت بازیافت بهتر و محافظت بیشتر از محصول می‌باشد. نانو کامپوزیت با نانو ذرات SiO_2، TiO_2 و نانو رس سبب محافظت بیشتر از غذا در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند. نانو ذرات تیتانیوم در بسته‌بندی به‌عنوان پرکننده پلاستیک‌ها و فویل‌ها استفاده می‌شوند (۱۳). به‌طور کلی، وارد کردن نانو پرکننده یا نانو فیلر در ماتریکس پلیمرهای بسته‌بندی می‌تواند به صورت فرایند پلیمریزاسیون در جا[1]، فرایند جا دادن به روش حلال و فرایند جا دادن به روش ذوبی باشد (۳۱). نانو ذرات نقره یکی از دستاوردهای شگرف علمی در فناوری نانو و از پرکاربردترین ذرات در این حوزه، پس از نانو لوله‌های کربنی می‌باشد. نانو ذرات از لحاظ شیمیایی فعال‌تر از ذرات بزرگ نقره می‌باشند زیرا در این حالت سطح بیشتری دارند (۳۰). نانو ذرات نقره در ظروف بسته‌بندی یک‌لایه یا چندلایه به‌عنوان مواد افزودنی سبب غیر قابل نفوذ شدن نسبت به اکسیژن و رطوبت می‌گردد و به این ترتیب از رشد باکتری‌ها و کپک‌ها در بسته جلوگیری شده و مدت ماندگاری محصول افزایش می‌یابد و ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی آن نیز تغییر نخواهد کرد (۱۰). ویژگی‌های فیزیکی نانو مواد از قبیل اندازه و شکل، ویژگی‌های سطحی و ترکیب شیمیایی آن‌ها می‌تواند سبب سمیت آن‌ها گردد. بار مثبت نقره در ابعاد نانو افزایش یافته و موجب اتصال با میکروارگانیسم‌های دارای بار منفی می‌شود که این مکانیسم

1- In situ Polymerization Process

به تخریب غشای سلولی میکروارگانیسم می‌انجامد (۳۲). نانو ذرات نقره از طریق چسبندگی به سطح سلول، تجزیه لیپو پلی ساکاریدها، نفوذ در داخل سلول باکتریایی و تخریب DNA، اتصال به گروه‌های الکترون دهنده در مولکول‌ها و آزادسازی یون‌های نقره خواص ضدمیکروبی خود را نشان می‌دهند (۳۰). هدف از این پژوهش استفاده از نانوذرات نقره در ساختار پوشش‌های پلیمری پلی اتیلنی جهت افزایش ماندگاری قارچ و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی قارچ طی دوره نگهداری در یخچال می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

نانوذرات نقره با اندازه ۸-۵ نانومتر (حاوی ۴ گرم نانوذرات نقره در هر لیتر) و گرانول پودری پلی اتیلن سبک با درجه ۱۹۰ از شرکت پلیمر آریا ساسول MFI=0.9 g/10min (190°C/2.16kg) به ترتیب از پیشگامان نانو مواد ایرانیان (ایران) و پتروشیمی جم (ایران) خریداری شدند. نمونه‌های قارچ خوراکی تازه، سفید و یکدست از بازار محلی تهیه شدند. همچنین محیط کشت پلیت کانت آگار و محیط کشت CFCA[1] از شرکت مرک (Merck Co., Germany) تهیه و خریداری شدند.

۲-۲- روش ها

۲-۲-۱- تهیه پوشش پلی اتیلنی حاوی نانوذرات نقره

تولید فیلم پلی اتیلنی حاوی نانوذرات نقره به منظور پوشش دادن نمونه‌های قارچ در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. ترکیبات فیلم مورد نظر شامل محلول نانوذرات نقره با درصدهای صفر، ۰/۵، ۱، ۲ و ۳ درصد با گرانول‌های پودری پلی اتیلن مخلوط شد و سپس در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک گردید و پودر به دست آمده در هاون به صورت دستی ریز و یکنواخت شد. در نهایت نمونه پودری حاوی نانوذرات نقره و پلی اتیلن توسط دستگاه تولید فیلم دمشی، به منظور تولید هر کدام از فیلم‌ها با درصدهای مختلف تا ۳ درصد نانوذرات تولید شدند.فیلم با درصد بالاتر از ۳ درصد نقره به دلیل فقدان انسجام و یکنواختی قابل تولید نبود. از این فیلم‌ها جهت پوشش دادن نمونه‌های قارچ خوراکی استفاده شد. پس از پوشش دادن نمونه‌های قارچ با فیلم پلی اتیلنی حاوی درصدهای مختلف نانوذرات نقره، به مدت ۱۲ روز در دمای یخچال نگهداری شدند وآزمون‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی با فاصله ۴ روز یکبار روی آن‌ها صورت گرفت. تصویر فیلم های تولید شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

1-Cephaloridin Fucidin Cetrimide Agar

شکل ۱- نمونه های پوشش پلیمری حاوی صفر، ۰/۵، ۱، ۲ و ۳ درصد نانوذرات نقره به ترتیب در شکل های (۱) تا (۵)

۲-۲-۲- آزمونها

۲-۲-۲-۱- اندازه‌گیری سفتی

از تست نفوذ با استفاده از دستگاه اینسترون (QTS25CNS Farnell, UK)، برای تعیین میزان سفتی قارچ استفاده شد. میزان سفتی با استفاده از پروب استوانه‌ای با قطر ۵ میلی‌متری تعیین شد. برای این منظور سرعت نفوذ پروب ۲ میلی‌متر در ثانیه و میزان نفوذ ۵ میلی‌متر تنظیم گردید. میزان سفتی به صورت حداکثر نیروی لازم برای نفوذ بیان شد (۲۷).

۲-۲-۲-۲- افت وزن

برای تعیین میزان افت وزن، ابتدا قارچ‌ها وزن شدند و در فاصله زمانی مورد نظر نیز دوباره وزن آن مجددا سنجیده شد. افت وزن از طریق اختلاف وزن ایجاد شده بیان گردید (۲۷).

۲-۲-۲-۳- خصوصیات رنگی

برای بررسی خصوصیات رنگی نمونه‌های قارچ تیمار شده از دستگاه هانترلب (Colorflex, USA)، استفاده شد. با استفاده از دستگاه هانترلب شاخص‌های*L (شاخص شفافیت)، *a (شاخص قرمزی) و *b (شاخص زردی) تعیین گردید (۲۷).

۲-۲-۲-٤- محتوی مواد جامد کل

نمونه‌های قارچ ابتدا در یک هاون کوبیده و سپس با استفاده از فشار دست آب‌گیری شدند. عصاره خارج شده با استفاده از دستگاه رفراکتومتر (Atago, Tokyo, Japan)، به منظور تعیین مواد جامد محلول کل مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۶).

۲-۲-۲-۵- خصوصیات ضدمیکروبی

همه نمونه‌ها به منظور تعیین شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و شمارش باکتری‌های سودوموناس مورد ارزیابی قرار گرفتند. ۲۵ گرم قارچ به صورت اسپتیک از هر نمونه برداشته و با ۲۲۵ میلی‌لیتر آب پپتونه ۰/۱ درصد رقیق‌سازی شد. سپس نمونه‌ها در استومیکر به مدت ۲ دقیقه یکنواخت گردیدند. رقت‌سازی در لوله‌های رقت‌سازی با استفاده از آب پپتونه انجام شد. شمارش هوازی روی محیط کشت پلیت کانت آگار به صورت زیر انجام گرفت: گرمخانه گذاری در ۳۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها. شمارش سودوموناس ها روی محیط کشت CFCA در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت انجام شد (۱۶).

۲-۲-۲-٦- ارزیابی حسی

جهت ارزیابی حسی، شاخص‌هایی نظیر (بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی) از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد و امتیاز بندی کلی حاصل مجموع امتیازات داده شده به شاخص‌های حسی (در سطوح ارزیابی ۱ تا ۵؛ ۱: غیر قابل مصرف یا خیلی ضعیف؛ ۲: غیر قابل قبول یا ضعیف؛ ۳: قابل قبول یا متوسط؛ ۴: رضایت بخش یا خوب و ۵: بسیار رضایت بخش یا خیلی خوب)، بود (۱۹).

۲-۲-۲-۷- تجزیه و تحلیل آماری

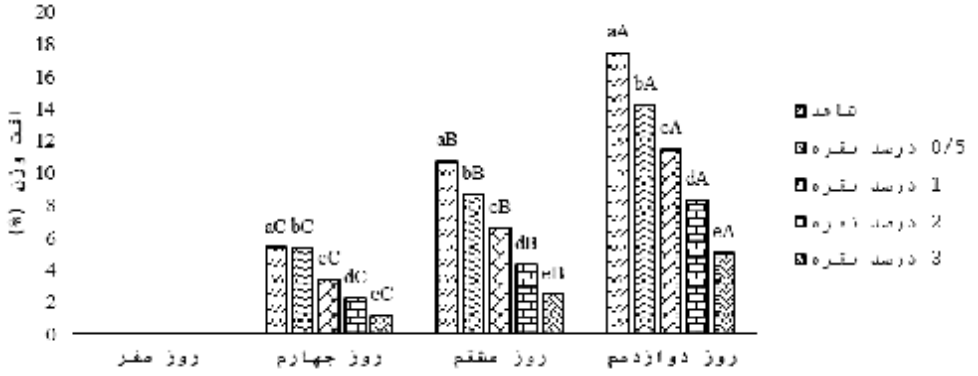
این پژوهش براساس ۴ سطح استفاده از نانوذرات نقره (۰/۵، ۱، ۲ و ۳ درصد)، در ساختار پوشش پلی اتیلنی و نمونه صورت گرفت. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. نتایج حاصل از آزمایشات فیزیکی، شیمیایی، میکروبی و حسی به منظور بررسی اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها از طریق تحلیل واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) با استفاده از نرم افزار SPSS.22 تحلیل شدند و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($p<۰/۰۵$) استفاده شد. رسم نمودارهای حاصل نیز با نرم افزار Excel صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- افت وزن

افت وزن قارچ از لحاظ اقتصادی و نیز وضعیت ظاهری قارچ بسیار حائز اهمیت است زیرا با افت وزن بخشی از وزن قارچ کاهش می‌یابد که می‌تواند ضررهای مالی را به بار بیاورد. این حالت می‌تواند در نتیجه عدم وجود لایه محافظ طبیعی در قارچ باشد که با اعمال پوشش‌های محافظت کننده روی قارچ این پدیده را به حداقل رساند (۱۸). همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده تغییرات افت وزن به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) وابسته به درصد بکارگیری نانوذرات نقره و مدت زمان نگهداری نمونه‌های قارچ است. در روز اول نگهداری هیچ گونه افت وزنی مشاهده نشد اما با افزایش مدت زمان نگهداری نمونه‌های قارچ در یخچال

به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) میزان افت وزن آن‌ها افزایش پیدا کرد. همچنین مشخص شد که با افزایش درصد بکارگیری نانوذرات نقره در ساختار پلیمر پلی اتیلنی درصد افت وزن کاهش یافته به طوری که در طول دوره نگهداری نمونه‌های قارچ در دمای یخچال بالاترین درصد افت مربوط به تیمار شاهد و کمترین درصد افت مربوط به نمونه‌های قارچ روکش شده با پلیمرهای حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره بود. افت وزن قارچ در نتیجه از دست رفتن رطوبت حاصل می‌شود که با تبخیر آب از بافت قارچ شروع و با انجام فرآیند انتقال جرم آن و عبور از عرض بسته‌بندی ادامه می‌یابد. مکانیسم اصلی دخیل در پوشش‌های محافظ به منظور جلوگیری افت رطوبت ماده بسته‌بندی شده، ایجاد سد فیزیکی در مقابل تبخیر آب از ماده غذایی است (۷). بسته‌بندی قارچ با فیلم‌های نانوکامپوزیت باعث حفظ معنی‌دار رطوبت و حفظ تازگی قارچ نسبت به قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم معمولی (شاهد) شد. پخش شدن لایه‌های نانوذرات نقره در ماتریکس پلیمری مسیرهای پرپیچ و خمی برای عبور مولکول‌های بخارآب و گازها ایجاد می‌کند و سرعت انتقال بخار آب را کاهش می‌دهد. هرچه میزان پخش شدن نانوذرات در پلیمر زمینه بیشتر و یکنواخت‌تر باشد سرعت عبور بخار آب و گازها کمتر می‌شود. به همین دلیل میزان حفظ رطوبت قارچ در بسته‌های نانوکامپوزیتی حاوی مقادیر بالاتر نانوذرات نقره به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها و نمونه‌های قارچ نگهداری شده در پوشش پلیمری شاهد بیشتر می‌باشد. حفظ بهتر رطوبت قارچ باعث جلوگیری از افت وزن و حفظ تازگی قارچ می‌شود (۸). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج سایر محققین نیز مطابقت داشت. کشاورزیان و همکاران (۱۳۹۳)، تاثیر استفاده از فیلم نانوکامپوزیتی پلی‌اتیلن-رس روی خصوصیات کیفی و حفظ رطوبت نان را مورد مطالعه و ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه این محققین نشان داد که استفاده از نانوذرات رس در ساختار پوشش پلیمری به دلیل پخش شدن مناسب نانوذرات رس و ایجاد ماتریکس محافظ با ساختار در هم تنیده مانع از افت رطوبت نان و حفظ تازگی محصول شد. (۳).

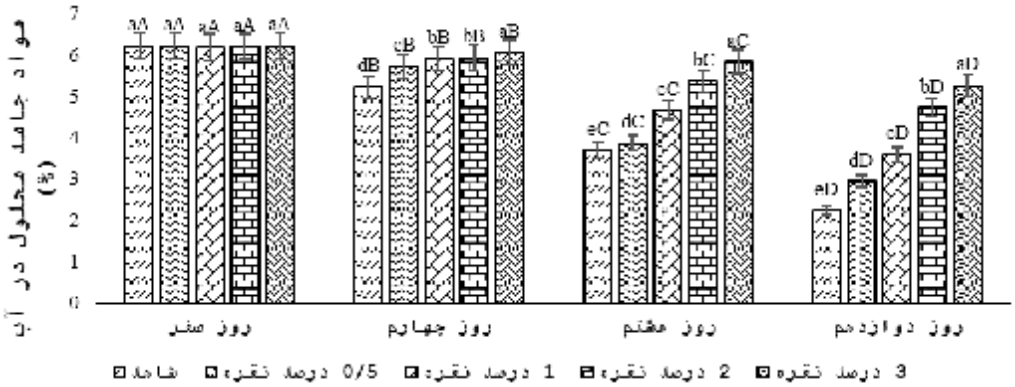


شکل ۲- تغییرات میزان افت وزن نمونه‌های قارچ پوشش داده شده با پلی اتیلن حاوی نانوذرات نقره

۳-۲- مواد جامد محلول در آب

قارچ خوراکی به دلیل عدم وجود لایه محافظ روی سطح آن، تنفس بالایی پس از برداشت دارد. تنفس هوازی منجر به شکست قندها و سایر منابع کربن و انرژی می‌شود که این حالت همراه با افت مواد جامد محلول در آب موجود در قارچ می‌شود (۳۶). اهمیت تجاری سبب افزایش تمایل به مطالعه روی ترکیب پلیمرها با نانوذرات و نانوالیاف شده است. این افزایش توجه به دلیل خصوصیات قابل توجه پلیمرهای نانوکامپوزیتی در مقایسه با پلیمرهای معمولی می‌باشد. در ساختار نانوکامپوزیت‌ها ذراتی با کمترین اندازه ممکن قرار می‌گیرد که این حالت سبب ایجاد خصوصیات بهبود یافته‌ای از لحاظ پایداری حرارتی، خصوصیات مکانیکی و ممانعت کنندگی گازهای تنفسی می‌گردد (۲۰).

براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که تغییرات مواد جامد محلول در آب موجود در نمونه‌های قارچ به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) وابسته به درصد بکارگیری نانوذرات نقره و مدت زمان نگهداری نمونه‌های قارچ‌ها در دمای یخچال است (شکل ۳). از این‌رو محتوی مواد جامد محلول کل در نمونه‌های قارچ در روز اول نگهداری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت ($p>۰/۰۵$)، اما با افزایش مدت زمان نگهداری تا پایان روز دوازدهم به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) مقدار مواد جامد محلول در آب کاهش یافت. با افزایش درصد بکارگیری نانوذرات نقره در ساختار پوشش پلیمری مقدار افت مواد جامد محلول در آب به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کاهش یافت به طوری که بیشترین افت مواد جامد محلول در آب طی دوره نگهداری مربوط به تیمار شاهد و کمترین افت مواد جامد محلول در آب در طی دوره نگهداری مربوط به تیمار حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره بود. افزودن نانوذرات نقره به ساختار پلیمر پلی اتیلنی می‌تواند خصوصیات ممانعت کنندگی فیلم را بهبود بخشد که این حالت در ارتباط با دو پدیده می‌باشد. کاهش سطح در دسترس برای انتشار گازها و دوم این‌که نانوذرات با ایجاد ساختار متراکم و در هم تنیده فاصله لازم برای نفوذ ماده از عرض غشاء را افزایش می‌دهند زیرا ماده نفوذ کننده در هنگام عبور از عرض غشاء با ذرات نفوذناپذیر نقره برخورد می‌کنند که این امر باعث ایجاد پیچیدگی و مسیر طولانی در فیلم می‌گردد (۳۳، ۶). بنابراین با افزایش غلظت نانوذرات در ساختار پلیمر پلی اتیلنی خاصیت ممانعت کنندگی پلیمر در مقابل گازهای تنفسی افزایش و نفوذ اکسیژن به داخل بسته‌بندی کاهش می‌یابد که در این حالت میزان تنفس قارچ کمتر شده و مصرف قندها نیز کاهش می‌یابد. کاهش تنفس و مصرف قندهای موجود در قارچ منجر به کاهش افت مواد جامد محلول در آب طی دور نگهداری می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های محققین دیگر نیز مطابقت داشت. Mahfoudhi و Hamdi (۲۰۱۵)، به تاخیر انداختن پدیده رسیدگی پس از برداشت گیلاس را طی دوره نگهداری با بکارگیری صمغ‌های درخت بادام و صمغ عربی به عنوان ترکیبات پوشش دهنده مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش مشخص شد که با بکارگیری پوشش‌های صمغی میزان رسیدگی پس از برداشت به تاخیر افتاد. این محققین بیان کردند که صمغ‌های درخت بادام و صمغ عربی با ایجاد پوششی نیمه تراوا در اطراف محصول سرعت تنفس و تبادل گازهای تنفسی را محدود می‌سازند و از این طریق به حفظ قندهای محلول کمک می‌کنند که این امر نیز رسیدگی پس از برداشت گیلاس را به تاخیر انداخت (۲۲).



شکل ۳- تغییرات میزان مواد جامد محلول در آب نمونه‌های قارچ پوشش داده شده با پلی اتیلن حاوی نانوذرات نقره

۳-۳- خصوصیات رنگی

جدول ۱ نشان می‌دهد که تغییرات پارامترهای رنگی به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) وابسته به درصد بکارگیری نانوذرات نقره و مدت زمان نگهداری نمونه‌های قارچ‌ها در دمای یخچال است. با افزایش مدت زمان نگهداری نمونه‌های قارچ روکش شده با پوشش پلیمری حاوی نانوذرات نقره به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) شاخص روشنایی (L^*) کاهش یافت که این کاهش شاخص روشنایی در تیمار شاهد به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) با شیب بیشتری نسبت به سایر تیمارها رخ داد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بکارگیری نانوذرات نقره در ساختار پوشش پلیمری میزان افت شاخص روشنایی به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کاهش می‌یابد، از این‌رو در پایان دوره نگهداری بالاترین شاخص روشنایی (۸۹/۳۵) مربوط به تیمار روکش شده با پوشش پلیمری حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره می‌باشد. از طرف دیگر با افزایش مدت زمان نگهداری شاخص‌های قرمزی (a) و زردی (b) نیز به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش یافتند. اما با افزایش غلظت نانوذرات نقره در ساختار پوشش‌های پلیمری تغییرات شاخص‌های زردی و قرمزی به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کاهش یافت. پلی فنول اکسیداز آنزیمی است که اساسا طی فرآیند قهوه‌ای شدند آنزیمی، توسط این آنزیم از اکسیژن به منظور اکسیداسیون و تبدیل اورتو دی فنول به اورتو دی کینون استفاده می‌نماید (۳۵). بنابراین با توجه به این‌که افزایش درصد بکارگیری نانوذرات نقره در ساختار پلیمر پلی اتیلن سبب ایجاد سد محافظتی مستحکم در مقابل گازهای تنفسی می‌شود به همین خاطر میزان نفوذ اکسیژن به درون بسته‌بندی کاهش می‌یابد که این عمل میزان قهوه‌ای شدن آنزیمی و تولید رنگ‌های تیره قهوه‌ای و زرد متمایل به قهوه‌ای را در مقایسه با تیمارهای پوشش داده شده با پلیمر شاهد کاهش می‌دهد. از طرف دیگر با توجه به آن‌که نانوذرات نقره دارای خاصیت ضدمیکروبی هستند (۱۷) از فعالیت میکروارگانیسم‌های تولید کننده آنزیم پلی فنول اکسیداز جلوگیری نموده که این امر سبب کاهش قهوه‌ای شدن آنزیمی نمونه‌های قارچ می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های دیگر محققین نیز مطابقت داشت. Hu و همکاران (۲۰۱۱) ، تاثیر استفاده از فیلم نانوکامپوزیتی پلی اتیلنی مخلوط با نانوذرات نقره، TiO_2 و مونت موریلونیت روی کیفیت کیوی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد استفاده از پوشش نانوکامپوزیتی در مقایسه با پوشش معمولی سبب کاهش قابلیت نفوذپذیری بخار آب و اکسیژن و همچنین کاهش فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در نمونه‌های کیوی شد. بنابراین استفاده از نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات نقره در این پژوهش سبب کاهش فعالیت پلی فنول اکسیداز می‌شود. فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز طی دوره نگهداری سبب کاهش شاخص روشنایی (L^*) و افزایش شاخص‌های قرمزی (a) و زردی (b) در نمونه‌های قارچ شد که این روند تغییرات در نمونه‌های پوشش داده شده با پلیمر حاوی مقادیر بالاتر نانوذرات نقره به دلیل اثر محدود کنندگی که نانوذرات روی فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز دارند، کاهش یافت (۱۵).

جدول ۱- تغییرات خصوصیات رنگی نمونه‌های قارچ پوشش داده شده با پلی اتیلن حاوی نانوذرات نقره

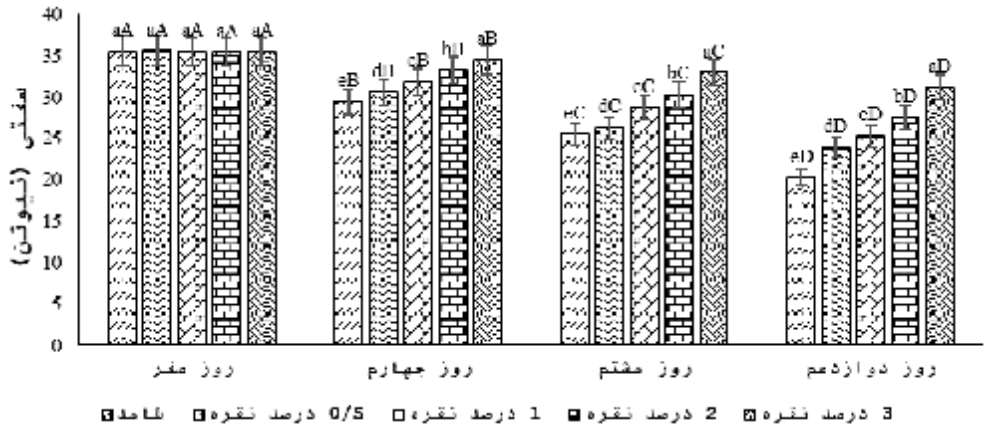
تیمار	روز صفر	روز چهارم	روز هشتم	روز دوازدهم
L*				
شاهد	۹٤/۲٤ ± ۰/۰۷^{aA}	۸۷/٤٥ ± ۰/۰۳^{eB}	۷۹/۷۲ ± ۰/۰٦^{eC}	۷۱/۹٦ ± ۰/۰۷^{eD}
۰/۵ درصد نقره	۹٤/۳۲ ± ۰/۰۵^{aA}	۸۹/۱۲ ± ۰/۰٤^{dB}	۸۱/٤٦ ± ۰/۰۱^{dC}	۷٤/۵۹ ± ۰/۰٦^{dD}
۱ درصد نقره	۹٤/۲۸ ± ۰/۰٦^{aA}	۹۱/۲۰ ± ۰/۰۳^{cB}	۸۵/۷٤ ± ۰/۰٦^{cC}	۷۸/٦۵ ± ۰/۰۸^{cD}
۲ درصد نقره	۹٤/۳۰ ± ۰/۰۹^{aA}	۹۲/۵۷ ± ۰/۰۵^{bB}	۸۸/٦۸ ± ۰/۰۷^{bC}	۸۳/۵۲ ± ۰/۰۲^{bD}
۳ درصد نقره	۹٤/۲۹ ± ۰/۰٤^{aA}	۹۳/٦۹ ± ۰/۰٦^{aB}	۹۱/٤۳ ± ۰/۰۵^{aC}	۸۹/۳۵ ± ۰/۰٤^{aD}
A				
شاهد	۱/٤۲ ± ۰/۰۲^{aD}	۲/۹۵ ± ۰/۰٦^{aC}	٤/۸۳ ± ۰/۰۷^{aB}	۹/۱۲ ± ۰/۰۸^{aA}
۰/۵ درصد نقره	۱/۳۹ ± ۰/۰٤^{aD}	۲/۷۸ ± ۰/۰۸^{bC}	۳/۸۱± ۰/۰۵^{bB}	۷/۱۵ ± ۰/۰۵^{bA}
۱ درصد نقره	۱/٤۵ ± ۰/۰۳^{aD}	۱/۹٦ ± ۰/۰۳^{cC}	۳/٤۵ ± ۰/۰۳^{cB}	۵/٦٤ ± ۰/۰۳^{cA}
۲ درصد نقره	۱/٤۰ ± ۰/۰۵^{aD}	۱/۷۸ ± ۰/۰۷^{dC}	۲/٦۹ ± ۰/۰٦^{dB}	٤/۳٤ ± ۰/۰٤^{dA}
۳ درصد نقره	۱/٤۳ ± ۰/۰۳^{aD}	۱/٦۲ ± ۰/۰٦^{eC}	۲/۰۲ ± ۰/۰٤^{eB}	۳/۲٦ ± ۰/۰٦^{eA}
B				
شاهد	۱۵/۷۳ ± ۰/۰۵^{aD}	۱۹/۵٤ ± ۰/۰٤^{aC}	۲٤/٦۵ ± ۰/۰۷^{aB}	۲۹/٦۹ ± ۰/۰٦^{aA}
۰/۵ درصد نقره	۱۵/٦۹ ± ۰/۰٦^{aD}	۱۸/٦۳ ± ۰/۰۵^{bC}	۲۲/۷۵ ± ۰/۰٤^{bB}	۲٦/۵۸ ± ۰/۰۳^{bA}
۱ درصد نقره	۱۵/۷۰ ± ۰/۰٤^{aD}	۱۷/۷۵ ± ۰/۰٦^{cC}	۲۰/٦۹ ± ۰/۰۳^{cB}	۲۳/٤۷ ± ۰/۰۵^{cA}
۲ درصد نقره	۱۵/٦۸ ± ۰/۰۳^{aD}	۱٦/۹۹ ± ۰/۰۲^{dC}	۱۹/۵۷ ± ۰/۰۵^{dB}	۲۱/۳٤ ± ۰/۰٤^{dA}
۳ درصد نقره	۱۵/۷۱ ± ۰/۰۵^{aD}	۱۵/۹۷ ± ۰/۰۷^{eC}	۱۷/۰۳ ± ۰/۰٦^{eB}	۱۸/۲۵ ± ۰/۰۲^{eA}

*حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<۰/۰۵$) در هر ستون و حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<۰/۰۵$) در هر ردیف می‌باشند.

۳-٤- خصوصیات بافتی (سفتی)

یکی از اولین خصوصیاتی که توسط مصرف کنندگان در مورد ارزیابی کیفیت قارچ مورد بررسی قرار می‌گیرد، خصوصیات بافتی و سفتی محصول است که ارتباط مستقیمی با پذیرش کلی محصول نهایی دارد (۲۸). در این پژوهش مشخص شد که تغییرات میزان سفتی به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) وابسته به درصد بکارگیری نانوذرات نقره و مدت زمان نگهداری نمونه‌های قارچ‌ها در دمای یخچال است (شکل ۴). ارزیابی نتایج میزان سفتی طی دوره نگهداری در دمای یخچال نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان نگهداری از ۱ تا ۱۲ روز به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) سفتی بافت کاهش می‌یابد. با این وجود افزایش غلظت نانوذرات نقره در ساختار پلیمر به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) از کاهش سفتی نمونه‌های قارچ طی دوره نگهداری جلوگیری نمود، به همین خاطر بالاترین میزان سفتی بافت مربوط به قارچ‌های پوشش داده شده با پلیمر حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره بود و کمترین میزان سفتی در پایان دوره نگهداری مربوط به تیمار شاهد بود. طی دوره نگهداری قارچ بافت آن در نتیجه واکنش‌های آنزیمی و میکروبی دچار زوال می‌گردد که این واکنش‌ها منجر به کاهش سفتی و تازگی بافت قارچ می‌شود که با استفاده از فرآیندهای پیشگیرانه نظیر پوشش‌های خوراکی و نانو کامپوزیتی از چنین واکنش‌های نامطلوبی جلوگیری نمود. کاهش سفتی و نرم شدن بافت قارچ با افزایش مدت زمان نگهداری ممکن است در ارتباط با افت تورم سلولی، خروج هوای درون و برون سلولی و تخریب دیواره سلولی و در نتیجه افت رطوبت به وسیله شکستن سلول باشد (۲۴). همچنین کاهش سفتی ممکن است به وسیله فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز ایجاد شود که منجر به تخریب پلیمرها در دیواره سلولی قارچ شود (۲۱). حفظ سفتی بافت قارچ در

نمونه‌های بسته بندی شده با پلیمر حاوی مقادیر بالاتر نانو ذرات نقره بدلیل تاخیر در فرآیند پیری انجام می‌شود که در نتیجه حضور نانو ذرات نقره در ماتریکس پلیمری، کاهش قابلیت نفوذپذیری فیلم و بدنبال آن کاهش تبادل گازی از طریق فیلم پلی اتیلنی است. این یافته‌ها با نتایج دیگر محققین روی حفظ سفتی میوه مطابقت داشت. Hu و همکاران (۲۰۱۱) ، استفاده از نانو ذرات رس در ساختار فیلم پلی اتیلنی روی خصوصیات بافتی میوه کیوی را مورد مطالعه قرار دادند. این محققین بیان کردند در طول ۴۲ روز نگهداری فرآیند نرم شدن میوه به طور چشم گیری به تاخیر افتاد (۱۵). Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۷) ، از نانو ذرات رس در ساختار پوشش پلی اتیلنی به منظور بهبود خصوصیات بافتی هلو استفاده کردند. براساس نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد با افزایش مدت زمان نگهداری سفتی نمونه‌های بافت هلو به طور چشمگیری کاهش یافت که این میزان کاهش در تیمار شاهد بیشتر از تیمارهای پوشش داده شده با پلیمر نانو کامپوزیتی بود. همچنین با افزایش مقدار نانو ذرات رس در ساختار پلیمر به طور چشمگیری از تغییرات خصوصیات بافتی هلو جلوگیری شد (۱۲).



شکل ٤- تغییرات شاخص سفتی نمونه‌های قارچ پوشش داده شده با پلی اتیلن حاوی نانوذرات نقره

۳-۵- شمارش میکروبی

در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی در مورد اثر ضدباکتریایی نانوذرات انجام شده است. نانوذرات نقره برای طیف وسیعی از خصوصیات ضدباکتریایی و مواردی از این قبیل در ترکیب با مواد بسته بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نانوذرات دارای خصوصیاتی از قبیل مساحت سطحی بالا، اندازه خیلی ریز و پراکندگی بالا، دارند. نقره یک فلز ضدباکتریایی موثر و ایمن می‌باشد، زیرا این عنصر برای سلول‌های حیوانی غیرسمی و برای باکتری‌ها به شدت سمی می‌باشد. این فلز یکی از متداول‌ترین نانو مواد مورد استفاده می‌باشد که خصوصیات آنتی اکسیدانی و ضدمیکروبی مناسبی دارد (۵). مکانیسم‌های ضدباکتریایی متعددی برای نانوذرات نقره پیشنهاد شده است و عمدتا در ارتباط با نسبت سطح به حجم مخصوص و خصوصیات فیزیکوشیمیایی مناسب آن‌ها می‌باشد (۳۰). نتایج شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها، شمارش باکتری‌های سودوموناس و شمارش کپک‌ها و مخمرها در این پژوهش نشان می‌دهد (جدول۲) که تعداد این میکروارگانیسم‌ها به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) وابسته به درصد بکارگیری نانوذرات نقره و مدت زمان نگهداری نمونه‌های قارچ‌ها در دمای یخچال است. با افزایش مدت زمان نگهداری در تمامی تیمارها تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها، تعداد باکتری‌های سودوموناس و تعداد کپک‌ها و مخمرها به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش یافت که این افزایش میکروارگانیسم‌ها

در تیمار شاهد و تیمارهای با درصد پایین نانوذرات نقره به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) بالاتر از سایر تیمارها بود. همچنین مشاهده شد که با افزایش غلظت نانوذرات نقره در ساختار پوشش پلیمری جهت روکش کردن نمونه‌های قارچ به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) سبب کاهش تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها، شمارش باکتری‌های سودوموناس و شمارش کپک‌ها و مخمرها شد. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های دیگر محققین نیز مطابقت داشت. به عنوان مثال حیدری و همکاران (۱۳۹۵)، به مطالعه سنتز نانوذرات نقره از عصاره رزماری و بررسی فعالیت ضدمیکروبی علیه باکتری‌های پاتوژن (*استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *پروتئوس ولگاریس*، *سودوموناس آئروژینوزا* و *اشریشیا کلی*) و مقایسه آن‌ها با آنتی بیوتیک‌های تجاری پرداختند. نتایج به دست آمده توسط این محققین نشان داد که نانوذرات سنتز شده از عصاره آبی رزماری دارای فعالیت ضدمیکروبی قابل ملاحظه‌ای علیه پاتوژن‌های مورد مطالعه در مقایسه با آنتی بیوتیک‌های تجاری بودند به طوری که بیشترین فعالیت ضدمیکروبی را علیه *سودوموناس آئروژینوزا* و *اشریشیا کلی* را از خود نشان دادند (۱). عبدالستاری و همکاران (۱۳۹۴)، فیلم‌های نانوکامپوزیت بر پایه پلی اتیلن با دانسیته پایین حاوی خاک رس آلی اصلاح شده با نانوذرات فلزات فلزی (نقره و مس) در بسته‌بندی پنیر لیقوان به منظور کاهش جمعیت میکروبی و آلودگی آن استفاده نمودند که نتایج نشان داد استفاده از فیلم نانوکامپوزیتی حاوی نانوذرات نقره و مس به طور معنی‌داری جمعیت باکتری‌های کلی‌فرم و استافیلوکوکوس اورئوس را کاهش داد (۲). Bumbudsanpharoke و همکاران (۲۰۱۷) ، بیان کردند که استفاده از نانوکامپوزیت پلی اتیلنی سبک حاوی نانوذرات نقره به دلیل خاصیت ضدمیکروبی که نقره دارد سبب کاهش جمعیت میکروبی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی به خصوص *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیا کلای* می‌شود (۹).

جدول ۲- تغییرات خصوصیات میکروبی نمونه‌های قارچ پوشش داده شده با پلی اتیلن حاوی نانوذرات نقره

تیمار	روز صفر	روز چهارم	روز هشتم	روز دوازدهم
تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها (log CFU/g)				
شاهد	٤/٨٩ ± ۰/۰٦^{aD}	٦/٦٢ ± ۰/۰٤^{aC}	٨/٥٩ ± ۰/۰٤^{aB}	٩/٨٣ ± ۰/۰٥^{aA}
۰/۵ درصد نقره	٤/٦٧ ± ۰/۰٤^{bD}	٥/٥٦ ± ۰/۰٥^{bC}	٧/٨١ ± ۰/۰٦^{bB}	٨/٣٦ ± ۰/۰٣^{bA}
۱ درصد نقره	٣/٩٦ ± ۰/۰٤^{cD}	٥/١٦ ± ۰/۰٦^{cC}	٦/٦١ ± ۰/۰٥^{cB}	٧/٢٩ ± ۰/۰٧^{cA}
۲ درصد نقره	٣/٤٣ ± ۰/۰٥^{dD}	٤/٦٩ ± ۰/۰٣^{dC}	٥/٤٣ ± ۰/۰٦^{dB}	٦/٣٥ ± ۰/۰٤^{dA}
۳ درصد نقره	٢/٨٦ ± ۰/۰٦^{eD}	٢/٩٩ ± ۰/۰٧^{eC}	٣/٤٠ ± ۰/۰٣^{eB}	٣/٨١ ± ۰/۰٦^{eA}
تعداد باکتری‌های سودوموناس (log CFU/g)				
شاهد	١/٨٧ ± ۰/۰٣^{aD}	٣/٩٦ ± ۰/۰٤^{aC}	٥/٦٨ ± ۰/۰٣^{aB}	٧/٢٢ ± ۰/۰٥^{aA}
۰/۵ درصد نقره	١/٦٦ ± ۰/۰٤^{bD}	٣/٢٣ ± ۰/۰٥^{bC}	٤/٥٩± ۰/۰٥^{bB}	٦/١٣ ± ۰/۰٦^{bA}
۱ درصد نقره	١/٤٧ ± ۰/۰٥^{cD}	٢/٤١ ± ۰/۰٢^{cC}	٣/٧٢ ± ۰/۰٤^{cB}	٤/٨٩ ± ۰/۰٤^{cA}
۲ درصد نقره	١/٤٢ ± ۰/۰٦^{dD}	١/٨٧ ± ۰/۰٣^{dC}	٢/٧٠ ± ۰/۰٦^{dB}	٣/٥٨ ± ۰/۰٣^{dA}
۳ درصد نقره	١/٢١ ± ۰/۰١^{eD}	١/٥٣ ± ۰/۰٣^{eC}	١/٧٧ ± ۰/۰٢^{eB}	٢/٥١ ± ۰/۰٣^{eA}
تعداد کپک‌ها و مخمرها (log CFU/g)				
شاهد	٢/٤٥ ± ۰/۰٢^{aD}	٣/٣٠ ± ۰/۰٥^{aC}	٤/٥٧ ± ۰/۰٤^{aB}	٥/٣٩ ± ۰/۰٣^{aA}
۰/۵ درصد نقره	٢/١٢ ± ۰/۰٣^{bD}	٢/٨٧ ± ۰/۰٢^{bC}	٣/٣٥ ± ۰/۰٥^{bB}	٤/٢١ ± ۰/۰١^{bA}
۱ درصد نقره	١/٩٠ ± ۰/۰٢^{eD}	٢/٣١ ± ۰/۰١^{eC}	٢/٧٢ ± ۰/۰٣^{eB}	٣/٢٦ ± ۰/۰١^{eA}
۲ درصد نقره	١/٦١ ± ۰/۰١^{dD}	٢/٠٩ ± ۰/۰١^{dC}	٢/٥٤ ± ۰/۰٢^{dB}	٢/٨٢ ± ۰/۰٤^{dA}
۳ درصد نقره	۰/٧١ ± ۰/۰٢^{eD}	۰/٨٢ ± ۰/۰٢^{eC}	۰/٩٨ ± ۰/۰١^{eB}	١/٠٨ ± ۰/۰٢^{eA}

*حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<۰/۰۵$) در هر ستون و حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<۰/۰۵$) در هر ردیف می‌باشند.

۳-٦- ارزیابی حسی

خصوصیات حسی محصولات غذایی پارامترهایی هستند که روی قابلیت پذیرش کلی محصول توسط مصرف کننده موثر می‌باشند و دارای ارتباط تنگاتنگی با خصوصیات فیزیکی و میکروبی مواد غذایی خواهند بود (۱۹). نتایج نشان داد که امتیاز تمامی خصوصیات حسی (بو، رنگ،

بافت و پذیرش کلی) به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) وابسته به درصد بکارگیری نانوذرات نقره نمونه‌های قارچ‌ها در دمای یخچال بود. با افزایش درصد بکارگیری نانوذرات نقره در ساختار پوشش پلیمری پلی اتیلنی امتیاز حسی تمامی پارامترها به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش یافت به طوری‌که کمترین امتیاز تمامی تیمارهای حسی مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). همچنین بالاترین امتیاز پارامترهای حسی در تیمار پوشش داده شده با پوشش پلی اتیلنی حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره مشاهده گردید. بالاترین پذیرش کلی در بین تمامی تیمارها مربوط به نمونه‌های قارچ پوشش داده شده با پوشش پلی اتیلنی حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره است که به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) امتیاز آن در مقایسه با سایر تیمارها بالاتر بود. احتمالا با توجه به خصوصیات ضدمیکروبی نانوذرات نقره و تاثیر مثبتی که روی کیفیت میکروبی نمونه‌های قارچ پوشش داده داشت و همچنین تاثیر مناسبی که روی خصوصیات فیزیکی محصولات پوشش داده شده اعمال نمود، این عوامل باعث شده که خصوصیات حسی نمونه‌های مختلف قارچ بهبود یابد و ارزیاب‌ها امتیازات بیشتری به تیمارهای پوشش داده شده با پلیمر حاوی غلظت بالاتر نانوذرات نقره به خصوص تیمار پوشش داده شده با پوشش حاوی ۳ درصد بدهند.

جدول ۳- تغییرات پارامترهای حسی نمونه‌های قارچ پوشش داده شده با پلی اتیلن حاوی نانوذرات نقره پس از ۱۲ روز نگهداری

تیمار	بو	رنگ	بافت	پذیرش کلی
شاهد	۱/۰۰ ± ۰/۰۰^{e}	۲/۵۰ ± ۰/۰٤^{d}	۲/۰۰ ± ۰/۰۵^{e}	۲/۰۰ ± ۰/۰۰^{e}
۰/۵ درصد نقره	۲/۰۰ ± ۰/۰۰^{d}	۳/۰۰ ± ۰/۰۰^{c}	۲/۵۰ ± ۰/۰۸۵^{d}	۲/۵۰ ± ۰/۰۵^{d}
۱ درصد نقره	۳/۵۰ ± ۰/۰٦^{c}	۳/۰۰ ± ۰/۰۰^{c}	۳/۰۰ ± ۰/۰۰^{c}	۳/۵۰ ± ۰/۰٦^{c}
۲ درصد نقره	٤/۵۰ ± ۰/۰٤^{b}	۳/۵۰ ± ۰/۰۵^{b}	٤/۰۰ ± ۰/۰۰^{b}	٤/۰۰ ± ۰/۰۰^{b}
۳ درصد نقره	۵/۰۰ ± ۰/۰۰^{a}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰^{a}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰^{a}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰^{a}

*حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<۰/۰۵$) در هر ستون می‌باشند.

٤- نتیجه‌گیری

نانو کامپوزیت پلیمری هیبریدی متشکل از یک ماتریکس پلیمری می‌باشد که به وسیله فیبرها، صفحات یا ذراتی که حداقل یک بعد در مقیاس نانو دارند تقویت شده است. این نانوکامپوزیت‌ها در مقایسه با پلیمرهای معمولی خصوصیات مکانیکی، حرارتی، نوری و فیزیکوشیمیایی به مراتب بهبود یافته‌تری را نشان می‌دهند. بنابراین در این پژوهش نانوکامپوزیت پلی اتیلن حاوی نانوذرات نقره تولید شد و تاثیر آن روی بهبود ماندگاری قارچ در دمای یخچال مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که نمونه‌های قارچ نگهداری شده در نانوکامپوزیت حاوی ۳ درصد نانوذرات نقره به مراتب خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، میکروبی و حسی بهتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند که سبب افزایش ماندگاری قارچ در دمای یخچال شد. بنابراین تولید نانوکامپوزیت پلی اتیلنی حاوی ۳درصد نانوذرات نقره جهت افزایش ماندگاری قارچ در دمای یخچال توصیه می‌گردد، چراکه به طور معنی داری کیفیت را نسبت به سایر تیمارها بهتر حفظ می کند و از طرفی فیلم با درصد بالاتر از ۳ درصد نقره به دلیل فقدان انسجام و یکنواختی قابل تولید نبود. با توجه به آن‌که در این پژوهش ماندگاری قارچ خوراکی پوشش داده شده با پوشش پلیمری پلی اتیلن حاوی نانوذرات نقره در دمای ۴ درجه سلسیوس تا ۱۲ روز در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت لذا استفاده از این پوشش حاوی نانوذرات نقره از لحاظ اقتصادی برای افزایش ماندگاری قارچ قابل توجیه به نظر می‌رسد.

۵- منابع

۱. حیدری، ر.، رشیدی پور، م. و آزادپور، م. ۱۳۹۵. سنتز سبز نانوذرات نقره توسط عصاره آبی گیاه رزماری و بررسی خواص ضد میکروبی آنها. *مجله نانو مواد*، سال هشتم، شماره ۲۶، ۱۰۶-۹۹.

۲. عبدالستاری، پ.، پیغمبردوست، س.، حصاری، ج.، پیغمبردوست، س.، ج. و رضائی مکرم، ر. ۱۳۹٤. کاربرد فیلم های نانوکامپوزیت بر پایه پلی اتیلن با دانسیته پایین حاوی خاک رس آلی اصلاح شده با نانوفلزات در بسته بندی پنیر لیقوان. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، سال دهم، شماره ۳، ٥٦-٤٧.

۳. کشاورزیان، ف.، بدیعی، ف.، سیدین اردبیلی، س.، هاشمی، م.، احمدی، ز.، حسینی، س.، ا. ۱۳۹۳. اثر بسته‌بندی نان تست با فیلم نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس بر کیفیت و ماندگاری آن. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، سال نهم، شماره ۱، ۱۰۰-۹۳.

٤. محمدی، م.، جهادی، م. و خسروی، ک. ۱۳۹۱. قارچ خوراکی: قهوهای شدن آنزیمی و روش های مهار آن. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، سال هفتم، شماره ٤، ۷۱-٦۳.

5. Abdel-Aziz, M. S., Shaheen, M. S., El-Nekeety, A. A. and Abdel-Wahhab, M. A. 2014. Antioxidant and antibacterial activity of silver nanoparticles biosynthesized using Chenopodium murale leaf extract. *J Saudi Chem Soc*, 18(4): 356-363.
6. Alexandre, M. and Dubois, P. 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Mater Sci Eng R Rep*, 28(1):1-63.
7. Antmann, G., Ares, G., Lema, P., and Lareo, C. 2008. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms. *Postharvest Biol Technol*, 49(1): 164-170.
8. Ares, G., Parentelli, C., Gámbaro, A., Lareo, C., and Lema, P2006. Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharvest Biol Technol*, 41(2):191-197.
9. Bumbudsanpharoke, N., Lee, W., andKo, S. 2017. A comprehensive feasibility study on the properties of LDPE-Ag nanocomposites for food packaging applications. *Polym Composite*. 39 (9): 3178-3186.
10. Chaudhry, Q., Castle, L. & Watkins, R. 2010. *Nanotechnologies in food*. Royal Society of Chemistry, UK, pp. 69-84.
11. Devece, C., Rodríguez-López, J. N., Fenoll, L. G., Tudela, J., Catalá, J. M., de los Reyes, E., and García-Cánovas, F. 1999. Enzyme inactivation analysis for industrial blanching applications: comparison of microwave, conventional, and combination heat treatments on mushroom polyphenoloxidase activity. *J AgricFood chem*, 47(11):4506-4511.
12. Ebrahimi, H., Abedi, B., Bodaghi, H., Davarynejad, G., Haratizadeh, H. and Conte, A. 2017. Investigation of developed clay-nanocomposite packaging film on quality of peach fruit (Prunus persica Cv. Alberta) during cold storage. *J Food Process Preserv*, 42 (2) e13466.
13. Gressler, S., Gazsó, A., Simkó, M., Nentwich, M. and Fiedeler, U. 2010. Nanoparticles and nanostructured materials in the food industry. *Nano Trust dossiers*, *4*: 1-5.
14. Guo, P., Fu, Y., Liu, X., Li, D. and Xu, W. 2018. Research and Application Progress on Food Active MAP Packaging. In *Applied Sciences in Graphic Communication and Packaging*, Springer, Singapore, pp. 495-501
15. Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N. and Zhao, L. 2011. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (Actinidia deliciosa) during cold storage. *Food Res Int*, 44(6): 1589-1596.

16. Jiang, T., Feng, L. and Li, J. 2012. Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (Lentinus edodes) treated with chitosan–glucose complex coating under cold storage. *Food Chem*, *131*(3): 780-786.
17. Khan, A. U., Wei, Y., Ahmad, A., Khan, Z. U. H., Tahir, K., Khan, S. U. et al. 2016. Enzymatic browning reduction in white cabbage, potent antibacterial and antioxidant activities of biogenic silver nanoparticles. *J Mol Liq*, *215*: 39-46.
18. Kim, K. M., Ko, J. A., Lee, J. S., Park, H. J., and Hanna, M. A. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. *LWT-Food Sci Technol*, *39*(4): 365-372.
19. Lawless, H. T. and Heymann, H. 2010. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer Science & Business Media, USA, pp. 20-45.
20. Lepot, N., Van Bael, M. K., Van den Rul, H., D'Haen, J., Peeters, R., Franco, D. and Mullens, J. 2011. Influence of incorporation of ZnO nanoparticles and biaxial orientation on mechanical and oxygen barrier properties of polypropylene films for food packaging applications. *J appl polym sci*, 120(3):1616-1623.
21. Lukasse, L. J. S. and Polderdijk, J. J. 2003. Predictive modelling of post-harvest quality evolution in perishables, applied to mushrooms. *J Food Engin*, 59(2):191-198.
22. Mahfoudhi, N. and Hamdi, S. 2015. Use of almond gum and gum arabic as novel edible coating to delay postharvest ripening and to maintain sweet cherry (Prunus avium) quality during storage. *J food process preserv*, 39(6): 1499-1508.
23. Maisanaba, S., Llana-Ruiz-Cabello, M., Gutiérrez-Praena, D., Pichardo, S., Puerto, M., Prieto, A. I. et al. 2017. New advances in active packaging incorporated with essential oils or their main components for food preservation. *Food Rev Int*, 33(5): 447-515.
24. Martínez-Ferrer, M., Harper, C., Pérez-Muntoz, F. and Chaparro, M. 2002. Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *J Food Sci*, 67(9): 3365-3371.
25. Matser, A. M., Knott, E. R., Teunissen, P. G. and Bartels, P. V. 2000. Effects of high isostatic pressure on mushrooms. *J Food Engin*, 45(1):11-16.
26. Mohammadi, M., Jahadi, M. and Khosravi-Darani, K. 2013. Agaricus Bisporus: Enzymatic browning and its inhibition methods. *Iranian J Nut SciFood Technol*, *7*(4): 63-71.
27. Mohebbi, M., Ansarifar, E., Hasanpour, N. and Amiryousefi, M. R. 2012. Suitability of Aloe vera and gum tragacanth as edible coatings for extending the shelf life of button mushroom. *Food Bioprocess Tech*, 5(8): 3193-3202.
28. Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M. A. and Niakousari, M. 2017. Application of Tragacanth gum impregnated with Satureja khuzistanica essential oil as a natural coating for enhancement of postharvest quality and shelf life of button mushroom (Agaricus bisporus). *Int J boil macromol*, 25(5):53-67.
29. Poyatos-Racionero, E., Ros-Lis, J. V., Vivancos, J. L. and Martínez-Máñez, R. 2018. Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. *J Clean Prod*, 172:3398-3409.
30. Rai, M., Yadav, A. and Gade, A. 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnol adv*, 27(1):76-83.
31. Ray, S. S. and Bousmina, M. 2005. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: in greening the 21st century materials world. *Prog mater sci*, 50(8):962-1079.
32. Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N. and Panwar, H. 2017. Nanotechnology: An Untapped Resource for Food Packaging.*Front Microliol*, 8:1735.

33. Silvestre, C., Duraccio, D. and Cimmino, S. 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Prog Polym Sci*, 36(12):1766-1782.
34. Siriwardana, H., Abeywickrama, K., Kannangara, S. and Jayawardena, B. 2017. Control of Postharvest Crown Rot Disease in Cavendish Banana with Aluminium Sulfate and Vacuum Packaging. *J Agricultural Sci*, 12(3).
35. Tran, L. T., Taylor, J. S. and Constabel, C. P. 2012. The polyphenol oxidase gene family in land plants: Lineage-specific duplication and expansion. *BMC genomics*, 13(1):395.
36. Tseng, Y. H. and Mau, J. L. 1999.5o-nucleotides in mushrooms, Agaricus bisporus, during post-harvest storage. *J Sci Food Agr*, *79*:1519-1523.
37. Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., Xie, Z. K., Yu, L. L. and Wang, Q. 2014. Effect of light exposure on sensorial quality, concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity of radish microgreens during low temperature storage. *Food chem*, *151*:472-479.
38. Żenkiewicz, M. and Richert, J.2008. Permeability of polylactide nanocomposite films for water vapour, oxygen and carbon dioxide. *Polymer Testing*, 27(7):835-840.

(Original Research Paper)

Production of Polyethylene Composite Containing Silver Nanoparticles to Increase the Shelf Life of Mushrooms in Refrigerator Temperature

Anahita Ebrahimi [1], Sepideh Bahrami [1*], Mohammad Abdollahian Noghabi[2]

1-Department of Food Science and Technology, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2-Sugar Beet Seed Institute, Karaj, Iran.

Received:11/10/2018 Accepted: 29/07/2019

Abstract

In this study, active polyethylene films containing silver nanoparticles to increase the shelf life of mushroom were produced. For this purpose, silver nanoparticles with different levels (0, 0.5, 1, 2 and 3% based on polymer weight) were added and its effect on the characteristics of the mushroom, microbial characteristics and sensory properties was evaluated. Mushrooms were stored at 4 °C for 12 days and physicochemical characteristics were analyzed after 0, 4, 8 and 12 days of storage. Increasing the concentration of nanoparticles in the polymer structure leads to decreasing weight loss and total soluble solid changes in mushroom samples compared to the control sample. The increasing the concentration of silver nanoparticles significantly (p<0.05) reduced the loss of firmness in the samples. The L* value changes of the mushrooms coated with polymer-silver nanoparticles was lower than the control samples. A significant (p<0.05) decrease in L* value and a significant (p<0.05) increase in a and b values occurred in all mushrooms during the maintenance period. The use of polymer-silver nanoparticles coating led to significant (p<0.05) decrease in number of microorganisms of the mushrooms during all days of storage compared to the control sample. Incorporation of silver nanoparticles caused decrease in microbial count of the coated samples. In all treatments, increasing the silver nanoparticles level caused to improve the physicochemical, microbial and sensory properties of mushroom samples. Based on sensory evaluation was found that using the polyethylene film containing 3% the silver nanoparticles led to significantly increasing (p<0.05) of sensory parameter scores, so that the treatment wrapped with the polymer containing 3% the nanoparticles had the highest acceptability score (5 out of 5) compared to control and other treatments. Overall it can be concluded that utilization 3% silver nanoparticles in the polymer structure resulted in the desirable physicochemical and microbial quality and sensory properties in the mushroom samples.

Keyword: Polyethylene Film, Silver Nanoparticles, Mushroom, Microbial Quality, Sensory Properties

[*]Corresponding Author: s.bahrami@safaiau.ac.ir