بررسی تأثیر پوشش پلی‌اتیلن بر پایه نانو ذرات نقره برافزایش ماندگاری و برخی ویژگی‌های کیفی و میکروبی جوانه گندم

مینا داراب[a]، شهلا شهریاری[*b]، حمید مظفری[c]

[a] *کارشناس ارشدگروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران*

[b] *دانشیار گروه مهندسی شیمی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران*

[c] *استادیار گروه کشاورزی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۰

https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1400.18.4.10.0

چکیده

مقدمه: افزایش ماندگاری، کنترل عوامل فساد و حفظ کیفیت جوانه گندم در طول مدت نگهداری با استفاده از یک بسته‌بندی مناسب امکان‌پذیر می‌باشد. یکی از فناوری‌های نوین که امروزه برای نگهداری مواد غذایی مورد توجه محققین قرار گرفته است، استفاده از بسته‌بندی هایی برپایه نانو ذرات می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، ابتدا فیلم‌های بر پایه نانو ذرات نقره تهیه شد و برخی ویژگی‌های فیلم‌های شامل نفوذ بخار آب، ضخامت و مورفولوژی سطحی آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مورد ارزیابی قرار گرفت. ماندگاری، برخی ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی جوانه گندم در بسته‌های پلی‌اتیلنی اصلاح شده با نانو ذرات نقره بررسی گردید. جوانه‌های گندم درسه نوع پوشش پلی‌اتیلنی حاوی ۳ و ۵ درصد وزنی نانو ذرات نقره و همچنین بسته‌بندی پلی اتیلن خالص (نمونه شاهد) بسته‌بندی شد، و در ۳ دمای مختلف (۲، ۴، ۶) درجه سانتی‌گراد و در ۳ زمان نگهداری مختلف (۰، ۵، ۱۰) روز مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که دما ، زمان نگهداری و غلظت نانو نقره در بسته‌بندی پلی اتیلن تأثیر معنی‌داری بر رطوبت،pH و فعالیت آنزیمی جوانه گندم دارد. همچنین ماندگاری جوانه گندم با افزایش غلظت نانو نقره از ۳٪ به ۵٪ و با کاهش دما از ۶ درجه سانتی‌گراد به ۲ درجه سانتی‌گراد تا ده روز افزایش می‌یابد. بسته‌های دارای نانو ذرات توانستند به طور معنی‌داری ($P<0.05$) رشد کپک را در جوانه گندم کاهش دهند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج بدست آمده استفاده از فیلم‌های برپایه نانوذرات نقره باعث افزایش ماندگاری جوانه گندم می‌شود. جوانه گندم در بسته بندی با ۵٪ نانوذرات نقره در دمای دو درجه سانتی‌گراد بیشترین ماندگاری را داشت و به عنوان نمونه منتخب تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: *بسته‌بندی، پلی اتیلن، جوانه گندم، ماندگاری، نانو ذره نقره*

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: shahla_shahriari@yahoo.com

مقدمه

در دهه اخیر، افزایش ماندگاری و بسته‌بندی صحیح سبزی‌ها تازه توجه محققین را به خود جلب کرده است. یک دسته مهم از مواد مغذی گیاهی، جوانه گیاهان می‌باشند که با توجه به نقش مهم آنها در رژیم غذایی و حفظ سلامتی انسان دارای اهمیت قابل توجهی می‌باشند (Shetty *et al*., 2003). جوانه گندم با نام‌های رویان، جنین و گیاهک شناخته شده است و جزء سازنده دانه گندم می‌باشد. جوانه گندم دارای ترکیباتی همچون اسیدهای چرب غیر اشباع، فیبر رژیمی و اسیدهای آمینه ضروری می‌باشد. همچنین منبع بی‌نظیری از ویتامین‌ها و مواد معدنی نیز می‌باشد (Ahmad, 2010; Kumar *et al*., 2011). جوانه غنی‌ترین منبع شناخته شده از ویتامین E با منشا گیاهی است (Eisenmenger and Dunford, 2008). جوانه گندم ۲/۵ درصد از وزن دانه گندم را شامل می‌شود که در مقایسه با آندوسپرم گندم دارای ۶ برابر مواد معدنی بیشتر (۴٪)، ۷ برابر چربی بیشتر (۱۱٪)، ۱۵ برابر قند بیشتر (۱۷٪) و ۳ برابر پروتئین بیشتر (۲۶٪)، می‌باشد (Rizzello *et al*., 2011). سلنیوم، منیزیم و ویتامین E موجود در جوانه گندم مانع آثار تخریبی رادیکال‌های آزاد می‌شوند و موجب تقویت سیستم ایمنی بدن و افزایش فعالیت مغزی می‌شوند. به‌همین علت جوانه گندم در پیشگیری از انواع سرطان موثر شناخته شده است (Ahmad, 2010).

افزایش ماندگاری جوانه گندم به علت دارا بودن ارزش تغذیه‌ای بالا و مصرف آن به صورت تازه در وعده‌های غذایی قابل اهمیت می‌باشد. کنترل عوامل فساد و تامین شرایط نگهداری بهینه در جوانه گندم، با استفاده از یک بسته‌بندی مناسب امکان‌پذیر می‌باشد (Aycicek *et al*., 2006). بسته‌بندی به عنوان صنعتی با اهمیت در صنایع غذایی مطرح می‌باشد. اصولاً فیلم یا پوشش به عنوان لایه ای یکپارچه بر روی مواد غذایی قرار داده می‌شود. پوشش بسته بندی به عنوان یک سد در مقابل انتقال مواد (رطوبت، گاز، چربی)، حفظ اجزای موادغذایی، کاهش سرعت رشد میکروارگانیسم‌ها در سطح ماده غذایی و حفاظت مکانیکی ماده غذایی عمل می‌کند (Goyal, 2012).

عوامل اصلی فساد جوانه گندم در طول دوره نگهداری عبارتند از: فیزیولوژیکی (تنفس)، بیولوژیکی (باکتری‌ها، کپک‌ها و مخمرها)، شیمیایی (فعالیت آنزیمی، رطوبت، pH، مواد مغذی) و شرایط محیطی (دما و اکسیژن). امروزه جهت بسته‌بندی جوانه گندم تازه بهتر است استفاده از فناوری‌های جدید همچون فناوری نانو، نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. در حال حاضر روش‌های معمول و متداول برای بسته‌بندی جوانه گندم، استفاده از پوشش‌های مصنوعی از جنس پلی‌پروپیلن و ظروف فومی پلی‌استایرن می‌باشد. یکی از ویژگی‌های این پوشش‌ها سرعت بالای گذردهی رطوبت و گازها از آن است. به‌همین علت ماندگاری جوانه گندم در این نوع بسته‌بندی بسیار کوتاه می‌باشد (Silvestre and Duraccio, 2011). یکی از فناوری‌های نوین بسته‌بندی که امروزه به‌منظور حفظ کیفیت، کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری در صنعت بسته‌بندی پلیمری مورد توجه قرار گرفته است فناوری نانو می‌باشد (Azeredo, 2013). فناوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار در مقیاس نانو اطلاق می‌شود (Azeredo, 2013; Greiner, 2009). در دهه اخیر با ورود علم نانو به صنعت بسته‌بندی و کشف این موضوع که مواد در مقیاس کوچک پیوندهای قوی‌تر با فازهای اطراف خود در مقایسه با مقیاس بزرگ‌تر برقرار می‌کنند، شاخه جدیدی از مواد کامپوزیتی به‌نام نانو کامپوزیت‌ها گسترش یافته است (Rezaee *et al*., 2018). نانو کامپوزیت به ماده مرکبی گفته می‌شود که حداقل یکی از فازهای تشکیل دهنده آن در ابعاد ۱–۱۰۰ نانو متر باشد. نانو کامپوزیت‌ها بر اساس ماده زمینه آن‌ها به انواع پلیمری، سرامیکی، و فلزی تقسیم می‌شوند برخی نانو ذرات مانند نقره، اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم به علت ویژگی ضد میکروبی آن‌ها مورد توجه می‌باشند. نقره به‌عنوان یک آنتی‌باکتریال همیشه مورد توجه بوده است. (Morones *et al*., 2005). فعالیت‌های تحقیقاتی وسیع درخصوص کار برد نانونقره در حوزه سلامتی انجام شده است به عنوان مثال از نانو ذرات نقره در حوزه پزشکی به عنوان پوشش روی زخم، ابزارهای جراحی و پروتزهای استخوان استفاده می‌شود. تخمین زده شده است که در بخش پزشکی و حفظ سلامت، از میان تمام مواد نانویی، کاربرد نانونقره در بالاترین درجه تجاری شدن قرار دارد. نانوذرات نقره بر روی ویروس‌ها هم مؤثر بوده و به گروه‌های SH گلیکوپروتئین‌های سطح ویروس متصل شده و مانع از

اتصال آن‌ها به سلول میزبان می‌گردد. (Ahari, 2017). نانوذرات نقره بر روی طیف گسترده ای از باکتری‌ها مؤثر هستند. نانوذرات بر روی سلول‌های انسانی اثر سوء ندارند زیرا سلول های‌انسانی به صورت بافت هستند. بر خلاف آنتی‌بیوتیک‌ها که پس از واکنش با سلول تغییر شکل یافته و بی اثر می‌شوند، نانوذرات نقره پس از اثر بر میکروب‌ها آزاد شده و بر میکروارگانیسم‌های دیگر تأثیر می‌گذارند (Ehsani *et al*., 2018). کاربرد نانو ذرات نقره در پوشش‌های پلیمری به علت داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد فیزیکوشیمیایی، پایداری حرارتی بالاو فراریت کم در حین فرآیند و اثر قوی ضد میکروبی در صنایع غذایی و پزشکی گسترش یافته است (Ahari, 2017).

مطابق دانش و آگاهی ما، تحقیقاتی به‌طور ویژه و منحصرا در زمینه بسته بندی جوانه گندم با استفاده از فیلم‌های پلی‌اتیلنی بر پایه نانو ذره نقره صورت نگرفته است. اگرچه بطور مثال تحقیقاتی در خصوص اثرنانو ذرات نقره بر ماندگاری سالاد میوه (Costa *et al*., 2011)، بررسی ماندگاری مارچوبه‌های تازه با فیلم‌های نانو ذرات نقره / پلی‌وینیل پیرولیدن و اثر پوشش پلی‌پروپیلن نانو ذرات مونتموریلونیت نقره بر انبارمانی برش‌های هویج (Costa *et al*., 2012) انجام گرفته است.

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پوشش پلی‌اتیلن بر پایه نانو ذرات نقره برروی افزایش ماندگاری، پارامترهای کیفی و میکروبی جوانه گندم می باشد. اثر پارامترهایی شامل درصدهای مختلف نانو ذرات نقره به کار رفته در پوشش پلیمری، دماهای مختلف نگهداری (۶، ۴، ۲) درجه سانتی گراد و سه زمان نگهداری (۰، ۵، ۱۰) روز بر روی بسته بندی‌های جوانه گندم مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

دانه گندم مورد استفاده از گونه *Triticum aestivum*، واریته سیروان (ایران) و از نوع گندم بهاره بوده و پس از برداشت از مزرعه و نگهداری در انبار تهیه گردید. نانو ذرات نقره با خلوص ۹۹/۹۹ درصد و اندازه ذرات۴۰-۲۰ نانو متر و دانسیته ۱۰/۵(g/cm^3) از شرکت مرک آلمان خریداری شد. گرانول های پلی اتیلن سبک (LDPE) با شاخص جریان ذوبی ۲ گرم در هر ۱۰ دقیقه و دانسیته ۰/۹۲ گرم بر میلی‌لیتر از شرکت تک گرانول البرز، تهران، ایران و پودر دی اکسید تیتانیوم از شرکت کرونوس آلمان تهیه گردید. جهت انجام آزمون های میکروبی از محیط کشت های لوریل سولفات براث و دی کلران ۱۸ درصد گلیسرول استفاده گردید.

- **تهیه فیلم پلی اتیلن با نانو ذرات نقره**

برای تهیه فیلم نانو کامپوزیت نقره و دی اکسید تیتانیوم، گرانول‌های پلی‌اتیلن سبک و پودر نانو ذرات نقره و پودر دی اکسید تیتانیوم به روش اختلاط مستقیم با استفاده از اکسترودر دومارپیچ (Cincinnati Milacron, Batavia) تهیه گردید. قطر اکسترودر ۵۵ میلی‌متر و نسبت طول پیچ به قطر ۳۰ میلی‌متر بود. در ادامه گرانول‌های نمونه مادر در یک اکسترودر دمشی (Venus Plastic Machinery Taiwan) با قطر ۴۵ میلی متر و طول مارپیچ ۲۸ میلی‌متر با برنامه حرارتی ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به فیلم نازک با ضخامت ۵۰ میکرومتر تبدیل و بدین ترتیب فیلم حاوی ۳ درصد و ۵ درصد نانو ذرات نقره تهیه گردید. پوشش پلی اتیلن خالص (شاهد) نیز به همین روش بدون افزودن نانو ذرات نقره و دی اکسید تیتانیوم به صورت تهیه گردید. (Donglu *et al*., 2016)

- **ارزیابی خصوصیات فیلم پلی اتیلنی با نانو ذرات نقره**
- **ضخامت فیلم**

ضخامت فیلم با استفاده از میکرومتر دیجیتال (۰/۰۰۱± میلی متر)، اندازه گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در پنج نقطه از هر نمونه تکرار شد. هدف از اندازه‌گیری ضخامت فیلم، تعیین میزان نفوذپذیری فیلم به بخار آب می‌باشد.

- **میکروسکوپ الکترونی روبشی Scanning electron microscopy (SEM)**

به منظور بررسی تاثیر افزودن نانو مواد به فیلم‌های پلی‌اتیلن تولید شده، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح فیلم‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی رویشی (FESEM, MIRA3TESCAN-XMU) تهیه شد. فیلم‌ها به کمک چسب نقره بر روی پایه آلومینیومی چسبانده شد و سپس تصویر برداری با ولتاژ ۳۰ کیلو وات و در بزرگنمایی‌های مختلف انجام شد.

- **آزمون میکروسکوپ الکترونی عبوری**
Transmission Electron Microscopy (TEM)

جهت بررسی کیفیت توزیع نانو ذرات نقره درون بستر پلیمرو همچنین اندازه ذرات نانو نقره از میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده گردید. بدین ترتیب که فیلم های نانو در ابعاد ۲×۲ سانتی متر تهیه گردید. پس از تهیه لایه نازکی از فیلم تصویر برداری با میکروسکوپ الکترونی عبوری انجام گردید. (Kuulial *et al*., 2015)

- **اندازه گیری نفوذپذیری فیلم‌ها در برابر بخار آب**
Water vapor permeability (WVP)

برای انجام آزمون نفوذپذیری به بخار آب از فنجان‌های شیشه‌ای با قطر داخلی ۳ سانتی متر و ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر استفاده شد. درون فنجان‌ها ۸ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد تا رطوبت ۱۰۰ درصد در فضای داخل فنجان ایجاد کند. نمونه های فیلم بویسله گریس روی فنجان‌ها قرار گرفت و با واشر لاستیکی و گیره محکم آب‌بندی شد. سپس فنجان‌ها درون دسیکاتور حاوی سیلیکاژل قرار گرفتند. فنجان‌ها هر ۱۲ ساعت یکبار توزین و میزان افت وزنی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱± تعیین شد (Abdolahi *et al*., 2012). میزان نفوذپذیری از فرمول (۱) به دست آمد:

$$WVP = \Delta m \times {}^{x}/_{A} \times \Delta t \times \Delta P \qquad (۱)$$

WVP: میزان نفوذپذیری به بخار آب بر حسب گرم بر متر در ثانیه در پاسکال (gr/ m.s.Pa)

Δm: افت وزنی مربوط به فنجان‌ها بر حسب گرم (gr)

x: ضخامت بر حسب متر (m)

A: سطح در معرض هوا ($۷/۶ \times ۱۰^{-۲}$ متر مربع)

Δt: زمان بر حسب ثانیه (S)

ΔP: اختلاف فشار جزئی درون و بیرون فنجان‌ها بر حسب پاسکال (Pa) که در رطوبت ۱۰۰ درصد، ۳/۱۷۹ پاسکال در نظر گرفته می‌شود.

- **آماده سازی و بسته‌بندی جوانه گندم**

ابتدا اجسام خارجی از دانه‌های گندم جدا گردید و سپس ۵۰۰ گرم از دانه‌های گندم به مدت ۴ دقیقه در محلول ۰/۵ درصد هیپوکلرید سدیم قرار گرفتند. پس از آن در ۲ لیتر آب تصفیه شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط و شرایط تاریکی نگهداری گردیدند. آب اضافی توسط توری آزمایشگاهی خارج گردید و گندم‌ها به داخل ظرف شیشه‌ای منتقل شدند و بر روی آن‌ها تنظیف مرطوب قرار داده شد. پس از رشد جوانه، دانه‌های گندم تا ارتفاع یک سانتی‌متری، از ظرف خارج گردید. مقدار ۲۰ گرم جوانه گندم در پوشش‌های پلیمری تهیه شده به شکل مستطیل به اندازه ۲۰ سانتی‌متر در ۱۵ سانتی متر بسته‌بندی گردید. تمامی مراحل تولید جوانه گندم، تولید فیلم و بسته‌بندی تحت شرایط استریل انجام شد. بسته‌بندی‌های جوانه گندم طوری طراحی شد که تاثیر سه نوع بسته‌بندی مختلف جوانه گندم (فیلم پلی‌اتیلن بر پایه نانو ذرات نقره با درصدهای وزنی ۳ و ۶) در مقایسه با بسته‌بندی در داخل فیلم پلی‌اتیلنی خالص (صفر درصد نانو نقره) مورد ارزیابی قرارگیرد.

- اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی جوانه گندم

در این مطالعه، آزمایشات انجام شده بر روی جوانه گندم با ۲ تکرار آنجام گردید که شامل آزمون‌های شیمیایی و میکروبی جوانه گندم می‌باشد.

- **pH**

اندازه‌گیری pH با دستگاه pH متر مدل Jenway 3505 انجام گردید. بدین منظور مقدار ۵ گرم نمونه وزن و آسیاب گردید. جوانه گندم آسیاب شده داخل ارلن منتقل گردید و به آن ۴۵ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. محلول هم زده و یکنواخت گردید و سپس pH جوانه گندم اندازه‌گیری شد.

- **رطوبت**

اندازه‌گیری رطوبت به روش وزن تر و خشک انجام گردید. ابتدا پلیت مخصوص انجام آزمایش رطوبت، برای رسیدن به وزن ثابت به مدت یک ساعت در آون با دمای ۱۰۳ ± ۲ ^{o}C قرار داده شد و سپس جهت سرد شدن در دیسکاتور نگهداری گردید. پس از توزین ظرف، ۵ گرم نمونه جوانه گندم وزن گردید و به مدت ۶ـ۵ ساعت در آون با دمای۱۰۳ ±۲ ^{o}C قرار داده شد. پس از سرد شدن در دیسکاتور، عمل توزین انجام شد و در نهایت درصد رطوبت طبق فرمول (۲) محاسبه گردید:

$$\text{Moisture content} = \frac{w_2 - w_3}{w_2 - w_1} \times 100 \qquad (۲)$$

w_1 = وزن ظرف

w_2 = وزن ظرف + نمونه قبل از خشک کردن

w_3 = وزن ظرف+ نمونه پس از خشک کردن

- **فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز**

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز با استفاده از دستگاه فالینگ نامبر مدل FN-1500/ Perten کشور سوئد بر اساس روش مصوب AACC به شماره B ۸۱-۶۵ انجام گردید. لازم به ذکر است جهت مشخص تر شدن روند دقیق تغییرات فعالیت آلفا آمیلاز، مقدار مشخصی از گندم جوانه زده آسیاب شده (۱ درصد بر اساس ۷ گرم آرد مورد نیاز) به آرد گندم با فعالیت آلفا آمیلازی معلوم اضافه گردید و از این طریق میزان فعالیت آلفا آمیلاز و تغییرات آن در نمونه‌های مختلف نیز اندازه‌گیری وتعیین شد (Moharami *et al.*, 2009).

- **فعالیت آنزیم لیپاز**

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم لیپاز به روش تیتراسیون انجام گردید (Moharami *et al.*, 2009). برای این منظور ۵ گرم جوانه گندم آسیاب شده را داخل ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۲ میلی‌لیتر تولوئن، ۱ میلی لیتر سوبسترا (روغن زیتون) و ۱۰ میلی لیتر محلول بافر فسفات (۰/۱ مولار) اضافه شد. ارلن حاوی این مخلوط برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷/۹ $^{\circ}$C انکوبه شد. پس از انکوباسیون با افزودن ۱۰۰ میلی لیتر مخلوط استون و دی اتیل اتر (۳ به ۱) به ارلن مایر، مواد داخل آن در برابر فنل فتالئین با سود ۰/۱ نرمال تیتر گردید. میزان سود مصرفی نشان دهنده مقدار فعالیت آنزیمی می‌باشد.

- **میزان مهاجرت یون های نقره از فیلم نانو به جوانه گندم**

میزان مهاجرت یون های نقره از پلیمر به جوانه گندم با استفاده از دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی مدل AA800, Perkin- Elmer کشور آمریکا در طول موج ۳۲۸/۱ نانومتر (طول موج مناسب جهت تشخیص یون نقره)، برای نمونه منتخب (نمونه با بیشترین ماندگاری) بعد از ۱۰ روز نگهداری اندازه گیری شد.

- **آزمون میکروبی، کپک و مخمر**

آزمون میکروبی اشرشیا کلی در محیط کشت لوریل سولفات براث وشمارش کپک و مخمردر محیط کشت دی کلران ۱۸ درصد گلیسرول مطابق روش گزارش شده توسط آیسیسک و همکاران انجام پذیرفت (Aycicek *et al.*, 2006).

- **تجزیه و تحلیل آماری**

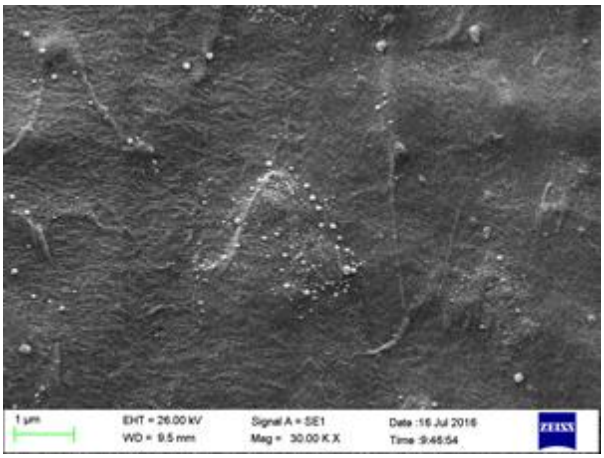
این پژوهش در قالب آزمایشات فاکتوریل بر پایه طرح آماری کاملا تصادفی اجرا گردید. فاکتور اول مورد بررسی نوع بسته‌بندی با سه سطح ۰، ۳، ۵ درصد نانو نقره، فاکتور دوم دمای نگهداری جوانه گندم با سه سطح ۲، ۴، ۶ درجه سانتی گراد و فاکتور سوم، زمان نگهداری جوانه گندم با سه سطح زمان صفر نگهداری و ۵ و۱۰روز بود. اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها به کمک روش آماری مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با نرم‌افزار SPSSنسخه ۲۰ انجام گردید. کلیه نمودارهانیز با نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۰ رسم شد.

یافته‌ها

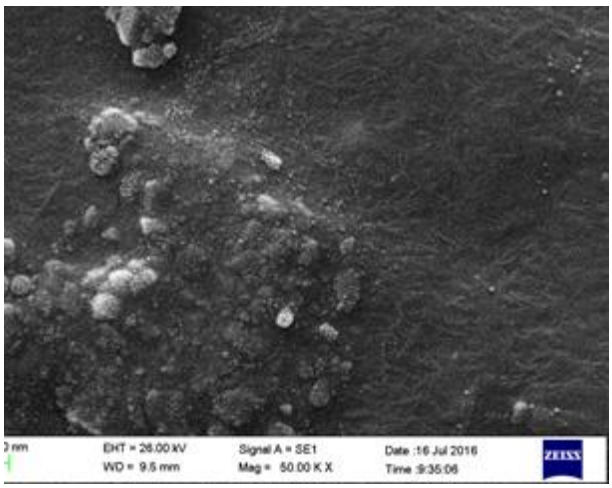
- **بررسی مورفولوژی سطح نانو کامپوزیت‌ها**

جهت مشاهده توزیع یکنواخت نانو ذرات در بستر پلی‌اتیلن از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده گردید. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از فیلم‌های حاوی ۳٪و ۵٪ نانو نقره بر پایه دی اکسید تیتانیوم به ترتیب در شکل‌های 1a, 1b ارائه شده است.

در این کار، بررسی توزیع یکنواخت ذرات در بستر پلیمر و همچنین بررسی دقیق اندازه ذرات نانو نقره با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مورد ارزیابی قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری فیلم‌های پلی‌اتیلنی حاوی ۳٪ و ۵٪ نانو ذرات نقره در شکل ۲ نشان داده شده است.



(a)



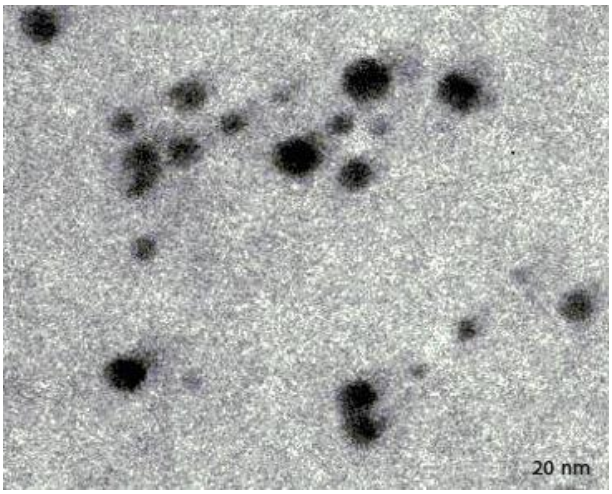
(b)

Figure 1. Scanning electron microscope images (SEM). (a: 3% by weight of silver nanoparticles, b: 5% by weight of silver nanoparticles)

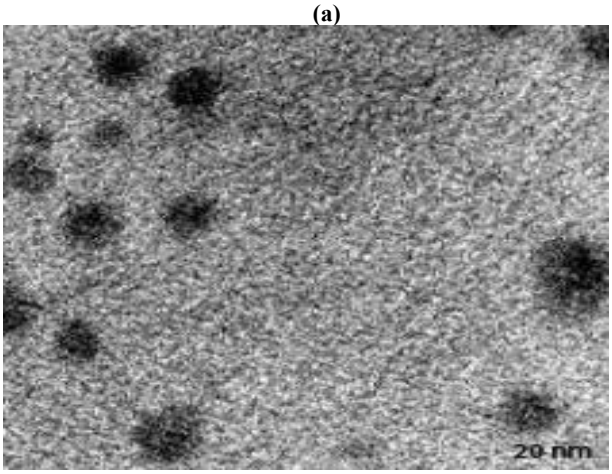
شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM). (a: ۳ درصد وزنی نانو ذره نقره، b: ۵ درصد وزنی نانو ذره نقره)

- **بررسی نفوذ پذیری نسبت به بخار آب (WVP) در فیلم‌ها**

نتایج مربوط به اندازه گیری نفوذپذیری فیلم‌ها نسبت به بخار آب (WVP) در جدول (۱) ارائه گردیده است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که میزان نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های پلیمری بر پایه نانو ذرات کمتر از فیلم پلی اتیلن خالص است. در فیلم‌های پلیمری بر پایه نانو ذرات نقره، با افزایش درصد نانو ذرات نقره از ۳٪ به ۵٪ نفوذپذیری به بخار آب از ۰/۶۹۱ به ۰/۴۸۷ (gr/ m.s.Pa) کاهش یافته است. به طور کلی کمترین میزان نفوذپذیری در فیلم پلیمری ۵٪ درصد نانو ذرات نقره مشاهده شد.



(a)



(b)

Figure 2. Transmission electron microscope images (TEM). a: 3% by weight of silver nanoparticles, b: 5% by weight of silver nanoparticles

شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM). (a: ۳ درصد وزنی نانو ذره نقره، b: ۵ درصد وزنی نانو ذره نقره)

جدول ۱- نتایج اندازه گیری نفوذپذیری فیلم‌ها در برابر بخار آب

Table 1. Results of measuring the permeability of films to water vapor

n-Ag (w%)	WVP*(gr/ m.s.Pa)
0	1.733[a]
3	0.691 [b]
5	0.487 [c]

*حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف در سطح پنج درصد درآزمون دانکن است.

- **جوانه گندم بسته‌بندی شده**
- **pH جوانه گندم**

نتایج داده‌های آزمایشگاهی جهت تاثیر سه نوع مختلف بسته‌بندی در سه زمان نگهداری مختلف بر روی pH جوانه گندم به ترتیب در دماهای ۲، ۴، ۶ درجه سانتی‌گراد در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش زمان نگهداری، pH جوانه گندم جهت کلیه نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

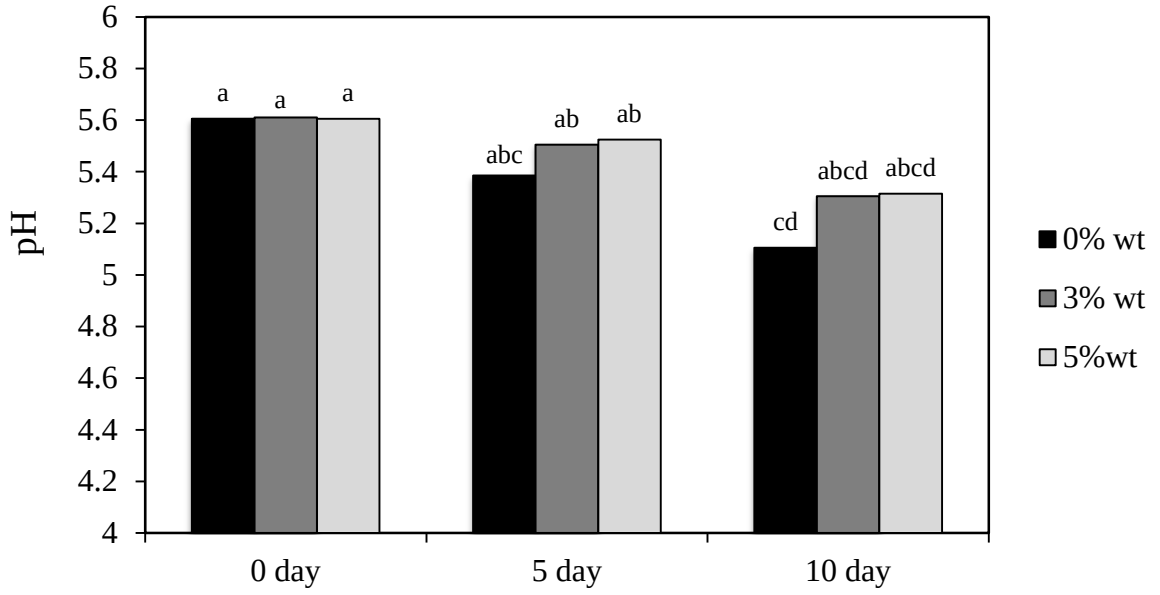


Figure 3. The effect of the film on the pH of wheat germ during storage at 2 ° C

شکل۳ – تاثیر فیلم بر روی pH جوانه گندم در طول مدت نگهداری در دمای ۲ درجه سانتی گراد

حروف لاتین متفاوت نشان دهنده معنی دار بودن میانگین در سطح۱٪ می باشد.

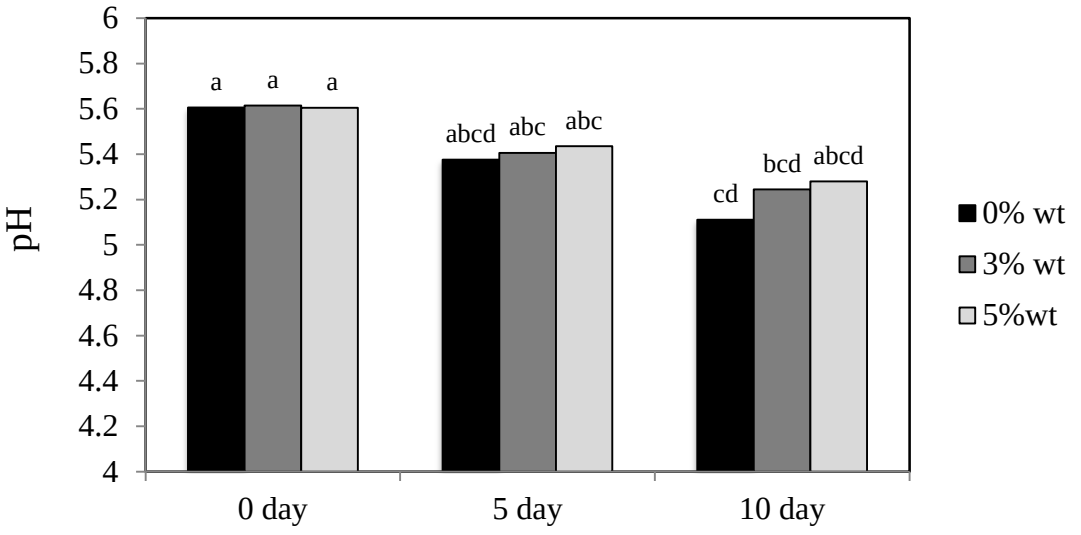


Figure 4 - The effect of the film on the pH of wheat germ during storage at 4 ° C

شکل٤ – تاثیر فیلم بر روی pH جوانه گندم در طول مدت نگهداری در دمای ٤ درجه سانتی گراد

حروف لاتین متفاوت نشان دهنده معنی دار بودن میانگین در سطح۱٪ می باشد.

- **رطوبت جوانه گندم**

نتایج داده‌های آزمایشگاهی جهت تاثیر سه نوع مختلف بسته‌بندی (LDPE+ n-Ag) در سه زمان نگهداری مختلف بر روی رطوبت جوانه گندم و دماهای ۲، ۴، ۶ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است. میزان رطوبت جوانه گندم در نمونه شاهد در طی مدت زمان نگهداری درکلیه دماهای مختلف در مقایسه با نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های پلیمری بر پایه نانو ذرات نقره، کاهش قابل توجهی داشته است. همچنین با افزایش درصد نانو ذرات نقره در فیلم‌های پلیمری، رطوبت جوانه‌گندم در فیلم‌های بر پایه نانو ذرات مقایسه با نمونه شاهد بهتر حفظ شده است و در حالی که نتایج تجربی برای نمونه شاهد نشان دهنده این است که رطوبت جوانه‌گندم با افزایش ماندگاری کاهش زیادی داشته است.

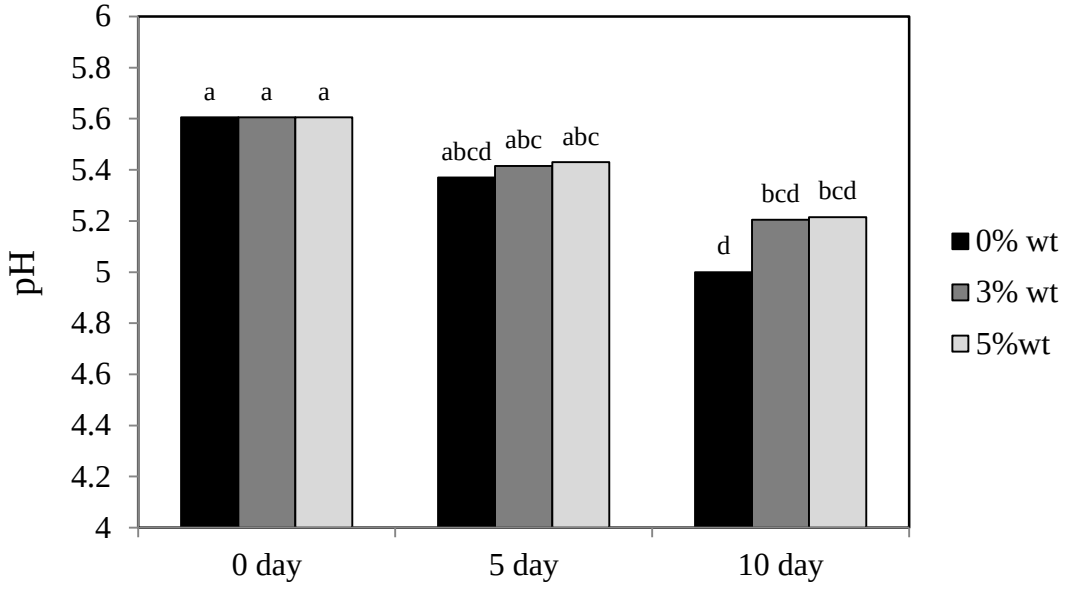


Figure 5. The effect of the film on the pH of wheat germ during storage at 6 ° C

شکل۵ – تاثیر فیلم بر روی pH جوانه گندم در طول مدت نگهداری در دمای ٦ درجه سانتی‌گراد

حروف لاتین متفاوت نشان دهنده معنی‌دار بودن میانگین در سطح ۱٪ می باشد.

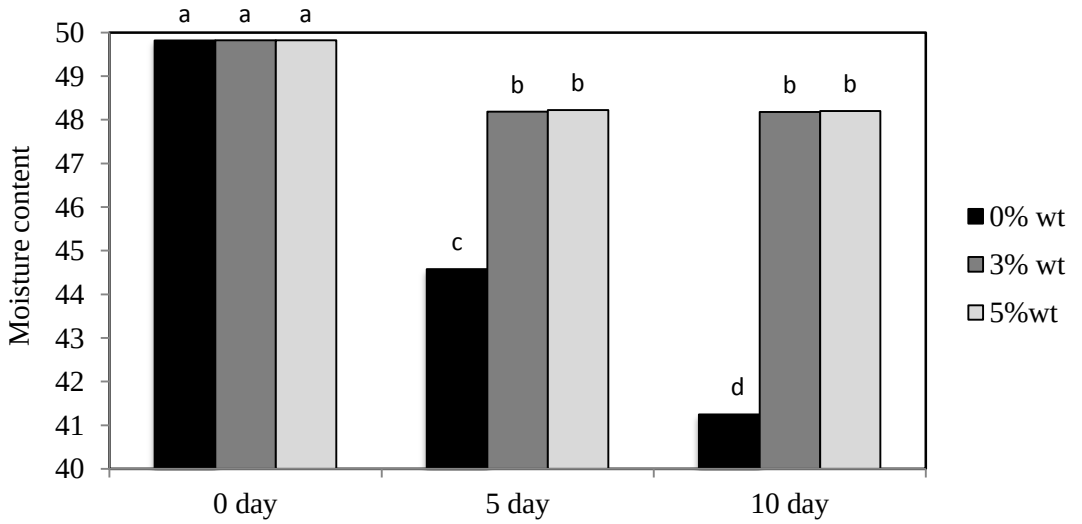


Figure 6- Effect of film on wheat germ moisture at 2 ° C

شکل ٦- تاثیر فیلم بر روی رطوبت جوانه گندم در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد

حروف لاتین متفاوت نشان دهنده معنی‌دار بودن میانگین در سطح ۱٪ می باشد.

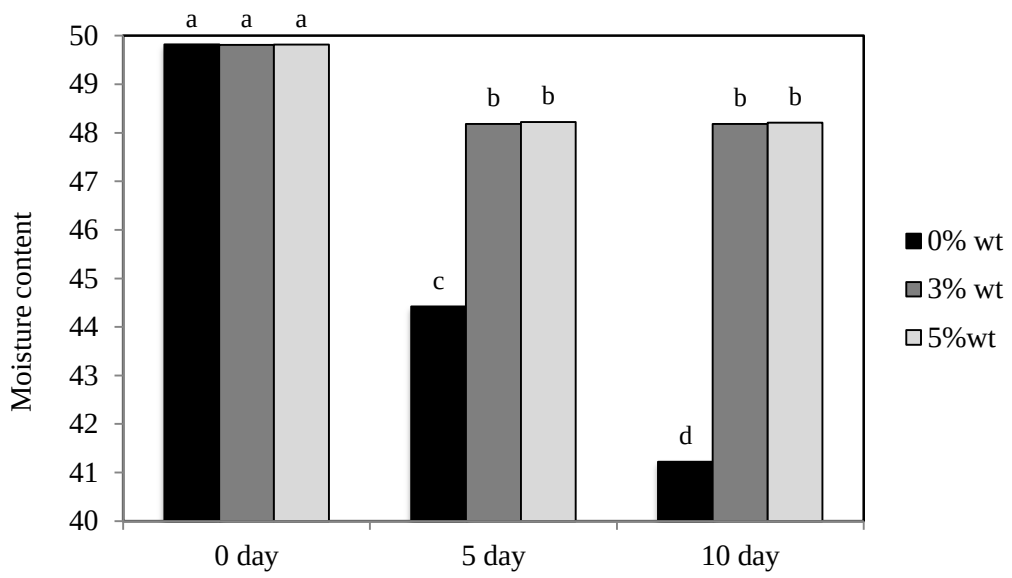


Figure 7- Effect of film on wheat germ moisture at 4 ° C

شکل ۷- تاثیر فیلم بر روی رطوبت جوانه گندم در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد

حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌دار بودن میانگین در سطح ۱٪ می باشد.

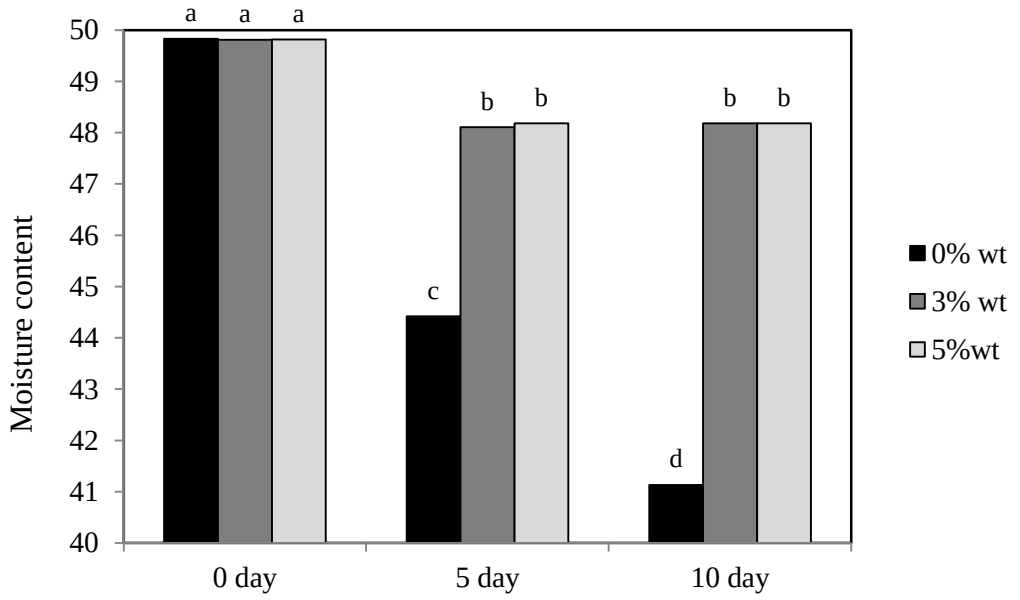


Figure 8- Effect of film on wheat germ moisture at 6 ° C

شکل ۸- تاثیر فیلم بر روی رطوبت جوانه گندم در دمای ٦ درجه سانتی‌گراد

حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌دار بودن میانگین در سطح ۱٪ می باشد.

- فعالیت آنزیمی جوانه گندم

نتایج حاصل ازتغییرات فعالیت آنزیمی آلفا آمیلاز و لیپاز در جوانه گندم برای درصدهای مختلف نانو ذره نقره و زمان‌های نگهداری مختلف در سه دمای ۲و ۴ و ۶ درجه سانتی‌گراد در جدول ۲ گزارش شده است.

- بررسی نتایج آزمون‌های میکروبی (باکتری اشرشیا کلی و کپک و مخمر)

نمونه‌های جوانه گندم با پوشش‌های پلی‌اتیلنی بر پایه درصدهای مختلف نانو ذرات نقره که در سه دمای ۲، ۴، ۶ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده بودند از لحاظ مثبت یا منفی بودن رشد باکتری اشرشیا کلی در سه زمان نگهداری

مختلف (۰، ۵، ۱۰ روز) مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمون میکروبی اشرشیا کلی نشان داد که در بسته‌های (LDPE+3% n-Ag/ LDPE+5% n-Ag)، با افزایش زمان نگهداری هیچگونه کدورت و گازی در لوله‌های آزمایش و لوله دورهام مشاهده نشد. نتیجه آزمون رشد اشرشیاکلی در این بسته‌ها منفی گزارش شد. اگرچه در نمونه شاهد (LDPE) در روز ۱۰ نگهداری و دمای ۶ درجه سانتی‌گراد حباب گاز و کمی کدورت دیده شد و نتیجه آزمون میکروبی اشرشیا مثبت اعلام شد.

نتایج رشد کپک در بسته‌های مورد مطالعه نشان داد که میان نمونه‌های بدون نانو ذرات نقره و دارای نانو ذرات نقره اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. نتایج تاثیر نانوذره نقره بر رشد کپک در دماها و زمان‌های مختلف نگهداری در جدول ۳ گزارش شده است.

جدول ۲- تغییرات فعالیت آنزیم آمیلاز و لیپاز در دماها و زمان های نگهداری مختلف

Table 2. Changes in the activity of amylase and lipase enzymes at different of temperatures and storage times

	Falling number			Lipase activity (units/ml)		
n-Ag (wt%)	0 day	5 day	10 day	0 day	5 day	10 day
			2°C			
0	172^{a}	180.5^{a}	188.1^{a}	5.2^{a}	4.5^{b}	4.21^{b}
3	172.5^{a}	174^{b}	175^{b}	5.21^{a}	5.18^{a}	5.17^{a}
5	172^{a}	173.5^{b}	173.5^{b}	5.21^{a}	5.09^{a}	5.08^{a}
			4°C			
0	172.5^{a}	181.5^{a}	187.5^{a}	5.25^{a}	4.53^{b}	4.24^{b}
3	171.5^{a}	174^{b}	175.5^{b}	5.23^{a}	5.19^{a}	5.18^{a}
5	172^{a}	173.5^{b}	175.6^{b}	5.21^{a}	5.16^{a}	5.15^{a}
			6°C			
0	171.5^{a}	182.5^{a}	187^{a}	5.2^{a}	4.54^{b}	4.27^{b}
3	171.4^{a}	174.5^{b}	175.4^{b}	5.21^{a}	5.19^{a}	5.18^{a}
5	171.3^{a}	174.5^{b}	175.3^{b}	5.22^{a}	5.17^{a}	5.16^{a}

حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف در سطح پنج درصد در آزمون دانکن است.

جدول ۳- تأثیر نانوذرات نقره بر روی کپک در دماهای مختلف و زمان نگهداری مختلف

Table 3. The effect of silver nanoparticles on mold at different temperatures and storage times

	Mold (cfu/g)		
n-Ag(wt%)	0 day	5 day	10 day
		2°C	
۰	0	2.5^{a}	19^{a}
3	0	0^{b}	3.5^{b}
5	0	0^{b}	0^{c}
		4°C	
0	0	4.5^{a}	22^{a}
3	0	0^{b}	3.5^{b}
5	0	0^{b}	2^{c}
		6°C	
0	0	4.5^{a}	25.5^{a}
3	0	0^{b}	5.5^{b}
5	0	0^{b}	2.5^{c}

حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف در سطح پنج درصد در آزمون دانکن است.

- **میزان مهاجرت نانو ذرات نقره از فیلم به جوانه گندم**

اندازه‌گیری مهاجرت نانو نقره بر روی نمونه منتخب با ۵ درصد نانو ذره نقره که به مدت ۱۰ روز در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده بود انجام شد. اگرچه این نمونه در مقایسه با سایر نمونه‌ها نیز از نظر عدم رشد میکرواورگانیسم‌ها جزو بهترین نمونه تعیین گردید. بررسی نتایج آزمون نشان داد که میزان مهاجرت نانو ذرات نقره موجود در فیلم پلیمری به جوانه‌گندم پس از ۱۰ روز نگهداری صفر می‌باشد و هیچ‌گونه مهاجرتی توسط نانو نقره به جوانه گندم بسته‌بندی شده صورت نگرفته است. پس از گذشت ۲۰ روز نگهداری مجدداً میزان مهاجرت نانو نقره برای همان نمونه جوانه گندم انجام شد، نتایج حاکی از آن بود که میزان مهاجرت نانو ذرات نقره پس از گذشت ۲۰ روز معادل ۰۰۲ /۰ ±۰/۱ میکروگرم در لیتر در نمونه های جوانه گندم بود که میزان آن نیز کمتر از حد مجاز مسمومیت‌زایی (۱۰ppm) نشان داده شد (Chaudhry *et al.*, 2008).

سرعت مهاجرت با کاهش ویسکوزیته دینامیکی پلیمر و اندازه ذرات افزایش می‌یابد (Metak *et al.*, 2015). از طرفی دیگر حالت ماده غذایی از لحاظ جامد و یا مایع بودن بر سرعت مهاجرت تاثیرگذار می‌باشد. از طرف دیگر دما و زمان نگهداری در بسته بندی های برپایه نانوذرات می تواند بر روی مهاجرت نانو ذرات نقره تاثیر بگذارد (Ahari *et al.*, 2021). داده های تجربی در این مطالعه نشان داد که مهاجرت نانو ذره نقره به نمونه جوانه گندم نگهداری شده در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد و مدت نگهداری (۱۰ روز) صورت نگرفته است. ولی با افزایش مدت نگهداری تا ۲۰ روز مهاجرت نانو ذرات به مقدار ناچیزی که بسیار کمتر از حد مجاز می باشد، دیده شد.

بحث

- **بررسی مورفولوژی سطح نانو کامپوزیت‌ها**

همانطور که در تصاویر 1a, 1b از میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده گردید نانو ذرات نقره و دی اکسید تیتانیوم به کار رفته در تشکیل فیلم‌ها به طور تقریبا یکنواخت توزیع شده‌اند. توزیع یکنواخت و عدم آگلومره شدن نانو مواد در زمینه پلیمری رابطه مستقیمی با افزایش خاصیت ضد میکروبی فیلم‌های پلیمری بر پایه نانو ذرات دارد. توزیع یکنواخت نانو ذرات باعث میشود نسبت سطح به حجم نانو ذرات افزایش یابد و سطح تماس نانو ذرات با میکرواورگانیسم‌ها نیز افزایش و خاصیت ضد میکروبی فیلم بیشتر شود (Morones *et al.*, 2005).

همانطور که از شکل های 1a,1b مشاهده می‌شود در فیلم‌های حاوی ۳٪، نحوه توزیع نانو ذرات نقره بر پایه دی اکسید تیتانیوم در بستر پلی‌اتیلن مناسب‌تر می‌باشد. با افزایش درصد نانو نقره تا حد کمی آگلومره شدن در فیلم حاوی ۵٪ نانونقره مشاهده می‌شود که به جهت افزایش غلظت نانو نقره می‌باشد.

تصاویردر شکل ۲ توزیع نسبتا یکنواخت نانو ذرات در فیلم ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری قطر نانو ذرات نقره بین ۲۰-۳۰ نانو متر به دست آمد که روی ذرات دی اکسید تیتانیوم به خوبی تثبیت شده‌اند. اگرچه با افزایش غلظت نانو ذرات نقره از ۳٪ به ۵٪ آگلومره شدن تا حدی افزایش یافته است. لازم به ذکر می‌باشد که با توجه به‌تصاویر میکروسکوپی، هر چه سایز نانو ذرات کوچک‌تر باشد، نسبت سطح تماس بیشتر و اثرگذاری میکروبی بیشتر می‌شود (Morones *et al.*, 2005). نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که میزان نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های پلیمری بر پایه نانو ذرات کمتر از فیلم پلی‌اتیلن خالص است. در فیلم‌های پلیمری بر پایه نانو ذرات نقره، با افزایش درصد نانو ذرات نقره از ۳٪ به ۵٪ نفوذپذیری به بخار آب از ۰/۶۹۱ به ۰/۴۸۷ (gr/ m.s.Pa) کاهش یافته است. به طور کلی کمترین میزان نفوذپذیری در فیلم پلیمری ۵٪ درصد نانو ذرات نقره مشاهده شد (Lotti *et al.*, 2008).

- **بررسی نفوذ پذیری نسبت به بخار آب (WVP) در فیلم ها**

همانطور که از جدول (۱) مشاهده می‌شود افزودن نانو ذره نقره منجر به کاهش معنی‌داری در میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های پلی‌اتیلنی شده است. به کار بردن نانو ذرات با لایه‌های نازک نانو متری که ساختاری صفحه مانند دارند، باعث می شود عبور مولکول‌ها از پلیمر با مشکل مواجه شوند. حضور این ذرات سبب افزایش مسیر ماده عبور کننده از پلیمر شده و در نتیجه باعث کاهش

عبور پذیری و خروج بخار آب از فیلم بسته‌بندی می‌شوند (Lotti *et al*., 2008). نانوذرات نقره نیز به دلیل ساختار صفحاتی و شکل ساختمانی کروی سدی در برابر آب ایجاد نموده و بخارات را مجبور می کنند تا فضای پرپیچ و خمی را طی نماید (Lotti *et al*., 2008).

- **pH جوانه گندم**

در شکل‌های ۳ تا ۵ نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف مدت زمان نگهداری و درصد نانو نقره بر روی pH نمونه‌های جوانه گندم نشان داده شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که مدت زمان نگهداری جوانه گندم در سطح احتمال ۱ درصد و سطوح مختلف نانو ذرات در فیلم‌های بسته‌بندی در سطح احتمال ۵ درصد، بر روی pH نمونه‌های جوانه گندم اثرمعنی دار داشته است. با توجه به مقایسه میانگین، میزان pH نمونه‌های شاهد که در پوشش فیلم پلی‌اتیلنی صفر درصد نانو نقره قرار داشتند، در طی مدت زمان نگهداری نسبت به نمونه‌های ۳ و ۵٪ نانو نقره کاهش بیشتری داشته است. می‌توان بیان کرد که بر اثر رشد میکرواورگانیسم‌ها وتجزیه گلوکز و دیگر هیدرات‌های کربن و تنفس بی‌هوازی جوانه گندم و تولید اسید، pH جوانه‌گندم در طول مدت نگهداری کاهش پیدا می‌کند. میزان pH نمونه‌های جوانه گندم نگهداری شده در فیلم پلیمری بر پایه نانو ذرات در طول مدت نگهداری نسبت به pH روز صفر جوانه گندم تقریبا ثابت و فقط با اندکی کاهش مشاهده شد. در نمونه‌های فیلم پلیمری بر پایه نانو ذرات، نانو ذرات خود به طور مستقیم بر pH تاثیرگذار نیستند و به شکل غیر مستقیم از طریق اثرات ضد میکروبی بر رشد و فعالیت میکرواورگانیسم‌ها بر روی pH جوانه گندم در طول مدت نگهداری موثر می‌باشند (Alboofetileh *et al*., 2013).

- **رطوبت جوانه گندم**

نتایج مربوط به تاثیر سطوح مختلف سه فاکتور نانو ذرات، دمای نگهداری و مدت زمان نگهداری بر روی رطوبت نمونه‌های جوانه گندم در شکل‌های ۸-۶ گزارش گردیده است. نتایج حاکی از آن می‌باشد که مدت زمان نگهداری جوانه گندم در سطح احتمال ۱ درصد و سطوح مختلف نانو ذرات در فیلم‌های بسته‌بندی در سطح احتمال ۱ درصد، بر روی درصد رطوبت نمونه‌های جوانه گندم اثر معنی‌دار داشته است. اثر متقابل سطوح مختلف مدت زمان نگهداری و سطوح مختلف نانو ذرات نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر روی رطوبت نمونه‌های جوانه گندم اثر معنی‌دار داشته است. مطابق داده‌های تجربی با افزایش درصد نانو ذرات نقره در فیلم‌های پلیمری، رطوبت جوانه‌گندم در فیلم‌های بر پایه نانو ذرات مقایسه با نمونه شاهد بهتر حفظ شده است و در حالی که نتایج برای نمونه شاهد نشان دهنده این است که رطوبت جوانه گندم با افزایش ماندگاری کاهش زیادتری در مقایسه به نمونه‌های حاوی نانو ذرات داشته است. به نظر می‌رسد حفظ رطوبت جوانه گندم در بسته‌بندی‌های بر پایه نانو ذرات نقره می‌تواند به دلایل زیر باشد: ۱- ساختار منظم و پیوستگی نانو ذرات نقره و ایجاد فضاهای آزاد کمتر به علت وجود نانو ذرات در پوشش بسته بندی ۲- آب دوستی کمتر نانو ذره نقره به عنوان یک پر کننده نسبت به ماتریس پلیمر (Alboofetileh *et al*., 2013). اگرچه در فیلم پلیمری بر پایه نانو ذرات نقره نیز کاهش کمی در رطوبت جوانه گندم در طی زمان نگهداری مشاهده گردید که می توان علت آن را اینطور بیان نمود که جوانه گندم گیاهی زنده می باشد و در طول مدت نگهداری می تواند تنفس کند. در جوانه گندم فرایند تنفس و تعریق در طول مدت نگهداری با افزایش دمای نگهداری، کمی افزایش می‌یابد که به دنبال آن بخار آب تولید می‌گردد. این بخار آب خروجی از فرایند تنفس گیاه باعث کاهش رطوبت درجوانه گندم بسته بندی شده با فیلم پلیمری بر پایه نانو ذرات نقره می‌شود. (Kim *et al*., 2004)

- **فعالیت آنزیمی جوانه گندم**

نتایج حاصل از فعالیت آنزیمی آلفا آمیلاز در جوانه گندم نشان داد که اثر زمان نگهداری و فیلم‌های پلیمری بر پایه نانو ذرات نقره در درصدهای مختلف بر روی فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در مقایسه با نمونه شاهد معنی‌دار بوده است. فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در طول مدت نگهداری جوانه گندم در بسته‌های پلیمری بر پایه نانو ذره نقره در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافته است (جدول ۲). داده‌های تجربی گزارش شده نشان میدهد که با افزایش زمان نگهداری در دمای ثابت، عدد فالینگ افزایش می‌یابد که نشان دهنده کاهش فعالیت آنزیمی آلفا آمیلاز می‌باشد. نتایج تغییرات

فعالیت آنزیم لیپاز گزارش شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که فعالیت لیپاز در جوانه گندم در بسته بندی شاهد در طول مدت نگهداری کاهش یافته است و تاثیر معنی‌داری داشته است. فعالیت لیپاز در جوانه گندم در بسته‌بندی پلی‌اتیلن بر پایه نانو ذره در طول مدت نگهداری در کلیه دماها کاهش بسیار جزیی در مقایسه با نمونه روز صفرداشته است. نتایج نشان داد که زمان نگهداری جوانه‌های گندم در فیلم‌های پلیمری بر پایه نانو ذرات نقره بر روی فعالیت لیپاز اثر معنی‌دار نداشته است. فعالیت آنزیم‌ها در طی جوانه‌زنی دانه گندم افزایش می‌یابد و در طی مدت زمان نگهداری جوانه گندم فعالیت آنزیمی تحت تاثیر عواملی از قبیل دمای نگهداری، pH و رطوبت تغییر می یابد. با افزایش مدت زمان نگهداری فعالیت هر دو آنزیم آمیلاز و لیپاز در نمونه‌های بدون نانو ذره، روند کاهشی را داشته است. باتوجه به اینکه رطوبت جوانه‌های گندم در طول مدت زمان نگهداری کاهش می‌یابد بنابراین آب در دسترس آنزیم کاهش می‌یابد و به همین علت فعالیت آنزیمی کم می‌شود (Whetehurst and Barry, 2002). آنزیم‌ها معمولا نیازمند یک pH خاصی برای انجام حداکثر میزان فعالیت خود هستند. آنزیم‌ها در اپتیمم pH ۸-۴/۵ دارای بیش‌ترین فعالیت هستند.از آنجایی که pH جوانه‌گندم در محدوده (۶-۵) قرار داد بنابراین شرایط مناسبی جهت فعالیت آنزیم‌های آمیلاز و لیپاز وجود دارد. افزایش دما نیز در فعالیت آنزیم‌ها تاثیرگذار می‌باشد. سینگ و همکاران (۲۰۰۱) نشان داده‌اند که در طی جوانه زنی فعالیت آنزیمی افزایش می‌یابد و پس از آن در طی نگهداری جوانه کندم کاهش تدریجی فعالیت آنزیمی به علت کاهش سوبسترا و عوامل محیطی مشاهده می‌شود. در این مطالعه به علت نگهداری جوانه‌های گندم در دماهای یخچالی ۲، ۴، ۶ درجه سانتی‌گراد سرعت واکنش‌های آنزیمی کاهش یافته است و به همین دلیل فعالیت آنزیم آمیلاز و لیپاز در طول مدت نگهداری در بسته‌های حاوی نانو ذرات تقریبا ثابت باقی مانده است (Singh *et al*., 2001). اگرچه فعالیت آنزیمی با افزایش زمان نگهداری به میزان خیلی کمی افزایش داشته است. علت آن عبور ناپذیری نانو ذرات نقره به رطوبت می باشد. در مدت زمان نگهداری با افزایش نانو ذرات نقره در فیلم پلیمری میزان رطوبت حفظ می‌گردد و به همین علت فعالیت آنزیم‌ها نیز حفظ می‌شود (Whetehurst and Barry, 2002).

- بررسی نتایج آزمون‌های میکروبی (باکتری اشرشیا کلی و کپک و مخمر)

نتایج تاثیر نانوذره نقره بر رشد کپک در دماها و زمان‌های مختلف نگهداری در جدول ۳ نشان داد که نمونه‌های جوانه‌گندم با پوشش حاوی نانو ذرات نقره، بیشترین اثر بازدارندگی بر روی رشد کپک‌ها را داشتند. رشد باکتری اشرشیا کلی و کپک و مخمر، نشان داد که در طول مدت زمان نگهداری، اثر نوع فیلم پلیمری بر ارزیابی میکروبی معنادار بود ($p <$ ۰/۰۱). بطور کلی با افزایش دما و گذشت زمان، مقدار کپک در کلیه نمونه‌ها بیشتر شده، از طرفی با افزایش درصد نانوذره در هر یک از دماهای نگهداری، مقدار کپک کمتر شده و نتایج معنی‌دار نشان می‌دهد. همچنین در نمونه شاهد روز ۱۰ نگهداری رشد باکتری اشرشیا کلی مشاهده گردید.

کاهش رشد کپک‌ها در بسته‌های حاوی نانو نقره در مقایسه با نمونه شاهد به علت خاصیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره می‌باشد. با افزایش درصد نانو ذرات نقره در فیلم های پلیمری خاصیت ضد میکروبی افزایش یافته و نمونه LDPE+5% n-Ag در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد پس از ۱۰ روز نگهداری فاقد رشد کپکها میباشد.

نحوه عملکرد ضد میکروبی نانو ذرات نقره بدین شرح می‌باشد که این ذرات به سطح غشا سلول می‌چسبند و کارهای معمول سلول نظیر تنفس و انتقال مواد را مختل می نمایند. نانوذرات نقره، مولکول‌های لیپو پلی‌ساکارید را تجزیه نموده، سپس وارد سلول و سبب افزایش شدید نفوذپذیری غشا می‌شوند. با ورود یون های نقره به داخل سلول و اتصال به DNA باکتری، مانع عمل مکمل سازی DNA شده و در نتیجه تکثیری صورت نمی‌پذیرد. همچنین نانو ذرات نقره پس از چسبیدن به سطح غشا سلولی، سیستم تنفسی را به صورت بر هم کنش آنزیم با زنجیره تنفس باکتری، تخریب می‌کند و پس از نفوذ به داخل سلول، با آنزیم‌های حیاتی واکنش داده و آن‌ها را غیر فعال می‌سازد (Xiaoxue *et al*., 2020).

به‌طور کلی نانو ذرات نقره بر اثر خاصیت قطبیت لحظه‌ای بر انگیخته می شوند و با خاصیت فتوکاتالیستی سبب بروز اثرات آنتی‌باکتریال بر روی مواد غذایی می‌گردند

و بدون آنکه بر روی مواد غذایی قرار گیرند از چرخه ماده غذایی خارج می‌شوند (Ahari *et al*., 2017). دیواره سلولی باکتری اشرشیا کلی حاوی مقدار زیادی بار منفی است و تجزیه نانو ذرات نقره باعث انتشار یون‌های نقره با بار مثبت ضد میکروبی می‌شود. به طور کلی، ذرات کمتر از ۱۰ نانومتر برای باکتری‌هایی نظیر اشرشیاکلی و سودوموناس آئروژینوزا سمی می‌باشد. زمانی که این باکتری اشرشیا کلی در مجاورت بافتی که حاوی نقره بوده قرار می‌گیرد یون‌های با بار مثبت نقره جذب بار منفی دیواره باکتری شده و در نهایت موجب از بین رفتن باکتری می‌شوند (Morones *et al*., 2005).

در برخی مطالعات بیان شده که خواص ضد باکتریایی ناشی از نانو ذرات نقره در باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی با هم متفاوت است و نفوذ نانو ذرات نقره در غشاء باکتری‌های گرم منفی به دلیل داشتن لایه پپتیدوگلیکان نازک‌تر (۸-۷ نانومتر) نسبت به باکتری‌های گرم مثبت (۸۰-۲۰ نانومتر) بیشتر بوده و در نهایت منجر به مرگ باکتری می شود (Cozzolino and Nilsson, 2013).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش جوانه‌های گندم درون فیلم‌های پلیمری حاوی ۳ ٪ و ۵٪ نانو ذرات نقره و فیلم پلیمری صفر درصد نانو ذره به‌عنوان نمونه شاهد بسته‌بندی شدند. بسته‌بندی‌ها در سه مختلف دمای ۲، ۴، ۶ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. ویژگی‌های کیفی و رشد میکروبی کلیه نمونه‌ها در روز صفر، پنجم و دهم نگهداری مورد بررسی قرار گرفتند. با استناد به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت استفاده از فیلم‌های برپایه نانو ذرات نقره سبب افزایش ماندگاری جوانه گندم می‌شود. بهترین نمونه جوانه‌گندم، در بسته‌بندی با فیلم پلیمری ۳٪ و ۵ ٪ نانو ذرات نقره در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. البته می‌توان به جهت کاهش هزینه مصرف نانوذره از فیلم ۳٪ نانو ذره نقره جهت بسته‌بندی جوانه گندم استفاده نمود و مدت زمان نگهداری را از ۳ روز به ۱۰ روز افزایش داد.

منابع

Ahari, H. (2017). The Use of Innovative nano emulsions and nano-silver composites packaging for anti-bacterial properties: An article review. Iranian Journal of Aquatic Animal Health, 3, 61-73.

Ahari, H. & Khoshboui Lahijani L. (2021). Migration of silver and copper nanoparticles from food coating. Coatings, 11, 1-23.

Ahmad, L. F., Rezg, A. A, Attia, M. R. A. (2010). Additional effect of defatted wheat germ Protein Isolate on nutritional value and functional properties of yogurts and biscuits. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(8), 3139-3147.

Alboofetileh, M., Rezaei, M., Hosseini, H. & Abdollahi, M. (2013). Effect of montmorillonite clay and biopolymer concentration on the physical and mechanical properties of alginate nanocomposite films. Journal of Food Engineering, 117, 26-33.

Aycicek, H., Oguz, U. & Karci, K. (2006). Determination of total aerobic and indicator bacteria on some raw eaten vegetables from wholesalers in Ankara. Environ Health, 209:197-201.

Azeredo, H. 2013. Antimicrobial nanostructures in food packaging. Trends in Food Science &Technology, 30, 56-69.

Costa, C., Conte, A., Buonocore G. & Del Nobile, M. (2011). Antimicrobial silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit salad. International Journal of Food Microbiology, 148, 164-167.

Cozzolino, C. A. & Nilsson, F. (2013). Exploiting the nano-sized features controlled-Release

packaging. Colloids Surf Biointerfaces,110, 208-16.

Costa, C., Conte, A., Buonocore, G., Lavorgna, M. & Del Nobile, M. (2012). Calcium-alginate coating loaded with silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf-life of fresh-cut carrots. Food Research International, 48, 164-169.

Chaudhry, Q., Scotte, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A. & Castle, L. (2008). Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. Food Additive Contaminants, 25, 241–258.

Donglu, F., Wenjian, Y., Kimatu, B., Mariga, A., Liyan, Z., Xinxin, A. & Qiuhui, H. (2016). Effect of nanocomposite-based packaging on storage stability of mushrooms (Flammulina velutipes). Innovative Food Science and Emerging Technologies, 33, 489-497.

Eisenmenger, M. & Dunford, N. (2008). Bioactive components of commercial and supercritical carbon dioxide processed wheat germ oil. Journal of the American Oil Chemists Society, 85, 55-61.

Ehsani, N., Shahla Shahriari, Sh. & Famil Momen, R. (2018). Development of two packaging approaches based on nano Silver particles for increasing the shelf life of strawberry, Journal of Food Technology and Nutrition, 15, 16-26.

Goyal, S. & Goyal, G. K. (2012). Nanotechnology in food packaging. Russian Journal of Agriculture and Socio-Economic Sciences, 10, 14-22.

Greiner, R. (2009). Current and project applications of nanotechnology in the Food sector, Sao paule, 1:243-260

Kim, J. S., Kik, E., Yu, K., Kim, J. H., Park, S. J. & Lee, S. J. (2007). Antimicrobial effect of silver nanoparticles, Nanomed: Nanotechnolol, Biol, Med, 3, 95-101.

Kumar, P., Yadava, R. K., Gollen, B., Kumar, S., Verma, R. K. & Yadava, S. (2011) . Nutritional contents and medicinal properties of wheat: a review. Life Sciences and Medicine Research, 22, 221-232.

Kim, J. G., Luo, Y. & Gross. K. C. (2004). Effect of Package Film on the Quality of Fresh-Cut Salad Savoy. Postharvest Biology and Technology, 32, 99–107.

Kuulial, L., Pippuri, T., Hultman, J., Auvinen, A., Kolppo, K., Nieminen, T., Karp, M., Björkroth, J., Kuusipalo, J. & Jääskeläinen, E. (2015). Preparation and antimicrobial characterization of silver-containing packaging materials for meat. Food Packaging and Shelf Life, 6, 53-60.

Lotti, C., Isaac, C. S., Marcia, C., Alves, R., Liberman, S. & Bretas, R. (2008). Rheological, mechanical, and transport properties of blown films of high-density polyethylene nanocomposites. European Polymer Journal, 44, 1346–1357.

Morones, J., Elechiguerra, J., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J., Ramirez, J. & Yacaman, M. (2005). Thebactericidal effect of silver nanoparticles. Nanotechnology, 10, 2346–2353.

Metak, A., Nabhani, F. & Connoliy, S. (2015). Migration of engineered nanoparticles from packaging into food products. Journal of Food Science and Technology, 64, 781-787.

Moharam, A., Shahedi, M. & Kadivar, M. (2009). Evaluation of α-Amylase, Lipase and Lipoxygenase Activity in Wheat Flour before and after Germination. Journal of Crop Production and Processing, 47, 1-13 [In Persian].

Najafabadi, M., Afshari, H. & Minayi, S. (2012). The effect of nanofilm packaging on Bread mechanical properties. Journal of Food Science and Nutrition, 3, 73-88 [In Persian].

Rezaee, P., Shahriari, Sh. & Toktam Mostaghim, T. (2018). The Effect of polylactic acid packaging modified with clay nanoparticles on quality and shelf life of mushroom. Journal of Food Biosciences and Technology, 8, 29-40.

Rizzello, C., Cassone, A., Coda, R. & Gobbetti, M. (2011). Antifungal activity of sourdough fermented wheat germ used as ingredient for bread making. Food Chemistry, 127, 952-959.

Shetty, K. & Mccue, P. (2003). Phenolic antioxidant biosynthesis in plants for functional food application. integration of systems biology and biotechnological approaches. Food Biotechnol, 2, 67-97.

Silvestre, C. & Duraccio, D. (2011). Food packaging based on polymer nanomaterials. Progress in Polymer Science Journal, 110, 775-795.

Singh, H. N., Singh, L. & Kaur, K. (2001). Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. Journal of Food Engineering, 47, 23-29.

Xiaoxue Yin, I., Zhang, J., Zhao, J., Mei, M.L., Li, Q. & Chu, C. (2020). The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. International Journal of Nanomedicine, 15, 2555–2562.

Whtehurst, R. & Barry, A. (2002). Enzymes in Food Technology, 2, USA, 270.

Food Technology & Nutrition / Fall 2021 / Vol. 18 / No.4

Evaluation of the Effect of Polyethylene Coating Based on Silver Nanoparticles on Increasing the Shelf Life, Qualitative and Microbial Parameters of Wheat Germ

M. Darab [a], Sh. Shahriari [b *], H. Mozafari [c]

[a] MSc of the Department of Food Science and Technology, Shahr-e- Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[b] Associate Professor of the Department of Chemical Engineering, Shahr-e- Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[c] Assistant Professor of the Department of Agriculture, Shahr-e- Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 4 October 2020 Accepted: 30 April 2021

Abstract

Introduction: It is possible to increase the shelf life and maintain the quality of wheat germ during storage by using suitable packaging. One of the new technologies considered by researchers is the use of packaging based on nanoparticles.
Materials and Methods: In this study, wheat germs were packaged in polyethylene packages containing silver nanoparticles, and the effect of the packaging on the quality characteristics and shelf life of wheat germ were determined. In this research work, at determining the most optimal conditions for the packaging of wheat germ, the effects of weight percent (wt%) of nanosilver (0, 3, and 5%), time of storage (0, 5, and 10 days), and three different temperatures (2, 4, and 6 ^{0}C) on the shelf life of wheat germ have been studied.
Results: The results showed that temperature, storage time, and concentration of nanosilver in polyethylene packaging had significant effects on moisture, pH, and enzyme activity of wheat germ. Experimental data indicated that the storage time of wheat germ increased by increasing the concentration of nanosilver from 3% to 5% and by decreasing temperature from 6 $^\circ$C to 2 $^\circ$C for ten days. Nanoparticle packages were significantly ($P < 0.05$) able to reduce mold growth in wheat germ.
Conclusion: Based on the results, it might be concluded that the application of films based on silver nanoparticles increases the shelf life of wheat germ. Wheat germ had the highest shelf life in packaging with 5% silver nanoparticles at 2 °C and was selected as the selected sample.

***Keywords**: Durability, Packaging, Polyethylene, Silver Nanoparticles, Wheat Germ.*

* Corresponding Author: shahla_shahriari@yahoo.com