

ارزیابی اثر بسته‌بندی‌های نانوکامپوزیتی حاوی نقره و اکسید روی بر عمر نگهداری آب پرتقال تازه

آریو امامی فر^۱، مهدی کدیور^۲، محمد شاهدی^۳، صبیحه سلیمانیان زاد^۴

۱- نویسنده مسئول: دانش‌آموخته دکتری صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان پست الکترونیکی: emamip@ag.iut.ac.ir

۲- دانشیار گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استاد گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۱

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۳

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به افزایش گرایش مصرف عمومی به آب‌میوه‌های تازه و با کیفیت از نظر ویژگی‌های تغذیه‌ای، فیزیکی-شیمیایی و حسی که کمترین فرایند بر آن‌ها اعمال شده باشد و از طرفی کوتاه بودن عمر انبارداری این محصولات در یخچال به دلیل رشد سریع میکروارگانیسم‌ها، هدف این تحقیق، به کارگیری بسته‌های پلیمری حاوی نانو ذرات نقره و اکسید روی در نگهداری آب پرتقال طبیعی تازه به عنوان روشی جدید، برای حفظ حداکثر مواد مغذی، تازگی و کاهش بار میکروبی آن بود.

مواد و روش‌ها: فیلم‌های نانوکامپوزیتی‌های حاوی نقره و اکسید روی به روش مخلوط سازی مذاب در دستگاه اکسترودر تهیه شدند. بسته‌های مخصوص آب پرتقال با استفاده از این فیلم‌ها با آب پرتقال تازه پر و در دمای ۴°C نگهداری شدند. پایداری میکروبی، میزان اسید آسکوربیک، شاخص قهوه‌ای شدن، کیفیت رنگ و ویژگی‌های حسی آب پرتقال بسته‌بندی شده در لحظه صفر و پس از ۷، ۲۸ و ۵۶ روز از انبارداری ارزیابی شد.

یافته‌ها: سرعت رشد میکروبی در آب پرتقال تازه، با استفاده از بسته‌های نانوکامپوزیتی حاوی نقره و اکسید روی تا ۲۸ روز پس از انبارداری به صورت معنی‌داری ($p < 0/05$) کاهش یافت. میزان نابودی آسکوربیک اسید و تولید ترکیبات قهوه‌ای در بسته‌های نانوکامپوزیتی حاوی ۰/۲۵ درصد نانو اکسید روی نیز کاهش معنی‌داری نشان داد ($p < 0/05$). علاوه بر این، برخی ویژگی‌های حسی شامل بو، مزه و پذیرش کلی برای آب پرتقال موجود در آن بسته‌ها پس از ۲۸ روز بیشترین امتیاز را دریافت کردند. بسته‌های نانوکامپوزیتی حاوی نقره نیز با وجود کاهش برخی ویژگی‌های حسی آب پرتقال، طول عمر آب پرتقال تا ۲۸ روز افزایش دادند.

نتیجه‌گیری: به کارگیری بسته‌های حاوی ۰/۲۵ درصد نانو اکسید روی، می‌تواند طول عمر آب پرتقال تازه را بدون تأثیر منفی بر ویژگی‌های حسی در دمای ۴°C تا ۲۸ روز افزایش دهد.

واژگان کلیدی: آب پرتقال، نانوکامپوزیت، نانوسیلور، نانو اکسید روی

• مقدمه

و طبیعی حتی در شرایط نگهداری در یخچال نیز به دلیل رشد سریع جمعیت میکروبی اولیه طول عمر کوتاهی دارد. امروزه، درخواست مصرف‌کنندگان برای مصرف آب پرتقال با کیفیت بالا، طعم طبیعی، بافت مطلوب و دارای حداقل مواد افزودنی و کمترین فرایند حرارتی رو به افزایش است.

اگرچه روش‌های حرارتی معمول ضمن افزایش عمر ماندگاری آب پرتقال، اطمینان مصرف‌کننده را از سلامت آن برآورده می‌نمایند، اما در عین حال، سبب کاهش

آب پرتقال با تولید سالانه ۶۳ میلیون تن تقریباً نیمی از کل تولید آب‌میوه جهان است (۱). افزایش مصرف آب پرتقال در جامعه تحقیقات وسیعی را برای یافتن راهی در تولید بهینه و افزایش طول عمر ماندگاری این محصول پر مصرف ایجاد می‌کند. جمعیت میکروبی اولیه آب پرتقال، بسته به شرایط تولید و ویژگی‌های آب‌میوه از 10^3 تا 10^6 کلنی در هر میلی‌لیتر متغیر است که عامل مهمی در طول عمر ماندگاری آن به حساب می‌آید. به طوری که آب پرتقال تازه

یا آزاد سازی یون از سطح ذره و اتصال به غشای سلول و انهدام آن باشد (۱۰، ۹). هدف این تحقیق، به کارگیری بسته‌های پلیمری حاوی نانو ذرات نقره و اکسید روی برای نگهداری آب پرتقال تازه به عنوان روشی جدید، جهت حفظ حداکثر مواد مغذی، تازگی و کاهش بار میکروبی آن بود.

• مواد و روش‌ها

تهیه فیلم پلی اتیلنی حاوی نانو ذرات نقره و اکسید روی: گرانول‌های پلی اتیلن سبک (LF0200) با شاخص جریان ذوبی ۲ گرم در هر ۱۰ دقیقه و دانسیته ۰/۹۲ گرم بر میلی‌لیتر و ترکیبات ضد میکروب که عبارتند از: پودر P105 (۹۵٪ اکسید تیتانیم فلزی و ۵٪ نانوسیلور) و پودر نانوذرات اکسید روی با قطر متوسط ۷۰ نانومتر از شرکت نانو نصب در تهران تهیه شد. تهیه گرانول‌های نمونه مادر (masterbatch) از جنس پلی اتیلن سبک و حاوی ۱۰٪ ترکیبات ضد میکروب اشاره شده به روش اختلاط مستقیم (direct melt mixing) و با استفاده از اکسترودر دو مارپیچه (Cincinnati Milacron, Batavia, OH) با قطر اکسترودر ۵۵ میلی‌متر و نسبت طول پیچ به قطر ۳۰ و با برنامه حرارتی در ۶ منطقه دمایی ۱۶۰، ۱۶۰، ۱۷۵، ۱۵۰، ۱۵۰، و ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد اجرا شد. فیلم‌های نانو کامپوزیتی با درصدهای متفاوتی از ترکیبات ضد میکروب (۱/۵ و ۵٪ برای نانو کامپوزیت نقره (P105) و ۰/۲۵ و ۱٪ برای نانو اکسید روی) و ضخامت ۵۰ میکرومتر مطابق جدول ۱ به صورت جداگانه از اختلاط مستقیم نمونه‌های مادر حاوی ۱۰٪ نانو کامپوزیت نقره و نانو اکسید روی با گرانول‌های پلی اتیلن سبک با استفاده از دستگاه اکستروژن بادی (Venus Plastic Machinery Taiwan) با قطر اکسترودر ۴۵ میلی‌متر و نسبت طول پیچ به قطر ۲۸ با برنامه حرارتی در ۲ منطقه دمایی ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد تولید شدند.

میکروسکپ الکترونی عبوری: کیفیت توزیع نانو ذرات ضد میکروب درون بستر پلیمر توسط میکروسکپ الکترونی عبوری (PHILIPS CM 200 kV، هلند) مورد بررسی قرار گرفت.

شاخص‌های کیفی و کمی آن نیز خواهند شد (۱، ۲). فناوری‌های غیر حرارتی جدید نیز با کاهش بار میکروبی و حفظ ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای، روشی ایده‌آل در فرایند آب پرتقال هستند، که البته به تجهیزات و دستگاه‌های پیچیده و گران نیاز دارد. مصرف زیاد انرژی فسیلی و بحران امروزه انرژی در جهان از محدودیت‌های این روش‌هاست. همواره استفاده از یک روش غیر حرارتی ارزان و در دسترس که بتواند ارزش غذایی آب میوه‌ها را حفظ کند، دغدغه دست اندرکاران صنعت آب‌میوه است (۳). ظهور فناوری نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، راه‌حلهایی کاربردی در ارتباط با افزایش طول عمر ماندگاری مواد غذایی پیش روی بشر قرار داده است. در حقیقت، آنچه سبب ظهور این فناوری شده است، نسبت بالای سطح به حجم در ذرات با ابعاد نانومتر است. این نسبت با شعاع نانو ذرات کروی رابطه مستقیمی دارد. با کاهش ابعاد ذرات در حد نانومتر، قدرت فعالیت سطحی مواد افزایش چشمگیری می‌یابد و نسبت واکنش دادن مواد با محیط اطراف به دلیل ازدیاد سایت‌های فعال سطحی بیشتر می‌شود. (۴-۶). به طور کلی، بسته‌بندی‌های فعال و ویژگی‌های فراتر از خصوصیات ممانعت‌کنندگی دارند و با افزودن ترکیبات و اجزای سازنده فعال در سیستم بسته‌بندی حاصل می‌شوند. این نوع بسته‌بندی با تغییر خصوصیات بسته نسبت به تغییرات درونی و بیرونی محیط بسته عکس‌العمل مناسب نشان می‌دهد و به این ترتیب، در حفظ تازگی غذاهای تازه اهمیت ویژه‌ای دارد (۷). بسته‌بندی‌های فعال ضد میکروب ساخته شده از نانو کامپوزیت‌های فلزی، نسل جدیدی از بسته‌بندی‌ها با ساختار نانو هستند که از ترکیب مستقیم نانو ذرات فلزی با پلیمر زمینه تولید می‌شوند (۵).

خاصیت ضد میکروبی ترکیبات نقره و اکسید روی از گذشته بسیار دور شناخته شده و کاربردهای فراوانی در ضد عفونی کردن وسایل پزشکی، تصفیه آب و بهبود زخم‌ها، کرم‌ها، لوسیون‌ها و پمادهای ضدباکتری دارند (۸). مکانیسم ضد میکروبی نانوذرات فلزی حاصل از این فلزات هنوز دقیقاً مشخص نیست. بر اساس مطالعات محققان، این مکانیسم ممکن است به صورت القای تنش اکسیداتیو به غشای سلول میکروبی به دلیل آزاد سازی گونه‌های اکسیژن فعال (ROS)

جدول ۱- نسبت اختلاط هر یک از ترکیبات ضد میکروب در تولید فیلم های نانوکامپوزیتی

فیلم نانوکامپوزیتی	پلی اتیلن سبک حاوی ۱/۵٪ نانوکامپوزیت نقره	پلی اتیلن سبک حاوی ۵٪ نانوکامپوزیت نقره	پلی اتیلن سبک حاوی ۲۵/۰٪ نانوکاسید روی	پلی اتیلن سبک حاوی ۱٪ نانوکاسید روی
گرانول پلی اتیلن خالص (کیلوگرم)	۸/۵	۵	۹/۷۵	۹
نمونه مادر حاوی ۱۰ درصد نانوکامپوزیت نقره (کیلوگرم)	۱/۵	۵	-----	-----
نمونه مادر حاوی ۱۰ درصد نانوکاسید روی (کیلوگرم)	-----	-----	۰/۲۵	۱

نانومتر با اسپکتروفتومتر مطابق روش Meydav محاسبه شد (۱۲).

اندازه گیری رنگ: بررسی کمی رنگ آب پرتقال با روش تصویربرداری دیجیتال انجام شد. به این ترتیب که پس از تصویربرداری با استفاده از دوربین عکاسی دیجیتال (مدل Panasonic ، ژاپن) از نمونه های آب پرتقال و انتقال تصاویر به رایانه، با استفاده از نرم افزار فتوشاپ شاخص های اصلی رنگ (L, a, b) محاسبه و در نهایت، شاخص کل تفاوت رنگ نمونه ها به روش Yam & Papadakis با استفاده از فرمول $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ به دست آمد (۱۳).

آزمون های میکروبی: ابتدا محلول رقیق 10^{-1} پس از ضد عفونی کردن سطح هر یک از بسته ها، با انتقال ۱۰ میلی لیتر آب پرتقال از هر بسته به یک ارلن مایر با حجم ۲۰۰ میلی لیتر حاوی ۹۰ میلی لیتر آب پیتونه (۱/۰٪ وزنی - حجمی) تهیه گردید. سپس، یک میلی لیتر از آن به لوله های حاوی ۹ میلی لیتر آب پیتونه استریل اضافه و مخلوط شد تا محلول رقیق 10^{-2} تهیه شود. برای شمارش کپک ها و مخمرها از روش کشت سطحی و محیط کشت PDA (Scharlau Chemie, SA., Spain) استفاده شد. به این ترتیب که پس از تنظیم اسیدیته محیط کشت استریل شده (121°C طی ۱۵ دقیقه) در $\text{pH}=3/5$ با استفاده از اسید تارتاریک ۱۰٪ (وزنی - حجمی)، محیط کشت خنک شده ($45-60^{\circ}\text{C}$) به هر پتری استریل شده افزوده شد. پس از جامد شدن محیط کشت، مقدار ۰/۳ میلی لیتر از محلول های 10^{-1} تا 10^{-3} به سطح محیط کشت در زیر هود استریل و کنار شعله منتقل و پخش شد. پس از خشک شدن سطح پتری ها، به صورت وارونه در گرمخانه 25°C به مدت ۳ الی ۵ روز قرار داده شدند. برای شمارش تعداد کل میکروارگانسیم های مزوفیل هوازی از روش کشت آمیخته و محیط کشت PCA (Scharlau Chemie, SA., Spain)

تولید بسته های حاوی آب پرتقال تازه: پرتقال (۳۰ کیلوگرم) واریته محلی خف (*Citrus sinensis cv. Khaf*) از بازار تهیه و توسط دستگاه آب پرتقال گیر نیمه صنعتی (M2000A-1, CMEC food machinery, China) آب گیری شد. آب پرتقال به دست آمده پس از عبور از فیلتر هایی با مش ۱ میلی متر بلافاصله به یک ظرف شیشه ای استریل منتقل شد. ابتدا هر یک از بسته های نانوکامپوزیتی و پلی اتیلنی (نمونه شاهد) آب پرتقال با طول ۱۵ و عرض ۱۰ سانتی متر (معادل ابعاد بسته های چند لایه آب میوه موجود در بازار) به روش دستی تهیه شد پس از ضد عفونی بسته ها (در حرارت 95°C طی ۲ دقیقه) و سرد کردن آن ها، تحت شرایط استریل (زیر هود استریل) با ۱۷۵ میلی لیتر آب پرتقال تازه پر و دربندی و در شرایط انبار تاریک و خنک (4°C) قرار داده شدند. سپس در زمان های بلافاصله پس از بسته بندی (لحظه صفر) و ۷، ۲۸، و ۵۶ روز پس از انبارداری از آب پرتقال هر بسته نمونه برداری و آزمون های فیزیکی شیمیایی و میکروبی روی آن اجرا شد. آزمون های حسی و اندازه گیری مهاجرت یون های نقره و روی ۲۸ روز پس از انبارداری انجام شد. کلیه آزمایش ها در دو تکرار اجرا شد.

اندازه گیری میزان اسید آسکوربیک: اندازه گیری اسید آسکوربیک به روش تیتراسیون با ۶ و ۲ دی نیتروفنل مطابق روش استاندارد (AOAC 967.21.2002) انجام شد (۱۱).

اندازه گیری شاخص قهوه ای شدن: در این روش، ابتدا ۱۰ میلی لیتر از آب پرتقال در دمای 4°C و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۷۸۰۰ سانتریفوژ شد. سپس ۵ میلی لیتر از محلول رویی با ۵ میلی لیتر الکل اتیلیک ۹۵٪ مخلوط و دوباره در شرایط مشابه سانتریفوژ شد. در انتها مقدار جذب محلول رویی به عنوان شاخص قهوه ای شدن، در طول موج ۴۲۰

اسپکترومتر جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (AA800, Perkin-Elmer, Shelton, CT) به ترتیب در طول موج‌های ۳۲۸/۱ و ۲۱۳/۹ نانومتر بر اساس روش استاندارد (AOAC 974.27, 2002) برای آب پرتقال همه بسته‌ها پس از ۲۸ روز انبارداری اندازه‌گیری شد (۱۴).

روش آماری: این تحقیق در قالب آزمایشات فاکتوریل بر پایه طرح آماری کاملاً تصادفی در دو تکرار اجرا شد. فاکتور اول، نوع بسته‌بندی در پنج سطح مختلف (بسته‌های حاوی ۱/۵ و ۵٪ نانوکامپوزیت نقره و ۰/۲۵ و ۱٪ نانواکسید روی و بسته‌های پلی‌اتیلنی، بدون افزودن نانوذرات، به عنوان نمونه شاهد) و فاکتور دوم، زمان انبارداری در ۴ سطح (لحظه صفر انبارداری و پس از ۷، ۲۸ و ۵۶ روز انبارداری) بود. وجود اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها به کمک روش آماری مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ و با استفاده از نرم افزار SAS بررسی شد.

• یافته‌ها

بررسی‌های میکروسکوپی با استفاده از میکروسکپ الکترونی عبوری (TEM): تصاویر میکروسکپ الکترونی عبوری فیلم‌های پلی‌اتیلنی حاوی نانو ذرات نقره و اکسید روی در شکل ۱ (الف، ب، ج و د) نشان داده شده‌اند. این تصاویر، توزیع نسبتاً یکنواخت نانو ذرات در فیلم‌های نانوکامپوزیتی را نشان می‌دهند (بجز شکل ۱.د). توزیع یکنواخت و آگلومره نشدن نانو ذرات در بستر پلیمر با افزایش قدرت ضد میکروبی پلیمر حاصل به دلیل افزایش سطح تماس با میکروارگانیسم‌ها رابطه مستقیمی دارد. با توجه به شکل ۱ (الف و ب) نانو ذرات نقره (با قطر تقریباً ۱۰ نانومتر) روی ذرات دی اکسید تیتانیوم به خوبی تثبیت و نانو کامپوزیت‌های نقره-دی اکسید تیتانیوم (P105) به خوبی در بستر پلیمر توزیع شده‌اند. با افزایش غلظت نانو کامپوزیت نقره از ۱/۵ به ۵٪ آگلومره شدن تاحدی افزایش یافته است. شکل ۱ (ج و د) نشان دهنده توزیع نانو ذرات اکسید روی با قطر متوسط ۷۰ نانومتر (در محدوده ۱۰ الی ۲۰۰ نانومتر) در بستر پلیمر زمینه است. با افزایش غلظت نانو ذرات اکسید روی تا ۱٪، مقدار آگلومره شدن افزایش می‌یابد (شکل ۱.د).

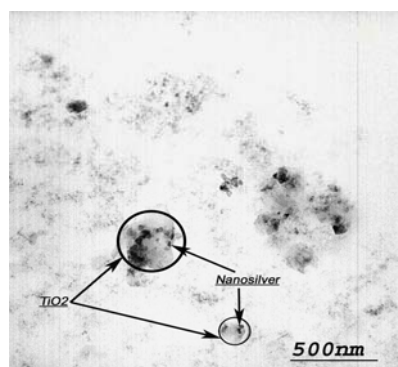
استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا ۱ میلی‌لیتر از محلول‌های 10^{-1} تا 10^{-3} تهیه شده را به صورت جداگانه برداشته و به روش فوق به پتری‌های استریل منتقل شد. به هر پتری ۲۰ میلی‌لیتر از محیط کشت استریل و خنک شده منتقل و به مدت ۵ تا ۱۰ ثانیه به خوبی مخلوط شد. سپس پتری‌ها به صورت وارونه در گرمخانه 35°C به مدت ۳ روز قرار داده شدند. در انتها برای شمارش هر گروه از میکروارگانیسم‌ها (کیک و مخمر و باکتری) دو پتری از هر رقت که دارای ۳۰ تا ۳۰۰ کلنی بود، انتخاب و پس از شمارش کلنی‌ها با استفاده از کلنی‌شمار، نتایج به صورت متوسط لگاریتم تعداد کلنی در هر میلی‌لیتر $\log(\text{cfu/ml})$ گزارش شد. کلیه شمارش‌ها در دو تکرار انجام شد.

آزمون حسی: این ارزیابی با کمک ۱۰ نفر ارزیاب آموزش‌دیده (دانشجویان و استادان گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه) و با استفاده از روش آماری مقایسه چندگانه (multiple comparison test) برای همه بسته‌های آب پرتقال پس از ۲۸ روز انبارداری انجام شد. ابتدا بسته‌ها با اعداد تصادفی سه رقمی نشان‌گذاری شد. پس از باز کردن آن‌ها آب پرتقال درون لیوان‌های پلاستیکی شفاف به ارزیاب‌ها ارائه شد. از ارزیاب‌ها خواسته شد تا آب پرتقال‌ها را از نظر ۴ ویژگی حسی رنگ، بو، مزه و پذیرش کلی با استفاده از درجه‌بندی کیفی ۵ امتیازی مطابق جدول ۲ امتیاز دهند. نتایج بر اساس آنالیز واریانس داده‌ها و با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ تجزیه و تحلیل شد.

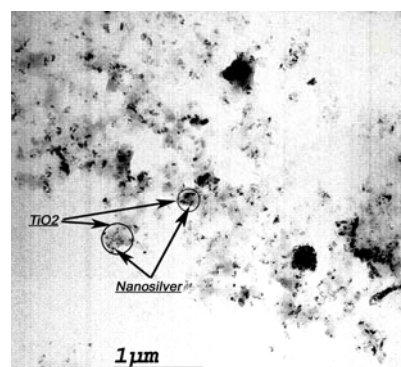
جدول ۲- درجه‌بندی کیفی آب پرتقال بر مبنای ۱ تا ۵ امتیاز

ردیف	ویژگی کیفی	امتیاز
۱	خیلی می‌پسندم	۵
۲	تا حدودی می‌پسندم	۴
۳	احساس خاص در باره آن ندارم	۳
۴	کمی نمی‌پسندم	۲
۵	اصلاً نمی‌پسندم	۱

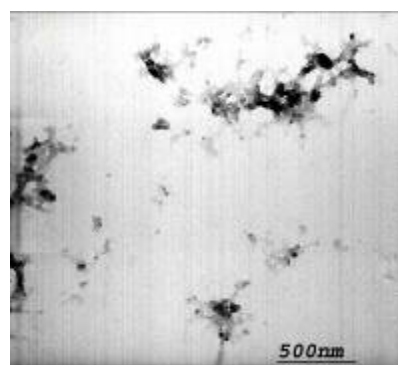
اندازه‌گیری میزان مهاجرت یون‌های نقره و روی از بسته‌ها به آب پرتقال: میزان مهاجرت یون‌های نقره و روی از پلیمر بسته به آب پرتقال با استفاده از دستگاه



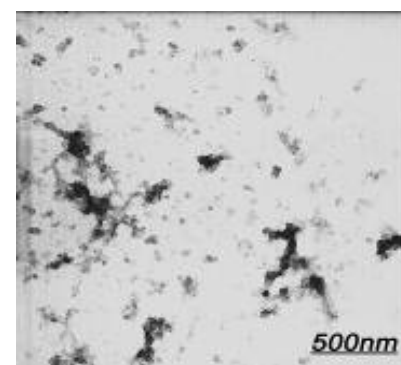
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱- تصویر میکروسکپ الکترونی عبوری فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی‌اتیلن سبک حاوی (الف) ۱/۵٪ نانوکامپوزیت نقره، (ب) ۵٪ نانوکامپوزیت نقره، (ج) ۲۵٪ نانوکامپوزیت نقره، (د) ۱٪ نانوکامپوزیت نقره روی

اثر نوع بسته‌بندی بر میزان اسید آسکوربیک، شاخص قهوه‌ای شدن و شدت رنگ: با توجه به جدول ۳ بیشترین و کمترین کاهش میزان اسید آسکوربیک و افزایش شاخص قهوه‌ای شدن به ترتیب در آب پرتقال بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۱ درصد نانو اکسید روی و بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۲۵٪ نانو اکسید روی اندازه‌گیری شده است. در حالی که کمترین کاهش اسید آسکوربیک و افزایش شاخص قهوه‌ای شدن نسبت به نمونه‌های شاهد به ترتیب مربوط به دو بسته پلی‌اتیلن سبک حاوی ۲۵٪ نانو اکسید روی و پلی‌اتیلن سبک حاوی ۱/۵٪ نانوکامپوزیت نقره است. همچنین، در آب پرتقال بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۲۵٪ نانو اکسید روی و پلی‌اتیلن سبک حاوی ۵٪ نانوکامپوزیت نقره به ترتیب کمترین و بیشترین میزان تغییر رنگ نسبت به پلی‌اتیلن سبک، مشاهده می‌شود (جدول ۳).
آزمون حساسی: بررسی نتایج حاصل از آزمون دانکن، در سطح ۵٪ در بیشتر موارد بیانگر تفاوت معنی‌دار بین داده‌های آزمون‌های مذکور با یکدیگر یا با نمونه شاهد بجز از داده‌های حاصل از بررسی ویژگی رنگ در نمونه‌های آب پرتقال است.

اثر متقابل نوع بسته‌بندی و زمان انبارداری بر تعداد میکروارگانیسم‌ها: کیفیت میکروبی آب پرتقال تازه با شمارش کلی کپک و مخمر و کل باکتری‌های مزوفیل هوازی (شمارش کلی باکتری‌ها) بررسی شد. متوسط لگاریتم تعداد کلنی در میلی‌لیتر (log cfu/ml) کپک و مخمر و باکتری‌ها بلافاصله پس از بسته‌بندی ۴/۹۳ و ۴/۸۳ شمارش شد. اثر بسته‌بندی‌های ضد میکروبی بر رشد این دو گروه از میکروارگانیسم‌ها در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلنی خالص در جدول ۳ آمده است.

با توجه به جدول ۳ اثر بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۵٪ نانوکامپوزیت نقره در مقایسه با سایر بسته‌ها بر کاهش روند رشد کپک‌ها، مخمرها و باکتری‌ها به صورت معنی‌داری بیشتر است. کاهش غلظت نانوکامپوزیت نقره به ۱/۵٪ نیز کاهش فعالیت ضد میکروبی را به همراه دارد. با به کارگیری بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۲۵٪ نانو اکسید روی در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۱/۵٪ نانوکامپوزیت نقره، قدرت ضد قارچی کمتر و قدرت ضد باکتری بیشتری مشاهده می‌شود.

میزان مهاجرت یون‌ها از بسته به آب پرتقال: میزان مهاجرت یون‌های نقره و روی از بسته به آب پرتقال در کلیه بسته‌ها پس از ۲۸ روز انبارداری در دمای ۴°C کمتر از مقدار حد مجاز مسمومیت‌زایی (۱۰ ppm) اندازه‌گیری شد. (جدول ۴).

این نتایج گویای دریافت بالاترین امتیاز ویژگی‌های حسی رنگ، بو، مزه و پذیرش کلی برای آب پرتقال موجود در بسته‌های حاوی ۰/۲۵٪ نانو اکسید روی در مقایسه با سایر بسته‌ها در مقطع زمانی ۲۸ روز پس از انبارداری است (شکل ۲). گروه ارزیاب حسی در مورد ویژگی رنگ آب پرتقال بسته‌بندی شده در بسته‌های مختلف تفاوت چندانی قائل نشدند.

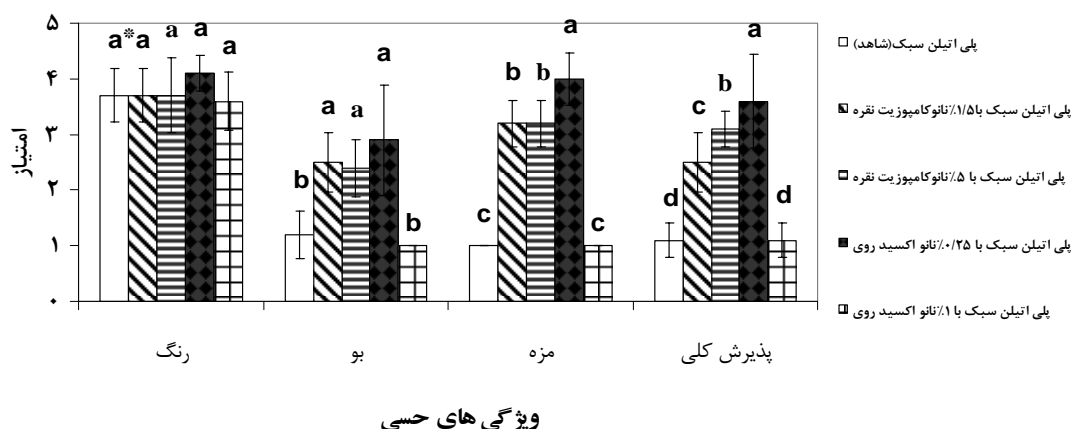
جدول ۳- اثر بسته‌بندی و زمان انبارداری بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی (اسید آسکوربیک، شاخص قهوه‌ای شدن و شدت تفاوت رنگ) و میکروبی (کپک، مخمر و باکتری‌های هوازی مزوفیل) آب پرتقال تازه

نوع بسته‌بندی	طول انبارداری (روز)	کپک و مخمر (log cfu/ml)	باکتری‌های هوازی مزوفیل (log cfu/ml)	اسید آسکوربیک (mg/100g)	شاخص قهوه‌ای شدن (OD)	شدت تفاوت رنگ
پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۱۵٪ نانو کامپوزیت نقره	۰	۴/۹۴ ^{ij*} ± ۰/۰۵	۴/۸۴ ^{fe} ± ۰/۰۷	۸۵/۷۶ ^a ± ۰/۵۸	۰/۱۵ ^h ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۷	۵/۰۸ ^h ± ۰/۰۸	۴/۶۵ ^{hi} ± ۰/۰۵	۸۳/۰۷ ^b ± ۰/۲۱	۰/۲۲ ^e ± ۰/۰۰۳	۴/۷۰ ^j ± ۰/۰۸
	۲۸	۶/۲۶ ^{cd} ± ۰/۰۲	۵/۲۷ ^d ± ۰/۰۶	۸۱/۲۳ ^c ± ۰/۳۲	۰/۲۴ ^c ± ۰/۰۰۳	۵/۵۶ ^h ± ۰/۱۰
پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۱۵٪ نانو کامپوزیت نقره	۰	۴/۹۴ ^{ij*} ± ۰/۰۳	۴/۸۳ ^{fe} ± ۰/۰۲	۸۵/۸۳ ^a ± ۰/۲۹	۰/۱۵ ^h ± ۰/۰۰۱	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۷	۴/۵۱ ^k ± ۰/۰۷	۴/۶۵ ^{hi} ± ۰/۰۵	۸۲/۸۷ ^b ± ۰/۱۵	۰/۲۳ ^{ef} ± ۰/۰۰۲	۵/۵۹ ^g ± ۰/۲۵
	۲۸	۵/۷۴ ^f ± ۰/۰۴	۴/۸۵ ^{fg} ± ۰/۰۵	۷۹/۸۷ ^d ± ۰/۴۲	۰/۲۴ ^{cd} ± ۰/۰۰۲	۶/۶۶ ^d ± ۰/۳۲
پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۵٪ نانو کامپوزیت نقره	۰	۴/۹۴ ^{ij*} ± ۰/۰۵	۴/۸۴ ^{fe} ± ۰/۰۶	۸۵/۷۶ ^a ± ۰/۵۸	۰/۱۵ ^h ± ۰/۰۰۲	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۷	۴/۳۶ ^l ± ۰/۰۵	۴/۱۶ ^k ± ۰/۰۵	۸۰/۰۱ ^d ± ۰/۹۸	۰/۲۵ ^c ± ۰/۰۰۴	۶/۴۳ ^c ± ۰/۰۶
	۲۸	۵/۴۳ ^e ± ۰/۰۸	۴/۵۴ ^j ± ۰/۰۵	۷۴/۳۷ ^h ± ۰/۴۰	۰/۲۷ ^b ± ۰/۰۰۳	۶/۵۳ ^{de} ± ۰/۰۹
پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۲۵٪ نانو اکسید روی	۰	۴/۹۴ ^{ij*} ± ۰/۰۲	۵/۶۶ ^c ± ۰/۰۶	۶۳/۹۰ ⁱ ± ۰/۶۶	۰/۲۸ ^a ± ۰/۰۰۹	۷/۹۹ ^a ± ۰/۰۱
	۷	۴/۸۵ ^j ± ۰/۰۳	۴/۱۶ ^k ± ۰/۰۵	۸۳/۱۷ ^b ± ۰/۳۸	۰/۲۳ ^{ef} ± ۰/۰۰۶	۳/۶۹ ⁱ ± ۰/۰۴
	۲۸	۵/۹۷ ^c ± ۰/۰۳	۴/۹۰ ^f ± ۰/۱۰	۸۰/۵۰ ^{cd} ± ۰/۴۶	۰/۲۳ ^{ef} ± ۰/۰۰۳	۶/۰۰ ^f ± ۰/۰۲
پلی اتیلن سبک حاوی ۱٪ نانو اکسید روی	۰	۴/۹۴ ^{ij*} ± ۰/۰۴	۵/۷۳ ^c ± ۰/۰۸	۷۸/۳۳ ^{ef} ± ۰/۲۹	۰/۲۴ ^d ± ۰/۰۰۴	۷/۴۸ ^{bc} ± ۰/۱۲
	۷	۴/۹۳ ^{ij} ± ۰/۰۳	۴/۷۵ ^{gh} ± ۰/۰۵	۸۳/۶۳ ^b ± ۰/۵۵	۰/۲۳ ^{ef} ± ۰/۰۰۲	۵/۷۲ ^e ± ۰/۰۴
	۲۸	۶/۲۶ ^c ± ۰/۰۳	۵/۱۰ ^c ± ۰/۰۱	۷۸/۸۰ ^c ± ۰/۲۶	۰/۲۵ ^c ± ۰/۰۰۳	۵/۹۰ ^f ± ۰/۰۶
پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۱۱ ± ۰/۰۰۳	۰	۴/۹۴ ^{ij*} ± ۰/۰۳	۴/۸۳ ^{fe} ± ۰/۰۱	۸۶/۰۰ ^a ± ۰/۰۶	۰/۱۵ ^h ± ۰/۰۰۱	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۷	۴/۹۳ ^{ij} ± ۰/۰۳	۴/۷۵ ^{gh} ± ۰/۰۵	۸۳/۶۳ ^b ± ۰/۵۵	۰/۲۳ ^{ef} ± ۰/۰۰۲	۵/۷۲ ^e ± ۰/۰۴
پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۱۶ ± ۰/۰۰۷	۰	۴/۹۴ ^{ij*} ± ۰/۰۳	۴/۸۳ ^{fe} ± ۰/۰۱	۸۶/۰۰ ^a ± ۰/۰۶	۰/۱۵ ^h ± ۰/۰۰۱	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۷	۴/۹۳ ^{ij} ± ۰/۰۳	۴/۷۵ ^{gh} ± ۰/۰۵	۸۳/۶۳ ^b ± ۰/۵۵	۰/۲۳ ^{ef} ± ۰/۰۰۲	۵/۷۲ ^e ± ۰/۰۴
پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۱۱ ± ۰/۰۰۳	۰	۴/۹۴ ^{ij*} ± ۰/۰۳	۴/۸۳ ^{fe} ± ۰/۰۱	۸۶/۰۰ ^a ± ۰/۰۶	۰/۱۵ ^h ± ۰/۰۰۱	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۷	۴/۹۳ ^{ij} ± ۰/۰۳	۴/۷۵ ^{gh} ± ۰/۰۵	۸۳/۶۳ ^b ± ۰/۵۵	۰/۲۳ ^{ef} ± ۰/۰۰۲	۵/۷۲ ^e ± ۰/۰۴

* حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ درصد می باشند. (D < ۰/۰۵)

جدول ۴- بررسی میزان مهاجرت یون‌های نقره و روی از بسته‌بندی به آب پرتقال تازه

نوع بسته‌بندی				غلظت (میکروگرم در لیتر)
پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۱۱ ± ۰/۰۰۳	پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۲۵٪ نانو اکسید روی	پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۵٪ نانو کامپوزیت نقره	پلی اتیلن سبک حاوی ۰/۱۵٪ نانو کامپوزیت نقره	یون نقره
۰/۱۱ ± ۰/۰۰۳	۰/۱۶ ± ۰/۰۰۷	۰/۱ ± ۰/۰۰۳	صفر	یون روی



شکل ۲- اثر بسته‌بندی و زمان انبارداری بر ویژگی‌های حسی (رنگ، بو، مزه و پذیرش کلی) آب پرتقال تازه
* حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ درصد می باشند. ($p < 0.05$)

• بحث

متوسط لگاریتم تعداد کلنی در میلی‌لیتر ($\log \text{cfu/ml}$) برای کل کپک‌ها، مخمرها و باکتری‌ها به ترتیب به ۶/۲۶ و ۵/۲۷ می‌رسد. در آب پرتقال‌های بسته‌بندی شده در بسته‌های ضد میکروب بجز در بسته‌های پلی‌اتیلن سبک با ۱٪ نانوکامپوزیت نقره، متوسط تعداد کپک‌ها، مخمرها و باکتری‌ها پس از ۲۸ روز به کمتر از متوسط لگاریتم تعداد کلنی در میلی‌لیتر ($\log \text{cfu/ml}$) برابر ۶ (حد مجاز جمعیت میکروبی آب پرتقال تازه در شرایط یخچال) رسیده (۱۸)، اما پس از ۵۶ روز انبارمانی در کلیه بسته‌ها تعداد کلیه میکروارگانیسم‌ها از حد مجاز اشاره شده بالاتر رفته است. سایر مطالعات، طول عمر انبارمانی آب پرتقال تازه را در شرایط یخچال تا ۱۴ روز بیان کرده‌اند (۱۹).

به طور کلی، آب پرتقال موجود در بسته‌های پلی‌اتیلن سبک با ۵٪ نانوکامپوزیت نقره کمترین رشد میکروبی را پس از ۲۸ روز انبارداری نسبت به سایر بسته‌ها به خود اختصاص داده‌اند. در مورد آب پرتقال بسته‌بندی شده در پلی‌اتیلن سبک حاوی ۰/۲۵٪ نانوکامپوزیت نقره، پس از ۲۸ روز تعداد کپک‌ها و مخمرها بالاتر ولی تعداد باکتری‌ها تفاوت آماری معنی‌داری با آب پرتقال بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۱/۵٪ نانوکامپوزیت نقره نشان نمی‌دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که قدرت ضد میکروبی فیلم‌های نانوکامپوزیتی حاوی نقره در غلظت یکسان به طور معنی‌داری بالاتر از فیلم‌های نانوکامپوزیتی حاوی اکسید روی بوده و این افزایش در خاصیت ضد قارچی بسیار مشهودتر است

نتایج حاصل از شمارش میکروارگانیسم‌ها در آب پرتقال موجود در بسته‌های پلی‌اتیلن خالص پس از ۷ روز بیانگر افزایش تعداد کپک‌ها و مخمرها و کاهش تعداد باکتری‌ها است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کپک‌ها و مخمرها در مقایسه با باکتری‌ها با محیط آب پرتقال و شرایط انبار سرد، سازگارتر هستند. این نتیجه با گزارشات *Sadler* و همکاران هماهنگی دارد (۱۵). در آب پرتقال موجود در تمامی بسته‌های نانوکامپوزیتی بجز پلی‌اتیلن سبک حاوی ۱٪ نانوکامپوزیت نقره پس از ۷ روز تعداد کلیه میکروارگانیسم‌ها کاهش یافته است و این کاهش در بسته‌های پلی‌اتیلن سبک با ۵٪ نانوکامپوزیت نقره از نظر آماری معنی‌دارتر است.

طبق جدول ۳ افزایش جمعیت میکروبی با افزایش غلظت نانوذرات اکسید روی در نمونه‌های آب پرتقال رابطه معکوس دارد به طوری که با افزایش غلظت نانوذرات اکسید روی تا ۱٪ قدرت ضد میکروبی فیلم حاصل نسبت به بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۰/۲۵٪ نانوکامپوزیت نقره کاهش می‌یابد. این موضوع را می‌توان به افزایش اندازه نانوذرات به دلیل آگلومره شدن و کاهش مقدار پراکسید هیدروژن تولید شده از سطح ذرات بزرگتر نسبت داد (شکل ۵.۲). این نتیجه با یافته‌های *Jones* و همکاران نیز هماهنگی دارد (۱۶). *Adams* و همکاران تولید گونه‌های حاوی اکسیژن فعال را یکی از مهم‌ترین دلایل فعالیت ضد میکروبی نانوذرات اکسید روی ذکر کرده‌اند (۱۷). در آب پرتقال موجود در بسته‌های پلی‌اتیلنی خالص، پس از ۲۸ روز انبارداری،

۲۵٪/ نانو اکسید روی (۵/۸۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) و بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۱ درصد نانو اکسید روی (۷۸/۸۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) کاهش بسیار کمتری به چشم می‌خورد. به طور کلی، بیشترین میزان کاهش اسید آسکوربیک و افزایش مقدار شاخص قهوه‌ای شدن در آب پرتقال بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۵٪ نانو کامپوزیت نقره مشاهده شد. در بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۲۵٪/۰ نانو اکسید روی، سرعت کاهش اسید آسکوربیک و افزایش میزان شاخص قهوه‌ای شدن نسبت به سایر بسته‌ها بسیار کمتر بود که نشان‌دهنده قدرت اکسیدکنندگی کمتر نانو ذرات اکسید روی در مقایسه با نانو ذرات نقره است.

در جدول ۳ آنالیز واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری کمی رنگ آب پرتقال در همه بسته‌ها پس از ۷ روز نشان می‌دهد که اثر نوع بسته‌بندی بر رنگ آب پرتقال تازه در سطح ۵٪ معنی‌دار است. با افزایش زمان انبارداری تا ۲۸ روز، شدت تفاوت رنگ در آب پرتقال تازه در همه بسته‌های ضد میکروب در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلن خالص چشمگیرتر است. نتایج جدول ۳ موید این مطلب است که شدت تغییر رنگ آب پرتقال در بسته‌های حاوی نانو ذرات اکسید روی در مقایسه با بسته‌های حاوی نانو ذرات نقره کاهش معنی‌داری (در سطح ۵٪) دارد. به طور کلی، در جدول ۳ هماهنگی مناسبی میان کاهش میزان اسید آسکوربیک و افزایش تولید ترکیبات قهوه‌ای با افزایش شدت تغییر رنگ طی انبارداری در آب پرتقال موجود در کلیه بسته‌ها مشاهده می‌شود. به هر حال، یکی از دلایل تغییر رنگ در آب پرتقال بسته‌بندی شده در بسته‌های حاوی نانو ذرات نسبت به بسته‌های پلی‌اتیلنی را می‌توان به حضور ترکیبات اکسیدکننده کاروتنوئیدها از جمله پراکسید هیدروژن و سایرگونه‌های فعال اکسیژن در محیط نسبت داد که این نتیجه با گزارش *Haugaard* و همکاران مطابقت دارد (۲۵).

مطابق با یافته‌های آزمون حسی، تفاوت آماری معنی‌داری در امتیاز ویژگی رنگ آب پرتقال در کلیه بسته‌ها مشاهده نمی‌شود. بنابراین، تغییر رنگ نمونه‌ها پس از ۲۸ روز انبارداری از نظر چشمی قابل تشخیص نیست. بنا بر مطالعات *Parish* (۲۶) ویژگی حسی بو در آب پرتقال به میزان زیادی تحت اثر رشد میکروبی و در نتیجه، تولید متابولیت‌های حاصل از تخمیر میکروبی است. شکل ۲ نیز بیانگر بالاتر بودن امتیاز ویژگی حسی بوی آب پرتقال موجود در بسته‌های نانو کامپوزیتی بجز بسته‌های پلی‌اتیلن سبک

(شکل‌های ۱. ب و ۱. ج). *Sawai* و همکاران نیز با بررسی اثر ضد میکروبی پودرهای اکسید روی، اکسید مس و اکسید منیزیم گزارش کرده‌اند که این سه اکسید فلزی قدرت ضد میکروبی خوبی در برابر طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها دارند، اما قدرت ضد میکروبی اکسید روی نسبت به مخمر *Saccharomyces cerevisiae* ساکارومایسسز سروویزه مقایسه با باکتری‌ها بسیار کمتر است (۹). *Fernández* و همکاران گزارش کردند که کیسه‌های جاذب حاوی نانو ذرات نقره در بسته‌های گوشت مرغ می‌تواند رشد میکروب‌ها را ۴۰٪ کاهش دهد (۲۰). *Zhang & Chen* بیان داشتند که شرایط محیط و نور مرئی برای فعالیت ضد میکروبی اکسید روی کافی است، در حالی که این فعالیت در شرایط تاریک با قدرت کمتری انجام می‌شود (۲۱). *Kim* و همکاران دلیل اثر ضد میکروبی نانوذرات نقره را تولید رادیکال آزاد در محیط میکروب‌ها و سبب صدمه به غشاء و انهدام آن‌ها بیان کردند (۲۲). *Kubacka* و همکاران با به کارگیری فیلم‌هایی از جنس اتیلن وینیل الکل حاوی نانو کامپوزیت نقره-دی اکسید تیتانیوم نشان دادند که این فیلم‌ها قدرت ضد میکروبی بالایی در برابر طیف وسیعی از کپک‌ها، مخمرها و باکتری‌ها دارند (۲۳).

میزان اسید آسکوربیک و شاخص قهوه‌ای شدن دو عامل کیفی مهم در سنجش کیفیت آب پرتقال هستند. طبق جدول ۳ نتایج حاصل از تغییرات میزان اسید آسکوربیک و شاخص قهوه‌ای شدن در آب پرتقال همه بسته‌ها بیانگر کاهش میزان اسید آسکوربیک و افزایش شاخص قهوه‌ای شدن با افزایش زمان انبارداری است. این موضوع ممکن است به دلیل جلوگیری نکردن بسته‌ها از عبور اکسیژن و همچنین طول زمان انبارداری باشد. *Fellers* و همکاران دلایل کاهش میزان اسید آسکوربیک را در بسته‌بندی‌های آب پرتقال اکسیژن و طول مدت انبارداری بیان کردند (۲۴). بر اساس نتایج حاصل از جدول ۳ به مدت ۷ روز پس از انبارداری در کاهش اسید آسکوربیک آب پرتقال تمامی بسته‌ها بجز پلی‌اتیلن سبک حاوی ۵٪ نانو کامپوزیت نقره تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود، اما پس از ۲۸ روز در آب پرتقال بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۵٪ نانو کامپوزیت نقره، میزان اسید آسکوربیک تقریباً ۱۳٪ (۷۴/۳۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) کاهش می‌یابد. در حالی که در سایر بسته‌ها شامل پلی‌اتیلن سبک حاوی ۱/۵٪ نانو کامپوزیت نقره (۷۹/۸۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)، پلی‌اتیلن سبک حاوی

گزارش کردند که حرارت محیط نگهداری آب پرتقال بر میزان مقبولیت عمومی آن بسیار مؤثر است، به طوری که امتیاز پذیرش کلی در آب پرتقال‌های تازه نگهداری شده در دمای پایین‌تر بیشتر از آب پرتقال‌هایی است که در حرارت بالاتر نگهداری شده‌اند.

مقدار مهاجرت یون‌های نقره و روی به آب پرتقال طی ۲۸ روز انبارداری در کلیه بسته‌های نانوکامپوزیتی کمتر از مقدار حد مجاز مسمومیت زایی (۱۰ ppm) اندازه‌گیری شده است. البته، یون‌های نقره در غلظت کمتر از 10^{-9} مول بر لیتر نیز خاصیت ضد میکروبی دارند (۵). میزان مهاجرت یون‌های روی به آب پرتقال بیشتر از نقره گزارش شده است که با توجه به ایمن بودن روی در کاربردهای غذایی، برای مصرف‌کننده مخاطره بر انگیز تلقی نمی‌شود (۲۷).

سپاسگزاری

از قطب نانوفناوری دانشگاه صنعتی اصفهان به خاطر حمایت‌های مالی تشکر و قدر دانی می‌شود.

حاوی ۱٪ نانواکسید روی نسبت به بسته پلی‌اتیلن خالص پس از ۲۸ روز انبارداری است. این یافته با تغییرات قدرت ضد میکروبی این بسته‌ها در شدت رشد میکروبی هماهنگی دارد (جدول ۳). نتایج آماری مقایسه مزه آب پرتقال بسته‌بندی شده پس از ۲۸ روز انبارداری حاکی از دریافت بالاترین امتیاز ویژگی حسی مزه برای آب پرتقال بسته‌های پلی‌اتیلن سبک با ۰/۲۵٪ نانو اکسید روی است. علاوه بر اینکه تفاوت آماری معنی‌داری بین مزه آب پرتقال بسته‌های پلی‌اتیلن سبک با ۱/۵٪ نانوکامپوزیت نقره و پلی‌اتیلن سبک با ۵٪ نانوکامپوزیت نقره مشاهده نمی‌شود، امتیاز ویژگی حسی مزه آن‌ها از بسته‌های خالص و حاوی ۱٪ نانو ذرات اکسید روی هم بالاتر است.

در مورد صفت پذیرش کلی، ارزیاب‌ها آب پرتقال بسته‌های پلی‌اتیلن سبک حاوی ۰/۲۵٪ نانواکسید روی را بهترین و سپس پلی‌اتیلن سبک با ۵٪ نانوکامپوزیت نقره و پلی‌اتیلن سبک حاوی ۱/۵٪ نانوکامپوزیت نقره را قابل قبول تشخیص دادند. اما آب پرتقال بسته‌های خالص و حاوی ۱٪ نانوذرات اکسید روی را رد کردند. Souza و همکاران (۲)

References

- Bull MK, Zerdin K, Goicoechea D, Paramanandhan P, Stockman R, Sellaheva J, et al. The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2004; 5:135–149.
- Souza MCC, Benassi MT, Meneghel RFA, Silva RSSF. Stability of unpasteurized and refrigerated orange juice. *Braz Arch Biol Technol.* 2004; 47:391-7.
- Han JH. Packaging for nonthermal processing of food, 1st ed. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell; 2007.
- Joseph T, Morrison M. Nanotechnology in agriculture and food. A nanoforum report. Available from: www.nanoforum.org. Accessed 2006 May 5.
- Chaudhry Q, Scotte M, Blackburn J, Ross B, Boxall A, Castle L. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam* 2008; 25:241–58.
- Damm C, Neumann M, Munstedt H. Properties of nanosilver coatings on polymethyl methacrylate. *Soft Mater* 2006; 3:71–88.
- Suppakul P, Miltz J, Sonneveld K, Bigger SW. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *J Food Sci.* 2003; 68(2): 408-420.
- Gajjar P, Pettee B, Britt DW, Huang W, Johnson W, Anderson AJ. Antimicrobial activities of commercial nanoparticles against an environmental soil microbe, *Pseudomonas putida* KT2440. *J Biol Engin.* 2009; 3(9): 1183-8.
- Sawai J, Yoshikawa T. Quantitative evaluation of antifungal activity of metallic oxide powders (MgO, CaO and ZnO) by an indirect conductimetric assay. *J Appl Microbiol.* 2004; 96:803–9.
- Feng QL, Wu J, Chen G Q, Cui FZ, Kim TN, Kim JO. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *J. Biomed. Mater Res* 2000;52:662-8.
- AOAC. Vitamin C (ascorbic acid) in vitamin preparations and juices: 2, 6 dichloroindophenol titrimetric method final action. 17 th ed, Gaithersburg; Association of Official Analytical Chemists, 2002; Official Method 967.21.

12. Meydavi S, Saguy I, & Kopelman IJ. Browning determination in citrus products. *J Agri Food Chem* 1977; 25:602-4.
13. Yam KL, Papadakis SE. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *J Food Eng* 2004; 61:137-42.
14. AOAC. Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Lead, Magnesium, Manganese, Silver and Zinc in water. 17th ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, 2002; Official Method 974.27
15. Sadler GD, Parish ME, & Wicker L. Microbial, enzymatic and chemical challenges during storage of fresh and processed orange juice. *J Food Sci* 1992; 57:1187-92.
16. Jones N, Ray B, Ranjit KT, Manna AC. 2008. Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms. *FEMS Microbiol. Lett.* 2008; 279: 71-6.
17. Adams LK, Lyon DY, Alvarez PJJ. Comparative ecotoxicity of nanoscale TiO₂, SiO₂, and ZnO water suspensions. *Water Res.* 2006; 40:3527-3532.
18. Raccach MM, Mellatdoust, M. The effect of temperature on microbial growth in orange juice. *J. Food Process. Preserv* 2007; 31:129-42.
19. Zaroni A, Pagliarini E, Galli A, Laureati M. Shelf-life prediction of fresh blood orange juice. *J Food Eng* 2005; 70: 512-517.
20. Fernández A, Soriano E, López-Carballo G, Picouet P, Lloret E, Gavara R. et al. Preservation of aseptic conditions in absorbent pads by using silver nanotechnology. *Food Res Int* 2009; 42:1105-12.
21. Zhang H, Chen G. Potent antimicrobial activity of Ag/TiO₂ nanocomposite powder synthesized by a one-pot sol-gel method. *Environ. Sci Technol* 2009; 43:2905-10.
22. Kim JS, Kuk E, Yu K, Kim JH, Park SJ, Lee SJ, et al. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomed: Nanotechnol Biol Med* 2007; 3:95-101.
23. Kubacka A, Cerrada ML, Serrano C, Fernández-García M, Ferre M, Fernández-García M. Plasmonic nanoparticle/polymer nanocomposites with enhanced photocatalytic antimicrobial properties. *J Phys Chem*; 2009; 113: 9182-90.
24. Fellers PJ. Shelf life and quality of freshly squeezed, unpasteurized, polyethylene-bottled citrus juice. *J Food Sci.* 1998; 53:1699-02.
25. Haugaard VK, Weber CJ, Danielsen B, & Bertelsen G. Quality changes in orange juice packed in materials based on polylactate. *Europ Food Res Technol* 2002; 214: 423-8.
26. Parish ME. Orange juice quality after treatment by thermal pasteurization or isostatic high pressure. *LWT.* 1998; 31:439-42.
27. Jin T, Sun D, Su JY, Zhang H, Sue HJ. Antimicrobial efficacy of zinc oxide quantum dots against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *Escherichia coli* O157:H7. *J Food Sci* 2009; 74 :46-52.

Effects of nanocomposite packaging containing silver and zinc oxide on the shelf-life of fresh orange juice

Emamifar A^{*1}, Kadivar M², Shahedi M³, Soleimanzadeh S⁴

1- Corresponding author: Ph.D. in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

E-mail: emamip@ag.iut.ac.ir

2- Associate Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

3- Assistant Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Received 24 May, 2010

Accepted 23 Oct, 2010

Background and Objective: The demand for natural orange juice with a high quality in terms of nutritional value, physicochemical properties and sensory characteristics, and processed with a minimum of heat treatment, is presently increasing. The shelf-life of orange juices now marketed is short due to rapid microbial growth in them, even when refrigerated. The objective of this study was to determine the potential of ZnO- and Ag-filled LDPE (low-density polyethylene) nanoparticle packaging, as a new packaging method, for preserving the maximum nutritional value, freshness and shelf-life of orange juice.

Materials and Methods: Nanocomposite LDPE films containing Ag and ZnO nanoparticles were prepared by melt-mixing in a twin-screw extruder. Packages prepared from these films were then filled with fresh orange juice and stored at 4°C. Microbial stability, ascorbic acid (AA) content, browning index, color value, and sensory characteristics of the juices were determined immediately after packaging and after 7, 28, and 56 days of storage.

Results: Microbial growth rate significantly decreased as a result of using the nanocomposite packaging up to 28 days of storage ($p < 0.05$). Reduced degradation of AA and development of brown pigments were also observed ($p < 0.05$) in the orange juice packaged in nanocomposite packages containing 0.25% of nano-ZnO. Moreover, odor, taste and overall sensory attributes ranked highest for the orange juice packed after 28 days of storage ($p < 0.05$). Packages containing nanosilver increased the shelf-life of fresh orange juice to 28 days, although parts of its sensory attributes were lost.

Conclusion: Nanocomposite packaging containing 0.25% nano-ZnO can extend the shelf-life of natural orange juice for up to 28 days at 4°C, without any undesirable effects on its sensory characteristics.

Keywords: Orange juice, Nanocomposite, Nano-ZnO, Nanosilver