

Research Article

Production of edible films based on *Psyllium* seed gum enriched with *Oliveria decumbens* essential oil

Fateme Chavoshi¹, Zohreh Didar^{2*}, Mohsen Vazifedoost², Mostafa Shahidi Noghabi³, Ahmad Zendeheel²

1. Department of Food Science and Technology, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran

2. Department of Food Science and Technology, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran

3. Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran

(Received 6 September 2022, Received in revised form 8 December 2022, Accepted 15 December 2022)

Introduction: Synthetic plastics such as polypropylene, polyethylene and polystyrene are used as packaging materials in the food industry, which cause environmental pollution due to their non-degradability. In this way, solving this problem with biodegradable materials has been investigated. The increase in environmental problems caused by plastic packaging has led to the increasing use of food packaging. Biopolymers extracted from food sources can be used as materials for biodegradable films. Among these biopolymers, gum obtained from *Psyllium* seed has the ability to form a good film and films based on gum obtained from *Psyllium* seed have desired physical properties. One of the important properties of packaging is the protection of food against antimicrobial contamination, so in order to increase this property, nowadays packaging with antimicrobial properties is being investigated. One of them is the addition of various compounds with antimicrobial properties in food packaging, such as herbal essential oils. Recently, the use of essential oils obtained from plants has received a lot of attention from food producers and consumers. An important use for them in food is flavoring, so essential oils play an important role in consumer satisfaction and affect the amount of food consumption. The preparation of edible film containing different essential oils has been studied by different researchers, but *Oliveria decumbens* essential oil has not been studied in the formulation of the film obtained from *Psyllium* seed gum. Therefore, the purpose of this research is to add *Oliveria decumbens* essential oil in the formulation of the film obtained from *Psyllium* seed gum and to investigate the mechanical, physical and antimicrobial properties of the resulting edible film.

Material and Methods: In this research, edible films were made based on *Psyllium* seed gum enriched with different proportions of *Oliveria decumbens* essential oil, and the physicochemical properties of the films included thickness, moisture content, permeability to water vapor, tensile strength, elongation percentage, morphological and thermal properties were investigated. All experiments were done in three replicates. Statistical analyzes were performed in the form of completely randomized design using STATISTICA version 13 software. Average treatments were compared using Duncan's method at the 99% confidence level. Excel 2010 software was used to draw the figures.

Results and Discussion: The results of the analysis of *Oliveria decumbens* essential oil compounds by GC/MS identified a total of 8 compounds. The results showed that by increasing the amount of *Oliveria decumbens* essential oil, the thickness and percentage of length of the films increased significantly ($p < 0.05$), but the moisture content, permeability to water vapor, tensile strength, melting temperature (T_m) and the temperature of glass transition (T_g) decreased significantly ($p > 0.05$). The addition of *Oliveria decumbens* essential oil in concentrations to the films based on *Psyllium* seed gum significantly reduced the final tensile strength of the samples. In these films, the lowest and the highest ultimate tensile strength were related to the films containing 3% by volume of essential oil (14.28 MPa) and 1% by volume of essential oil (22.83 MPa). *Oliveria decumbens* essential oil added to the films also showed the softening characteristic which was obtained from the results of strain to breaking point. The images obtained from the electron microscope showed that the control film (without essential oil) had a homogeneous and uniform structure. The melting peak of the control film appeared at the temperature of 81.8 °C. This peak decreased to 80.3, 77.0 and 1.70 °C in films containing different proportions of

* Corresponding Author: z.didar80@iau.neyshabur.ac.ir

Oliveria decumbens essential oil (1%, 2% and 3%). This decrease in temperature can be due to the decrease in the hydroxyl groups of *Psyllium* seed gum, which cause the creation of strong hydrogen bonds between polymer chains.

Conclusion: In this research, the possibility of producing edible films based on *Psyllium* seed gum as a new hydrocolloid source was investigated and then the effect of adding different concentrations of *Oliveria decumbens* essential oil on these films was investigated and finally the properties of the films was examined without essential oil and with essential oil. The results of the analysis of *Oliveria decumbens* essential oil compounds by GC/MS identified a total of 8 compounds. The results showed that by adding essential oil to the films, thickness increases and moisture content, water vapor permeability, ultimate tensile strength, melting temperature and glass transition temperature decrease. More extensive research is needed to enable the use of these films in food packaging.

Keyword: Edible film, *Psyllium* seed gum, *Oliveria decumbens* essential oil, Temperature glass transition

How to cite this article:

Chavoshi, F., Didar, Z., Vazifedoost, M., Shahidi Noghabi, M., Zendehtdel, A., (2023). Production of edible films based on *Psyllium* seed gum enriched with *Oliveria decumbens* essential oil. *Innov. Food Technol.*, 10(2), 189-201.

مقاله پژوهشی

تولید فیلم‌های خوراکی بر پایه صمغ دانه اسفرزه غنی شده با اسانس لعل کوهستان

فاطمه چاوشی^۱، زهره دیدار^{۲*}، محسن وظیفه دوست^۲، مصطفی شهیدی نوقایی^۲، احمد زنده دل^۲

۱. گروه علوم و صنایع غذایی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
۲. گروه علوم و صنایع غذایی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
۳. گروه شیمی مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴)

چکیده:

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی لایه نازکی از پلیمرهای زیستی هستند که به عنوان پوشش مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اخیراً استفاده از فیلم‌های خوراکی جهت بسته‌بندی مواد غذایی به دلیل معایب متعدد مواد بسته‌بندی سنتزی از قبیل مهاجرت ترکیبات آنها به درون مواد غذایی، ایجاد آلودگی زیست محیطی و مشکل بازیافت پسماند افزایش قابل توجهی پیدا کرده است. صمغ دانه اسفرزه به جهت دسترسی آسان و قیمت مقرون به صرفه منبع خوبی برای تهیه فیلم‌های خوراکی می‌باشد. در این پژوهش فیلم‌های خوراکی بر پایه صمغ دانه اسفرزه غنی شده با نسبت‌های مختلف اسانس لعل کوهستان تهیه شدند و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها شامل ضخامت، محتوای رطوبت، نفوذپذیری به بخار آب، مقاومت به کشش، درصد افزایش طول، مورفولوژی و ویژگی‌های حرارتی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آنالیز ترکیبات اسانس لعل کوهستان توسط GC/MS نشان داد که در مجموع ۸ ترکیب در اسانس شناسایی شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان اسانس لعل کوهستان ضخامت و درصد افزایش طول فیلم‌ها به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) افزایش یافتند؛ اما محتوای رطوبت، نفوذپذیری به بخار آب، مقاومت به کشش، دمای ذوب (Tm) و دمای انتقال شیشه‌ای (Tg) به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) کاهش پیدا کردند. با توجه به نتایج کرنش تا نقطه شکست، با افزودن اسانس لعل کوهستان به فیلم‌ها، ویژگی انعطاف‌پذیری در آنها افزایش یافت. همچنین ساختار همگن و یکنواخت فیلم کنترل (بدون اسانس) در تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی به قابل مشاهده بود.

کلید واژگان: فیلم خوراکی، صمغ دانه اسفرزه، اسانس لعل کوهستان، دمای انتقال شیشه‌ای

۱. مقدمه

و کاهش میزان کلسترول خون در کودکان مبتلا به چاقی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷]. ساختار شیمیایی و عدم جذب پیسیلیوم دانه اسفرزه در بدن انسان، اهمیت مطالعه رفتارهای رئولوژیکی و پتانسیل کاربرد این ماده را در تولید مواد غذایی عملگرا نشان می‌دهد [۸].

یکی از ویژگی‌های مهم بسته‌بندی، محافظت مواد غذایی در برابر آلودگی‌های میکروبی است، بنابراین امروزه بسته‌بندی‌هایی با ویژگی‌های ضد میکروبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۹]. اخیراً استفاده از اسانس‌های گیاهی مورد توجه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان مواد غذایی قرار گرفته و این اسانس‌ها از جمله ترکیبات ضد میکروبی مورد استفاده در بسته‌بندی‌های خوراکی می‌باشند. یکی از کاربردهای مهم اسانس‌ها در مواد غذایی استفاده از آنها به عنوان طعم دهنده است، بنابراین اسانس‌ها نقش مهمی در رضایت‌مندی مصرف‌کننده ایفا می‌کنند و در نتیجه بر میزان مصرف مواد غذایی تأثیر می‌گذارند.

گیاه لعل کوهستان با نام علمی *Oliveria decumbens* یک گیاه اندمیک فلور ایرانی متعلق به خانواده *Umbelliferae* است. این گیاه در مناطق گرم جنوب و غرب ایران رشد می‌کند. این گیاه برای درمان سوء هاضمه، اسهال، درد شکمی و تب در طب سنتی استفاده می‌شود [۱۰]. طبق یافته‌ها، ۱۰ ترکیب در اسانس *Oliveria decumbens* شناسایی شد. ترکیبات اصلی تشکیل دهنده اسانس لعل کوهستان شامل لا-ترپین، مامیرسیتکین، تیمول، پی-سیمن^۱ و کارواکرول هستند. اسانس لعل کوهستان دارای فعالیت ضد میکروبی علیه باکتری‌های گرم مثبت (*استافیلوکوکوس اورئوس*-*باسیلوس سابتلیس*)، *آسپرژیلوس*، *اشیرشیاکلی* و *کاندیدا آلبیکینس* است [۱۱]. همچنین اسانس لعل کوهستان دارای فعالیت آنتی اکسیدانی قوی می‌باشد [۱۲].

از جمله اسانس‌های مختلف ضد میکروبی مورد مطالعه در مطالعات پیشین جهت غنی‌سازی بسته‌بندی‌های خوراکی می‌توان به مواردی مانند اسانس دارچین [۱۳]، اسانس سنبل هندی و ریحان [۱] اسانس برگ پرتغال [۱۴]، اسانس میخک در فیلم پکتینی [۱۵]، اسانس دارچین در فیلم خوراکی بر

پلیمرهای سنتزی از قبیل پلی پروپیلن، پلی اتیلن و پلی استایرن به عنوان مواد اولیه تولید بسته‌بندی‌های پلاستیکی در صنعت غذا مورد استفاده قرار می‌گیرند که به دلیل تجزیه ناپذیر بودنشان، سبب آلودگی محیط زیست می‌شوند. برای حل این مشکل، استفاده از مواد زیست تخریب پذیر مورد مطالعه قرار گرفته است. افزایش مشکلات زیست محیطی ناشی از بسته‌بندی‌های پلاستیکی منجر به تولید روز افزون بسته‌بندی‌های خوراکی زیست تخریب پذیر گردیده است که از بیوپلیمرهای استخراج شده از منابع غذایی به دست می‌آیند [۱،۲]. در میان این بیوپلیمرها، صمغ به دست آمده از دانه اسفرزه توانایی خوبی در تشکیل فیلم دارد و فیلم‌های مبتنی بر این صمغ خصوصیات فیزیکی دلخواه را دارا می‌باشند.

گیاه اسفرزه با نام علمی *Plantago ovate L.* یک گونه گیاهی موجود در ایران از خانواده بارهنگ می‌باشد. دانه‌های اسفرزه حاوی موسیلاز، پروتئین، قند، چربی و تانن هستند. هیدروکلونید حاصل از لایه موسیلاژی اطراف دانه اسفرزه دارای دو بخش است که یک بخش در آب سرد و بخش دیگر در آب داغ محلول است. بخش محلول در آب داغ صمغ دانه اسفرزه، پس از سرد شدن به حالت ژل در می‌آید. همچنین سبوس دانه اسفرزه (پسیلیوم) حاوی مقادیر بالایی از موسیلاژ می‌باشد که به وسیله آسیاب کردن و تراشیدن لایه خارجی دانه به دست می‌آید و تقریباً حدود ۲۵٪ از وزن کل دانه را تشکیل می‌دهد. موسیلاژ این دانه، ماده‌ای فیبری سفید رنگ است که آب را به خود جذب کرده و تشکیل یک ژل بی‌رنگ شفاف می‌دهد. قسمت تشکیل دهنده موسیلاژ ترکیبی محلول در قلیا می‌باشد که از آرابینوز، زایلوز و به مقادیر ناچیزی از قند-های دیگر تشکیل شده است [۳]. از جمله ویژگی‌های این موسیلاژ می‌توان به غیر سمی بودن و تمایل بالای آن به جذب آب اشاره کرد که حدود ۲۰ برابر حجم اولیه اش آب جذب کرده و متورم می‌شود. این موسیلاژ از لحاظ شیمیایی خنثی است و در بدن هضم و جذب نمی‌شود [۴]. پیسیلیوم از لحاظ درمانی، پلی ساکاریدی مهم می‌باشد که در درمان یبوست و اسهال [۵]، در بهبود سطح قند خون در بیماران دیابتی [۶]

جهت استخراج اسانس لعل کوهستان، gr ۱۰۰ از اندام‌های هوایی گیاه آسیاب شده در بالن ۲ L حاوی ۱ L آب (۱:۱۰ وزنی/حجمی) برای مدت ۸ h توسط دستگاه کلونجر حرارت داده شد و سپس عمل تقطیر با بخار آب انجام گردید. تعیین ترکیب شیمیایی اسانس طبق روش Jouki و همکاران (۲۰۱۴) توسط دستگاه Aglient technologies 7890A ساخت آمریکا انجام شد [۱۹].

۳.۲. استخراج هیدروکلوئید از دانه اسفرزه

جهت استخراج صمغ از دانه اسفرزه، حدود gr ۱۰ دانه اسفرزه توزین و سه مرتبه توسط اتانول ۹۶٪ وزنی/وزنی روی همزن مغناطیسی با دور rpm ۸۰۰ به مدت ۱۵ min شستشو داده شد. سپس دانه‌ها درون یک آون آزمایشگاهی با دمای °C ۷۰ به مدت ۱ h خشک شدند. برای استخراج هیدروکلوئید از دانه اسفرزه، دانه‌های خشک شده با ml ۲۰۰ آب مقطر با دمای °C ۷۰ مخلوط شدند. سپس ظرف حاوی نمونه، روی یک هیتر مجهز به همزن مغناطیسی با دور rpm ۱۲۰۰، در دمای °C ۷۰ به مدت ۹۰ min قرار داده شد [۲۰]. سپس محلول توسط یک پارچه مناسب صاف شده و در آون با دمای °C ۴۰ خشک گردید. در نهایت هیدروکلوئید خشک شده توسط آسیاب برقی آسیاب و توسط الک با مش ۶۰ الک شد.

۴.۲. تهیه فیلم حاصل از صمغ اسفرزه

gr ۱/۲ از پودر هیدروکلوئید با ml ۱۰۰ آب مقطر روی هیتر مجهز به همزن مغناطیسی با دور rpm ۱۲۰۰، در دمای °C ۷۰ حرارت داده شد. پس از دستیابی این دما، ۱/۲٪ وزنی/وزنی گلیسرول به عنوان پلاستی سایزر اضافه گردید و به مدت یک ساعت در دمای °C ۷۰±۱۰ و همان سرعت هم زدن حرارت دهی ادامه یافت. سپس محلول به مدت ۳۰ min هم زده شد و تا دمای °C ۴۰±۵ سرد شد. در نهایت، اسانس لعل کوهستان با سه سطح (۱، ۲ و ۳٪ حجمی/حجمی) و توئین ۲۰ به میزان ۳۰٪ (حجمی/حجمی) بسته به غلظت اسانس به محلول فیلم اضافه و به مدت ۳۰ min همزده شدند. نمونه بدون اسانس لعل کوهستان و توئین ۲۰ به عنوان شاهد در نظر گرفته شد [۲۱].

پایه پلی‌ساکاریدهای سویا [۱۰]، اسانس نعناع دشتی افزوده شده به فیلم خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولز و کیتوزان [۱۶] و اسانس اسطوخودوس اضافه شده به فیلم خوراکی بر پایه نشاسته [۱۱] اشاره نمود.

Pabast و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی استفاده از اسانس مرزه در فیلم خوراکی بر پایه کیتوزان جهت افزایش ماندگاری گوشت گوسفند پرداختند. مطابق مطالعات آنها، افزودن اسانس مرزه سبب ایجاد خاصیت ضد میکروبی در فیلم مورد نظر گردید و سبب افزایش ماندگاری و به تأخیر انداختن فساد میکروبی گوشت شده است [۱۷].

Ghadetaj و همکاران (۲۰۱۸) اثر افزودن اسانس *Grammosciadium ptrocarpum* در ساختار فیلم خوراکی حاوی پروتئین آب پنیر را بررسی نموده و گزارش دادند که خصوصیات ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی فیلم‌ها بهبود یافته است. همچنین آنها بیان کردند که ویژگی‌های مکانیکی و خاصیت ممانعت‌کنندگی نسبت به رطوبت افزایش پیدا کرد [۱۸].

تهیه فیلم خوراکی غنی شده با اسانس‌های مختلف تاکنون توسط محققین بررسی شده است؛ اما استفاده از اسانس لعل کوهستان در فرمولاسیون فیلم حاصل از صمغ اسفرزه تا به حال مورد بررسی قرار نگرفته است؛ لذا هدف از انجام این تحقیق افزودن اسانس لعل کوهستان در فرمولاسیون فیلم حاصل از صمغ دانه اسفرزه و بررسی ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی فیلم خوراکی حاصله است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. مواد

گیاه لعل کوهستان از عطاری واقع در شیراز خریداری شد و توسط کارشناس مرکز علوم و تحقیقات تهران تایید گردید. گلیسرول با خلوص ۱۰۰٪ از شرکت آکروز انگلستان و سایر مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

۲.۲. استخراج اسانس لعل کوهستان و تعیین ترکیب

شیمیایی اسانس با استفاده از دستگاه GC/MS

$$\%MC = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه W_0 ، وزن نمونه قبل از خشک شدن بر حسب میلی‌گرم و W_f ، وزن نمونه بعد از خشک شدن بر حسب میلی‌گرم می‌باشد. این آزمون در ۳ تکرار انجام شد [۲۲].

۳.۵.۲. بررسی خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها

بررسی خصوصیات بافتی فیلم‌ها با استفاده از دستگاه بافت سنج مدل TA-XT plus ساخت انگلستان و به کمک نرم‌افزار Exponent صورت گرفت [۲۳]. بدین منظور، فیلم اسفرزه در اندازه 60×20 میلی‌متر مربع بریده شد. نمونه‌های فیلم در بین دو فک با سرعت ۱ mm در ثانیه کشیده شدند. میزان تنش برشی و درصد طویل شدن به ترتیب مطابق رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه گردید.

$$(2) \quad \text{حداکثر نیروی لازم برای پاره شدن فیلم حسب بر نیوتن} = \frac{\text{تنش برشی (مگا پاسکال)}}{\text{سطح اولیه بر حسب متر مربع}}$$

$$(3) \quad \text{درصد طویل شدن فیلم} = \frac{\text{اختلاف طول هنگام پاره شدن بر حسب متر}}{\text{طول اولیه حسب بر متر}}$$

رطوبت جذب شده در فیلم‌ها اندازه‌گیری شد [۲۳].

$$WVP \text{ (gm}^{-1}\text{pa}^{-1}\text{s}^{-1}\text{)} = \frac{(W \times X)}{A \times t \times \Delta P} \quad (4)$$

در رابطه فوق W میزان اختلاف وزن بطری بر حسب g ، X ضخامت فیلم بر حسب m ، A مساحت فیلم ژلاتینی بر حسب mm^2 ، t زمان بر حسب s و ΔP اختلاف فشار بخار اتمسفر حاوی سیلیکاژل و آب خالص بر حسب پاسکال است.

۵.۵.۲. تصویر برداری میکروسکوپی روبشی

تعیین خصوصیات ریز ساختاری (مشاهده بافت اسفنجی ایجاد شده توسط اسانس) با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Phenoma Prox ساخت هلند انجام گردید [۲۴]. به این منظور، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح و سطح مقطع فیلم‌ها تهیه گردید. قبل از

۵.۲. اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی فیلم‌ها

۱.۵.۲. تعیین ضخامت فیلم‌ها

ضخامت فیلم‌های بر پایه صمغ اسفرزه توسط میکرومتر دیجیتال اندازه‌گیری شد. ضخامت ده نقطه از فیلم تعیین و میانگین اعداد به عنوان ضخامت نهایی اعلام شد [۲۰].

۲.۵.۲. محتوای رطوبتی فیلم

برای اندازه‌گیری محتوای رطوبتی، ابتدا نمونه‌های فیلم با وزن 500 mg برش داده شدند. سپس نمونه‌ها جهت مشروط کردن به مدت 24 h در دسیکاتور حاوی منیزیم نیترات اشباع با دمای $1 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$ رطوبت نسبی ۵۵٪ قرار گرفتند. پس از مشروط شدن، نمونه‌های توزین شده به آون با دمای $105 \text{ }^\circ\text{C}$ منتقل شدند. خشک کردن نمونه‌ها در آون تا زمان رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. محتوای رطوبتی فیلم‌ها بر اساس رابطه (۱) به دست آمد:

۴.۵.۲. تعیین نفوذ پذیری به بخار آب فیلم‌ها

برای انجام این آزمایش از روش Molaveisi و Hajirostamloo (۲۰۲۲) استفاده گردید. به این منظور، مقدار معینی از کلرید کلسیم بدون آب درون ظرف‌های شیشه‌ای مخصوص ریخته شد. سپس سطح ظرف‌ها به وسیله فیلم پوشانده شد. به این ترتیب به علت جاذب‌الرطوبه بودن کلرید کلسیم بدون آب، رطوبت نسبی درون سلول‌ها به صفر درصد رسید. سپس سلول‌ها به درون دسیکاتور حاوی آب نمک اشباع با رطوبت ۷۵٪ و دمای $25 \text{ }^\circ\text{C}$ منتقل شدند. تغییرات وزن سلول‌ها طی زمان با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت 0.001 gr ± اندازه‌گیری شد. برای نمونه فیلم مربوطه، یک سلول اندازه‌گیری بدون کلرید کلسیم به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. همچنین یک نمونه فیلم بدون اسانس به عنوان نمونه فیلم شاهد در نظر گرفته شد. در نهایت،

تصویربرداری، فیلم‌ها با لایه‌ای از طلا پوشانده شدند. تصویربرداری از نمونه‌ها با شتاب ۲۰ کیلووات و در بزرگ-نمایی‌های مختلف صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

۶.۵.۲. گرماسنجی اسکنی افتراقی (DSC)

به منظور اندازه‌گیری خواص حرارتی از دستگاه (DSC) Mettler Toledo مدل Differential Scanning Calorimetry ساخت سوئیس استفاده شد [۲۵]. نمونه‌ها قبل از آزمون به مدت ۷۲ h در دمای ۲۵ °C و رطوبت نسبی ۵۵٪ مشروط شدند. سپس در حدود ۵ mg از هر فیلم داخل ظرف آلومینیومی در بسته قرار داده شد و با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه در بازه دمایی ۲۰۰-۰ °C در حضور گاز نیتروژن گرم و سرد شد. یک ظرف خالی آلومینیومی به عنوان منبع در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده توسط نرم افزار Thermal Analysis Universal 2000 صورت پذیرفت.

۶.۲. آنالیز آماری

تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار صورت گرفت. آنالیزهای آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA نسخه ۱۳ انجام شد. میانگین تیمارها به روش

۱.۳. ترکیب شیمیایی اسانس لعل کوهستان
نتیجه آنالیز اسانس لعل کوهستان مورد استفاده در این مطالعه با GC/MS در جدول (۱) آورده شده است. با توجه به نتایج آنالیز ترکیبات اسانس لعل کوهستان، در مجموع ۸ ترکیب شناسایی شد. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود از بین ترکیبات شناسایی شده، تیمول با ۴۱/۲۴٪ عمده‌ترین ترکیب بود. بتا-پینین (۲/۸۴٪)، بتا-میرسین (۰/۲۳٪)، پی-سیمین (۵/۴۹٪)، دی-لیمونن (۳/۴۵٪)، گاما-ترپینین (۱۵/۹۵٪)، کارواکرول (۱۱/۷۶٪) و میرستیسین (۱۶/۹۰٪) از دیگر ترکیبات شناسایی شده در اسانس بودند. این ترکیبات بسیار مشابه با ترکیبات گزارش شده برای اسانس لعل کوهستان در مطالعات پیشین بودند [۲۶]. با توجه به اینکه نوع و مقدار ترکیبات تشکیل دهنده اسانس لعل کوهستان در مطالعات پیشین با همدیگر تفاوت دارند، انجام این آزمون به منظور تشخیص بهتر این ترکیبات ضروری به نظر می‌رسد.

جدول (۱) آنالیز اسانس لعل کوهستان شامل درصد، نوع ترکیبات و زمان بازداری.

Table 1. Analysis of *Olivieria decumbens* essential oil including percentage, type of compounds and retention time.

No.	Compound	Retention time	Percentage (%)
1	β -Pinene	11.505	2.84
2	β -Myrcene	33.375	0.23
3	p-Cymene	34.553	5.49
4	D-Limonene	34.947	3.45
5	γ -terpinene	35.406	15.95
6	Thymol	42.634	41.24
7	Carvacrol	43.377	11.76
8	Miristicin	43.623	16.90
	Total		97.86

۲.۳. ضخامت فیلم‌ها

نفوذپذیری به گازهای مختلف افزایش و مقاومت مکانیکی کاهش می‌یابد [۲۷]. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد، با افزایش مقدار اسانس مصرفی ضخامت فیلم‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. در میان فیلم‌های غنی شده با اسانس لعل کوهستان، فیلم حاوی ۳ و ۱ درصد وزنی/وزنی

ضخامت فیلم‌های مورد استفاده در بسته‌بندی محصولات غذایی از عواملی است که مورد توجه تولیدکنندگان قرار گرفته است. براساس پژوهش‌های پیشین می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش ضخامت فیلم‌های مورد استفاده در بسته‌بندی،

محتوای رطوبتی آنها تعیین کرد. محتوای رطوبتی فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه بدون اسانس، $25/34 \pm 1/27$ % به دست آمد که در جدول (۲) نشان داده شده است. محتوای رطوبتی حاصل شده برای فیلم‌های کنترل از مقادیر گزارش شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه با ۱۵ % حجمی-حجمی گلیسرول ($13/50 \pm 0/33$ %) [۲۰]، فیلم‌های بر پایه موسیلاژ دانه به ($18/67 \pm 0/25$ %) [۱۹] و فیلم‌های بر پایه صمغ دانه ریحان با ۵۰ % وزنی/وزنی گلیسرول ($18/54 \pm 0/23$ %) [۳۱] بالاتر و از مقادیر گزارش شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ مریم گلی با ۴۰ % وزنی/وزنی گلیسرول ($23/63 \pm 0/27$ %) [۳۲] پایین‌تر بود. جدول (۲) نشان داد که با افزودن اسانس به فیلم‌ها، محتوای رطوبتی نمونه‌ها به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) کاهش یافت. نتایج پژوهش‌های پیشین از جمله Nur Hanani و Nur Fatin Nazurah (۲۰۱۷) نشان دادند که محتوای رطوبتی با افزودن اسانس‌های گیاهی به فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان کاهش یافت [۳۰].

اسانس به ترتیب دارای بیشترین و کمترین ضخامت نسبت به سایر فیلم‌ها بودند. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که وجود مواد آبریز مانند اسانس‌ها و روغن‌ها می‌تواند سبب افزایش ضخامت گردد [۲۸]. افزایش ضخامت فیلم‌های امولسیون‌ی حاوی اسانس لعل کوهستان احتمالاً به دلیل سازش مناسب بین اسانس و صمغ دانه اسفرزه می‌باشد. هم‌چنین، این افزایش می‌تواند به دلیل تغییرات ایجاد شده در ساختار فیلم بر پایه صمغ باشد [۲۹]. Nur و Nur Fatin Nazurah و Hanani (۲۰۱۷) بر روی فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان حاوی روغن‌های گیاهی مختلف شامل روغن زیتون، ذرت، آفتابگردان و سویا پژوهشی مطالعه کردند و نتایج حاصل نشان داد که ضخامت فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان با افزودن روغن به طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت داشت [۳۰].

۳.۳. محتوای رطوبتی فیلم‌ها

مقدار آب موجود در فیلم‌های تولید شده را می‌توان براساس

جدول (۲) ضخامت، نفوذ پذیری به بخار آب، محتوای رطوبت و خواص مکانیکی (استحکام کششی نهایی و کرنش تا نقطه شکست) فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه غنی شده با نسبت‌های مختلف اسانس لعل کوهستان.

Table 2. Thickness, water vapor permeability, moisture content and mechanical properties (ultimate tensile strength and strain to breaking point) of the films based on *Psyllium* seed gum enriched with different proportions of *Olivaria decumbens* essential oil.

Film properties	Control	1 % v/v essential oil	2 % v/v essential oil	3 % v/v essential oil
Thickness (μm)	9.71 ± 0.09^d	14.98 ± 1.27^c	19.65 ± 2.22^b	26.50 ± 2.27^a
WVP (g mm/kPa hm^2)	0.23 ± 0.11^a	0.19 ± 0.09^b	0.16 ± 0.07^c	0.13 ± 0.04^d
Moisture content (%)	25.34 ± 1.27^a	21.68 ± 1.07^b	17.88 ± 0.91^c	13.58 ± 0.59^d
Tensile strength (MPa)	26.10 ± 0.63^a	22.83 ± 0.46^b	19.65 ± 0.26^c	14.28 ± 0.13^d
Strain to breaking (%)	12.04 ± 0.08^d	16.87 ± 0.14^c	20.64 ± 0.18^b	24.45 ± 0.21^a

نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه در جدول (۲) آورده شده است. میزان نفوذ پذیری به بخار آب فیلم کنترل، $0/23 \text{ g mm/kPa hm}^2$ به دست آمد که بالاتر از مقادیر ارائه شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه با ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی/وزنی اسانس لعل کوهستان بود. بالا بودن نفوذ پذیری به بخار آب در فیلم کنترل، امکان استفاده از این فیلم را در بسته‌بندی مواد غذایی تحت الشعاع قرار می‌دهد. به طور معمول، نفوذپذیری فیلم‌های آب دوست به بخار آب به عواملی هم چون انتشار و حلالیت مولکول‌های آب در ساختار

۴.۳. بررسی میزان نفوذ پذیری به بخار آب فیلم‌ها (WVP)

نفوذ پذیری فیلم‌های خوراکی به بخار آب از جمله مهم‌ترین فاکتورهایی است که به منظور پی‌بردن به توانایی فیلم‌های مورد استفاده در مقابل انتقال بخار آب بین ماده غذایی و محیط پیرامون می‌توان مورد ارزیابی قرار داد. نفوذپذیری فیلم‌ها نقش بسیار مهمی در ماندگاری محصول ایفا می‌کند، به طوری که این ویژگی فیلم‌های خوراکی رابطه مستقیمی با واکنش‌های مربوط به فساد مواد غذایی دارد [۳۳].

فیلم باشد. پایداری مناسب امولسیون در تولید فیلم تأثیر بسیار مهمی بر خصوصیات فیلم دارد [۷]. با توجه به نتایج می‌توان گفت که اسانس توانایی تولید امولسیون پایداری دارد. هم چنین، خصوصیات فیزیکوشیمیایی مختلف اسانس‌ها از جمله دمای ذوب، طول زنجیره و اشباعیت اسیدهای چرب می‌تواند نقش بسیار مهمی در نفوذ پذیری به بخار آب فیلم‌های هیدروفلیک ایفا نماید [۳۵].

فیلم‌های امولسیونی بر پایه کفیران حاوی اسید اولئیک [۲۲]، فیلم‌های کامپوزیت بر پایه کیتوزان حاوی اسانس درخت چای [۳۶] و فیلم‌های بر پایه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) حاوی اسانس چای بودند. افزودن اسانس لعل کوهستان به محلول‌های فیلم سبب جایگزینی بخشی از بر-هم‌کنش‌های پلیمر-پلیمر با برهم‌کنش‌های پلیمر-اسانس در ساختار فیلم می‌گردد. این امر سبب تضعیف نمونه فیلم و به دنبال آن، کاهش استحکام کششی نهایی می‌شود [۳۶]. بالا بودن استحکام کششی نهایی می‌تواند مربوط به حضور برخی ترکیبات عملگرای موجود در ساختار اسانس باشد که با گروه‌های هیدروکسیل صمغ دانه اسفرزه در طول تولید فیلم، اتصالات عرضی برقرار می‌کنند. برخلاف نتایج به دست آمده برای استحکام کششی نهایی، با افزودن اسانس لعل کوهستان به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه، مقادیر کرنش تا نقطه شکست نمونه‌ها افزایش یافت. مقادیر کرنش تا نقطه شکست فیلم‌های کنترل $0.9 \pm 12.04\%$ به دست آمد که پایین‌تر از مقادیر گزارش شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه (۲۴/۵۷٪) [۲۰]، فیلم‌های بر پایه موسیلاژ دانه به (۲۱/۶۷٪) [۱۹] و فیلم‌های بر پایه صمغ دانه ریحان (۳۱/۵۵٪) [۳۱] بود. با افزایش میزان اسانس فیلم‌ها از ۱ به ۳ درصد حجمی/حجمی، مقادیر کرنش تا نقطه شکست به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. بالاترین مقدار کرنش تا نقطه شکست مربوط به فیلم‌های حاوی ۳٪ حجمی/حجمی اسانس (۲۴/۴۵٪) و کمترین مقدار مربوط به فیلم‌های حاوی ۱٪ حجمی/حجمی اسانس (۱۶/۸۷٪) بود. این افزایش در مقادیر کرنش تا نقطه شکست می‌تواند به دلیل ماهیت نرم‌کنندگی

فیلم بستگی دارد [۳۴]. همان‌طور که در جدول (۲) نیز مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار اسانس از ۱ به ۳ درصد وزنی/وزنی، نفوذ پذیری به بخار آب به مقدار بیشتری کاهش یافت. پایین‌ترین میزان نفوذ پذیری به بخار آب مربوط به فیلم‌های حاوی ۳ درصد وزنی/وزنی اسانس لعل کوهستان بود که با نتایج به دست آمده در بخش محتوای رطوبتی مطابقت داشت. تفاوت فیلم‌های حاوی درصد‌های مختلف اسانس می‌تواند مربوط به مواردی هم‌چون ابعاد قطرات روغن در ساختار

۵.۳. خواص مکانیکی فیلم‌ها

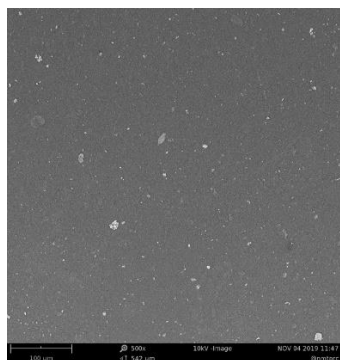
فیلم‌های مورد استفاده در تولید محصولات غذایی باید مقاومت مناسبی در برابر تنش و فشار داشته باشند تا در طی نگهداری و حمل و نقل بتوانند کیفیت خود را حفظ نمایند [۳۰]. بنابراین، محاسبه استحکام کششی نهایی (MPa) و کرنش تا نقطه شکست (%) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مقادیر استحکام کششی نهایی و کرنش تا نقطه شکست فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه حاوی مقادیر مختلف اسانس لعل کوهستان در جدول (۲) آورده شده است. مقدار استحکام کششی نهایی فیلم کنترل، $26/10$ MPa به دست آمد که بالاتر از مقادیر ارائه شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه ($14/31$ MPa) [۲۰]، فیلم‌های بر پایه موسیلاژ دانه به (MPa) $21/24$ [۱۹] و فیلم‌های بر پایه صمغ مریم‌گلی (MPa) $16/56$ [۳۲] و پایین‌تر از مقادیر مربوط به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه ریحان ($31/69$ MPa) [۳۱] بود. افزودن اسانس لعل کوهستان در غلظت‌های تحت بررسی به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه به‌طور معنی‌داری استحکام کششی نهایی نمونه‌ها را کاهش داد. در این فیلم‌ها، پایین‌ترین و بالاترین میزان استحکام کششی نهایی به ترتیب مربوط به فیلم‌های حاوی ۳ درصد حجمی-حجمی اسانس ($14/28$ MPa) و ۱ درصد حجمی-حجمی اسانس بود ($22/83$ MPa). لازم به ذکر است که نتایج مشابهی در پژوهش‌های پیشین برای کاهش استحکام کششی نهایی همراه با افزودن اسانس مشاهده شده است. برخی از این مطالعات شامل فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان حاوی اسانس *Satureja hortensis* [۲۴]، فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان حاوی روغن‌های گیاهی مختلف [۳۰]،

ساختار فیلم به ساختاری ناهمگن، غیر یکنواخت و زبر تغییر یافت. فیلم‌های با اسانس بیشتر پخش غیر یکنواختی را نشان دادند و زبری فیلم‌ها بیشتر از فیلم کنترل بود. این مسئله ناشی از توزیع یکنواخت‌تر اسانس و پایداری مناسب امولسیون در طی تولید فیلم است. Seyedi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که فیلم‌های کنترل بر پایه صمغ دانه قدومه شهری، ساختار همگن و یکنواختی داشتند در حالی که فیلم‌های حاوی اسیدهای چرب ۱۶ کربنه و ۱۸ کربنه، ساختار زبرتر و غیر یکنواختی را داشتند و ساختار فیلم به دو فاز بیوپلیمر و روغن تبدیل شد [۳۷]. عواملی هم چون انبوهش، هم آمیختگی (ادغام) و خامه‌ای شدن قطرات روغن در طول فرآیند خشک کردن سبب تغییر ساختار فیلم می‌گردد. نتایج مشابهی در فیلم‌های بر پایه کفیران و حاوی اسید اولئیک [۲۲] و فیلم‌های بر پایه کیتوزان و حاوی اسید اولئیک [۳۸] گزارش شده است.

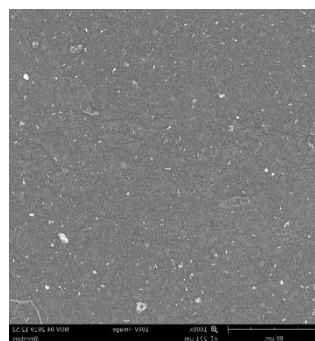
یا پلاستی سائزری اسانس باشد [۳۷]. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که با افزودن اسانس‌های روغنی به فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان، مقادیر کرنش تا نقطه شکست افزایش یافت که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت داشت [۳۰].

۶.۳. بررسی مورفولوژی فیلم‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

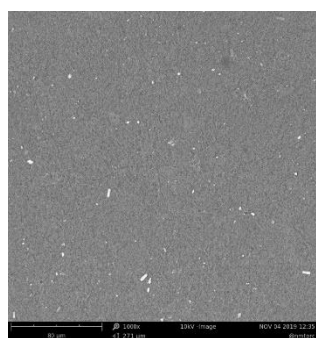
بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی اطلاعات مهمی را درباره میکروساختار فیلم‌ها و برهم‌کنش‌های بین اجزای تشکیل دهنده فیلم در اختیار قرار می‌دهد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه با مقادیر مختلف اسانس لعل کوهستان در شکل (۱) آورده شده است. فیلم کنترل (بدون اسانس)، ساختار همگن و یکنواختی را نشان داد. با افزودن اسانس لعل کوهستان،



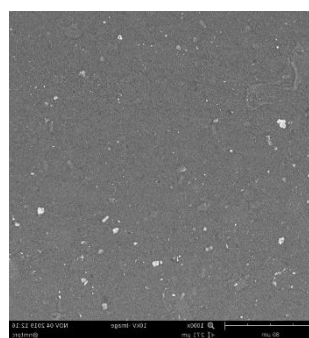
1 % *Oliveria decumbens* essential oil



Control



3 % *Oliveria decumbens* essential oil



2% *Oliveria decumbens* essential oil

شکل (۱) تصاویر میکروسکوپ الکترونی حاصل از فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه (کنترل) و غنی شده با درصد‌های مختلف اسانس لعل کوهستان.

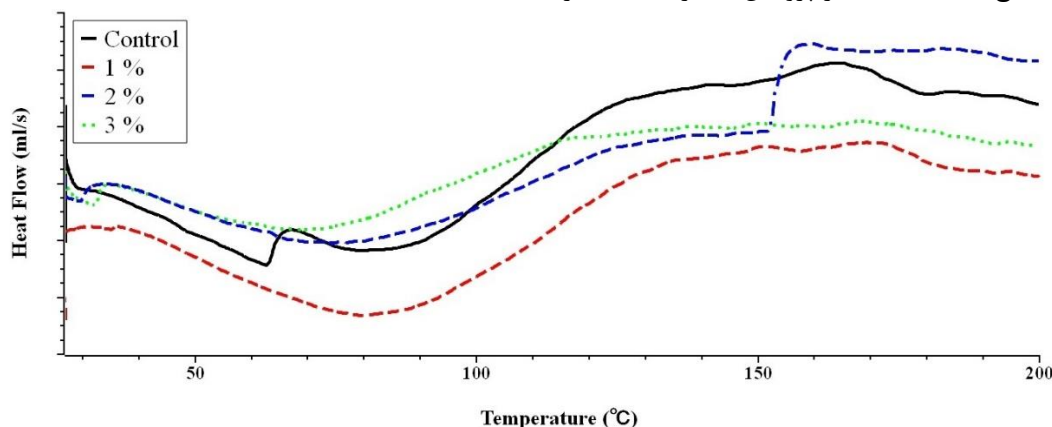
Figure 1. Scanning electron micrographs obtained from the films based on *Psyllium* seed gum (control) and enriched with different percentages of *Oliveria decumbens* essential oil.

۷.۳. خواص حرارتی فیلمها

[۷]. مواد آمورف و نیمه آمورف در دمای موسوم به دمای انتقال شیشه‌ای (Tg) از حالت جامد شیشه‌ای به شکل لاستیکی در می‌آیند (یا برعکس). در دمای انتقال شیشه‌ای، تحرک مولکولها افزایش یافته و فاصله بین زنجیرها در پلیمرها بیشتر می‌شود. هر ماده دارای دمای انتقال شیشه‌ای ویژه خود است و هم چنین پدیده انتقال شیشه‌ای در یک گستره دمایی رخ می‌دهد تا در یک دمای معین. تعیین دمای انتقال شیشه‌ای یکی از روش‌های مهم در تعیین ماندگاری مواد غذایی به شمار می‌رود. در دماهای بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای، نفوذپذیری فیلمهای پلیمری نسبت به گازها و بخار آب افزایش می‌یابد [۷]. پایین‌تر از دمای انتقال شیشه‌ای، نمونه‌های فیلم به صورت سخت و زبر و بالاتر از آن به صورت انعطاف‌پذیر و نرم می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۲) نیز مشاهده می‌گردد، دمای انتقال شیشه‌ای فیلم کنترل، $59/1^{\circ}\text{C}$ به دست آمد که این دما در فیلمهای حاوی نسبت‌های مختلف اسانس لعل کوهستان (۱٪، ۲٪، ۳٪) به ترتیب به $52/9^{\circ}\text{C}$ ، $49/4^{\circ}\text{C}$ و $50/0^{\circ}\text{C}$ کاهش یافت. این کاهش در دمای انتقال شیشه‌ای می‌تواند به عواملی هم چون افزایش حجم آزاد و حرکت ناشی از افزودن روغن در شبکه پلیمر بستگی داشته باشد. که سبب تغییر در ساختار فیلمهای تولید شده می‌گردد [۴۰].

آزمون حرارتی روبرشی افتراقی (DSC) فیلمهای بر پایه صمغ دانه اسفرزه برای تعیین دقیق‌تر ساختار و برهم‌کنش‌های بین بیوپلیمر و اسانس انجام شد. ویژگی‌های حرارتی فیلمهای بر پایه صمغ دانه اسفرزه حاوی اسانس لعل کوهستان با درصد‌های مختلف و فیلم کنترل در شکل (۲) آورده شده است.

همان‌طور که در این شکل نیز مشاهده می‌گردد، پیک ذوب فیلم کنترل در دمای $81/8^{\circ}\text{C}$ ظاهر شد. این پیک در فیلمهای حاوی نسبت‌های مختلف اسانس لعل کوهستان (۱٪، ۲٪، ۳٪) به ترتیب به $80/3^{\circ}\text{C}$ ، $77/0^{\circ}\text{C}$ و $70/1^{\circ}\text{C}$ کاهش دما می‌تواند به دلیل کاهش در گروه‌های هیدروکسیل صمغ دانه اسفرزه باشد که سبب ایجاد پیوندهای هیدروژنی قوی بین زنجیرهای پلیمرها می‌شوند. Norziah و Al-Hassan (۲۰۱۲) نشان دادند که دمای ذوب پایین‌تر فیلمهای بر پایه نشاسته-ژلاتین می‌تواند به دلیل کاهش نیروهای بین مولکولی و افزایش حرکت پلیمرهای قطبی باشد [۳۹]. همچنین Almasi و Ghanbarzadeh (2011) نشان دادند که دمای ذوب فیلمهای کنترل کربوکسی متیل سلولز (CMC) و فیلمهای بر پایه CMC حاوی اسید اولئیک به ترتیب $170/7^{\circ}\text{C}$ و $182/4^{\circ}\text{C}$ بود که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شکل (۲) ویژگی‌های حرارتی فیلمهای بر پایه صمغ دانه اسفرزه (کنترل) و غنی شده با درصد‌های مختلف اسانس لعل کوهستان.

Figure 2. Thermal properties of films based on *Psyllium* seed gum (control) and enriched with different percentages of *Oliveria decumbens* essential oil.

۴. نتیجه‌گیری

دانه اسفرزه به‌عنوان یک منبع هیدروکلوئیدی جدید مورد بررسی قرار گرفت و سپس تأثیر افزودن غلظت‌های مختلف

در این پژوهش، امکان تولید فیلمهای خوراکی بر پایه صمغ

ضخامت افزایش و محتوای رطوبتی، نفوذپذیری به بخار آب، استحکام کششی نهایی، دمای ذوب و دمای انتقال شیشه‌ای کاهش یافت. تحقیقات گسترده‌تری لازم است تا بتوان امکان استفاده از این فیلم‌ها را در بسته‌بندی مواد غذایی فراهم کرد.

اسانس لعل کوهستان بر این فیلم‌ها بررسی گردید و در نهایت خواص فیلم‌های بدون اسانس و دارای اسانس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز ترکیبات اسانس لعل کوهستان توسط GC/MS نشان داد که در مجموع ۸ ترکیب در اسانس شناسایی شد. نتایج نشان داد که با افزودن اسانس به فیلم‌ها،

منابع

- [1] Hajirostamloo, B., Molaveisi, M., & Dehnad, D. (2022). Structural, nutritional and antimicrobial properties of soy protein isolate and Alyssum homolocarpum seed gum films containing carrot seed and pomegranate peel extracts. *J Food Meas. Charact*, 1-9.
- [2] Hajirostamloo, B., Mortazavi, S. A., Molaveisi, M., & Dehnad, D. (2022). Improvement of soy protein isolate-Alyssum homolocarpum seed gum blend film through intermolecular bonds induced by the mixture of plant extracts. *J Food Meas. Charact*, 1-10.
- [3] Fischer, M. H., Yu, N., Gray, G. R., Ralph, J., Anderson, L., & Marlett, J. A. (2004). The gel-forming polysaccharide of psyllium husk (*Plantago ovata* Forsk). *Carbohydrate Research*, 339(11), 2009-2017.
- [4] Aymerich, T., Garriga, M., Ylla, J., Vallier, J., Monfort, J. M., & Hugas, M. (2000). Application of enterocins as biopreservatives against *Listeria innocua* in meat products. *J Food Prot*, 63(6), 721-726.
- [5] Washington, N., Harris, M., Mussellwhite, A., & Spiller, R. C. (1998). Moderation of lactulose-induced diarrhea by psyllium: effects on motility and fermentation. *Am J Clin Nutr*, 67(2), 317-321.
- [6] Florholmen, J., Arvidsson-Lenner, R., Jorde, R., & Burhol, P. G. (1982). The Effect of Metamucil on Postprandial Blood Glucose and Plasma Gastric Inhibitory Peptide in Insulin-dependent Diabetics. *Acta Med Scand*, 212(4), 237-240.
- [7] Ghanbarzadeh, B., & Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *Int J Biol Macromol*, 48(1), 44-49.
- [8] Davidson, M. H., Dugan, L. D., Burns, J. H., Sugimoto, D., Story, K., & Drennan, K. (1996). A psyllium-enriched cereal for the treatment of hypercholesterolemia in children: a controlled, double-blind, crossover study. *Am J Clin Nutr*, 63(1), 96-102.
- [9] Molaveisi, M., Taheri, R. A., & Dehnad, D. (2022). Innovative application of the *Echinacea purpurea* (L.) extract-phospholipid phytosomes embedded within Alyssum homolocarpum seed gum film for enhancing the shelf life of chicken meat. *Food Biosci*, 50, 102020.
- [10] Ghani, S., Barzegar, H., Noshad, M., & Hojjati, M. (2018). The preparation, characterization and in vitro application evaluation of soluble soybean polysaccharide films incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsions. *Int J Biol Macromol*, 112, 197-202.
- [11] Jamróz, E., Juszczak, L., & Kucharek, M. (2018). Investigation of the physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of ternary potato starch-furcellaran-gelatin films incorporated with lavender essential oil. *Int J Biol Macromol*, 114, 1094-1101.
- [12] Bonilla, J., Poloni, T., Lourenço, R. V., & Sobral, P. J. (2018). Antioxidant potential of eugenol and ginger essential oils with gelatin/chitosan films. *Food Biosci*, 23, 107-114.
- [13] Kim, H., Beak, S. E., & Song, K. B. (2018). Development of a hagfish skin gelatin film containing cinnamon bark essential oil. *LWT- Food Sci Technol*, 96, 583-588.
- [14] Alparslan, Y., Hasanhocaoğlu Yapıcı, H., Metin, C., Baygar, T., Günlü, A., & Baygar, T. (2016). Quality assessment of shrimps preserved with orange leaf essential oil incorporated gelatin. *LWT - Food Sci Technol*, 72, 457-466.
- [15] Nisar, T., Wang, Z. C., Yang, X., Tian, Y., Iqbal, M., & Guo, Y. (2018). Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *Int J Biol Macromol*, 106, 670-680.
- [16] Shahbazi, Y. (2018). Application of carboxymethyl cellulose and chitosan coatings containing *Mentha spicata* essential oil in fresh strawberries. *Int J Biol Macromol*, 112, 264-272.
- [17] Pabast, M., Shariatifar, N., Beikzadeh, S., & Jahed, G. (2018). Effects of chitosan coatings incorporating with free or nano-encapsulated *Satureja* plant essential oil on quality characteristics of lamb meat. *Food Control*, 91, 185-192.
- [18] Ghadetaj, A., Almasi, H., & Mehryar, L. (2018). Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadium ptrocarpum Bioss* essential oil. *Food Packag Shelf Life*, 16, 31-40.

- [19] Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., & Koocheki, A. (2014). Characterization of antioxidant-antibacterial quince seed mucilage films containing thyme essential oil. *Carbohydr Polym*, 99, 537-546.
- [20] Ahmadi, R., Kalbasi-Ashtari, A., Oromiehie, A., Yarmand, M. S., & Jahandideh, F. (2012). Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ovata Forsk*). *J Food Eng*, 109(4), 745-751.
- [21] Siracusa, V., Romani, S., Gigli, M., Mannozzi, C., Cecchini, J. P., Tylewicz, U., & Lotti, N. (2018). Characterization of active edible films based on citral essential oil, alginate and pectin. *Materials*, 11(10), 1980.
- [22] Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., Oromiehie, A., & Yarmand, M. S. (2011). Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on kefir and oleic acid. *Int J Biol Macromol*, 49(3), 378-384.
- [23] Hajirostamloo, B., & Molaveisi, M. (2022). Active Alyssum homolocarpum seed gum films containing microencapsulated Echinacea purpurea (L.) extract; study of physicochemical properties and its application in quail meat packaging. *J Food Meas. Charact*, 16(3), 1997-2010.
- [24] Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M. A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Ojagh, S. M. & Khaksar, R. (2013). Characterization of antioxidant-antimicrobial κ-carrageenan films containing Satureja hortensis essential oil. *Int. J Biol Macromol*, 52, 116-124.
- [25] Molaveisi, M., Shahidi-Noghabi, M., & Najj-Tabasi, S. (2021). Controlled release and improved stability of vitamin D3 within nanoliposomes stabilized by palmitic acid. *J Food Saf*, 41(5), e12924.
- [26] Nikravan, L., Maktabi, S., Ghahfarrokhi, M. G., & Sourestani, M. M. (2020). The comparison of antimicrobial and antioxidant activity of essential oil of *Oliveria decumbens* and its nanoemulsion preparation to apply in food industry. *Iran. Vet. J.*, 17(72), 78-87.
- [27] Hajirostamloo, B., Molaveisi, M., Jafarian Asl, P., & Rahman, M. M. (2022). Novel soy protein isolate film containing cardamom essential oil microcapsules: study of physicochemical properties and its application in Iranian white cheese packaging. *J Food Meas. Charact*, 1-13.
- [28] Taqi, A., Askar, K.A., Nagy, K., Mutihac, L., & Stomatin, I. (2011). Effect of different concentrations of olive oil and oleic acid on the mechanical properties of albumen (egg white) edible films. *Afr J Biotechnol*, 10, 12963 – 12972.
- [29] Pérez-Mateos, M., Montero, P., & Gómez-Guillén, M. C. (2009). Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. *Food Hydrocoll*, 23(1), 53-61.
- [30] Nur Fatin Nazurah, R., & Nur Hanani, Z.A. (2017). Physicochemical characterization of kappa-carrageenan (*Euchema cottoni*) based films incorporated with various plant oils. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1479 – 1487.
- [31] Khazaei, N., Esmaili, M., Djomeh, Z. E., Ghasemlou, M., & Jouki, M. (2014). Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (*Ocimum basilicum L.*) gum. *Carbohydrate Polymers*, 102, 199-206.
- [32] Razavi, S. M. A., Amini, A. M., & Zahedi, Y. (2015). Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration. *Food Hydrocolloids*, 43, 290-298.
- [33] Spotti, M., Cecchini, J., Spotti, M., & R. Carrara, C. (2016). Brea gum (from *Cercidium praecox*) as a structural support for emulsionbased films. *LWT – Food Sci Technol*, 68, 127 – 134.
- [34] Gontard, N., Guilbert, S., & CUQ, J. L. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *J Food Sci*, 58(1), 206-211.
- [35] Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Mokarram, R. R., Hashemi, M., & Coma, V. (2017). Preparation and characterization of active emulsified films based on chitosan-carboxymethyl cellulose containing zinc oxide nano particles. *Int J Biol Macromol*, 99, 530-538.
- [36] Sánchez-González, L., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2010). Physical and antimicrobial properties of chitosan-tea tree essential oil composite films. *J Food Eng*, 98(4), 443-452.
- [37] Seyedi, S., Koocheki, A., Mohebbi, M., & Zahedi, Y. (2015). Improving the physical and moisture barrier properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum biodegradable film with stearic and palmitic acids. *Int J Biol Macromol*, 77, 151-158.
- [38] Vargas, M., Albors, A., & Chiralt, A. (2011). Application of chitosan-sunflower oil edible films to pork meat hamburgers. *Procedia Food Sci*, 1, 39-43.
- [39] Al-Hassan, A.A., & Norziah, M.H. (2012). Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocoll*, 26, 108 – 117.
- [40] Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., Koocheki, A., & Khazaei, N. (2014). Effect of quince seed mucilage edible films incorporated with oregano or thyme essential oil on shelf life extension of refrigerated rainbow trout fillets. *Int J Food Microbiol*, 174, 88-97.

