

Evaluation of Active Packaging based on PET Containing ZnO and TiO₂ Nanoparticles on Mayonnaise Shelf-Life

Naser Kohannia¹, Abdollah Ramzani Ghara², Kooshan Nayebzadeh³,
Faranak Beigmohammadi^{4*}

¹PhD Student, Department of Food Science and Technology, Agriculture College, Kermanshah, Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

²Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, University of Jiroft, Jiroft, Iran

³Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition Science, Food Science and Technology/National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁴Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Agriculture College, Kermanshah, Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran, Email:franak.beigmohammadi@iauksh.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022-02-21
Revised: 2022-04-11
Accepted: 2022-05-18

Keywords:
Zinc oxide
Active packaging
Polyethylene terephthalate
Shelf life
Nanoparticles

ABSTRACT

Background and objectives: In food industries, nanotechnology can potentially provide solutions to food packaging with short shelf life. Nowadays, there has been an increasing interest in nanocomposites for many advantages in food packaging. Polymers have a wide range of applications in food packaging, and many studies have been conducted on the simultaneous use of nanoparticles and polymers in food packaging, which can be attributed to the synergistic effect of these nanoparticles. One of the most important goals is to increase the safety and quality of food during storage, transportation and protection against adverse factors such as chemical, moisture, light and external forces. The aim of this study was to investigate the effect of film prepared from PET containing nanoparticles of ZnO, TiO₂ and TiO₂ + ZnO nanoparticles in quantities 0.25, 2 and 2.25%. Weight is based on the physicochemical properties of mayonnaise.

Materials and methods: The PET-based nanocomposites containing 2% by weight of TiO₂ nanoparticles and 0.25% by weight of ZnO nanoparticles were prepared by melt mixing using an extruder. Mixtures of PET nanoparticles were dried in the oven at 170 °C before loading in the extruder and fed simultaneously from the feeder to the extruder. The material was melted and thoroughly mixed as it passed through the extruder. The melt from the extruder was cooled by passing through a pool of cold water and entered the granule mill to make granules. Pure PET samples were molded as control and PET-based preforms containing nanoparticles. At the end of the molding stage, chillers were used to cool the preforms. PET-based bottles containing nanoparticles were produced by blowing preforms at appropriate temperatures and pressures for 120 to 140 seconds. The morphology and particle size of the bottle layers were investigated using FE-SEM. Then physicochemical properties including colorimetry, pH and acidity of mayonnaise, oxidative and peroxide stability, acidity of the extracted oil and migration of Zn⁺² and Ti⁺² ions from mayonnaise during 90 days at room temperature (22 ± 2 °C) Celsius was examined.

Results: Based on FE-SEM images, the films of polymer bottles containing ZnO and TiO₂ nanoparticles showed a smoother surface than the films of

polymer bottles of ZnO + TiO₂ nanoparticles. Moreover, the results of physicochemical properties showed that the reduction of brightness index as well as pH, acidity number, peroxide number and oxidative stability of the mayonnaise sample during 90 days of storage in a bottle containing nanoparticles had a significant decrease compared to the control sample. According to the results of the present study, mayonnaise shelf life indices can be increased.

Conclusion: Due to the importance of food emulsions such as mayonnaise, it is necessary to pay attention to the quality characteristics and shelf life of this popular condiment. Using these nanocomposites could be a promising approach to creating new active packaging in the food industry.

Cite this article: Kohannia, N., Ramzani Ghara, A., Kooshan Nayebzadeh, K., Beigmohammadi, F. 2022. Evaluation of Active Packaging based on PET Containing ZnO and TiO₂ Nanoparticles on Mayonnaise Shelf-Life. *Food Processing and Preservation Journal*, 14 (3), 35-54.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/FPPJ.2022.19980.1696

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی بسته‌بندی فعال بر پایه پلی اتیلن ترفتالات حاوی نانوذرات اکسیدروی و دی‌اکسیدتیتانیوم بر ماندگاری مایونز

ناصر کهن‌نیا^۱، عبدالله رضمانی‌قرا^۲، کوشان نایب‌زاده^۳، فرانک بیگ محمدی^{۴*}

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

^۲ دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

^۳ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

^۴ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: franak.beigmohammadi@iauksh.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: در صنعت غذا، نانوتکنولوژی می‌تواند راه‌کارهای مناسبی برای بسته‌بندی مواد غذایی با ماندگاری کوتاه ارائه دهد. امروزه نانوکامپوزیت‌ها به دلیل مزایای فراوانی که دارند در بسته‌بندی مواد غذایی بسیار مورد توجه هستند. پلیمرها کاربردهای وسیعی در بسته‌بندی مواد غذایی دارند و مطالعات زیادی در مورد استفاده هم‌زمان از نانوذرات و پلیمرها در بسته‌بندی مواد غذایی انجام شده است که می‌توان آن را به اثر هم‌افزایی این نانو ذرات نسبت داد. از مهم‌ترین اهداف بسته‌بندی مواد غذایی، افزایش ایمنی و کیفیت محصولات غذایی در زمان نگهداری، حمل و نقل و محافظت از آن در برابر عوامل نامطلوب مانند فساد شیمیایی، فساد میکروبی، اکسیژن، رطوبت، نور و نیروهای خارجی می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی اثر فیلم تهیه شده از پلی اتیلن ترفتالات (PET) حاوی نانوذرات اکسید روی (ZnO)، دی‌اکسید تیتانیوم (TiO ₂) و دی‌اکسید تیتانیوم + اکسیدروی (TiO ₂ +ZnO) در مقادیر ۰/۲۵، ۲ و ۲/۲۵٪ وزنی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مایونز بسته‌بندی شده است.
واژه‌های کلیدی: اکسید روی بسته‌بندی فعال پلی اتیلن ترفتالات زمان ماندگاری نانوذرات	مواد و روش‌ها: نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر PET حاوی ۲٪ وزنی نانوذرات TiO ₂ و ۰/۲۵٪ وزنی نانوذرات ZnO از طریق اختلاط مذاب با استفاده از دستگاه اکسترودر تهیه شد. مخلوط‌های نانوذرات PET قبل از بارگیری در اکسترودر در آون با دمای ۱۷۰ درجه سانتیگراد خشک و به طور هم‌زمان از فیدر به اکسترودر تغذیه گردید. مواد در حین عبور از اکسترودر ذوب و کاملاً مخلوط شدند. مذاب حاصل از اکسترودر با عبور از یک حوضچه آب سرد خنک شدند و برای ساخت گرانول‌ها وارد آسیاب گرانول گردید. نمونه PET خالص به عنوان شاهد و پریفرم‌های مبتنی بر PET حاوی نانوذرات قالب‌گیری گردید. در پایان مرحله قالب‌گیری از چیلرها برای خنک‌سازی پریفرم‌ها استفاده شدند. بطری‌های مبتنی بر PET حاوی نانوذرات با دمیدن پریفرم در شرایط گرما و فشار مناسب به مدت ۱۲۰ تا ۱۴۰ ثانیه تولید گردید. مورفولوژی و اندازه ذرات لایه‌های بطری با استفاده از FE-SEM مورد بررسی قرار گرفت. سپس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل رنگ‌سنجی، pH و اسیدیته مایونز، پایداری اکسیداتیو و پراکسید، اسیدیته روغن استخراج شده و مهاجرت یون‌های Zn ⁺² و Ti ⁺² طی ۹۰ روز نگهداری در دمای اتاق (۲۲ ± ۲ درجه سانتی‌گراد) بررسی شد.
	یافته‌ها: بر اساس تصاویر FE-SEM، فیلم بطری‌های پلیمری حاوی نانوذرات ZnO و TiO ₂ سطح صاف و همواری تری نسبت به فیلم بطری‌های پلیمری نانوذرات ZnO+TiO ₂ نشان دادند. نتایج

بررسی‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که شاخص روشنایی pH، پایداری اکسیداتیو، عدد اسیدیته و پراکسید نمونه مایونز در طول ۹۰ روز انبارداری در بطری حاوی نانوذرات نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری داشته است. با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر شاخص‌های زمان ماندگاری مایونز افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اهمیت امولسیون‌های غذایی مانند مایونز، توجه به ویژگی‌های کیفی و زمان ماندگاری این چاشنی محبوب ضروری است. استفاده از این نانوکامپوزیت‌ها می‌تواند یک رویکرد امیدوارکننده برای ایجاد بسته‌بندی فعال جدید در صنایع غذایی باشد.

استناد: کهن‌نیا، ن.، رمضان‌قرا، ع.، نایب‌زاده، ک.، بیگ محمدی، ف. (۱۴۰۱). ارزیابی بسته‌بندی فعال برپایه پلی‌اتیلن ترفتالات حاوی نانوذرات اکسیدروی و دی‌اکسیدتیتانیوم بر ماندگاری مایونز. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۴ (۳)، ۵۴-۳۵.

DOI: 10.22069/FPPJ.2022.19980.1696



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

مایونز یکی از محبوب‌ترین انواع سس‌ها در سراسر جهان است. مایونز یک امولسیون روغن در آب است که شامل ۷۰-۸۰ درصد چربی بوده و در روش مرسوم با مخلوط شدن تخم‌مرغ، سرکه، روغن و سایر افزودنی‌ها تهیه می‌شود (۱). تغییرات فیزیکی شیمیایی، بیوشیمیایی و میکروبی رخ داده در طی نگهداری به گونه منفی ویژگی‌های ظاهری و حسی آن از قبیل، رنگ، عاری بودن از فساد، عطر و طعم و بافت را تحت تأثیر قرار می‌دهد که این موضوع منجر به استقبال کمتر مصرف‌کنندگان از این محصول می‌شود. ویژگی‌های ظاهری و کیفی وابسته به ترکیبات موجود در محصول می‌باشد که با استفاده از روش‌های مناسب نگهداری می‌توان این ویژگی‌ها را بهبود بخشید. بسته‌بندی مواد غذایی واسط‌های بین محصولات تولید شده و مشتری است که مهم‌ترین عملکرد آن افزایش ماندگاری، حفظ کیفیت و سلامت غذاست. به دلیل افزایش آلودگی‌های ناشی از میکروب‌ها، تدابیر و استراتژی‌های جدیدی برای ممانعت از رشد میکروبی ضروری می‌باشد (۲). در این راستا تمرکز بر روی وارد کردن ترکیبات فعال ضد میکروبی در بسته‌بندی مواد غذایی در حال افزایش است (۳).

برای بهبود خواص مکانیکی، پایداری حرارتی و خواص بازدارندگی در برابر گازها از استراتژی پخش کردن نانوذرات پرکننده در داخل مخلوط پلیمر استفاده گردید (۴ و ۵). به منظور اثرات ضد میکروبی از نانوذرات مختلفی مانند دی‌اکسید تیتانیوم، اکسید منیزیم، اکسید مس، اکسید روی، کیتوزان و همچنین نانولوله‌های کربنی استفاده می‌شود. استفاده از نانومواد پلیمری در بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند مزایایی شامل حفظ غذا برای مدت زمان طولانی‌تر و توسعه مواد مناسب برای بسته‌بندی مواد غذایی در صنایع

غذایی به وجود آورد (۶). بدین ترتیب، نانوتکنولوژی به کار برده شده در بسته‌بندی مواد غذایی یک جایگزین عملی و قابل اجرا به منظور پیشگیری از آلودگی مواد غذایی توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد (۷).

هافمن و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که بسته‌بندی توسط نانوکامپوزیت‌ها دارای مزایای فراوان و آینده بسیار روشنی برای طیف گسترده‌ای از کاربردها در صنایع غذایی هستند (۸). امروزه به استفاده از بسته‌بندی‌های فعال حاوی نانوکامپوزیت‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی توجه زیادی شده و تحقیقات متعددی در این زمینه صورت گرفته است و نتایج استفاده از این نوع بسته‌بندی‌ها افزایش ماندگاری ماده غذایی را نشان داده‌اند. افزایش ماندگاری آب پرتقال با استفاده از نانوذرات روی و نقره توسط امامی فر و همکاران گزارش شده است (۹). همچنین افزایش ماندگاری فرآورده‌های گوشتی با استفاده از نانوذرات نقره و دی‌اکسید تیتانیوم توسط فروغی و همکاران گزارش شده است (۱۰). پیرموسوی و همکاران (۱۳۹۲) افزایش زمان ماندگاری خرما بدون تغییرات نامطلوب با استفاده از بسته‌بندی فعال حاوی نانوذرات نقره و دی‌اکسید تیتانیوم را گزارش دادند (۱۱).

یکی از مهم‌ترین پلیمرهای بسته‌بندی در صنایع غذایی، PET می‌باشد که به علت شفافیت، قابلیت انعطاف، مقاومت بالا در برابر ضربه و فشار و بازدارندگی بالا به خروج گاز، کاربرد وسیعی در صنایع غذایی پیدا کرده است. فتالات‌ها یا فتالات استرها در واقع استرهای اسید فتالیک می‌باشند که عمدتاً به عنوان نرم‌کننده استفاده می‌شوند. این ترکیبات برای اولین بار به عنوان نرم‌کننده به PVC افزوده شدند (۱۲).

متفاوت شامل مواد غذایی و آرایشی بهداشتی به دلیل رنگ آمیزی سفید روشن و درخشان آن استفاده می شود (۱۳). نانوذرات TiO_2 توانایی سنتز شدن در اشکال روتیل، آناز یا بروکیت را داشته، که هر یک مطابق با خصوصیات در شکاف باند خود، ویژگی های متفاوتی از خود نشان می دهند (۱۴).

پراکنده کردن نانوذرات پراکنده در مخلوط پلیمر یک روش جدید جهت بهبود خواص مکانیکی، پایداری حرارتی و خواص بازدارندگی در برابر گازها می باشد. افزایش خواص بازدارندگی از راه ایجاد مسیرهای غیرمستقیم برای نفوذ کم می شود، زیرا مواد پراکنده در اصل بلورهای غیر آلی یا آلی غیر قابل نفوذ می باشند و مولکولها باید از اطراف آنها عبور کنند و این باعث می شود مسیر نفوذ مولکولها از میان فیلم در حضور نانوذرات طولانی تر شود. در پژوهشی اثر نانوذرات TiO_2 و ZnO بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و ضدباکتریایی لایه نازک مخلوط PET/PBS به منظور استفاده در بسته بندی مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بسته بندی های حاوی نانوذرات TiO_2 و ZnO خاصیت ضدباکتریایی افزایش و خواص فیزیکوشیمیایی تفاوت آماری با نمونه شاهد بر پایه PET نداشته است (۲۰).

در این مطالعه نانوکامپوزیت های نانوذرات اکسیدروی (ZnO) و نانوذرات دی اکسیدتیتانیوم (TiO_2) تهیه و از آن در بسته بندی فعال بر پایه PET جهت بسته بندی مایونز استفاده شد. سپس خصوصیات فیزیکی شیمیایی مایونز از جمله رنگ سنجی، pH و اسیدیته مایونز، پایداری اکسیداتیو، اندیس پراکسید و اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز، بررسی شد. تأثیر این نانوذرات بر مدت زمان ماندگاری مایونز نیز بررسی و ارزیابی گردید.

از بین نانوذرات مورد استفاده در صنایع بسته بندی می توان به اکسیدروی (ZnO) و دی اکسیدتیتانیوم (TiO_2) اشاره نمود. ZnO به صورت پودر سفیدرنگ بوده و عموماً در کرم های ضدآفتاب و صنایع غذایی استفاده می شود (۱۳). نانوذرات ZnO را می توان به عنوان ماده ضد میکروبی استفاده نمود، که به علت قیمت و سمیت پایین و نیز خواص ممانعت کنندگی UV، از برتری بیشتری نسبت به نانوذرات نقره برخوردار می باشد (۱۴ و ۵).

ZnO نیز همانند TiO_2 برای تولید نانوکامپوزیت هایی که دارای خواص ضد میکروبی هستند، به داخل پلیمرهای سنتزی و بیولوژیکی متفاوتی وارد شده یا به درون آن پوشش خواهد شد (۱۶). به علاوه نانوکامپوزیت های ZnO خواص ممانعتی اکسیژن و مکانیکی بهبود یافته ای از خود نشان داده اند (۱۷). قابل ذکر است که ZnO در حالت توده، سمیت کمی داشته و برای کاربردهای غذایی GRAS در نظر گرفته می شود (۱۳).

زندگی و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی اثر نانوذرات اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم در افزایش ماندگاری میوه سیب و انگور را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بسته بندی حاوی این نانوذرات می تواند به عنوان یک روش کمکی به منظور افزایش ماندگاری در حین تولید و عرضه محصولاتی مانند سیب و انگور مورد استفاده قرار گیرد و تأثیر قابل توجهی بر خواص کیفی محصول داشته باشد (۱۸). همچنین گزارش شده است که اکسید تیتانیوم قادر است با گاز اتیلن واکنش دهد و باعث تجزیه آن گردد. بنابراین با از بین رفتن گاز اتیلن تولید شده در بسته بندی مواد غذایی، زمان انبارمانی و نگهداری محصولات افزایش می یابد (۱۹).

TiO_2 عموماً به عنوان رنگدانه در فرآورده های

مواد و روش‌ها

گرانول‌های پلیمری PET با فرمول شیمیایی $(C_{10}H_8O_4)_n$ و نقطه ذوب ۲۶۰-۲۵۰ درجه سانتی‌گراد از مجتمع پتروشیمی شهید تندگویان و نانوذرات ZnO و TiO_2 از شرکت تابان اندیش برجیس خریداری شد. روش آماده‌سازی فیلم: برای تولید گرانول و در نهایت فیلم از روش اکستروژن توسط اکسترودر دومارپیچ با یک بخش قالب‌گیری، استفاده شد. در این پژوهش از یک فرآیند اکستروژن دو مرحله‌ای استفاده گردید که در مرحله اول مخلوط پلیمر و نانوذرات در اکسترودر دومارپیچ به شکل ریون درآمده، خشک و خنک‌شده و سپس توسط دستگاه آسیاب به گرانول تبدیل شد. اگرچه اکستروژن دو مرحله‌ای زمان‌بر است، اما فیلم تولید شده، پایدارتر و دارای کاربرد صنعتی می‌باشد. طی فرآیند اکستروژن، نانوذرات بر پایه PET از دهانه قالب به شکل نواری خارج شد.

تهیه گرانول‌های نانوکامپوزیت: برای مخلوط کردن مواد اولیه و انجام فرآیند اکستروژن و تهیه نانوکامپوزیت مورد نظر از اکسترودر (Collin, ESC-) (T10) با قطر مارپیچ ۵۰ میلی‌متر و نسبت طول به قطر ۱۵، استفاده شد. درجه حرارت مناطق اکسترودر از قسمت تغذیه تا خروجی به ترتیب ۲۵۰، ۲۷۰، ۲۷۰، ۲۷۰ و ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد، دور فیدر rpm ۲۰/۷، دور اکسترودر rpm ۹۰، فشار اکسترودر ۱۲/۵ بار و دمای ذوب ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. در تولید نانوکامپوزیت‌های حاوی نانوذرات فلزی، نکته قابل توجه پخش یکنواخت نانوذرات در ماتریس پلیمر و جلوگیری از تجمع و توده‌ای شدن آن‌ها می‌باشد. به همین منظور برای ممانعت از تجمع نانوذرات و پخش یکنواخت آن‌ها، پس از خشک شدن کامل نانوکامپوزیت‌های ZnO و TiO_2 در آون در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت، مخلوط کردن مواد اولیه شامل مستریج پلیمری خنثی مخصوص PET را

با هر کدام از نانوکامپوزیت‌های فلزی نامبرده با درصد معین توزین کرده، به‌خوبی باهم مخلوط و از طریق قیف تغذیه، وارد محفظه اکسترودر گردید. مواد طی عبور از اکسترودر ذوب و با اعمال انواع نیروهای برشی و فشاری به‌طور کامل با هم مخلوط گردید. مذاب حاصل به‌صورت نواری از قالب انتهایی اکسترودر خارج و با عبور از حوضچه آب سرد، خنک و وارد دستگاه آسیاب گرانول ساز شد. دمای نواحی خنک‌کننده این اکسترودر نیز به ترتیب ۲۳۹، ۲۲۳، ۲۱۸، ۲۱۵ و ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد، دور غلطک خنک‌کننده rpm ۸ و دمای آن ۲۶ درجه سانتی‌گراد بود (۳۹).

تولید پریفرم‌های بر پایه PET حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و TiO_2+ZnO : برای ممانعت از تجمع نانوذرات و پخش یکنواخت آن‌ها، مخلوط کردن مواد اولیه شامل گرانول‌های نانوکامپوزیت اکسیدروی و دی‌اکسیدتیتانیوم بر پایه PET حاصل از مرحله قبل را با نسبت معین (به ترتیب ۰/۲۵: ۹۹/۷۵ درصد برای اکسیدروی، ۲: ۹۸ درصد برای دی‌اکسیدتیتانیوم و ۲/۲۵: ۹۷/۷۵ درصد برای اکسید روی + دی‌اکسیدتیتانیوم) توزین گردید (۴۲ و ۱۱). برای اختلاط بهتر از دستگاه پیش‌مخلوط‌کن استفاده شد. در ادامه گرانول‌های نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی (ZnO) و دی‌اکسیدتیتانیوم (TiO_2) بر پایه PET در دمای ۲۶۰-۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵-۱۰ ثانیه حرارت داده شد. سپس جهت مخلوط کردن کامل مواد حاصله از همزن دستگاه مخلوط‌کن با نام تجاری ارکان فلز استفاده و در نهایت قالب‌گیری و تولید پریفرم‌های بر پایه PET حاوی نانوذرات صورت پذیرفت (۲۱).

تولید بطری‌های حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و TiO_2+ZnO از پریفرم‌ها: حرارت‌دهی پریفرم‌های تهیه شده از گرانول‌های نانوکامپوزیت به ترتیب ZnO

TiO₂ و TiO₂+ZnO بر پایه PET در دمای ۱۸۰-۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۴۰-۱۲۰ ثانیه همراه با فشار ۲۰ بار توسط دستگاه بادکن پریفرم Semi Automatic Stretch Blow Moulding انجام و بطری‌های حاوی نانوذرات ZnO, TiO₂ و TiO₂+ZnO به ترتیب ۰/۲۵: ۹۹/۷۵ درصد برای اکسیدروی، ۲: ۹۸ درصد برای دی‌اکسیدتیتانیوم و ۲/۲۵: ۹۷/۷۵ درصد برای اکسید روی + دی‌اکسیدتیتانیوم تولید گردید.

میانگین قطر نانو ذرات و نحوه توزیع آن‌ها در پریفرم‌های حاصله: برای تعیین مورفولوژی سطح شکست فیلم‌های پلیمری نانوکامپوزیتی، از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) (Field Emission Scanning Electron Microscopy) استفاده شد. در این میکروسکوپ بررسی ساختار تشکیل دهنده نمونه توسط تفنگ الکترونی با بمباران کردن سطح نمونه صورت پذیرفت. تفکیک پذیری این دستگاه ۰/۵ تا ۱ نانومتر بوده و قدرت بزرگنمایی آن تا ۹ میلیون برابر با اعمال ولتاژ ۱۵ کیلوولت می‌باشد. در این تحقیق برای دستیابی به سطح شکست مطلوب، نمونه‌ها با استفاده از تیغ، برش داده شده و سطح مقطع آن‌ها ابتدا توسط دستگاه پوشش‌دهی با لایه نازکی از طلا روکش‌دار شده و سپس توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مورد بررسی قرار گرفت.

تهیه مایونز: جهت تهیه نمونه‌های مایونز در ابتدا مواد پودری شامل نمک، خردل و شکر با سرکه و آب مخلوط و سپس توسط دستگاه میکسر هموژنایزر تحت خلاء (با نام تجاری Fryma Koruma، مدل Maxx D 700، ساخت کشور آلمان) به خوبی مخلوط و یکنواخت شدند. در ادامه پودر صمغ و سپس تخم مرغ پاستوریزه به تدریج به مخلوط فوق، اضافه گشته و کاملاً هم‌زده شدند تا ترکیب یکنواختی حاصل شود.

در این مرحله روغن با ریزش مداوم به صورت قطره قطره اضافه گردید که در نهایت، نمونه‌های مایونز تهیه شده جهت انجام آزمون‌های بعدی در بطری‌های پلیمری بر پایه PET تهیه شده که حاوی نانوذرات ZnO و TiO₂ می‌باشند، توسط دستگاه پرکن شانزده نازله (کوشش کاران ساخت کشور ایران) بسته‌بندی شدند و در دمای اتاق (۲۲ ± ۲ درجه سانتیگراد) نگهداری گردید. کلیه آزمون‌ها در بازه‌های زمانی صفر ساعت (بلافاصله پس از تولید)، ۱ ماه، ۲ ماه و ۳ ماه پس از تولید در دمای ۲۲ ± ۲ درجه سانتیگراد صورت پذیرفت.

بررسی خواص فیزیکی شیمیایی مایونز و روغن استخراج شده: خواص فیزیکی شیمیایی شامل رنگ‌سنجی، pH و اسیدیته مایونز و پایداری اکسیداتیو، اندیس پراکسید و اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز و همچنین بررسی مقدار مهاجرت یونی می‌باشد که مورد بررسی قرار گرفتند.

تعیین شاخص‌های رنگ سنجی مایونز: به منظور تعیین رنگ نمونه مایونز از دستگاه رنگ‌سنج با نام تجاری هانتربل (HunterLab, ColorFlex EZ 45/0,) (US) استفاده شد. مقیاس‌های رنگی L*, a*, b* با درجه روشنایی D65 و زاویه دید استاندارد ۱۰ درجه، اندازه‌گیری شد. پارامتر L نشان‌دهنده روشنایی (از صفر نشان‌دهنده سیاهی تا ۱۰۰ نشان‌دهنده سفیدی)، a (مقادیر منفی نشان‌دهنده سبزبودن و مقادیر مثبت نشان‌دهنده قرمزبودن) و b (مقادیر منفی نشان‌دهنده آبی‌بودن و مقادیر مثبت نشان‌دهنده زرد بودن) نمونه مایونز می‌باشد. طیف بازتاب نمونه پس از انتقال حدود ۱۰۰ گرم نمونه به ظرف مخصوص دستگاه و مطابق دستورالعمل آن اندازه‌گیری شد (۲۲). شاخص‌های رنگی L*, a*, b* به طور مستقیم توسط دستگاه نمایش داده شد (۲۳ و ۲۴).

مولار تعیین و بر حسب درصد اسیداستیک بر گرم طبق معادله ۱ محاسبه گردید که در آن V و W به ترتیب حجم سود مصرفی (میلی لیتر) و وزن نمونه (گرم) می‌باشد.

معادله ۱

$$\% \text{ استیک اسید} = \frac{(V \times 0.006 \times 100)}{W}$$

اندازه‌گیری pH مایونز: اندازه‌گیری pH مایونز مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۲۴۵۴، توسط دستگاه pH متر (pH Meter Metrohm, 744, Swiss) و مطابق با دستورالعمل دستگاه به‌طور مستقیم اندازه‌گیری شد. **بررسی مهاجرت نانوذرات:** آزمون مهاجرت نانوذرات از بطری‌ها به مایونز توسط دستگاه جذب اتمی (Atomic Absorption) با نام تجاری GBC، مدل SavantAA ساخت کشور استرالیا مورد بررسی قرار گرفت. دقت تشخیص عناصر فلزی در دستگاه Atomic Absorption با تکنیک شعله در حد ppm می‌باشد. در عمل اندازه‌گیری میزان نور جذب شده توسط محلول استاندارد با غلظت مشخص از یون Zn و Ti در دستگاه جذب اتمی، می‌تواند منجر به رسم منحنی استاندارد شود. سپس با مقایسه این داده‌ها با میزان نور جذب شده توسط نمونه مایونز بسته‌بندی شده در بطری‌های حاوی نانوذرات ZnO، TiO₂ و TiO₂+ZnO بسته‌بندی شده با دستگاه جذب اتمی، مقدار عناصر Ti و Zn به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری: در این پژوهش، آنالیز آماری داده‌ها توسط مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده از سه تکرار به روش آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و در ادامه با استفاده از تست متعاقب حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ و در طرح کاملاً تصادفی در نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۰ صورت گرفت. نتایج به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد بیان شده است.

اندازه‌گیری پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده از مایونز: پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده از مایونز توسط دستگاه رنسیمت (Rancimat, Metrohm, Rancimat 743, Swiss) در دماهای ۱۱۰ و ۹۷/۸ درجه سانتی‌گراد و جریان هوای ۱۰ لیتر بر ساعت مورد بررسی قرار گرفت. در این روش ابتدا جریان هوای خالص از درون نمونه عبور داده شد، سپس دمای نمونه توسط سنسورهای حرارتی به دمای مورد نظر رسید. گازهای آزاد شده طی فرآیند اکسیداسیون همراه با هوا از داخل یک فلاسک حاوی آب دیونیزه شده عبور داده شد. این فلاسک دارای الکتروود به‌منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی می‌باشد. پایان مدت زمان القا نشان‌دهنده مدت زمانی است که هدایت الکتریکی به سرعت افزایش می‌یابد (۱۷).

اندازه‌گیری پراکسید روغن استخراج شده از مایونز: پراکسید روغن استخراج شده از مایونز توسط روش یدومتری مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب که نمونه در محلول ایزواکتان و اسیداستیک گلاسیال حل شده و پس از افزودن یدورپتاسیم به آن، ید آزاد شده، در حضور معرف نشاسته و محلول تیوسولفات سدیم اندازه‌گیری شد. نقطه پایانی تیتراسیون به روش چشمی تعیین گردید (۱۶).

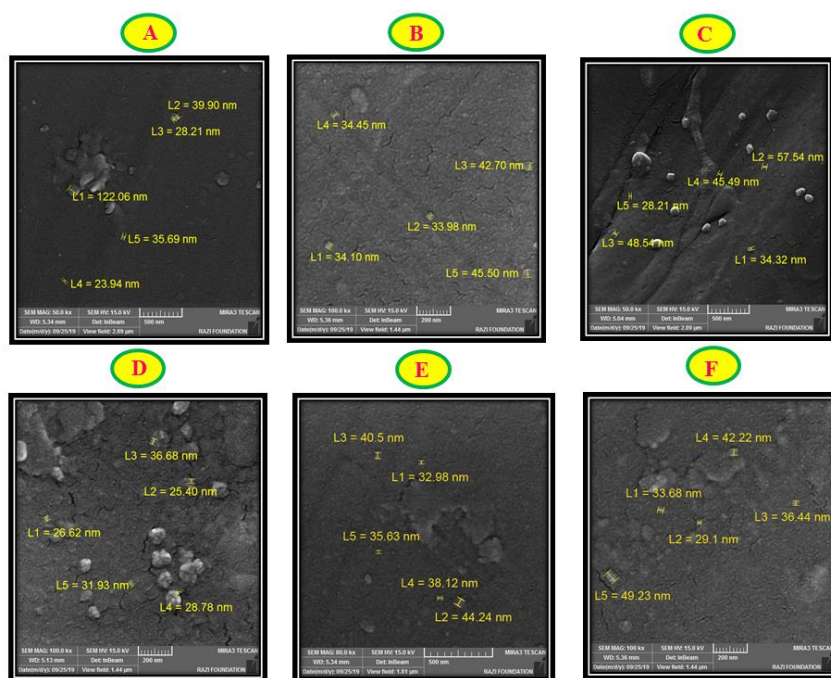
اندازه‌گیری اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز: اسیدیته روغن استخراج شده از نمونه‌های مایونز از طریق انحلال در مخلوط اتانول ۹۶ درصد حجمی و دی‌اتیل‌تر بدون پراکسید (۱:۱) و عیارسنجی آن با محلول اتانولی یا متانولی هیدروکسیدسدیم یا پتاسیم انجام گرفت (۱۴).

اندازه‌گیری اسیدیته مایونز: اسیدیته مایونز مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۲۴۵۴ (۱۳۹۳)، انجام شد (۲۸). پس از توزین نمونه‌ها و رقیق‌سازی آن‌ها با آب مقطر، به‌وسیله تیتراسیون با هیدروکسیدسدیم ۰/۱

نتایج و بحث

اندازه‌گیری سایز نانوذرات و نحوه توزیع آن‌ها در پرفرم‌های حاصله با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مربوط به فیلم‌های پلیمری تهیه شده بر پایه PET که حاوی نانوذرات ZnO، TiO₂ و TiO₂+ZnO می‌باشد در شکل ۱ نمایش داده شده است. این تصاویر نشان می‌دهد که مورفولوژی و شکل نانوذرات کروی است. همچنین میانگین اندازه این ذرات که به صورت یکنواخت پخش شده‌اند بر حسب نانومتر گزارش شده است که با نتایج عبدالقادر و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد (۲۹). در شکل ۱، تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به فیلم پلیمری تهیه شده بر پایه PET حاوی نانوذرات مشاهده می‌گردد که تصاویر A و B و

فیلم پلیمری حاوی نانوذرات ZnO، تصاویر C و D مربوط به فیلم‌های پلیمری حاوی نانوذرات TiO₂ و تصاویر E و F مربوط به فیلم‌های پلیمری حاوی نانوذرات TiO₂+ZnO می‌باشد. میانگین قطر ذرات فیلم پلیمری حاوی نانوذرات ZnO حدود ۳۶/۳±۴/۲۶، فیلم پلیمری حاوی نانوذرات TiO₂ حدود ۲۹/۸۸±۴/۵۳ و فیلم پلیمری حاوی نانوذرات TiO₂+ZnO حدود ۴۰/۳۹±۸/۶۷ نانومتر بود. مشاهده تجمع نانوذرات در بعضی نقاط فیلم، به دلیل تمایل شدید نانوذرات به واکنش با یکدیگر و در نتیجه به هم چسبیدن و ایجاد حالت کلوخگی است. احتمال کلوخگی در درصد‌های پایین کمتر است ولی با افزایش غلظت نانوذرات این احتمال بالاتر می‌رود. نتایج حاصل با نتایج چن و همکاران (۲۰۱۹) و زو و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (۳۰ و ۷).



شکل ۱- تصاویر FE-SEM مربوط به نانوذرات ZnO با بزرگنمایی ۵۰۰ nm (A) و بزرگنمایی ۲۰۰ nm (B)، نانوذرات TiO₂ با بزرگنمایی ۵۰۰ nm (C) و بزرگنمایی ۲۰۰ nm (D) و نانوذرات TiO₂+ZnO با بزرگنمایی ۵۰۰ nm (E) و بزرگنمایی ۲۰۰ nm (F)

Figure 1- FE-SEM images of ZnO nanoparticles at 500 nm magnification (A) and 200 nm magnification (B), TiO₂ nanoparticles at 500 nm magnification (C) and 200 nm magnification (D), TiO₂+ZnO nanoparticles at 500 nm magnification (E) and 200 nm magnification (F)

داده است. نتایج نشان می‌دهد، شاخص زردی (b^*) نمونه‌های مایونز بسته‌بندی شده در بطری‌های پلیمری تهیه شده بر پایه PET که حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و TiO_2+ZnO هستند و نمونه شاهد که در بطری معمولی که حاوی نانوذرات نمی‌باشد، افزایش یافته است. اختلاف معنی‌داری بین شاخص زردی (b^*) نمونه‌های بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات و نمونه بسته‌بندی شده در بطری معمولی فاقد نانوذرات در زمان صفر (بلافاصله پس از تولید)، مشاهده نشده است. با افزایش زمان انبارداری شاخص زردی (b^*) در مایونز بسته‌بندی شده در نمونه بطری شاهد (فاقد نانوذرات) نسبت به مایونز بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات، افزایش بیشتری نشان می‌دهد. طلوعی و همکاران (۲۰۱۱) ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سس مایونز کم‌چرب حاوی اینولین و پکتین را بررسی نمودند و دریافتند که شاخص زردی تیمارهای سس مایونز در طول زمان انبارمانی افزایش می‌یابد که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد (۳۳). همچنین بررسی‌های انجام شده بر روی مایونز کم‌چرب تهیه شده با صمغ قدومه شهری و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، افزایش معنی‌داری شاخص زردی در طول زمان انبارمانی را نشان داد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۲۲). اما طبق نتایج به دست آمده، نمونه بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات TiO_2+ZnO به دلیل حضور این نانوذرات، مانع از اکسیداسیون چربی نمونه مایونز بسته‌بندی شده در این بطری‌ها شده است و شاخص روشنایی (L^*) کاهش کمتری و شاخص زردی (b^*) افزایش کمتری را نسبت به نمونه بسته‌بندی شده در بطری معمولی بدون نانوذرات نشان داده است. ZnO با تبدیل اتیلین به دی‌اکسیدکربن و آب باعث کاهش اتیلین، مالون-دی‌آلدئید و پلی‌فنل‌اکسیداز می‌گردد و از این طریق میزان ماندگاری محصولات غذایی را افزایش می‌دهد

نتایج خواص فیزیکوشیمیایی مایونز و روغن استخراج شده از آن

رنگ‌سنجی مایونز: نتایج نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری بین شاخص روشنایی (L^*) نمونه‌های مایونز بسته‌بندی شده در بطری‌های پلیمری بر پایه PET حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و TiO_2+ZnO ، در مقایسه با نمونه شاهد (فاقد نانوذرات)، در زمان صفر (بلافاصله پس از تولید)، می‌باشد. مطابق نتایج مربوط به آزمون‌های رنگ‌سنجی نمونه‌های مایونز در جدول ۱ شاخص روشنایی (L^*) در نمونه‌های مایونز بسته‌بندی شده در بطری‌های پلیمری بر پایه PET حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و TiO_2+ZnO و بطری معمولی فاقد نانوذرات، کاهش (غیر معنی‌دار) یافته است. با این حال با افزایش زمان نگهداری شاخص روشنایی (L^*) در مایونز بسته‌بندی شده در بطری معمولی نسبت به مایونز بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و TiO_2+ZnO کاهش بیشتری نشان می‌دهد. همچنین نتایج ذکر شده در جدول ۱ نشان می‌دهد، مایونز بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات ZnO شاخص روشنایی (L^*) کاهش بیشتری نسبت به مایونز بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات TiO_2 داشته است. مطالعات انجام شده بر مدت انبارمانی موادغذایی بسته‌بندی شده نشان داد که در طی مدت انبارمانی میزان اکسیداسیون چربی افزایش می‌یابد که منجر به افزایش شاخص زردی می‌گردد، در نتیجه شاخص روشنایی کاهش می‌یابد (۳۱ و ۳۲). طبق نتایج به دست آمده، نمونه بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات TiO_2+ZnO به دلیل حضور این نانوذرات، مانع از اکسیداسیون چربی نمونه مایونز بسته‌بندی شده در این بطری‌ها شده و شاخص روشنایی (L^*) کاهش کمتر و شاخص زردی (b^*) افزایش کمتری را نسبت به نمونه بسته‌بندی شده در بطری معمولی بدون نانوذرات نشان

نشان‌دهنده وجود طیف رنگی قرمز در نمونه است. با افزایش زمان نگهداری مایونز بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات TiO_2+ZnO شاخص قرمزی (a^*) نسبت به مایونز بسته‌بندی شده در بطری معمولی فاقد نانوذرات افزایش یافته است.

(۳۴). با توجه به جدول ۱ اختلافی بین میزان شاخص قرمزی نمونه مایونز بسته‌بندی شده در بطری حاوی نانوذرات TiO_2+ZnO و بطری فاقد نانوذرات وجود دارد اما تا ۶۰ روز انبارداری این شاخص منفی است و شاخص سبز بودن نمونه را نشان می‌دهد و بعد از این مدت عدد شاخص مثبت می‌شود که مقادیر مثبت

جدول ۱- اثر بسته‌بندی و ۹۰ روز انبارداری در دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد بر شاخص‌های رنگی مایونز

Table 1. Effect of packaging and 90 days storage at 22 ± 2 °C on mayonnaise color indexes

Days (روزها)		Group (گروه)			
		PET	ZnO	TiO ₂	TiO ₂ +ZnO
0	L*	92.82±0.00 ^a	92.77±0.00 ^b	92.76±0.00 ^c	92.82±0.00 ^a
	a*	-0.05±0.00 ^a	-0.04±0.03 ^a	-0.04±0.00 ^a	-0.05±0.00 ^a
	b*	11.89±0.00 ^b	11.91±0.00 ^a	11.90±0.00 ^b	11.90±0.00 ^b
30	L*	92.66±0.00 ^a	92.66±0.00 ^a	92.70±0.00 ^a	92.68±0.00 ^a
	a*	-0.04±0.00 ^a	-0.04±0.00 ^a	-0.03±0.00 ^a	-0.04±0.00 ^a
	b*	12.11±0.00 ^a	12.08±0.00 ^b	12.01±0.00 ^c	12.01±0.00 ^c
60	L*	92.36±0.00 ^b	92.44±0.00 ^a	92.49±0.00 ^a	92.49±0.00 ^a
	a*	0.05±0.00 ^c	0.06±0.00 ^b	0.08±0.00 ^a	0.07±0.00 ^b
	b*	12.13±0.00 ^a	12.10±0.00 ^b	12.03±0.00 ^c	12.07±0.00 ^c
90	L*	92.32±0.00 ^a	92.37±0.00 ^a	92.44±0.00 ^a	92.44±0.00 ^a
	a*	0.05±0.00 ^b	0.07±0.00 ^a	0.08±0.00 ^a	0.08±0.00 ^a
	b*	12.20±0.00 ^a	12.17±0.00 ^b	12.06±0.00 ^c	12.07±0.00 ^c

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد سه تکرار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد است. ($p < 0.05$)

The results in the table have reported as mean \pm standard deviation of triplicate analysis. Different words in the same row represent significant difference at 5 % ($p < 0.05$).

تولید)، در بطری‌های پلیمری تهیه شده بر پایه PET حاوی نانوذرات TiO_2 ، ZnO و TiO_2+ZnO و نمونه شاهد (فاقد نانوذرات) تفاوت معنی‌داری نداشتند. با گذشت دوره انبارداری اسیدیتیه نمونه‌های حاوی نانوذرات TiO_2 ، ZnO و TiO_2+ZnO و نمونه شاهد (فاقد نانوذرات) روند افزایشی داشته است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر میزان اسیدیتیه مایونز در نمونه‌های حاوی نانوذرات TiO_2 ، ZnO و TiO_2+ZnO کاهش معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد در ۹۰ روز انبارداری نشان داده است. شایان ذکر است که اسیدیتیه کلیه نمونه‌های مایونز تهیه شده در این پژوهش، در محدوده مناسب استاندارد ملی ایران قرار دارد.

اسیدیتیه مایونز: اسیدیتیه از فاکتورهای شیمیایی مهم در سس‌های سالاد از جمله مایونز می‌باشد که طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲۴۵۴، اسیدیتیه کل در مایونز و یا سس‌های سالاد نباید از ۰/۶ (بر حسب گرم درصد اسید استیک) کم‌تر باشد. اگر اسیدیتیه سس از ۱/۵ درصد بیش‌تر باشد، سس حاصل طعمی نامطلوب پیدا می‌کند و اگر کم‌تر از ۰/۶ درصد باشد نیز زمینه برای رشد میکروارگانیسم‌ها و فساد فراهم می‌شود، به نحوی که اسیدیتیه بهینه ۱/۲-۰/۷ درصد ذکر شده است (۳۱). براساس نتایج جدول ۲، اسیدیتیه تمامی نمونه‌ها در محدوده ۰/۸۵۳±۰/۰۰۲ تا ۰/۸۶۸±۰/۰۰۴ و مطابق با استاندارد ملی ایران می‌باشد. اسیدیتیه نمونه‌های مایونز در روز صفر (بلافاصله پس از

ارزیابی بسته‌بندی فعال بر پایه پلی‌اتیلن... / ناصر کهن‌نیا و همکاران

جدول ۲- اثر بسته‌بندی و ۹۰ روز انبارداری در دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد بر اسیدیته مایونز (درصد اسید استیک بر گرم)

Table 2. Effect of packing and 90 days storage at 22 ± 2 °C on mayonnaise acidity (acetic acid %/g)

Group (گروه)	Acidity of mayonnaise اسیدیته مایونز (گرم درصد اسید استیک)			
	0 day	30 day	60 day	90 day
PET	0.856 ± 0.000^a	0.864 ± 0.004^a	0.865 ± 0.002^a	0.868 ± 0.004^a
ZnO	0.854 ± 0.002^b	0.860 ± 0.000^b	0.860 ± 0.000^b	0.865 ± 0.002^b
TiO ₂	0.853 ± 0.002^b	0.860 ± 0.004^b	0.860 ± 0.000^b	0.865 ± 0.002^b
TiO ₂ +ZnO	0.853 ± 0.002^b	0.860 ± 0.000^b	0.860 ± 0.000^b	0.863 ± 0.002^b

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد سه تکرار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$) است.

The results in the table have reported as mean \pm standard deviation of triplicate analysis. Different words in the same row represent significant difference at 5 % ($p < 0.05$).

بسته‌بندی شده در بطری شاهد مشاهده شد. همچنین نتایج ۹۰ روز انبارداری نشان می‌دهد، اختلاف معنی داری بین pH نمونه‌های شاهد و ZnO مشاهده نشده است؛ اما میزان pH نمونه‌های مایونز در بطری‌های TiO₂ و TiO₂+ZnO افزایش معنی داری در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد. به‌طور کلی می‌توان گفت pH مایونز بسته‌بندی شده در بطری‌های حاوی نانوذرات در مدت ۹۰ روز انبارداری در محدوده استاندارد ملی ایران قرار دارد. صادقی پور و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تاثیر نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلنی حاوی نانوذرات اکسیدروی بر خرما مضافتی بم گزارش دادند که میزان pH و اسیدیته خرما مضافتی تغییر معنی داری با نمونه‌های شاهد نداشته است که با نتایج حاضر مطابقت دارد (۳۵).

pH مایونز: pH نمونه‌های مایونز بسته‌بندی شده در جدول ۳ ذکر شده است. بر اساس نتایج این جدول pH تمامی نمونه‌ها در محدوده 3.7 ± 0.1 تا 3.0 ± 0.3 و مطابق با استاندارد ملی ایران می‌باشد. pH مایونز طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲۴۵۴، نباید بیش از ۴/۱ باشد. اگر pH بیش‌تر از ۴/۱ یا کمتر از ۲/۹ باشد، مایونز حاصل طعمی نامطلوب پیدا می‌کند و در صورت افزایش pH نیز زمینه برای رشد میکروارگانیسم‌ها و فساد فراهم می‌شود (۳۵ و ۵). نتایج نشان می‌دهد، اختلاف معنی داری بین pH نمونه‌های مایونز بسته‌بندی شده در بطری‌های پلیمری بر پایه PET حاوی نانوذرات با نمونه شاهد در زمان صفر (بلافاصله پس از تولید)، مشاهده نشده است؛ اما با افزایش زمان نگهداری کاهش pH، نسبت به مایونز

جدول ۳- اثر بسته‌بندی و ۹۰ روز انبارداری در دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد بر میزان pH مایونز

Table 3- Effect of packaging and 90 days of storage at 22 ± 2 °C on the pH of mayonnaise

Group (گروه)	pH of Mayonnaise pH مایونز			
	0 day	30 day	60 day	90 day
PET	3.37 ± 0.01^a	3.25 ± 0.00^b	3.28 ± 0.00^a	3.28 ± 0.00^b
ZnO	3.33 ± 0.00^b	3.28 ± 0.00^a	3.29 ± 0.01^a	3.26 ± 0.01^c
TiO ₂	3.36 ± 0.00^c	3.28 ± 0.01^a	3.29 ± 0.01^a	3.32 ± 0.01^a
TiO ₂ +ZnO	3.34 ± 0.00^a	3.29 ± 0.00^a	3.29 ± 0.00^a	3.32 ± 0.00^a

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد سه تکرار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$) است.

The results in the table have reported as mean \pm standard deviation of triplicate analysis. Different words in the same row represent significant difference at 5 % ($p < 0.05$).

پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده از مایونز: بسیاری از محصولات غذایی حاوی لیپید، مانند مایونز، بسیار مستعد تخریب اکسیداتیو هستند، به خصوص اگر حاوی مقادیر زیادی اسیدهای چرب غیراشباع باشند. اکسیداسیون لیپیدها فرآیندی است که باعث تغییر نامطلوب طعم و رنگ می شود در نتیجه، تولیدکنندگان مواد غذایی به طور مداوم در جستجوی روش هایی برای جلوگیری یا، حداقل، به تاخیر انداختن اکسیداسیون لیپید در غذاها هستند. آنتی اکسیدان های طبیعی و مصنوعی ممکن است با از بین بردن و کاهش فعالیت رادیکال های آزاد، سرعت اکسیداسیون لیپید را کاهش دهند (۳۹). نتایج پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده از نمونه های مایونز

بسته بندی شده، در جدول ۴ ذکر شده است. براساس نتایج این جدول پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده تمامی نمونه ها در محدوده $0.2 \pm 15/18$ تا $0.6 \pm 17/08$ قرار دارد که با استاندارد ملی مربوطه مطابقت دارد. نتایج نشان می دهد، اختلاف معنی داری بین پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده نمونه های مایونز بسته بندی شده با نمونه شاهد، در زمان صفر (بلافاصله پس از تولید)، مشاهده نشده است. اما با افزایش زمان نگهداری، کاهش کندتر پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده نمونه های مایونز بسته بندی شده در بطری حاوی نانوذرات نسبت به بطری شاهد مشاهده شده است.

جدول ۴- اثر بسته بندی و ۹۰ روز انبارداری در دمای 22 ± 2 درجه سانتی گراد بر پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده از مایونز

Table 4. Effect of packing and 90 days storage at 22 ± 2 °C on oxidative stability of oil extracted from mayonnaise
Oxidative stability of oil extracted from mayonnaise (h)

پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده از مایونز (ساعت)

Group (گروه)	0 day	30 day	60 day	90 day
PET	17.08 ± 0.04^a	15.60 ± 0.06^b	15.42 ± 0.03^b	15.18 ± 0.02^b
ZnO	17.08 ± 0.06^a	15.74 ± 0.09^b	15.64 ± 0.04^a	15.52 ± 0.04^a
TiO ₂	17.03 ± 0.02^a	15.87 ± 0.08^a	15.65 ± 0.07^a	15.54 ± 0.05^a
TiO ₂ +ZnO	17.05 ± 0.04^a	15.78 ± 0.04^a	15.63 ± 0.09^a	15.53 ± 0.05^a

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد سه تکرار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد است. ($p < 0.05$)

The results in the table have reported as mean \pm standard deviation of triplicate analysis. Different words in the same row represent significant difference at 5 % ($p < 0.05$).

معنی داری میان اندیس پراکسید روغن استخراج شده گروه های مورد مطالعه، مشاهده نشده است. با افزایش زمان نگهداری مایونز بسته بندی شده در بطری حاوی نانوذرات، میزان پراکسید روغن استخراج شده، نسبت به نمونه نگهداری شده در بطری معمولی، کاهش یافته است.

اندیس پراکسید روغن استخراج شده از مایونز: براساس نتایج اندیس پراکسید روغن استخراج شده از نمونه های مایونز بسته بندی شده در جدول ۵، میزان پراکسید روغن استخراج شده تمامی نمونه ها در محدوده $0.4 \pm 0/38$ تا $0.0 \pm 1/24$ قرار دارد که با استاندارد ملی ایران مطابقت دارد. نتایج نشان می دهد، در روز صفر (بلافاصله پس از تولید)، اختلاف

ارزیابی بسته‌بندی فعال بر پایه پلی اتیلن... / ناصر کهن نیا و همکاران

جدول ۵- اثر بسته‌بندی و ۹۰ روز انبارداری در دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد بر میزان پراکسید شده روغن استخراج شده از مایونز

Table 5. Effect of packing and 90 days of storage at $22 \pm 2^\circ\text{C}$ on peroxidation of oil extracted from mayonnaise

Group (گروه)	0 day	30 day	60 day	90 day
PET	0.42 ± 0.01^a	1.04 ± 0.06^b	1.06 ± 0.01^a	1.24 ± 0.00^a
ZnO	0.38 ± 0.04^a	1.01 ± 0.09^b	1.04 ± 0.00^b	1.10 ± 0.01^b
TiO ₂	0.44 ± 0.00^a	1.01 ± 0.08^b	1.04 ± 0.00^b	1.09 ± 0.01^b
TiO ₂ +ZnO	0.44 ± 0.00^a	1.02 ± 0.04^b	1.04 ± 0.00^b	1.09 ± 0.01^b

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد سه تکرار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد است. ($p < 0.05$)

The results in the table have reported as mean \pm standard deviation of triplicate analysis. Different words in the same row represent significant difference at 5 % ($p < 0.05$).

گذشت زمان، اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز افزایش پیدا کرده است. همچنین نتایج ۹۰ روز انبارداری نشان می‌دهد، اختلاف معنی‌داری بین اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز نمونه‌های شاهد و TiO₂ مشاهده نشده است؛ اما میزان اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز نمونه‌های مایونز در بطری‌های ZnO و TiO₂+ZnO افزایش معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد.

اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز: براساس نتایج جدول ۶ اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز در تمامی نمونه‌ها در محدوده 0.626 ± 0.003 تا 0.790 ± 0.005 قرار دارد. براساس نتایج به دست آمده، اسیدیته روغن استخراج شده نمونه‌های مایونز بسته‌بندی شده در بطری‌های پلیمری بر پایه PET حاوی نانوذرات ZnO، TiO₂ و TiO₂+ZnO، با نمونه شاهد (فاقد نانوذرات) تفاوتی چندانی نداشت. با

جدول ۶- اثر بسته‌بندی و ۹۰ روز انبارداری در دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد بر اسیدیته روغن استخراج شده از مایونز

Table 6- Effect of packaging and 90 days of storage at $22 \pm 2^\circ\text{C}$ on the acidity of oil extracted from mayonnaise

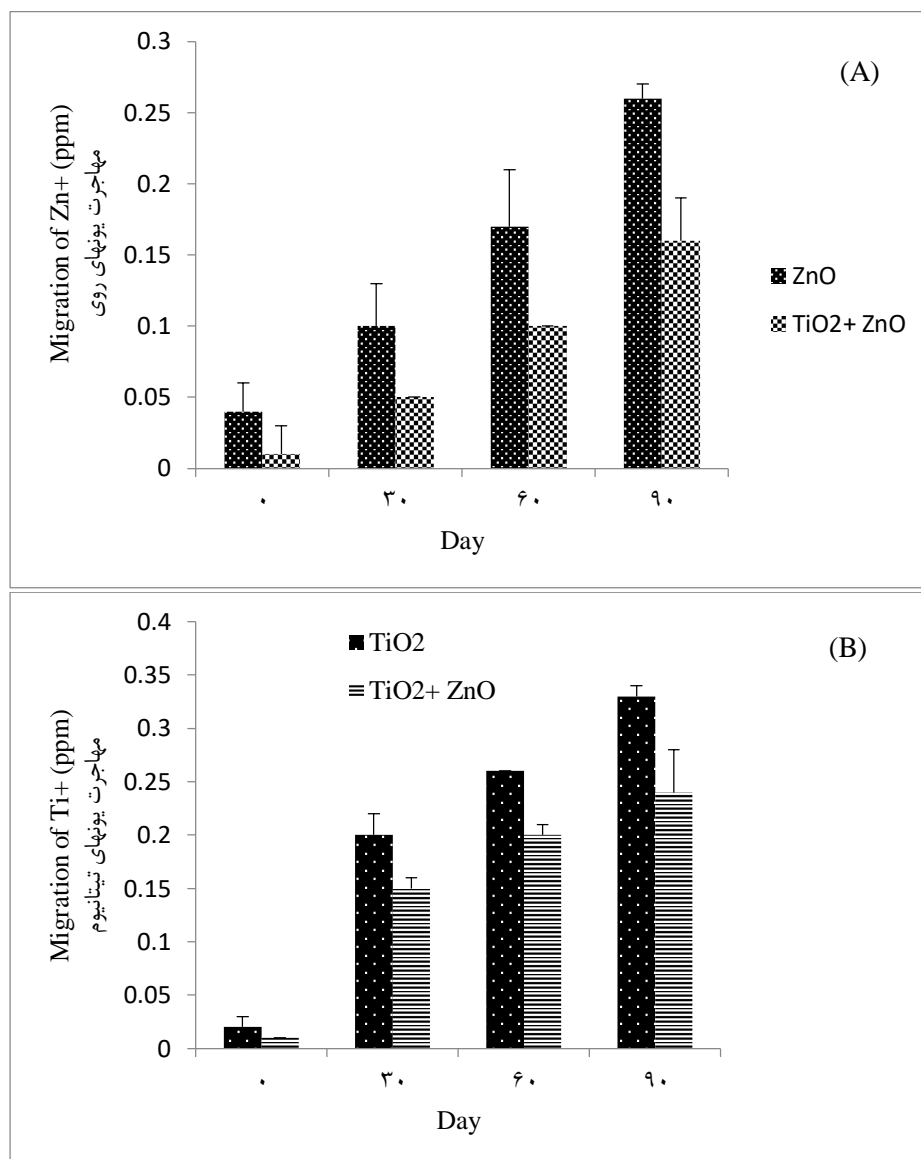
Group (گروه)	0 day	30 day	60 day	90 day
PET	0.630 ± 0.000^a	0.663 ± 0.006^b	0.718 ± 0.003^a	0.790 ± 0.005^a
ZnO	0.626 ± 0.003^a	0.656 ± 0.006^b	0.716 ± 0.009^a	0.780 ± 0.005^b
TiO ₂	0.630 ± 0.000^a	0.653 ± 0.006^b	0.709 ± 0.003^b	0.780 ± 0.006^a
TiO ₂ +ZnO	0.630 ± 0.000^a	0.656 ± 0.006^b	0.711 ± 0.000^a	0.780 ± 0.003^b

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد سه تکرار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد است. ($p < 0.05$)

The results in the table have reported as mean \pm standard deviation of triplicate analysis. Different words in the same row represent significant difference at 5 % ($p < 0.05$).

الیگومرهای حلقوی از دایمر تا پنتامر هستند که دارای وزن مولکولی پایین می‌باشند (۴۰). طبق بررسی‌های انجام شده PET پلیمری با انتشار کم است که مهاجرت ترکیبات شیمیایی از بطری‌ها به مواد غذایی مانند نوشیدنی‌ها را محدود می‌کند (۳۶).

بررسی مهاجرت نانوذرات از بطری‌های تهیه شده به مایونز: پلیمر بسته‌بندی می‌تواند با محیط اطراف خود (شامل ماده غذایی یا اتمسفر اطراف بسته) بر هم کنش‌های مختلفی داشته باشد که مهم‌ترین آن‌ها مهاجرت است (۳۵). PET حاوی مقادیر کم از



شکل ۲- اثر بسته‌بندی بر میزان مهاجرت یون های Zn^{+2} (A) و Ti^{+2} (B) به نمونه‌های مایونز در طی ۹۰ روز انبارداری
 Figure 2. The effect of packaging on Migration rate of Zn^{+2} (A) and Ti^{+2} (B) ions to mayonnaise samples for 90 days of storage

در نانوکامپوزیت‌ها مهاجرت نانوذرات به محیط اطراف دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. مطابق نتایج آزمون مهاجرت نانوذرات فلزی در جدول ۷، میزان مهاجرت نانوذرات فلزی بسیار پایین بوده است. مقدار مهاجرت Zn^{+2} و Ti^{+2} در نمونه‌های مایونز در طی ۹۰ روز انبارداری در کلیه بطری‌های پلیمری تهیه شده بر پایه PET حاوی نانوذرات ZnO ، TiO_2 و TiO_2+ZnO بسته‌بندی شده، با گذشت زمان مشاهده شده است. همچنین نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد به‌طورکلی با گذشت زمان بترتیب در طی ۶۰، ۳۰ و ۹۰ روز مهاجرت یون‌ها افزایش یافت و در طی ۹۰ روز انبارداری به بیشترین

مقدار مهاجرت نانوذرات فلزی بسیار پایین بوده است. مقدار مهاجرت Zn^{+2} و Ti^{+2} در نمونه‌های مایونز در طی ۹۰ روز انبارداری در کلیه بطری‌های پلیمری تهیه شده بر پایه PET حاوی نانوذرات ZnO ، TiO_2 و TiO_2+ZnO بسته‌بندی شده، با گذشت زمان مشاهده شده است. همچنین نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد به‌طورکلی با گذشت زمان بترتیب در طی ۶۰، ۳۰ و ۹۰ روز مهاجرت یون‌ها افزایش یافت و در طی ۹۰ روز انبارداری به بیشترین

داشت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که مورفولوژی و شکل نانوذرات در فیلم‌های پلیمری تهیه شده بر پایه PET که حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و TiO_2+ZnO به‌صورت کروی و یکنواخت پخش شده‌اند. همچنین نتایج آزمون مهاجرت نانوذرات فلزی نشان داد که میزان مهاجرت یون‌های Ti^{2+} و Zn^{2+} بسیار ناچیز بوده است. مقدار مهاجرت این یونها در نمونه‌های مایونز در طی ۹۰ روز انبارداری در کلیه بطرهای پلیمری تهیه شده بر پایه PET که حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و $\text{TiO}_2 + \text{ZnO}$ است، کمتر از مقدار حد مجاز مسمومیت‌زایی بوده و اختلاف ناچیزی بین مقدار یون‌های Ti^{2+} و Zn^{2+} مهاجرت یافته بین نمونه شاهد و نمونه بطرهای پلیمری تهیه شده بر پایه PET که حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و $\text{TiO}_2 + \text{ZnO}$ بسته‌بندی شده، مشاهده شده است. شاخص روشنایی نمونه‌های مایونز در بطری‌های بر پایه PET حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و $\text{TiO}_2 + \text{ZnO}$ به‌دلیل کنترل فرایند اکسیداسیون چربی توسط این نانوذرات، در این بسته‌بندی‌ها در طول زمان نگهداری در محدوده استاندارد ملی قرار داشت و در این میان تاثیر، دی‌اکسیدتیتانیوم در حفظ خواص فیزیکوشیمیایی مایونز در طول زمان انبارداری بیشتر از اکسیدروی بود. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که بطری‌های بر پایه PET حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و $\text{TiO}_2 + \text{ZnO}$ می‌تواند به‌عنوان بسته‌بندی فعال برای نگهداری مایونز در شرایط خارج از یخچال و در دمای محیط استفاده شود و اثرات قابل‌توجهی در افزایش ماندگاری این سس از خود نشان دهد.

مقدار خود رسید. در بین یون‌ها به‌ترتیب یون Zn^{2+} ، Ti^{2+} و $(\text{Ti}^{2+}+\text{Zn}^{2+})$ با ۰/۳۳، ۰/۲۶ و ۰/۲۴ (۰/۱۶ - ۰/۲۴) ppm مهاجرت داشته‌اند که بیشترین مقدار مهاجرت را یون Ti^{2+} داشته است. مطالعه بر روی مهاجرت نانوذرات نشان می‌دهد که نانوذرات ترکیب شده با پلیمرها تمایل به تشکیل توده داشته و از این‌رو محکم در جای خود درون ماتریس پلیمری باقی‌مانده و مهاجرت نمی‌کنند. این مطلب در مورد عناصری که یونیزه نمی‌شوند مانند Ti صادق است؛ درخصوص عناصری مانند Zn به حالت یون‌های محلول مهاجرت کرده و از طرفی به‌دست‌آوردن خواص ضد میکروبی آن، مستلزم مهاجرت یون‌ها می‌باشد (۳۷). در پژوهش حاضر میزان درصد وزنی استفاده شده از نانوذرات TiO_2 و ZnO کمتر از ۵ درصد می‌باشد بنابراین با وجود مهاجرت این دو نانوذره به‌دلیل مقدار بسیار جزئی آن بر ایمنی مواد غذایی تاثیری نخواهند داشت.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه مایونز نشان داد که بطری‌های حاوی نانوذرات قادرند نسبت به بطری‌های شاهد باعث افزایش زمان ماندگاری مایونز در دمای اتاق در طول ۹۰ روز انبارداری شوند. میزان pH، اسیدیته مایونز و اسیدیته روغن استخراج شده، پراکسید و پایداری اکسیداتیو کلیه نمونه‌های مایونز بسته‌بندی شده در بطری‌های پلیمری بر پایه PET حاوی نانوذرات TiO_2 , ZnO و TiO_2+ZnO در ۹۰ روز انبارداری نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری داشته و همچنین نتایج بدست آمده در محدوده مناسب استاندارد ملی ایران قرار

References

01. Nikzade, V., Tehrani, M.M. and Saadatmand-Tarzan, M. 2012. Optimization of low-cholesterol-low-fat mayonnaise formulation: Effect of using

soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. Food Hydrocolloids. 28(2):344-352.
02. Appendini, P., and Hotchkiss, J.H. 2002. Review of antimicrobial food packaging.

- Innovative Food Science & Emerging Technologies. 3(2):113-126.
03. De Azeredo, H.M. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. Food research international. 42(9): 1240-1253.
 04. Franz, R., and Welle, F. 2020. Contamination levels in recollected PET bottles from non-food applications and their impact on the safety of recycled PET for food contact. Molecules. 25(21): 4998.
 05. Chaudhry, Q., and Castle, L. 2011. Food applications of nanotechnologies: an overview of opportunities and challenges for developing countries. Trends in Food Science & Technology. 22(11): 595-603.
 06. Duncan, T.V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. Journal of colloid and interface science. 363(1):1-24.
 07. Nakazato, Gerson, Renata, K.T., Kobayashi, Amedea B., Seabra, and Nelson, D. 2017. Use of nanoparticles as a potential antimicrobial for food packaging. Food Preservation, (pp. 413–447). London, Taylor and Francis Group, Academic Press.
 08. Hoffmann, T., Peters, D., Angioletti, B., Bertoli, S., Péres, L., Reiter, M. and De Souza, C. 2019. Potentials nanocomposites in food packaging. Chemical Engineering Transactions. 75, 253-258
 09. Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M. and Soleimanzadeh, S. 2011. Effects of nanocomposite packaging containing silver and zinc oxide on the shelf-life of fresh orange juice. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology. 6(1): 57-67.
 10. Fourogi, S., Arasb Dabbagh, M., Hamed, A., Hesameddin, A., Amirali, A., Mahzad Aghazadeh, M. and Nastouna Ghanbari, S. 2011. A survey on the shelf life extension of foods with nanofilms. Scientific Research Journal of Army University of Medical Sciences. 9(2). 81-86.
 11. Peyro Mousavi, F., Heidarinasab, A., Hashemipour, H. and Rajabalipour Cheshmehgaz, A.A. 2013. The Effect of nanofilm coating containing Ag on the shelf life of mazafati date. Journal of Food Technology and Nutrition. 10(4): 65-72. (in Persian)
 12. Clark, K., Cousins, I.T., Mackay, D. and Yamada, K. 2003. Observed concentrations in the environment. In Series Anthropogenic Compounds (pp. 125-177). Springer, Berlin, Heidelberg.
 13. Espitia, P.J.P., Soares, N.D.F.F., Coimbra, J.S.D.R., De Andrade, N.J., Cruz, R.S., and Medeiros, E.A.A. 2012. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. Food and bioprocess technology. 5(5):1447-1464.
 14. Llorens, A., Lloret, E., Picouet, P.A., Trbojevich, R., and Fernandez, A. 2012. Metallic-based micro and nanocomposites in food contact materials and active food packaging. Trends in Food Science & Technology. 24(1):19-29.
 15. Li, J.H., Hong, R.Y., Li, M.Y., Li, H.Z., Zheng, Y., and Ding, J. 2009. Effects of ZnO nanoparticles on the mechanical and antibacterial properties of polyurethane coatings. Progress in Organic Coatings. 64(4):504-509.
 16. Lepot, N., Van Bael, M.K., Van den Rul, H., D'haen, J., Peeters, R., Franco, D., and Mullens, J. 2011. Influence of incorporation of ZnO nanoparticles and biaxial orientation on mechanical and oxygen barrier properties of polypropylene films for food packaging applications. Journal of applied polymer science. 120(3):1616-1623.
 17. Zandi, M., Almasi, H. and Dardmeh, N. 2020. Evaluation of nanocomposite packaging containing TiO₂ and ZnO on shelf life and quality changes of apple and grape. Innovative Food Technologies. 8(1):63-82.
 18. Kumar, S., Boro, J.C., Ray, D., Mukherjee, A. and Dutta, J. 2019. Bionanocomposite films of agar incorporated with ZnO nanoparticles as an active packaging material for shelf

- life extension of green grape. *Heliyon*. 5(6): 01867.
19. Threepopnatkul, P., Wongnarat, C., Intolo, W., Suato, S. and Kulsetthanchalee, C. 2014. Effect of TiO₂ and ZnO on thin film properties of PET/PBS blend for food packaging applications. *Energy Procedia*. 56:102-11.
 20. Farhoodi, M., Mousavi, M., Sotudeh, G.R., Emam, D.Z., and Oromiehie, A. 2017. Effect of TiO₂ nanoparticles on mechanical and transport properties of polyethylene terephthalate (PET) packages. *Food Science and Technology*. 13(11): 187-197.
 21. Seifodin, H., Kochaki, A., Razavi, S.M.A. and Milani, 2017. Time-dependent behavior of low fat mayonnaise prepared with *Lepidium perfoliatum* seed gum and whey protein concentrate. *Journal of food science and technology (Iran)*. 13 (59): 97-107. (in Persian)
 22. Yagoobi, S.A., Alizadeh, K.A.M., and Rezazad, B.M. 2013. Application of image processing for determination of L*, a* and b* indices in color measurement of foods. *Journal of Food Research (AGRICULTURAL SCIENC)*. 23:3, 411.
 23. Holman, B.W., Ponnampalam, E.N., van de Ven, R.J., Kerr, M.G. and Hopkins, D.L. 2015. Lamb meat colour values (HunterLab CIE and reflectance) are influenced by aperture size (5 mm v. 25 mm). *Meat science*. 100: 202-208.
 24. Goudarzi, V., and Shahabi-Ghahfarrokhi, I. 2018. Photo-producible and photo-degradable starch/TiO₂ bionanocomposite as a food packaging material: Development and characterization. *International journal of biological macromolecules*. 106:661-669.
 25. Iranian National Standard, No. 3734, 2016. Vegetable and animal oils and fats - Measurement of oxidative stability (accelerated method) - Test method, National Standard Organization of Iran. (in Persian)
 26. National Standard of Iran No. 4179, 2008. Vegetable and Animal Oils and Fats - Measurement of Peroxide by Iodometric Method - Determination of Endpoint by Eye, National Standard Organization of Iran. (in Persian)
 27. National Standard of Iran, No. 4178, 2011. Vegetable and animal oils and fats - Measurement of acid number and acidity of test method, National Standard Organization of Iran. (Translated in Persian)
 28. Abd El-Kader, M.F.H., Elabbasy, M.T., Adeboye, A.A., Zeariya, M.G. and Menazea, A.A. 2021. Morphological, structural and antibacterial behavior of eco-friendly of ZnO/TiO₂ nanocomposite synthesized via *Hibiscus rosa-sinensis* extract. *Journal of Materials Research and Technology*. 15: 2213-2220.
 29. National Standard of Iran No. 2454, 2015. Mayonnaise and salad dressings - characteristics and test methods, National Standard Organization of Iran. (in Persian)
 30. Haji Shaban, F., Rahman, A. and Pirbaloti, G. 2019. Preparation and formulation of mayonnaise based on antioxidant properties of green algae and *Ganoderma lucidum* and evaluation of its qualitative and physicochemical properties. *Journal of Medicinal Herbs*. 10(2): 65-79. (in Persian)
 31. Zhou, J., Fei, X., Li, C., Yu, S., Hu, Z., Xiang, H., Sun, B., and Zhu, M. 2019. Integrating Nano-Cu₂O@ ZrP into in situ polymerized polyethylene terephthalate (PET) fibers with enhanced mechanical properties and antibacterial activities. *Polymers*. 11(1):113.
 32. Toluee, O., Mortazavi, S.A., Aelami, M. and Sadeghi Mahoonak, A.R. 2011. Physico-Chemical, Texture, and Organoleptic Properties of low fat mayonnaise containing inulin and pectin. *Innovation in Food Science and Technology*. 3(1): 35-42
 33. Akbar, A. and Anal, A.K. 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.

34. Sadehipour, S., Akhavan, H., Shaker ardekani, A. and Hosseini, H. 2019. Effect of polyethylene packaging containing zinc oxide nanoparticles on the shelf life of Mazafati date. *Journal of food science and technology (Iran)* 16(87):141-152. (in Persian)
35. Yi, J., Zhu, Z., McClements, D.J., and Decker, E. A. 2014. Influence of aqueous phase emulsifiers on lipid oxidation in water-in-walnut oil emulsions. *J of agricultural and food chemistry*. 62(9): 2104-2111.
36. Schmid, P. And Welle, F. 2020. Chemical Migration from Beverage Packaging Materials—A Review. *Beverages*. 6(2), 37.
37. Ahari, H., and Lahijani, L.K. 2021. Migration of Silver and Copper Nanoparticles from Food Coating. *Coatings*. 11(4): 380.
38. Geiss, O., Ponti, J., Senaldi, C., Bianchi, I., Mehn, D., Barrero, J., Gilliland, D., Matissek, R. and Anklam, E., 2020. Characterisation of food grade titania with respect to nanoparticle content in pristine additives and in their related food products. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 37(2):239-253.
39. Mirsadeghi Darabi, D., Ariaii, P., Safari, R., and Ahmadi, M. 2022. Effect of clover sprouts protein hydrolysates as an egg substitute on physicochemical and sensory properties of mayonnaise. *Food Science & Nutrition*. 10(1):253-263.
40. Hoppe, M., Fornari, R., De Voogt, P. and Franz, R. 2017. Migration of oligomers from PET: determination of diffusion coefficients and comparison of experimental versus modelled migration. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 34(7): 1251-1260.