



تولید فیلم بسته‌بندی فعال غذایی بر پایه ژلاتین / ژل آلوه‌ورا حاوی اسانس رزماری

میلاذ بخشی زاده^۱، تینا نیک نظر مقدم^۱، ساجد امجدی^۲ و علی ایاسه^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
^۲دانش آموخته دکتری تخصصی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
^۳دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسول مکاتبه: Email: ayaseh@tabrizu.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: تمرکز اصلی پژوهشگران صنعت بسته‌بندی مدرن، طراحی و ساخت فیلم‌های فعال یا زیست تخریب پذیر است. **هدف:** این پژوهش به منظور تهیه فیلم بر پایه ژلاتین حاوی اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا و بررسی خاصیت ضد میکروبی اسانس رزماری و آنتی اکسیدانی ژل آلوه‌ورا انجام شد. **روش کار:** در این مطالعه، فیلم فعال بر پایه ژلاتین حاوی اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا با روش قالب‌ریزی تولید شد. ضخامت، نفوذپذیری نسب به بخار آب، محتوی رطوبت، حلالیت، خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی فیلم مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، مورفولوژی سطحی فیلم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، خواص کریستالی با استفاده از پراش اشعه ایکس و ساختار شیمیایی با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز مورد آنالیز قرار گرفت. **نتایج:** بررسی مورفولوژی سطحی نشان داد که افزودن ژل آلوه‌ورا و اسانس رزماری باعث بهبود مورفولوژی سطحی فیلم‌ها شد. همچنین، افزودن اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا باعث کاهش حلالیت در آب فیلم‌های بر پایه ژلاتین به ۶۲/۵۸ و ۶۰/۲۷ شد. علاوه بر این، نتایج پراش اشعه ایکس نشان داد که فیلم ژلاتین خالص در ۱۹°~۲۵ دارای پیک بود که ناشی از ساختار نیمه کریستالی ژلاتین بود. با این حال، افزودن اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا این مقدار تغییر قابل توجهی نشان نداد. افزودن اسانس رزماری باعث افزایش قابل توجه استحکام کششی به ۳۳/۶۱ مگاپاسگال فیلم شد. علاوه بر این، فیلم فعال حاوی ژل آلوه‌ورا دارای فعالیت آنتی اکسیدانی ۶۰/۱۵٪ بود. **نتیجه‌گیری نهایی:** فیلم تولید شده از ژلاتین و آلوه‌ورا حاوی رزماری دارای فیزیکی‌شیمیایی مناسب همراه با فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی بود که نشان دهنده پتانسیل آن برای بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد.

واژگان کلیدی: اسانس رزماری، بسته‌بندی فعال، ژل آلوه‌ورا، ژلاتین، فیلم

مقدمه

تحقیقات بر روی مواد بسته‌بندی مدرن زیست تخریب پذیر توجه محققان را به خود جلب کرده است. یکی از این فناوری‌های مدرن بسته‌بندی، بسته‌بندی فعال مبتنی بر پلیمرهای زیستی است، که راهی پایدار و سازگار با

در سال‌های اخیر، با افزایش نگرانی‌ها در مورد ایمنی مواد غذایی و مسائل زیست‌محیطی مربوط به زباله‌های ایجاد شده توسط بسته‌بندی‌ها پلاستیکی تجزیه‌ناپذیر،

روزمانول است. ترکیبات فنلی موجود در رزماری توانایی هیدروژن دهنده‌گی، از بین بردن رادیکال‌های آزاد و شکستن واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال آزاد را دارند. بسیاری از مطالعات اسانس رزماری را در بسته‌بندی مواد غذایی گنجانده‌اند تا از فساد مواد غذایی جلوگیری کنند (کونتوگیانی و همکاران ۲۰۲۲). آلوئه‌ورا یک گیاه شاداب گزروفیت متعلق به خانواده *Aloaceae* است که در مناطق گرمسیری جهان می‌روید. محققان متعددی گزارش کرده‌اند که آلوئه‌ورا دارای انواع فعالیت‌های بیولوژیکی، از جمله خواص ضد التهابی، آنتی‌اکسیدانی، تعدیل‌کننده ایمنی و محرک رشد سلولی، و همچنین خواص ضد باکتریایی، ضد ویروسی و ضد قارچی است (مهد نظام و همکاران ۲۰۲۱). ژل آلوئه‌ورا تقریباً از ۹۹٪ آب و ۱٪ مواد جامد شامل پلی‌ساکاریدها (عمدتاً سلولز، همی سلولز، گلوکومانان و مشتقات مانوز)، ویتامین‌ها، مواد معدنی، آنزیم‌ها، اسیدهای آلی و ترکیبات فنولیک تشکیل شده است (نیتو-سوازا و همکاران ۲۰۱۹). در دهه‌های گذشته، استفاده از ژل آلوئه‌ورا در فیلم‌های خوراکی به دلیل اثربخشی آن در افزایش ماندگاری مواد غذایی فاسد شدنی مختلف، مورد توجه قرار گرفته است. پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی ژل آلوئه‌ورا، آن‌ها را به نمونه‌ای عالی از بسته‌بندی فعال تبدیل کرده است (مان و همکاران ۲۰۲۱). علاوه بر این، ژل آلوئه‌ورا همچنین به عنوان یک نرم کننده برای بهبود انعطاف‌پذیری فیلم‌ها عمل می‌کند (هادی و همکاران ۲۰۲۲). در مطالعاتی نیز از ژل آلوئه‌ورا در ترکیب با ژلاتین برای تولید فیلم‌های بسته‌بندی فعال استفاده شده است (چین و همکاران ۲۰۱۷؛ فلورس-مارتینز و همکاران ۲۰۱۸؛ سانچز و همکاران ۲۰۲۰). هدف از این مطالعه تهیه فیلم بر پایه ژلاتین حاوی اسانس رزماری و ژل آلوئه‌ورا و بررسی خاصیت ضد میکروبی اسانس رزماری و آنتی‌اکسیدانی ژل آلوئه‌ورا بود. همچنین، تاثیر ژل آلوئه‌ورا و اسانس رزماری بر روی ضخامت، نفوذپذیری نسب به بخار آب، محتوی رطوبت،

محیط زیست برای بهبود ماندگاری مواد غذایی ارائه می‌دهد (روی و ریم ۲۰۲۱). پلاستیک‌های زیستی عمدتاً از زیست توده‌های تجدیدپذیر مانند پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها سنتز می‌شوند، که جایگزین‌های جذابی برای پلیمرهای پلاستیکی مبتنی بر نفت هستند. پلیمرهای طبیعی به دلیل وجود اتم‌های اکسیژن یا نیتروژن در پیکره پلیمری آن‌ها زیست تخریب‌پذیر هستند (کومار و همکاران ۲۰۱۹). در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، ژلاتین یکی از بیوپلیمرهایی است که به طور مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، ژلاتین به دلیل خواصی مانند زیست سازگاری خوب، خواص عملکردی منحصر به فرد، منابع استخراج فراوان و زیست تخریب پذیری در زمینه‌های آرایشی، صنایع غذایی، مهندسی بافت و دارو سازی مورد استفاده قرار گرفته است (زو و همکاران ۲۰۲۲). ژلاتین به دلیل محتوای بالای گلیسین، هیدروکسی پرولین و پرولین انعطاف‌پذیری بالایی داشته و خواص عالی در تشکیل فیلم از خود نشان می‌دهد (وانگ و همکاران ۲۰۲۱). با این حال، فیلم ژلاتین خالص خواص مکانیکی، آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی پایینی از خود نشان می‌دهد و استفاده عملی از آن را به عنوان بسته‌بندی فعال محدود می‌کند. بنابراین، فیلم‌ها و پوشش‌های بسته‌بندی فعال معمولاً با بیوپلیمرهای مختلف، عصاره‌های طبیعی، افزودنی‌ها، نانوپرکننده‌ها ترکیب می‌شوند تا ویژگی‌های خود را بهبود بخشیده، ایمنی غذایی را افزایش دهند و نیازهای مصرف‌کننده را برآورده کنند (رنگارج و همکاران ۲۰۲۲). رزماری یک گیاه همیشه سبز وحشی، متعلق به خانواده *Lamiaceae* است (مورا و همکاران ۲۰۲۲). عصاره یا اسانس آن دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، ضد توموری، ضد چاقی و ضد دیابت است. همچنین اسانس رزماری دارای فعالیت ضد باکتریایی و ضد قارچی نیز است (هالالا و همکاران ۲۰۲۱؛ ریزو و همکاران ۲۰۱۸). این مزایای سلامتی رزماری به دلیل مواد فنولی موجود در ترکیب آن از جمله کارنوسول، اسید کارنوزیک و

گلیسرول به محلول اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه همزده شد. در نهایت محلول فیلم را به داخل صفحات پلی استایرن ریخته شده و در دمای 25°C به مدت ۴۸ ساعت خشک شد.

ارزیابی ضخامت

ضخامت فیلم‌ها با استفاده از میکرومترهای دیجیتالی (Dial Thickness Gauge 7301, Mitutoyo Corporation,) (Kanagawa, Japan) با دقت 0.001 میلی‌متر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری برای شش نقطه از هر نمونه فیلم انجام شد و میانگین این نقاط به عنوان ضخامت گزارش شد (امجدی و همکاران ۲۰۱۹).

حلالیت در آب فیلم‌ها

نمونه‌های فیلم (۲ سانتی‌متر \times ۲ سانتی‌متر) به مدت یک شب در دما 105°C توسط آون خشک و توزین (W_1) شدند. سپس نمونه‌ها در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای 25°C غوطه ور شدند. نمونه‌های فیلم بازیابی شد، در دمای 105°C برای محاسبه وزن نهایی ماده خشک (W_2) خشک شدند (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲). حلالیت در آب نمونه‌های فیلم با توجه به رابطه زیر تعیین شد:

$$WS(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن W_2 وزن خشک اولیه و W_1 وزن خشک نهایی می‌باشند.

محتوی رطوبت

برای اندازه‌گیری محتوی رطوبتی فیلم‌ها، ابتدا مقدار مشخصی از نمونه فیلم اندازه‌گیری شد (W_1). سپس نمونه‌های وزن شده به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای 105°C خشک شده و وزن (W_2) آن‌ها اندازه‌گیری شد (امجدی و همکاران ۲۰۱۹). محتوی رطوبت برای هر فیلم با سه تکرار انجام شد و محاسبه آن به عنوان درصد کاهش وزن در مقایسه با وزن اصلی با استفاده از فرمول زیر انجام شد:

$$MC(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

حلالیت، خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی فیلم مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر این، خواص آنتی باکتریال فیلم‌های تهیه شده در برابر *استافیلوکوکوس اورئوس* (گرم مثبت) و *اشریشیا کلی* (گرم منفی) مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ژلاتین، گلیسرول و اتانول از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. کلرید کلسیم، DPPH و مولر هینتون آگار از شرکت سیگاما آلد ریچ آمریکا خریداری شدند. گیاه رزماری و آلوه‌ورا از بازار محلی در تبریز خریداری شد. علاوه بر این، *اشریشیا کلی* (PTCC 1163) و *استافیلوکوکوس اورئوس* (PTCC 1764) از مرکز کلکسیون میکروارگانیسم‌های ایران تهیه شدند.

استخراج اسانس رزماری

به منظور استخراج اسانس رزماری، ابتدا ۵۰ گرم از گیاه رزماری با استفاده از همزن مکانیکی پودر شد. گیاه پودر شده با ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای اتاق به مدت ۸ ساعت مخلوط شد. سپس، این مخلوط درون بالن شیشه‌ای ریخته شده و در دمای 80°C به مدت ۴ ساعت با استفاده از دستگاه کلونجر استخراج انجام پذیرفت (امیرافشار و همکاران ۲۰۲۱).

روش تهیه فیلم

فیلم بر پایه ژلاتین با استفاده از روش قالب ریزی تهیه شد. محلول ژلاتین با غلظت ۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه شد. سپس این محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 50°C همزده شد تا کاملاً حل شود. پس از آن، ژل آلوه‌ورا (۵٪ وزن ژلاتین خشک) به محلول ژلاتین اضافه شده و در دمای اتاق با دور شدید همزده شد تا ژل آلوه‌ورا حل شود. سپس، اسانس رزماری (۰/۲٪ وزنی/حجمی محلول کل) به محلول حاصله اضافه شده و با استفاده از هم‌زنایزر (Laborota 4002, Heidolph,) (Germany) به مدت ۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه همزده شد. پس از آن، ۳۰٪ (وزنی/وزنی ژلاتین)

که در آن Elongation at rupture از زیاد طول در هنگام گسیختگی و Initial gauge length طول مقیاس اولیه هستند.

$$YM \text{ (MPa)} = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} \quad (6)$$

که در آن Stress میزان تنش و Strain میزان کرنش می‌باشند.

شفافیت

برای ارزیابی شفافیت، نمونه‌های فیلم به شکل مستطیلی (۱ سانتی‌متر × ۳ سانتی‌متر) برش داده شدند و شفافیت فیلم‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-vis (Mecasys Optizen POP Series UV / Vis, Seoul, Korea) در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (توسلی و همکاران ۲۰۲۱).

$$\text{Transparency} = \frac{\log T_{600}}{\text{film thickness}} \quad (7)$$

که در آن T_{600} میزان عبور نور در طول موج ۶۰۰ نانومتر و Film thickness ضخامت فیلم هستند.

میکروسکوپ الکترونی روبشی

مورفولوژی سطحی و ریزساختار فیلم‌های برپایه ژلاتین (۱/۵ سانتی‌متر × ۱/۵ سانتی‌متر) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی (TESCAN Mira3, Republic Czech) با ولتاژ شتاب دهنده ۱۰ کیلو ولت بررسی شد. قبل از آنالیز، نمونه‌های فیلم در اتمسفر آرگون با لایه نازکی از طلا پوشانده شدند. تصویر برداری در مقیاس ۲ میکرومتر انجام گرفت (امجدی و همکاران ۲۰۲۲).

طیف سنجی مادون قرمز

از طیف سنج مادون قرمز (Bruker Tensor 27 FTIR spectrophotometer, Bruker, Germany) به منظور بررسی ساختار شیمیایی فیلم‌های بر پایه ژلاتین استفاده شد. طیف‌ها در محدوده عدد موج $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ جمع‌آوری شدند (عزتی و همکاران ۲۰۲۱).

پراش اشعه ایکس

ساختار کریستالی نمونه‌های فیلم با استفاده از پراش سنج اشعه ایکس (Siemens D5000, Cologne, Germany)

جایی که W_1 وزن خشک اولیه و W_2 وزن خشک نهایی می‌باشند.

نفوذپذیری نسبت به بخار آب

از روش ASTM E96-05 برای اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب و نرخ انتقال بخار آب فیلم استفاده شد. فیلم‌های ژلاتینی به شکل دایره‌ای با قطر ۶ میلی‌متر بریده شدند و در بالای ویال شیشه‌ای قرار گرفتند. کلرید کلسیم داخل ویال ریخته شد تا رطوبت نسبی ۰٪ در داخل ویال ایجاد شود. سپس ویال‌ها به دسیکاتور حاوی محلول اشباع پتاسیم سولفات با رطوبت نسبی ۹۷٪ در صد منتقل شدند (عزتی و ریم ۲۰۲۰). نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{WVP} = \frac{WVTR \times x}{\Delta p} \quad (3)$$

که در آن x و Δp به ترتیب ضخامت فیلم (mm) و اختلاف فشار بخار آب در طرفین فیلم (Pa) هستند.

خواص مکانیکی

خواص مکانیکی (استحکام کششی، مدول یانگ و ازدیاد طول در نقطه شکست) فیلم‌ها با استفاده از روش استاندارد ASTM-D882-91 ارزیابی شد. نمونه‌های فیلم به شکل دمبلی بریده شده و با استفاده از دستگاه آزمون کشش (Instron5566، ساخت کشور ایالات متحده آمریکا) با فاصله اولیه ۵۰ میلی‌متر بین گیره‌ها اندازه‌گیری شدند. آزمایش در دمای 25°C ، رطوبت نسبی ۵۰ درصد و با سرعت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه انجام شد (امجدی و همکاران ۲۰۱۹). استحکام کششی، مدول یانگ و ازدیاد طول در نقطه شکست فیلم‌ها با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

$$\text{TS (MPa)} = \frac{\text{Load at Break}}{\text{Original width} \times \text{Original thickness}} \quad (4)$$

که در آن Load at Break بارگذاری در نقطه شکست، Original width عرض اصلی و Original thickness ضخامت اصلی می‌باشند.

$$\text{EAB (\%)} = \frac{\text{Elongation at rupture}}{\text{Initial gauge length}} \times 100 \quad (5)$$

اسپکتروفوتومتر UV-Vis اندازه‌گیری شد (امجدی و همکاران ۲۰۲۰). در نهایت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها با استفاده از فرمول زیر اندازه‌گیری شد:

$$\text{DPPH (\%)} = \frac{\text{Ab}_{\text{Control}} - \text{Ab}_{\text{sample}}}{\text{Ab}_{\text{Control}}} \times 100 \quad (\text{۸})$$

که در آن $\text{Ab}_{\text{control}}$ میزان جذب DPPH و $\text{Ab}_{\text{sample}}$ میزان جذب نمونه می باشند.

آنالیز آماری

داده‌های به دست آمده با استفاده از تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) و نرم افزار SPSS (version 23.0, IBM; Armonk, N.Y., USA) مورد آنالیز قرار گرفت. آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار بیان شد. تفاوت بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های چند دامنه‌ای دانکن مورد آنالیز قرار گرفت. تفاوت معنی‌داری به عنوان ($P < 0.05$) تعریف شد.

نتایج و بحث

ضخامت

ضخامت فیلم‌های بر پایه ژلاتین در جدول ۱ ارائه شده است. ضخامت فیلم‌ها رابطه مستقیمی با میزان محتوی جامد فیلم دارد. فیلم ژلاتین خالی دارای کمترین میزان ضخامت بود (۰/۰۷۶ میلی‌متر) که این مقدار با افزودن ژل آلوه‌ورا و اسانس رزماری تغییر معنی‌دار نشان نداد ($P < 0.05$). مطابق با نتایج ما سوی چین و همکاران، (۲۰۱۷) گزارش کردند که افزودن ۵٪ (وزنی/وزنی) ژل

آنالیز شدند. الگوهای پراش اشعه ایکس از ۲۰ تا ۷۵ درجه با سرعت اسکن ۱ درجه در دقیقه و اندازه گام ۰/۰۲ درجه ثبت شد (مرادی و همکاران ۲۰۱۹).

فعالیت ضد میکروبی

فعالیت ضد میکروبی نمونه‌های فیلم بر علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* (گرم مثبت) و *اشریشیا کلی* (گرم منفی) که از باکتری‌های مهم در ایمنی و فساد مواد غذایی هستند، با استفاده از روش انتشار دیسک استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفت. محیط کشت مولر هینتون آگار برای کشت باکتری استفاده شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای 37°C انکوبه شد. ۰/۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتریایی ($10^{-6} \times 1/5$ CFU/mL) تلقیح شد. سپس دیسک‌هایی با قطر ۱۰ میلی‌متر از نمونه‌ها برداشته شد و روی پلیت‌ها حاوی محیط کشت مولر هینتون آگار قرار داده شد و دوباره به مدت ۲۴ ساعت در دمای 37°C انکوبه شدند (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها، ابتدا ۲۵۰ میلی‌گرم نمونه فیلم با ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبی اتانول (۱:۱) مخلوط شد. سپس، ۱ میلی‌لیتر از این محلول با ۲/۹ میلی‌لیتر محلول DPPH مخلوط شد و به مدت ۳۰ دقیقه در جای تاریک نگهداری شد. پس از آن، جذب محلول‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی نمونه‌های فیلم

Table 1- The physical characteristics of film samples

Film Samples	Thickness (mm)	Water solubility (%)	Moisture content (%)	Water vapor permeability ($\times 10^{-9} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$)
G	0.076 \pm 0.013 ^b	65.51 \pm 0.43 ^a	10.91 \pm 0.14 ^a	4.21 \pm 0.25 ^{ab}
G/REO	0.077 \pm 0.010 ^b	62.58 \pm 0.74 ^b	9.31 \pm 0.19 ^c	4.05 \pm 0.52 ^{ab}
G/AVG	0.078 \pm 0.025 ^b	60.27 \pm 1.9 ^b	10.30 \pm 0.17 ^b	3.98 \pm 0.44 ^b
G/REO/AVG	0.082 \pm 0.040 ^a	53.14 \pm 0.18 ^c	8.69 \pm 0.12 ^d	4.34 \pm 0.28 ^a

Data are expressed as mean \pm standard deviation (n=3) and different letters show significant difference at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$).

اسانس رزماری به فیلم ژلاتین باعث کاهش معنی‌داری محتوی رطوبتی فیلم به ۹/۳۱٪ شد که می‌تواند ناشی از ماهیت هیدروفوبیک اسانس رزماری باشد. علاوه بر این فیلم ژلاتین/اسانس رزماری/ژل آلوه‌ورا دارای محتوی رطوبتی ۸/۶۹٪ بود. در این راستا دی جوزپه و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند که افزودن اسانس رزماری به فیلم بر پایه سدیم کازئینات/کیتوزان باعث کاهش محتوی رطوبتی فیلم شد.

نفوذ پذیری نسبت به بخار آب

نفوذپذیری نسبت به بخار آب یک فاکتور مهم در مواد بسته‌بندی است به دلیل اینکه فیلم‌هایی با نفوذپذیری نسبت به بخار آب پایین می‌توانند تبادل بخار آب بین محیط و غذا را کاهش دهند (ژانگ و همکاران ۲۰۲۳). همانطور که در جدول ۱ ارائه شده است نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم ژلاتین خالص ($10^{-9} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$) ۴/۲۱ بود که با افزودن اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم تغییر قابل توجهی نکرد. همچنین فیلم ژلاتین/اسانس رزماری/ژل آلوه‌ورا دارای نفوذپذیری نسبت به بخار آب ($10^{-9} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$) ۴/۳۴ بود. مشابه با نتایج ما، پژوهشگران گزارش کردند که افزودن اسانس رزماری به فیلم کیتوزان و سدیم کازئینات باعث تغییر معنی‌داری ($P < 0/05$) در نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌ها نشد (دی جوزپه و همکاران ۲۰۲۲). در تضاد با نتایج ما یدس و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که افزودن اسانس رزماری به فیلم بر پایه ژلاتی/کیتوزان/پکتین منجر به کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌ها شد. این کاهش می‌تواند ناشی از ماهیت آب‌گریز اسانس باشد که بر ویژگی آب‌دوستی/آب‌گریزی فیلم تاثیر می‌گذارد. علاوه بر این، خوشگذران-عبرس و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که افزودن ژل آلوه‌ورا در نسبت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ (وزنی/وزنی) باعث تغییر قابل توجهی در نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های بر پایه کیتوزان نشد.

آلوه‌ورا تاثیر قابل توجهی بر روی ضخامت فیلم ژلاتینی نشان نداد. همچنین دی جوزپه و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده کردند که افزودن اسانس رزماری باعث تغییر قابل توجهی در میزان ضخامت فیلم‌های بر پایه کیتوزان و سدیم کازئینات نشد.

حلالیت در آب

یکی از ویژگی‌هایی که در عملکرد فیلم‌های بسته‌بندی تاثیر زیادی دارد حلالیت در آب است. که دلیل آن تاثیر قابل توجه آن بر روی ویژگی‌هایی نظیر ممانعت‌کنندگی و مقاومت فیلم‌ها در برابر آب است (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱). فیلم ژلاتین خالص دارای حلالیت در آب ۶۵/۵۱٪ بود که افزودن ژل آلوه‌ورا و اسانس رزماری باعث کاهش حلالیت در آب فیلم‌ها به ترتیب به ۶۰/۲۷ و ۶۲/۵۸ درصد شد که دلیل این امر می‌تواند تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین هیدروکسیل‌های آزاد زنجیره‌های ژلاتینی با ژل آلوه‌ورا و اسانس رزماری و در نتیجه کاهش گروه‌های هیدروکسیل آزاد باشد. همچنین فیلم ژلاتین/ژل آلوه‌ورا/اسانس رزماری دارای کمترین ($0/18 \pm 0/53$ ٪) میزان حلالیت در آب بود. به موازات نتایج ما، خوشگذران-عبرس و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که افزودن ۱۰٪ (وزنی/وزنی) ژل آلوه‌ورا باعث کاهش معنی‌دار حلالیت در آب فیلم بر پایه کیتوزان شد. همچنین عبداللهی و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند که افزودن اسانس رزماری به نانوکامپوزیت رس/کیتوزان باعث کاهش معنی‌دار حلالیت در آب فیلم‌ها شد. ($P < 0/05$)

محتوی رطوبت

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است فیلم ژلاتین خالص دارای بیشترین (۱۰/۹۱٪) میزان محتوی رطوبت بود که افزودن ژل آلوه‌ورا باعث کاهش محتوی رطوبتی به ۱۰/۳۰٪ شد که می‌تواند ناشی از تشکیل برهمکنش بین گروه‌های هیدروکسیل آزاد زنجیره‌های ژلاتینی و ژل آلوه‌ورا و در نتیجه کاهش گروه‌های هیدروکسیل آزاد و کاهش محتوی رطوبتی فیلم باشد. همچنین افزودن

خواص مکانیکی

که باعث به هم پیوستگی و استحکام زنجیره‌ها می‌شود. همچنین، چین و همکاران (۲۰۱۷) گزارش داد که افزودن ژل آلوه‌ورا باعث کاهش قابل توجهی در استحکام کششی فیلم مبتنی بر ژلاتین می‌شود که می‌تواند به دلیل شکستن پیوندهای بین زنجیره‌های ماتریس ژلاتین با افزودن آلوه‌ورای باشد. خوشگذران-عبرس و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش دادند که افزودن ژل آلوه‌ورا به فیلم‌های بر پایه کیتوزان باعث کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$) استحکام کششی و انعطاف‌پذیری فیلم‌ها شد.

شفافیت

شفافیت فیلم‌های فعال به دلیل تأثیر آن بر ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی نور و ظاهر فیلم‌های بسته‌بندی، نقش مهمی در بسته‌بندی مواد غذایی ایفا می‌کند (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲). همانطور که در جدول ۳ ارائه شده است، فیلم ژلاتین خالص دارای بیشترین ($11/42\%$) مقدار شفافیت بود که با افزودن ژل آلوه‌ورا و اسانس رزماری مقدار آن به ترتیب به $10/42\%$ و $10/59\%$ کاهش یافت. همچنین، فیلم ژلاتین/اسانس رزماری/ژل آلوه‌ورا دارای کمترین ($9/68\%$) میزان شفافیت بود. که این کاهش می‌تواند در نتیجه جذب نور توسط ترکیبات فنولی موجود در اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا باشد. در این راستا، علیزاده‌ثانی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند که افزودن عصاره زعفران و توت قرمز باعث کاهش قابل توجه شفافیت فیلم‌های بر پایه ژلاتین/کاپا کاراگینان شدند.

میکروسکوپ الکترونی روبشی

مورفولوژی سطحی فیلم‌های برپایه ژلاتین با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شده و نتایج در شکل ۱ نشان داده شده است. فیلم ژلاتین خالص دارای سطح یکنواخت و صافی بود که مورفولوژی پایه فیلم‌های ژلاتینی است. همچنین با افزودن ژل آلوه‌ورا سطح فیلم یکنواختی و صافی خود را حفظ کرد که می‌تواند نشان دهنده حل شدن کامل ژل آلوه‌ورا در نتیجه ماهیت هیدروفیل آن باشد. علاوه بر این افزودن اسانس رزماری

ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها نقش مهمی در حفظ یکپارچگی فیلم‌ها و مواد غذایی در طول نگهداری دارد (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲). ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها در جدول ۲ قابل مشاهده است. فیلم ژلاتین خالص دارای استحکام کششی $20/74$ مگاپاسگال، انعطاف‌پذیری $21/17\%$ و مدول یانگ $165/14$ مگاپاسگال بود. افزودن اسانس رزماری باعث افزایش استحکام کششی فیلم به $33/61$ مگاپاسگال شد. با این حال مدول یانگ و انعطاف‌پذیری فیلم تغییر معنی‌داری ($P < 0.05$) نشان ندادند. همچنین افزودن ژل آلوه‌ورا باعث افزایش انعطاف‌پذیری ($30/24\%$) فیلم و کاهش استحکام کششی ($17/92$ مگاپاسگال) و مدول یانگ ($44/18$ مگاپاسگال) شد. همچنین فیلم ژلاتین/اسانس رزماری/ژل آلوه‌ورا دارای مدول یانگ $59/62$ مگاپاسگال، استحکام کششی $29/46$ مگاپاسگال و انعطاف‌پذیری $44/84\%$ بود. در این راستا، فیوره و همکاران (۲۰۲۱) فیلم سدیم کازئینات/کیتوزان حاوی اسانس رزماری را تهیه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که افزودن اسانس رزماری باعث افزایش معنی‌داری استحکام کششی فیلم شد. با این حال، انعطاف‌پذیری فیلم

جدول - شفافیت نمونه‌های فیلم

Table 3- Transparency of film samples

Film Samples	Transparency (%)
G	11/42 ± 0/6 ^a
G/REO	10/59 ± 0/4 ^b
G/AVG	10/42 ± 0/8 ^b
G/REO/AVG	9/68 ± 0/7 ^c

Data are expressed as mean ± standard deviation (n=3) and different letters show significant difference at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$).

تغییر معنی‌داری ($P < 0.05$) نشان نداد. دلیل افزایش استحکام کششی نمونه‌های فیلم با افزودن اسانس رزماری می‌تواند مربوط به تشکیل پیوندهای بین‌مولکولی میان اسانس و زنجیره‌های بیوپلیمری باشد

پراش اشعه ایکس

حالت فیزیکی (کریستالی یا آمورف بودن) فیلم‌ها بر خواص نوری، مکانیکی، نوری و ممانعت‌کنندگی آن‌ها تأثیر می‌گذارد (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲). به همین دلیل، آنالیز پراش اشعه ایکس برای بررسی وضعیت فیزیکی فیلم‌های مختلف تهیه شده در این مطالعه انجام شد. همانطور که در شکل (b) ۲ مشاهده می‌شود، در $19^{\circ} \sim 20^{\circ}$ همه فیلم‌ها پیک عریضی نشان دادند که نشان دهنده ساختار نیمه کریستالی ژلاتین و ناشی از فاصله بین رشته‌های پلی پپتیدی مجاور ژلاتین می‌باشد. با این حال افزودن اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا باعث تغییر قابل توجهی در ساختار کریستالی فیلم‌های بر پایه ژلاتین نشد که می‌تواند ناشی از ساختار آمورف ژل آلوه‌ورا و اسانس رزماری باشد. همچنین غلظت پایین این ترکیب نیز می‌تواند دلیل عدم تغییر ساختار کریستالی با افزودن این دو ترکیب باشد. در این راستا، عبداللهی و همکاران (۲۰۱۲) فیلم نانو رس مونت موریلونیت حاوی اسانس رزماری را تهیه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که افزودن اسانس رزماری باعث تأثیر قابل توجه بر روی ساختار کریستالی فیلم نشد. همچنین، سوزا و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که افزودن ژل آلوه‌ورا به فیلم بر پایه کیتوزان باعث تغییر در موقیعت پیک مربوط به فیلم نشد.

خواص آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها

آنتی‌اکسیدان‌ها به دلیل مهار واکنش‌های اکسیداسیون و افزایش ماندگاری محصولات غذایی در فیلم‌های بسته‌بندی فعال استفاده می‌شوند (توسلی و همکاران ۲۰۲۱). فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها با استفاده از روش حذف رادیکال آزاد (DPPH) مورد ارزیابی قرار گرفت. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است فیلم ژلاتین خالص فاقد فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود که نشان دهنده عدم وجود گروه‌های عاملی حذف‌کننده رادیکال آزاد در ساختار ژلاتین است. با این حال، با افزودن ژل آلوه‌ورا فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم به $10/38\%$ افزایش یافت.

باعث ایجاد یک سطح بسیار همگن و یکنواخت شد. که می‌تواند ناشی از قرارگیری اسانس رزماری در داخل شبکه پلیمری پیوسته ژلاتین باشد. در این راستا، پژوهشگران گزارش کردند که افزودن ژل آلوه‌ورا به فیلم آلژینات باعث ایجاد یک سطح یکنواخت و صاف شده که نشان دهنده یک سطح هموژن می‌باشد (هادی و همکاران ۲۰۲۲). همچنین، بر خلاف نتایج ما، یدس و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که افزودن اسانس رزماری به فیلم ژلاتین/کیتوزان/پکتین باعث زبر شدن سطح فیلم می‌شود.

طیف سنجی مادون قرمز

طیف سنجی مادون قرمز اطلاعات مفیدی در مورد برهمکنش بین اجزاء مختلف و گروه‌های عاملی ارائه می‌دهد (سانی و همکاران ۲۰۲۱). همانطور که در شکل (a) ۲ مشاهده می‌شود، فیلم ژلاتین خالص در اعداد موج 3435 cm^{-1} (مربوط به ارتعاش کششی گروه O-H گروه عاملی فنلی)، 2925 cm^{-1} (مربوط به ارتعاش کششی O-H گروه عاملی کربوکسیلیک اسید)، 1630 cm^{-1} (مربوط به ارتعاش خمشی N-H گروه‌های آمید نوع اول)، 1455 cm^{-1} (مربوط به ارتعاش کششی C-C گروه‌های آروماتیک) و 1035 cm^{-1} (مربوط به ارتعاش کششی C-N آمین‌های آلیفاتیک) دارای پیک بود، که با افزودن اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا این پیک‌ها به اعداد موج بالاتر منتقل شد. این پدیده می‌تواند ناشی از تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های NH_2 ، COOH - و OH - در ساختار ژلاتین با گروه‌های OH - اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا باشد. مشابه با نتایج ما، سوزا و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که افزودن اسانس رزماری به بیونانوکامپوزیت کیتوزان/مونت‌موریلونیت باعث افزایش شدت پیک‌ها شد که می‌تواند ناشی از برهمکنش خوب بین ترکیبات فعال و ماتریس پلیمری باشد که مانع از حرکت ارتعاشی فیلم‌ها می‌شود.

حاوی نانورس باعث فعالیت آنتی باکتریال قابل توجه فیلم شد.

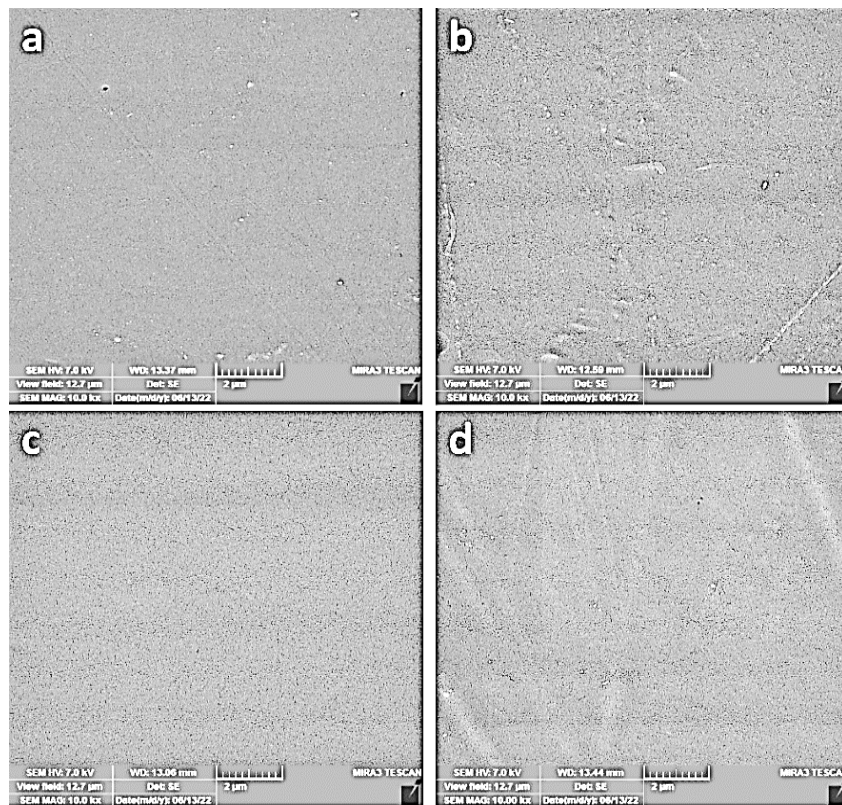
نتیجه‌گیری

به طور خلاصه، فیلم فعال ژلاتین حاوی اسانس رزماری و ژل آلوه‌ورا با استفاده از روش قالب‌ریزی تهیه شد. بررسی خواص نوری، مکانیکی، ممانعت‌کنندگی، آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی نمونه‌های فیلم نشان داد که فیلم ژلاتین/ اسانس رزماری/ ژل آلوه‌ورا به دلیل داشتن کمترین میزان حلالیت در آب و محتوی رطوبتی، خواص مکانیکی مطلوب، ممانعت در برابر عبور نور، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد باکتریایی مناسب بر علیه باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* (گرم مثبت) و *اشریشیا کلی* (گرم منفی)، مطلوب‌ترین تیمار برای بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد.

همچنین، افزودن اسانس رزماری به فیلم موجب فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۱۱/۷۱٪ فیلم شد. همچنین فیلم ژلاتین/ اسانس رزماری/ ژل آلوه‌ورا دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۱۵/۶۰٪ بود. مشابه با نتایج ما، سوی چین و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که افزودن ژل آلوه‌ورا به فیلم بر پایه ژلاتین منجر به فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم شد، که با افزایش غلظت آلوه‌ورا این فعالیت افزایش می‌یابد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی آلوه‌ورا مرتبط با ترکیبات فنولی موجود در این ژل می‌باشد. علاوه بر این، اسانس رزماری گنجانده شده در فیلم کیتوزان دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود که این فعالیت رابطه مستقیمی با افزایش غلظت اسانس رزماری داشت (سوزا و همکاران ۲۰۱۹).

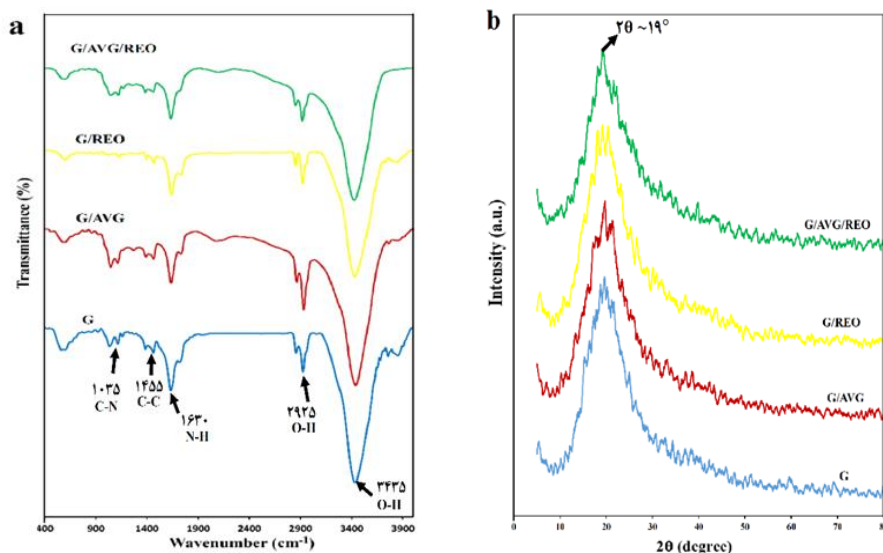
خواص آنتی باکتریال

توانایی مهار یا جلوگیری از فساد یا رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا روی مواد غذایی یکی دیگر از ویژگی‌های مهم مواد بسته‌بندی فعال است (توسلی و همکاران ۲۰۲۱). در این مطالعه، فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین با استفاده از روش انتشار دیسک بر علیه باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* (گرم مثبت) و *اشریشیا کلی* (گرم منفی) ارزیابی شد. فیلم ژلاتین خالص و ژلاتین/ آلوه‌ورا دارای فعالیت آنتی باکتریال نبود. با این حال افزودن اسانس رزماری به فیلم بر پایه ژلاتین باعث فعالیت آنتی باکتریال قابل توجه فیلم شد که ناشی از وجود ترکیبات دی‌ترپن مانند اسید کارنوزیک، کارنوسول، روزمانول، ایزوروسمانول و رزمارینیک اسید در ساختار رزماری می‌باشد. نتایج مشابهی توسط عبداللهی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شد که نشان دادند افزودن اسانس رزماری به فیلم کیتوزان



شکل ۱- ریزنگاره میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح فیلم‌های ژلاتین. (a) ژلاتین خالص، (b) ژلاتین/ آلوئه‌ورا، (c) ژلاتین/ اسانس رزماری، (d) ژلاتین/ آلوئه‌ورا/ اسانس رزماری

Figure 1- The field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) images of a) pure gelatin, b) gelatin/aloe vera, c) gelatin/rosemary essential oil, d) gelatin/aloe vera/rosemary essential oil



شکل ۲- طیف‌های اسپکتروسکوپی مادون قرمز (a) و پراش پرتو ایکس برای فیلم‌های مبنی بر ژلاتین (b): ژلاتین، G/AVG: ژلاتین/ آلوئه‌ورا، G/REO: ژلاتین/ اسانس رزماری، G/AVG/REO: ژلاتین/ آلوئه‌ورا/ اسانس رزماری

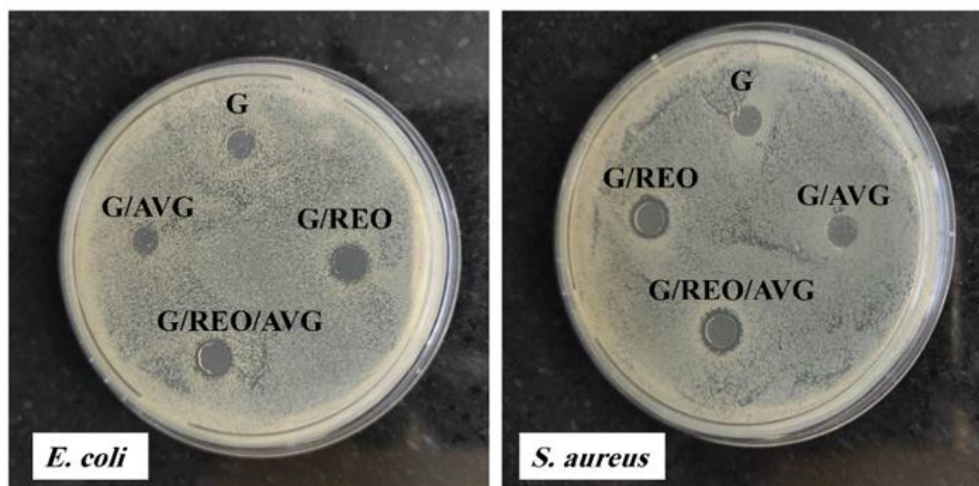
Figure 2- Fourier transforms infrared (FT-IR) spectra (a) and X-ray diffraction (XRD) patterns of gelatin-based films (b) (G: gelatin, G/AVG: gelatin/aloe vera, G/REO: gelatin/rosemary essential oil, G/AVG/REO: gelatin/aloe vera/rosemary essential oil)

جدول ۴- فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت ضد میکروبی نمونه‌های فیلم

Table 4- Antioxidant activity and antimicrobial activity of film samples

Film sample	DPPH radical scavenging (%)	Inhibitory zone (mm)	
		<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
G	00.00 ± 00.00 ^c	00.00 ± 00.00 ^b	00.00 ± 00.00 ^b
G/AVG	10.38 ± 1.39 ^b	00.00 ± 00.00 ^b	00.00 ± 00.00 ^b
G/REO	11.71 ± 0.79 ^b	5.10 ± 0.12 ^a	5.00 ± 0.13 ^a
G/REO/AVG	15.60 ± 1.50 ^a	5.2 ± 0.17 ^a	5.10 ± 0.08 ^a

Data are expressed as mean ± standard deviation (n=3) and different letters show significant difference at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$).



شکل ۳- خاصیت ضد میکروبی نمونه فیلم‌های بر پایه ژلاتین (G: ژلاتین، G/AVG: ژلاتین/ آلوئه‌ورا، G/REO: ژلاتین/ اسانس رزماری، G/REO/AVG: ژلاتین/ آلوئه‌ورا/ اسانس رزماری)

Figure 3- Antimicrobial properties of gelatin-based films (G: gelatin, G/AVG: gelatin/aloë vera, G/REO: gelatin/rosemary essential oil, G/REO/AVG: gelatin/aloë vera/rosemary essential oil)

منابع مورد استفاده

- امیرافشار الف، خسروشاهی اصل الف و پیرسا س، ۱۳۹۹. بررسی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و مکانیکی فیلم زیست تخریب پذیر پکتین/زنیان/بتاکاروتن. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی. جلد ۳۰، شماره ۱. صفحه ۲۱۱-۲۲۶.
- Abdollahi M, Rezaei M and Farzi G, 2012. A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan. *Journal of Food Engineering* 111(2), 343–350.
- Alizadeh-Sani M, Tavassoli M, McClements DJ and Hamishehkar H, 2021. Multifunctional halochromic packaging materials: Saffron petal anthocyanin loaded-chitosan nanofiber/methyl cellulose matrices. *Food Hydrocolloids* 111, 106237.
- Alizadeh Sani M, Tavassoli M, Salim SA, Azizi-lalabadi M and McClements DJ, 2022. Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle- and anthocyanin-loaded gelatin/κ-carrageenan films. *Food Hydrocolloids* 124, 107324.
- Amjadi S, Almasi H, Hamishehkar H, Alizadeh Khaledabad M and Lim LT, 2022. Coating of betanin and carvone Co-loaded nanoliposomes with synthesized cationic inulin: A strategy for enhancing the stability

- and bioavailability. *Food Chemistry* 373, 131403.
- Amjadi S, Emaminia S, Heyat Davudian S, Pourmohammad S, Hamishehkar H and Roufegarinejad L, 2019. Preparation and characterization of gelatin-based nanocomposite containing chitosan nanofiber and ZnO nanoparticles. *Carbohydrate Polymers* 216, 376–384.
- Amjadi S, Ghorbani M, Hamishehkar H and Roufegarinejad L, 2018. Improvement in the stability of betanin by liposomal nanocarriers: Its application in gummy candy as a food model. *Food Chemistry* 256, 156–162.
- Amjadi S, Nazari M, Alizadeh SA and Hamishehkar H, 2020. Multifunctional betanin nanoliposomes-incorporated gelatin/chitosan nanofiber/ZnO nanoparticles nanocomposite film for fresh beef preservation. *Meat Science* 167, 108161.
- Chin SS, Lyn FH, and Hanani ZN, 2017. Effect of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Packaging and shelf life*, 12, 128-134.
- Dhouibi I, Masmoudi F, Bouaziz M and Masmoudi M, 2021. A study of the anti-corrosive effects of essential oils of rosemary and myrtle for copper corrosion in chloride media. *Arabian Journal of Chemistry*, 14, 102961.
- Di Giuseppe FA, Volpe S, Cavella S, Masi P and Torrieri E, 2022. Physical properties of active biopolymer films based on chitosan, sodium caseinate, and rosemary essential oil. *Food Packaging and Shelf Life* 32, 100817.
- Ezati P, Bang YJ and Rhim JW, 2021. Preparation of a shikonin-based pH-sensitive color indicator for monitoring the freshness of fish and pork. *Food Chemistry* 337, 127995.
- Ezati P and Rhim JW, 2020. pH-responsive chitosan-based film incorporated with alizarin for intelligent packaging applications. *Food Hydrocolloids* 102, 105629.
- Fiore A, Park S, Volpe S, Torrieri E and Masi P, 2021. Active packaging based on PLA and chitosan-caseinate enriched rosemary essential oil coating for fresh minced chicken breast application. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100708.
- Flores-Martinez NL, Perez-Perez MCI, Oliveros-Muñoz JM, López-González ML and Jiménez-Islas, H, 2018. Estimation of diffusion coefficients of essential oil of pimenta dioica in edible films formulated with aloe vera and gelatin, using levenberg-marquardt method. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(2), 485-506.
- Hadi A, Nawab A, Alam F and Zehra K, 2022. Alginate/aloe vera films reinforced with tragacanth gum. *Food Chemistry: Molecular Sciences* 4, 100105.
- Halahlah A, Kavetsou E, Pitterou I, Grigorakis S, Loupassaki S, Tziveleka LA, Kikionis S, Ioannou E and Detsi A, 2021. Synthesis and characterization of inclusion complexes of rosemary essential oil with various β -cyclodextrins and evaluation of their antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*. *Journal of Drug Delivery Science and Technology* 65, 102660.
- Khoshgozaran-Abras S, Azizi MH, Hamidy Z and Bagheripoor-Fallah N, 2012. Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of Aloe vera gel incorporation. *Carbohydrate Polymers* 87(3), 2058–2062.
- Kontogianni VG, Kasapidou E, Mitlianga P, Mataragas M, Pappa E, Kondyli E and Bosnea L, 2022. Production, characteristics and application of whey protein films activated with rosemary and sage extract in preserving soft cheese. *Lwt* 155, 112996.
- Kumar S, Boro JC, Ray D, Mukherjee A and Dutta J, 2019. Bionanocomposite films of agar incorporated with ZnO nanoparticles as an active packaging material for shelf life extension of green grape. *Heliyon* 5(6), e01867.
- Maan AA, Reiad Ahmed ZF, Iqbal Khan MK, Riaz A and Nazir A, 2021. Aloe vera gel, an excellent base material for edible films and coatings. *Trends in Food Science and Technology* 116, 329–341.
- Mohd Nizam NH, Mohammad Rawi NF, Mhd Ramle SF, Abd Aziz A, Abdullah CK, Rashedi A and Mohamad Kassim, M. H, 2021. Physical, thermal, mechanical, antimicrobial and physicochemical properties of starch based film containing aloe vera: a review. *Journal of Materials Research and Technology* 15, 1572–1589.

- Moradi M, Tajik H, Almasi H, Forough M and Ezati P, 2019. A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness. *Carbohydrate Polymers* 222, 115030.
- Moura B, Monteiro H, Mata TM and Martins AA, 2022. Life cycle energy and carbon emissions of essential oil extraction from Rosemary. *Energy Reports*, 8, 291–297.
- Nieto-Suaza L, Acevedo-Guevara L, Sánchez LT, Pinzón MI, and Villa CC, 2019. Characterization of Aloe vera-banana starch composite films reinforced with curcumin-loaded starch nanoparticles. *Food Structure*, 22, 100131.
- Rangaraj VM, Devaraju S, Rambabu K, Banat F and Mittal V, 2022. Silver-sepiolite (Ag-Sep) hybrid reinforced active gelatin/date waste extract (DSWE) blend composite films for food packaging application. *Food Chemistry* 369, 130983.
- Rizzo V, Amoroso L, Licciardello F, Mazzaglia A, Muratore G, Restuccia C, Lombardo S, Pandino G, Strano MG and Mauromicale G, 2018. The effect of sous vide packaging with rosemary essential oil on storage quality of fresh-cut potato. *LWT* 94, 111–118.
- Roy S and Rhim JW, 2021. Gelatin/agar-based functional film integrated with Pickering emulsion of clove essential oil stabilized with nanocellulose for active packaging applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 627, 127220.
- Sani MA, Tavassoli M, Hamishehkar H and McClements DJ, 2021. Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: Application as biodegradable smart food packaging materials. *Carbohydrate Polymers* 255, 117488.
- Sánchez JT, García AV, Martínez-Abad A, Vilaplana F, Jiménez A and Garrigós, M. C. 2020. Physicochemical and functional properties of active fish gelatin-based edible films added with aloe vera gel. *Foods*, 9(9), 1248.
- Souza VGL, Pires JRA, Vieira ÉT, Coelho IM, Duarte MP and Fernando AL, 2019. Activity of chitosan-montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary essential oil: From in vitro assays to application in fresh poultry meat. *Food Hydrocolloids* 89, 241–252.
- Sui Chin S, Han Lyn F and Nur Hanani ZA, 2017. Effect of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Packaging and Shelf Life* 12, 128–134.
- Tavassoli M, Sani MA, Khezerlou A, Ehsani A and McClements DJ, 2021. Multifunctional nanocomposite active packaging materials: Immobilization of quercetin, lactoferrin, and chitosan nanofiber particles in gelatin films. *Food Hydrocolloids* 118, 106747.
- Wang H, Ding F, Ma L and Zhang Y, 2021. Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. *Food Bioscience* 40, 100871.
- Xu J, Yang L, Nie Y, Yang M, Wu W, Wang Z, Wang X and Zhong J, 2022. Effect of transglutaminase crosslinking on the structural, physicochemical, functional, and emulsion stabilization properties of three types of gelatins. *LWT* 163, 113543.
- Yeddes W, Djebali K, Aidi Wannes W, Horchani-Naifer K, Hammami M, Younes I and Saidani Tounsi M, 2020. Gelatin-chitosan-pectin films incorporated with rosemary essential oil: Optimized formulation using mixture design and response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules* 154, 92–103.
- Zhang A, Han Y and Zhou Z, 2023. Characterization of citric acid crosslinked chitosan/gelatin composite film with enterocin CHQS and red cabbage pigment. *Food Hydrocolloids* 135, 108144.



Production of active food packaging film based on gelatin/aloë vera gel containing rosemary essential oil

M Bakhshizadeh¹, T Niknazar Moghaddam¹, S Amjadi² and A Ayaseh^{*3}

Received: November 8, 2022

Accepted: January 8, 2023

¹MSc Graduated, Department of Food Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²PhD Graduated, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

³Associated Professor, Department of Food Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: E mail: ayaseh@tabrizu.ac.ir

Introduction: Study on modern biodegradable packaging materials has attracted the attention of researchers, due to increasing concerns about food safety and environmental issues related to waste generated by non-degradable plastic packaging. One of these modern packaging technologies is active packaging, which offers a sustainable and environmentally friendly way to improve the shelf life of food (Roy and Rhim 2021). In the food packaging industry, gelatin is one of the frequently used biopolymers. In addition, gelatin has been used in the fields of cosmetics, food industry, tissue engineering, and pharmaceuticals due to properties such as good biocompatibility, unique functional properties, abundant extraction sources, and biodegradability (Xu et al., 2022). However, pure gelatin film exhibits low mechanical, antioxidant and antimicrobial properties, limiting its practical use as active packaging. Therefore, active packaging films and coatings are usually combined with various biopolymers, natural extracts, nanofillers to improve their properties, and enhance food safety (Rangaraj et al., 2022). Rosemary is an evergreen plant, belonging to the *Lamiaceae* family (Moura et al., 2022). Its extract or essential oil has antioxidant, anti-inflammatory, anti-tumor, anti-obesity and anti-diabetic properties. Rosemary essential oil also has antibacterial and antifungal activity (Halahlah et al., 2021; Rizzo et al., 2021). These health benefits of rosemary are due to the phenolic substances in its composition, including carnosol, carnosic acid and rosemanol. Many studies have included rosemary essential oil in food packaging to prevent food spoilage (Kontogianni et al., 2022). Aloe vera is a xerophytic plant belonging to the *Aloaceae* family that grows in tropical regions of the world. Several researchers have reported that aloe vera has a variety of biological activities, including anti-inflammatory, antioxidant, and immunomodulatory (Mohd Nizam et al., 2021). In the past decades, the use of aloe vera gel in edible films has received attention due to its effectiveness in increasing the shelf life of various perishable foods. The antioxidant and antimicrobial potential of aloe vera gels make them an excellent example of active packaging (Hadi et al., 2022).

Material and methods: In this study, rosemary essential oil was extracted using a Clevenger apparatus. Also, aloe vera gel was extracted from the aloe vera plant. Then, gelatin-based films were produced using the casting method. Afterward, the produced film thickness was measured using a

digital micrometer. Also, the film samples were placed in glass vials containing calcium chloride, to measure the water vapor permeability. The film surface morphology analyzed using a scanning electron microscope. Also, an X-ray diffractometer was used in the $2\theta = 5-75$ to check the crystal structure. Furthermore, Fourier transform infrared spectroscopy was used to check the chemical structure of the films. Moreover, disc diffusion method was used to analyze the antimicrobial properties of the films.

Results and discussion: The results showed that the thickness of the film containing aloe vera gel and rosemary essential oil was higher than the pure gelatin film. Also, water solubility and moisture content of the films were significantly reduced by adding aloe vera gel and rosemary essential oil. The pure gelatin film had a tensile strength of 20.74 MPa, flexibility of 21.42 % and Young's modulus was 165.14 MPa. The addition of rosemary essential oil increased the tensile strength of the film to 33.61 MPa. However, Young's modulus and flexibility of the film did not show a significant change ($p < 0.05$). Also, the addition of aloe vera gel increased the flexibility (30.24 %) of the film and decreased the tensile strength (17.92 MPa) and Young's modulus (44.18 MPa). In addition, the pure gelatin film had a uniform and smooth surface, which is the basic morphology of gelatin films. Also, the surface of the film maintained its uniformity and smoothness with the addition of aloe vera gel, which can indicate the complete dissolution of aloe vera gel as a result of its hydrophilic nature. Furthermore, the addition of rosemary essential oil formed a very homogeneous and uniform surface, which can be caused by the placement of rosemary essential oil inside the continuous polymer network of gelatin. X-ray diffraction results showed that at $2\theta \sim 19^\circ$, all films had a broad peak, which indicates the semi-crystalline structure of gelatin and caused. However, the addition of rosemary essential oil and aloe vera gel did not cause a significant change in the crystalline structure of gelatin-based films, which could be due to the amorphous structure of aloe vera gel and rosemary essential oil. Also, the pure gelatin film had no antioxidant activity. However, the antioxidant activity of the film increased to 15.60% with the addition of aloe vera gel. Similarly, adding rosemary essential oil to the film caused 11.71% antioxidant activity of the film. In addition, pure gelatin and gelatin/aloe vera film did not have antibacterial activity. However, the addition of rosemary essential oil to the gelatin-based film caused significant antibacterial activity of the film, which is due to the presence of diterpene compounds such as carnosic acid, carnosol, rosmannol, isorosmanol, and rosmarinic acid in the structure of rosemary.

Conclusion: Briefly, gelatin active film containing rosemary essential oil and aloe vera gel was prepared using the casting method. Investigation of the optical, mechanical, barrier, antioxidant, and antimicrobial properties of the film samples showed that gelatin/rosemary essential oil/aloe vera gel film had the lowest water solubility and moisture content, promising mechanical, light barrier, and antioxidant properties. Also, this film had suitable antibacterial against *Staphylococcus aureus* (gram-positive) and *Escherichia coli* (gram-negative) bacteria, which indicates its significant potential for active food packaging.

Keywords: Active packaging, Aloe vera gel, Film, Gelatin, Rosemary essential oil