

بهبود خصوصیات مکانیکی و ممانعتی فیلم‌های زیست تخریب پذیر نشاسته سیب زمینی با استفاده از نانوذرات اکسیدروی و کاربرد آن در بسته‌بندی میوه آلبالو ایرانی

ضحی چهاردهی سیرتی^۱، فرناز موحدی^{۲*}، مهرناز امینی فر^۳

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده فناوری‌های نوین، واحد علوم دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران
- ۲- استادیار، گروه پژوهشی بسته بندی و صنایع سلولزی، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، پژوهشگاه استاندارد، کرج
- ۳- استادیار، گروه پژوهشی موادغذایی، پژوهشکده غذایی و کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج
- (تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۶)

چکیده

میوه آلبالو پس از برداشت به دلیل فساد و تخریب سریع، صادرات محدودی دارد. بسته‌بندی مناسب موجب افزایش ماندگاری محصول خواهد شد. از سوی دیگر، فیلم‌های طبیعی مورد مصرف در بسته‌بندی محصولات غذایی مانند نشاسته، خصوصیات مکانیکی و ممانعتی ضعیفی دارند. بدین منظور استفاده از ترکیبات نانو برای بهبود ویژگی‌های فیلم‌های بر پایه نشاسته پیشنهاد شده است. نانوذرات اکسیدروی با توجه به خصوصیات همچون ایمن بودن، دسترسی آسان و قیمت مناسب، می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مطمئن برای تقویت فیلم‌های بر پایه نشاسته مطرح باشند. هدف از انجام این پژوهش، طراحی فیلم‌های بسته‌بندی جدید بر پایه نشاسته سیب‌زمینی که با ترکیب درصدهای مختلف از نانوذرات اکسیدروی (۰/۴، ۰/۳، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۵، ۰/۰، ۰/۰) تقویت شده و بررسی عملکرد آن بروی شاخص‌های کیفی میوه آلبالوی ایرانی می‌باشد. فیلم‌های حاصل با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، تست‌های مکانیکی و نفوذپذیری به بخار آب بررسی شدند. به طور کلی با افزودن نانوذرات اکسیدروی به بستر فیلم‌های بر پایه نشاسته سیب‌زمینی، استحکام کششی و مدول الاستیسیته فیلم‌ها به ترتیب از ۳/۷ تا ۴/۸ مگاپاسکال و از ۶۳ تا ۹۲ مگاپاسکال افزایش یافت در حالیکه، درصد ازدیاد طول و نفوذپذیری نسبت به بخار آب به ترتیب از ۲۶٪ به ۲۲٪ و از $5/7 \times 10^{-7}$ به $5/3 \times 10^{-7}$ ($\text{g.Pa}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$) کاهش یافت. به طور کلی، بررسی‌ها نشان داد که فیلم نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی ۰/۲ خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بهتری نسبت به فیلم‌های دیگر دارد و بنابراین به عنوان مناسب‌ترین فیلم، برای ارزیابی تأثیرات نوع بسته‌بندی در حفظ شاخص‌های کیفی میوه آلبالو مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاکی از بالاتر بودن میزان اسیدیته، ماده جامد محلول و سفتی بافت نمونه آلبالوهای بسته‌بندی شده در فیلم نشاسته سیب زمینی/نانوذرات اکسید روی ۰/۲ نسبت به نمونه میوه‌های بسته‌بندی شده در فیلم نشاسته خالص و فیلم‌های پلی‌اتیلن تجاری بودند. در این مطالعه جهت تحلیل آماری از نرم افزار SPSS استفاده شد.

کلید واژگان: آلبالو ایرانی، عمر ماندگاری، بسته‌بندی، نشاسته سیب‌زمینی، نانوذرات اکسیدروی.

* مسئول مکاتبات: fzmovahedi@yahoo.com

۱- مقدمه

در طی دو دهه‌ی اخیر به دلیل افزایش گرایش مردم به چاقی و بیماری‌های قلبی و عروقی مصرف بیشتر میوه توسط متخصصان تغذیه توصیه می‌شود [۱]. میوه آلبالو یکی از پرطرفدارترین میوه‌ها در ایران است. آلبالو میوه‌ی درخت *Purnus cerasus* می‌باشد. این میوه دارای ویتامین‌ها و املاح مختلف و منبع غنی از ترکیبات فعال زیستی مانند پلی فنولیک‌ها، آنتی اکسیدان‌ها و اسید آسکوربیک می‌باشد که بواسطه‌ی وجود این ترکیبات از پتانسیلی همچون کنترل دیابت، فعالیت آنتی اکسیدانی، فعالیت ضدسرطانی، فعالیت ضد انحطاط عصبی و ضد میکروبی برخوردار است [۱،۲]. بر طبق گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) در سال ۲۰۱۲، ایران پنجمین رتبه تولید آلبالو را دارا است. با این وجود، امکان صادرات آلبالو با کیفیت خوب و ضایعات کم وجود نداشته و بسیار محدود است زیرا این میوه یکی از محصولات باغی است که به دلیل مدت برداشت محدود و فسادپذیری بالای پس از برداشت نمی‌توان آن را برای مدتی طولانی به صورت تازه نگهداری کرد [۳]. بنابراین ارائه راهکار مناسب برای بسته‌بندی میوه آلبالو می‌تواند به عنوان گزینه‌ای موثر در افزایش ماندگاری محصول مطرح شده و صادرات آن را به صورت تازه تر تسهیل نماید [۴-۱].

از سوی دیگر، امروزه مواد با پایه نفتی بیشترین کاربرد را در صنعت بسته‌بندی غذا دارند که از نظر سلامت غذا، این نگرانی وجود دارد که مواد تشکیل دهنده پلاستیک مانند تثبیت‌کننده‌ها و نرم‌کننده‌ها به ماده غذایی مهاجرت و سلامت مصرف‌کنندگان را با خطر مواجه کنند. همچنین، پس از طی عمر مفید پلاستیک‌ها، زباله‌های تولید شده از آن‌ها به راحتی در محیط زیست تجزیه نشده و انباشتگی آن‌ها در طی مدت زمان هزاران سال معضلات جدی زیست محیطی ایجاد خواهد کرد [۵،۶]. زیست پلیمرها^۱ به عنوان یک پتانسیل جایگزین دوستدار محیط زیست برای این نوع

مواد بسته‌بندی غیرتجدیدشدنی و غیرقابل تجزیه‌شدنی مطرح می‌باشند. فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر مواد زیست پلیمری هستند که از منابع طبیعی و تجدیدشونده تهیه شده و به راحتی پس از مصرف تحت شرایط مناسبی از رطوبت، دما، حضور اکسیژن و توسط متابولیسم‌های موجودات زنده به طور طبیعی تجزیه شده و هیچ گونه ماده سمی یا مضر از آن‌ها در محیط زیست باقی نمی‌ماند [۶،۷]. در میان پلیمرهای طبیعی، نشاسته یکی از نوید بخش‌ترین مواد زیست تخریب‌پذیر می‌باشد، زیرا یک منبع تجدید شونده، در دسترس و ارزان است. هرچند برای توسعه فیلم‌های بسته‌بندی بر پایه‌ی این زیست پلیمر محدودیت‌هایی وجود دارد، زیرا از خود خصوصیات کششی ضعیف و نفوذپذیری بالا نسبت به بخار آب نشان می‌دهند [۸،۹]. تکنولوژی نانو^۳ برای برطرف نمودن این مشکلات راه حل مفیدی ارائه داده است به طوری که می‌توان از طریق تقویت زیست پلیمرها با ذرات در مقیاس نانو، برخی از این خصوصیات را بهبود بخشید [۱۰]. با توجه به نسبت سطح به حجم بالای ترکیبات نانو و برهمکنش سطحی بین ماده زمینه و مواد پرکننده، هنگامی که درون یک ماده زمینه به طور همگن توزیع شوند، نیروهای اعمال شده به کامپوزیت به طور یکنواختی منتقل شده و در نتیجه باعث بهبود استحکام و خواص ممانعتی ماده زمینه می‌شوند [۱۱-۱۳]. مطالعات گوناگون نشان داده‌اند که افزودن نانوپرکننده‌های مختلف به بستر نشاسته باعث بهبود ویژگی‌های ممانعتی و مکانیکی فیلم‌های حاصل می‌شود [۱۴]. به عنوان مثال چانگ^۴ و همکاران [۱۵] برای بهبود خصوصیات مکانیکی و ممانعتی به بخار آب، در بستر فیلم نشاسته گندم از نانو ذرات سلولز استفاده کردند. هجری^۵ و همکاران [۱۶] با بررسی تاثیر نانوذرات اکسید تیتانیوم بر خواص مکانیکی فیلم نشاسته/پلی‌ونیل الکل نشان دادند که این اکسید فلزی باعث افزایش استحکام مخلوط حاصل می‌گردد.

3. Nanotechnology

4. Chang et.al

5. Hejri et.al

1. polyphenol

2. Biopolymer

امواج اولتراسونیک به طور هموزن و یکنواخت پخش شدند، سپس پودر نشاسته به مخلوط فوق در حین هم خوردن مداوم اضافه شد و حرارت داده شد. در نهایت برای تهیه فیلم نشاسته، مخلوط هموزن حاصل به قالب‌های گرد و یکنواخت تغلونی منتقل شد و در هوای محیط خشک گردید [۱۰].

۲-۳- مشخصه‌یابی فیلم‌های نانوکامپوزیتی

زیست تخریب پذیر

۲-۳-۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل

میدانی (FE-SEM^۷)

آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی برای مشاهده ریزساختار نمونه‌های فیلم نشاسته خالص، فیلم نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی ۲٪ و فیلم نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی ۴٪ انجام شد. فیلم‌ها بوسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مدل Mira3-XMU با ولتاژ شتاب دهنده ۱۰ کیلوولت (kV) تصویربرداری شدند.

۲-۳-۲- آزمون مکانیکی

خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها با اندازه‌گیری استحکام کششی^۸ (TS)، درصد ازدیادطول در نقطه پارگی^۹ (E_l%) و مدول الاستیک^{۱۰} (EM%)، با استفاده از دستگاه کشش یونیورسال مدل SMT-5 ساخت شرکت SANTAM و بر طبق استاندارد ASTM D882-02 ارزیابی شدند. بدین ترتیب که ابتدا نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در رطوبت نسبی ۵۰٪ و دمای ۲۴°C در یک اتاقک مشروط سازی^{۱۱} شدند. سپس هریک از فیلم‌ها به صورت نوارهای مستطیل شکل با ابعاد ۸ cm × ۲/۵ cm بریده شدند و میان دو فک دستگاه قرار گرفتند. فاصله بین دو فک ۶۸ میلی‌متر و سرعت حرکت فک متحرک ۵۰ میلی‌متر در هر دقیقه تنظیم شد. در حین انجام آزمون، فیلم میان دو بازو کشیده شد تا

نانوذرات اکسیدروی، به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی جالب، پتانسیل کاربردی بالا در زمینه‌های گوناگون و نیز ارزان و فراوان بودن مورد توجه قرار گرفته است [۱۱] و در میان پودرهای اکسید فلزی دیگر، اکسیدروی بر طیف گسترده‌تری از میکروارگانیزم‌ها موثر است. نانوذرات اکسیدروی بر طبق تأییدیه سازمان غذا و دارو آمریکا در لیست GRAS^۶ قرار گرفته است

با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای، تاکنون پژوهشی در مورد تأثیر افزودن نانوذرات اکسیدروی بروی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های نشاسته سیب‌زمینی و استفاده از آن به عنوان پوششی برای بسته‌بندی میوه آلبالو صورت نگرفته است. هدف از انجام این پژوهش، بهبود خواص مکانیکی و ممانعتی فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر نشاسته سیب‌زمینی با استفاده از نانوذرات اکسیدروی و در نهایت بررسی تأثیر این نوع بسته‌بندی بر روی جنبه‌های کیفی میوه آلبالوی ایرانی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

کلیه مواد مورد استفاده در این آزمایش از جمله نشاسته و گلیسرول از شرکت Merck خریداری شد.

۲-۲- روش تهیه نانو کامپوزیت نشاسته / نانو

ذرات اکسید روی

در این مطالعه، فیلم‌هایی بر پایه پلیمر نشاسته تهیه شدند. بدین منظور از نشاسته سیب‌زمینی، آب دیونیزه و گلیسرین (به عنوان نرم کننده) استفاده شد. همچنین از نانوذرات اکسیدروی در بستر نشاسته به منظور تقویت و بهبود خواص پلیمری با ترکیب درصد وزنی مختلف (۰/۴٪، ۰/۳٪، ۰/۲٪، ۰/۱٪، ۰/۰۵٪، ۰/۰٪) نسبت به وزن نشاسته استفاده شد. بدین منظور، ابتدا نانو ذرات اکسیدروی به حجم معینی از مخلوط آب دیونیزه و گلیسرول اضافه و توسط

7. Field Emission-Scanning Electron Microscopy

8. Tensile strength

9. Elongation at break

10. Elastic modulus

11. Conditioning

6. Generally Recorded As Safe

بر حسب $(g Pa^{-1} h^{-1} m^{-1})$ با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:
[۱۰].

رابطه ۲

$$WVP = WVTR \cdot X / P(R_1 - R_2)$$

که در آن P فشار بخار اشباع آب در دمای $25^\circ C$ بر حسب Pa ،
 R_1 رطوبت نسبی در دسیکاتور، R_2 رطوبت نسبی درون ویال و
 X ضخامت فیلم بر حسب متر می‌باشد. در واقع $[P(R_1 - R_2)]$
نیروی محرکه می‌باشد که مقدار آن تحت این شرایط برابر با
۱۷۵۳ پاسکال است [۱۰].

۲-۴- تحلیل آماری

همه آزمون‌ها در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام
شدند. تحلیل و ارزیابی (ANOVA) با استفاده از نرم افزار
SPSS در سطح احتمال ۵ درصد ($p < 0/05$) و آزمون چند
دامنه‌ای دانکن برای تایید وجود اختلاف میان میانگین‌ها انجام
گرفت.

۲-۵- آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی میوه آلبالو

در این پژوهش میوه آلبالو در هفته اول تیرماه ۱۳۹۴ در مرحله
برداشت از باغ‌های چالوس جمع آوری شد و پس از انتقال به
آزمایشگاه، میوه‌های سالم و عاری از هرگونه آلودگی و لهدگی
جهت آزمون انتخاب شدند. سپس میوه‌های آلبالو به تعداد
مساوی در فیلم‌های پلی‌اتیلنی، نشاسته خالص و فیلم نشاسته
حاوی نانوذرات اکسیدروی ۲٪ بسته‌بندی شدند و در دمای ۴
درجه سانتیگراد در یخچال نگهداری شدند. همچنین نمونه‌هایی
از آلبالو بدون هرگونه پوشش بسته‌بندی به عنوان نمونه‌های شاهد
در نظر گرفته شدند و تحت همان شرایط نگهداری شدند. روند
تغییرات شاخص‌هایی همچون درصد کاهش وزن، درصد مواد
جامد محلول^{۱۳}، اسیدیته قابل تیترا^{۱۴}، pH و سفتی بافت^{۱۵} قبل از
بسته‌بندی (روز صفر) و بعد از بسته‌بندی در مدت زمان‌های
معین (هر هفت روز یکبار) اندازه‌گیری شدند و در نهایت نتایج

زمانی که نوار پلیمری پاره شود و نتایج به صورت نموداری ارائه
شد. سپس داده‌های مورد ذکر از هر نمودار استخراج گردید. این
آزمون برای هر فیلم با سه تکرار انجام گردید [۱۷،۱۸].

۲-۳-۳- اندازه‌گیری نفوذ پذیری نسبت به بخار آب^{۱۲} (WVP)

نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌ها طبق استاندارد ASTM
E96-05 و با روش دسیکانت اندازه‌گیری شد. بدین منظور از
ویال‌های دایره‌ای مخصوصی استفاده شد. قطعه‌ای از فیلم پلیمری
مورد آزمون به اندازه قطر درپوش ویال بریده شد و در آن قرار
داده شد. در این روش از کلریدکلسیم بدون آب به عنوان یک
ماده جاذب رطوبت و به منظور ایجاد رطوبت ۰٪ در داخل
اتمسفر ویال‌های فلزی استفاده شد. ویال‌ها با تمام محتویاتشان
توزین شدند و وزن آن‌ها یادداشت شد و سپس داخل دسیکاتور
حاوی محلول اشباع کلرید سدیم با رطوبت ۷۵٪ قرار گرفتند.
وزن ویال‌ها، در مدت زمان‌های معین هر ۲۴ ساعت یکبار اندازه
گیری شد. این آزمون تا شرایطی که تغییر وزن جدیدی در
ویال‌ها ایجاد نشد، ادامه یافت. این آزمون برای هر فیلم با سه
تکرار انجام گردید [۱۹،۲۰].

میزان عبور بخار آب از این فیلم‌ها براساس تغییرات وزن ویال‌ها
محاسبه و در نموداری بر اساس تغییرات زمان رسم شدند. مقدار
شیب نمودارهای هر کدام محاسبه شد و در نهایت با تقسیم شیب
خط مربوط به هر ویال به کل سطح مقطع فیلم که در معرض
جریان بخار آب قرار دارد، مطابق رابطه ۱ میزان عبور بخار آب
(WVTR) بر حسب گرم بر متر مربع ساعت محاسبه گردید.

$$WVTR = (G/t)/A$$

رابطه ۱
به طوریکه در آن G تغییر وزن بر حسب گرم، t زمان بر حسب
ساعت و A سطح مقطع در تماس با بخار آب بر حسب مترمربع
است. در آخر با محاسبه WVTR از یک سو و اندازه‌گیری
ضخامت فیلم‌ها از سویی دیگر، نفوذپذیری به بخار آب (WVP)

13. Total soluble solid

14. Titratable acidity

15. Firmness

12. Water vapor permeability

فاکتور قبل از بسته‌بندی و بعد از آن در طی نگهداری در فواصل زمانی معین ارزیابی می‌شود [۲۲، ۲۳].

$$A = \frac{S \times N \times E}{C} \times 100 \quad \text{رابطه ۳:}$$

S = مقدار NaOH مصرف شده (mL)

N = نرمالیت NaOH (۰/۱ نرمال)

E = اکوی والان اسید مورد نظر

C = مقدار عصاره میوه (mL)

A = مقدار اسید در عصاره میوه (g/100mL)

۲-۵-۵-۲ pH

pH عصاره نمونه‌های آلبالو قبل از بسته‌بندی و بعد از آن در

طی نگهداری در فواصل زمانی معین بوسیله pH متر مدل

Jenway 3510 اندازه گیری شد [۲۱].

۲-۵-۶- اندازه گیری سفتی بافت نمونه‌های

آلبالو:

سفتی نمونه‌های آلبالو توسط آزمون نفوذ با به کار بردن آنالایزر

بافت مدل Testometric M350-10C تعیین گشت. نیروی

لازم برای نفوذ در میوه بوسیله‌ی یک پروب با قطر ۶ میلی‌متر که

بر دستگاه سوار بود و با سرعت ۰/۲ میلی‌متر بر ثانیه حرکت

می‌کرد، به صورت نموداری ثبت شد [۳].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

گسیل میدانی

آنالیزهای نمونه‌های مربوط به هر بسته‌بندی با یکدیگر مقایسه شدند. همه‌ی آزمون‌ها با سه مرتبه تکرار و با استفاده از نرم افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲-۵-۱- عصاره گیری

بدین منظور پس از هر نمونه‌برداری تعدادی از نمونه‌های آلبالو با استفاده از یک مخلوط کن برقی به تکه‌های کوچک خرد شدند. سپس مخلوط با کاغذ صافی واتمن^{۱۶} توسط قیف بوخنر^{۱۷}، ارلن خلاء و پمپ صاف شد. محلول صاف شده به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. بعد از آن، از قسمت جدا شده رویی برای بررسی شاخص‌هایی همچون اسیدیته، مواد جامد محلول و pH استفاده گردید.

۲-۵-۲ درصد کاهش وزن

وزن نمونه‌های آلبالو هر تیمار قبل از بسته‌بندی و پس از بسته‌بندی در طی بازه‌های زمانی مشخص اندازه‌گیری شد و در نهایت به صورت درصد کاهش وزن نسبت به وزن اولیه نمونه بیان گردید [۳، ۴، ۲۰].

۲-۵-۳ میزان مواد جامد محلول

اندازه گیری میزان مواد جامد محلول بوسیله‌ی دستگاه رفرکتومتر^{۱۸} مدل Abbemat 300 در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد انجام پذیرفت. این فاکتور قبل از بسته‌بندی و بعد از آن در طی نگهداری برای تمامی تیمارها در فواصل زمانی معین ارزیابی شد [۳، ۲۱].

۲-۵-۴ اسیدیته قابل تیتراژ

برای تعیین اسیدیته کل میوه از روش تیتراسیون پتانسیومتری^{۱۹} استفاده شد. ابتدا یک میلی لیتر از عصاره میوه توسط آب مقطر تا حجم ۲۰ برابر رقیق شد. سپس این عصاره با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH = ۸/۱ تیتراژ شد. نتیجه بصورت اکوی والان گرم مالینک اسید در ۱۰۰ CC آب میوه تازه بیان می‌شود (رابطه ۳). این

16. Whatman
17. Buchner
18. Refractometer
19. Potentiometric titration

استحکام‌بخشی نشان می‌دهند. به طور کلی در این مطالعه با افزایش میزان نانوذرات اکسیدروی از سطح ۰٪ تا ۴٪ استحکام کششی از ۳/۷ تا ۴/۸ مگاپاسکال افزایش یافت. این افزایش از روند ثابتی پیروی نکرد و بیشترین میزان استحکام کششی (۷/۷۶ مگا پاسکال) مربوط به فیلم نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی ۲٪ و کمترین میزان استحکام کششی مربوط به فیلم نشاسته خالص می‌باشد [۱۰، ۲۴].

همانطور که در شکل ۱ (b) مشاهده شد، در فیلم نشاسته حاوی نانو ذرات اکسیدروی ۲٪، توزیع نانوذرات در ماده زمینه نشاسته به طور یکنواخت است. بنابراین استرس وارد شده به فیلم به طور یکنواخت در سرتاسر فیلم انتقال می‌یابد. به بیان دیگر پراکندگی یکنواخت نانوذرات تمرکز تنش را به فضای بیشتری انتقال می‌دهد. در نتیجه استحکام کششی و مقاومت فیلم به پارگی افزایش می‌یابد. اما در مقادیر بالاتر (۴٪)، نانو ذرات اکسیدروی در بعضی از مناطق فیلم تمایل به کلوخه‌ای شدن از خود نشان دادند (شکل ۱- c). این عمل باعث بزرگ شدن اندازه ذرات فاز پرکننده در برخی از نقاط فیلم می‌شود و موجب کاهش اثر آن‌ها در تقویت ویژگی‌های ماده زمینه می‌گردد. در واقع نانو ذرات به طور یکنواخت در بستر نشاسته پخش نشده و در نتیجه انتقال نیرو و استرس بین سطح ماده زمینه-پرکننده به طور یکنواخت صورت نمی‌گیرد و در برخی نقاط فیلم تمرکز تنش بیشتر می‌شود و میزان مقاومت به پارگی نسبت به فیلم نشاسته حاوی ۲٪ کمتر می‌شود. این میزان تفاوت معنی‌داری با نمونه حاوی نانوذرات اکسیدروی ۱٪ نداشت [۱۴].

۲-۲-۳- مدول الاستیک: اثر میزان افزودن نانو ذرات اکسیدروی بر مدول الاستیک در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان نانوذرات اکسیدروی، مدول الاستیک از ۶۳ مگاپاسکال به ۹۲ مگاپاسکال افزایش می‌یابد که بیشترین میزان مدول الاستیک مربوط به فیلم نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی ۲٪ و کمترین میزان مدول الاستیک مربوط به فیلم نشاسته خالص بود.

مورفولوژی سطح فیلم‌های نشاسته خالص، فیلم نشاسته حاوی نانو ذرات اکسیدروی ۲٪ و فیلم نشاسته حاوی نانو ذرات اکسیدروی ۴٪ در شکل ۱ ارائه شده است. همانطور که در شکل ۱-a مشاهده می‌شود هیچ گرانولی از نشاسته در فاز پیوسته باقی نمانده است. در دمای بالا، در اثر واکنش میان آب و گلیسرول با گرانول‌های نشاسته پیوندهای هیدروژنی درون ملکولی و بین ملکولی قطع شده و پلیمری از جنس نشاسته تولید می‌شود. همچنین همانطور که مشاهده می‌شود نمای سطحی بدون ترک است [۱۰]. در شکل ۱-b توزیع یکنواخت نانوذرات اکسیدروی در پلیمر نشاسته مشاهده می‌شود. اما با افزایش میزان نانوذرات (فیلم ۴٪) در برخی از قسمت‌ها نانوذرات اکسیدروی تجمع پیدا کرده و کلوخه‌ای می‌شوند (شکل ۱-c). به طور کلی در نانوذرات به دلیل افزایش نسبت سطح موثر به حجم، واکنش پذیری نانوذرات به شدت افزایش می‌یابد به گونه‌ای که این ذرات به شدت تمایل به کلوخه‌ای شدن دارند [۲۴]. به طور مشابه، ما^۲ و همکارانش در تحقیقات خود گزارش کردند که به موازات افزایش میزان نانوذرات در ماده زمینه نشاسته، تمایل به کلوخه‌ای شدن نانوذرات نیز بیشتر می‌شود [۱۰].

۳-۲- خصوصیات مکانیکی

تغییرات میزان استحکام کششی، مدول الاستیک و ازدیاد طول در نقطه پارگی با افزودن درصدهای مختلف از نانوذرات به ترتیب در شکل ۲، ۳ و ۴ به صورت نمودار میله‌ای ارائه شده‌است. بر روی داده‌های حاصل تجزیه و تحلیل آماری انجام گرفت و نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نانوذرات اکسیدروی بر روی خصوصیات مکانیکی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده‌است. ۳-۲-۱- استحکام کششی: با توجه به اینکه نانو ذرات دارای سطح ویژه (نسبت سطح به حجم) بالایی هستند، برهمکنش‌های موثر و مناسبی میان نانوذرات با ماده زمینه ایجاد می‌شود. نانوذرات اکسیدروی به عنوان یک پرکننده، اثر تقویت‌کنندگی و

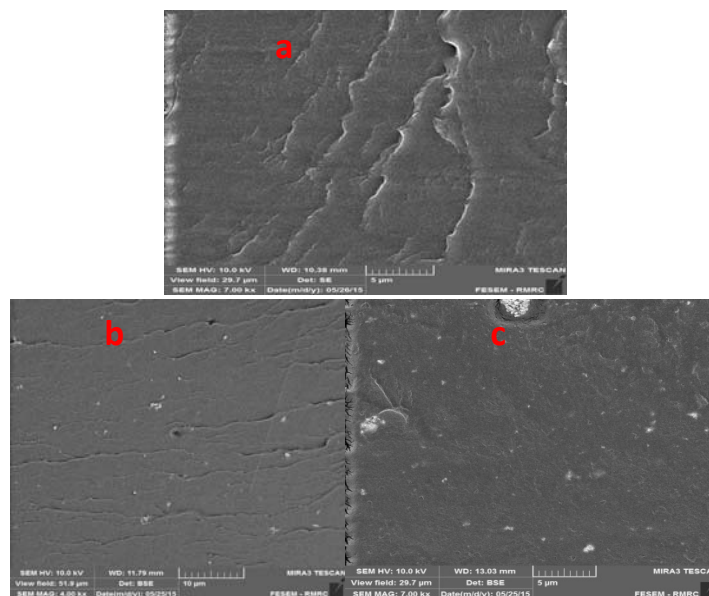


Fig 1 SEM images of (a) Starch film, (b) Starch film containing 2% ZnO NPs, (c) Starch film containing 4% ZnO NPs

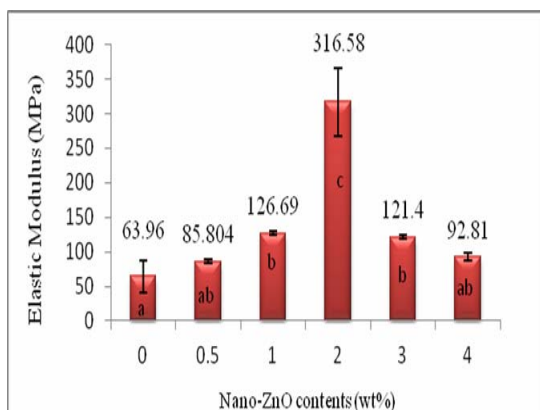


Fig 3 Effect of nano-ZnO content on Elastic Modulus of the bio nanocomposites

Different letters indicate the statistical difference ($p < 0.05$)

۳-۲-۳-ازدیاد طول در نقطه پارگی:

با افزایش میزان نانوذرات اکسیدروی، ازدیاد طول در نقطه پارگی از ۲۶٪ به ۲۲٪ کاهش می‌یابد و کمترین مقدار (۱۱٪) مربوط به فیلم نشاسته حاوی اکسیدروی ۲٪ می‌باشد که بیشترین استحکام کششی و مدول الاستیک را داراست. در واقع نانو ذرات اضافه شده به دلیل برهمکنش‌هایی که با ماده زمینه ایجاد می‌کند باعث استحکام بخشی به فیلم شده و انعطاف‌پذیری فیلم را کاهش می‌دهد و با توجه به برهمکنش قوی‌تری که در فیلم نشاسته

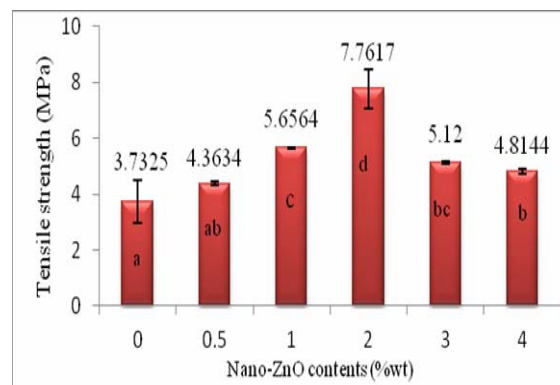


Fig 2 Effect of nano-ZnO content on tensile strength of the bio nanocomposites.

Different letters indicate the statistical difference ($p < 0.05$)

دلیل این امر را می‌توان به برهمکنش‌های میان ماده زمینه و نانوذرات نسبت داد. فیلم‌های نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی ۳٪ و ۴٪، مدول الاستیک پایین‌تری نسبت به فیلم ۲٪ نشان دادند و با فیلم نشاسته حاوی نانو ذرات اکسیدروی ۰/۵ و ۱٪ تفاوت معنی‌داری نداشتند که این امر را می‌توان با توجه به تمایل ذرات به کلوخه‌ای شدن در غلظت‌های بالا و در نتیجه برهمکنش‌های ضعیف‌تر توجیه نمود [۱۰، ۱۹].

نداشت. با توجه به این نتایج و شکل ۱ می‌توان استنباط کرد که در سطح ۲٪، نانو ذرات به خوبی در ماده زمینه پراکنده شده و در نتیجه‌ی ساختار فشرده‌تر فیلم، فضای عبور ملکول‌های آب را ناچیز و مسیر نفوذ آن‌ها را دشوارتر می‌کند. در این حالت، مولکول‌های نفوذکننده برای عبور از فیلم باید مسیر طولانی‌تری را طی کنند که بدین ترتیب آهنگ انتقال و نفوذ کاهش می‌یابد. اما در سطح ۴٪ نانو ذرات کلوخه‌ای شده و فضاهای خالی برای عبور بخارآب را فراهم می‌کند [۱۰،۲۸،۲۷].

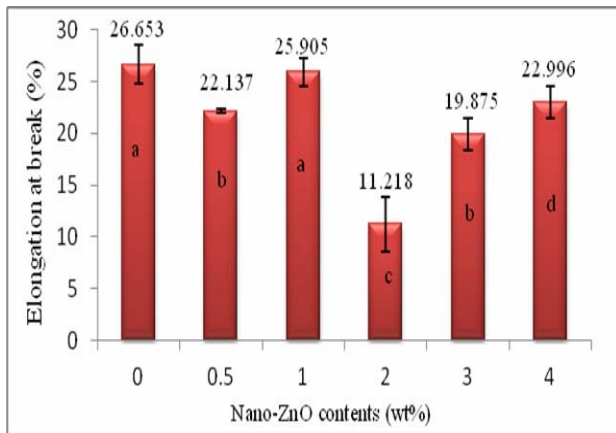


Fig 4 Effect of nano-ZnO content on Elongation at break of the bio nanocomposites
Different letters indicate the statistical difference ($p < 0.05$)

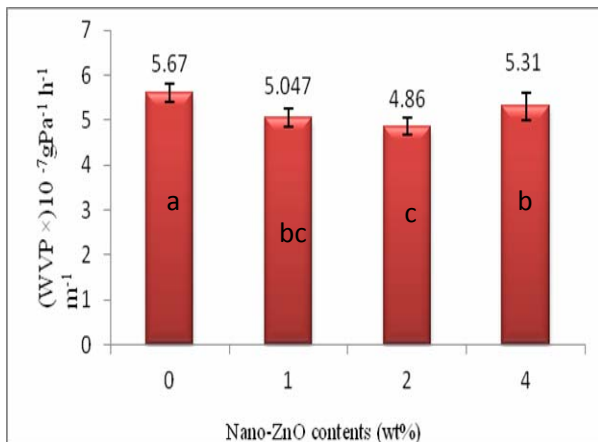


Fig 5 Effect of nano-ZnO content on water vapor permeability of the bio nanocomposites
Different letters indicate the statistical difference ($p < 0.5$)

حاوی نانو ذرات اکسید ۲٪ میان نانو ذرات و ماده زمینه شکل گرفته، انعطاف‌پذیری این فیلم بیشتر کاهش می‌یابد [۱۰،۱۹]. غلامی^{۲۱} و همکارانش نیز نتایج مشابهی بدست آوردند. آن‌ها به منظور غلبه بر شکنندگی و نفوذپذیری به بخارآب بالای فیلم، مقادیر مختلفی نانو خاک رس را به فیلم نشاسته اضافه کردند و مشاهده کردند که استحکام کششی از ۵/۹ به ۶/۶۳ افزایش یافت و درصد ازدیاد طول از ۳۴٪ به ۲۶٪ کاهش یافت. ما و همکارانش نیز نشان دادند که با افزودن نانو ذرات اکسیدروی به بستر فیلم نشاسته استحکام کششی و مدول الاستیک افزایش و در مقابل درصد ازدیاد طول کاهش می‌یابد [۱۰،۲۵].

۳-۳- نفوذ پذیری به بخارآب:

نفوذ پذیری از یک فرایند حلالیت و انتشار تشکیل شده است که در آن بخار آب از یک طرف فیلم نفوذ می‌کند و سپس به سمت دیگر فیلم انتشار می‌یابد. فیلم‌های پلی‌ساکاریدی به علت طبیعت آب‌دوست بودنشان عمدتاً ممانعت‌کننده ضعیفی نسبت به بخارآب می‌باشند [۱۷،۲۶]. علاوه بر این، گلیسرول نیز که به عنوان نرم‌کننده در ساخت فیلم‌ها استفاده می‌شود یک ملکول آب دوست است که می‌تواند بین زنجیره‌های پلیمری مجاور هم دام بیافند، تحرک ملکولی را افزایش دهد و مهاجرت بخارآب را راحت‌تر کند. از آن جایی که در صنعت غذا عملکرد اصلی بسته‌بندی ممانعت و یا حداقل کاهش انتقال رطوبت بین ماده غذایی و محیط اطراف است، نفوذ پذیری به بخار آب باید تا حد امکان کاهش یابد [۹،۲۸،۲۷].

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، میزان نفوذپذیری به بخارآب به موازات افزودن مقادیر مختلف از نانو ذرات اکسیدروی به ماده زمینه به طور معنی داری کاهش می‌یابد. کمترین میزان نفوذپذیری به بخارآب مربوط به فیلم نشاسته حاوی نانو ذرات اکسیدروی ۲٪ و بیشترین میزان آن مربوط به فیلم نشاسته خالص می‌باشد. در غلظت‌های بالاتر نانو ذرات (۴٪)، مقدار نفوذ پذیری به بخارآب نسبت به فیلم نشاسته خالص تغییر معنی داری

رطوبت محصول تازه با توجه به خصوصیت نفوذپذیری به بخار آب ماده بسته‌بندی بررسی می‌شود. در این مطالعه درصد افت وزنی در نمونه‌های میوه بسته‌بندی شده در فیلم‌های پر پایه‌ی نشاسته نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی در طی روز هفتم و چهاردهم انبارداری بیشتر بود. در واقع دلیل آن بالاتر بودن فاکتور نفوذ پذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های نشاسته است که برگرفته از طبیعت آب دوست آنها است [۲۲،۳۰]. همچنین در روز هفتم و چهاردهم انبارداری، درصد افت وزن در نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های حاوی نشاسته نانو ذرات اکسیدروی ۲٪ نسبت به فیلم نشاسته خالص کمتر بود که دلیل آن را می‌توان به نفوذ پذیری کمتر نسبت به بخار آب فیلم‌های حاوی نانو ذرات اکسیدروی نسبت به فیلم نشاسته خالص نسبت داد.

به طور کلی یافته‌ها نشان می‌دهد که درصد کاهش وزن در میوه آلبالو نسبت به میوه‌های دیگر بالاتر است که دلیل آن مقاومت کم پوست میوه‌ی آلبالو به انتشار و نسبت سطح به حجم بالاتر آن ذکر شده است [۳،۳۱]. در تحقیقی مشابه، کونت^{۲۵} و همکارانش، تأثیر بسته‌بندی‌های پلی پروپیلن جهت یافته و پلیمر زیست پایه را بر روی کیفیت میوه گیلاس بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که افت وزنی میوه به نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های بسته‌بندی مربوط می‌شود و در نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم پلی پروپیلنی به دلیل نفوذپذیری کمتر نسبت به بخار آب، درصد کاهش وزن در مقایسه با پلیمر زیست پایه کمتر بود [۳۱]. در رابطه با تأثیر نانو زیست پلیمرها بر میزان درصد افت وزنی میوه‌ها تاکنون گزارشی داده نشده است.

به طور مشابه، فرحناکی^{۲۲} و همکارانش گزارش کردند که هنگامی که میزان نانو ذرات کلی^{۲۳} از ۰٪ به ۱۸٪ افزایش می‌یابد، نفوذ پذیری به بخار آب در بیونانو کامپوزیت کاهش می‌یابد. آن‌ها بیان کردند که مقاومت به عبور آب نانو ذرات اکسیدروی بیشتر از ماده زمینه است در نتیجه نانو ذرات اکسیدروی مسیر پیچ و خمی را برای عبور آب ایجاد می‌کند. همچنین مورا^{۲۴} و همکارانش اعلام کردند که با اضافه کردن نانو ذرات نقره به ماتریکس هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، نفوذ پذیری به بخار آب در فیلم کاهش می‌یابد. غلامی و همکارانش نیز نشان دادند که با افزایش غلظت نانوخاک رس تا ۹٪ در ماده زمینه نشاسته، نفوذ پذیری به بخار آب به طور معنی داری کاهش می‌یابد [۱۷،۲۵،۲۹].

۳-۴ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میوه

۳-۴-۱ درصد افت وزنی:

از دست رفتن رطوبت دلیل اصلی برای افت وزن میوه می‌باشد که در نتیجه‌ی فرایندهای تنفسی و تعرقی است که پس از برداشت در میوه اتفاق می‌افتد و به نیروی ناشی از اختلاف فشار بخار آب بین بافت میوه و هوای اطراف و مقاومت بافت در برابر این نیرو بستگی دارد [۲۲،۲۵]. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، وزن میوه آلبالو در همه‌ی تیمارها در طی زمان نگهداری به طور معنی داری کاهش می‌یابد و بیشترین درصد افت وزنی در روز هفتم و چهاردهم انبارداری مربوط به گروه کنترل بود. دلیل افت وزنی کمتر در بسته‌بندی‌های محصور شده نسبت به گروه بدون پوشش بسته‌بندی این است که در سیستم‌های بسته به علت تعرق میوه، رطوبت نسبی بالاتری اطراف میوه را احاطه کرده، بنابراین اختلاف فشار بخار آب بین بافت میوه و هوای اطراف آن کم می‌شود و در نهایت کاهش رطوبت در این میوه‌ها کمتر اتفاق می‌افتد و بعلاوه خود ماده بسته‌بندی نیز ظرفیت ممانعت‌کنندگی نسبت به عبور گازها و بخار آب دارد، در نتیجه از دست رفتن آب از میوه کمتر می‌شود. در سیستم‌های بسته‌بندی محصور، کاهش

22. Farahnaky et.al

23. Nanoclay particles

24. Moura et.al

Table 1 Effect of different packaging on weight loss rate during storage at 4 °C.

Time (day)	Control	Polyethylene film	Starch film	Starch film containing 2% ZnO NPs
Day 0	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹
Day 7	7.49±0.1 ^{2a}	2.90±0.05 ^{2b}	5.08±0.05 ^{2c}	4.48±0.01 ^{2d}
Day 14	12.82±0.27 ^{3a}	5.6±0.57 ^{3b}	10.15±0.14 ^{3c}	9.5±0.02 ^{3d}

Data in a row with different letters (a-d) are significantly different (P <0.05)
Data in a column with different numbers (1-3) are significantly different (P <0.05)

فیلم پلی اتیلنی، میزان ماده جامد محلول بالاتر بود. معمولاً فیلم‌های پلی ساکاریدی به دلیل آبدوست بودن، از خواص ممانعتی مطلوب به گاز اکسیژن به ویژه در رطوبت نسبی پایین برخوردار هستند. بنابراین پلیمرهای پلی ساکاریدی حاوی نانوذرات نفوذپذیری پایین تری نسبت به گاز اکسیژن در مقایسه با پلیمرهای سنتزی دارند [۵،۳۲]. در نتیجه فرایند تنفس در نمونه‌های آلبالو بسته‌بندی شده در فیلم‌های نشاسته حاوی نانو ذرات اکسیدروی کندتر است. بعلاوه به دلیل خاصیت ضدباکتری نانو ذرات اکسیدروی [۱۲،۱۳]، فساد میکروبی در فیلم حاوی نانو ذرات اکسیدروی نسبت به فیلم پلی اتیلنی با تأخیر اتفاق افتاده در نتیجه ماده جامد محلول در این نوع ماده بسته‌بندی بهتر حفظ می‌شود [۱۳].

۳-۴-۲- ماده جامد محلول

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میزان ماده جامد محلول برای نمونه‌های کنترل و بسته‌بندی شده در فیلم پلی اتیلنی و فیلم نشاسته خالص در طی دوره نگهداری به طور معنی‌داری کاهش یافت. علت این کاهش ممکن است به دلیل فرایند تنفس و فساد میوه باشد [۲۰،۲۲]. اما برای فیلم نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی ۲٪ تغییر معنی‌داری در میزان ماده جامد محلول بین روز هفتم و چهاردهم رخ نداد. بیشترین کاهش در این فاکتور در روز هفتم و چهاردهم مربوط به نمونه‌های گروه کنترل و پس از آن پلی اتیلنی بود که بیشترین فساد و خرابی را نیز داشتند. در نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی نسبت به نمونه کنترل و نمونه‌های بسته‌بندی شده در

Table 2 Effect of different packaging on soluble solid content during storage at 4 °C.

Time (day)	Control	Polyethylene film	Starch film	Starch film containing 2% ZnO NPs
Day 0	16.25±0.05 ¹	16.25±0.05 ¹	16.25±0.05 ¹	16.25±0.05 ¹
Day 7	8.77±0.01 ^{2a}	12.21±0.02 ^{2b}	15.33±0.03 ^{2c}	14.2±0.04 ^{2d}
Day 14	10.24±0.02 ^{3a}	11.81±0.01 ^{3b}	14.53±0.02 ^{3c}	14.22±0.02 ^{2d}

Data in a row with different letters (a-d) are significantly different (P <0.05)
Data in a column with different numbers (1-3) are significantly different (P <0.05)

محلول در مقایسه با پلی اتیلن معمولی داشتند و علت آن را به نرخ پایین تر فساد در قارچ‌های بسته‌بندی شده در نانوکامپوزیت‌ها نسبت دادند [۳۳]. در رابطه با تأثیر نانو زیست پلیمرها بر میزان تغییرات ماده جامد محلول میوه‌ها تاکنون گزارشی داده نشده است.

۳-۴-۳- اسیدیت قابل تیترا

همانطور که در جدول ۳ مشاهده شد، میزان اسیدیت قابل تیترا نمونه‌های میوه آلبالو در تمام تیمارها کاهش یافت. علت کاهش

این روند کاهشی میزان ماده جامد محلول در طی انبارداری با داده‌های بدست آمده از مطالعات مشابه روی میوه‌های آلبالو و گیلاس، توت فرنگی مطابقت دارد [۳۰،۳۱]. همچنین دانگلو^{۲۶} و همکارانش در تحقیقی تأثیر کامپوزیت حاوی نانوذرات فلزی و پلی اتیلن معمولی را بر خواص کیفی پس از برداشت قارچ بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که قارچ‌های بسته‌بندی شده در نانوکامپوزیت‌ها کاهش کمتری در میزان ماده جامد

اسیدیته میوه آلبالو در طی دوره نگهداری این است که این میوه دارای نشاسته یا کربوهیدرات دیگری نیست که از طریق آن‌ها انرژی لازم را برای تنفس فراهم کند بنابراین از قندها و اسیدهای

آلی استفاده می‌کند، در نتیجه با فرایند تنفس میزان اسیدیته قابل تیر کاهش می‌یابد [۳].

Table 3 Effect of different packaging on titrable acidity during storage at 4 °C (g malic acid/100 mL)

Time (day)	Control	Polyethylene film	Starch film	Starch film containing 2% ZnO NPs
Day 0	1.03± 0.06 ¹	1.03± 0.06 ¹	1.03± 0.06 ¹	1.03± 0.06 ¹
Day 7	0.61± 0.02 ^{2a}	0.69± 0.01 ^{2b}	0.83± 0.02 ^{2c}	0.85± 0.02 ^{2c}
Day 14	0.61± 0.01 ^{2a}	0.45± 0.01 ^{3b}	0.71± 0.01 ^{3c}	0.79± 0.02 ^{2d}

Data in a row with different letters (a-d) are significantly different (P < 0.05).

Data in a column with different numbers (1-3) are significantly different (P < 0.05).

۳-۴-۴- میزان pH

pH عصاره نمونه‌های آلبالو در کل تیمارها در طی دوره نگهداری افزایش یافت. بین میزان pH نمونه‌های هر تیمار در روز هفتم و همچنین در روز چهاردهم تفاوت معنی داری وجود داشت. در روز چهاردهم، کمترین افزایش در میزان pH (۳/۷۷) مربوط به نمونه‌های آلبالو بسته‌بندی شده در فیلم نشاسته حاوی نانو ذرات و بیشترین افزایش در میزان pH (۴/۰۶) مربوط به فیلم پلی اتیلنی بود.

دلیل افزایش pH نمونه‌های آلبالو، کاهش میزان اسیدیته آن‌ها در طی دوره نگهداری است [۳۱]. از آنجایی که فیلم‌های نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی نفوذپذیری پایین‌تری نسبت به اکسیژن در مقایسه با دیگر تیمارها دارند بنابراین فرایند تنفس در میوه‌های بسته‌بندی شده در آن کندتر است و اسیدهای آلی موجود در میوه با روند کندتری مصرف می‌گردند (جدول ۳). در نتیجه میزان اسیدیته در نمونه‌های آلبالو این تیمار بهتر حفظ شده که این امر موجب می‌گردد که کمترین تغییرات pH مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی شده در این فیلم باشد و بیشترین تغییرات pH مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم پلی اتیلنی شود. این روند افزایشی pH در طی نگهداری مشابه با نتایج تحقیقات جو و همکارانش در مورد تأثیر نوع ماده بسته‌بندی بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی میوه شاه توت بود که آن‌ها برای توجیه این افزایش این توضیح را بیان کردند که در طی رسیدگی میوه، تکه‌هایی از پکتین (یک پلیمر قندی-اسیدی) از دیواره سلولی آزاد شده و به پلی فنول‌ها می‌چسبند، در نتیجه pH افزایش می‌یابد در این تحقیق نیز نمونه‌های بسته‌بندی شده در زیست

با توجه به اینکه فیلم نشاسته حاوی نانوذرات اکسیدروی، نفوذ پذیری پایین‌تری نسبت به اکسیژن در مقایسه با فیلم نشاسته خالص و پلی اتیلنی دارد [۵، ۱۷]، روند فرایند تنفس میوه‌های بسته‌بندی شده در آن کندتر می‌شود و بنابراین میزان اسیدیته در نمونه‌های میوه آلبالو بسته‌بندی شده در فیلم نشاسته حاوی نانو ذرات بهتر حفظ می‌شود. این روند کاهش میوه‌ها از مطالعات مشابه تیر در طی انبارداری با داده‌های بدست آمده از مطالعات مشابه روی میوه‌های آلبالو و گیلاس، توت فرنگی مطابقت دارد [۳، ۲۰، ۳۱]. در مطالعه‌های هو^{۳۷} و همکارانش تأثیر نانوکامپوزیت پلی اتیلنی حاوی اکسیدتیتانیوم را بر خواص کیفی میوه کیوی بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که تغییرات میزان اسیدیته قابل تیر در نمونه‌های بسته‌بندی شده در این نوع فیلم نسبت به فیلم پلی اتیلن بدون ذرات نانو کمتر است که این امر را به نفوذپذیری پایین‌تر نسبت به اکسیژن در فیلم حاوی نانوذرات نسبت دادند. در رابطه با تأثیر نانو زیست پلیمرها بر میزان اسیدیته قابل تیر میوه‌ها تاکنون گزارشی داده نشده است.

سطح pH پایین، افزایش می‌یابد و در pH بالا کاهش می‌یابد. در واقع علت سخت شدن دوباره میوه را می‌توان به افزایش پل‌های کلسیم با پکتات نسبت داد که ناشی از فعل و انفعالات pH، کلسیم و فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز می‌باشد [۳۳،۳]. به دلیل پایین‌تر بودن سطح pH در میوه‌های بسته‌بندی شده در فیلم نشاسته حاوی نانوذرات، (جدول ۴) فعالسازی کاتیون‌ها و در نتیجه اتصالشان به پکتات سریع‌تر است که این امر موجب تسریع سفتی بافت در این نمونه‌ها در مقایسه با تیمارهای دیگر می‌گردد (جدول ۵).

پلیمرها تغییرات pH کمتری در مقایسه با پلیمرهای نفتی داشتند [۲۲]. در رابطه با تاثیر نانو زیست پلیمرها بر میزان pH میوه‌ها تاکنون گزارشی داده نشده است.

۳-۴-۵ سفتی بافت

همانطور که در جدول ۵ ملاحظه شد، در طی نگهداری میوه آلبالو، بافت آن در تمامی تیمارها به طور معنی داری سفت می‌شود. علت این سفت شدن را می‌توان به فعالسازی کاتیون‌ها و رقابت آنها با آنزیم هیدرولیز کننده پکتین برای اتصال به پکتات نسبت داد. عمل فعالسازی کاتیون‌ها بستگی به pH دارد و در

Table 4 Effect of different packaging on pH during 4 °C storage

Time (day)	Control	Polyethylene film	Starch film	Starch film containing 2% ZnO NPs
Day 0	3.55± 0.01 ¹	3.55± 0.01 ¹	3.55± 0.01 ¹	3.55± 0.01 ¹
Day 7	3.82± 0.02 ^{2a}	3.88± 0.01 ^{2b}	3.77± 0.02 ^{2c}	3.72± 0.02 ^{2d}
Day 14	3.87± 0.07 ^{2a}	4.06± 0.01 ^{3b}	3.91± 0.01 ^{3a}	3.74± 0.04 ^{2c}

Data in a row with different letters (a-d) are significantly different (P < 0.05).
Data in a column with different numbers (1-3) are significantly different (P < 0.05).

Table 5 Effect of different packagings on firmness during 4 °C storage

Time (day)	Control	Polyethylene film	Starch film	Starch film containing 2% ZnO NPs
Day 0	2.00± 0.02 ¹	2.00± 0.02 ¹	2.00± 0.02 ¹	2.00± 0.02 ¹
Day 7	2.36± 0.05 ^{2a}	2.37± 0.06 ^{2a}	2.83± 0.57 ^{2ab}	3.43± 0.3 ^{2b}
Day 14	2.50± 0.07 ^{2a}	2.25± 0.1 ^{2b}	2.7± 0.05 ^{3c}	3.80± 0.05 ^{3d}

Data in a row with different letters (a-d) are significantly different (P < 0.05).
Data in a column with different numbers (1-3) are significantly different (P < 0.05).

پلی اتیلن معمولی می‌باشد [۳۰]. در رابطه با تاثیر نانو زیست پلیمرها بر میزان سفتی میوه‌ها تاکنون گزارشی داده نشده است.

۴- نتیجه گیری کلی

هدف از این تحقیق توسعه‌ی کاربرد پلیمرهای زیست تخریب پذیر در صنعت بسته‌بندی غذا با انگیزه‌ی حفظ سلامت مواد غذایی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از پلیمرهای سنتزی می‌باشد. در این راستا، فیلم‌های زیست تخریب پذیر نشاسته با استفاده از نانوذرات اکسیدروی با ترکیب درصدی

روانفر و همکارانش روند مشابهی در سفت شدن میوه آلبالو در طی انبارش را گزارش کردند و بیان کردند که از آنجایی که نمونه‌های آلبالو در طی انبارش آب خود را از دست می‌دهند بافت آن متراکم‌تر و منقبض‌تر می‌شود و چروکیدگی‌هایی بر روی سطح پوست میوه مشاهده شده، بنابراین قطر آن کاهش می‌یابد و نیروی بیشتری برای نفوذ به داخل گوشت میوه لازم می‌شود [۳۴]. در مطالعه‌ای دیگری که اثر بسته‌بندی نانوکامپوزیتی بر خصوصیات میوه کیوی بررسی شده بود نتایج نشان داد که میوه‌های بسته‌بندی شده در نانوکامپوزیت سفت‌تر از نمونه‌های

- [7] Rhim, J.W., Park, H.M., Ha, C.S., 2013, Bionanocomposites for Food Packaging Applications. *Progress in Polymer Science*, 38: 1629-1652.
- [8] Alavi, S., Thomas, S., Sandeep, K.P., Kalarikkal, N., Varghese, J., Yaragalla, S., 2015, Polymers for packaging application. Toronto, Apple Academic Press, 99-307.
- [9] Chiumarelli, M., Hubinger, D., 2014, Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Food Hydrocolloids*, 38: 20-27.
- [10] Maa, X., Chang, P., Yang, J., Yu, J., 2009, Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide-starch bionanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 75: 472-478.
- [11] Zhou, Y., 2008, Preparation of pure ZnO nanoparticles by a simple solid-state reaction method. *Applied Physics A*, 92: 275-278.
- [12] Firouzabadi, F., Noori, M., Edalatpanah, Y., 2014, ZnO nanoparticle suspensions containing citric acid as antimicrobial to control *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* in mango juice. *Food Control*, 42: 310-314.
- [13] Akbar, A., Anal, K.A., 2014, Zinc oxide nanoparticles loaded active packaging, a challenge study against *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* in ready to-eat poultry meat. *Food Control*, 38: 88-95.
- [14] Noushivani, N., Ghanbarzadeh, B., Entezami, A., 2012, Effect of cellulose nanocrystal and polyvinyl alcohol on the physical properties of starch based bionanocomposite films. *Iranian Journal Nutrition Science Food Technology*, 7: 63-74 [in Persian].
- [15] Chang, P.R., Ruijuan, J., Zheng, P., Yu, J., Ma, X., 2010, Preparation and properties of glycerol plasticized starch (GPS) cellulose nanoparticle (CN) composites. *Carbohydrate Polymers*, 79: 301-305.
- [16] Hejri, Z., Seifkordi, A.K., Ahmadpour, A., Zebarjad, M., Maskooki, A., 2013, Biodegradable Starch/Poly (vinyl alcohol) Film Reinforced with TiO₂ Nanoparticles.

مختلف تقویت شدند، به طوری که خصوصیات مکانیکی و ممانعتی فیلم‌ها بهبود یافت. سپس از مناسب‌ترین فیلم تهیه شده، به عنوان پوششی برای میوه آلبالو با هدف تأخیر در فساد میوه، حفظ کیفیت در طول مدت انبارداری و در نتیجه افزایش زمان نگهداری آلبالو استفاده شد. تأثیرات بسته بندی نانوفیلم زیست تخریب پذیر نشاسته سیب زمینی/اکسیدروی بر روی شاخص‌های کیفی میوه آلبالو با فیلم‌های پلی اتیلنی و فیلم نشاسته خالص مقایسه شدند. نتایج نشان داد که شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آلبالو بسته‌بندی شده درون نانوکامپوزیت زیست تخریب‌پذیر نشاسته سیب زمینی/اکسیدروی در مقایسه با نمونه های بسته‌بندی شده در فیلم های پلی اتیلنی و نشاسته خالص بهتر حفظ می‌شود.

۵-منابع

- [1] Arjeh, E., Barzegar, M., Sahari, M., 2015, Effects of gamma irradiation on physicochemical properties, anti-oxidant and microbial activities of sour cherry juice. *Radiation Physics and Chemistry*, 114: 18-24.
- [2] Damar, I., Eksi, A., 2012, Antioxidant capacity and anthocyanin profile of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) juice. *Food Chemistry*, 135: 2910-2914.
- [3] Khorshidi, SH., Davarynejad, GH., Tehranifar, A., Fallahi, E., 2011, Effect of Modified Atmosphere Packaging on Chemical Composition, Antioxidant Activity, Anthocyanin, and Total Phenolic Content of Cherry Fruits. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 52: 471-481.
- [4] Grafe, CH., Schuster, M., 2014, Physicochemical characterization of fruit quality traits in a German sour cherry collection. *Scientia Horticulturae*, 180: 24-31.
- [5] Peelman, N., Ragaert, P., Meulenaer, BD., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., 2013, Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 13: 128-141.
- [6] Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Rosa, M., 2008, Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 19: 634-643.

- Profile Study, Iranian Journal of Polymer Science and Technology, 26(2): 91-100 [in Persian].
- [26] Aboulghasemi, L., Ghanbarzadeh, B., Dehghannia, J., Entezami, A., 2012, Biodegradable Carboxymethyl Cellulose Films Modified by Polyvinyl Alcohol and Cellulose Nanowhiskers:(2) Thermal, Water Vapor Permeability and Surface Hydrophilicity Properties. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 43: 65-72.
- [27] Bourtoom, T., 2008, Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 30: 149-165.
- [28] Yamashita, F., Muller, C., Laurindo, JB., 2008, Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. Carbohydrate Polymers, 72: 82-87.
- [29] Farahnaky, A., Dadfar, M.M., Shahbazi, M., 2014, Physical and mechanical properties of gelatin-clay nanocomposite. Journal of Food Engineering, 122: 78-83.
- [30] Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N., Zhao, L., 2011, Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. Food Research International, 44: 1589-1596.
- [31] Conte, A., Scrocco, C., Lecce, L., Mastromatteo, M., Delnobile, M.A., 2009, Ready-to-eat sweet cherries: Study on different packaging systems. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 12: 1-8.
- [32] Xiong, H., Tang, Sh., Tang, H., Zou, P., 2008, The structure and properties of a starch-based biodegradable film. Carbohydrate Polymers, 71: 263-268.
- [33] Donglu, F., Wenjian, Y., Kimatu, B., Xinxin, A., Qiuhu, H., Liyan, Z., 2016, Effect of nanocomposite packaging on postharvest quality and reactive oxygen species metabolism of mushrooms (*Flammulina velutipes*). Postharvest Biology and Technology, 119: 49-57.
- [34] Ravanfar, R., Niakousari, M., Maftoonazad, N., 2012, Postharvest sour cherry quality and safety maintenance by exposure to Hot water or treatment with fresh Aloe vera gel. Journal of Food Science and Technology, 12: 17-28.
- International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 20: 1001-1011.
- [17] Moura, M., Mattoso, L., Zucolotto, V., 2012, Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food packaging. Journal of Food Engineering, 109: 520-524.
- [18] Ramos, M., Jiménez, A., Peltzer, M., Garrigos, C., 2014, Development of novel nano-biocomposite antioxidant films based on poly (lactic acid) and thymol for active packaging. Food Chemistry, 162: 149-155.
- [19] Kanmani, P., Rhim, J., 2014, Properties and characterization of bionanocomposite films prepared with various biopolymers and ZnO nanoparticles. Carbohydrate Polymers, 106: 190-199.
- [20] Amal, SH., Atrass, M., Elmogy H.E., Aboul, B.W., 2010, Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants, 2: 88-97.
- [21] Barba, F.J., Jäger, H., Meneses, N., Esteve, MJ., Frígola, A., Knorr, D., 2012, Evaluation of quality changes of blueberry juice during refrigerated storage after high-pressure and pulsed electric fields processing. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 14: 18-24.
- [22] Joo, M., Lewandowski, N., Auras, R., Harte, J., Almenar, E., 2011, Comparative shelf life study of blackberry fruit in biobased and petroleum-based containers under retail storage conditions. Food Chemistry, 126: 1734-1740.
- [23] Ahmadi, M., Davarynejad, GH., Azizi, M., Sedaghat, N., Tehranifar, A., 2009, Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality Properties and Storability Extending in Two Sour Cherry Cultivars. Journal of horticulture science, 22: 155-166.
- [24] Karimzadeh, F., Ghasemali, A., Salemizadeh, S., 2005, Nanomaterials: Properties, Synthesis and Application. 2 nd ed. Esfahan, Jahad Daneshgahi Isfahan University of Technology, p.155-199 [in Persian].
- [25] Gholami, R., Ghanbarzadeh, B., Dehghannia, J., 2013, Potato Starch/Montmorillonite-Based Nanocomposites: Water Sensitivity, Mechanical and Thermal Properties and XRD

Improvement of the Mechanical and Barrier Properties of Potato Starch-based Films using ZnO Nanoparticles & its Application in Iranian Sour Cherry Packaging

Chahardehi Sirati, Z.¹, Movahedi, F.^{2*}, Aminifar, M.³

1. MSc in Food Science & Technology, Faculty of Advance Sciences & Technology, Pharmaceutical Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Assistant Prof, Dept. of Packaging and Cellulosic Materials, Faculty of Chemistry and Petrochemical Engineering, Standard Research Institute, Karaj, Iran.
3. Assistant Prof, Dept. of Food Science & Technology, Faculty of Food Industry and Agriculture, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran

(Received: 2016/09/18 Accepted: 2017/02/04)

Because of high perishable properties of sour cherry, there is no possibility to export the fruit freshly. Packaging would be one of the efficient factors playing an important role for increasing the shelf-life of the food products. On the other hand, application of natural and eco-friendly materials such as starch in packaging industry seems unfavorable aroused from poor mechanical and barrier properties. To overcome these defects, addition of nanofillers is advised. In this regard, ZnO nanoparticles are a right choice for reinforcement of biopolymers due to their safety, appropriate price and high availability. The objective of this paper is to design a new kind of packaging based on potato starch films reinforced with loading various amounts of ZnO nanoparticles (0, 0.5, 1, 2, 3, 4 wt%) and evaluation its performance on quality parameters of Iranian sour cherry. The resulting films were characterized with FE-SEM(Field Emission-scanning electron microscopy), water vapor permeability(WVP) and mechanical tests. Upon the ZnO nanoparticles content increased, both the tensile strength yield (TS) and Young's modulus (YM) increased from 3.7 to 4.8 MPa and from 63 to 92 MPa, while elongation at the break point (E(%)) and WVP decreased from 26% to 22% and from 5.7×10^{-7} to 5.3×10^{-7} g.Pa⁻¹.h⁻¹.m⁻¹, respectively. The starch bio-film containing 2% ZnO nanoparticles was selected as the best reinforced packaging film for maintaining sour cherry quality parameters. The results showed the better quality of fruits packaged in starch films containing 2% ZnO nanoparticles in comparison with either the samples packaged in non-reinforced starch films, or even in polyethylene (PE) films due to a higher total soluble solids, titrable acidity and firmness. The SPSS software was used for statistical analysis.

Keywords: Iranian sour cherry, Shelf life, Packaging, Potato starch, ZnO nanoparticles.

*Corresponding Author E mail Address: fzmovahedi@yahoo.com