تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۰/ شماره ۷۱/پاییز و زمستان ۱۴۰۰/ص ۲۰۶-۱۸۹

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

بررسی اثر ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی و ضد میکروبی فیلم تجزیه‌پذیر بر پایهٔ ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر حاوی اسانس آویشن در بسته‌بندی نان پیتا

مهسا میرحسینی مقدم[۱]، انوشه شریفان[۲*]، سید مهدی سیدین اردبیلی[۲]

۱ و ۲- به ترتیب کارشناسی ارشد؛ و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۳/۴؛ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۴/۲۱

چکیده

در مطالعهٔ حاضر، فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ پروتئین آب‌پنیر (WPI) حاوی صفر، ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد اسانس آویشن تهیه شد و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (ضخامت، شاخص تورم، انحلال‌پذیری در آب، قابلیت نفوذ بخار آب، پارامترهای رنگی، مقدار فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی) و خصوصیات مکانیکی (مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول) فیلم‌ها و همچنین فعالیت ضدمیکروبی علیه *پنی‌سیلیوم کرایزوژنوم* (نان پیتای نگهداری شده در دمای محیط به مدت ۷ روز) و کیفیت حسی نان پیتای بسته‌بندی شده ارزیابی گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد به‌کارگیری اسانس آویشن در داخل فیلم‌های بر پایهٔ پروتئین آب‌پنیر به طور معنی‌داری ($p<0.05$) ضخامت، درصد ازدیاد طول و شاخص زردی (b*) فیلم‌ها را افزایش می‌دهد. اسانس آویشن به طور معنی‌داری ($p<0.05$) شاخص تورم، انحلال‌پذیری در آب، قابلیت نفوذ بخار آب، شاخص‌های L* و a* و مقاومت کششی فیلم‌های فعال را کاهش می‌دهد. افزایش سطح اسانس آویشن باعث افزایش معنی‌دار ($p<0.05$) میزان ترکیبات فنولی و همچنین کاهش معنی‌دار ($p<0.05$) شاخص نیمه حداکثر غلظت بازدارندگی (IC50) فیلم‌های خوراکی پروتئین آب‌پنیر شد. نتایج فعالیت ضدقارچی نشان داد رشد کپک وابسته به غلظت اسانس آویشن در فیلم‌هاست. افزایش غلظت اسانس آویشن منجر به کاهش معنی‌دار ($p<0.05$) رشد کپک *پنی سیلیوم کرایزوژنوم* در نان پیتا طی مدت زمان نگهداری شد. بر مبنای نتایج به دست آمده از ارزیابی حسی، نان پیتای بسته‌بندی شده با فیلم‌های فعال پروتئین آب‌پنیر حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن دارای بالاترین امتیاز حسی بودند اما نان بسته‌بندی شده با فیلم‌های پروتئین آب‌پنیر شاهد کمترین امتیاز حسی را از لحاظ پذیرش کلی داشتند.

واژه‌های کلیدی

***پنی‌سیلیوم کرایزوژنوم*، فیلم خوراکی، نگهدارندهٔ طبیعی**

مقدمه

امروزه تمایل مصرف کننده به غذاهایی با نگهدارنده‌های کمتر، حداقل فرآوری، تهیهٔ آسان و آمادهٔ مصرف، الزامات استفاده از مواد و تکنولوژی متفاوت را فراهم آورده‌است (Alavi *et al.*, 2014). بسته‌بندی فعال با همین هدف طراحی شده است. در این بسته‌بندی‌ها، در نتیجه برهم کنش مادهٔ غذایی با اتمسفر بسته‌بندی، کیفیت حسی مادهٔ

* نگارنده مسئول: Email: a_sharifan2000@yahoo.com

http://doi: 10.22092/fooder.2021.126440.1222

© 2021,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

غذایی حفظ می‌شود و سلامت آن در خطر نمی‌افتد. بسته‌بندی‌های فعال می‌توانند جاذب اکسیژن، جاذب رطوبت، جاذب پرتو ماورابنفش باشند، به امواج ماکروویو تراوا باشند و در عین حال از ویژگی‌های ضدمیکروبی نیز برخوردار باشند (Hrnjak-Murgić *et al.*, 2015). در انتخاب مواد ضدمیکروبی برای بسته‌بندی مواد غذایی، باید مواردی مانند نوع میکروارگانیسمی یامیکروارگانیسم‌هایی که قرار است ماده غذایی در برابر آن محافظت شود و همچنین برهم کنش بین مواد پلیمری و ترکیبات ضدمیکروبی بسته‌بندی و مواد غذایی درون بسته‌بندی در نظر گرفته شود (Han, 2003). از مواد ضد میکروبی طبیعی اسانس‌های گیاهان هستند که اثر نگهداری و پیشگیری از فساد مواد غذایی آنها از دوران باستان برای انسان به خوبی شناخته شده است (Burt, 2004). امروزه گیاهان دارویی، از گیاهان مهم از نظر اقتصادی هستند که به صورت خام یا فرآوری شده در طب سنتی و مدرن صنعتی استفاده می‌شوند. اعلام سازمان بهداشت جهانی مبنی بر استفاده نکردن از رنگ‌ها و اسانس‌های سنتتیک و عوارض جانبی داروهای مصنوعی در سال‌های اخیر باعث رونق کشت و صنعت گیاهان دارویی شده است.

آویشن با نام علمی *Thymus vulgaris* از خانواده نعنایان است که اسانس زرد رنگ آن حاوی ترکیباتی مانند تیمول، کارواکرول و ۱ و ۸ سینئول است. ویژگی‌های ضد میکروبی اسانس کامل آویشن از هر یک از این ترکیبات به تنهایی بیشتر است که نشان دهندهٔ خاصیت سینرزیستی هر یک از این ترکیبات شیمیایی با یکدیگر است (Aghel *et al.*, 2009; Bagamboula *et al.*, 2004).

متأسفانه بیشتر پلیمرهای سنتزی مورد استفاده در بسته‌بندی‌های میکروبی تجزیه‌ناپذیر هستند؛ با توجه به آلودگی محیط زیست ناشی از مواد پلاستیکی غیر قابل تجزیه، تولید فیلم‌های خوراکی و تجزیه‌پذیر توجه زیادی را به خود جذب کرده‌است. این فیلم‌ها لایهٔ خوراکی از پیش تهیه شده هستند که به‌عنوان بخشی از غذا همراه آن مصرف می‌شوند مواد تشکیل دهنده این فیلم‌ها معمولاً بر پایهٔ ترکیبات طبیعی و پایدار مثل پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و مایعات یا مخلوطی از آنها هستند (Zhong *et al.*, 2017; Feng *et al.*, 2018). پروتئین‌ها نقش مهمی در مواد تشکیل دهندهٔ فیلم به دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی و همچنین ارزش تغذیه‌ای آنها دارند (Su *et al.*, 2011). در این میان به‌طور خاص، از پروتئین آب‌پنیر[1] می‌توان فیلم‌های انعطاف‌پذیر و شفاف را با ممانعت کنندگی عالی گاز و ترکیبات معطر و روغن، نسبت به فیلم‌های تولید شده از پلی‌ساکاریدها و چربی‌ها تهیه کرد (Feng *et al.*, 2018). تحقیقات زیادی در زمینهٔ فیلم‌های تجزیه‌پذیر شده است، اما به کار بردن اسانس گیاه معطر آویشن در فیلم‌های خوراکی می‌تواند به‌رغم جایگزین شدن مواد نگهدارندهٔ مصنوعی، سبب ایجاد عطر و طعم دلچسب در نان و افزایش بازارپسندی آن گردد. هدف از این تحقیق بررسی اثر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ضدمیکروبی فیلم تجزیه‌پذیر بر پایهٔ ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر حاوی اسانس آویشن در بسته‌بندی نان پیتا است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

ایزوله پروتئین آب‌پنیر (DI-9224) با خلوص ۹۲ درصد و چربی و لاکتوز کمتر از ۲ درصد از شرکت Food Arla Ingredient -دانمارک) تأمین گردید. اسانس آویشن از شرکت کیمیا عصاره

1- Whey protein isolate (WPI)

(کاشان، ایران) خریداری شد و سایر مواد شیمیایی با درجهٔ خلوص آزمایشگاهی از شرکت Merck آلمان تهیه گردید. آرد کامل گندم (شرکت آرد نادر، ایران)، نمک خوراکی (شرکت گلها، ایران)، مخمر خشک فعال (سازمان پژوهش‌های صنعتی، ایران)، روغن (شرکت آفتاب، ایران) تهیه شد.

تهیهٔ فیلم WPI حاوی اسانس آویشن

ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر به کمک همزن مغناطیسی (IKA - آلمان) در آب مقطر به مدت یک ساعت حل شد تا محلول ۱۰ درصد از آن تهیه شود، محلول به‌دست آمده در حمام آب گرم ۹۰ درجه سلسیوس (شیماز -ایران) به مدت ۳۰ دقیقه به منظور دناتوره شدن پروتئین‌های آن، حرارت داده شد. پس از خنک شدن محلول تا دمای اتاق، pH آن با سود ۰/۱ نرمال روی ۷ تنظیم شد. گلیسرول به نسبت وزنی گلیسرول/پروتئین برابر ۱ و همچنین ۱ میلی‌لیتر اسانس آویشن با استفاده از پیپت مدرج کلاس A به محلول فوق اضافه شد. محلول تهیهٔ فیلم با پمپ خلأ گازگیری شد و فیلم‌ها با ریختن ۱۲ گرم از این محلول در پلیت‌های شیشه‌ای به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و قرار دادن این پلیت‌ها روی سطحی صاف، قالب‌گیری شدند، پس از ۲۴ تا ۴۸ ساعت در دمای اتاق، فیلم‌های خشک شده مانند یک ورقه از سطح پلیت جدا و در یک دسیکاتور با رطوبت ۵± ۵۰ درصد و دمای ۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت برای دنبال‌کردن آزمایش‌ها نگهداری شدند (Shaw *et al.*, 2002).

تهیهٔ نان پیتا

آرد کامل گندم، نمک خوراکی، مخمر خشک فعال، روغن و آب (با دمای محیط) مواد سازنده نان پیتا هستند. مواد خشک در مخزن خمیرگیر قرار داده شد و پس از چند دقیقه همزدن، به آن آب و روغن افزوده شد. برای اختلاط کامل آرد و آب و تشکیل تودهٔ فرم پذیر، خمیر به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه میکسر هم زده شد. خمیر به‌صورت یکنواخت با لایه روغن پوشانده شد و تخمیر اولیه به مدت نزدیک به ۴۵ دقیقه صورت گرفت. پس از آن، خمیر تحت تأثیر فشار قرار گرفت (پرسینگ) تا گازهای محبوس خارج شوند و بعد از این مرحله چانه‌گیری شد و چانه‌ها در اتاقک تخمیر گذاشته شدند و به مدت ۲۰ دقیقه در رطوبت نسبی ۸۰ درصد و در دمای ۳۰ درجه تخمیر نهایی صورت پذیرفت. ورقه های خمیر با ضخامت ۰/۵ سانتی متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر در فر مخصوص پخت نان پیتا مجهز به سیستم بخار آب با دمای ۴۲۰ درجه سلسیوس گذاشته شدند. مدت زمان پخت حدود ۵-۳ دقیقه در نظر گرفته شد. نان‌ها، پس از خنک شدن، در سلفون قرار گرفتند و با دستگاه Peking بسته‌بندی شدند (Borsuk *et al.*, 2012).

آزمون خصوصیات بافتی فیلم‌ها

خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها از جمله مقاومت در مقابل کشش، درصد کشش و مدول یانگ فیلم‌ها با استفاده از دستگاه اینستران برابر دستورالعمل Probesو Guide ارزیابی شد. کشش و مدول یانگ آزمون‌های مقاومت در مقابل کشش و درصد کشش فیلم‌ها با استفاده از سل ۵۰ کیلوگرمی تعیین شد. فاصلهٔ فک‌ها از یکدیگر ۵۰ میلی‌متر و سرعت فک‌ها ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه تا نقطه شکست فیلم ثبت شد (AACC, 1983).

آزمون قابلیت نفوذ بخار

برای اجرای این آزمون، از فنجان‌های شیشه‌ای با قطر داخلی ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر استفاده شد. فنجان‌ها حاوی ۸ میلی‌لیتر آب مقطر بودند که رطوبت ۷۵ درصد را در فضای داخل فنجان

ایجاد کند. این فنجان‌ها حاوی کلرید کلسیم بدون آب[1] تهیه شده از شرکت Merck آلمان به وسیله فیلم‌های مورد نظر پوشانده شدند. در مرحلهٔ بعد، این ظروف با پارا فیلم دربندی شدند. با توجه به اختلاف وزن ظرف‌ها و طبق روش حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2009) میزان قابلیت نفوذ به بخار آب سنجیده شد.

آزمون انحلال‌پذیری

ابتدا فیلم با ابعاد ۴×۴ سانتی‌متر مربع در آون با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به منظور رسیدن به وزن ثابت خشک رسیده و وزن شد. نمونه‌های خشک شده در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تحت شرایط ثابت همزده شدند. بعد ازاین مدت، قطعات فیلم با کاغذ صافی از آب جدا و پس از خشک شدن در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس وزن شدند. میزان انحلال‌پذیری برابر روش تقی و همکاران (Taqi *et al.*, 2013) از روی اختلاف وزن گزارش شد.

آزمون شفافیت

ابتدا نمونه‌های فیلم مستطیل شکل (۲۰×۴۰ میلی‌متر) در داخل ظرف حاوی نیترات منیزیم (رطوبت نسبی ۵۳ درصد) قرار داده شدند و پس از تعادل رطوبت روی سل دستگاه اسپکتروفتومتر با چسب نواری شفاف چسبانده و در داخل دستگاه اسپکتروفتومتر گذاشته شدند. عدد مورد نظر در ۵۶۰ نانومتر قرائت شد (Tunç & Duman, 2007).

آزمون ضخامت

ضخامت هریک از فیلم‌ها با میکرومتر دیجیتال در ۵ نقطه مختلف از فیلم به طور تصادفی انتخاب و تعیین شد. میانگین این نقاط به صورت ضخامت بیان گردید (Emam-Djomeh *et al.*, 2015).

تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها

بیست و پنج میلی‌گرم از هر نمونه فیلم در ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه به آرامی هم زده شد و ۰/۱ میلی‌لیتر محلول فیلم به ۳/۹ میلی‌لیتر محلول DPPH تهیه شده از شرکت Merck آلمان افزوده شد. بعد از این مرحله، لوله‌های آزمایش به مدت ۶۰ دقیقه در اتاق تاریک نگهداری شدند. میزان جذب نمونه در مقابل متانول خالص و در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. درجهٔ بی رنگ شدن این ترکیب بیانگر قدرت به‌دام اندازی رادیکال آزاد توسط اسانس است. درصد مهار از روی مقدار جذب نمونه و جذب شاهد محاسبه شد و از روی آن IC50 نمونه‌ها محاسبه شد (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2013).

تعیین میزان فنول کل

برای اندازه‌گیری ترکیبات فنولی کل، از معرف فولین سیوکالتیو استفاده شد؛ ۲۵ میلی‌گرم از هر نمونه فیلم در ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه به آرامی هم زده شد و سپس محلول اسانس (۰/۱ میلی‌لیتر)، آب مقطر (۷ میلی‌لیتر) و معرف فولین سیو کالتیو (۰/۵ میلی‌لیتر) مخلوط و به مدت ۸ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شدند و بعد از این مرحله ۱/۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم (۲ درصد وزنی/حجمی) اضافه و حجم مخلوط نهایی با آب مقطر به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. لوله‌های آزمایش در دمای اتاق به مدت ۲ ساعت نگهداری شدند و میزان جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و میزان ترکیبات

1- Calcium Chloride anhydrous

فنولی محاسبه گردید (Siripatrawan *et al.*, 2010).

بررسی اثر ضد کپک فیلم WPI حاوی عصارهٔ آویشن

برای این منظور ابتدا سوش کپک مورد نظر روی محیط کشت ME (۰/۴ درصد عصارهٔ مالت، ۱ درصد گلوکز، ۰/۱ درصد عصارهٔ مخمر) کشت داده شد و در ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ روز گرمخانه‌گذاری شدند؛ سطح برش‌های نان، که به صورت لایه‌ای بین آنها قطعات فیلم WPI حاوی عصارهٔ آویشن قرار داشتند، با ۱۰ میکرولیتر از سوسپانسیون حاوی اسپورهای کپک *پنی‌سیلیوم کرایزوژنوم* تلقیح داده شدند؛ این برش‌ها در بسته بندهای نایلونی پلی‌اتیلنی درز بندی شدند در دمای محیط قرار گرفتند.

رشد کپک به صورت چشمی بعد از ۲ و ۴ روز بررسی شد. قطر کلونی‌ها روی سطح نان بعد از ۷ روز اندازه‌گیری شد. به کمک میکروسکوپ الکترونیکی از کلونی‌ها عکس برداری شد (Suhr & Nielsen, 2003; Krisch *et al.*, 2013).

آزمون حسی

برای ارزیابی حسی، شاخص‌هایی مانند طعم و مزه، بو و پذیرش کلی از روش هدونیک ۵ امتیازی با کمک ۵ داور آموزش دیده استفاده گردید و امتیاز بندی کلی حاصل از مجموع امتیازات داده شده به شاخص‌های حسی (در سطوح ارزیابی یک تا پنج؛ ۱: خیلی ضعیف؛ ۲: ضعیف؛ ۳: متوسط؛ ۴: خوب و ۵: خیلی خوب) صورت گرفت (Lawless & Heymann, 2010).

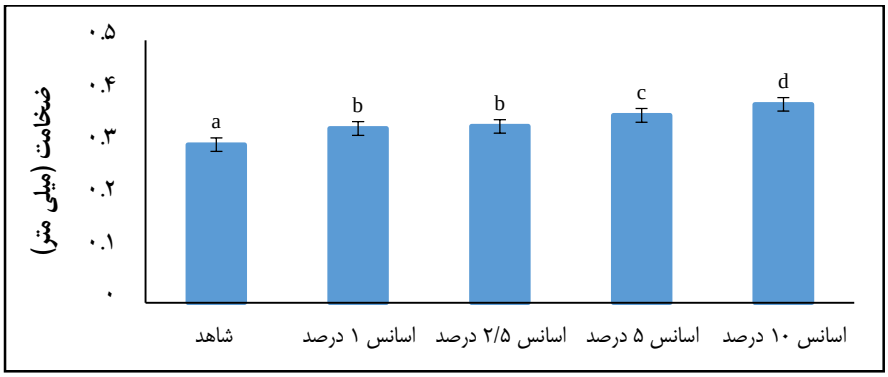
تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (۱۵ تیمار) اجرا شد. نتایج حاصل از آزمایش‌های فیزیکی و میکروبی به منظور بررسی اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها از طریق تحلیل واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار SPSS.22 صورت پذیرفت و برای مقایسهٔ میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($p<0.05$) و برای رسم شکل‌ها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد

نتایج و بحث

ارزیابی نتایج تأثیر اسانس آویشن بر ضخامت فیلم خوراکی بر پایهٔ WPI

نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت اسانس آویشن از ۱ به ۱۰ درصد ضخامت فیلم‌ها به طور معنی‌داری ($p<0.05$) افزایش می‌یابد، به طوری که کمترین میزان ضخامت مربوط به تیمار شاهد و بالاترین ضخامت مربوط به فیلم WPI حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن است. احتمالاً استفاده از اسانس آویشن در ساختار فیلم‌های WPI تولیدی سبب ایجاد بافتی اسفنجی می‌شود که چنین ساختاری می‌تواند به افزایش ضخامت فیلم‌های خوراکی بینجامد. از طرف دیگر، ایجاد حالت اسفنجی و تخلخل در ساختار فیلم می‌تواند به محبوس کردن مولکول‌های آب کمک کند و سبب افزایش رطوبت و تورم فیلم‌ها و افزایش ضخامت آنها شود (Campos *et al.*, 2011). نتایج به دست آمده از این پژوهش با یافته‌های دیگر محققان همخوانی دارد. حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2009) گزارش دادند که افزودن اسانس دارچین، میخک و آویشن به فیلم کازئینات سدیم به دلیل ایجاد ساختار متخلخل و اسفنجی به افزایش ضخامت فیلم‌های تولیدی منجر شده است.

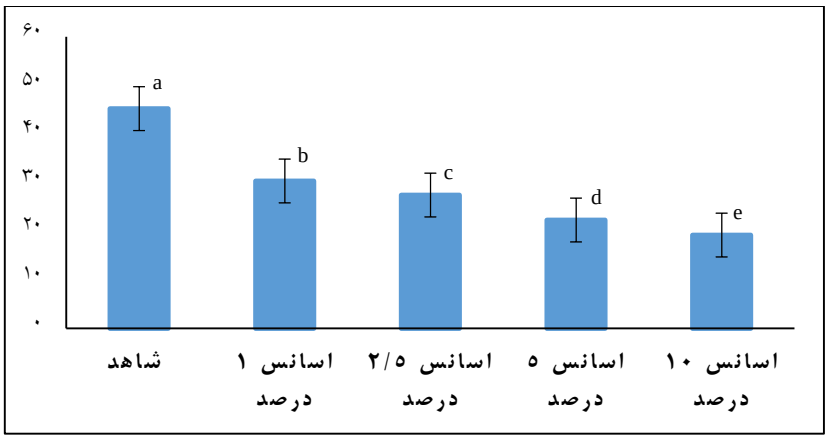


شکل ۱- نتایج تأثیر اسانس آویشن روی ضخامت فیلم‌های خوراکی بر پایهWPI

***حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است**

ارزیابی نتایج تأثیر افزودن اسانس آویشن بر شاخص تورم فیلم خوراکی بر پایهٔ WPI

همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، افزایش درصد اسانس آویشن در فرمولاسیون فیلم خوراکی بر پایهٔ WPI به طور معنی‌داری ($p<0.05$) از شاخص تورم فیلم‌ها کاسته می‌شود، به همین دلیل بالاترین شاخص تورم مربوط به تیمار شاهد و کمترین شاخص تورم مربوط به تیمار حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن است. احتمالاً با توجه به اینکه اسانس آویشن دارای ماهیت روغنی است افزایش مقدار آن در ساختار فیلم‌ها جذب آب توسط فیلم را کاهش می‌دهد که این امر منجر به تورم کمتر فیلم‌های با درصد بالای اسانس آویشن شده‌است، ولی در تیمار شاهد با توجه به اینکه اسانسی به کار نرفته آب به راحتی می‌تواند به داخل ماتریس فیلم نفوذ کند و سبب تورم فیلم شود (Moradi *et al.*, 2012). نتایج حاصل از این آزمون با یافته‌های دیگر محققان نیز مطابقت دارد. مایاچیو و دوهاستین (Mayachiew & Devahastin, 2010)، مشاهده کردند که با به‌کارگیری عصارهٔ انگور فرنگی در فرمولاسیون فیلم آنتی‌اکسیدان کیتوزان، میزان تورم فیلم‌ها کاهش می‌یابد. این محققان کاهش تورم فیلم‌ها با افزایش غلظت عصاره را به ماهیت آب‌گریزی عصاره نسبت دادند که مانع از جذب آب توسط فیلم‌ها و در نتیجه کاهش تورم آنها شده‌است.

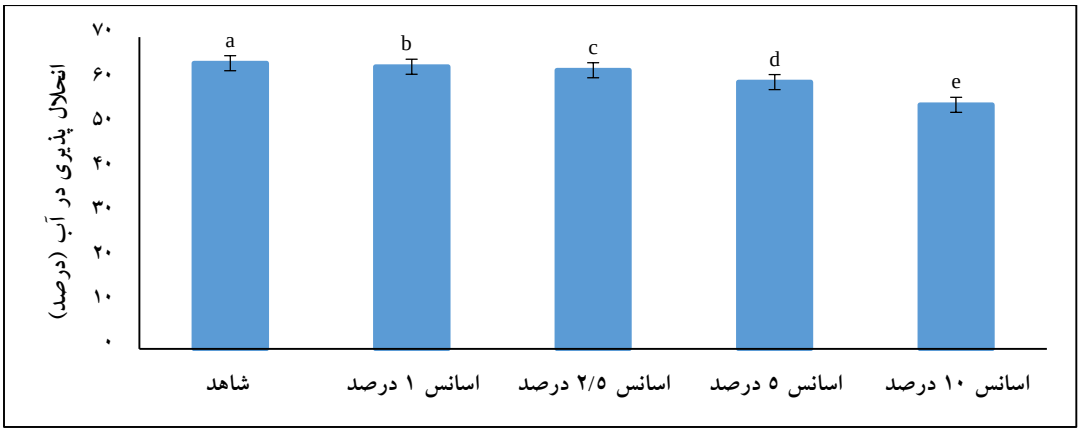


شکل ۲- نتایج تأثیر اسانس آویشن روی شاخص تورم فیلم‌های خوراکی بر پایه WPI

***حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است**

ارزیابی نتایج تأثیر اسانس آویشن بر میزان انحلال‌پذیری فیلم‌های خوراکی در آب بر پایهٔ WPI

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد افزایش درصد اسانس آویشن در فرمولاسیون فیلم‌های خوراکی بر پایه WPI میزان انحلال‌پذیری فیلم‌ها را در آب به طور معنی‌داری ($p<0.05$) کاهش می‌دهد و از این رو تیمار شاهد به طور معنی‌داری ($p<0.05$) در مقایسه با سایر تیمارها دارای بالاترین میزان انحلال‌پذیری در آب و فیلم خوراکی بر پایه WPI حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن به طور معنی‌داری ($p<0.05$) دارای پایین‌ترین میزان انحلال‌پذیری در آب نسبت به سایر تیمارها هستند. احتمالاً به دلیل ماهیت آب‌گریزی اسانس‌ها، خاصیت آب‌گریزی سطحی فیلم‌ها افزایش می‌یابد و از طرفی هم بین ترکیبات اسانس با گروه‌های هیدروکسیل پلیمر واکنش و تشکیل کمپلکس صورت می‌گیرد که همهٔ این عوامل میزان انحلال‌پذیری فیلم‌ها را در آب کاهش خواهند داد (Ojagh *et al.*, 2010). نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های دیگر محققان نیز مطابقت دارد. پردا و همکاران (Pereda *et al.*, 2010)، گزارش دادند که با به‌کارگیری اسانس تانگ[۲] در ساختار فیلم کازئینات سدیم قابلیت انحلال فیلم در آب کاهش می‌یابد.



شکل ۳- نتایج تأثیر اسانس آویشن روی انحلال‌پذیری فیلم‌های خوراکی در آب بر پایهٔ WPI

***حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است**

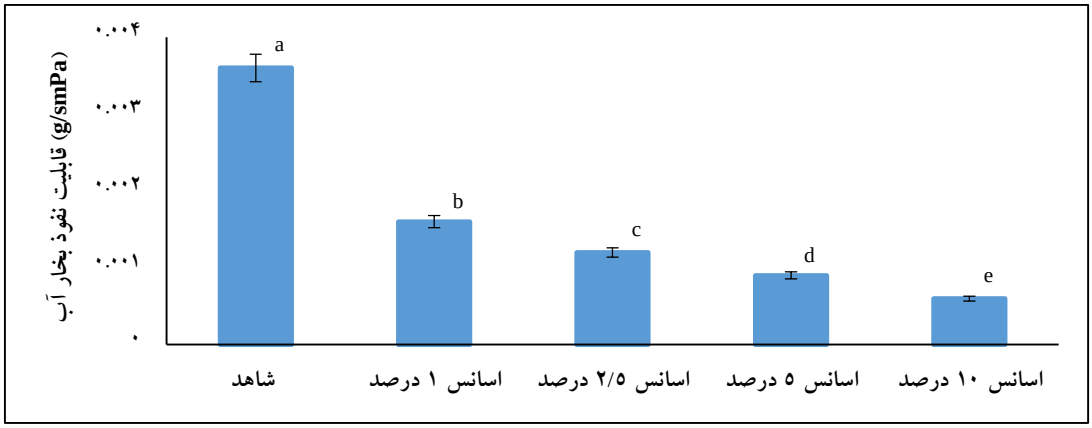
ارزیابی نتایج تأثیر افزودن اسانس آویشن بر قابلیت نفوذ بخار آب فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI

قابلیت نفوذ بخار آب یکی از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی کیفی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی و زیست تخریب‌پذیر است که ویژگی ممانعت کنندگی فیلم‌ها را در مقابل بخار آب نشان می‌دهد (Bagamboula *et al.*, 2004). نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها در شکل ۴ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که افزایش درصد به‌کارگیری اسانس آویشن در فرمولاسیون فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI میزان نفوذپذیری فیلم‌ها به بخار آب را به طور معنی‌داری ($p<0.05$) افزایش خواهد داد و به همین دلیل بالاترین شاخص نفوذپذیری فیلم‌ها به بخار آب مربوط به تیمار شاهد و کمترین قابلیت نفوذ بخار آب مربوط به فیلم WPI حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن است. قابلیت نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها و پوشش‌های

1- Tung oil

خوراکی، وابسته به وجود ترکیبات آب‌دوست و آب‌گریز و برهم‌کنش آنها در ماتریس فیلم است (McHugh & Krochta, 1994). اسانس‌ها مانند ترکیبات روغنی به دلیل ماهیت آب‌گریزی خود باعث بهبود ویژگی‌های ممانعت کنندگی پلیمر در برابر آب می‌شوند. فاز چربی باعث افزایش فاکتور انحنا و پیچ و خم برای انتقال آب می‌شود که به دنبال آن فاصلهٔ عبور مولکول‌های آب از طریق ماتریس فیلم افزایش می‌یابد (Peng & Li, 2014). نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج تحقیقات محققان دیگر نیز مطابقت دارد. شن و کامدم (Shen & kamdem, 2015)، اسانس‌های دو گیاه سنبل هندی و چوب سدر را در ساختار فیلم کیتوزان به‌کار بردند.

نتایج این کار تحقیقی نشان داد که استفاده از این دو اسانس، به دلیل ایجاد قابلیت آب‌گریزی در فیلم کیتوزان، قابلیت نفوذ بخار آب فیلم‌ها را کاهش می‌دهد.



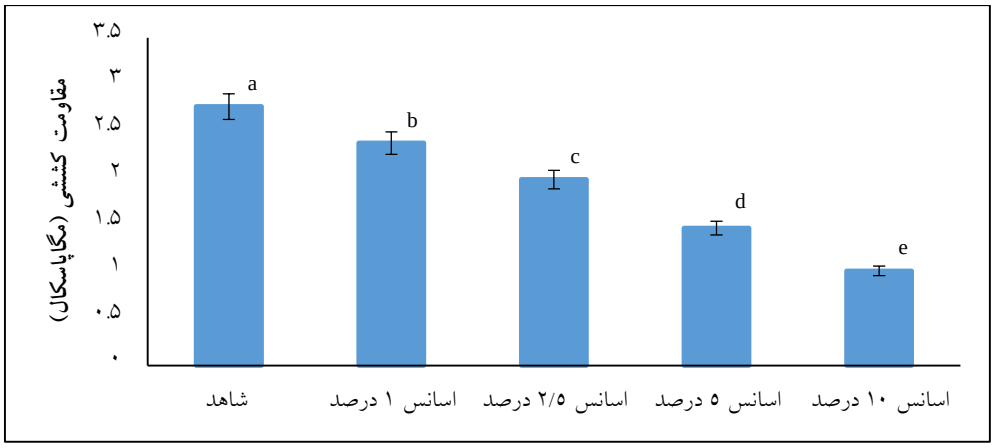
شکل ٤- نتایج تأثیر اسانس آویشن روی قابلیت نفوذ بخار آب فیلم‌های خوراکی بر پایهWPI

***حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است.**

ارزیابی نتایج تأثیر افزودن اسانس آویشن بر ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI

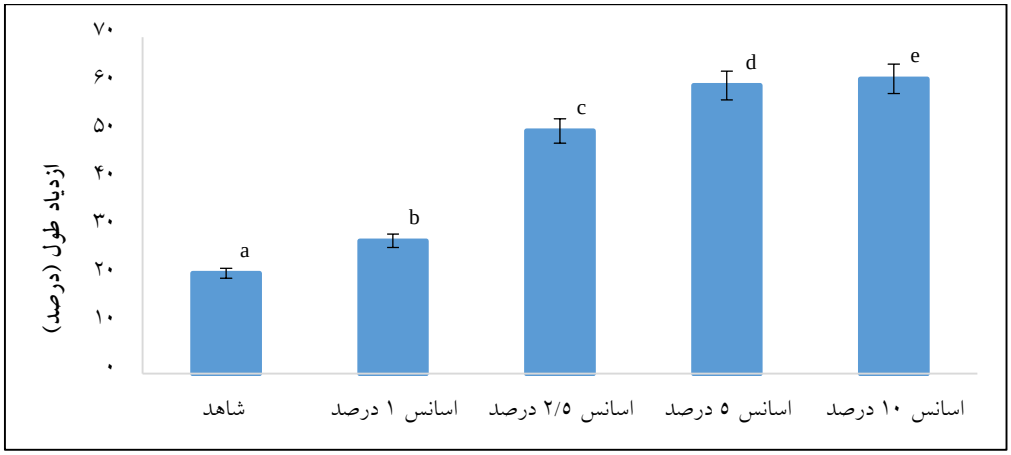
نتایج حاصل از این مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل دیده می‌شود که تغییرات ویژگی‌های مکانیکی به طور معنی‌داری ($p<0.05$) وابسته به درصد به‌کارگیری اسانس آویشن در فرمولاسیون فیلم خوراکی بر پایهٔ WPI است. با افزایش درصد استفاده از اسانس آویشن در ساختار فیلم بر پایهٔ آویشن، میزان مقاومت کششی به طور معنی‌داری ($p<0.05$) کاهش می‌یابد، از این رو بالاترین مقاومت کششی مربوط به تیمار شاهد و کمترین میزان مقاومت کششی مربوط به تیمار حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن است. نتایج به‌دست آمده از شکل ۶ مشخص می‌کند که افزایش درصد به‌کارگیری اسانس آویشن تا سطح ۵ درصد به طور معنی‌داری ($p<0.05$) درصد ازدیاد طول فیلم‌ها را افزایش می‌دهد اما افزایش درصد اسانس از ۵ تا ۱۰ درصد به طور معنی‌داری ($p<0.05$) منجر به کاهش درصد ازدیاد طول فیلم‌ها می‌شود. احتمالاً استفاده از اسانس آویشن در ساختار فیلم WPI پیوندهای قوی پلیمر-پلیمر با پیوندهای ضعیف پلیمر-اسانس به طور نسبی جایگزین می‌شود که این امر پیوستگی شبکهٔ پلیمر را کاهش می‌دهد که به دنبال چنین

اثری مقاومت کششی فیلم‌ها کاهش خواهد یافت (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2013). در مقابل افزایش درصد ازدیاد طول فیلم‌ها ممکن است به قابلیت نرم کنندگی اسانس نسبت داد که لغزش پلیمرها را از کنار یکدیگر افزایش خواهد داد و این امر منجر به افزایش کشش‌پذیری فیلم‌های تولیدی می‌شود (Jouki *et al.*, 2014). این یافته‌ها با یافته‌های دیگر محققان نیز مطابقت دارد.



شکل ۵- نتایج تأثیر اسانس آویشن روی مقاومت کششی فیلم‌های خوراکی بر پایه WPI

***حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است.**



شکل ٦ نتایج تأثیر اسانس آویشن روی ازدیاد طول فیلم‌های خوراکی بر پایه WPI

***حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است**

ارزیابی نتایج تأثیر افزودن اسانس آویشن بر ویژگی‌های رنگی فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI

هنگامی‌که فیلم‌ها به عنوان پوشش به‌منظور روکش کردن مواد غذایی استفاده می‌شوند، کدورت فیلم یکی از ویژگی‌های بحرانی آن محسوب می‌شود. ویژگی‌های بصری فیلم‌ها از قبیل شفافیت، رنگ و درخشندگی آنها می‌تواند قابلیت پذیرش و حتی کیفیت مادهٔ غذایی را تحت تأثیر قرار دهد (Taqi *et al.*, 2011). نتایج حاصل از این پژوهش در جدول ۱ مشخص می‌کند که افزایش درصد به‌کارگیری اسانس آویشن از صفر به ۱۰ درصد به طور

معنـــی‌داری ($p<0.05$) شـــاخص روشـــنایی را از ۸۹/۳۸ تا ۷۸/۸۸ کاهش می‌دهد.

همچنـین نتـایج بررسـی‌هـا نشـان مـی‌دهـد کـه افـزایش درصـد بـه‌کـارگیری اسـاس آویشـن سـبب کـاهش معنـی‌دار ($p<0.05$) شـاخص قرمـزی (a*) نمونـه‌هـای فـیلم خـوراکی WPI مـی‌شـود. از طـرف دیگـر، مشـخص شـد کـه افـزایش درصـد اسـتفاده از اسـانس آویشـن در فرمولاسـیون فـیلم‌هـای خـوراکی بـر پایـهٔ WPI بـه طـور معنـی‌داری ($p<0.05$) بـه افـزایش شـاخص زردی (b*) تیمارهـا مـی‌انجامـد. اسـانس آویشـن مـاهیتی زرد رنـگ دارد و رنـگ تیـره‌تـری، در مقایسـه بـا پـودر WPI، بـه‌دسـت مـی‌دهـد از ایـن رو بـه‌کـارگیری اسـانس در سـاختار فـیلم سـبب کـاهش روشـنایی و افـزایش شـاخص زردی آن مـی‌شـود زیـرا اسـانس‌هـا در طـول مـوج‌هـای پـایین توانـایی جـذب نـور دارنـد (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2013). ایـن نتـایج بـا یافتـه‌هـای محققان دیگـر نیـز مطابقـت دارد. تقـی و همکـاران (Tai *et al.*, 2011)، گـزارش دادنـد کـه افـزایش غلظـت روغـن زیتـون و اسـید اولئیـک در سـاختار فـیلم خـوراکی تهیـه شـده از آلبـومین سـفیدهٔ تخـم مـرغ موجـب افـزایش کـدورت و کـاهش شـفافیت فـیلم حاصـل می‌شود.

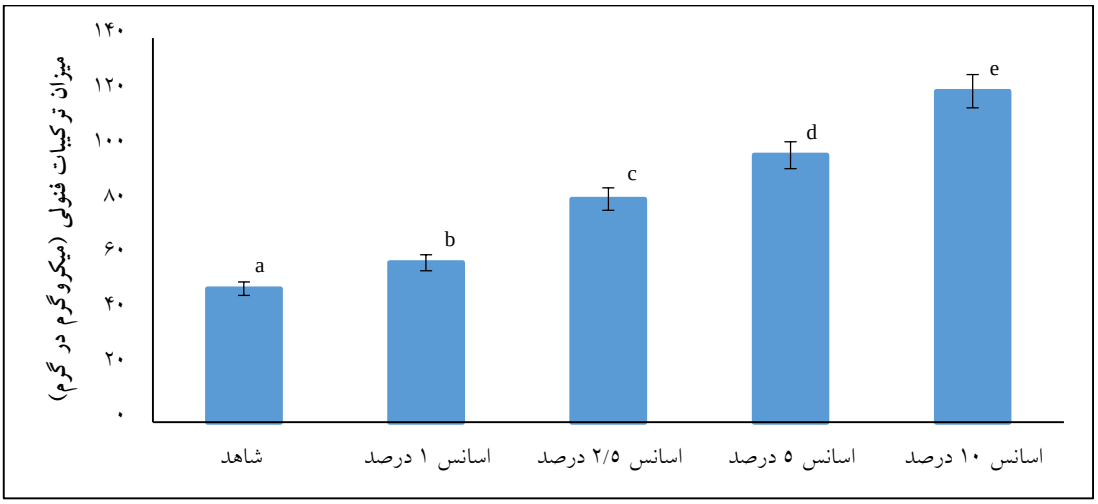
جدول ۱- نتایج تأثیر اسانس آویشن روی خصوصیات رنگی فیلم‌های خوراکی بر پایه WPI

ویژگی / اسانس آویشن	L*	a*	b*
صفر درصد (نمونه شاهد)	۸۹/۳۸ ± ۰/۱۸^{a}	-۷/۱۵ ± ۰/۰۸^{a}	۱۱/۴۷ ± ۰/۱۴^{e}
۱ درصد	۸۵/۵۹ ± ۰/۲۱^{b}	-۸/۴۶ ± ۰/۱۱^{b}	۱۳/۳۰ ± ۰/۱۹^{d}
۲/۵ درصد	۸۴/۴۴ ± ۰/۲۳^{c}	-۹/۵۷ ± ۰/۰۶^{c}	۱۴/۱۹ ± ۰/۱۰^{c}
۵ درصد	۸۰/۵۵ ± ۰/۴۱^{d}	-۱۱/۲۹ ± ۰/۱۲^{d}	۱۷/۳۷ ± ۰/۱۶^{b}
۱۰ درصد	۷۸/۸۸ ± ۰/۳۲^{e}	-۱۴/۰۶ ± ۰/۱۰^{e}	۲۰/۸۶ ± ۰/۱۳^{a}

* حروف متفاوت روی اعداد نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

ارزیابی نتایج تـأثیر افـزودن اسـانس آویشـن روی میزان ترکیبات فنولی فیلم‌هـای خـوراکی بـر پایـهٔ WPI

نتـایج بـه دسـت آمـده از ایـن پـژوهش (شـکل ۷) مشخص می‌کنـد بـا افـزایش درصـد بـه‌کـارگیری اسـانس آویشـن در فرمولاسـیون فـیلم‌هـای خـوراکی بـر پایـهٔ WPI بـه طـور معنـی‌دار ($p<0.05$) میـزان ترکیبـات فنـولی را از ۴۸/۶۶ تـا ۱۲۰/۶۶ میکروگـرم معـادل اسـید گالیک در هر گـرم فـیلم را افـزایش مـی‌دهـد. بـه همـین دلیل بـالاترین میـزان ترکیبـات فنـولی مربـوط بـه تیمـار حاوی ۱۰ درصـد اسـانس آویشـن اسـت. اسـانس آویشـن غنـی از ترکیبـات فنـولی ماننـد تیمـول، کـارواکرول، لینـالول، آلفـا-ترپینـول و ۱ و ۸-سـینئول اسـت (Lee *et al.*, 2005)، بنـابراین، افـزایش درصـد بـه‌کـارگیری اسـانس آویشـن در فرمولاسـیون فـیلم خـوراکی بـر پایـهٔ WPI سـبب افـزایش میـزان ترکیبـات فنـولی در ایـن ماتریس خواهـد شـد. ایـن یافتـه‌هـا بـا یافتـه‌هـای دیگـر محققـان در مطالعـات دیگـر مطابقـت دارد. مـرادی و همکـاران (Moradi *et al.*, 2012)، اسـانس آویشـن شـیرازی را در فرمولاسـیون فـیلم خـوراکی بـر پایـهٔ پـروتئین زئـین ارزیـابی و مشـخص کردنـد کـه افـزایش درصد بـه‌کـارگیری اسـانس آویشـن شـیرازی در سـاختار فیلم‌های تولید شـده منجـر بـه افـزایش میـزان ترکیبـات فنولی فیلم‌ها می‌شود.

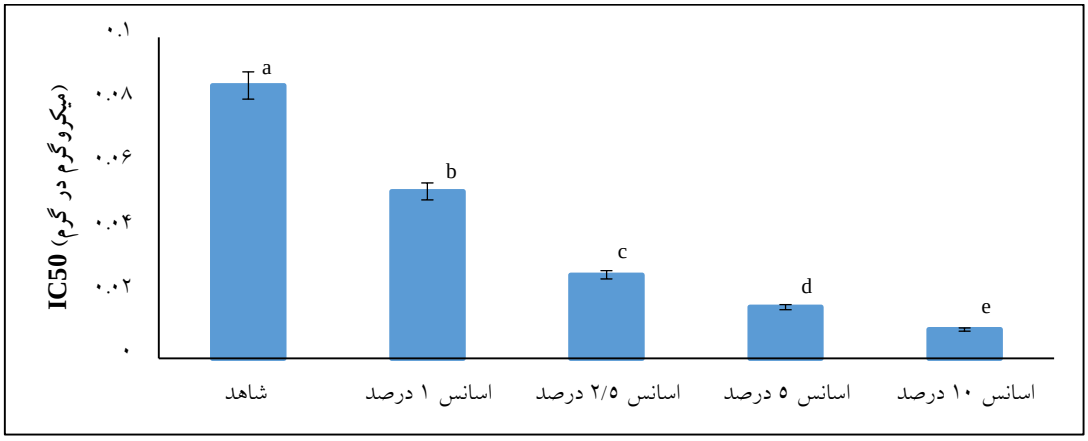


شکل ۷- نتایج تأثیر اسانس آویشن روی میزان ترکیبات فنولی فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI

***حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است**

ارزیابی نتایج تأثیر افزودن اسانس آویشن بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش (شکل ۸) مشخص شد که افزایش درصد به‌کارگیری اسانس آویشن در ساختار فیلم‌های WPI به طور معنی‌داری ($p<0.05$) منجر به کاهش شاخص IC50 یا افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها می‌شود. بالاترین شاخص IC50 مربوط به تیمار شاهد و کمترین میزان آن در تیمار حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن مشاهده می‌شود. ترکیبات فنولی موجود در گیاهان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند که عمدتاً به دلیل ویژگی‌های احیا کنندگی آنهاست که این ویژگی شامل مهار رادیکال‌های آزاد، قابلیت هیدروژن دهندگی و قابلیت خاموش کنندگی اکسیژن یگانه است (Mayachiew & Devahastin, 2010). قابلیت آنتی‌اکسیدانی اسانس آویشن در ارتباط با ترکیباتی مانند تیمول، کارواکرول، گاما-ترپینین، تیمول متیل اتر و کارواکرول متیل اتر است (Lee *et al.*, 2005). بنابراین، افزایش درصد به‌کارگیری اسانس آویشن در فرمولاسیون فیلم‌های WPI سبب افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکال‌های آزاد DPPH توسط این فیلم‌ها خواهد شد. داشی پور و همکاران (Dashipour *et al.*, 2015)، با مطالعهٔ فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم کربوکسی متیل سلولز حاوی اسانس آویشن شیراز گزارش داده‌اند که افزایش درصد به‌کارگیری اسانس آویشن منجر به افزایش میزان ترکیبات فنولی، افزایش قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها می‌شود.

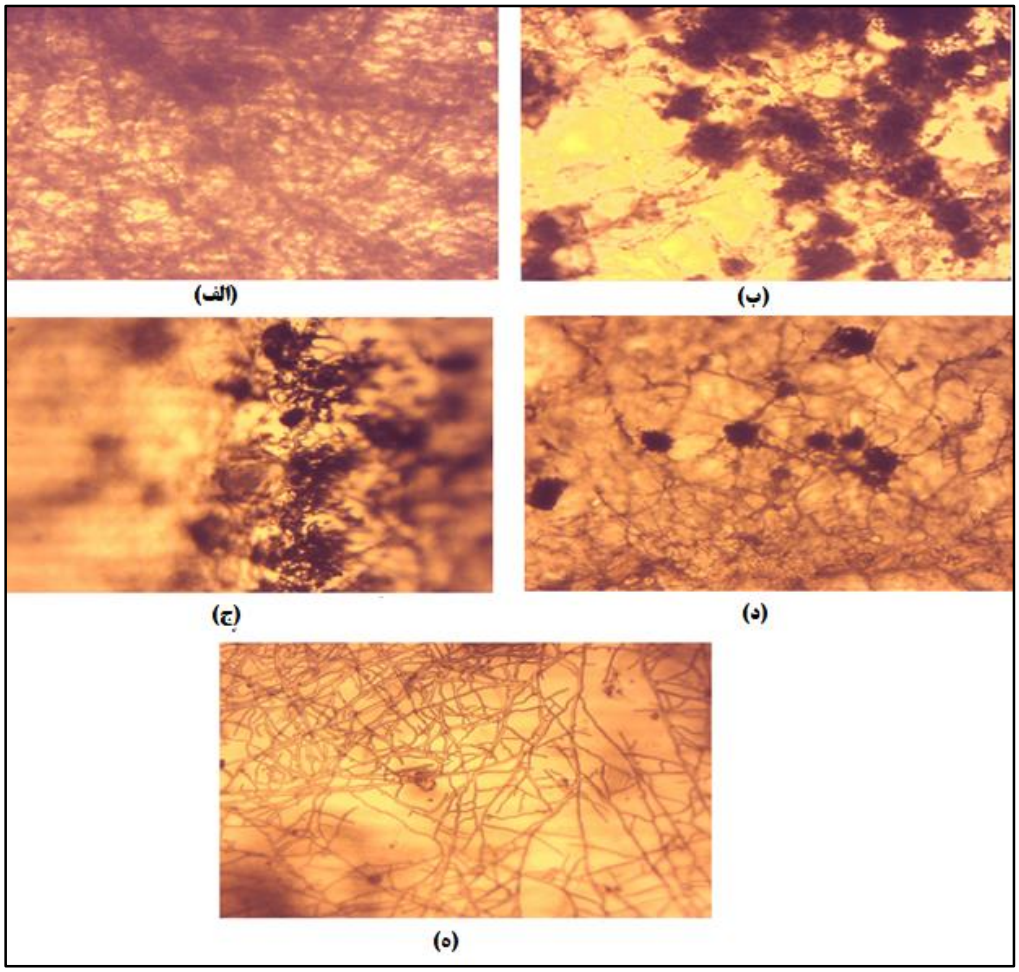


شکل ۸- نتایج تأثیر اسانس آویشن روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI

***حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است**

ارزیابی نتایج تأثیر افزودن اسانس آویشن بر فعالیت ضد کپکی فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI

نتایج تأثیر درصدهای مختلف اسانس آویشن در ساختار فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ WPI به منظور جلوگیری از فساد کپکی نان پیتای تلقیح یافته با کپک *پنی‌سیلیوم کرایزوژنوم* شکل ۹ (الف تا ه) نشان می‌دهد که افزایش درصد به‌کارگیری اسانس آویشن در ساختار فیلم‌ها به طور مؤثر از رشد کپک‌ها جلوگیری می‌کند. با این همه، افزایش مدت زمان نگهداری سبب افزایش رشد کپک‌های *پنی‌سیلیوم کرایزوژنوم* در نمونه‌های نان پیتا می‌شود که این رشد در تیمارهای با غلظت بالای اسانس آویشن (شکل ۹ - ه) به طور معنی‌داری ($p<0.05$) کمتر از رشد در تیمار شاهد (شکل ۹- الف) است. فیلم WPI به عنوان حامل مناسبی برای اسانس آویشن عمل می‌کند و با آزادسازی کنترل شدهٔ اسانس در دورهٔ نگهداری، به دلیل خاصیت ضدمیکروبی ترکیبات موجود در اسانس، مانع از رشد کپک می‌شود. همان‌طور که گفته شد، اسانس آویشن دارای ترکیبات فنولی متعددی است که مهم‌ترین‌های آنها تیمول، کارواکرول و لینالول است. ثابت شده است این ترکیبات دارای فعالیت ضدمیکروبی علیه میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و فسادزا هستند (Shakeri *et al.*, 2011; Liolios *et al.*, 2009). بنابراین، افزایش غلظت اسانس آویشن در ساختار فیلم WPI سبب ایجاد خاصیت ضد میکروبی مؤثرتر می‌شود که می‌تواند فساد کپکی نان و به‌خصوص نان پیتا را به تأخیر بیندازد. نتایج به دست آمده در این پژوهش با یافته‌های دیگر محققان مطابقت دارد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش اسانس در ساختار ایزولهٔ آب‌پنیر سبب کاهش فساد کپکی می‌شود.با این همه افزایش غلظت اسانس آویشن در ساختار ایزولهٔ آب‌پنیر منجر به کاهش تعداد کپک‌هاوافزایش مدت زمان نگهداری نمونه‌های نان بسته‌بندی شده می‌گردد.

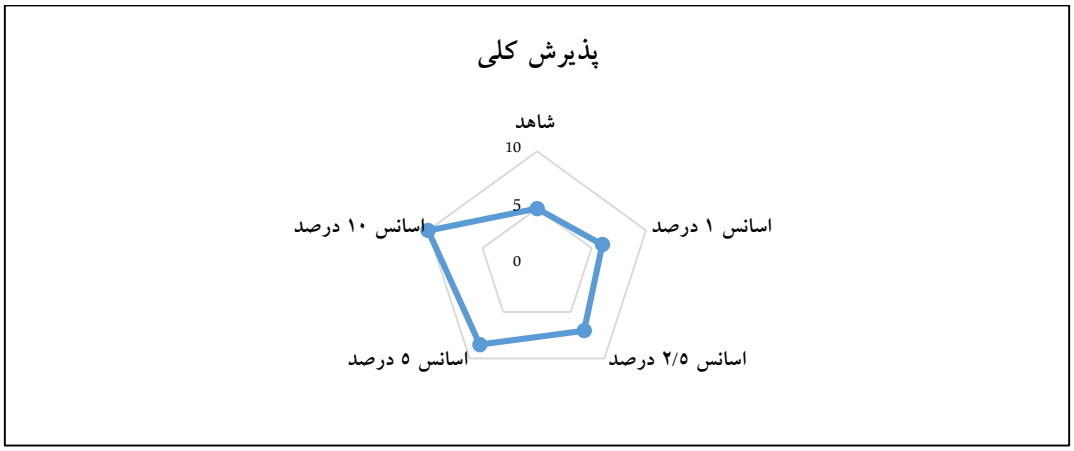


شکل ۹ – تأثیر اسانس آویشن شیرازیدر ساختار فیلم WPI بر رشد کپک پنی‌سیلیوم *کرایزوژنوم در نان پیتا* (الف) نمونه شاهد (ب) فیلم حاوی ۱ درصد اسانس آویشن شیرازی (ج) فیلم حاوی ۲/۵ درصد اسانس آویشن شیرازی (د) فیلم حاوی ۵ درصد اسانس آویشن شیرازی (ه) فیلم حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن شیرازی

ارزیابی ویژگی‌های حسی

بر اساس نتایج به دست آمده از شکل ۱۰ مشخص شد که افزایش درصد به‌کارگیری اسانس آویشن در فرمولاسیون فیلم WPI و به‌کارگیری آن برای بسته‌بندی نان پیتا سبب افزایش امتیاز حسی نمونه‌های نان می‌شود.

به طوری که تیمار حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن، در مقایسه با دیگر تیمارها، ویژگی‌های حسی مطلوبی را به‌دست داده است. به همین دلیل نان پیتای بسته‌بندی شده با فیلم WPI حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن دارای بالاترین امتیاز پذیرش کلی است. احتمالاً ترکیبات معطر قرار موجود در اسانس آویشن طی دورهٔ نگهداری از ساختار فیلم WPI آزاد شده‌اند که موجب شده تا امتیاز حسی طعم و بو متناسب با افزایش غلظت اسانس در ساختار فیلم WPI افزایش یابد و در نهایت به افزایش پذیرش کلی نان پیتا، در مقایسه با تیمار شاهد، منجر شود.



شکل ۱۰-نتایج تأثیر اسانس آویشن روی پذیرش کلی نان پیتا

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ضد میکروبی فیلم تجزیه پذیر بر پایهٔ ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر حاوی اسانس آویشن در بسته‌بندی نان پیتا بررسی شد. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که افزودن اسانس آویشن به فیلم تجزیه‌پذیر بر پایهٔ ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر، سبب افزایش معنی‌دار ($p<0.05$) در ضخامت، درصد ازدیاد طول و شاخص زردی (b*) فیلم‌ها می‌شود. با افزایش میزان اسانس آویشن به فیلم‌ها کاهش معنی‌داری ($p<0.05$) در شاخص‌های تورم، انحلال‌پذیری در آب، قابلیت نفوذ بخار آب، شاخص‌های L* و a * و مقاومت کششی فیلم‌هاایجاد شد. همچنین، افزایش غلظت اسانس آویشن در فیلم تجزیه‌پذیر بر پایهٔ ایزولهٔ پروتئین آب‌پنیر سبب افزایش معنی‌دار ($p<0.05$) میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی این فیلم‌ها شد. طی بررسی نتایج این پژوهش، با افزایش مقادیر اسانس آویشن، کاهش رشد کپک *پنی‌سیلیوم کرایزوژنوم* روی سطح نان پیتا مشاهده شد وزمان ماندگاری نان بسته بندی شده حاوی فیلم بر پایه پروتِئین آب پنیر با میزان ۱۰ درصد اسانس آویشن بطور متوسط از ۴ روز به سی روز افزایش یافت. نتایج ارزیابی حسی نیز مشخص کرد که نمونهٔ بسته‌بندی شده حاوی ۱۰ درصد اسانس آویشن دارای بالاترین امتیاز حسی نسبت به سایر تیمارها و تیمار بسته‌بندی شده با فیلم شاهد کمترین امتیاز حسی را کسب کرده است.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

AACC. 1983. Determination of Bread Firmness using the AACC (74-09). Guide & Probes. Standard method.

Aghel, N., Moghimipour, E. and Abdolghani, A. 2009. Characterization of an anti-dermatophyte cream from Zataria multiflora Boiss. Hamdard Medicus 52(2): 38-47.

Alavi, S., Thomas, S., Sandeep, K. P., Kalarikkal, N., Varghese, J. and Yaragalla, S. (Eds.) 2014. Polymers for Packaging Applications. CRC Press.

Bagamboula, C.F., Uyttendaele, M. and Debevere, J., 2004. Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and p-cymene towards Shigella sonnei and S. flexneri. Food Microbiology. 21(1): 33-42.

Borsuk, Y., Arntfield, S., Lukow, O., Swallow, K. and Malcolmson, L. 2012. Incorporation of pulse flours of different particle size in relation to pita bread quality. Journal of the Science of Food and Agriculture. 92 (10): 55-61.

Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. International Journal of Food Microbiology. 94(3): 223-253.

Campos, C. A., Gerschenson, L. N. and Flores, S. K. 2011. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. Food and Bioprocess Technology. 4(6): 849-875.

Dashipour, A., Razavilar, V., Hosseini, H., Shojaee-Aliabadi, S., German, J. B., Ghanati, K., ... and Khaksar, R. 2015. Antioxidant and antimicrobial carboxymethyl cellulose films containing *Zataria multiflora* essential oil. International Journal of Biological Macromolecules. 72, 606-613.

Emam-Djomeh, Z., Moghaddam, A. and Yasini Ardakani, S. A., 2015. Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract, physical, mechanical, barrier and antimicrobial properties of pomegranate peel extract-incorporated sodium caseinate film and application in packaging for ground beef. Packaging Technology and Science. 28(10): 869-881.

Feng, Z., Wu, G., Liu, C., Li, D., Jiang, B. and Zhang, X. 2018. Edible coating based on whey protein isolate nanofibrils for antioxidation and inhibition of product browning. Food Hydrocolloids 79, 179-188.

Han, J. H. 2003. Antimicrobial food packaging. Novel Food Packaging Techniques, 8, 50-70.

Hosseini, M. H., Razavi, S. H. and Mousavi, M. A. 2009. Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. Journal of Food Processing and Preservation. 33(6): 727-743.

hrnbaga-Murgić, Z., Rešček, A., Siročić, A.P., Krehula, L.K. and Katančić, Z. 2015. Nanoparticles in Active Polymer Food Packaging. Smithers Pira.

Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A. and Koocheki, A. 2014. Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. Food Hydrocolloids. 36, 9-19.

Krisch, J., Rentskenhand, T., Horváth, G. and Vágvölgyi, C. 2013. Activity of essential oils in vapor phase against bread spoilage fungi. Acta Biologica Szegediensis. 57(1): 9-12.

Lawless, H. T. and Heymann, H. 2010. Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. Springer Science & Business Media.

Lee, S. J., Umano, K., Shibamoto, T. and Lee, K. G. 2005. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. Food Chemistry. 91(1): 131-137

Liolios, C. C., Gortzi, O., Lalas, S., Tsaknis, J. and Chinou, I. 2009. Liposomal incorporation of carvacrol and thymol isolated from the essential oil of *Origanum dictamnus* L. and in vitro antimicrobial activity. Food Chemistry. 112(1): 77-83.

Mayachiew, P. and Devahastin, S. 2010. Effects of drying methods and conditions on release characteristics of edible chitosan films enriched with Indian gooseberry extract. Food Chemistry. 118(3), 594-601.

McHugh, T. H., Aujard, J. F. and Krochta, J. M. 1994. Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties. Journal of Food Science. 59(2): 416-419.

Moradi, M., Tajik, H., Rohani, S. M. R., Oromiehie, A. R., Malekinejad, H., Aliakbarlu, J. and Hadian, M. 2012. Characterization of antioxidant chitosan film incorporated with *Zataria multiflora Boiss* essential oil and grape seed extract. LWT-Food Science and Technology. 46(2): 477-484.

Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H. and Hosseini, S. M. H. 2010. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. Food Chemistry. 122(1): 161-166.

Peng, Y. and Li, Y. 2014. Combined effects of two kinds of essential oils on physical, mechanical and structural properties of chitosan films. Food Hydrocolloids. 36, 287-293.

Pereda, M., Aranguren, M. I. and Marcovich, N. E. 2010. Caseinate films modified with tung oil. Food Hydrocolloids. 24(8): 800-808.

Shakeri, M. S., Shahidi, F., Beiraghi-Toosi, S. and Bahrami, A. 2011. Antimicrobial activity of *Zataria multiflora Boiss*. essential oil incorporated with whey protein based films on pathogenic and probiotic bacteria. International Journal of Food Science & Technology. 46(3): 549-554.

Shaw N. B., Monahan F. J. O'Riordan E. D. and O'Sullivan M. 2002. Effect of soya oil and glycerol on physical properties of composite WPI films. Journal of Food Science. 51 (4):299-304.

Shen, Z. and Kamdem, D. P. 2015. Development and characterization of biodegradable chitosan films containing two essential oils. International Journal of Biological Macromolecules. 74, 289-296.

Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M. A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Ojagh, S. M., ... and Khaksar, R. 2013. Characterization of antioxidant-antimicrobial κ-carrageenan films containing Satureja hortensis essential oil. International Journal of Biological Macromolecules. 52, 116-124.

Siripatrawan, U. and Harte, B. R. 2010. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. Food Hydrocolloids. 24(8): 770-775.

Suhr, K. I. and Nielsen, P. V. 2003. Antifungal activity of essential oils evaluated by two different application techniques against rye bread spoilage fungi. Journal of Applied Microbiology. 94(4): 665-674.

Su, G., Ren, J., Yang, B., Cui, C. and Zhao, M. 2011. Comparison of hydrolysis characteristics on defatted peanut meal proteins between a protease extract from *Aspergillus oryzae* and commercial proteases. Food Chemistry. 126(3): 1306-1311.

Taqi, A., Askar, K. A., Nagy, K., Mutihac, L. and Stamatin, L. 2013. Effect of different concentrations of olive oil and oleic acid on the mechanical properties of albumen (egg white) edible films. African Journal of Biotechnology. 10(60): 12963-12972.

Tunç, S. and Duman, O. 2007. Thermodynamic properties and moisture adsorption isotherms of cottonseed protein isolate and different forms of cottonseed samples. Journal of Food Engineering. 81(1): 133-143.

Zhong, T., Liang, Y., Jiang, S., Yang, L., Shi, Y., Guo, S. and Zhang, C. 2017. Physical, antioxidant and antimicrobial properties of modified peanut protein isolate based films incorporating thymol. RSC Advances. 7(66): 41610-41618.

Food Engineering Research/Vol.20/No.71/Autumn & Winter 2021/P: 189-206

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Effect of Physicochemical and Antimicrobial Properties of Degradable Film Based on Isolated Whey Protein Containing Thyme Essential Oil in Pita Bread Packaging

M. Mirhoseini-Moghaddam, A. Sharifan*, S. Mahdi Seyedein- Ardabili

* Corresponding Author: Associate Professor of the Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: a_sharifan2000@yahoo.com
Received: 25 May 2019, Accepted: 12 July 2021
http://doi: 10.22092/fooder.2021.126440.1222

Abstract

In the present study, WPI (Whey Protein Isolate) based films containing 0, 1, 2.5, 5, and 10% essential oil of thyme were prepared and physicochemical properties (thickness, inflation index, water solubility, water vapor penetration, color parameters, total phenol content, and antioxidant activity) and mechanical properties (tensile strength and elongation percentage) of films, as well as antimicrobial activity against *penicillium cryzogenum* (stored pita bread at ambient temperature for 7 days) and sensory quality of packaged pita bread were evaluated. The results showed that application of thyme essential oil in WPI-based films significantly ($p<0.05$) increased the thickness, prolongation, and yellowing index (b*) of films. Thyme essential oil decreased significantly ($p<0.05$) the inflation index, water solubility, steam permeability, L* and a* indexes, and the tensile strength of active films. By increasing levels of thyme essential oil, phenolic compounds increased and IC50 (Inhibitory Concentration) decreased. Antifungal activity was increased due to the concentration of thyme oil in films. Increasing the concentration of thyme essential oil resulted in a significant decrease in the growth of *penicillium cryozogenum* in pita bread during storage. Based on the results of sensory evaluation, packaged bread with active WPI films containing 10% Thyme essential oil had the highest sensory rating, but bread packed with WPI films had the lowest sensory rating in terms of overall acceptance.

Keywords: Edible films, *Penicillium cryozogenum*, Natural preservatives