



مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر بسته حاوی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی بر ماندگاری و تغییرات کیفی سیب و انگور

محسن زندی^{*}، هادی الماسی^۲، نازیلا دردمه^۳

۱. دکتری تخصصی، استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۲. دکتری تخصصی، دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۳. دانشجوی دکتری تخصصی بیوتکنولوژی غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۰، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۳۹۹/۰۳/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۵)

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر بسته حاوی نانو ذرات ضد میکروبی اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم با هدف افزایش ماندگاری میوه‌های سیب و انگور بود. برای این منظور، فیلم پلی‌اتیلن سبک حاوی غلظت‌های مختلف نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (۰٪، ۰/۵٪ و ۱/۵٪) و اکسید روی (۰٪، ۰/۷۵٪ و ۱/۵٪) با استفاده از روش اکستروژن دمشی تهیه گردید. پس از بسته‌بندی سیب و انگور با این فیلم‌ها، خواص کیفی، فیزیکی و شیمیایی و میکروبی آن‌ها طی نگهداری به ترتیب به مدت ۹۰ و ۳۰ روز در شرایط سردخانه صنعتی (دمای °C ۱۰-۸ و رطوبت نسبی ۸۵٪) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از فیلم‌های حاوی نانو ذرات، درصد تغییر مواد جامد محلول، افت وزن، اسیدیته، شاخص قهوه‌ای شدن و شاخص سفتی بافت سیب و انگور کمتر از نمونه‌های شاهد بود. استفاده از این بسته‌ها همچنین مانع افزایش بار میکروبی سیب و انگور شامل باکتری‌های سرمادوست و کپک و مخمر در طول دوره نگهداری شد و فیلم حاوی ۱/۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم بیشترین تأثیر را روی حفظ ویژگی‌های کیفی سیب و انگور داشت. به طور کلی، نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم هم در حفظ خواص فیزیکی و شیمیایی میوه‌ها و هم در تقویت خواص ضد میکروبی فیلم و افزایش ماندگاری سیب و انگور مؤثرتر از نانو ذره اکسید روی عمل نمود. نتایج این پژوهش تأیید نمود که استفاده از این نوع بسته‌ها می‌تواند به عنوان یک روش کمکی به منظور افزایش ماندگاری در حین تولید و عرضه سیب و انگور مورد استفاده قرار گیرد و تأثیر قابل توجهی بر خواص کیفی محصول داشته باشد.

کلید واژه‌ها: بسته‌بندی فعال، نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم، نانو ذره اکسید روی، خواص فیزیکی و شیمیایی، عمر انبارمانی

۱. مقدمه

را افزایش دهند [۸،۷]. سیستم‌های بسته‌بندی ضد میکروبی مواد غذایی نوعی بسته‌بندی فعال است و یکی از بهترین راه‌های کاهش، مهار یا تأخیر در رشد میکروارگانیسم‌ها طی نگهداری میوه و سبزی‌ها محسوب می‌شود [۹]. استفاده از نانو ذرات در بسته‌بندی مواد غذایی مزیت‌های بسیاری دارد و در دهه‌های اخیر، استفاده از نانو مواد در تهیه بسته‌های فعال مواد غذایی افزایش یافته است. نانو ذرات سبب بهبود خصوصیات مکانیکی و ممانعتی می‌شود، ضمن آنکه دارای اثر ضد میکروبی در کنار توانایی مهار جوانه‌زنی اسپور هستند. بسته‌های تهیه شده بر پایه اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم از رایج‌ترین فیلم‌های ضد میکروبی برای بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشند. اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم از جمله نانو ذراتی هستند که دارای فعالیت ضد میکروبی بالایی در برابر طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها از جمله باکتری‌های گرم مثبت، گرم منفی و قارچ‌ها می‌باشند. این نانو ذرات (خصوصاً دی‌اکسید تیتانیوم) در هنگام قرار گرفتن در معرض نور ماوراء بنفش فعالیت فوتوکاتالیستی دارد. سازمان غذا و داروی آمریکا، کاربرد این نانو ذرات را در داروها، مواد آرایشی و مواد غذایی و سطوح در تماس مستقیم با آن‌ها را مورد تأیید قرار داده است [۱۰،۱۱]. مکانیسم ضد میکروبی نانو ذرات فلزی اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم هنوز دقیقاً مشخص نیست. بر اساس مطالعات محققان، این مکانیسم ممکن است به صورت القای تنش اکسیداتیو به غشای سلول میکروبی به دلیل آزادسازی گونه‌های اکسیژن فعال یا آزادسازی یون از سطح ذره و اتصال به غشای سلول و انهدام آن باشد [۱۲،۱۳].

استفاده از اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم موجب از بین رفتن عوامل فساد، میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، ترکیبات بد بوی ناشی از فساد و لکه‌های رنگی خواهد شد؛ همچنین دی‌اکسید تیتانیوم با گاز اتیلن وارد واکنش شده و آن را تجزیه می‌نمایند، بنابراین عمر نگهداری و انبارمانی سبزی‌ها و میوه‌های آماده‌ی مصرف را افزایش می‌دهند [۵،۶،۱۰]. استفاده از این ترکیبات در بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌هایی که تنفس در حین نگهداری آن‌ها عامل مهمی در کاهش کیفیت بشمار می‌رود، می‌تواند به افزایش ماندگاری محصول کمک نماید. اکسید تیتانیوم یک ماده فوتوکاتالیست کاملاً

سیب^۱ و انگور^۲ از محصولات باغی پر استفاده در ایران می‌باشند. هر دو محصول به دلیل مصارف متعدد و اهمیت تغذیه‌ای در ردیف یکی از با اهمیت‌ترین محصولات دنیا به شمار می‌آیند. با توجه به اینکه سهم محصولات کشاورزی، بیش از یک چهارم صادرات غیر نفتی است، در راستای افزایش صادرات، توجه به این بخش به خصوص محصولات باغی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]. افزایش ماندگاری محصولات باغی یکی از مهم‌ترین راهکارها برای بالا بردن کیفیت و ارزش آن‌ها در بازار می‌باشد و به طور معمول از بسته‌های پلیمری به این منظور استفاده می‌شود. متأسفانه عدم رعایت اصول صحیح بسته‌بندی و نگهداری، باعث وارد آمدن خسارت و افزایش ضایعات میوه‌ها در چرخه‌ی برداشت، انبارداری و توزیع می‌گردد و این امر اهمیت توجه به شیوه بسته‌بندی این محصولات را بیش از پیش نشان می‌دهد [۴،۲]. سیب از دسته میوه‌های کلایماتریک و انگور از دسته غیر کلایماتریک‌ها می‌باشند.

امروزه بسته‌ها نقش کلیدی و مهمی را در کل زنجیره غذایی ایفا می‌کنند. در حال حاضر شرکت‌های مختلفی با توجه به نیاز جامعه، در صدد استفاده و ابداع روش‌های نوین در صنعت بسته‌بندی هستند تا هر چه بیشتر به ماندگاری و استفاده آسان‌تر از محصولات غذایی کمک کنند. در دهه‌ی اخیر، سیستم‌های بسته‌بندی فعال مواد غذایی به دلیل افزایش تقاضا در مورد ایمنی محصول، افزایش ماندگاری، بهره‌وری در هزینه، مسائل زیست محیطی و راحتی مصرف کننده مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. استفاده از بسته‌بندی فعال، روش نوینی برای نگهداری مواد غذایی می‌باشد. اصطلاح بسته‌بندی فعال برای اولین بار توسط لابوزا^۳ در سال ۱۹۸۷ مورد استفاده قرار گرفت. روش بسته‌بندی فعال علاوه بر ارتقاء زمان ماندگاری و ارزش غذایی محصول، همچنین باید بهداشتی و از هر جهت ایمن باشد [۵،۶]. برخی از مواد تشکیل دهنده‌ی بسته‌بندی فعال می‌توانند با ماده‌ی غذایی وارد واکنش شده و ماندگاری آن‌ها

1. Malus domestica
2. Viniifera
3. Labuza

استفاده در انجام آزمون‌های شیمیایی و میکروبی بر روی محصولات، اعم از محیط‌های کشت، حلال‌ها و واکنش‌گرهای مختلف از نوع آزمایشگاهی بوده و از شرکت سیگما خریداری شد.

۲.۲. تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی حاوی اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم

تولید نهایی و صنعتی پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی با دانسیته پایین حاوی نانو ذرات با غلظت‌های مختلف توسط دستگاه اکسترودر دمشی صنعتی (مدل ST، دانا ماشین، ایران) با روش اکسترودژن حلقوی انجام پذیرفت (شکل ۱). به این منظور از پلی‌اتیلن سبک همراه با دی‌اکسید تیتانیوم (در مقادیر ۰،۰۵ و ۱/۵٪) و اکسید روی (در مقادیر ۰،۰۷۵ و ۱/۵٪) استفاده گردید. دستگاه مورد استفاده از نوع اکسترودر دو مارپیچی تایسون^۲ دارای قطر مارپیچ ۱۲ cm و نسبت طول به قطر (L/D) ۴۰ می‌باشد. با استناد به منابع مورد استفاده و با توجه به یافته‌های پیشین، دمای فرآوری پلیمرها در مناطق ۱، ۲ و ۳ دستگاه اکسترودر دمشی به ترتیب 105°C ، 120°C و 115°C انتخاب گردید. ابتدا گرانول‌ها تا دمای 70°C حرارت داده شده، نانو ذرات به آن‌ها اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه به طور کامل مخلوط شد. در ادامه این مخلوط به داخل محفظه دستگاه اکسترودر منتقل و فیلمی دولایه با عرض ۳۰ cm و ضخامت ۵ mm، به صورت رول حاصل گردید.

شناخته شده است [۱۴،۱۰]. در پژوهش حاضر از نانوکامپوزیت حاوی پلیمر سنتزی پلی‌اتیلن سبک حاوی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی در نسبت‌های مختلف برای نگهداری سیب و انگور در شرایط سردخانه صنعتی (دمای $10-8^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۸۵٪) استفاده شد و تأثیر آن‌ها بر روی خواص کیفی این دو محصول مورد بررسی قرار گرفت. هدف نهایی این مطالعه، تهیه بسته با خواص کاربردی و ویژگی‌های ظاهری مطلوب است، به طوری که بتواند به افزایش ماندگاری این دو محصول و کاهش ضایعات آن‌ها کمک قابل توجهی نماید.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد شیمیایی و تجهیزات

گرانول‌های پلی‌اتیلن سبک (دانسیته 0.923 gr/cm^3)، نقطه ذوب (112°C) از شرکت پتروشیمی مشهد تهیه شد و نانو ذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان (مشهد) خریداری گردید تا برای تهیه پلیمرهای نانوکامپوزیت مورد استفاده قرار گیرند. میوه‌ی انگور رقم الحقی و سیب زرد رقم گلدن دلشیز^۱ پس از تأیید وارسته توسط متخصص باغبانی، مستقیماً از باغ در مرحله‌ی بلوغ تجاری (هنگامی که از نظر رنگ و طعم به کیفیت مطلوب خود رسیده بودند) برداشت شدند و بلافاصله برای انجام آزمایش به آزمایشگاه منتقل گردیدند. سینی‌های پلی‌وینیل کلراید مخصوص نگهداری میوه‌ها از یک فروشگاه محلی تهیه گردید. همچنین تمامی مواد شیمیایی مورد



شکل (۱) دستگاه اکسترودر دمشی مورد استفاده در تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری

Fig 1. Blower extruder used for I.D.P.F. nanocomposite active production

۳.۲. بررسی خواص ضد میکروبی بسته‌بندی حاوی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی

فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های نانوکامپوزیت حاوی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی با تعیین تأثیرگذاری آن‌ها در ممانعت از رشد باکتری اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس انجام پذیرفت. این باکتری‌ها در ۲۰ میلی‌لیتر از محیط کشت تربیتیکاز سوی برات (TSB)^۱ تلقیح شد و در دمای ۳۷ °C به مدت ۱۶ ساعت انکوبه شد. سپس میکروارگانسیم کشت داده شده، در ۵۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد^۲ و به ۱۰۰ mm از محیط کشت TSB استریل جدید اضافه گردید و در ادامه با استفاده از آب مقطر استریل، ۱۰ برابر رقیق شد. در ادامه، قطعاتی به ابعاد ۵ cm × ۵ cm از فیلم‌ها بریده شده و در فلاسک مخروطی قرار داده شد. ۵۰ mm از محیط کشت رقیق شده حاوی باکتری اشرشیاکلی^۳ و استافیلوکوکوس اورئوس^۴ (به میزان ۱۰^۶-۱۰^۷ CFU/ml) به روی قطعات فیلم افزوده شد و در دمای ۳۷ °C به مدت ۱۲ ساعت انکوبه شد. میزان مشابه محیط کشت رقیق شده که فاقد نمونه فیلم بود به عنوان نمونه شاهد مورد استفاده قرار گرفت. در فواصل زمانی ۳ ساعته، میزان زنده‌مانی باکتری‌ها با استفاده از روش شمارش کلونی بر روی محیط کشت نوترینت آگار انجام گرفت [۱۵]. این آزمون در مورد هر کدام از نمونه‌ها سه بار تکرار شد.

۴.۲. بسته‌بندی میوه‌ها با فیلم‌های نانوکامپوزیتی

سیب و انگور تازه از بازار محلی خریداری شد و خوشه‌های یکنواخت و عاری از هرگونه بیماری و آسیب فیزیکی انگور و نیز سیب‌های سالم به طور جداگانه در بسته‌های پلی‌اتیلنی حاوی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (۰٪، ۰/۵٪ و ۱/۵٪) و اکسید روی (۰٪، ۰/۷۵٪ و ۱/۵٪) بسته‌بندی شدند. برای این منظور یک خوشه انگور (حدود ۳۰۰ gr) در ظروف یک بار مصرف از سینی‌های پلی‌وینیل کلراید مخصوص به ابعاد ۲۱ cm × ۱۱ cm قرار داده شده و سپس درون پلاستیک

بسته‌بندی گردید. حدود ۱۰۰۰ gr سیب هم بدون سینی‌های پلی‌وینیل کلراید در بسته‌های پلی‌اتیلنی سبک بسته‌بندی شد. بسته‌های میوه بعد از قرارگرفتن تحت نور فرابنفش به مدت ۱۵ دقیقه، بلافاصله به سردخانه (دمای ۴ °C) ۸-۱۰ و رطوبت نسبی ۸۵٪) انتقال داده شدند. تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی انگور و سیب طی نگهداری به مدت به ترتیب ۳۰ و ۹۰ روز با فواصل زمانی ۱۰ (برای انگور) و ۳۰ روزه (برای سیب) در سردخانه بررسی گردید.

۵.۲. اندازه‌گیری میزان افت وزن و سفتی بافت

میزان افت وزن نمونه‌ها بر اساس روش تعیین اختلاف وزن بین نمونه اولیه و نمونه‌های نگهداری شده در زمان‌های مختلف تعیین گردید [۱۶]:

$$\%WL = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

W₁ و W₀ برابر افت وزن (٪)، وزن اولیه نمونه (گرم) و وزن نمونه در زمان t می‌باشد. سفتی بافت با استفاده از دستگاه تست بافت (کوپا، ایران) با کمک پروب سمبه‌ای با قطر ۲ cm برای سیب و ۰/۲ cm برای انگور تعیین گردید. اعمال فشار با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه و تا عمق ۳۰ mm برای سیب و ۳ mm برای انگور انجام شد و حداکثر نیروی لازم برای نفوذ در میوه به عنوان معیار سفتی بافت انگور (با واحد نیوتن) گزارش شد [۱۰، ۱۷، ۱۸].

۶.۲. اندازه‌گیری مواد جامد محلول، pH و اسیدیته

به منظور ابتدا آب سیب و انگور با کمک آب میوه‌گیر خانگی (پارس خزر، مدل ۶۱۰P، ایران) گرفته شد. مقدار مواد جامد محلول در آب انگور و سیب بر حسب درجه بریکس توسط رفاکتومتر دستی (آتاگو، ژاپن) در دمای ۲۵ °C اندازه‌گیری شد. میزان pH نیز با کمک pH متر (متلر تولدو، آمریکا) در فواصل زمانی ۱۰ و ۳۰ روزه طی نگهداری تعیین گردید. برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتر، نمونه‌ی انگور و سیب با استفاده از تیتراسیون با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH برابر ۸/۱ اندازه‌گیری شد و به صورت mg اسید تارتاریک در ۱۰۰ ml آب انگور و میلی‌گرم اسید مالئیک در ۱۰۰ g آب سیب گزارش گردید [۱۹].

1. Trypticase Soy Broth
2. Sigma, 6K15, Germany
3. Escherichia coli PTCC 1329
4. Staphylococcus aureus PTCC 1337

سطحی، درجه ۳: کمتر از ۳۰٪ آلودگی سطحی، درجه ۴: کمتر از ۵۰٪ آلودگی سطحی و درجه ۵: کمتر از ۱۰۰٪ آلودگی سطحی تقسیم شدند. سرعت پوسیدگی از معادله زیر محاسبه گردید [۵]:

$$(۴) \quad \text{سرعت پوسیدگی (\%)} = \frac{\text{تعداد میوه در آن X درجه پوسیدگی}}{\text{تعداد کل میوه ها X حداکثر درجه پوسیدگی (5)}} \times 100$$

۱۰.۲. تحلیل آماری

این پژوهش در قالب آزمایش‌های فاکتوریل با طرح پایه آماری کاملاً تصادفی با دو نوع فیلم هر کدام در سه سطح روی (۰، ۰/۵، ۱/۵) و دی‌اکسید تیتانیوم و نیز ۰/۰، ۰/۱۷۵، ۰/۱/۵ (اکسید روی) و ۴ زمان نگهداری انجام پذیرفت. آنالیز آماری برای هر میوه به صورت جداگانه انجام پذیرفت. تمامی آزمون‌ها حداقل در سه تکرار انجام شدند و تحلیل و ارزیابی با استفاده از مدل خطی و با کمک نرم‌افزار آماری SPSS 26 در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام پذیرفت. آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای تأیید وجود اختلاف بین میانگین‌ها بکار برده شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. خاصیت ضد میکروبی فیلم

نتایج نشان داد که حضور نانو ذرات اکسیدروی و دی‌اکسیدتیتانیوم باعث ایجاد خاصیت ضد میکروبی در فیلم‌ها می‌شود. لازم است این ویژگی نیز قبل از استفاده برای بسته‌بندی مواد غذایی مورد آزمون قرار گیرد تا از کارایی آن در ممانعت از رشد میکروارگانیسم‌های عامل فساد مواد غذایی اطمینان حاصل شود. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، فیلم‌های خالص، فاقد خاصیت ضد میکروبی است و با افزایش زمان آزمون، تعداد میکروارگانیسم‌های زنده در سوسپانسیون افزایش می‌یابد و از نظر آماری تفاوتی با نمونه شاهد فاقد فیلم ندارد ($p > 0/05$).

۷.۲. تعیین شاخص قهوه‌ای شدن

برای تعیین شاخص قهوه‌ای شدن سطحی، از هر میوه‌ها با کمک دوربین (کانن، مدل ۷۰D، ژاپن) و درون محفظه پردازش تصویر، عکس گرفته شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Image J شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* استخراج شد. شاخص قهوه‌ای شدن (BI) برابر است با [۱۸، ۱۶]:

$$(۲) \quad BI = \frac{(x-0/3)}{0/1752} \times 100$$

در رابطه فوق مقدار X برابر است با:

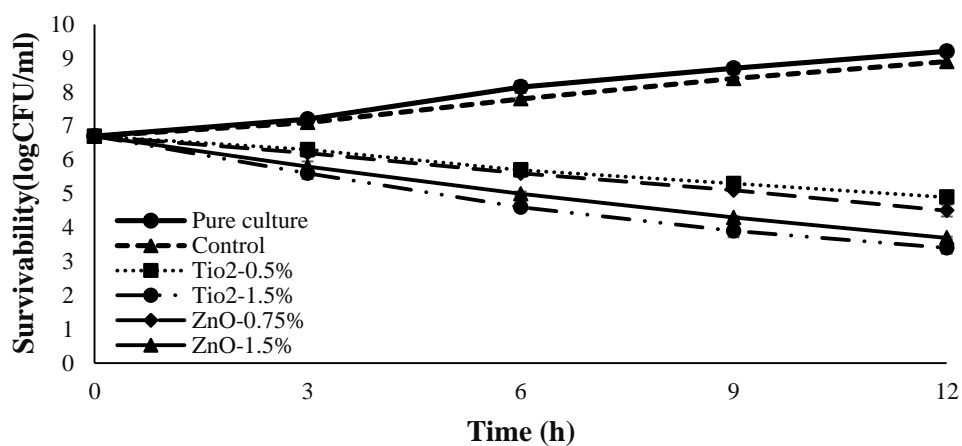
$$(۳) \quad x = \frac{(a+1/75L^*)}{(5/645 L^*+a^*-3/012b^*)}$$

۸.۲. آنالیز میکروبی

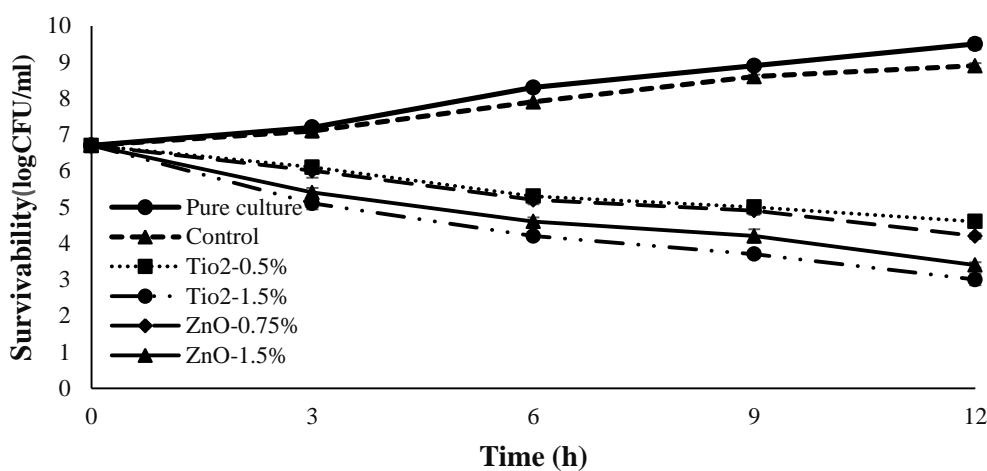
باکتری‌های سرما گرا و کپک و مخمر برای تعیین فلور میکروبی سیب و انگور شمارش شدند. به این منظور از محیط‌های کشت پلیت کانت آگار و دیکلوران گلیسرول ۱۸ به ترتیب برای شمارش باکتری‌های سرما گرا و کپک و مخمر استفاده گردید. ۱۰ گرم از نمونه سطحی سیب یا انگور به ۹۰ ml سرم فیزیولوژیک اضافه شد و پس از تهیه چندین رقت متوالی، رقت‌های مورد نظر از آن تهیه شد. در نهایت ۰/۱ ml از هر رقت به پلیت‌های استریل حاوی ۱۵ ml محیط کشت منتقل شد و محیط کشت پلیت کانت آگار به مدت ۳ روز در دمای 22°C و دیکلوران گلیسرول ۱۸ به مدت ۳ تا ۵ روز در دمای 30°C انکوبه گردید. نتایج به صورت لگاریتم تعداد کلنی بر گرم نمونه گزارش گردید [۲۱].

۹.۲. میزان پوسیدگی (رشد کپک)

به منظور اندازه‌گیری میزان پوسیدگی و فساد، ۵ بسته حاوی سیب و انگور برای هر تیمار به طور جداگانه در شرایط سردخانه نگهداری گردید و در فواصل زمانی مشخص میوه‌ها بر اساس میزان سطح پوسیدگی به ۵ درجه شامل درجه ۱: بدون هر گونه کپک سطحی، درجه ۲: حداکثر ۱۰٪ آلودگی



(a)



(b)

شکل (۲) تأثیر ضد میکروبی فیلم‌های نانوکامپوزیت LDPE حاوی دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی بر روی (a) باکتری گرم منفی اشرشیاکلی و (b) باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس

Fig 2. Antimicrobial effect of LDPE nanocomposite active film containing titanium dioxide and zinc oxide on (a) *E. Coli* (gram-negative bacteria) and (b) *Staphylococcus aureus* (gram-positive bacteria).

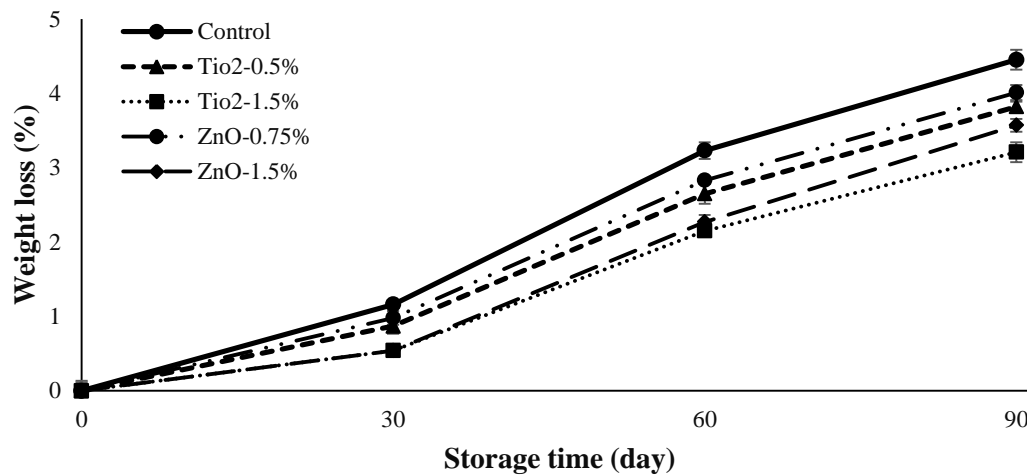
دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب یون‌های Ti^{2+} و Zn^{2+} را آزاد می‌کنند که قادر است از دیواره سلولی باکتری عبور نماید و با دخالت در سیتوپلاسم سلولی باعث مرگ میکروارگانیسم شود. این مکانیسم می‌تواند اثر ضد میکروبی بیشتر دی‌اکسید تیتانیوم را اثبات کند. همچنین ممکن است که خاصیت تولید پروکسید هیدروژن (H_2O_2) و یا گونه‌های اسیژنی فعال و رادیکال‌های آزاد توسط این نانو ذرات سبب آسیب به غشا و دیواره سلولی میکروارگانیسم‌ها و ایجاد خاصیت ضد میکروبی گردد [۲۵، ۲۲]. در نهایت تجمع مستقیم این نانو ذرات در اطراف غشای سلولی میکروارگانیسم‌ها، سبب تغییر

نتایج نشان داد که با افزودن نانو ذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم خاصیت ضد میکروبی افزایش یافت و تعداد باکتری‌های زنده به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$)؛ در این بین فیلم حاوی دی‌اکسید تیتانیوم بیشترین خاصیت ضد میکروبی را از خود نشان داد، به طوری که فیلم‌های حاوی ۱/۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم کمترین زنده‌مانی اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس را نشان می‌دهند. مکانیسم اثر ضد میکروبی این نانو ذرات هنوز به طور کامل مشخص نشده است. با این وجود، مکانیسم‌های احتمالی به این صورت است که نانو ذرات اکسید روی و

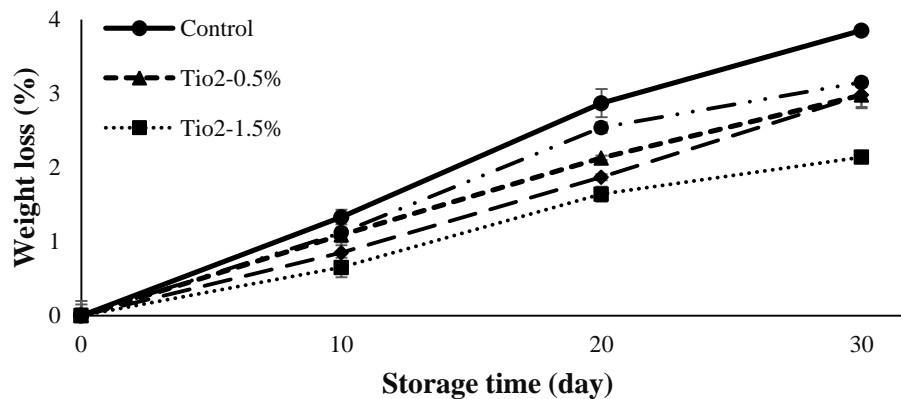
۲.۳. میزان افت وزن و سفتی بافتی

میزان تغییرات افت وزن و سفتی بافت میوه از جمله مهم‌ترین خصیصه‌هایی است که بر روی بازاریابی آن‌ها تأثیر می‌گذارد. افت وزنی در کنار ضرر اقتصادی، باعث کاهش بازاریابی و نرمی بیش از حد بافت می‌گردد [۲۸،۲۷]. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد، بیشترین کاهش وزن نمونه‌های انگور و سیب در تیمار شاهد ثبت شد و با افزودن نانوذرات، میزان افت وزن در نمونه‌ها کاهش یافت.

آرایش غشای سلولی و افزایش نفوذپذیری آن می‌شود که با تغییر مایع سیتوپلاسمی باعث مرگ یا ممانعت از رشد آن می‌گردد [۲۶،۷،۵]. نتایج همچنین نشان داد که روند کاهش باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در حضور فیلم‌های حاوی نانو ذرات، بیشتر از باکتری اشرشیاکلی است و فیلم‌ها تأثیر بیشتری بر روی این باکتری دارند. دلیل این امر، وجود اثر محافظت‌کنندگی لایه لیپوپلی‌ساکارید روی دیواره سلول باکتری گرم منفی است که باعث می‌شود نانو ذرات، اثر کمتری روی این باکتری‌ها داشته باشند و باکتری‌های گرم مثبت مانند استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به نانو ذرات بسیار حساس‌تر هستند.



(a)



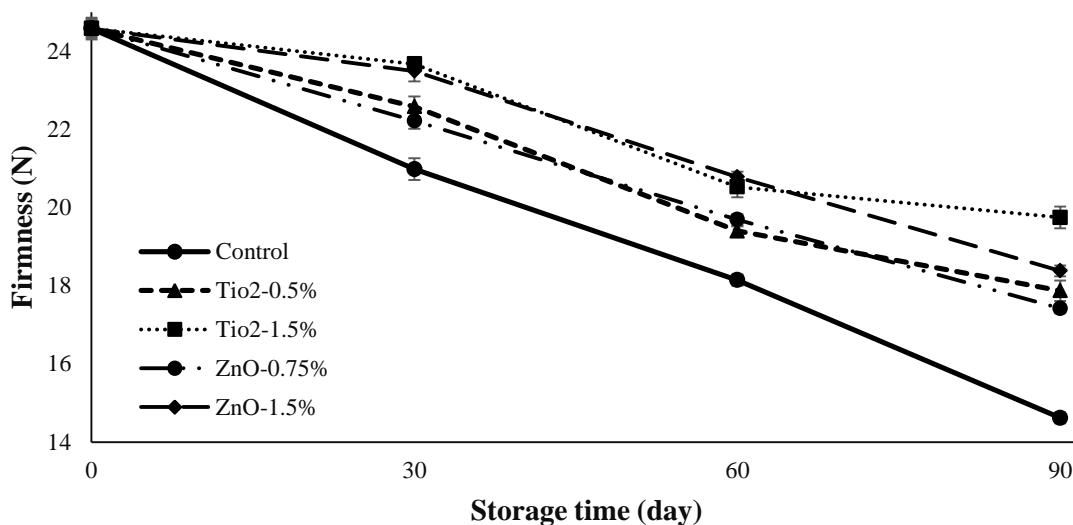
(b)

شکل (۳) میزان افت وزن سیب (a) و انگور (b) بسته‌بندی شده با فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی طی دوره نگهداری در شرایط سردخانه.

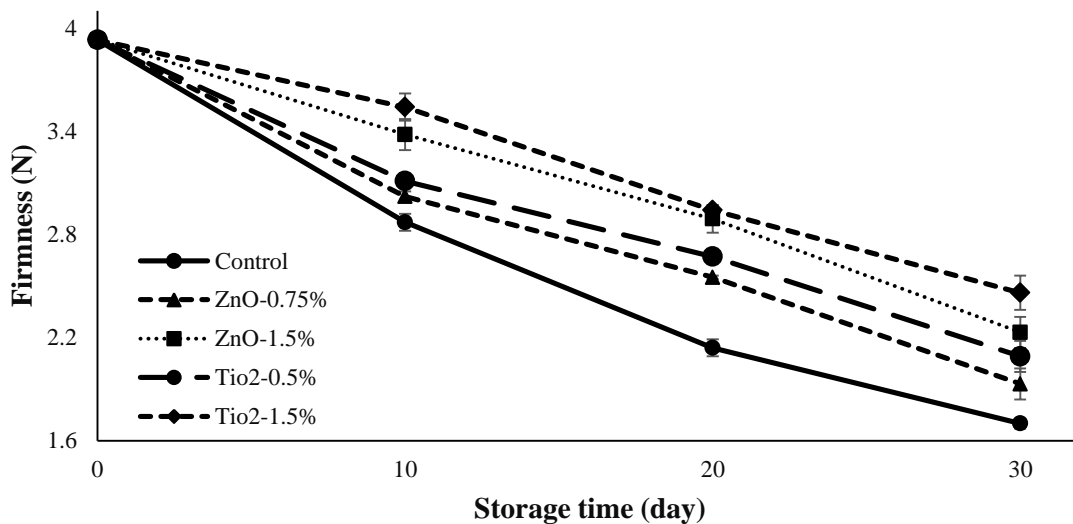
Fig 3. The weight loss (%) of (a) apple and (b) grape in LDPE nanocomposite active packaging containing various concentration of titanium dioxide and zinc oxide during cold storage

قرار دهد. تعیین میزان سفتی بافت می‌تواند روش مؤثر دیگری برای تعیین میزان تغییرات نامطلوب فیزیولوژیکی در میوه به حساب آید [۲۷،۱۶]. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، با گذشت زمان میزان سفتی بافت در تمامی نمونه‌ها به طور معناداری کاهش می‌یابد ($P < 0.05$). کاهش سفتی و نرم شدن میوه با فعالیت آنزیم‌های پکتولیتیک، شکسته شدن و تجزیه‌ی پلی‌ساکاریدهای دیواره‌ی سلولی (همی‌سلولز، سلولز و پکتین) و تجزیه‌ی تیغه‌ی میانی در ارتباط است [۲۹،۲۸]. سرعت تغییرات بافتی در میوه‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های حاوی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی از نمونه‌های شاهد بسیار کمتر بود و بافت آن‌ها بهتر حفظ شد. این امر نشان می‌دهد که نانو ذرات قادرند با کاهش سرعت تنفس میوه، بر روی فعالیت آنزیمی آن تأثیر بگذارند و از نرخ نرم شدن بافت بکاهند. در بسته‌بندی فعال، با مصرف اکسیژن (دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی تحت تأثیر نور فرابنفش خاصیت جذب اکسیژن نیز پیدا می‌کنند) معمولاً غلظت اکسیژن کاهش می‌یابد و این کار سبب می‌شود شدت تنفس کاهش یابد و همچنین فعالیت میکروب‌ها و آنزیم‌های اکسایشی نیز کم می‌شود. از طرف دیگر کاهش نفوذپذیری فیلم نسبت به اکسیژن در حضور دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی باعث کاهش سرعت واکنش‌های تنفسی می‌شود و در نتیجه تغییرات در مواد جامد محلول مواد غذایی کمتر رخ خواهد داد [۲۸]. نتایج همچنین نشان داد که تأثیرگذاری دی‌اکسید تیتانیوم بر روی سرعت تغییرات بافتی سیب و انگور بیشتر از اکسید روی بود، به طوری که نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم حاوی ۱/۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم طی نگهداری، بالاترین میزان سفتی بافت را نشان دادند. نتایج مشابهی برای نگهداری خرما [۷]، انار [۸]، توت‌فرنگی [۵] و هلو [۱۳] گزارش شده است.

مشخص است که این تأثیرگذاری بیشتر از اواسط نگهداری آغاز می‌گردد و در روزهای پایانی، تأثیر آن بیشتر می‌شود. افت وزن عمدتاً به سبب فرآیند تنفس طبیعی میوه و یا فعالیت میکروارگانیسم‌ها است که سبب تبخیر آب، تغییرات فیزیولوژیکی، تغییرات آنزیمی، تجزیه مواد پکتیکی و نشاسته و مصرف قند می‌گردد. تبخیر آب ناشی از تنفس یا فعالیت میکروبی عامل اصلی این افت وزن است و در کنار آن آسیب‌های به وجود آمده در اثر آلودگی به عوامل بیماری‌زا و یا صدمه به بافت محصولات می‌تواند میزان کاهش وزن میوه‌ها را زیاد کند. پس از چیدن سیب و انگور تغییرات فیزیولوژیک در آن‌ها ادامه می‌یابد که یکی از مهم‌ترین نتایج آن، تجزیه ترکیبات آلی و کاهش وزن محصول در طی نگهداری مخصوصاً در دماهای بالا است [۱۶،۱۰]. نتایج نشان داد که تأثیر دی‌اکسید تیتانیوم بر روی کاهش افت وزن نمونه‌های سیب و انگور به طور معناداری بیشتر از اکسید روی می‌باشد ($P < 0.05$). همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، میزان افت وزن سیب بسته‌بندی شده در فیلم حاوی ۱/۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم و ۱/۵٪ اکسید روی پس از ۹۰ روز نگهداری به ترتیب ۳/۳۱٪ و ۳/۶۷٪ است. این تفاوت شاید به سبب قابلیت امتزاج بهتر دی‌اکسید تیتانیوم با پلی‌اتیلن سبک، بهبود بیشتر خواص بازدارندگی نسبت به گازها و بخار آب فیلم حاوی دی‌اکسید تیتانیوم و افزایش نفوذناپذیری فیلم حاوی دی‌اکسید تیتانیوم در مقایسه با فیلم حاوی اکسید روی باشد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان ارائه شده است. لی و همکاران تأثیر قابل توجه فیلم‌های حاوی اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم را بر کاهش میزان افت وزن هلو و توت‌فرنگی طی نگهداری در سردخانه گزارش نمودند [۱۳،۵]. ویژگی‌های بافت میوه به آماس سلولی و ساختار و ترکیبات پلی‌ساکاریدهای دیواره‌ی سلولی بستگی دارد. نرم شدن علاوه بر تأثیر بر کیفیت میوه می‌تواند عمر انباری، قابلیت حمل‌ونقل و مقاومت به بیماری‌ها را نیز تحت تأثیر



(a)



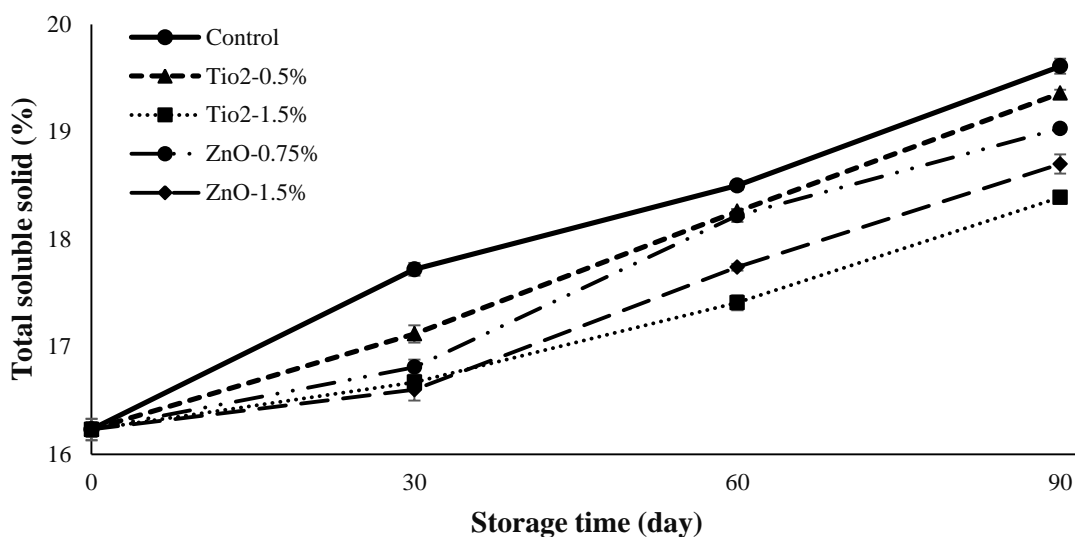
(b)

شکل (۴) میزان سفتی بافت سیب (a) و انگور (b) بسته‌بندی شده با فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی طی دوره نگهداری در شرایط سردخانه.

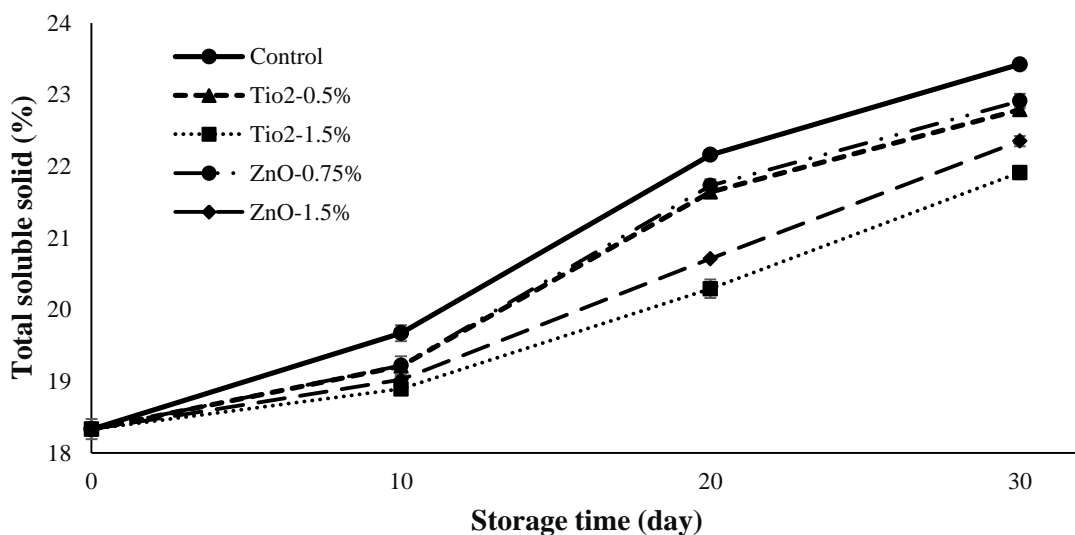
Fig4. The firmness of (a) apple and (b) grape in LDPE nanocomposite active packaging containing various concentration of titanium dioxide and zinc oxide during cold storage.

میوه‌هایی مانند سیب و انگور، در حین نگهداری پس از برداشت، امری طبیعی می‌باشد؛ به عبارت دیگر فرآیند تنفس و فرآیند رسیدگی (پیری) در میوه عامل اصلی این افزایش است [۳۱،۳۰،۱۹].

۳.۳. میزان مواد جامد محلول (TSS)، pH و اسیدیته
میزان مواد جامد محلول در طول نگهداری میوه افزایش یافت (شکل ۵). این افزایش مواد جامد محلول با تغییرات فیزیولوژیک میوه در حین رسیدن و تنفس در ارتباط است که طی آن، نشاسته به قندهای ساده‌تر تبدیل می‌گردد و در



(a)



(b)

شکل (۵) میزان مواد جامد محلول سیب (a) و انگور (b) بسته‌بندی شده با فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی طی دوره نگهداری در شرایط سردخانه.

Fig 5. The total soluble solid of (a) apple and (b) grape in LDPE nanocomposite active packaging containing various concentration of titanium dioxide and zinc oxide during cold storage.

تغییرات در مواد جامد محلول مواد غذایی کمتر رخ خواهد داد [۱۳]. با مقایسه‌ی نمودارها مشخص است که تأثیر دی‌اکسید تیتانیوم در کاهش سرعت تنفس و کاهش میزان مواد جامد محلول به طور معناداری بیشتر از اکسید روی می‌باشد ($p < 0.05$) و اختلاف بین میزان مواد جامد محلول نمونه‌ها مخصوصاً در روزهای پایانی نگهداری، بیشتر است.

با استفاده از بسته‌های حاوی نانو ذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم، روند افزایشی مواد جامد محلول به طور معنی‌داری کمتر گردید و با افزایش مدت زمان نگهداری نیز این تأثیر معنادارتر شد ($p < 0.05$). کاهش نفوذپذیری فیلم نسبت به اکسیژن در حضور دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی باعث کاهش سرعت واکنش‌های تنفسی می‌شود و در نتیجه

در pH انگور و سیب‌های نگهداری شده در شرایط سردخانه‌ای رخ می‌دهد. از آنجائی که با گذشت زمان سرعت تجزیه اسیدهای آلی افزایش می‌یابد. از این رو pH نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان فعالیت آنزیم سیتریک اسید گلی اکسیلاز و تجزیه اسید سیتریک در طول دوره رسیدگی سیب و یا تبدیل اسیدهای آلی به قندهای ساده و مصرف آن‌ها طی فرایندهای متابولیکی میوه نسبت داد [۲۴]. بر این اساس، با افزودن نانو ذرات روند کاهش اسیدیته کمتر شد و فیلم‌های حاوی بیشترین مقادیر نانو ذرات، کمترین میزان pH را در طول مدت نگهداری نشان دادند.

پخش یکنواخت‌تر دی‌اکسید تیتانیوم در بستر فیلم پلی‌اتیلن سبک و همچنین اثر ضد میکروبی قوی‌تر دی‌اکسید تیتانیوم در مقایسه با اکسید روی می‌تواند دلیل این تفاوت در تأثیرگذاری دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی بر روی ماندگاری انگور و سیب باشد. همچنین نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم با گاز اتیلن وارد واکنش شده و آن را تجزیه می‌نمایند. روند تغییرات فیزیولوژی در داخل میوه در طول نگهداری را می‌توان با تغییرات در محتوای اسیدهای آلی مشخص نمود. این خصیصه نیز نقش مهمی در شناسایی سطح کیفی میوه‌های تازه دارد. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌گردد، روند افزایشی معنی‌داری با گذشت زمان

جدول (۱) تغییرات pH در نمونه‌های انگور و سیب بسته‌بندی شده با فیلم حاوی دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی طی نگهداری در شرایط سردخانه. **Table 1.** The pH changes of apple and grape samples in LDPE nanocomposite packaging containing titanium dioxide and zinc oxide during cold storage.

میوه Fruit	تیمار Treatment	روز Day			
		0	10	20	30
انگور Grape	شاهد Control	3.96±0.03 ^{aA}	4.10±0.05 ^{aB}	4.21±0.03 ^{bC}	4.24±0.02 ^{cC}
	دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۵٪ TiO ₂ -0.5%	3.92±0.04 ^{aA}	4.08±0.06 ^{aB}	4.18±0.02 ^{bC}	4.19±0.01 ^{bC}
	دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۵٪ TiO ₂ -1.5%	3.95±0.02 ^{aA}	3.99±0.05 ^{aA}	4.07±0.04 ^{aA}	4.14±0.01 ^{aB}
	اکسید روی ۰/۷۵٪ ZnO-0.75%	3.95±0.03 ^{aA}	4.09±0.02 ^{aB}	4.19±0.01 ^{bC}	4.18±0.02 ^{bC}
	اکسید روی ۱/۵٪ ZnO-1.5%	3.94±0.01 ^{aA}	4.05±0.03 ^{aB}	4.12±0.04 ^{aB}	4.16±0.03 ^{aB}
سیب Apple	شاهد Control	3.64±0.03 ^{aA}	3.92±0.05 ^{cB}	4.17±0.01 ^{dC}	4.45±0.04 ^{dD}
	دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۵٪ TiO ₂ -0.5%	3.61±0.04 ^{aA}	3.85±0.02 ^{bB}	4.04±0.02 ^{cC}	4.22±0.01 ^{cD}
	دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۵٪ TiO ₂ -1.5%	3.62±0.05 ^{aA}	3.78±0.04 ^{aB}	3.90±0.01 ^{aC}	4.09±0.03 ^{aD}
	اکسید روی ۰/۷۵٪ ZnO-0.75%	3.63±0.04 ^{aA}	3.83±0.01 ^{bB}	4.01±0.01 ^{cC}	4.20±0.02 ^{cD}
	اکسید روی ۱/۵٪ ZnO-1.5%	3.60±0.03 ^{aA}	3.75±0.07 ^{aB}	3.96±0.03 ^{bC}	4.16±0.01 ^{bD}

حروف غیر مشابه بزرگ در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف در بین زمان‌های آزمون در سطح ۵٪ است.

Means followed by a different capital letters along the row are significantly different ($p < 0.05$)

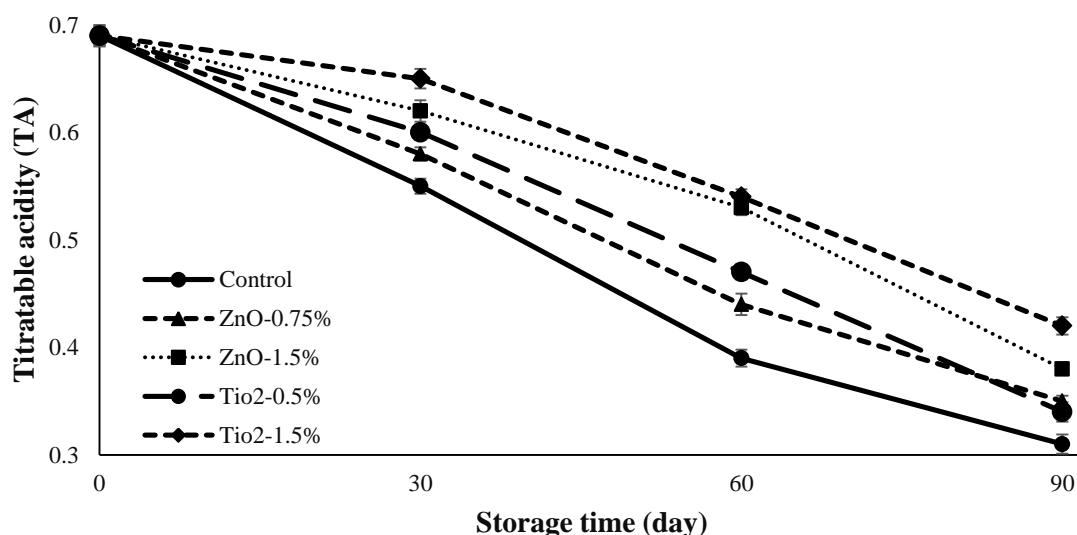
حروف غیرمشابه کوچک در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف در بین تیمارها در سطح ۵٪ است.

Means followed by a different lowercase letters along the column are significantly different ($p < 0.05$)

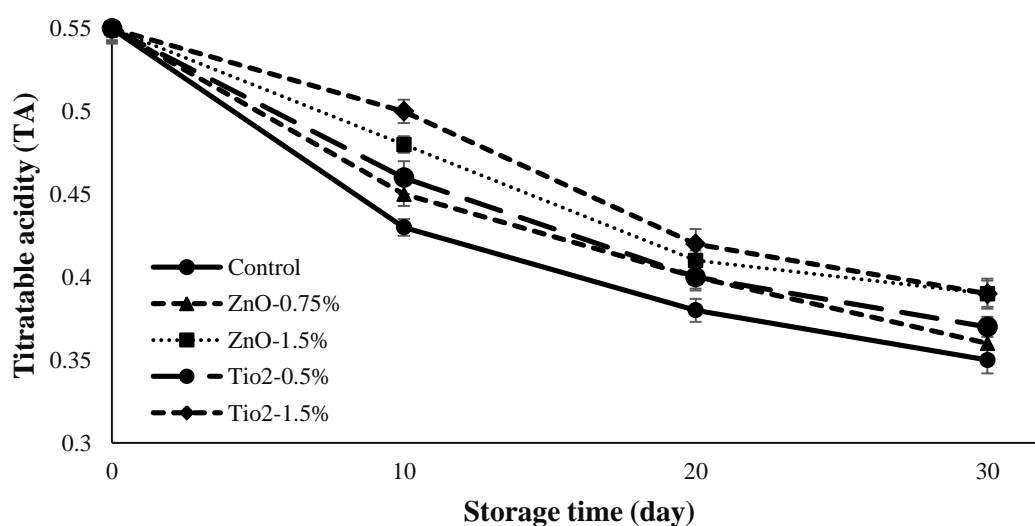
دادند. تغییرات pH ممکن است به افزایش فعالیت سیتریک اسید گلیکوزیلاز در طی رسیدن میوه یا کاهش میزان اسید در اثر تبدیل قندها در فرآیندهای متابولیکی طی انبارداری مرتبط باشد [۳۲].

نتایج اسیدیته قابل تیتر نشان داد که میزان این خصیصه در نمونه‌ی انگور و سیب طی نگهداری در سردخانه به طور معناداری کاهش می‌یابد ($p < 0.05$) (شکل ۶).

کاهش نفوذپذیری فیلم‌ها و کنترل فعالیت‌های متابولیکی و سرعت رشد میکروبی، از جمله مهمترین دلایلی است که می‌توان در مورد کاهش تغییرات اسیدیته و نیز pH در حین نگهداری میوه‌ها در داخل بسته‌های حاوی نانو ذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم بیان نمود. همان طور که مشخص است، فیلم‌های حاوی اکسید روی تأثیرگذاری کمتری در مقایسه با فیلم‌های حاوی دی‌اکسید تیتانیوم از خود نشان



(a)



(b)

شکل (۶) میزان اسیدیته قابل تیتر سیب (a) و انگور (b) بسته‌بندی شده با فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی طی دوره نگهداری در شرایط سردخانه.

Fig 6. The titratable acidity of (a) apple and (b) grape in LDPE nanocomposite active packaging containing various concentration of titanium dioxide and zinc oxide during cold storage.

این نشان دهنده کارایی بیشتر دی‌اکسید تیتانیوم در مقایسه با اکسید روی در کنترل واکنش‌های متابولیکی در میوه‌هایی نظیر سیب و انگور می‌باشد.

۴.۳. شاخص قهوه‌ای شدن

ویژگی‌های رنگی میوه و خواص ظاهری آن یکی از مهم‌ترین معرف‌های کیفی و تازگی میوه است و یکی از اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان پذیرش توسط مصرف کننده می‌باشد [۳]. جدول (۲) به ترتیب شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌های انگور و سیب را نشان می‌دهد. مشخص است که در طول دوره نگهداری، شاخص قهوه‌ای به طور معناداری افزایش یافته است ($p < 0.05$). در نمونه‌های شاهد بیشترین روند افزایشی شاخص قهوه‌ای شدن مشاهده شد.

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، دلیل این امر را می‌توان به تنفس، فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده اسیدهای آلی در طول دوره رسیدگی سیب و یا تبدیل اسیدهای آلی به قندهای ساده و مصرف آن‌ها طی فرایندهای متابولیکی میوه نسبت داد. مطابق انتظار افزودن نانو ذرات، روند کاشی اسیدپایه را کاهش می‌دهد؛ به طوری که فیلم‌های حاوی بیشترین نانو ذرات، بالاترین اسیدپایه را در طول مدت نگهداری دارند. کاهش نفوذپذیری فیلم‌ها و کنترل فعالیت‌های متابولیکی و سرعت رشد میکروبی، از جمله مهم‌ترین دلایلی است که می‌توان در مورد کاهش تغییرات اسیدپایه در حین نگهداری میوه‌ها در داخل بسته‌های حاوی این نانو ذرات بیان نمود. دی‌اکسید تیتانیوم در کاهش تبادل گازها و کنترل فعالیت‌های متابولیکی مؤثرتر از اکسید روی عمل می‌کند و

جدول (۲) شاخص قهوه‌ای شدن در نمونه‌های انگور و سیب بسته‌بندی شده با فیلم حاوی دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی طی نگهداری در سردخانه.
Table 2. The browning index of apple and grape samples in LDPE nanocomposite packaging containing titanium dioxide and zinc oxide during cold storage.

میوه Fruit	تیمار Treatment	روز Day			
		0	10	20	30
انگور Grape	شاهد Control	6.97±0.24 ^{aA}	9.41±0.12 ^{cB}	10.67±0.21 ^{cC}	12.42±0.19 ^{cD}
	دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۵٪ TiO ₂ -0.5%	6.98±0.21 ^{aA}	7.79±0.27 ^{bB}	8.89±0.11 ^{bC}	9.22±0.28 ^{bD}
	دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۵٪ TiO ₂ -1.5%	7.01±0.22 ^{aA}	7.35±0.21 ^{aA}	7.97±0.18 ^{aB}	8.57±0.09 ^{aC}
	اکسید روی ۰/۷۵٪ ZnO-0.75%	6.94±0.20 ^{aA}	7.71±0.18 ^{bB}	8.73±0.13 ^{bC}	9.09±0.18 ^{bD}
	اکسید روی ۱/۵٪ ZnO-1.5%	7.02±0.25 ^{aA}	7.44±0.19 ^{aA}	8.12±0.18 ^{aB}	8.78±0.19 ^{aC}
سیب Apple	شاهد Control	8.10±0.10 ^{aA}	9.66±0.11 ^{cB}	10.54±0.23 ^{cC}	12.88±0.21 ^{cD}
	دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۵٪ TiO ₂ -0.5%	8.08±0.11 ^{aA}	8.92±0.19 ^{bB}	9.26±0.13 ^{bC}	9.87±0.11 ^{bD}
	دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۵٪ TiO ₂ -1.5%	8.15±0.09 ^{aA}	8.48±0.16 ^{aB}	8.89±0.09 ^{aC}	9.21±0.18 ^{aD}
	اکسید روی ۰/۷۵٪ ZnO-0.75%	8.13±0.08 ^{aA}	8.88±0.09 ^{bB}	9.27±0.11 ^{bC}	9.73±0.17 ^{bD}
	اکسید روی ۱/۵٪ ZnO-1.5%	8.11±0.12 ^{aA}	8.56±0.12 ^{aB}	8.97±0.13 ^{aC}	9.44±0.12 ^{aD}

حروف غیر مشابه بزرگ در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف در بین زمان‌های آزمون در سطح ۵٪ است.

Means followed by a different capital letters along the row are significantly different ($p < 0.05$)

حروف غیر مشابه کوچک در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف در بین تیمارها در سطح ۵٪ است.

Means followed by a different lowercase letters along the column are significantly different ($p < 0.05$)

افزودن نانو ذرات، روند افزایشی در تعداد کپک و مخمر در طول نگهداری با سرعت کمتری مشاهده گردید. به طوری که تعداد کپک و مخمر انگور بسته‌بندی شده در روز سی‌ام نگهداری در فیلم حاوی ۱/۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم و ۱/۵٪ اکسید روی به ترتیب ۵۳٪ و ۴۸٪ کمتر از نمونه شاهد بود. تعداد کپک و مخمر نمونه‌های سیب بسته‌بندی شده در فیلم حاوی ۱/۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم و ۱/۵٪ اکسید روی پس از ۹۰ روز نگهداری به ترتیب ۴۸٪ و ۴۲٪ کمتر از نمونه شاهد بود. کنترل آلودگی قارچی طی دوره‌ی انبارداری در میوه‌های انگور و سیب مربوط به اثر فتوکاتالیزستی دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی می‌باشد [۲۰، ۱۵]. در نمونه‌های سیب بسته‌بندی شده در فیلم حاوی ۱/۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم تا روز شصتم نگهداری، تغییر معناداری در تعداد باکتری‌های سرمادوست مشاهده نگردید ($p < 0.05$). تأثیر دی‌اکسید تیتانیوم بر روی کاهش رشد سرما دوست‌ها به طور معنی‌داری بیشتر از اکسید روی بود ($p < 0.05$). با این وجود، تأثیر اکسید روی بر روی کاهش رشد سرما دوست‌ها بیشتر از کپک‌ها و مخمرها بود که نشان‌دهنده تأثیر کشندگی بیشتر این نانوذره بر روی باکتری‌ها نسبت به کپک‌ها مخمرها می‌باشد. تأثیر نانو ذرات در کنترل بار میکروبی را می‌توان بدین صورت توجیه نمود که اولاً اثر ضد میکروبی خود نانو ذرات باعث کاهش نرخ رشد باکتری‌ها می‌شود. ثانیاً حضور نانو ذرات، با کاهش نفوذپذیری بسته‌بندی نسبت به بخار آب و اکسیژن، میزان اکسیژن و رطوبت در دسترس را کاهش می‌دهد و بنابراین محیط داخلی بسته‌بندی را برای رشد باکتری‌های هوازی نامساعد می‌کند. تأثیر اکسید روی بر روی کاهش رشد سرمادوست‌ها بیشتر از کپک و مخمرها بود که نشان‌دهنده تأثیر کشندگی بیشتر این نانوذره بر روی باکتری‌ها نسبت به کپک و مخمرها می‌باشد.

قهوه‌ای شدن توسط واکنش‌های آنزیمی و غیر آنزیمی که در زمان دهیدراسیون سلولی آغاز می‌شوند، ایجاد می‌گردد. رنگ قهوه‌ای نتیجه‌ی تولید رنگیزه‌های ملانین قهوه‌ای-سیاه، حاصل از قهوه‌ای شدن آنزیمی (پلی‌فنل‌اکسیداز) است. قهوه‌ای شدن در پوست آغاز می‌گردد و به دنبال آن هسته‌ها نیز قهوه‌ای می‌گردند. قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی یک پروسه آرام‌تر است که در اثر واکنش قند و پروتئین اتفاق می‌افتد [۱۰، ۳]. با افزودن نانو ذرات و کنترل نفوذ اکسیژن به داخل بسته و در نتیجه کاهش نرخ واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی که در حضور اکسیژن انجام می‌شوند، میزان قهوه‌ای شدن کاهش پیدا کرد. این کاهش در نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های حاوی دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر از فیلم‌های حاوی اکسید روی بود و فیلم دی‌اکسید تیتانیوم کمترین شاخص قهوه‌ای شدن را در بین نمونه‌ها طی نگهداری نشان داد.

۵.۳. آنالیز میکروبی

بار میکروبی محصولات تازه برداشت شده، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی کیفیت میوه‌ها می‌باشد؛ زیرا فعالیت میکروبی، علاوه بر تأثیر مستقیم بر سلامتی مصرف‌کننده، می‌تواند به دلیل تولید آنزیم‌های مختلف، بر خواص کیفی محصول نیز تأثیرگذار باشد و در مجموع، ماندگاری میوه را کاهش دهد. عوامل قارچی مهم‌ترین عامل ایجاد آسیب‌های میکروبی در میوه‌ها (نظیر انگور و سیب) هستند که به راحتی محصول برداشت شده را مورد حمله قرار می‌دهد [۲۰، ۸]. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌گردد، تعداد کپک و مخمر انگور و سیب طی نگهداری به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p < 0.05$). این افزایش، در نمونه‌های شاهد بیشتر و معنی‌دارتر از سایر نمونه‌ها است ($p < 0.05$). با

جدول (۳) شمارش کپک و مخمر و باکتری‌های سرمادوست در نمونه‌های انگور و سیب بسته‌بندی شده با فیلم حاوی دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی طی نگهداری در شرایط سردخانه.

Table 3. The mold, yeast and mesophilic bacteria of apple and grape samples in LDPE nanocomposite packaging containing titanium dioxide and zinc oxide during cold storage

آزمون Analysis	میوه Fruit	تیمار Treatment	روز Day			
			0	10	20	30
کپک و مخمر Mold and yeast	انگور Grape	شاهد Control	1.38±0.12 ^{aA}	1.96±0.11 ^{eB}	2.85±0.10 ^{cC}	3.83±0.16 ^{dD}
		دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۵٪ TiO ₂ -0.5%	1.41±0.10 ^{aA}	1.62±0.09 ^{bA}	1.92±0.13 ^{bB}	2.33±0.11 ^{cC}
		دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۵٪ TiO ₂ -1.5%	1.44±0.11 ^{aA}	1.48±0.08 ^{aA}	1.73±0.12 ^{aA}	2.01±0.08 ^{aB}
		اکسید روی ۰/۷۵٪ ZnO-0.75%	1.39±0.09 ^{aA}	1.61±0.11 ^{bA}	1.87±0.08 ^{bB}	2.31±0.10 ^{cC}
		اکسید روی ۱/۵٪ ZnO-1.5%	1.40±0.08 ^{aA}	1.51±0.11 ^{aA}	1.78±0.09 ^{aB}	2.21±0.09 ^{bC}
	سیب Apple	شاهد Control	1.02±0.16 ^{aA}	1.39±0.22 ^{bA}	1.87±0.20 ^{cB}	2.95±0.19 ^{dC}
		دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۵٪ TiO ₂ -0.5%	1.04±0.09 ^{aA}	1.15±0.11 ^{aA}	1.42±0.09 ^{bB}	2.11±0.14 ^{cC}
		دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۵٪ TiO ₂ -1.5%	1.05±0.05 ^{aA}	1.09±0.18 ^{aA}	1.15±0.07 ^{aA}	1.39±0.05 ^{aB}
		اکسید روی ۰/۷۵٪ ZnO-0.75%	1.01±0.08 ^{aA}	1.15±0.07 ^{aA}	1.49±0.11 ^{bB}	2.02±0.27 ^{cC}
		اکسید روی ۱/۵٪ ZnO-1.5%	1.06±0.06 ^{aA}	1.11±0.17 ^{aA}	1.19±0.12 ^{aA}	1.52±0.11 ^{bB}
باکتری سرمادوست mesophilic bacteria	انگور Grape	شاهد Control	2.87±0.08 ^{aA}	3.29±0.10 ^{eB}	4.11±0.20 ^{cC}	5.23±0.11 ^{eD}
		دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۵٪ TiO ₂ -0.5%	2.92±0.10 ^{aA}	3.23±0.07 ^{bB}	3.69±0.18 ^{bC}	4.15±0.08 ^{dD}
		دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۵٪ TiO ₂ -1.5%	2.90±0.11 ^{aA}	3.05±0.12 ^{aA}	3.41±0.11 ^{aB}	3.56±0.10 ^{aB}
		اکسید روی ۰/۷۵٪ ZnO-0.75%	2.93±0.13 ^{aA}	3.33±0.13 ^{bB}	3.72±0.09 ^{bC}	4.11±0.16 ^{cD}
		اکسید روی ۱/۵٪ ZnO-1.5%	2.85±0.11 ^{aA}	3.10±0.14 ^{aA}	3.52±0.20 ^{aB}	3.89±0.09 ^{bB}
	سیب Apple	شاهد Control	3.60±0.11 ^{aA}	4.35±0.10 ^{eB}	4.73±0.20 ^{cC}	7.15±0.11 ^{eD}
		دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۵٪ TiO ₂ -0.5%	3.67±0.09 ^{aA}	3.95±0.07 ^{bB}	4.34±0.18 ^{bC}	5.45±0.08 ^{dD}
		دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۵٪ TiO ₂ -1.5%	3.58±0.16 ^{aA}	3.65±0.12 ^{aA}	3.96±0.11 ^{aB}	4.21±0.11 ^{aB}
		اکسید روی ۰/۷۵٪ ZnO-0.75%	3.63±0.12 ^{aA}	3.93±0.13 ^{bB}	4.41±0.09 ^{bC}	5.11±0.16 ^{cD}
		اکسید روی ۱/۵٪ ZnO-1.5%	3.52±0.12 ^{aA}	3.70±0.08 ^{aA}	4.09±0.20 ^{aB}	4.45±0.09 ^{aB}

حروف غیر مشابه بزرگ در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف در بین زمان‌های آزمون در سطح ۵٪ است.

Means followed by a different capital letters along the row are significantly different (p<0.05)

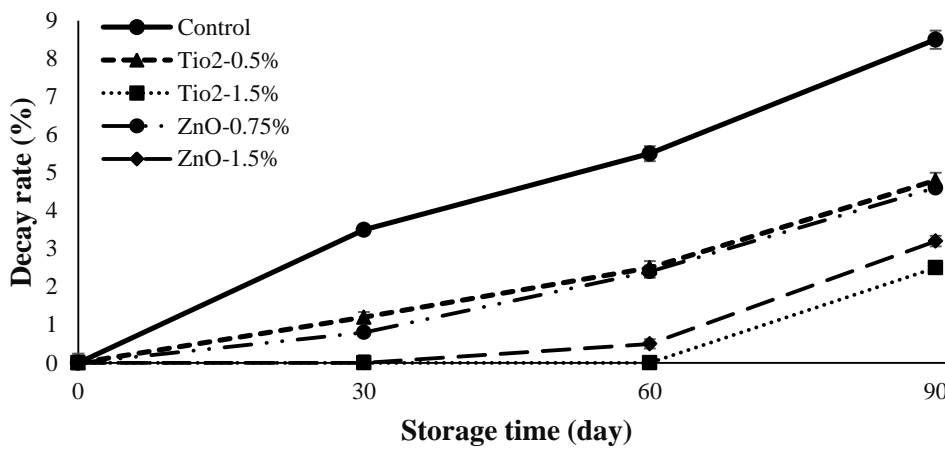
حروف غیر مشابه کوچک در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف در بین تیمارها در سطح ۵٪ است.

Means followed by a different lowercase letters along the column are significantly different (p<0.05)

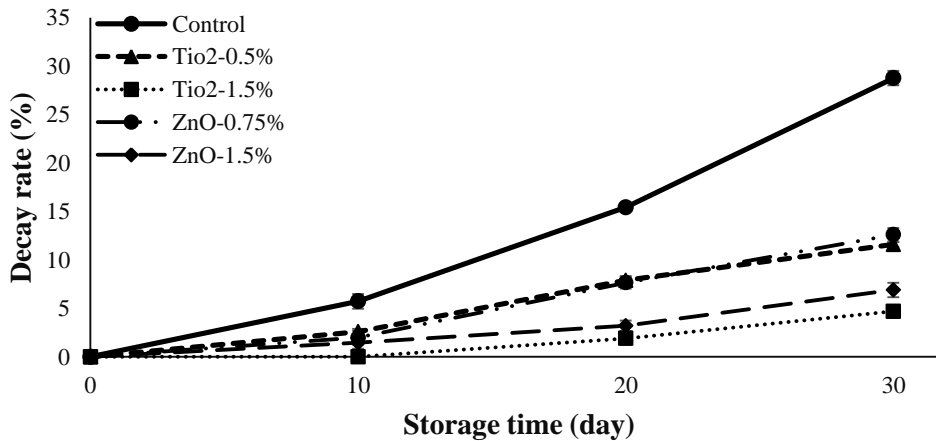
۶.۳. میزان پوسیدگی (رشد کپک)

میزان ۰.۷۶٪ و ۰.۶۲٪ در مقایسه با بسته‌بندی شاهد کاهش یافت؛ این کاهش برای بسته‌بندی حاوی ۱/۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب برابر ۰.۷۰٪ و ۰.۸۴٪ بود. این کاهش را علاوه بر خاصیت ضد میکروبی نانو ذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم، می‌توان به خاصیت سد کنندگی نسبی بالاتر بسته‌بندی‌های حاوی این ذرات در برابر اکسیژن و بخار آب نسبت به بسته‌بندی معمولی نسبت داد؛ که میوه را در یک محیط کم رطوبت نگه‌داشته و در نتیجه میزان رشد کپک و مخمر کاهش پیدا می‌نماید [۵، ۱۳].

میوه‌ها و سبزی‌ها جزء مواد غذایی بسیار فاسد شدنی می‌باشند و مستعد پوسیدگی قارچی است که به شدت بر ارزش و بازاریابی آن‌ها اثر می‌گذارد. همان طور که در شکل (۷) مشاهده می‌گردد. میزان پوسیدگی در تمامی تیمارها به طور معناداری طی نگهداری افزایش می‌یابد ($p < 0.05$). با این حال افزودن نانو ذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم باعث کاهش سریع میزان پوسیدگی سیب و انگور می‌گردد. به طوری که میزان پوسیدگی سیب و انگور با استفاده از بسته‌بندی حاوی ۱/۵٪ اکسید روی به ترتیب به



(a)



(b)

شکل (۷) میزان پوسیدگی سیب (a) و انگور (b) بسته‌بندی شده با فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی طی دوره نگهداری در شرایط سردخانه.

Fig 7. The decay rate (%) of (a) apple and (b) grape in LDPE nanocomposite active packaging containing various concentration of titanium

شود و اثرات قابل توجهی در افزایش ماندگاری این میوه از خود نشان دهد.

تقدیر و تشکر

مطالعه حاضر حاصل طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه زنجان مورخ ۱۳۹۸/۰۹/۱۱ با عنوان «بررسی و مدل‌سازی تأثیر استفاده از نانوکامپوزیت ضد میکروبی بر پایه پلی‌اتیلن به منظور حفظ ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات باغی (سیب و انگور) در شرایط مختلف نگهداری» می‌باشد که در تکمیل، باز انجام و اصلاح طرح پژوهشی منعقد شده با سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی وزارت صمت با دانشگاه ارومیه مورخ ۱۳۹۴/۰۸/۲۴ با عنوان «طراحی و تولید، دستیابی به دانش فنی و تجاری سازی بسته‌بندی‌های نانوکامپوزیت ضد میکروبی با هدف حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری فرآورده‌های محصولات باغی (با رویکرد سیب و انگور)» انجام گردید؛ لازم به ذکر است که آقای دکتر الماسی (نویسنده دوم) تنها در طرح منعقد شده با سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی وزارت صمت با دانشگاه ارومیه مورخ ۱۳۹۴/۰۸/۲۴ همکاری داشته‌اند. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان و وزارت صمت بابت حمایت مالی و معنوی از این طرح تقدیر و تشکر می‌گردد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که فیلم‌های حاوی دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی دارای خواص ضد میکروبی هستند و قادرند که از سرعت رشد باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت بکاهند. با استفاده از این فیلم‌ها میزان افت وزن میوه‌ها کنترل می‌شود و تا حد ممکن کاهش می‌یابد. تغییرات مواد جامد محلول و تغییرات اسیدیته قابل تیترا در سیب و انگور نگهداری شده در بسته‌های نانوکامپوزیت کمتر از نمونه شاهد بود و با افزایش غلظت نانو ذرات، تأثیرگذاری آن‌ها بر روی کنترل این تغییرات کیفی نامطلوب بیشتر شد. شاخص قهوه‌ای شدن سیب به دلیل کنترل فعالیت‌های آنزیماتیکی توسط نانو ذرات، در این بسته‌بندی‌های در طول زمان نگهداری کمتر بود و در این میان، تأثیر دی‌اکسید تیتانیوم در حفظ خواص کیفی سیب بیشتر از اکسید روی بود. همچنین شاخص قهوه‌ای شدن انگور و شاخص سفتی بافت انگور و سیب با استفاده از فیلم‌های نانوکامپوزیت، در انتهای زمان نگهداری بالاتر از نمونه‌های شاهد بود. نتایج آزمون ضد میکروبی نشان داد که هر دو نانو ذره، در ترکیب هر پلیمر، خاصیت ضد میکروبی قابل توجهی از خود نشان داد و این خاصیت در مورد نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر از اکسید روی می‌باشد و همچنین تأثیر هر دو نانوذره بر روی باکتری‌های سرمادوست بیشتر از کپک و مخمر بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که فیلم پلی‌اتیلن با دانسیته پایین حاوی هر دو نوع نانو ذره، می‌تواند به عنوان بسته‌بندی ضد میکروبی برای نگهداری سیب و انگور استفاده

منابع

- [1].Z. Sedaghati, S.H. Mirdehghan.(2020). Effect of Salicylic Acid on the Quality Characteristics of Apple Fruit (Golden Delicious and Red Delicious) during Storage Period. *Plant Production*. 43(1), 39-52.
- [2].A.C. da Rocha Neto, R. Beaudry, M. Maraschin, R.M. Di Piero, E. Almenar.(2019). Double-bottom antimicrobial packaging for apple shelf-life extension. *Food chem*. 279,379-88.
- [3].A.C. Guerreiro, M.L. Gago CM, Faleiro, M.G. Miguel, M.D. Antunes.(2017). The effect of edible coatings on the nutritional quality of 'Bravo de Esmolfe' fresh-cut apple through shelf-life. *LWT*. 75,210-219.
- [4].D.C. Fofandi, P.D. Tanna. (2020). Effect Of Aloe Vera Coating On Quality Of Indo-Pacific King Mackerel (*Scomberomorus Guttatus*) Chunks During Chilled Storage. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 9(1),1438-1445.
- [5].D. Li, Q. Ye, L. Jiang, Z. Luo.(2017). Effects of nano-TiO₂-LDPE packaging on postharvest quality and antioxidant capacity of strawberry (*Fragaria*

- ananassa Duch.) stored at refrigeration temperature. *J. Sci. Food Agric.* 97(4),1116-1123.
- [6].B.J. Arroyo, A.C. Bezerra, L.L. Oliveira, S.J. Arroyo, E.A. de Melo, A.M.P Santos.(2020). Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L). *Food chem.* 309,1255-1266.
- [7].X. Zhang, Y. Liu, H. Yong, Y. Qin, J. Liu, J. Liu.(2019). Development of multifunctional food packaging films based on chitosan, TiO₂ nanoparticles and anthocyanin-rich black plum peel extract. *Food Hydrocoll.* 94,80-92.
- [8].M.K. Saba, R. Amini.(2017). Nano-ZnO/carboxymethyl cellulose-based active coating impact on ready-to-use pomegranate during cold storage. *Food chem.* 232,721-726.
- [9].F. Beigmohammadi, S.H. Peighambari, J. Hesari, S. Azadmard-Damirchi, S.J. Peighambari, N.K. Khosrowshahi.(2016). Antibacterial properties of LDPE nanocomposite films in packaging of UF cheese. *LWT.* 65,106-111.
- [10].S. Kumar, J.C. Boro, D. Ray, A. Mukherjee, J. Dutta.(2019). Bionanocomposite films of agar incorporated with ZnO nanoparticles as an active packaging material for shelf life extension of green grape. *Heliyon.* 5(6),e01867.
- [11].M. Alizadeh-Sani, J.W. Rhim, M. Azizi-Lalabadi, M. Hemmati-Dinarvand, A. Ehsani.(2020) Preparation and characterization of functional sodium caseinate/guar gum/TiO₂/cumin essential oil composite film. *Int. J. Biol. Macromol.* 145,835-844.
- [12].H. Park, Y. Park, W. Kim, W. Choi.(2013). Surface modification of TiO₂ photocatalyst for environmental applications. *J. Photochem. Photobiol.* C.15,1-20.
- [13].D. Li, L. Li, Z. Luo, H. Lu, Y. Yue.(2017). Effect of nano-ZnO-packaging on chilling tolerance and pectin metabolism of peaches during cold storage. *Sci. Hortic.* 225,128-133.
- [14].M. Zolfi, F. Khodaiyan, M. Mousavi, M. Hashemi.(2014). Development and characterization of the kefiran-whey protein isolate-TiO₂ nanocomposite films. *Int. J. Biol. Macromol.* 65,340-345.
- [15].S. Shankar, X. Teng, G. Li, J.W. Rhim.(2015). Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films. *Food Hydrocoll.* 45,264-271.
- [16].S. Cardenas-Perez, J. Chanona-Perez, J.V. Mendez-Mendez, G. Calderon-Dominguez, R. Lopez-Santiago, M.J. Perea-Flores, I. Arzate-Vázquez.(2017). Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. *Biosyst Eng.* 159,46-58.
- [17].D. Konopacka, W. Plochanski.(2004). Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. *Postharvest Biol. Technol.* 32(2),205-211.
- [18].S. Andrade.(2012). Physical, chemical and biochemical changes of sweetsop (*Annona squamosa* L.) and golden apple (*Spondias citherea* Sonner) fruits during ripening. *J. Agric. Sci. Technol.* 2(11B),1148.
- [19].W.Q. Li, Q.P. Hu, J.G. Xu.(2015). Changes in physicochemical characteristics and free amino acids of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) fruits during maturation. *Food Chem.* 175,50-56.
- [20].Luo, Y. Qin, Q. Ye.(2015). Effect of nano-TiO₂-LDPE packaging on microbiological and physicochemical quality of Pacific white shrimp during chilled storage. *Int. J. Food Sci. Technol.* 50(7),1567-1573.
- [21].H. Bodaghi, Y. Mostofi, A. Oromiehie, Z. Zamani, B. Ghanbarzadeh, C. Costa, A.C. Matteo, A.D. Nobiled.(2013). Evaluation of the photocatalytic antimicrobial effects of a TiO₂ nanocomposite food packaging film by in vitro and in vivo tests. *LWT.* 50(2),702-706.
- [22].Brayner, R. Ferrari-Iliou, N. Brivois, S. Djediat, M.F. Benedetti, F. Fiévet.(2006). Toxicological impact studies based on *Escherichia coli* bacteria in ultrafine ZnO nanoparticles colloidal medium. *Nano Lett.* 6(4),866-870.
- [23].L. Sikong, B. Kongreong, D. Kantachote, W. Sutthisripok.(2010). Photocatalytic activity and antibacterial behavior of Fe³⁺-doped TiO₂/SnO₂ nanoparticles. *Int. J. Energy Res.* 1(2):120-125.
- [24].Y. Li, Y. Jiang, F. Liu, F. Ren, G. Zhao, X. Leng.(2011). Fabrication and characterization of TiO₂/whey protein isolate nanocomposite film. *Food Hydrocoll.* 25(5),1098-1104.
- [25].A. Emamifar, M. Kadivar, M. Shahedi, S. Soleimani-Zad.(2010). Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 11(4),742-748.
- [26].L. Zhang, Y. Jiang, Y. Ding, N. Daskalakis, L. Jeuken, M. Povey, A.J. O'Neill, D.W. York.(2010). Mechanistic investigation into antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles against *E. coli*. *J Nanopart Res.* 12(5),1625-1636.
- [27].S. Cárdenas-Pérez, J. Chanona-Pérez, N. Güemes-Vera, J. Cybulska, M. Szymanska-Chargot, M. Chylinska, A. Kozioł, D. Gawkowska, P.M. Pieczywek, A. Zdunek.(2018). Structural, mechanical and enzymatic study of pectin and cellulose during mango ripening. *Carbohydr. Polym.* 196,313-321.
- [28].I. Jan, A. Rab, M. Sajid.(2012). Storage performance of apple cultivars harvested at different stages of maturity. *J Anim Plant Sci.* 22,438-447.
- [29].V. Martins, A. Garcia, A.T. Alhinho, P. Costa, S. Lanceros-Méndez, M.M.R. Costa, H. Gerós.(2020).



Vineyard calcium sprays induce changes in grape berry skin, firmness, cell wall composition and expression of cell wall-related genes. *Plant Physiol. Biochem.* 150,49-55.

[30]. E. de Jesús Salas-Méndez, A. Vicente, A.C. Pinheiro, L.F. Ballesteros, P. Silva, R. Rodríguez-García, F.D. Hernández-Castillo, M. de Lourdes Virginia Díaz-Jiménez, M.L. Flores-López, J.Á. Villarreal-Quintanilla, F.M. Peña-Ramos, D.A. Carrillo-Lomelí, D.J. de Rodríguez.(2019). Application of edible nanolaminate coatings with

antimicrobial extract of *Flourensia cernua* to extend the shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 150,19-27.

[31]. N.B. Gol, M.L. Chaudhari, T.R. Rao.(2015). Effect of edible coatings on quality and shelf life of carambola (*Averrhoa carambola L.*) fruit during storage. *J. Food Sci. Technol.* 52(1),78-91.

[32]. G.E. Anthon, D.M. Barrett.(2012). Pectin methylesterase activity and other factors affecting pH and titratable acidity in processing tomatoes. *Food Chem.* 132(2),915-920.

*Research Article***Evaluation of nanocomposite packaging containing TiO₂ and ZnO on shelf life and quality changes of apple and grape****Mohsen Zandi^{1*}, Hadi Almasi², Nazila Dardmeh³****1. Ph.D.Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of agricultural University of Zanjan, Zanjan, Iran****2. Ph.D. Associate professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of agricultural Urmia University, Zanjan, Iran****3. Ph.D.student of food Biotechnology, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad****Abstract**

The aim of this work was to achieve of technological knowledge of production of antimicrobial nanocomposite packaging containing nanoparticles in order to increase the shelf life of apple and grape fruits. Low density polyethylene (LDPE) was chosen as base polymer and titanium dioxide (TiO₂, 0, 0.5 and 1.5%) and zinc oxide (ZnO, 0, 0.75 and 1.5%) nanoparticles were added to LDPE matrix to produce nanocomposites by extrusion method. At the first step, the effect of nanoparticles addition on physicochemical properties of nanocomposites were investigated. It was revealed that the antimicrobial analysis showed that the nanocomposite films have good bactericidal activity and the effect of titanium dioxide is more than zinc oxide nanoparticles. At the second step, fabricated films were used for packaging of fresh apple and grape fruits. The qualitative parameters of fruits were investigated during this period. Results indicated that the weight loss of fruits decreases by using nanocomposites. Browning index and also, hardness of apple products in nanocomposite packaged samples were more than control ones. Nanocomposite films controlled the microbial count of apple and grape and the film containing 1.5% titanium dioxide showed the most effect on mesophilic bacteria and yeasts and molds. Generally, titanium dioxide was more effective than zinc oxide in both of improving physical properties of nanocomposites and increasing the shelf life of apple and grape fruits. Resoles of this research approved that the using of LDPE nanocomposite active film containing titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles could be a good way for increasing the shelf life of apple and grape during production and distribution.

Keywords: Active packaging, TiO₂, ZnO, physicochemical properties, shelf life.

*Correspond Author: Zandi@znu.ac.ir