

## بررسی کاربرد نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن سبک - خاک رس در افزایش کیفیت، ماندگاری و کاهش ضایعات نان مسطح (بربری)

عبدالله همتیان سورکی\*، فریده طباطبایی یزدی، مهدی قیافه داوودی و سید علی مرتضوی\*\*

\* نگارنده مسئول، نشانی: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و صنایع غذایی، کدپستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴،

تلفن: ۰۲۰-۸۷۹۵۶۱۸ (۰۵۱۱)، پیام نگار: hematian1364@gmail.com

\*\* به ترتیب دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد؛ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد؛ عضو

هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی؛ استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۳

### چکیده

نان بربری یکی از نان‌های مسطح رایج در ایران است که زمان ماندگاری نسبتاً پایینی دارد. در این پژوهش تأثیر نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن سبک- خاک رس با غلظت‌های مختلف نانوذرات رس جهت بسته‌بندی و نگهداری نان در شرایط متفاوت از نظر دما و رطوبت نسبی محیط نگهداری بررسی شد. نانوکامپوزیت‌های حاوی دو غلظت ۲ و ۶ درصد نانوذرات خاک رس و نیز پلی‌اتیلن معمولی به عنوان نمونه شاهد مورد استفاده قرار گرفت. نان بسته‌بندی شده در بسته‌های فوق‌الذکر در دمای ۱۰، ۲۵، و ۴۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۳۰ و ۷۵ درصد نگهداری و طی ۴ روز تغییرات غلظت گاز اکسیژن درون بسته‌های نان و ویژگی‌های کیفی نان ارزیابی شد. با افزایش غلظت نانوذرات، میزان نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن - خاک رس به گاز اکسیژن به صورت معنی‌داری کاهش یافت. افزایش غلظت نانوذرات رس به کاهش نفوذپذیری فیلم‌های پلی‌اتیلنی در برابر بخار آب انجامید که رطوبت و نرمی نان را در دوره نگهداری حفظ کرد. افزایش دما موجب افزایش میزان نفوذپذیری و کاهش کیفیت نان شد. افزایش دما هم موجب افزایش سرعت ورود اکسیژن به بسته نان و خروج رطوبت از آن شد که این عمل سفتی بافت نان بربری را افزایش داد.

### واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی، بیاتی، نان، نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن سبک - خاک رس، نفوذپذیری

### مقدمه

بین می‌رود که فقدان بسته‌بندی مناسب و بهداشتی یکی از عوامل بالا بودن این ضایعات است (Shahedi, 2004). بیشترین فساد نان و سایر فرآورده‌های نانوائی فیزیکی (افت رطوبت و بیاتی)، شیمیایی (تند شدگی)، و میکروبی است. نبود بسته‌بندی مناسب موجب ایجاد هر سه نوع فساد در نان و فرآورده‌های نانوائی می‌شود (Avital et al., 1999). بسته‌بندی مناسب می‌تواند با جلوگیری از ورود اکسیژن، یکی از عوامل فساد، و با حفظ رطوبت نان از

نان از دیرباز قوت غالب مردم اکثر نقاط دنیا بوده است و در تمامی جوامع قداست ویژه‌ای دارد. نان مسطح عمومی‌ترین نان مصرفی در جهان است (Qarooni, 1990). نان تازه، نرم و الاستیک است و پس از نگهداری به مدت چند ساعت در دمای اتاق، سفت و چرمی می‌شود. نان بربری یکی از پرمصرف‌ترین نان‌های ایران است. حدود ۳۰ درصد نان تولیدی کشور به صورت ضایعات از

نفوذناپذیری کامل ندارند و با گذشت زمان رطوبت از داخل بسته مواد غذایی (حاوی رطوبت بالا) خارج می‌شود که به کاهش کیفیت محصول می‌انجامد. در مورد مواد حساس به رطوبت نیز ورود رطوبت به داخل بسته موجب کاهش کیفیت این محصولات خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود وجود نانوذرات خاک رس درون فیلم‌های پلی‌اتیلنی از نفوذپذیری این فیلم‌ها به بخار آب می‌کاهد و ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی این فیلم‌ها را بهبود می‌بخشد. پژوهش‌های بسیاری در زمینه تولید انواع فیلم‌های نانو و بررسی ویژگی‌های مختلف این نوع بسته‌بندی‌ها شده است اما درباره کاربرد این نوع بسته‌بندی‌ها در ارتباط با مواد غذایی بالاخص نان، گزارش‌های تحقیقاتی اندکی به ثبت رسیده است. با در نظر گرفتن اینکه نان بربری یکی از پر مصرف‌ترین محصولات صنایع غذایی است که به علت فقدان بسته‌بندی مناسب ضایعات بالایی دارد، ضرورت اجرای این تحقیق توجیه می‌شود. بنابراین، هدف از این پژوهش عبارت است از بررسی تأثیر نانوذرات خاک رس، شرایط دمایی، و میزان متفاوت رطوبت نسبی بر نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن - خاک رس و تأثیر آن بر حفظ کیفیت، افزایش ماندگاری، و کاهش ضایعات نان بربری.

### مواد و روش‌ها

آرد ستاره با درجه استخراج ۸۸ درصد از کارخانه آسه آرد خراسان و مخمر خشک فعال از شرکت ایران ملاس فریمان تهیه شد. نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن - خاک رس با غلظت‌های مختلف نانوذرات رس نیز از پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و گاز نیتروژن با خلوص بالا (۹۹/۹ درصد) نیز از کارخانه اکسیژن خوراکیان مشهد تهیه گردید. میزان رطوبت نان به روش استاندارد ملی ایران به

ایجاد فساد کپکی و بیاتی نان تا حد زیادی جلوگیری کند. کامپوزیت عبارت است از یک شبکه پلیمری یا فاز پیوسته و یک پرکننده یا فاز گسسته (Matthews & Rawlings, 1994). اصطلاح نانوکامپوزیت به ترکیباتی اطلاق می‌شود که دست کم یک بعد از مواد فاز پر کننده آن کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد. (Arora & Padua, 2010). نانوذرات خاک رس به راحتی در بخش‌های مختلف تولید فیلم قابل استفاده است و از آن می‌توان به عنوان بازدارنده بسیار مطلوب در صنایع بسته‌بندی سود برد. ستاری و همکاران (Sattari *et al.*, 2009) تأثیر بسته‌بندی با فیلم‌های نانویی را بر ویژگی‌های ارگانولپتیکی و میکروبی نان قالبی بررسی نمودند. ستاری گزارش داد که با افزایش غلظت نانوذرات رس و نقره در ترکیب بسته‌های نانویی کیفیت و زمان ماندگاری نان افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت نانوذرات خاک رس، میزان نفوذپذیری فیلم‌های پلی‌اتیلنی کاهش و خواص ممانعت‌کنندگی آن افزایش می‌یابد. گرونلان و همکاران (Grunlan *et al.*, 2004) تأثیر غلظت‌های مختلف ذرات نانورس را بر نفوذپذیری پلی‌وینیل الکل اصلاح شده نسبت به گاز اکسیژن در رطوبت‌های نسبی مختلف بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش غلظت ذرات نانورس میزان نفوذپذیری پلی‌وینیل الکل به گاز اکسیژن کاهش می‌یابد. محققان دیگری نیز در بررسی‌های خود تأثیر کاهش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلیمری را با افزایش غلظت نانوذرات نشان داده‌اند (Arunvisut *et al.*, 2007; Frounchi *et al.*, 2006; Hotta & Pau, 2004; Lee *et al.*, 2005; Shafiee & Ramazani, 2008; Yeh *et al.*, 2009) حضور اکسیژن در بسته‌های نان موجب رشد کپک‌های هوازی و افت کیفیت نان می‌شود. پلی‌اتیلن سبک نفوذپذیری نسبتاً بالایی به گاز اکسیژن دارد. وجود نانوذرات خاک رس در شبکه پلیمری پلی‌اتیلن سبک باعث کاهش نفوذپذیری این فیلم‌ها به گاز اکسیژن می‌شود. همچنین فیلم‌های پلی‌اتیلنی نسبت به رطوبت نیز

اثرات تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۵</sup> در سطح اطمینان ۹۵ درصد ( $p < 0/05$ ) استفاده شد.

## نتایج و بحث

### تأثیر غلظت نانوذرات بر نفوذپذیری

#### نانوکامپوزیت‌های خاک رس

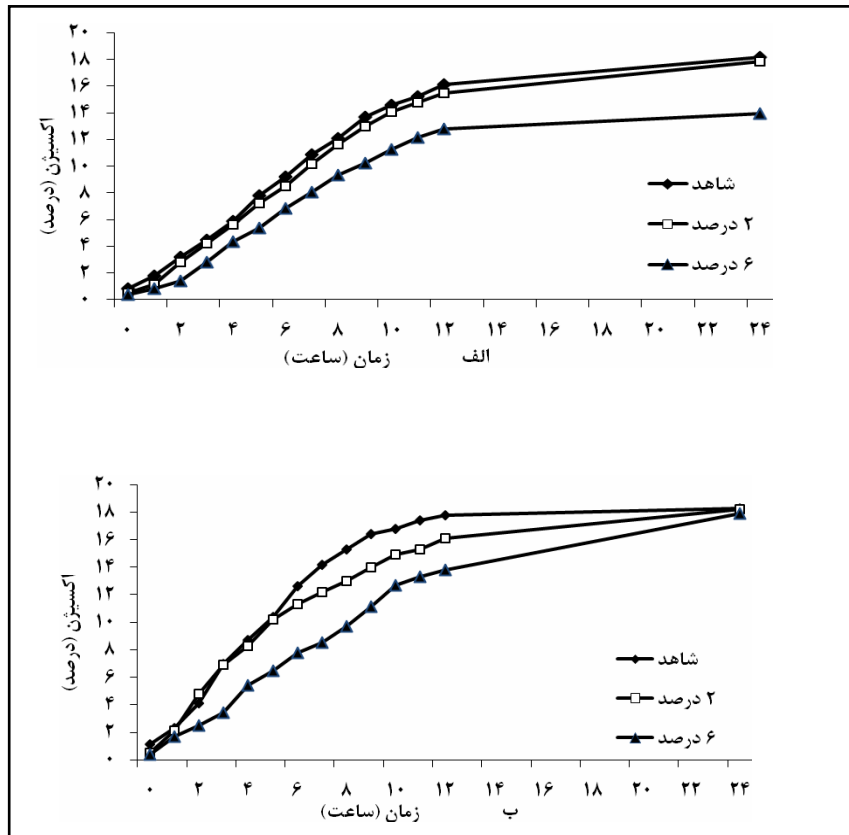
با افزایش غلظت نانوذرات خاک رس در نانوکامپوزیت‌ها، میزان نفوذپذیری این فیلم‌ها به گاز اکسیژن به صورت معنی‌داری کاهش یافت. شکل ۱، تغییرات میزان اکسیژن داخل بسته را در ۲۴ ساعت پس از بسته‌بندی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱ (الف و ب) با افزایش میزان نانوذرات خاک رس در شبکه پلیمری نفوذپذیری این فیلم‌ها به اکسیژن به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. محققان دیگر نتایجی مشابه در خصوص کاهش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌ها با افزایش غلظت نانوذرات گزارش کرده‌اند (Arunvisut *et al.*, 2007; Frounchi *et al.*, 2006; Hotta & Pau 2004, Lee *et al.*, 2005; Shafiee & Ramazani 2008; Yeh *et al.*, 2009) با توجه به جدول ۱، کاربرد ۲ درصد نانوذرات خاک رس در ساختمان نانوکامپوزیت‌ها تأثیر معنی‌داری بر کاهش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های خاک رس نشان نمی‌دهد در صورتی که غلظت ۶ درصد اثر معنی‌داری بر کاهش نفوذپذیری این فیلم‌ها دارد ( $p < 0/05$ ).

شماره ۲۷۰۵ اندازه‌گیری شد که برای این کار ابتدا از قسمت‌های مختلف نان قطعاتی جدا و سپس با آسیاب آزمایشگاهی آسیاب گردید. آنگاه ۵ گرم از نمونه در آون با دمای ۱۳۳ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت قرار داده شد و میزان رطوبت آن به دست آمد (Anon, 1988). برای تعیین میزان فعالیت آبی حدود ۳ گرم از نان آسیاب شده درون سل دستگاه سنجش فعالیت آبی<sup>۱</sup> گذاشته و میزان فعالیت آبی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس تعیین شد. میزان سفتی بافت نان بربری به عنوان پارامتر بیاتی طی زمان با دستگاه بافت سنج<sup>۲</sup> با مشخصات پروب استوانه‌ای دارای قطر خارجی ۲۵ میلی‌متر و ارتفاع ۱۸ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سرعت حرکت پروب ۳۰ میلی‌متر در دقیقه و نقطه شروع<sup>۳</sup> و میزان حرکت پروب به ترتیب ۰/۰۵ نیوتن و ۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد (Pourfarzad *et al.*, 2009). غلظت اکسیژن داخل بسته توسط دستگاه گاز آنالیزر<sup>۴</sup> اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها پس از بسته‌بندی برای ایجاد شرایط دمایی و رطوبت نسبی محیطی مختلف در دستگاه محفظه رشد با قابلیت تنظیم دما و رطوبت نسبی قرار داده شدند.

تجزیه آماری طرح در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات در دو غلظت ۲ و ۶ درصد همراه با فیلم پلی‌اتیلنی معمولی به عنوان شاهد، ۳ سطح دمایی نگهداری و ۲ سطح رطوبت نسبی محیط نگهداری بود. برای مقایسه میانگین‌ها و بررسی

1-Water Activity Meter (Novasina ms1-aw, Axair Ltd., Switzerland)  
3-Trigger point  
5-Duncan's new multiple range test

2-QTS texture analyzer (CNS Farnell, Hertfordshire, UK)  
4-Gas analyzer (oxybaby V-system wittgas co.)



شکل ۱- تأثیر غلظت نانوذرات بر نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس (الف: رطوبت نسبی ۷۵ درصد و دمای ۴۰ درجه سلسیوس ب: رطوبت نسبی ۷۵ درصد و دمای ۱۰ درجه سلسیوس)

جدول ۱- تأثیر غلظت نانوذرات بر تغییرات غلظت گاز اکسیژن درون بسته‌های نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس

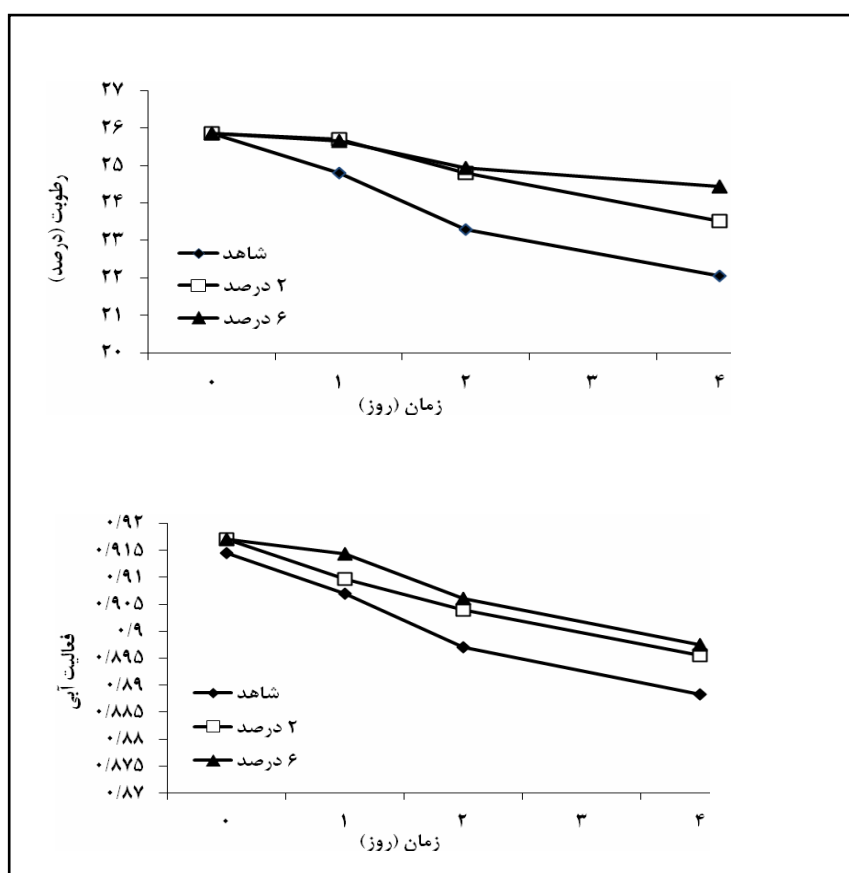
زمان (ساعت)	غلظت نانوذرات خاک رس	۰	۶	۱۲	۲۴
الف (رطوبت نسبی ۷۵ درصد و دمای ۴۰ درجه سلسیوس)	۰ درصد (شاهد)	۰/۸ a	۹/۲۰ a	۱۶/۱ a	۱۸/۲ a
	۲ درصد	۰/۵ a	۸/۵۳ a	۱۵/۵ a	۱۷/۸ a
	۶ درصد	۰/۴ a	۶/۸۳ b	۱۲/۸ b	۱۳/۹ b
ب (رطوبت نسبی ۷۵ درصد و دمای ۱۰ درجه سلسیوس)	۰ درصد (شاهد)	۱/۱ a	۱۲/۶ a	۱۷/۸ a	۱۸/۳ a
	۲ درصد	۰/۵ a	۱۱/۳ a	۱۶/۱ ab	۱۸/۲ a
	۶ درصد	۰/۴ a	۷/۸ b	۱۳/۸ b	۱۷/۹ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

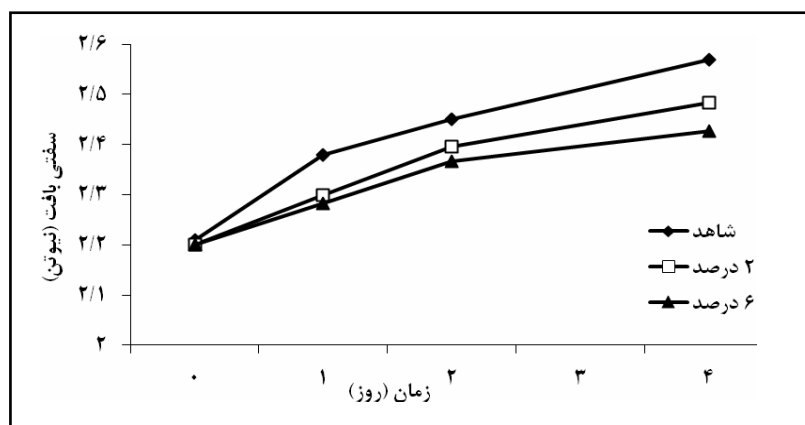
نانوذرات رس تأثیر معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) بر تغییرات فعالیت آبی نان در دوره نگهداری داشته است. نانوذرات با قرار گرفتن در بین منافذ موجود در ساختمان فیلم‌های پلی‌اتیلنی موجب افزایش معنی‌دار مقاومت این فیلم‌ها در برابر رطوبت می‌شوند. با افزایش غلظت نانوذرات رس، تغییرات سفتی بافت نان که به عنوان فاکتور بیاتی ارزیابی گردید، کاهش می‌یابد.

بین افزایش غلظت نانوذرات، تغییرات رطوبت، و تغییرات سفتی بافت همبستگی بالایی ( $R^2 = 0.95$ ) مشاهده می‌شود. شکل ۳ نیز تأثیر غلظت نانوذرات را بر میزان تغییرات سفتی بافت نان نشان می‌دهد. کاهش سرعت تغییرات سفتی بافت را احتمالاً می‌توان به توانایی نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن - خاک رس در حفظ بهتر رطوبت داخل بسته‌های نان نسبت داد.

برای ارزیابی میزان نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌ها به رطوبت، از روش غیرمستقیم و با اندازه‌گیری میزان تغییرات رطوبت و فعالیت آبی نمونه در دوره نگهداری استفاده شد. با افزایش غلظت نانوذرات در نمونه‌ها میزان تغییرات رطوبت نان بسته‌بندی شده کاهش یافت. یکی از عوامل موثر در بیاتی نان حرکت رطوبت از مغز به پوسته و سپس خروج از نان است (Avital et al., 1990; Kulp & Ponte, 1981; Morad & D'Appolonia, 1980). شکل ۲، میزان تغییرات رطوبت و فعالیت آبی نان بربری را در بسته‌بندی‌های نانوکامپوزیتی نشان می‌دهد. جدول ۲ نشان می‌دهد که استفاده از ۲ و ۶ درصد نانوذرات خاک رس در ساختمان نانوکامپوزیت‌ها تأثیر معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) بر کاهش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌ها به رطوبت دارد. شکل ۲ نیز نشان می‌دهد که فیلم‌های حاوی ۲ و ۶ درصد



شکل ۲- تأثیر غلظت نانوذرات بر تغییرات رطوبت و فعالیت آبی نان (رطوبت نسبی ۳۰ درصد و دمای ۴۰ درجه سلسیوس)



شکل ۳- تأثیر غلظت نانوذرات بر تغییرات سفتی بافت نان (رطوبت نسبی ۳۰ درصد و دمای ۱۰ درجه سلسیوس)

جدول ۲- تأثیر غلظت نانوذرات بر تغییرات رطوبت و فعالیت آبی و سفتی بافت نان در دوره نگهداری

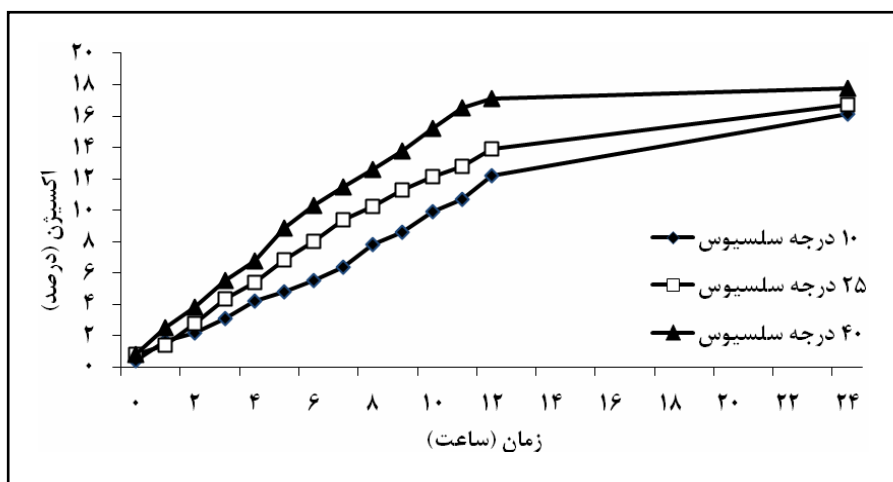
روز ۴	روز ۲	روز ۱	روز ۰	غلظت نانوذرات خاک رس	
۲۲/۰۶ a	۲۳/۳ a	۲۴/۷۹ a	۲۲/۵ a	۰ درصد (شاهد)	رطوبت نان
۲۳/۵۱ ab	۲۴/۷۹ b	۲۵/۶۹ b	۲۲/۸۵ a	۲ درصد	
۲۴/۴۳ b	۲۴/۹۴ b	۲۵/۶۶ b	۲۲/۸۵ a	۶ درصد	
۰/۸۸۸ a	۰/۸۹۷ a	۰/۹۰۷ a	۰/۹۱۵ a	۰ درصد (شاهد)	فعالیت آبی
۰/۸۹۶ b	۰/۹۰۴ b	۰/۹۱۰ ab	۰/۹۱۷ a	۲ درصد	
۰/۸۹۸ b	۰/۹۰۶ b	۰/۹۱۴ b	۰/۹۱۷ a	۶ درصد	
۲/۵۷ b	۲/۴۵ b	۲/۳۸ b	۲/۲۱ b	۰ درصد (شاهد)	سفتی بافت
۲/۴۸ ab	۲/۳۹ a	۲/۳ a	۲/۲ b	۲ درصد	
۲/۴۳ a	۲/۳۷ a	۲/۲۸ a	۲/۲ b	۶ درصد	

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

داده‌اند. در شکل ۴ دیده می‌شود دماهای بالا ( $< 25$  درجه سلسیوس) تأثیر معنی‌داری بر نفوذپذیری نانوکامپوزیت-های پلی‌اتیلن - خاک رس به اکسیژن و رطوبت دارند. در جدول شماره ۳ نیز نشان داده شده است که افزایش دما تأثیر معنی‌داری بر افزایش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن - خاک رس به اکسیژن دارد ( $p < 0.05$ ). با افزایش دما میزان خروج آب از بافت نان افزایش می‌یابد در نتیجه مغز نان سفت‌تر می‌شود. بنابراین، افزایش دما هم با افزایش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌ها و هم با خروج رطوبت از نان موجب تسریع بیاتی نان خواهد شد.

### تأثیر دما بر نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های خاک رس و تأثیر آن بر کیفیت نان بسته‌بندی شده

با افزایش دما، میزان نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های خاک رس به اکسیژن افزایش می‌یابد که در شکل ۴ نشان داده شده است. نفوذپذیری فیلم‌های پلیمری به گازها مکانیسمی فعال وابسته به دماست و از معادله آرنیوس پیروی می‌کند (Wang et al., 1998). با توجه به شکل ۴، با افزایش دما میزان غلظت گاز اکسیژن درون بسته با سرعت بیشتری افزایش یافته است. وانگ و همکاران (Wang et al., 1998) نیز نتایج مشابهی در مورد تأثیر دما بر افزایش نفوذپذیری فیلم‌های پلیمری به اکسیژن ارائه



شکل ۴ - تأثیر دما بر افزایش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های خاک رس به گاز اکسیژن (نانوکامپوزیت با غلظت ۶ درصد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد)

جدول ۳- تأثیر دما بر تغییرات غلظت گاز اکسیژن درون بسته‌های نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس

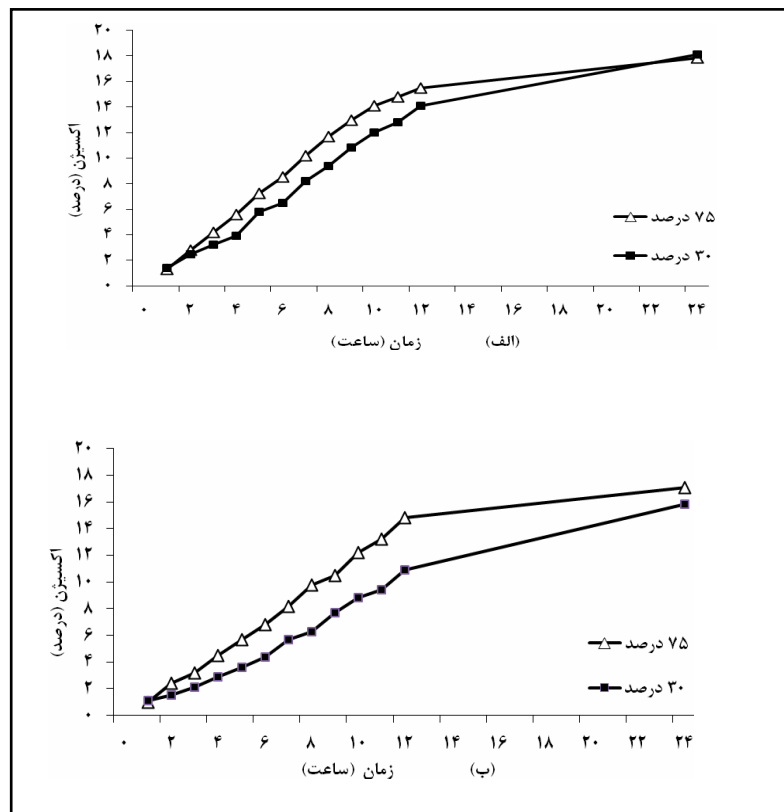
زمان (ساعت)	دمای نگهداری	۰	۶	۱۲	۲۴
غلظت ۶ درصد نانوذرات و رطوبت نسبی ۷۵ درصد	۱۰ درجه سلسیوس	۰/۴a	۵/۵ a	۱۲/۲ a	۱۶/۱ a
	۲۵ درجه سلسیوس	۰/۸ a	۸/۰۳ ab	۱۳/۹۳ a	۱۶/۷ a
	۴۰ درجه سلسیوس	۰/۸ a	۱۰/۳۰ b	۱۷/۱۰b	۱۷/۸ b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

### تأثیر رطوبت نسبی محیط بر نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های خاک رس

شکل ۵ تأثیر رطوبت نسبی محیط را بر تغییرات نفوذپذیری فیلم‌های نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس نشان می‌دهد. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که افزایش رطوبت نسبی محیط به افزایش تغییرات غلظت گاز اکسیژن درون بسته‌های نان بربری طی ۲۴ ساعت نگهداری می‌انجامد. در رطوبت نسبی بالا، نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس به گاز اکسیژن

افزایش می‌یابد. در غلظت‌های پایین نانوذرات رطوبت نسبی محیط تأثیر معنی‌داری بر نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌ها ندارد اما در غلظت‌های بالا (۶ درصد)، با افزایش میزان رطوبت نسبی محیط سرعت تغییرات غلظت گاز اکسیژن داخل بسته افزایش می‌یابد. در جدول ۴، دیده می‌شود که در غلظت‌های بالای نانوذرات، افزایش رطوبت نسبی محیط تأثیر معنی‌داری بر افزایش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن سبک - خاک رس دارد ( $p < 0.05$ ).



شکل ۵ - تأثیر رطوبت نسبی محیط بر نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس (الف: غلظت ۲ درصد نانوذرات رس و دمای ۱۰ درجه سلسیوس ب: غلظت ۶ درصد نانوذرات رس و دمای ۱۰ درجه سلسیوس)

جدول ۴- تأثیر رطوبت نسبی محیط بر تغییرات غلظت گاز اکسیژن درون بسته‌های نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس

زمان (ساعت)	رطوبت نسبی محیط				غلظت نانوذرات رس و دمای (درجه سلسیوس)
	۲۴	۱۲	۶	۰	
الف (غلظت ۲ درصد نانوذرات رس و دمای ۱۰ درجه سلسیوس)	۱۸/۱ a	۱۴/۱ a	۶/۵ a	۰/۶ a	۳۰ درصد
	۱۷/۸ a	۱۵/۵ a	۸/۵۳ b	۰/۸ a	۷۵ درصد
ب (غلظت ۶ درصد نانوذرات رس و دمای ۱۰ درجه سلسیوس)	۱۵/۸ a	۱۰/۹ a	۴/۴ a	۰/۴ a	۳۰ درصد
	۱۷/۱ b	۱۴/۸ b	۶/۸ b	۰/۷ a	۷۵ درصد

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

## نتیجه‌گیری

ممانعت‌کنندگی در این فیلم‌ها می‌شود. نفوذپذیری فیلم‌ها طبق مدل آرنیوس وابسته به دماست و افزایش دما موجب افزایش نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس به اکسیژن و رطوبت می‌شود. خروج رطوبت از بافت نان که با بالا رفتن دما افزایش می‌یابد، موجب تسریع فرایند بیاتی در

با افزایش غلظت نانوذرات خاک رس، نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - خاک رس به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. ذرات رس به علت ابعاد بسیار کوچکی که دارند، در بین منافذ موجود در ساختمان فیلم‌های پلی اتیلنی قرار می‌گیرند و باعث افزایش ویژگی



نان می‌شود. افزایش مقاومت نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن - خاک رس در برابر عبور بخار آب به حفظ کیفیت نان بسته‌بندی شده می‌انجامد که در این فیلم‌ها نگهداری می‌شوند.

## مراجع

- Anon, 1988. Determination of Moisture Content of Cereals and Cereal Products. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. ISIRI. No. 2705. (in Farsi)
- Arora, A. and padua, G.W. 2010. Review: Nanocomposites in Food Packaging . J. Food. Sci. 75(1): 43-49.
- Arunvisut, S., Phummanee, S. and Somwangthanaroj, A. 2007. Effect of Clay on Mechanical and Gas Barrier Properties of blown film LDPE/clay Nanocomposites. J. Appl. Polym. Sci. 106, 2210-2217.
- Avital, Y., Mannheim, C.H. and Miltz, J. 1990. Effect of Carbon Dioxide Atmosphere on Staling and Water Relations in Bread. J. Food. Sci. 55(2): 413-416.
- Frounchi, M., Dadbin, S., Salehpour, Z. and Noferesti, M. 2006. Gas barrier properties of PP/EPDM blend nanocomposites. J. Memb. Sci. 282, 142-148.
- Grunlan, J.C., Grigorian, A., Hamilton, C.B. and Mehrabi, A.R. 2004. Effect of Clay Concentration on the Oxygen Permeability and Optical Properties of a Modified Poly (vinyl alcohol). J. Appl. Polym. Sci. 93, 1102-1109.
- Hotta, S. And Pau, D.R. 2004. Nanocomposites formed from linear low density polyethylene and organoclays. Polym. 45(22): 7639-7654.
- Kulp, K. and Ponte, J.G. 1981. Staling of white pan bread: Fundamental causes. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.. 15(1): 1-48.
- Lee, J.H., Jung, D., Hong, C.E., Rhee, K.Y. And Advanil, S.G. 2005. Properties of polyethylene-layered silicate nanocomposites prepared by melt intercalation with a PP-g-MA compatibilizer. Compos. Sci. Technol. 65(13): 1996-2002.
- Matthews, F.L. and Rawlings, R.D. 1994. Composite materials: engineering and science. Chapman and Hall. London.
- Morad, M.M. and D'Appolonia, B.L. 1980. Effect of surfactants and baking procedure on total water solubles and soluble starch in bread crumbs. Cereal Chem. 57(2): 141.
- Pourfarzad, A., Haddad khodaparast, M.H., Karimi, M., Mortazavi, S.A., Ghiafeh Davoodi, M., Hematian Sourki, A. and Razavizadegan Jahromi, S.H. 2009. Effect of polyols on shelf life and quality of flat bread fortified with soy flour. J. Food. Process. Eng. (in press).
- Qarooni, J. 1990. Flat breads. AIB Research Department Technical. Bulletin. 12(12): 1-6.
- Sattari Najaf Abadi, M., Minaee, S., Azizi, M.H. and Afshari, H. 2009. The effect of nano packaging films on microbial and organoleptic characteristics of bread. Nut. Sci & Food Technol. 4(4): 65-74. (in Farsi)
- Shafiee, M.A. and Ramazani. S.A. 2008. Investigation of Barrier Properties of Poly(ethylene vinyl acetate)/Organoclay Nanocomposite Films Prepared by Phase Inversion Method. Macromol. Symp 274, 1-5.
- Shahedi, M. 2004. Bread and its loss reduction strategies. Proceeding of the First congress of Prevention methods of waste of national resources. The Academy of Sciences of Islamic Republic of Iran. (in farsi)
- Wang, Y., Easteal, A.J. and Chen, X.D. 1998. Ethylene and oxygen permeability through polyethylene packaging films. Packag. Technol. Sci. 11, 169-178.
- Yeh, J.T., Chang, C.J., Tsai, F.C., Chen, K.N. and Huang, K.S. 2009. Oxygen barrier and blending properties of blown films of blends of modified polyamide and polyamide-6 clay mineral nanocomposites. Appl. Clay. Sci. 45, 1-7.



## Effects of LDPE/clay Nanocomposites on the Quality and Shelf Life of Barbari Flat Bread

**A. Hematian Sourki<sup>\*</sup>, F. Tabatabaei Yazdi, M. Ghiafeh Davoodi and S. A. Mortazavi**

<sup>\*</sup> Corresponding Author: Ph.D. Student of Ferdowsi University of Mashhad, Department of Food Science and Industry, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran. E-Mail: hematian1364@gmail.com

Received: 17 August 2010, Accepted: 23 April 2011

Barbari is a common Iranian flat bread that has a short shelf life. The effect of low density polyethylene/clay nanocomposite film was investigated for the package and shelf life of the flat bread when stored at different temperatures and relative humidities with different percentages of nanoparticles. Nanoclay concentrations of 2% and 6% were used for the nanocomposite and pure polyethylene was used as a control. Bread packages were stored at 10°, 25° and 40° C and 30% and 75% relative humidity for four days and then the quality of the bread and changes in the concentration of oxygen inside the packages were analyzed. The results showed that the permeability of nanocomposite films decreased as the percentage of nanoparticles increased. Increasing the temperature increased the permeability, reduced the quality of bread and the rate of oxygen penetration into the packages and removed moisture from the packages, causing hardening of the bread texture.

**Keywords:** Bread, Low density polyethylene/clay nanocomposite, Packaging, Permeability, Staleness